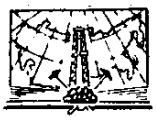
Библиотека СОК

В. Л. БЕРЕЗИН
Н. В. БОБРИЦКИЙ

СООРУЖЕНИЕ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебника для студентов вузов, обучающихся по специальности «Сооружение газонефтепроводов, газохранилищ и нефтебаз»



МОСКВА „НЕДРА" 1985

УДК 69:[622.692.4.+622.691.4].052.012(075.32)

Березин В. Л., Бобрицкий Н. В. Сооружение насосных и компрессорных станций: Учебник для вузов.— М.: Недра, 1985.— 288 с.

Приведены блочно-комплектные и блочно-модульные насосные (НС) и компрессорные (КС) станции, основания и фундаменты к ним, даны основы расчета строительных конструкций зданий и сооружений НС и КС. Рассмотрена организация монтажных и специальных строительных работ при сооружении насосных и компрессорных станций. Описан монтаж агрегатов НС и КС, их технологического оборудования, систем водоснабжения, канализации и т. д.

Для студентов нефтяных вузов по специальности «Сооружение газонефтепроводов, газохранилищ и нефтебаз».

Табл. 40, ил. 117, список лит.— 38 назв.

Рецензенты:
кафедра «Сооружение трубопроводов» Уфимского нефтяного института;
А. И. Алексеев (Главное техническое управление Миннефтегазстроя).

Всеволод Леонидович Березин
Николай Васильевич Бобрицкий

СООРУЖЕНИЕ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Редактор издательства С. А. Скотникова
Переплет художника А. Е. Чучканова
Художественный редактор В. В. Шутько
Технические редакторы О. А. Колотвина, Цишевская
Корректор С. Г. Барсукова

ИБ № 6251

Сдано в набор 04.03.85. Подписано в печать 25.06.85. Т-12975. Формат 60×90¹/₁₆. Бумага кн.-журн. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 18,0. Усл. кр.-отт. 18,0. Уч.-изд. л. 20,0. Тираж 4600 экз. Заказ 473/598—8. Цена 1 р. 10 к.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра», 103633, Москва, К-12, Третьяковский проезд, 1/19

Ленинградская типография № 4 ордена Трудового Красного Знамени Ленинградского объединения «Техническая книга» им. Евгении Соколовой Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 191126, Ленинград, Социалистическая ул., 14.

Б $\frac{3608000000—434}{043(01)—85}$ 300—85

© Издательство «Недра», 1985

Предисловие

Для доставки к местам переработки и потребления газа и нефти, а также продуктов их переработки за 1981—1985 гг. необходимо было построить более 64 тыс. км магистральных газо-, нефте- и нефтепродуктопроводов. При этом должна возрасти доля магистральных газопроводов диаметром 1420 мм. Если в 1976—1980 гг. было сооружено более 10,6 тыс. км газопроводов такого диаметра, то в 1981—1985 гг. будет сооружено 23 тыс. км магистральных газопроводов.

На магистральных газо-, нефте- и нефтепродуктопроводах, сдаваемых в эксплуатацию в одиннадцатой пятилетке, необходимо выполнить большой объем работ по сооружению компрессорных и насосных станций, обеспечивающих бесперебойную работу магистральных трубопроводов с проектной пропускной способностью. Только на магистральных газопроводах за 1981—1985 гг. необходимо построить 330—350 компрессорных станций.

Современная компрессорная или насосная станция представляет собой достаточно сложный производственный комплекс, включающий перекачивающий цех, основное и вспомогательное оборудование по обслуживанию перекачивающего цеха, развитую систему технологических трубопроводов и инженерных коммуникаций, системы контрольно-измерительных приборов и автоматики, связи, энергоснабжения и телемеханики. Следует отметить, что большое число компрессорных и насосных станций строится в отдаленных районах Севера и Северо-Западной Сибири с суровыми природно-климатическими условиями, слабо развитой дорожной сетью и недостаточным развитием индустриальной базы строительства.

Для ускорения сооружения компрессорных и насосных станций магистральных трубопроводов большое значение имеет дальнейшее развитие индустриализации их возведения и, в частности, применение комплектно-блочного метода строительства, который позволяет повысить качество строительства, значительно сократить сроки сооружения насосных и компрессорных станций и обеспечить своевременное введение в эксплуатацию на полную пропускную способность мощных магистральных газо-, нефте- и нефтепродуктопроводов. В связи с этим комплектно-блочный метод сооружения компрессорных и насосных станций и других наземных объектов в нефтяной и газовой промышленности получает все большее распространение. Если в 1980 г. уровень применения этого метода при сооружении наземных объектов нефтяной и газовой промышленности по Миннефтегазстрою достиг 61 % общего объема строительно-монтажных работ, то к 1985 г. он должен возрасти до 90—95 %. В 1982 г. объем внедрения

строительно-монтажных работ с применением комплектно-блочного метода по Миннефтегазстрою составил 740 млн. руб., в 1983 г. — 800 млн. руб., а на 1985 г. намечено выполнить строительно-монтажных работ с его применением на 1100—1200 млн. руб.

В учебнике основное внимание уделяется дальнейшему развитию индустриальных методов сооружения компрессорных и насосных станций магистральных трубопроводов, объемно-планировочным и конструктивным решениям блочно-комплектных компрессорных и насосных станций, индустриализации работ нулевого цикла, применению индустриальных конструкций фундаментов зданий и оборудования, передовой организации строительных, монтажных и специальных строительных работ и технологии сооружения компрессорных и насосных станций. При написании учебника использованы инструкции, рекомендации, технологические карты, проекты производства работ и другие материалы головных научно-исследовательских и проектных организаций Миннефтегазстроя, Мингазпрома, Миннефтепрома: ВНИИСТа, НИПИОргнефтегазстроя, СПКБ «Проектнефтегазспецмонтажа», ЭКБ по железобетону, Гипротрубопровода, ВНИПИТрансгаза.

Главы 9 и 12 по просьбе авторов написаны доктором технических наук В. Д. Шапиро, а § 15 главы 4 — доктором технических наук В. Е. Шутовым.

Глава 1

Общие сведения о насосных и компрессорных станциях магистральных трубопроводов

1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Современные магистральные нефте- и газопроводы большого диаметра представляют собой транспортные инженерные сооружения большой мощности и пропускной способности. Так, пропускная способность магистрального газопровода диаметром 1420 мм составляет 80 млн. м³/сут природного газа, а магистрального нефтепровода диаметром 1220 мм — 0,3 млн. т/сут нефти на расстояния до 3500—4500 км. Для того чтобы обеспечить перемещение таких объемов газа на большие расстояния по внутритрубному пространству, в начале (голове) газопроводов большого диаметра создают давление в 7,5 МПа. В ближайшей перспективе на вновь строящихся газопроводах начальное давление будет увеличено до 10—12 МПа. Начальное давление в магистральных нефтепроводах уже достигает 6,4 МПа. Энергия, обеспечивающая перемещение газа, нефти или нефтепродуктов по магистральным трубопроводам, сообщается соответственно компрессорными и насосными станциями. Однако энергия, переданная потоку газа или нефти в начале магистрального трубопровода, быстро снижается по мере перемещения, что приводит к снижению скорости перемещения потока. Если движущийся поток газа, нефти или нефтепродукта не будет получать дополнительную энергию, то давление во внутритрубном пространстве может уменьшиться до нуля, а движение потока газа, нефти или нефтепродукта может прекратиться. В связи с этим для компенсации потерь энергии в среднем через каждые 100—150 км по длине магистральных трубопроводов устанавливают промежуточные насосные или компрессорные станции.

На современных магистральных газо-, нефте- и нефтепродуктопроводах сооружают различные по назначению, компоновке и конструктивным решениям компрессорные и насосные (нефтеперекачивающие) станции.

По назначению и расположению на магистральном трубопроводе компрессорные и насосные станции подразделяют на головные и промежуточные.

Головные компрессорные и насосные станции располагают в начале (голове) магистральных трубопроводов. На головные компрессорные станции (ГКС) природный газ поступает с газо-

добывающих предприятий (газовых промыслов), подготовленный на установках комплексной подготовки газа (УКПГ) к дальнему трубопроводному транспорту. При необходимости на головных сооружениях (ГС), расположенных на территории ГКС, газ дополнительно очищают от пыли (частиц механических примесей) и осушают. На головную компрессорную станцию газ поступает под давлением 2—4 МПа, а затем с помощью центробежных нагнетателей с приводом от газотурбинных установок или электродвигателей компримируется и подается в магистральный газопровод под рабочим давлением. На головные насосные станции (ГНС) поступают товарная нефть, добытая на нефтяных промыслах и подготовленная к дальнему трубопроводному транспорту на установках промысловой подготовки нефти, продукты переработки нефти (нефтепродукты — бензин, дизельное топливо и др.). Нефть и нефтепродукт, поступающие на ГНС, вначале закачивают в резервуары, входящие в состав резервуарного парка станции, а затем с помощью подпорных насосов подают на прием основных насосных агрегатов, которые направляют нефть и нефтепродукт в магистральный трубопровод под давлением до 6,4 МПа.

Промежуточные компрессорные и насосные станции предназначены для поддержания необходимого режима транспорта газа, нефти или нефтепродукта по всей длине магистрального трубопровода. Размещают промежуточные компрессорные и насосные станции по трассе магистрального трубопровода в среднем через каждые 100—150 км. Подключение промежуточных станций к магистральному трубопроводу предусматривает возможность их отключения и пропуск газа, нефти или нефтепродукта по трубопроводу, минуя промежуточные станции. Необходимое число компрессорных и насосных станций определяют специальным расчетом.

По конструкции и объемно-планировочным решениям компрессорные и насосные станции подразделяют на:

компрессорные и насосные станции в традиционном исполнении;

блочно-комплектные компрессорные и насосные станции с размещением основных перекачивающих агрегатов в общих или индивидуальных зданиях;

полностью блочно-комплектные компрессорные и насосные станции с размещением всех перекачивающих агрегатов и оборудования в блок-боксах или блок-контейнерах, включая блочно-модульные станции.

На компрессорных и насосных станциях в традиционном исполнении основные перекачивающие агрегаты и часть вспомогательного оборудования размещали в тяжелых капитальных зданиях, главным образом с железобетонным несущим каркасом. При этом большое число единиц основного и вспомогательного оборудования поступало с заводов-изготовителей не укрупненными блоками, а в виде отдельных частей и деталей с последую-

щей их монтажной сборкой на строительной площадке. Компрессорные и насосные станции такого типа отличались большой трудоемкостью строительства и монтажа и длительными сроками их сооружения. В настоящее время подобные компрессорные и насосные станции уже не сооружают. Но значительное их число, построенное в 50—60-е годы и в начале 70-х годов, находится в эксплуатации. На всех строящихся магистральных газо-, нефте- и нефтепродуктопроводах сооружают только блочно-комплектные и блочно-модульные компрессорные и насосные станции. При этом степень блочности станций, т. е. степень насыщения их блочно-комплектными и блочно-модульными устройствами различная.

По типу привода перекачивающих агрегатов компрессорные и насосные станции подразделяют на:

компрессорные станции, оснащенные перекачивающими агрегатами с приводом от газовых турбин. В качестве топлива для турбин используют природный газ, забираемый из магистрального газопровода. Для привода центробежных нагнетателей при транспортировке газа используют следующие виды газовых турбин: стационарные, мощностью 6, 10, 16, 25 тыс. кВт, авиационные и судовые мощностью 6, 10, 16 тыс. кВт;

компрессорные станции, оснащенные перекачивающими агрегатами с приводом от электродвигателей;

насосные станции, оснащенные перекачивающими агрегатами с приводом от электродвигателей.

Из данных табл. 1 видно дальнейшее сохранение и даже некоторое увеличение применения газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом. Причем этот прирост осуществляется за счет более широкого применения в качестве привода центробежных нагнетателей авиационных и судовых газовых турбин, а также мощных стационарных газовых турбин ГТН-16 и ГТН-25. Все строящиеся насосные станции магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов имеют привод от электродвигателей. Следует отметить, что вид привода перекачивающих аг-

Таблица 1. Распределение газоперекачивающих агрегатов с приводами различных типов (в % установленной мощности) по годам [12, 32]

Газоперекачивающий агрегат	1980 г.	Ввод в действие за 1981—1985 гг.	1985 г.
С газотурбинным приводом	78,3	79	82,7
В том числе:			
от стационарных газовых турбин	47,2	44,6	41,5
от авиационных газовых турбин	19,3	24,4	25
от судовых газовых турбин	11,8	10	16,2
С электроприводом	18,5	21	14
Газомотокомпрессор	3,2	—	3,3

Таблица 2. Характеристика зданий компрессорных и насосных станций

Станция	Характеристика перекачивающего агрегата	Вид применяемого здания
Компрессорная	Привод от стационарных газовых турбин ГТК-10, ГТ-7-750 и ГТ-750-6	Общее здание
Компрессорная	Привод от стационарных газовых турбин ГТН-25, ГТН-16 и ГТН-6	Индивидуальные здания для каждого агрегата
Компрессорная	Привод от судовых газовых турбин ГПУ-10	То же
Компрессорная	Привод от авиационных газовых турбин ГПА-Ц-6,3 и ГПА-Ц-16	Транспортабельные боксы
Компрессорная	С электроприводом СТД-4000 и СТД-125000	Общее здание
Насосная	С электроприводом	То же

регатов является определяющим в выборе типа здания компрессорного или насосного цеха (табл. 2).

Объемно-планировочные и конструктивные решения, габариты зданий компрессорных и насосных цехов непосредственно зависят от конструкции и габаритов перекачивающих агрегатов.

В зависимости от вместимости резервуарных парков насосные станции магистральных нефте- и нефтепродуктов принято разделять на три категории: I — более 50 тыс. м^3; II — от 10 до 50 тыс. м^3; III — менее 10 тыс. м^3 и при отсутствии резервуарного парка.

2. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СТРОИТЕЛЬНОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Как и любой промышленный или гражданский объект, насосные и компрессорные станции магистральных трубопроводов сооружают только в соответствии с проектами, разработанными государственными проектными организациями. Проекты магистральных трубопроводов для транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа, в состав которых в качестве наземных объектов входят насосные и компрессорные станции, разрабатывают проектные институты Миннефтепрома (Гипротрубопровод, Южгипронефтепровод и др.), Госкомнефтепродукта РСФСР (Гипронефтетранс), Мингазпрома (Гипроспецгаз, Южниигипрогаз, ВНИПИТрансгаз, Союзгазпроект и др.).

При проектировании магистральных трубопроводов и входящих в их состав насосных и компрессорных станций проектные организации руководствуются:

законами СССР, указами Президиума Верховного Совета СССР, решениями правительства СССР;

документами по основным техническим направлениям в проектировании предприятий нефтяной и газовой промышленности;

нормами технологического проектирования, строительными нормами и правилами (СНиП), инструкциями по проектированию и строительству, техническими правилами по экономному расходованию основных строительных материалов и др.

утвержденными каталогами индустриальных строительных изделий, перечнями (каталогами) типов проектов для применения в строительстве;

стандартами на строительные материалы, детали, конструкции, санитарно-техническое оборудование и строительный инструмент;

сметными нормативами для определения сметной стоимости строительства;

информацией о новом технологическом и вспомогательном оборудовании, новых строительных материалах и изделиях.

При проектировании насосных и компрессорных станций магистральных трубопроводов руководствуются следующими строительными нормами и правилами и инструкциями: СНиП II-45—75 «Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования», СНиП II-89—80 «Генеральные планы промышленных предприятий. Нормы проектирования», СНиП II-90—81 «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования», СНиП II-2—80 «Противопожарные нормы проектирования зданий и сооружений», СНиП II-106—79 «Склады нефти и нефтепродуктов. Нормы проектирования», СН 433—79 «Инструкция по строительному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтяной и газовой промышленности».

Проект магистрального трубопровода с насосными или компрессорными станциями состоит из проекта со сводным сметным расчетом стоимости и рабочей документации. Причем, если проектирование ведут в две стадии, то на первой стадии выполняют собственно проект со сводным сметным расчетом стоимости. После экспертизы и утверждения собственно проекта на второй стадии разрабатывают рабочую документацию. При проектировании в одну стадию сразу разрабатывают рабочий проект со сводным сметным расчетом стоимости. Стадийность разработки проектно-сметной документации устанавливает заказчик в задании на проектирование.

Проект на строительство магистрального трубопровода с насосными или компрессорными станциями состоит из следующих разделов [1]:

общая пояснительная записка, включающая ряд документов, в том числе план и продольный профиль трассы для линейной

---

[1] СН 202—81 «Инструкция о составе, порядке разработки, согласования и утверждения проектно-сметной документации на строительство предприятий, зданий и сооружений».

части, схему генерального плана и ситуационный план размещения насосной или компрессорной станции;

технологические решения;

строительные решения;

организация строительства;

сметная документация;

паспорт проекта.

В состав рабочей документации для сооружения насосных или компрессорных станций входят следующие документы:

рабочие чертежи, разрабатываемые в соответствии с требованиями государственных стандартов СПДС;

сметы;

ведомости объемов строительных и монтажных работ, составленные по установленной форме;

ведомости и сводные ведомости потребности в материалах;

расчеты показателей изменения сметной стоимости строительно-монтажных работ, затрат труда и расхода основных строительных материалов;

спецификации на оборудование, опросные листы и габаритные чертежи;

паспорта строительных рабочих чертежей зданий и сооружений.

Рабочий проект состоит из следующих документов:

общая пояснительная записка, основные чертежи, в том числе ситуационный и генеральный планы;

организация строительства;

сметная документация;

паспорт рабочего проекта.

Параллельно с составлением указанной документации осуществляют разработку рабочей документации.

Рассмотрим несколько подробнее наиболее важные части проекта (рабочего проекта).

Общая пояснительная записка содержит исходные данные для проектирования, краткую характеристику объекта, оценку оптимальности выбранного варианта размещения объекта, данные о проектной мощности объекта, сведения о потребности в топливе, воде, тепловой и электрической энергии, трудовых ресурсах, изложение и оценку прогрессивности и экономичности основных проектных решений; состав предприятия (насосной или компрессорной станции); сведения по объемам основных работ; сведения о проведенных согласованиях проектных решений и соблюдении требований норм, правил, инструкций и государственных стандартов, в том числе норм по взрыво- и пожаробезопасности; краткую характеристику района и площадки строительства; мероприятия по восстановлению (рекультивации) земельного участка.

В состав общей пояснительной записки входят также решения и показатели по генеральному плану, внутриплощадочному и внешнему транспорту. Основные чертежи в составе общей по-

яснительной записки: ситуационный план или план и продольный профиль трассы (для линейной части магистральных трубопроводов); схема генерального плана.

Ситуационный план — план, показывающий размещение объекта строительства в увязке с производственной базой строительно-монтажной организации, ближайшими населенными пунктами, источниками и внешними сетями энерго-, тепло- и водоснабжения, сооружениями и сетями канализации, транспорта и связи, карьерами и отвалами, а также основные особенности природных условий территории в районе строительства.

Генеральный план (генплан) — часть проекта, содержащая комплексное решение вопросов планировки и благоустройства объекта строительства, размещения зданий, сооружений, транспортных коммуникаций и инженерных сетей, организации систем хозяйственного и бытового обслуживания. В графической части (схеме) генплана показывают горизонтальную планировку, т. е. размещение в плане существующих и проектируемых зданий и сооружений, очередность строительства объектов и пусковых комплексов, благоустройство территории, картограмму земляных масс, план инженерных коммуникаций и сетей. Графическую часть (схему) генплана выполняют в масштабах 1 : 1000, 1 : 2000, 1 : 5000.

Раздел «Технологические решения» содержит производственную расчетную программу; краткую характеристику и обоснование решений по технологии производства, механизации и автоматизации технологических процессов; предложения по организации контроля за качеством продукции; состав и оценку прогрессивности выбранного оборудования, показатели его загрузки. В разделе приведены решения по принятой технологии транспортировки нефти, нефтепродуктов и газа, выбранным перекачивающим агрегатам, вспомогательному оборудованию и трубопроводной обвязке перекачивающих агрегатов, обеспечению насосной или компрессорной станции электроэнергией, газом и теплом. Указываются мероприятия по охране окружающей среды. Графическая часть содержит принципиальные схемы технологических процессов и механизации производства, технологические компоновки по цехам, схемы автоматизации технологических процессов и другой графический материал.

В разделе *«Строительные решения»* дается краткое описание архитектурно-строительных решений по зданиям и сооружениям насосных и компрессорных станций и проектных решений, обеспечивающих заданную освещенность, благоприятные условия воздушной среды производственных и вспомогательных помещений, снижение производственных шумов и вибраций, электро-, взрыво- и пожаробезопасность и защиту строительных конструкций от коррозии. Приводится также краткое описание проектных решений по бытовому и санитарному обслуживанию работающих на насосной или компрессорной станции. Графическая часть содержит планы, разрезы и фасады зданий и сооружений, строя-

щихся по индивидуальным проектам, со схематическим изображением основных несущих и ограждающих конструкций. По объектам, сооружаемым по типовым проектам, приводятся каталожные листы типовых проектов, а по повторно применяемым проектам — основные чертежи. Приводятся также эскизные решения по антикоррозионной защите строительных конструкций, схемы трасс внешних инженерных и транспортных коммуникаций, планы и профили внутриплощадочных сетей и сооружений на них.

Раздел «Организация строительства» содержит проект организации строительства (ПОС) и проект производства работ (ППР). Графическая часть состоит из ситуационного плана строительства и строительного генерального плана (стройгенплана).

Проект организации строительства — составная часть проекта (рабочего проекта), определяющая общую продолжительность и промежуточные сроки строительства, распределение капитальных вложений и объемов строительно-монтажных работ, материально-технические и трудовые ресурсы и источники их покрытия, основные методы выполнения строительно-монтажных работ и структуру управления строительством объекта. Проект организации строительства — основной документ, в соответствии с которым планируют капитальные вложения, кадры, материально-технические ресурсы, мероприятия по организации индустриальной базы строительства. Проект организации строительства разрабатывает генеральная проектная организация, которая для разработки специальных вопросов привлекает специализированные проектные организации.

В состав проекта организации строительства входят следующие материалы:

сводный календарный план или сетевой график строительства (для насосных и компрессорных станций — сетевой график);

календарный план работ, выполняемых в подготовительный период;

объемы строительно-монтажных и специальных строительных работ;

строительный генеральный план насосной или компрессорной станции;

технологические карты на сложные работы, выполняемые впервые; на остальные строительно-монтажные и специальные строительные работы составляют схемы организации работ;

чертежи временных зданий и сооружений, а также различных монтажных приспособлений;

решения по охране труда, требующие проектной разработки;

пояснительная записка.

Строительный генеральный план (стройгенплан) — часть проекта организации строительства, регламентирующая организацию строительной площадки. Стройгенплан составляют на ос-

новании генплана. В отличие от генплана на стройгенплане кроме возводимых постоянных зданий и сооружений показывают также все временные сооружения, необходимые для осуществления процесса строительства, в нашем случае — насосной или компрессорной станции. К таким временным сооружениям относят дороги и пути транспорта для строительства; подсобные предприятия и механизированные установки, размещаемые на строительной площадке; основные монтажные машины и механизмы; склады материалов и строительных конструкций; временные водопроводные и канализационные сети; временные сети электроснабжения; временные коммуникации пара, сжатого воздуха и т. д.

В *разделе «Сметная документация»* определяется сметная стоимость проектируемой насосной или компрессорной станции. Для определения сметной стоимости составляют следующие документы:

в составе проекта — сводный сметный расчет, сводку затрат; объектные и локальные сметные расчеты; сметы на проектные и изыскательские работы;

в составе рабочей документации — объективные и локальные расчеты.

В *разделе «Паспорт проекта»,* который входит во все проекты, кроме объектов жилищно-гражданского строительства указываются основные данные спроектированного объекта. Паспорт проекта составляют по установленной форме.

При проектировании в одну стадию в состав рабочего проекта входят: сводный сметный расчет, сводка затрат, объектные и локальные сметы, сметы на проектные и изыскательские работы.

Площадки для сооружения насосных и компрессорных станций магистральных трубопроводов выбирают исходя из следующих требований:

размеры площадки должны обеспечивать размещение всех объектов и инженерных сооружений насосной или компрессорной станции. При этом следует (при соблюдении нормативных расстояний между объектами и сооружениями) обеспечить необходимую плотность застройки площадки

$$K_{пл} = (F_п/F)\,100\ \%,$$

где $F_п$ — полезная площадь, занимаемая объектами на строительной площадке; F — общая площадь строительной площадки.

Нормативными документами[1] установлены минимальные плотности застройки для различных отраслей промышленности. Для компрессорных станций магистральных газопроводов минимальная плотность застройки составляет 40 %;

---

[1] СНиП II-89—80 «Генеральные планы промышленных предприятий. Нормы проектирования».

желательно, чтобы рельеф площадки был спокойным, без больших неровностей;

несущая способность грунтов в пределах строительной площадки должна обеспечивать возведение основных объектов насосных и компрессорных станций;

уровень грунтовых вод на строительной площадке должен быть низким;

площадки насосных и компрессорных станций, как правило, должны располагаться по одну сторону магистрального трубопровода.

Выполнять все вышеуказанные требования к строительным площадкам в условиях их строгой привязки к местности чрезвычайно трудно, особенно в условиях северных районов Западной Сибири и Крайнего Севера.

При проектировании насосных и компрессорных станций необходимо осуществлять горизонтальную и вертикальную планировки строительной площадки.

Горизонтальная планировка — рациональное размещение в плане всех объектов и инженерных сооружений насосных и компрессорных станций. При размещении объектов и сооружений насосных и компрессорных станций необходимо учитывать

Таблица 3. Категории производств промышленных предприятий по СНиП II-90—81 «Производственные здания промышленных предприятий. Нормы проектирования»

Характеристика производств	Категория производств	Характеристика обращающихся в производстве веществ
Взрывопожароопасные	А	Горючие газы с нижним пределом взрывоопасности 10 % и менее по отношению к объему воздуха и жидкости с температурой вспышки паров до 28 °С включительно при условии, что указанные газы и жидкости могут образовывать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5 % объема помещения
	Б	Горючие газы с нижним пределом взрывоопасности более 10 % по отношению к объему воздуха и жидкости с температурой вспышки паров с 28 до 61 °С включительно
Пожароопасные	В	Жидкости с температурой вспышки паров выше 61 °С
	Г	Несгораемые вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени
	Д	Несгораемые вещества и материалы в холодном состоянии
Взрывоопасные	Е	Горючие газы без жидкой фазы и взрывоопасной пыли в таком количестве, что они могут образовать взрывоопасные смеси в объеме, превышающем 5 % объема помещения, и в которых по условиям технологического процесса возможен только взрыв (без последующего горения)

их взрыво- и пожароопасность, а следовательно, и минимальные нормативные расстояния между ними. Следует отметить, что в зависимости от взрыво-, взрывопожаро- и пожароопасности все производства делят на шесть категорий (табл. 3).

Температура вспышки нефти или нефтепродукта — минимальная температура нагреваемых в стандартных условиях нефти или нефтепродукта, при которой смесь паров нефти или нефтепродукта с воздухом в условиях атмосферного давления при поднесении к ней пламени вспыхивает и сразу затухает. Температура вспышки нефти колеблется в широких пределах (от 35 до 120 °С) в зависимости от ее фракционного состава. Температура вспышки нефтепродуктов: легковоспламеняющихся бензинов — ниже 28 °С, керосинов — 28—45 °С; горючих нефтепродуктов (моторное и дизельное топливо, мазуты) 45—120 °С. Кроме того, пары нефти или нефтепродукта обладают взрывоопасностью. Взрыв паров нефти или нефтепродуктов при наличии открытого огня или искр возможен при определенном их содержании в воздухе. При этом наименьшее и наибольшее содержание паров нефти или нефтепродуктов в воздухе называют соответственно нижним и верхним пределами взрываемости. При концентрации паров выше верхнего предела взрываемости смесь паров нефти и нефтепродуктов с воздухом горит. Пределы взрываемости нефти или нефтепродуктов зависят от их состава и колеблются в широких пределах. Например, для бензина при температуре 20 °С и атмосферном давлении нижний предел взрываемости — 1,1 %, а верхний — 6 % (объемных).

Природный газ, транспортируемый по магистральным трубопроводам, также взрыво- и пожароопасен. Так для метана (основы природного газа) нижний предел взрываемости составляет 5 %, а верхний предел — 15 % (объемных).

Из приведенного материала видно, что объекты насосных и компрессорных станций относятся к категориям А, Б и Е в зависимости от состава транспортируемой нефти, нефтепродуктов или газа. К категории А относятся, например, компрессорный цех компрессорных станций и насосный цех магистрального нефтепродуктопровода, по которому транспортируют бензин.

Наименьшие расстояния между зданиями и сооружениями насосных и компрессорных станций регламентированы нормативными документами: СНиП II-89—90 «Генеральные планы промышленных предприятий. Нормы проектирования»; СНиП II-106—79 «Склады нефти и нефтепродуктов. Нормы проектирования»; СН 433—79 «Инструкция по строительному проектированию предприятий, зданий и сооружений нефтяной и газовой промышленности». От газокомпрессорного цеха компрессорной станции до некоторых объектов установлены следующие минимальные расстояния: до аппаратов огневого нагрева газа — 18 м; до операторных, помещений контрольно-измерительных приборов (КИП), насосных станций водоснабжения — 9 м; до ремонтно-механических мастерских, складов материалов и обору-

дования, котельных — 30 м. Расстояния между газовыми компрессорами, размещенными в индивидуальных укрытиях, не нормируются. От установок по перекачке нефти насосного цеха насосной станции до некоторых объектов установлены следующие минимальные расстояния: резервуарного парка — 20 м; до аппаратов огневого нагрева нефти — 15 м; до компрессорных сжатого воздуха, насосных станций оборотного водоснабжения, операторных — 9 м; наземных складов масел, метанола и других легковоспламеняющихся и горючих жидкостей — 15 м; до очистных сооружений (открытые нефтеловушки, канализационные насосные станции) — 9 м; до сливно-наливных устройств для автоцистерн — 15 м; до противопожарных насосных станций — 18 м; ремонтно-механических мастерских, гаражей, складов материалов, котельных — 30 м; до пожарных депо — 78 м; до узлов управления (блоки КИП, отдельно стоящие шкафы) — 9 м. При использовании подземных резервуаров (например, железобетонных) расстояние от резервуарных парков до других объектов может быть уменьшено в 2 раза.

Минимальные расстояния l территорий насосных и компрессорных станций от оси магистральных трубопроводов установлены нормами (СНиП II-45—75 «Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования») и зависят от диаметра трубопровода D:

для компрессорных станций

D, мм	Менее 300	300—600	600—800
l, м	75	125	150

D, мм	800—1000	1000—1200	1220—1400
l, м	200	225	250

для насосных станций

D, мм	Менее 300	300—500	500—1000	1000—1400
l, м	30	30	50	50

Вертикальная планировка территории площадки насосной или компрессорной станции — изменение профиля площадки, выравнивание ее в соответствии с проектом для строительства и эксплуатации. Необходимость вертикальной планировки территории строительной площадки связана с проведением строительно-монтажных работ (СМР) по возведению зданий и сооружений, получением заданного (проектного) положения зданий и сооружений, устройством водостоков с площадок насосных и компрессорных станций. В соответствии с действующими нормативными документами[1] сплошная вертикальная планировка строительной площадки допускается при плотности застройки

[1] СНиП II-89—80 «Генеральные планы промышленных предприятий. Нормы проектирования».

более 25 % и большом насыщении площадки предприятиями и инженерными коммуникациями. Уклоны поверхности площадки зависят от вида грунта: для глинистых грунтов — не менее 0,003 и не более 0,05; для песчаных грунтов — 0,03; для легкоразмываемых грунтов (лёссы, мелкие пески) — 0,01; для вечномерзлых грунтов — 0,03.

При размещении площадок насосных и компрессорных станций на прибрежных участках рек или водоемов планировочные отметки площадок нужно принимать на 0,5 м выше уровня расчетного наивысшего горизонта вод с учетом подпора и уклона водотока с вероятностью превышения 1 раз в 100 лет. Кроме того, если в состав насосных станций входит резервуарный парк, то следует предусматривать со стороны водоема земляной вал или земляную емкость, обеспечивающую сбор нефти в случае ее аварийного разлива в количестве, равном половине объема наибольшего наземного резервуара.

При проведении вертикальной планировки площадок насосных и компрессорных станций в северной строительно-климатической зоне (например, в северных районах Тюменской области) необходимо по возможности сохранять естественный рельеф местности, не нарушать растительный и почвенный покровы, природную растительность. При возведении фундаментов под здания и сооружения на вечномерзлых грунтах по первому принципу использования грунтов основания (т. е. при сохранении грунтов в мерзлом состоянии) вертикальную планировку следует осуществлять не срезкой грунта, а насыпями без нарушения растительного покрова. Срезка грунта в этом случае допускается только на участках, на которых деформация оснований не будет превышать предельных величин, установленных для оттаивающих грунтов.

3. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Строительство насосных и компрессорных станций, являющихся важнейшими наземными объектами магистральных трубопроводов, отличается большой трудоемкостью, необходимостью выполнения различных по объему и характеру строительных, монтажных и специальных строительных работ в различных природно-климатических зонах. Своевременный ввод в действие и быстрейшее достижение проектной пропускной способности магистральных газо-, нефте- и нефтепродуктопроводов в значительной мере зависят от своевременной сдачи в эксплуатацию насосных и компрессорных станций. Объем же работ по строительству насосных и компрессорных станций на магистральных трубопроводах непрерывно и интенсивно возрастает. В связи с этим большое значение имеют снижение капитальных и эксплуатационных затрат соответственно при строительстве и эксплуатации

насосных и компрессорных станций, сокращение сроков их строительства.

Технический прогресс в области проектирования и строительства насосных и компрессорных станций включает следующие перспективные направления.

1. Генеральное направление дальнейшего совершенствования строительства насосных и компрессорных станций магистральных трубопроводов — индустриализация процесса строительства. Применительно к строительству насосных и компрессорных станций развитие индустриализации выражается во все более широком применении блочно-комплектных насосных и компрессорных станций с использованием комплектно-блочного метода строительства. В перспективе для насосных и компрессорных станций будет расширено применение крупных негабаритных блоков оборудования, так называемых суперблоков.

2. Для обеспечения широкого внедрения комплектно-блочного метода строительства необходимо унифицирование генпланов насосных и компрессорных станций, а также перекачивающего и технологического оборудования. Особенно это касается перекачивающего оборудования, определяющего в конечном итоге конструктивное и объемно-планировочное решение зданий насосных и компрессорных цехов. Например, для газоперекачивающих агрегатов пока используют девять типов привода (семь типов газотурбинных различной мощности и конструкции и два типа с электроприводом), не считая импортных газоперекачивающих агрегатов. В связи с этим проводят работу по унифици-

Таблица 4. Технико-экономическая характеристика унифицированных блочно-ВНИПИтрансгаз)

Показатели	ГТН-25	ГТН-16	ГПА-Ц-16
Производительность, млрд. м³/год	32	32	32
То же, млн. м³/сут	85—100	85—100	85—100
Рабочее давление, МПа	7,5	7,5	7,5
Установленная мощность, МВт	75	80	80
Число ГПА (рабочие + резервные)	2 + 1	3 + 2	3 + 2
Металлоемкость, тыс. т	4,2	5,39	5,49
Общая стоимость строительства, млн. руб.	11,98	15,73	12,25
В том числе стоимость строительно-монтажных работ, млн. руб.	3,42	3,90	2,83
Трудоемкость строительства, чел.-дней	63 000	61 760	37 000
Численность работающих на строительстве	230	221	148
Численность эксплуатационного обслуживающего персонала	85	95	95
Производительность труда при эксплуатации, млн. (м³/год)/чел.	375,6	336,8	336,8
Эксплуатационные расходы, млн. руб./год	3,6	3,2	3,5

рованию типов газоперекачивающих агрегатов. Основные направления унифицирования газоперекачивающих агрегатов (ГПА):

увеличение единичной мощности газоперекачивающих агрегатов: стационарные газотурбинные установки (ГТУ) — до 25 тыс. кВт и выше, авиационные ГТУ — до 16 тыс. кВт, электропривод — в перспективе до 25 тыс. кВт;

расширение использования в качестве привода газоперекачивающих агрегатов наиболее эффективных авиационных газовых турбин.

Наиболее высокая трудоемкость сооружения характерна для компрессорных станций (КС) с газоперекачивающими агрегатами ГТК-10-4 (98 320 чел.-дней), что в 1,56 раза больше, чем для КС с агрегатами ГТН-25, и 2,6 раза больше, чем для КС, оснащенных агрегатами с авиационными газовыми турбинами ГПА-Ц-16 (табл. 4). Расчетная продолжительность сооружения КС с газоперекачивающими агрегатами ГТК-10-4 (за 23 мес или в 1,6 раза выше, чем для КС с агрегатами ГТН-25, и в 2,5 раза выше, чем для КС с агрегатами ГПА-Ц-16). Отсюда очевидна неперспективность сооружения компрессорных станций с газоперекачивающими агрегатами ГТК-10-4 и, наоборот, — перспективность газоперекачивающих агрегатов с мощными стационарными газовыми турбинами ГТН-25 и ГТН-16 и с авиационными газовыми турбинами ГПА-Ц-16.

Разработаны также перспективные унифицированные генеральные планы насосных и компрессорных станций, что позво-

комплектных компрессорных станций с различными типами ГПА (по данным

СТД-12500	ГПУ-10	ГТК-10-4	ГПА-Ц-6,3	ГТН-6
32	32	32	21	13
85—100	85—100	85—100	60—65	32—40
7,5	7,5	7,5	7,5	7,5
80	80	80	50,4	37,8
6 + 2	6 + 2	6 + 2	6 + 2	6 + 2
3,8	5,19	6,43	5,01	3,2
9,2	17,8	14,47	10,24	7,52
3,67	3,98	5,3	2,67	3,12
61 050	64 450	98 320	35 680	49 980
200	225	293	142	216
90	100	100	100	90
355,6	320	320	210	146,7
8,8	3,6	3,1	3,0	1,6

Таблица 5. Технико-экономические показатели насосных станций магистральных нефтепроводов в различном исполнении

Исполнение	Размещение оборудования		Относительная стоимость строительства, %	Относительная стоимость СМР, %	Относительная площадь станции, %	Продолжительность строительства, мес/%
	основного	вспомогательного				
Традиционное	В капитальном здании	В капитальном здании	100	100	100	21/100
			Без перегородки			
Промежуточное	В легком общем здании	В блок-боксах	90	55	60	11—12/52,4—57
			С перегородкой			
			94	61	60	14/76
Блочное	В блок-контейнерах	То же	70	46	25	6/29
Открытое	На воздухе	»	63	39	20	3,5/17
Внутритрубное	Внутри трубы	Нет	24	10	13	2/10

ляет унифицировать и сам процесс организации их строительства. Унифицированы объемно-планировочные и конструктивные решения зданий наземных объектов.

3. Большое значение имеет перспектива развития полностью блочно-комплектных насосных и компрессорных станций. В этой связи наиболее эффективны блочно-комплектные насосные и компрессорные станции при полном отсутствии каких-либо укрытий для перекачивающих агрегатов (так называемая открытая компоновка агрегатов). Насосный агрегат при открытой компоновке защищен от воздействия внешней атмосферы кожухом из стального листа [8]. Для обеспечения устойчивости

Таблица 6. Технико-экономические показатели компрессорных станций магистральных газопроводов в различном исполнении

Исполнение	Относительные капитальные вложения, %	Строительная стоимость, %	Общая площадь застройки, %
Традиционное (в капитальном общем здании с техническим подвалом)	100	100	100
То же, но с нулевой отметкой фундамента газоперекачивающих агрегатов	95	93	100
В индивидуальных зданиях	86	70	70
В блок-контейнерах	70	23	50
Внутритрубное	48	13	10

работы агрегата в зимнее время в кожух электродвигателя монтируют 20 трубчатых нагревателей общей мощностью 8 кВт. Подобные агрегаты открытой компоновки внедрены на ряде насосных станций магистральных нефтепроводов Миннефтепрома и применяются в зарубежных странах.

4. В более дальней перспективе изучается вопрос о принципиальном изменении конструкции насосных и компрессорных станций, в частности, путем размещения перекачивающих агрегатов во внутритрубном пространстве магистрального трубопровода. В этом случае значительно сокращается как стоимость, так и продолжительность строительства (табл. 5, 6). В таблицах за эталон сравнения приняты насосная и компрессорная станции в традиционном исполнении при отсутствии блочного оборудования.

Глава 2

Блочно-комплектные насосные и компрессорные станции

4. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНЫХ И ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ БЛОЧНО-КОМПЛЕКТНЫХ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Генеральное направление развития строительства насосных и компрессорных станций — дальнейшее расширение блочности перекачивающих агрегатов, основного и вспомогательного технологического оборудования и технологических трубопроводов. В связи с этим существенно изменяются как конструктивные, так и объемно-планировочные решения насосных и компрессорных станций.

На блочно-комплектных насосных и компрессорных станциях отсутствуют капитальные производственные здания тяжелого типа с железобетонными каркасами и ограждающими конструкциями из железобетона. Всю или бóльшую часть технологического оборудования насосных и компрессорных станций размещают в легких общих или индивидуальных зданиях, транспортабельных боксах или на открытом воздухе (открытая компановка) (рис. 1, 2). Бóльшую часть основного и вспомогательного оборудования блочно-комплектных насосных и компрессорных станций поставляют с заводов-изготовителей в виде полностью подготовленных блоков. Подобные блоки перед монтажом не вскрывают и не подвергают ревизии, что значительно сокращает сроки монтажа оборудования. Для примера можно привести турбоблоки газоперекачивающих агрегатов ГТН-25, ГТН-16,



Рис. 1. Общий вид блочно-комплектной насосной станции

ГПА-Ц-16, ГПА-Ц-6,3; ГПУ-10; блоки трубопроводов; блоки энергетического оборудования и т. д. Терминология, относящаяся к комплектно-блочному методу строительства, в системе Миннефтегазстроя стандартизована отраслевым стандартом ОСТ 102-82—83 «Комплектно-блочный метод строительства. Термины и определения». Рассмотрим основные термины.

Комплектно-блочный метод строительства — метод организации строительства объектов из изделий высокой степени заводской готовности в виде блочно-комплектных устройств (БКУ), укрупненных монтажных узлов и заготовок инженерных коммуникаций, поставляемых на объект специализированными предприятиями, основанный на принципах агрегирования ресурсов и организационных структур. Когда говорят, что объект выполнен в комплектно-блочном исполнении, это значит, что этот объект состоит из БКУ.

Блочно-комплектное устройство — объект одноцелевого назначения, собираемый на специализированном предприятии или месте монтажа из комплекта блоков, боксов, блок-контейнеров, блок-боксов, суперблоков или их различных сочетаний и заготовок межблочных коммуникаций.

Блок, строительно-технологический блок — транспортабельное устройство, вписывающееся в габариты погрузки, в виде совокупности оборудования и строительных конструкций, смонтированных на общем основании. Для примера можно привести блок газотурбинной установки (турбоблок), блок насосного агрегата, блок трансформатора.



Рис. 2. Общий вид блочно-комплектной компрессорной станции

Бокс — транспортабельное здание из легких строительных конструкций, вписывающееся в габариты погрузки.

Блок-бокс — блок с технологическим оборудованием и инженерными системами, внутри которого создают микроклимат, необходимый для надежной работы установленного оборудования и длительной работы в нем обслуживающего персонала.

Блок-контейнер — блок с индивидуальным укрытием (контейнером), внутри которого создают микроклимат, необходимый для работы установленного оборудования и приборов. Доступ к оборудованию и приборам для обслуживания и ремонта осуществляется, как правило, извне.

Суперблок — блочно-комплектное устройство или его часть, размеры которого превышают габариты погрузки.

Сотовая компоновка — компоновка здания, предусматривающая стыковку боксов продольными или торцевыми сторонами с установкой их рядами или ярусами над коммуникационным этажом.

Транспортабельные блоки, боксы, блок-боксы и блок-контейнеры по своим поперечным размерам должны вписываться в габариты погрузки. Наиболее жесткие требования к габаритам погрузки существуют на железнодорожном транспорте (рис. 3). Габариты погрузки — предельные внешние (боковые и высотные) очертания груза, расположенного на платформе или в полувагоне. Согласно действующим правилам допускаются некоторые отклонения от габаритов погрузки (негабаритность), за исключением зоны высотой 1230 мм от уровня верха головки рельса, где никаких отклонений от габаритов погрузки во внешнюю сторону не допускается. В зависимости от превышения пределов габарита погрузки негабаритность подразделяют на пять (0—IV) степеней. Перевозка негабаритных грузов по железным дорогам, особенно степеней III и IV, связана с большими трудностями и дополнительными расходами. Поэтому перевозку негабаритных грузов осуществляют лишь в необходимых случаях.

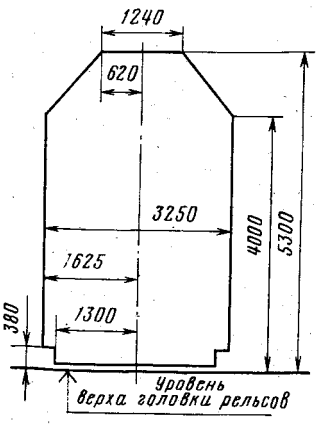


Рис. 3. Габариты погрузки

Проведена большая работа по унифицированию оборудования, сооружений, зданий и объемно-планировочных решений блочно-комплектных насосных и компрессорных станций. Это способствовало дальнейшему повышению уровня индустриализации их строительства. Спроектированы и сооружаются унифицированные блочно-комплектные насосные станции с различной пропускной способностью по нефти или нефтепродуктам. Нормальный ряд унифицированных блочно-комплектных насосных станций включает четыре типа: БКНС-1,25;

БКНС-2,5; БКНС-3,6; БКНС-12,5. БКНС — блочно-комплектная насосная станция; числа 1,25; 2,5; 3,6; 12,5 обозначают пропускную способность станции (в тыс. м³/ч). Кроме того, спроектированы блочно-модульные насосные станции, например БМПНС-12,5, что означает блочно-модульная промежуточная насосная станция с пропускной способностью 12,5 тыс. м³/ч. Из компрессорных станций наиболее перспективными являются блочно-комплектные станции, оборудованные ГПА с приводом от: стационарных газотурбинных установок ГТН-25 и ГТН-16; авиационных газовых турбин ГПА-Ц-16 и ГПА-Ц-6,3; судовых газовых турбин ГПУ-10, а также с электроприводом СТД-12500. Требованиям индустриализации строительства в наибольшей степени отвечают компрессорные станции, оснащенные газоперекачивающими агрегатами с приводом от авиационных газовых турбин ГПА-Ц-16 (см. табл. 4).

Дальнейшее развитие блочно-комплектных насосных и компрессорных станций — применение блочно-модульных устройств (БМУ), которые представляют собой модуль, содержащий оборудование одного назначения. Для примера БМУ компрессорной станции можно привести модуль, состоящий из газоперекачивающего агрегата, аппарата по очистке газа от пыли и обвязочных трубопроводов. Блочно-модульные устройства используют при проектировании насосных станций. На практике широко применяют блочно-модульную промежуточную насосную станцию БМПНС-12,5, в состав которой входят два модуля. Первый модуль — здание, составленное из боксов, в котором размещено оборудование одного назначения: энергетическое, связи, КИП и А, телемеханики и системы водоснабжения. Второй модуль — такое же здание, в котором размещены объекты обслуживания насосной станции: мастерские, склад оборудования и помещение для обогрева вахтенного персонала. Применение подобных модулей позволяет уменьшить площадь насосной или компрессорной станции и протяженность обвязочных трубопроводов, снизить стоимость станции. Значительному уменьшению площади насосной или компрессорной станции способствует применение сотовой компоновки боксов с размещенным в них оборудованием (блок-боксов и блок-контейнеров). При сотовой компоновке блок-боксов и блок-контейнеров боксы стыкуют по длинным или коротким сторонам в один или два ряда при одно- и двухэтажном их расположении.

Большое значение придают унифицированию генеральных планов (генпланов) насосных и компрессорных станций. Широко применяют зонирование генпланов. При этом всю площадь насосной или компрессорной станции делят на две зоны: производственную и служебно-вспомогательного комплекса. В первой зоне размещают перекачивающие агрегаты и оборудование, непосредственно связанное с транспортом нефти или газа (например, установки для очистки и охлаждения газа на компрессорных станциях, оборудование по непосредственному обслуживанию

насосного цеха); во второй зоне — объекты, обслуживающие в целом насосную или компрессорную станцию (водопроводные сооружения, сооружения канализации, склады, стоянки автомашин, столовую, служебно-эксплуатационный и ремонтный блоки и др.). Производственную зону располагают со стороны магистрального трубопровода, а зону служебно-вспомогательного комплекса — со стороны подъездной автодороги.

При проектировании насосных и компрессорных станций широко используют принцип блокировки. Для компрессорной станции этот принцип выглядит следующим образом. Производственные службы, обеспечивающие управление и энергоснабжение (операторная, аппаратная, комплектная трансформаторная подстанция — КТП с щитовой, закрытое распределительное устройство — ЗРУ, аккумуляторная и др.), сблокированы в одном здании, которое называют производственно-энергетическим бло-

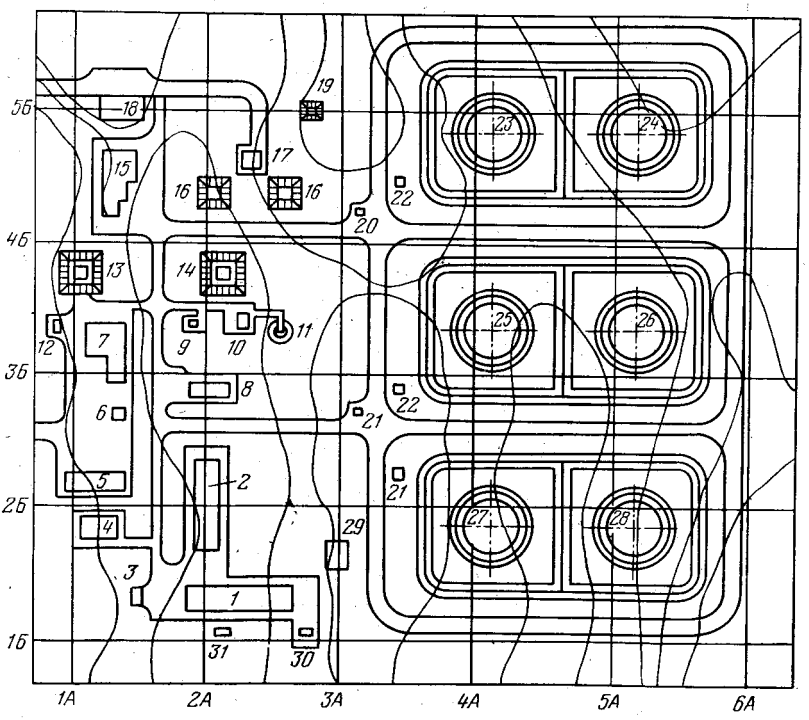


Рис. 4. Генеральный план головной насосной станции [7]:

1 — основной насосный цех; *2* — подпорная насосная; *3* — склад горюче-смазочных материалов; *4* — закрытое распределительное устройство (ЗРУ); *5* — санпропускник; *6* — мастерская ремонта средств связи; *7* — корпус вспомогательных и подсобных помещений; *8* — склад с навесом; *9* — склад пенообразователя; *10* — котельная; *11* — станция перекачки конденсата; *12* — автозаправочная; *13, 14, 19* — резервуары чистой воды; *15* — служебно-эксплуатационный и ремонтный блок (СЭРБ); *16* — резервуары противопожарного запаса воды; *17* — водонасосная; *18* — служебный корпус с узлом связи; *20, 21* — щитовые при резервуарах; *22* — приямки с задвижками; *23—28* — резервуары для нефти и нефтепродуктов; *29* — площадка фильтров; *30* — градирня; *31* — резервуар сбора утечек

ком (ПЭБ). В другом здании — служебно-эксплуатационном и ремонтном блоке (СЭРБ) — размещают такие вспомогательные службы, как ремонтно-механические мастерские, гараж, узел связи, лаборатории химическую и КИП и А, административно-бытовые помещения. Применяют также блокировку технологического оборудования. Например, на компрессорной станции монтируют одну групповую (централизованную) установку по очистке газа и одну установку по охлаждению газа.

Рассмотрим состав сооружений и принцип работы насосных и компрессорных станций. Для этого воспользуемся генпланами (рис. 4) и технологическими схемами (рис. 5). Головная насосная станция магистрального нефте- или нефтепродуктопровода предназначена для приема нефти от нефтяных промыслов или нефтепродукта — от нефтеперерабатывающего завода и подачи необходимых объемов нефти или нефтепродукта в магистральный трубопровод с давлением до 6,4 МПа. Основные объекты головной насосной станции — основной насосный цех, цех подпорных насосов, резервуарный парк для нефти или нефтепродуктов, площадки расходомеров и фильтров-грязеуловителей, установка откачки и сбора утечек нефти или нефтепродукта, предохранительные устройства, узел подключения насосной станции к магистральному трубопроводу с камерой пуска очистных устройств (скребков) и разделителей. В состав головной насосной станции входят системы водоснабжения, канализации, энергоснабжения, технологической связи и административно-хозяйственные здания. Питание электроэнергией

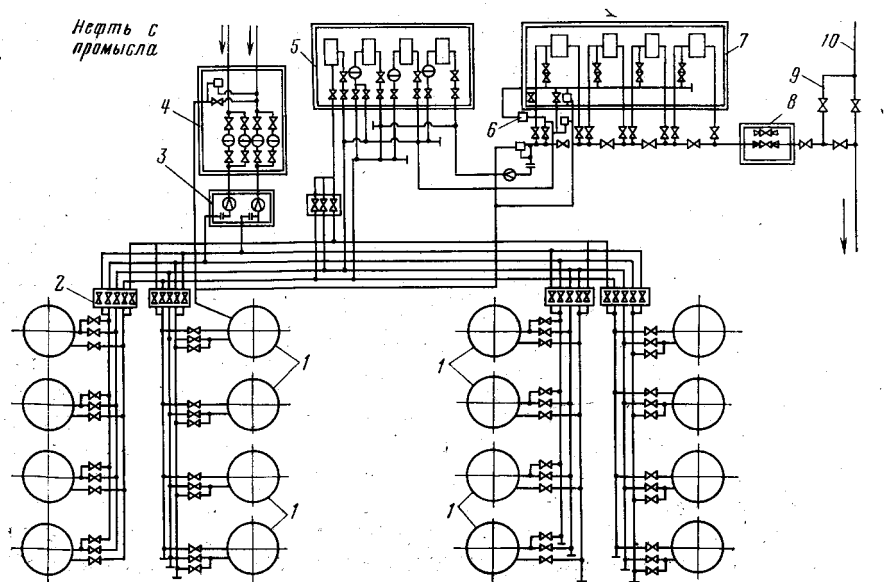


Рис. 5. Технологическая схема головной насосной станции [7]

электродвигателей насосных агрегатов осуществляется от трансформаторной подстанции на напряжение 110/6 или 110/10 кВ.

Нефть с нефтепромысла или нефтепродукт с нефтеперерабатывающего завода под определенным давлением через предохранительные устройства поступает на площадку фильтров-грязеуловителей *4* и затем в камеру расходомеров *3* (см. рис. 5). Из расходомеров нефть или нефтепродукт поступает в камеру переключения резервуаров *2* и затем по трубопроводной обвязке направляется в резервуары *1*. Трубопроводная обвязка позволяет обеспечить закачку нефти или нефтепродукта в любой резервуар и откачку из него. Из резервуаров нефть или нефтепродукт откачивают подпорными насосами *5* и через расходомеры подают на прием насосов основного насосного цеха *7*. Подпорные насосы — центробежные насосы, предназначенные для подачи нефти или нефтепродукта к основным и создания во всасывающих трубопроводах постоянного давления всасывания (подпора), примерно равного 0,2—1 МПа. Подпор на всасывающем трубопроводе основных насосов необходим во избежание возникновения опасного явления кавитации и для обеспечения бескавитационных режимов их работы. Всасывание нефти или нефтепродукта подпорными насосами из резервуаров и бескавитационный режим работы горизонтальных насосов обеспечиваются расположением подпорной насосной на отметке ниже нулевой. Из основного насосного цеха нефть или нефтепродукт через камеру регулирующих клапанов *8*, а при необходимости через камеру пуска скребков или разделителей *9* поступает в магистральный нефтепровод или нефтепродуктопровод *10*. Охлаждение масла системы смазки насосных агрегатов осуществляют в специальных установках *6*.

Резервуарный парк на головной насосной станции играет важную роль в обеспечении ее бесперебойной работы. Он предназначен для создания определенного резерва нефти или нефтепродукта, позволяющего непрерывно подавать их в магистральный трубопровод при временных перерывах в поступлении нефти с нефтяных промыслов или нефтепродукта с нефтеперерабатывающего завода. При проектировании головных насосных станций вместимость резервуарного парка обычно принимают равной трехкратному объему суточной перекачки. Например, если пропускная способность магистрального трубопровода составляет 100 тыс. т/сут, то вместимость резервуарного парка в зависимости от плотности нефти или нефтепродукта составит примерно 330—430 тыс. м^3. Резервуарные парки насосных станций обычно комплектуют вертикальными стальными цилиндрическими резервуарами вместимостью 5, 10, 15, 20 тыс. м^3. В ближней перспективе намечено использовать резервуары вместимостью 50 и 100 тыс. м^3. На территории резервуарного парка резервуары размещают отдельными группами. Число резервуаров в каждой группе определяется как вместимостью отдельного резервуара, так и допустимой вместимостью всей группы резервуаров по

Таблица 7. Допустимая вместимость отдельных групп резервуаров по СНиП II-106—79 «Склады нефти и нефтепродуктов. Нормы проектирования»

Резервуар	Вместимость одного резервуара, тыс. м³	Допустимая общая вместимость одной группы резервуаров, тыс. м³
С плавающей крышей	50 и более	200
С понтоном	Менее 50	120
Со стационарной крышей при температуре вспышки хранимой нефти или нефтепродукта, °С:		
выше 45	Не регламентируется	120
45 и ниже		80

действующим нормам проектирования (табл. 7). Каждую группу резервуаров по внешнему контуру защищают сплошным земляным валом или стенкой из железобетонных плит. При последовательной перекачке по одному магистральному нефтепродуктопроводу нескольких видов нефтепродуктов общая вместимость резервуарного парка головной насосной станции определяется цикличностью перекачки и графиком поступления различных нефтепродуктов от нефтеперерабатывающего завода.

Промежуточные насосные станции имеют практически такой же состав сооружений и такую же схему работы как и головные насосные станции. Однако промежуточные насосные станции имеют две отличительные особенности. Во-первых, промежуточные насосные станции имеют резервуарный парк значительно меньшей вместимости (обычно не более 20 тыс. м³ или два-четыре резервуара вместимостью по 5—10 тыс. м³.) Однако когда промежуточная насосная станция является узловой, т. е. пунктом разветвления различных нефте- или нефтепродуктопроводов, или вблизи станции имеется пункт налива нефти или нефтепродуктов, общий объем резервуарного парка может быть значительно больше указанного и приближаться к общему объему резервуарного парка головной насосной станции. При проектировании новых промежуточных насосных станций сооружение на них резервуарных парков вообще не предусматривают, а перекачку нефти или нефтепродуктов проводят по схеме «из насоса в насос». Во-вторых, на промежуточных насосных станциях узел подключения их к магистральному трубопроводу позволяет при необходимости отключать станцию и проводить перекачку, минуя ее. Узел подключения промежуточной насосной станции к магистральному трубопроводу имеет камеру не только пуска, но и приема скребков или разделителей.

Каждый насосный агрегат насосной станции устанавливают на собственном фундаменте. При этом расположение агрегатов должно обеспечить свободный доступ к ним для проведения обслуживания и ремонта. В связи с этим расстояние между аг-

регатами должно быть не менее 1,2 м при электродвигателях высокого напряжения и не менее 1 м при электродвигателях низкого напряжения, а расстояние между выступающими частями — не менее 0,7 м.

Головную компрессорную станцию, находящуюся в начале магистрального газопровода, обычно сооружают в непосредственной близости от установок по комплексной подготовке газа газовых месторождений. Поэтому на головную компрессорную станцию газ поступает практически полностью подготовленным к дальнему трубопроводному транспорту. В связи с этим на самой компрессорной станции подготовка газа перед подачей в магистральный трубопровод значительно упрощается. Поступающий на голювную компрессорную станцию газ очищают от пыли и механических примесей. В результате компримирования в компрессорном цехе температура газа повышается до 50—80 °С. При удалении газа по магистральному трубопроводу от компрессорной станции температура его снижается. При этом в металле трубопровода возникают достаточно большие температурные напряжения, нарушающие нормальную работу трубопровода и приводящие в ряде случаев к выпучиванию его отдельных участков, вблизи компрессорной станции. Кроме того, при повышении температуры газа снижается пропускная способность газопровода. В связи с этим после компримирования газ охлаждают в специальных аппаратах до температуры примерно 5—15 °С (особенно в летнее время). Таким образом, задачи головной компрессорной станции сводятся к приему газа от установок комплексной подготовки, очистке его от механических примесей, компримированию до необходимого давления, охлаждению газа и подаче его в магистральный газопровод.

Промежуточные компрессорные станции предназначены для поддержания режимов транспортировки газа по всему магистральному газопроводу. Состав сооружений на них аналогичен составу сооружений на головных компрессорных станциях. На промежуточных компрессорных станциях может быть несколько меньший объем установок по подготовке газа. Кроме того, предусмотрены отключение промежуточных компрессорных станций и транспортировка газа по газопроводу, минуя эти станции.

Основа головной компрессорной станции — компрессорный цех с газоперекачивающими агрегатами, которые состоят из центробежного нагнетателя (одно- или двухступенчатого) и привода (газотурбинной установки или электродвигателя). Газоперекачивающие агрегаты размещают в индивидуальных зданиях (рис. 6), общих зданиях для всех агрегатов (рис. 7) и в блок-контейнерах (для агрегатов с приводом от авиационных газовых турбин). Поступающий газ очищают в аппаратах по очистке от пыли и механических примесей, в качестве которых применяют вертикальные масляные и циклонные сепараторы-пылеуловители. Используют также установки с двухступенча-

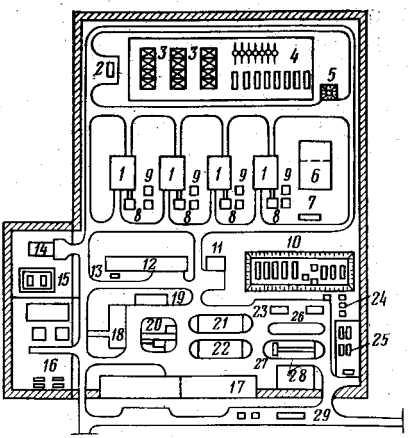


Рис. 6. Генеральный план блочно-комплектной головной компрессорной станции с газоперекачивающими агрегатами ГНТ-25 с газотурбинным приводом:

1 — газоперекачивающий агрегат ГНТ-25 в индивидуальном здании; *2* — комплектная трансформаторная подстанция (КТП) АВО газа; *3* — установка охлаждения газа; *4* — установка очистки газа от пыли; *5* — емкость для сбора конденсата; *6* — установка подготовки топливного, пускового, импульсного газа и газа для собственных нужд; *7* — блок-бокс очистки масел; *8* — комплексное очистное устройство; *9* — АВО антифриза; *10* — склад горюче-смазочных материалов; *11* — блок маслохозяйства; *12* — производственно-энергетический блок (ПЭБ); *13* — резервуар пенного пожаротушения; *14* — водопроводные сооружения; *15* — резервуары противопожарного запаса воды; *16* — подстанция напряжения 110/6 кВ; *17* — СЭРБ; *18* — столовая; *19* — вспомогательное здание столовой; *20* — отапливаемый склад; *21* — склад материалов; *22* — стеллаж для труб; *23* — блок-бокс складского назначения; *24* — установка подогрева грузовых автомобилей; *25* — склад метанола; *26* — топливораздаточная; *27* — открытая стоянка для автомобилей; *28* — открытая стоянка машин и тяжелой техники; *29* — мойка для автомашины с очистными сооружениями

той очисткой газа, состоящие из вертикальных пылеуловителей и горизонтальных фильтров тонкой очистки. Компримированный газ охлаждают в аппаратах воздушного охлаждения газа (АВО газа).

На головных компрессорных станциях, оснащенных ГПА с приводом от газовых турбин, в качестве топлива последних применяют природный (топливный) газ из магистрального га-

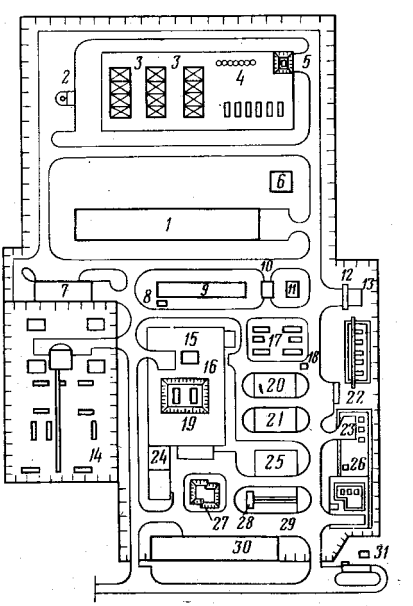


Рис. 7. Генеральный план головной компрессорной станции с газоперекачивающими агрегатами СТД-12500:

1 — газоперекачивающие агрегаты СТД-12500 в общем здании компрессорного цеха; *2* — КТП АВО газа; *3* — установка охлаждения газа; *4* — установка очистки газа от пыли; *5* — емкость для сбора конденсата; *6* — установка подготовки импульсного газа; *7* — ЗРУ; *8* — резервуар пенного пожаротушения; *9* — ПЭБ; *10* — КТП АВО газа; *11* — насосная вода и антифриза; *12* — блок маслохозяйства; *13* — склад горюче-смазочных материалов; *14* — подстанция напряжением 110/6 кВ; *15* — водопроводные сооружения; *16* — резервуары противопожарного запаса воды; *17* — установка охлаждения газа; *18* — блок-бокс складского назначения; *19* — вспомогательное здание столовой; *20* — склад материалов; *21* — стеллажи для труб; *22* — топливораздаточная; *23* — очистные сооружения хозяйственно-бытовой канализации; *24* — столовая; *25* — открытая стоянка для автомобилей и тяжелой техники; *26* — мойка для автомашин с очистными сооружениями; *27* — отапливаемый склад; *28* — установка для подогрева грузовых автомобилей горячим воздухом; *29* — открытая стоянка для автомобилей; *30* — СЭРБ; *31* — склад метанола

зопровода. Перед подачей в газовые турбины его очищают от пыли, механических примесей и влаги в специальной установке подготовки топливного, пускового и импульсного газа. Пусковой газ — газ, используемый для запуска газовой турбины, импульсный газ — газ, применяемый в системе КИП и А и системах управления компрессорной станцией. Нормальную работу газоперекачивающих установок обеспечивают системы смазки, уплотнения нагнетателей и управления. Во всех этих системах используют турбинное масло. Системы смазки, уплотнения и управления обслуживают с помощью оборудования, сосредоточенного в блоке маслохозяйства. Производственные службы, обеспечивающие управление и энергоснабжение головной компрессорной станции с газотурбинным приводом (операторная, КТП, ЗРУ, аккумуляторная и др.), размещают в производственно-энергетическом блоке. На компрессорной станции с электроприводом ЗРУ и КТП располагают в отдельных блоках. Рассмотренные объекты головной компрессорной станции входят в производственную зону. В состав компрессорной станции также входит служебно-производственная зона, важным объектом которой являются служебно-эксплуатационный и ремонтный блок. В этом блоке размещают различные вспомогательные службы, обеспечивающие нормальную работу компрессорной станции: ремонтно-механические мастерские, гараж, узел связи, лаборатории, административно-бытовые помещения. В служебно-производственной зоне расположены также водопроводные сооружения, резервуары противопожарного запаса воды, подстанция, различные склады и стеллажи, очистные сооружения хозяйственно-бытовой канализации и др.

Отличительная особенность компрессорной станции с электроприводом — наличие в ее составе мощных энергетических подстанций напряжением 110/6 кВ, предназначенных для питания электродвигателей газоперекачивающих агрегатов.

Компрессорная станция работает следующим образом. Газ от установок комплексной подготовки газа на головных станциях или магистрального газопровода на промежуточных станциях через узел подключения *1* поступает в установку очистки его от пыли и механических примесей *6* (рис. 8). В состав этой установки обычно входит шесть вертикальных аппаратов-пылеуловителей. Исключение составляет установка компрессорной станции, оборудованной газоперекачивающими агрегатами с приводом от авиационных газовых турбин ГПА-6,3, в состав которой входят пять аппаратов. Из установки очистки газ по всасывающему коллектору поступает в нагнетатели газоперекачивающих агрегатов *3*, а после компримирования — на установку охлаждения газа *2*. Эта установка состоит из 14 АВО газа 2АВГ-75. Исключение составляют установки компрессорных станций с агрегатами ГПА-Ц-6,3 и ГТН-6, в состав которых входят соответственно десять и семь АВО газа. После установки охлаждения газ под давлением до 7,5 МПа через узел подклю-

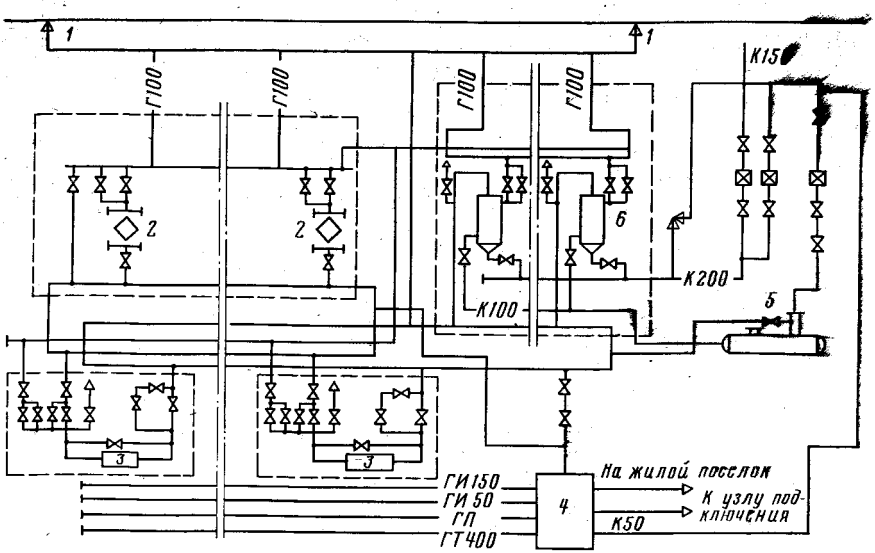


Рис. 8. Технологическая схема головной компрессорной станции

чения поступает в магистральный газопровод. Часть газа, поступающего на компрессорную станцию, используют для собственных нужд (топливный, пусковой, импульсный газ), его отбирают от всасывающего коллектора и направляют на установку подготовки топливного, пускового и импульсного газа *4*. Перед установкой *4* газ предварительно редуцируется для снижения давления. На этой установке топливный, пусковой и импульсный газ очищают от пыли и капельной влаги. Подготовленный топливный газ под давлением от 0,9 до 2,5 МПа поступает в камеры сгорания газовых турбин. Подготовленный пусковой газ под давлением от 0,3 до 2,5 МПа (в зависимости от типа агрегата) направляют в пусковые турбины, а подготовленный импульсный газ — в системы контроля и управления. В состав компрессорной станции входит также вспомогательная система сбора жидкостей (конденсата) и механических примесей, предназначенная для удаления конденсата и механических примесей из аппаратов очистки газа и установки подготовки топливного, пускового и импульсного газа *5*. Эта система состоит из дренажных коллекторов, емкости для сбора конденсата и системы автоматического и ручного сброса конденсата из аппаратов очистки газа и подготовки топливного, пускового и импульсного газа. Газоперекачивающие агрегаты и технологическое оборудование компрессорной станции имеют трубопроводную обвязку: Г — для транспортируемого (технологического) газа; ГП — для пускового газа; ГТ — для топливного газа; ГИ — для импульсного газа; К — трубопроводы для сбора конденсата.

Цифры после буквенного обозначения показывают диаметр труб обвязки. Система обвязки совместно с кранами обеспечивает подключение газоперекачивающих агрегатов по принятой схеме, отключение от коллекторов одного из агрегатов и включение резервного агрегата.

Принципиальная технологическая схема компрессорной станции с электроприводом аналогична схеме компрессорной станции, оснащенной газоперекачивающими агрегатами с газотурбинным приводом, только в ней отсутствуют установка для подготовки топливного газа и трубопроводы для его подачи.

5. БОКСЫ ДЛЯ БЛОЧНО-КОМПЛЕКТНЫХ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Боксы на площадках насосных и компрессорных станций используют для различных целей: для размещения перекачивающих агрегатов, основного и вспомогательного технологического оборудования; для размещения оборудования систем водоснабжения, канализации, энергоснабжения, связи, КИП и А и телемеханики; для размещения и работы обслуживающего персонала. Боксы вместе с установленным в них оборудованием транспортируют на большие расстояния (до 1000 км и более) различным транспортом с многократными погрузочно-разгрузочными операциями и в разнообразных дорожно-транспортных условиях. В связи с этим к конструкциям боксов предъявляются следующие требования:

достаточная прочность каркаса боксов, рассчитанная не только на эксплуатационные, но и на транспортные нагрузки;

вписывание поперечных габаритов и длины бокса в габариты погрузки и предельно установленные длины грузов;

достаточно хорошие теплоизоляционные свойства ограждающих конструкций, обеспечивающие необходимый микроклимат внутреннего пространства бокса;

возможность трансформации бокса, т. е. увеличения объема за счет увеличения высоты после погрузки с транспортного устройства и установки на фундамент;

возможность стыковки боксов по длинным и коротким сторонам для монтажа зданий путем сотовой компоновки.

Бокс можно рассматривать как транспортабельное каркасное индивидуальное здание. Бокс состоит из основания и несущего пространственного каркаса, на котором закрепляют ограждающие конструкции — стеновые панели и плиты покрытия. Основание представляет собой сварную раму из стального проката — швеллера. Верхняя и нижняя плоскости рамы — стальные листы. Внутренняя полость рамы заполнена теплоизоляционным материалом (обычно полужесткие минераловатные плиты). Несущий каркас стальной из проката.

Первые боксы появились на объектах нефтяной и газовой промышленности в конце 60-х начале 70-х годов. Затем в сере-

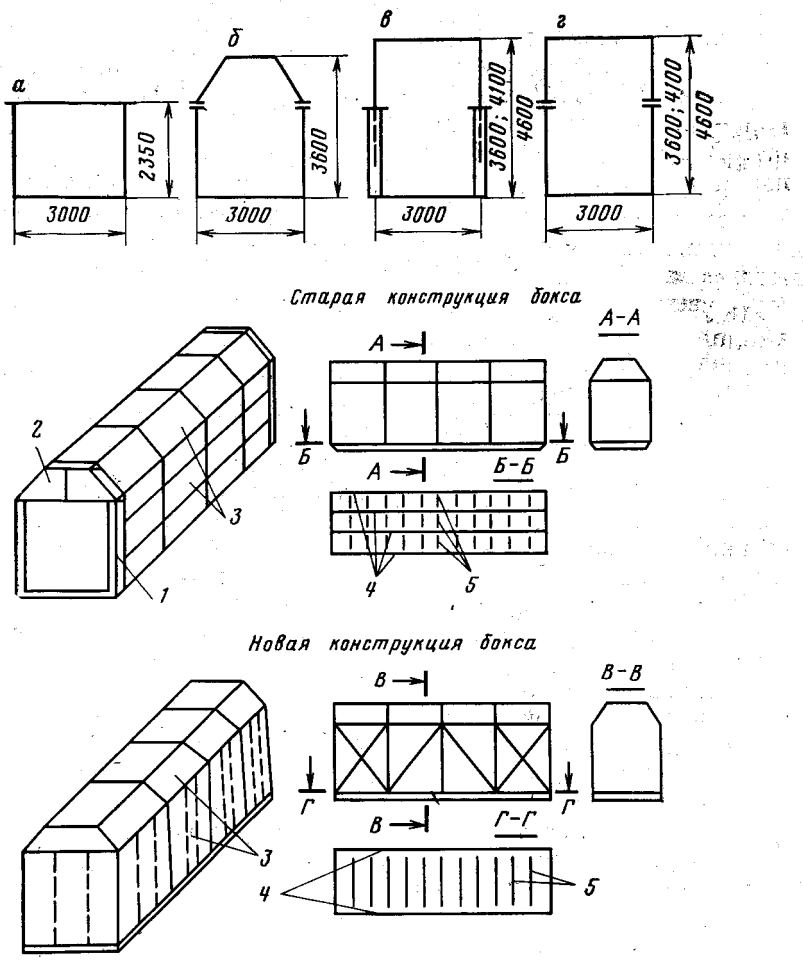


Рис. 9. Боксы для наземного комплектно-блочного метода строительства (разработчик СибНИПИнефтегазстрой):

а — бокс типа I серии БЖ; *б* — бокс типа II серии БЗ; *в* — бокс типа III серии БИ; *г* — бокс типа IV серии «колпак»; *1* — угловые панели; *2* — торцевые панели; *3* — стеновые и кровельные панели; *4* — продольные балки; *5* — поперечные балки

дине 70-х годов было выпущено второе поколение боксов. Выпускает боксы объединение «Сибкомплектмонтаж». Проектными организациями Миннефтегазстроя (СибНИПИнефтегазстрой и ЭКБ по железобетону) разработаны боксы третьего поколения, в которых были учтены и исправлены недостатки боксов, находящихся в эксплуатации. В СибНИПИнефтегазстрое (г. Тюмень) разработаны четыре типа боксов из унифицированных элементов (рис. 9) [21, 22]: бокс типа I серии БЖ (бокс жилой) пониженной высоты (2530 мм), бокс типа II серии БЗ (бокс за-

водской) с габаритами, максимально приближенными к железнодорожным габаритам погрузки, бокс типа III серии БИ (бокс изменяемый) трансформируемого типа. Несущие вертикальные стойки каркаса у этих типов боксов телескопической конструкции. В транспортном положении подвижные стойки вдвинуты в неподвижные стойки до упора. После доставки на строительную площадку и установки на фундамент бокса типа III его высота за счет выдвижения вертикальных стоек каркаса может быть увеличена до 3600, 4100 или 4600 мм. Боксы типа IV серии «колпак» предназначены для размещения технологического оборудования шириной до 3 м, но высотой более 2400 мм, т. е. выходящего за пределы прямоугольной части железнодорожного габарита погрузки. В то же время верхняя отметка габарита оборудования вписывается в габариты погрузки. Оборудование устанавливают в бокс без установки верхнего колпака. Верхнюю часть оборудования при транспортировке защищают временным укрытием. Покрытие бокса («колпак») транспортируют отдельно, а монтируют его на строительной площадке после установки бокса на фундамент. Высота бокса типа IV, так же как и для бокса типа III, может быть 3600, 4100 и 4600 мм.

В конструкцию основания и каркаса, а также в характер разрезки ограждающих конструкций (панелей) новых типов боксов внесены изменения. Так, в раме основания запроектированы лишь поперечные балки, что снижает потери тепла через основание. Основной каркас боксов рассчитан только на эксплуатационные нагрузки, а на период транспортировки его усиливают специальными «транспортными» связями. Эти связи устанавливают при изготовлении боксов и снимают после установки боксов на фундамент. Вместо горизонтальной разрезки стеновых панелей в конструкции новых боксов принята вертикальная разрезка с объединением трех панелей в одну картину с общей наружной обшивкой. Уменьшено также число кровельных панелей. Все это позволило по сравнению с эксплуатируемыми боксами Б12А снизить трудоемкость изготовления, металлоемкость и потери тепла и в конечном итоге повысить эффективность применения боксов (табл. 8).

Таблица 8. Технико-экономические показатели боксов Б12А и типа II серии БЗ [21]

Элементы	Расход металла, кг		Трудоемкость изготовления, чел.-ч		Потери тепла, Вт	
	Б12А	тип II	Б12А	тип II	Б12А	тип II
Основание	4046	2640	95	24	1170	710
Каркас	2096	970	85	77	—	—
Стеновое и кровельное ограждения	652	273	654	551	6150	2960

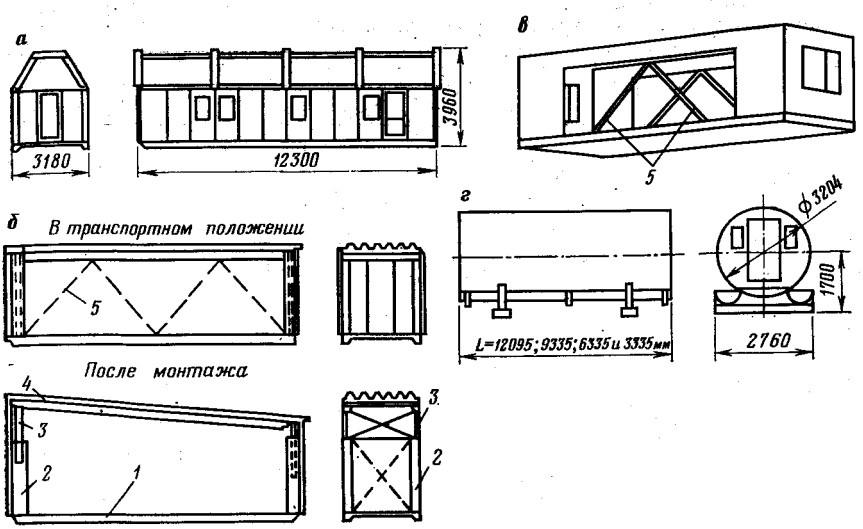


Рис. 10. Боксы для наземного комплектно-блочного метода строительства (разработчик ЭКБ по железобетону):
а — бокс серии УБ; *б* — бокс серии БИВ; *в* — бокс серии ВЖК; *г* — бокс серии ЦТБ; *1* — основание бокса; *2* — неподвижная стойка; *3* — подвижная стойка; *4* — кровля; *5* — временные транспортные связи

Боксы описанных выше четырех типов предназначены для строительства в условиях Западной Сибири. Для строительства в центральных районах ЭКБ по железобетону также разработало унифицированные боксы, конструкция которых аналогична конструкции вышеописанных боксов, но имеет некоторые свои особенности. Разработаны боксы следующих серий: УБ (универсальный бокс), БИВ (боксы изменяемой высоты), ВЖК (вахтовый жилой комплекс), ЦТБ (цилиндрический технологический бокс) (рис. 10) [5, 10]. Бокс серии УБ — бокс с поперечными размерами и внешним контуром, максимально приближенными к габаритам погрузки. В основном его используют в качестве индивидуального бокса. Бокс серии БИВ в транспортном положении имеет плоскую кровлю при высоте 3000 мм. После установки бокса на фундамент его высоту увеличивают на одном конце до 4600 мм, а на противоположном — до 3400 мм за счет подъема и закрепления подвижных вертикальных стоек каркаса. При этом у бокса получается односкатная кровля с уклоном 1 : 10. Боксы серии БИВ можно стыковать по длинной стороне с образованием одноэтажного здания. Бокс серии ВЖК — это бокс постоянной высоты с неполностью закрытыми стенками по длинной стороне. Боксы серии ВЖК так же как и боксы серии БИВ предназначены для сборки из них путем стыковки производственных, административных и служебных зданий. Бокс серии ЦТБ представляет собой цилиндрическую оболочку с каркасом, внутри которой размещают оборудование. Диаметр

Таблица 9. Технико-экономическая характеристика боксов

Показатели	Бокс серий			
	УБ	БИВ	ВЖК	ЦТБ
Габариты, мм:				
длина	12 264	12 272	12 210	12 095
ширина	3180	3150	2905	Диаметр 3204
высота	3960	4620	2883	3362
Площадь помещения, $м^2$	34,6	35,7	31,6	27,98
Объем, $м^3$	110	140	77,4	67,15
Расход металла:				
общий, т	5,6	6,0	2,8	3,9
на 1 $м^2$, $т/м^2$	0,16	0,16	0,08	0,13
на 1 $м^3$, $т/м^3$	0,05	0,04	0,03	0,05
Сметная стоимость, тыс. руб.	6,55	5,2	8,1	3,25
Трудоемкость общая, чел.-дней	94,7	77,7	116,3	47,6
В том числе на площадке, чел.-дней	4,0	12,0	4,0	3,6
Масса, т	9,7	7,6	7,2	7,6

бокса 3204 мм, а длина $L=12\,095$, 9335 и 3335 мм. Для боксов этой серии характерны высокая технологичность изготовления, повышенная жесткость и хорошие аэродинамические свойства при действии ветровой нагрузки, что особенно важно для северных районов (табл. 9).

Глава 3

Оборудование насосных и компрессорных станций магистральных трубопроводов

6. ОСНОВНОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Главное технологическое оборудование насосных станций — перекачивающие (насосные) агрегаты, обеспечивающие выполнение главной функции насосной станции — транспортировку нефти или нефтепродукта по магистральному трубопроводу. Насосный агрегат состоит из центробежного насоса и привода, соединенных между собой с помощью зубчатых муфт. Насосы насосного агрегата — центробежные низконапорные одноступенчатые. Каждый такой насос создает напор от 195 до 550 м столба транспортируемой жидкости, обеспечивая при этом подачу соответственно от 12 500 до 125 $м^3/ч$.

Насосы, применяемые для транспортировки нефти или нефтепродукта по магистральным трубопроводам, называются магистральными. Такие насосы состоят из литого разъемного корпуса; рабочего колеса, насаженного на вал; направляющего аппарата; вала; подшипников и уплотняющих устройств. Важнейшая часть насосов — рабочее колесо. В магистральных насосах используют рабочее колесо закрытого типа с двухсторонним входом жидкости. Такое колесо состоит из двух наружных дисков и одного внутреннего диска с втулкой, надеваемой на вал (ротор) насоса. Между наружными и внутренним дисками расположены спиральные рабочие лопасти. Рабочее колесо выполняют литым из стали. Диаметр рабочего колеса у магистрального насоса с максимальной подачей 10 000 $м^3/ч$ равен 495 мм. При двухстороннем подводе жидкости к рабочему колесу создается более устойчивое давление и компенсируется осевая нагрузка. Рабочее колесо размещено в стальном корпусе с осевым разъемом. Кроме того, в корпусе находятся подводящие и отводящие устройства, направляющий аппарат, подшипники с лабиринтными уплотнениями. Если подводящий (всасывающий) трубопровод и внутреннее пространство корпуса заполнено жидкостью, то при вращении рабочего колеса жидкость, находящаяся в его внутреннем пространстве (между лопастями), под действием центробежной силы будет отбрасываться на внешнюю поверхность колеса. Благодаря этому на внешней поверхности рабочего колеса создается избыточное давление, а в нижней части внутреннего пространства между лопатками.— наоборот, пониженное давление. Избыточное давление перемещает жидкость в отводящий (нагнетательный) трубопровод. Понижение давления способствует одновременному поступлению жидкости из подводящего (всасывающего) трубопровода во внутреннее пространство рабочего колеса. Таким образом и осуществляются поступление жидкости в насос и ее выход из насоса под повышенным давлением.

Нормальная работа центробежного насоса может быть обеспечена при определенных так называемых бескавитационных режимах. Нормальная работа сохраняется только в случае, если давление во всех точках его внутренней полости будет превышать давление насыщенных паров перекачиваемой жидкости при данной температуре. Это давление носит название критического $p_{кр}$. Если же давление во внутренней полости насоса будет меньше критического, то тогда возможно образование паров жидкости и наступление так называемой кавитации. При кавитации за счет образования большого числа пузырьков, заполненных парáми жидкости, происходит нарушение сплошности потока. При попадании кавитационных пузырьков в область, где давление жидкости больше критического (например, на поверхность лопаток рабочего колеса), они разрушаются и при этом происходят гидравлические удары в микроскопических зонах. Это приводит к местным разрушениям металла рабочего

Таблица 10. Технико-экономическая характеристика магистральных насосов типа НМ

Показатели	НМ 125-550	НМ 180-500	НМ 360-460	НМ 250-475	НМ 500-300	НМ 710-280	НМ 1250-260
Подача, м³/ч	125	180	360	250	500	710	1250
Напор, м	550	500	460	475	300	280	260
Диаметр рабочего колеса, мм	—	—	300	—	300	—	440
Допустимый кавитационный запас при работе на воде, м	4	5	2,6	6	3	14	20
К. п. д. насоса при работе на воде, %	68	70	80	72	81	83	80
Мощность насоса при работе на нефти, кВт	—	—	483	—	435	—	960
Электродвигатель	«Украина» 11-3/2	—	АЗП-360	—	АЗП-360	—	СТД-1250-2
Мощность электродвигателя, кВт	320	—	—	630	500	—	1250
Масса, кг							
насоса	—	—	—	3240	3060	—	2635
агрегата	—	—	—	8272	7510	—	10 342

Продолжение

Показатели	НМ 2500-230	НМ 3600-230	НМ 5000-210	НМ 7000-210	НМ 10 000-210	НМ 12 500-195
Подача, м³/ч	2500	3600	5000	7000	10 000	12 500
Напор, м	230	230	210	210	210	195
Диаметр рабочего колеса, мм	430	450	450	475/455	495	—
Допустимый кавитационный запас при работе на воде, м	32	40	42	52	65	90
К. п. д. насоса при работе на воде, %	86	87	88	89	87	—
Мощность насоса при работе на нефти, кВт	1570	2230	2800	3870	5540	—
Электродвигатель	СТД-2000-2	СТД-2500-2	СТД-3200-2	СТД-5000-2	СТД-6300-2	СТД-8000-2
Мощность электродвигателя, кВт	2000	2500	3200	5000	6300	8000
Масса, кг						
насоса	4657	5112	4870	6300	8760	—
агрегата	13 024	15 620	17 906	22 320	29 400	—

колеса. Возникновение кавитации зависит от многих причин (материала и наличия покрытия на поверхности рабочего колеса, режимов перекачки). Наибольшее значение имеет соблюдение так называемых бескавитационных режимов работы насоса, при которых давление на входе насоса $p_{вс}$ должно быть больше критического давления, т. е. давления насыщенных паров перекачиваемой жидкости. В паспорте каждого насоса указывают допустимый кавитационный запас $\Delta h_{кр}$ (табл. 10). Например, для насоса НМ 10000-210 $\Delta h_{кр}=65$ м (водяного столба) или $p_{кр}=0{,}65$ МПа. Это значит, что бескавитационный режим работы данного насоса может быть обеспечен только в случае, если давление во входном (всасывающем) патрубке будет не меньше 0,65 МПа. Для обеспечения бескавитационных режимов работы магистральных насосов на головных насосных станциях устанавливают специальные подпорные насосы, которые откачивают нефть или нефтепродукт из резервуаров и подают ее под нужным давлением на всасывающие патрубки магистральных насосов. На промежуточную насосную станцию нефть или нефтепродукт поступает на всасывающие патрубки от предыдущей станции под давлением, превышающим допустимый кавитационный запас.

Так как одноступенчатые магистральные насосы относятся к низконапорным, то для обеспечения в трубопроводе необходимого рабочего давления на насосных станциях устанавливают три последовательно соединенных насоса и один (четвертый) резервный насос. Марки магистральных насосов обозначают следующим образом: НМ 1250-260, НМ 2500-230, НМ 3600-230, НМ 5000-210, НМ 7000-210, НМ 10000-210, НМ 12500-195. Расшифровка марок насосов следующая: НМ — насос магистральный: первое число (12 500, 2500, 3600 и т. д.) — подача насоса (в $м^3/ч$); второе число (260, 230, 210 и т. д.) —напор, создаваемый насосом (в метрах столба перекачиваемой жидкости).

В качестве подпорных насосов используют горизонтальные одноступенчатые низконапорные центробежные насосы с подачей до 5000 $м^3/ч$ при напоре до 115 м столба перекачиваемой жидкости (примерно до 1,1 МПа). Обозначение марок подпорных насосов аналогично маркам магистральных насосов НМП 5000-115, НМП 3600-78, НМП 2500-74. В этом случае НМП — насос магистральный подпорный; первое число — подача (в $м^3/ч$); второе число — напор (в метрах столба перекачиваемой жидкости) (табл. 11).

Для обеспечения нормальной бескавитационной работы самих горизонтальных подпорных насосов их устанавливают на отметке ниже нулевой, т. е. применяют заглубленные насосные подпорные станции. Вместо горизонтальных все более широко применяют вертикальные подпорные насосы (например, марок НПВ 1250-60, НПВ 2500—80 и др.). У вертикальных подпорных насосов их нормальная бескавитационная работа обеспечивается без заглубления ниже нулевой отметки. Это позволяет рас-

Таблица 11. Техническая характеристика магистральных подпорных насосов типа НМП

Показатели	НМП 500-74	НМП 3600-78	НМП 5000-115
Подача, м³/ч	2500	3600	5000
Напор, м	74	78	115
Масса, т	7,775	7,775	9,321
Мощность электродвигателя, кВт	800	800	1600

полагать подпорные насосные станции, оснащенные вертикальными подпорными насосами, на нулевой отметке.

Для привода магистральных и подпорных центробежных насосов используют синхронные трехфазные электродвигатели в обычном и во взрывозащищенном исполнении. Синхронные электродвигатели в обычном исполнении, входящие в состав насосных агрегатов, необходимо размещать в отделении привода, изолированном от насосного отделения сплошной газонепроницаемой стенкой (перегородкой). Это связано с тем, что при размещении насосных агрегатов в общем помещении с электродвигателями возможно попадание в атмосферу паров нефти или нефтепродукта из насосов, а образование случайной искры в электродвигателе может вызвать взрыв. Взрывозащищенные электродвигатели лишены этого недостатка и их можно применять в общем зале с насосами без разделительной газонепроницаемой стенки. Взрывозащищенность электродвигателей достигается рядом конструктивных мероприятий: применением взрывонепроницаемой оболочки корпуса электродвигателя; использованием искробезопасной электрической цепи; заполнением или продувкой внутреннего пространства электродвигателя чистым воздухом под избыточным давлением; заполнением внутреннего пространства корпуса электродвигателя маслом и др.

Наиболее часто в качестве защиты от взрыва во взрывозащищенных электродвигателях, применяемых в качестве привода магистральных насосов на насосных станциях и центробежных нагнетателей на компрессорных станциях, используют продувку внутреннего пространства корпуса воздухом под избыточным давлением 100 Па. Наличие избыточного давления чистого воздуха внутри корпуса электродвигателей препятствует проникновению взрывоопасной смеси из окружающей атмосферы цеха, и этим предотвращается взрыв. Если же давление продуваемого чистого воздуха внутри корпуса электродвигателя будет меньше 100 Па, то срабатывает автоматическая предупредительная сигнализация, а затем система автоматического отключения электродвигателя.

В качестве электродвигателей общего назначения (невзрывозащищенных) для привода магистральных насосов применяют синхронные электродвигатели СТД-4000, СТД-6000, СТД-8000,

СТД-12500 (где числа означают мощность электродвигателей, кВт). В качестве взрывозащищенных электродвигателей используют синхронные электродвигатели СТДП-4000, СТДП-6000, СТДП-10000, СТДП-12500 (где П обозначает вид защиты от взрыва, т. е. защиту продувкой чистым воздухом под избыточным давлением).

Вспомогательное оборудование насосных станций предназначено для обеспечения нормальной бесперебойной работы основного насосного цеха. Вспомогательное оборудование можно условно разделить на две группы:

вспомогательное оборудование, непосредственно связанное с работой основных насосных агрегатов;

вспомогательное оборудование объектов обслуживания [3].

К вспомогательному оборудованию первой группы относятся системы смазки узлов, уплотнения и охлаждения, а также система сбора и откачки утечек. К вспомогательному оборудованию второй группы относится оборудование системы водоснабжения, канализации, энергоснабжения, связи и телемеханики.

Система смазки узлов насосного агрегата предназначена для принудительной (под давлением) смазки узлов подшипников магистральных насосов и привода (электродвигателей). Подача масла по трубопроводам системы к подшипникам насосного агрегата и электродвигателя осуществляется шестеренными насосами, обеспечивающими подачу от 1,1 до 38 м³/ч масла при давлении 0,28—0,42 МПа. Шестеренный насос *5* забирает масло из бака *4* и подает его в первое отделение расходного бака *7*, имеющего два отделения (рис. 11). Из первого отделения расходного бака *7* с помощью основного шестеренного насоса

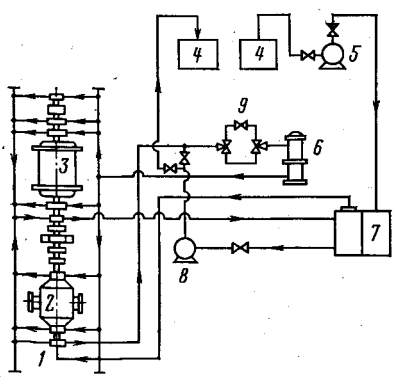


Рис. 11. Принципиальная схема системы смазки узлов насосного агрегата

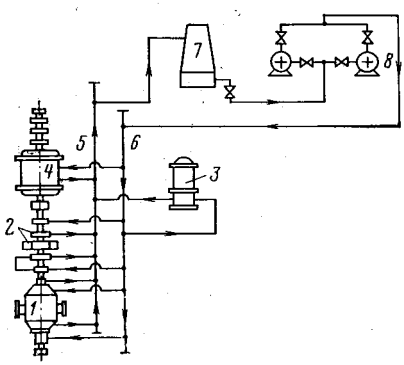


Рис. 12. Принципиальная схема системы охлаждения насосного агрегата

1 масло подается под избыточным давлением через фильтры *9* и маслоохладитель радиаторного типа *6* к подшипниковым узлам магистрального насоса *2* и электродвигателя *3*. Пройдя через подшипники, отработанное, загрязненное масло с повышенной температурой поступает во второе отделение расходного бака *7*. Из расходного бака *7* с помощью шестеренного насоса *8* отработанное масло подают в сборную емкость *4*.

Система охлаждения — оборотная и предназначена для охлаждения уплотнений и подшипников насоса *1*, промежуточного вала *2* и электродвигателя *4*, воздуха в воздухоохладителях электродвигателей, масла в маслоохладителе *3* (рис. 12). Охлаждение осуществляют циркулирующей водой. Для охлаждения нагретой воды в системе охлаждения используют градирни. Охлажденная вода забирается из градирни *7* с помощью водяных центробежных насосов *8* и подается в нагнетательную линию *5*. Из нагнетательной линии холодная вода поступает в маслоохладитель *3*, в подшипниковые узлы насоса *1* промежуточного вала *2* и электродвигателя *4*. Пройдя через охлаждаемые элементы оборудования, нагретая вода поступает в сборную линию *6* и затем в градирню *7*. Таков замкнутый цикл системы охлаждения. В качестве водяных насосов в системе охлаждения применяют консольные одноступенчатые центробежные насосы с подачей от 6 до 288 $м^3$/ч при напоре до 55 м.

Следует отметить, что на новых насосных станциях оборотная система охлаждения заменяется на воздушную систему, где в качестве охлаждающего реагента применяют воздух. Для охлаждения воздуха используют аппараты воздушного охлаждения. Применение воздушного охлаждения значительно упрощает систему охлаждения, делает ее менее громоздкой, так как отпадает необходимость в установке градирни и водяных насосов. При этом не требуется большого количества воды, что особенно важно для безводных и пустынных районов Казахстана и Средней Азии. Кроме того, создаются лучшие условия для поставки блочного оборудования (например, компактные АВО вместо громоздкой градирни).

Система сбора и откачки утечек нефти или нефтепродукта предназначена для сбора излишков нефти или нефтепродукта, образующихся при внезапном повышении давления в магистральных трубопроводах выше допустимого по прочности торцевого уплотнения, а также для сбора малых утечек через торцевые уплотнения. Сборник нефти или нефтепродукта сброса ударной волны представляет собой систему труб диаметром 1220 мм, соединенных между собой коллекторами. Эту систему труб укладывают горизонтально на сборные железобетонные опоры. Причем одна из крайних опор должна быть подвижной (на катках) для компенсации температурных деформаций труб. Сборник малых утечек нефти, нефтепродуктов и нефтесодержащих остатков предназначен для сбора утечек через торцевые уплотнения магистральных насосов. Этот сборник представ-

ляет собой блок, состоящий из двух труб диаметром 1220 мм, соединенных специальными патрубками.

Для откачки собранной нефти или нефтепродукта в состав сборника утечек входят два блока погружных центробежных насосов. Каждый такой блок состоит из отрезка трубы диаметром 1220 мм, внутри которого и размещают центробежный насос. Блок сборника утечек нефти и нефтепродукта заглубляют в грунт (траншею) и устанавливают на песчаную подушку. Масса блока сборника — 12 т.

Кроме указанных систем вспомогательного оборудования на насосных станциях применяют блочное оборудование для очистки поступающей нефти от механических примесей, грязи в виде блока фильтров-грязеуловителей. Блок фильтров-грязеуловителей состоит из трех фильтров и задвижек. Каждый фильтр — труба диаметром до 1220 мм и длиной около 5 м с входным и выходным патрубками, с приваренными днищами и трубной обвязкой. Внутри кожуха-трубы расположено фильтрующее устройство. Блок фильтров-грязеуловителей устанавливают на сборном железобетонном фундаменте.

Насосные станции подключают к магистральному нефте- или нефтепродуктопроводу через специальные узлы подключения. Конструкция узлов подключения зависит от вида насосной станции (головная или промежуточная), наличия или отсутствия камер приема и пуска скребков или разделителей. Наиболее проста схема подключения головной насосной станции, где имеется только камера пуска скребков. Схема подключения промежуточной насосной станции к магистральному трубопроводу более сложна по конструктивной схеме, так как включает камеры пуска и приема скребков или разделителей.

7. ОСНОВНОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Основное технологическое оборудование компрессорных станций — газоперекачивающие агрегаты, обеспечивающие необходимый режим транспортировки газа по магистральному газопроводу. Вспомогательное оборудование компрессорных станций, как и для насосных станций, можно разделить на две группы:

оборудование, обеспечивающее нормальную работу газоперекачивающих агрегатов;

оборудование объектов обслуживания.

К вспомогательному оборудованию первой группы относят установки по очистке газа от пыли и капельной влаги; оборудование для охлаждения газа после его выхода из центробежных нагнетателей; оборудование систем смазки, уплотнения, регулирования и защиты газоперекачивающих агрегатов; оборудование системы охлаждения масла; оборудование системы

подготовки топливного, пускового и импульсного газа. К вспомогательному оборудованию обслуживания компрессорной станции относят оборудование систем водоснабжения, канализации, связи, телемеханики и энергоснабжения.

Газоперекачивающий агрегат компрессорных станций состоит из центробежного нагнетателя и привода. В качестве привода используют газовые турбины (стационарные, авиационные и судовые) и электродвигатели. Наибольшее распространение получили газовые турбины. Это объясняется рядом их преимуществ: быстрым запуском турбины из холодного состояния (15—30 мин), малыми габаритами и массой по сравнению с газомотокомпрессорами, относительно высоким к. п. д. (до 30 %), простотой и надежностью конструкций, сосредоточением большой мощности в единичном агрегате, отсутствием заметных вибраций, независимостью от внешних источников энергии. Нагнетатель газоперекачивающего агрегата — одно- или двухступенчатый центробежный компрессор, обладающий высокой производительностью (до 80 млн. м³/сут или до 30 млрд. м³/год) и со степенью сжатия (1,22—1,25 — для одноступенчатого и 1,45—1,5 — для двухступенчатого). Одноступенчатый центробежный нагнетатель состоит из литого разъемного корпуса, внутри которого расположен направляющий аппарат «улитка». Внутри направляющего аппарата вращается ротор — рабочее колесо, насаженное консольно на вал. Подвод газа к рабочему колесу осуществляют по оси ротора (осевой подвод) или тангенциально (по касательной к периферийной поверхности рабочего колеса). Газ, попадая на лопатки рабочего колеса, отбрасывается в периферийное пространство, сжимается и выталкивается через нагнетательный коллектор. Двухступенчатый нагнетатель отличается тем, что он имеет две ступени сжатия, соединенные последовательно. Каждая ступень сжатия состоит из направляющего аппарата «улитки» и рабочего колеса (ротора). Оба рабочих колеса расположены на одном валу. Применение двухступенчатых нагнетателей позволяет увеличить степень сжатия в одном газоперекачивающем агрегате до 1,5, снизить число газоперекачивающих агрегатов на компрессорной станции, значительно упростить систему трубопроводной обвязки агрегатов и в конечном итоге снизить трудоемкость и сроки сооружения компрессорных станций (рис. 13).

Соединение газовой турбины или электродвигателя с центробежным нагнетателем осуществляют либо через повышающий редуктор (обязательно для электропривода и, как исключение, для некоторых типов газовых турбин), либо непосредственно через муфты. Применение промежуточных повышающих редукторов связано с тем, что бóльшая часть электродвигателей привода нагнетателей имеет частоту вращения ротора 3000 об/мин, а частоту вращения ротора нагнетателей — от 4600 до 7900 об/мин. Как правило, применяют одноступенчатый редуктор с шевронными зубчатыми колесами.

Рис. 13. Двухступенчатый центробежный нагнетатель газоперекачивающего агрегата ГТН-25

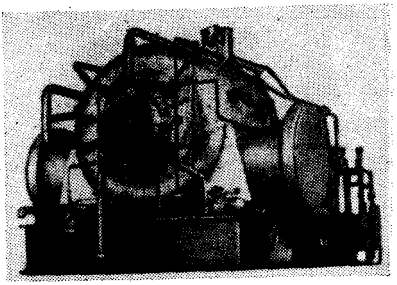
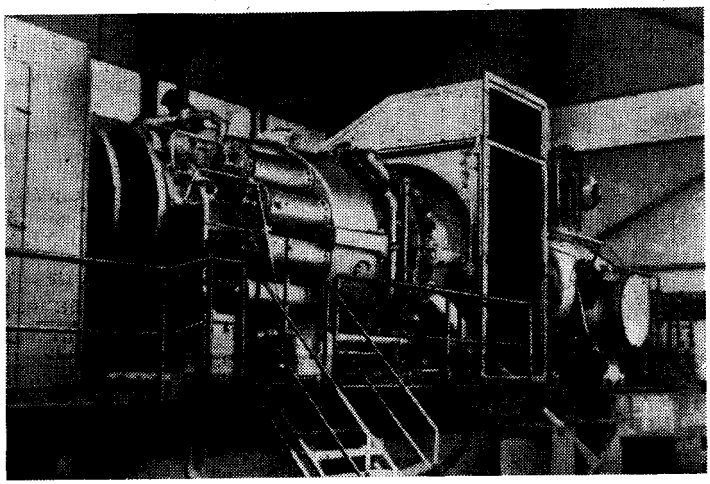


Рис. 14. Общий вид газоперекачивающего агрегата ГТН-25, установленного на фундамент



Газовая турбина — первичный двигатель с вращательным движением рабочего органа (ротора), в котором кинетическая энергия подводимого извне рабочего тела (продуктов сгорания газа) преобразуется в механическую работу (вращение ротора). Повышение энергии газа достигается за счет его компримирования и сгорания в смеси с воздухом в специальных камерах сгорания. Температура смеси продуктов сгорания газа и воздуха перед входом в турбину — до 900 °С. Газовая турбина совместно с обслуживающими ее механизмами и устройствами (осевым компрессором, камерой сгорания и др.) составляют газотурбинную установку (рис. 14), которая вместе с нагнетателем (и при необходимости с редуктором) образуют газоперекачивающий агрегат.

В состав ГПА входят: турбина высокого давления (ТВД), турбина низкого давления (ТНД), осевой воздушный компрессор, камера сгорания, пусковая турбина (турбодетандер), регенератор (теплообменник), центробежный нагнетатель (рис. 15). В составе некоторых ГПА регенератор отсутствует, что снижает их к. п. д. Различают два вида ГТУ: одновальные и двухваль-

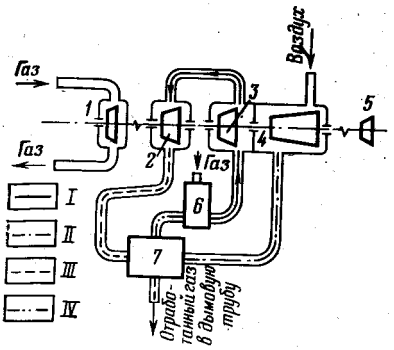


Рис. 15. Принципиальная схема газоперекачивающего агрегата с приводом от газотурбинной установки:

I — смесь топливного газа и нагретого воздуха; *II* — холодный воздух; *III* — отработанный горячий газ; *IV* — нагретый воздух; *1* — центробежный нагнетатель; *2* — ТНД; *3* — ТВД; *4* — осевой воздушный компрессор; *5* — пусковая турбина (турбодетандер); *6* — камера сгорания; *7* — регенератор (теплообменник)

ные. У одновальной ГТУ на общем валу (путем механического соединения) находится ротор осевого воздушного компрессора, роторы турбин высокого и низкого давления и ротор нагнетателя. В этом случае режимы работы осевого компрессора и центробежного нагнетателя жестко взаимосвязаны, так как часто́ты вращения роторов воздушного компрессора и нагнетателя будут одинаковыми. У двухвальной ГТУ (с разрезным валом) турбина высокого давления и осевой воздушный компрессор имеют один общий вал, а роторы турбины низкого давления (силовая турбина) и центробежного нагнетателя соединены двумя полугибкими линзовыми муфтами. Двухвальная ГТУ более приемлема для привода нагнетателя, потому что подача газа по магистральному газопроводу не является равномерной в течение суток или сезона. А это требует изменения частоты вращения ротора нагнетателя (до 15—20 % номинальной). Вполне понятно, что достигнуть этого гораздо легче при двухвальной ГТУ, так как вал турбины низкого давления (силовой турбины), приводящий во вращение вал нагнетателя, не связан с валом турбины высокого давления (осевого компрессора).

Запуск ГТУ осуществляют с помощью пусковой турбины (турбодетандера), которая приводит во вращение осевой воздушный компрессор и ротор ТВД. Осевой воздушный компрессор через воздухозаборную камеру засасывает из атмосферы воздух, прокачивает его через регенератор (теплообменник) для подогрева до температуры 170 °С. Нагрев воздуха в регенераторе осуществляется за счет теплообмена с продуктами сгорания газа и горячего воздуха, выходящего из газовой турбины низкого давления. Нагретый воздух после регенератора направляется в камеру сгорания. В нее же через редуцирующее устройство поступает из магистрального газопровода топливный газ, который в горелке сжигается в смеси с подогретым воздухом. Полученная смесь продуктов сгорания газа и воздуха с температурой 700—900 °С под давлением 0,2—0,3 МПа попадает в направляющий аппарат, а затем на лопатки ротора ТВД. Турбина высокого давления предназначена в качестве привода осевого воздушного компрессора. В осевом воздушном компрессоре забранный из атмосферы воздух ком-

примируется до давления 0,3—0,5 МПа и, как указано выше, подается через регенератор в камеру сгорания. После вывода турбины на рабочий режим (через 15—30 мин) пусковую турбину отключают. Сильно нагретый продукт сгорания газа, пройдя через ТВД, поступает в ТНД и приводит во вращение ее ротор с лопатками. Из ТНД горячие газы проходят через регенератор для подогрева воздуха и затем через выхлопные трубы выходят в атмосферу. Ротор ТНД приводит во вращение ротор центробежного нагнетателя для транспортировки газа. Валы ТНД и нагнетателя соединяют, как правило, непосредственно через муфты и лишь в отдельных случаях через повышающий редуктор. Мощность ГТУ, применяемых для привода центробежных нагнетателей, составляет 6000, 10 000, 16 000, 25 000 кВт и имеет тенденцию к дальнейшему повышению. Следует отметить, что $^2/_3$ указанной мощности ГТУ расходуется на привод осевого воздушного компрессора, а $^1/_3$ — на привод нагнетателя.

На современных стационарных ГТУ применяют два вида камеры сгорания: однокорпусную (вертикальную или горизонтальную) и многокорпусную. Однокорпусная (однокамерная) камера сгорания имеет цилиндрический корпус. С одного конца корпуса в камеру введены горелки для сжигания топливного газа в смеси с подогретым воздухом. На другом конце цилиндрического корпуса имеется фланец, через который камеру сгорания присоединяют к фланцу выходного патрубка корпуса ТВД. Однокорпусную камеру сгорания применяют в стационарных газовых турбинах агрегатов ГТК-10 и ГТ-6-750. Камеры сгорания в этом случае поставляют в виде отдельного монтажного блока. Многокорпусная (многокамерная или секционная) камера сгорания состоит из определенного числа камер сгорания малого объема, равномерно расположенных по периметру корпуса ТВД. Эту камеру применяют в стационарных газовых турбинах агрегатов ГТН-25 и ГТН-16. В авиационных и судовых газовых турбинах агрегатов ГПА-Ц-6,3, ГПА-Ц-16 и ГПУ-10 применяют встроенные кольцевые камеры сгорания, имеющие форму кольцевой полости в корпусе газовой турбины. Для ГТУ применяют камеры сгорания непрерывного действия. Подготовленный топливный газ поступает в горелки камеры сгорания, где сжигается в смеси с предварительно подогретым воздухом, который в камеру сгорания поступает через боковые патрубки под давлением, создаваемым воздушным осевым компрессором ГТУ. Смесь продуктов сгорания при температуре до 900 °С проходит через лопасти направляющего аппарата камеры сгорания и поступает в ТВД. Однокорпусная выносная камера сгорания вертикального типа опирается на раму, установленную на фундаменте, через специальные пружинные опоры для обеспечения свободного перемещения камеры сгорания при тепловом расширении и последующем охлаждении. Для обеспечения свободного перемещения камеры сгорания при теп-

ловом расширении между торцевой поверхностью фланца корпуса камеры сгорания и поверхностью фланца входного патрубка корпуса ТВД при монтаже оставляют зазор 10—20 мм.

Регенератор для подогрева воздуха — поверхностный теплообменник, размещенный в прямоугольном корпусе из листовой стали. Для снижения потерь тепла в окружающее пространство корпус покрывают слоем теплоизоляции. Поверхности нагрева в регенераторе — стальные листы толщиной 3 мм с выштампованными гофрами, образующими каналы — воздуховоды. По этим каналам теплообменника под избыточным давлением циркулирует холодный воздух, который нагревается горячими газами (продуктами сгорания газа после ТНД), проходящими в наружных каналах регенератора.

Для лучшего использования тепла отходящих газов и повышения к. п. д. агрегата за регенераторами устанавливают блочные котлы-утилизаторы. В этих котлах за счет тепла отходящих горячих газов нагревают воду, которую используют для нужд отопления. Из котлов-утилизаторов отходящие газы выходят через дымовые вертикальные трубы в атмосферу.

Важное значение для бесперебойной работы газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций имеют системы смазки, уплотнения, регулирования и защиты. Работа всех этих систем обеспечивается централизованной системой маслоснабжения ГТУ, которая подает масло для смазки подшипников скольжения ГТУ, для уплотнения концевых участков ротора центробежных нагнетателей во избежание утечек газа из рабочего пространства в окружающую атмосферу, в аппараты системы регулирования работы и защиты газоперекачивающих агрегатов. Подача масла осуществляется при различном давлении. В системе смазки подшипников скольжения для их надежной работы давление масла должно быть в пределах 0,15—0,16 МПа; в системе уплотнения — на 0,05—0,25 МПа больше рабочего давления газа в нагнетателе; в системе регулирования работы ГПА — в пределах 0,25—0,6 МПа в зависимости от параметров и режима работы ГПА.

В состав системы маслоснабжения входят масляный бак, совмещенный с рамой, пять насосов для перекачки масла (главный *1*, пусковой *3*, резервный *4*, резервный шестеренный *7* и специальный насос-импеллер *12*), аппараты-маслоохладители, приборы управления и регулирования и маслопроводы (рис. 16). Система работает следующим образом. Необходимый подпор масла на всасывающих патрубках насосов создают инжекторы *5* и *6*. Температура масла в системе не должна превышать 35—40 °С. Поэтому масло в системе после выхода из подшипников охлаждают в маслоохладителях радиаторного типа *8* и *10*. Охлаждение масла происходит за счет циркулирующей воды или воздуха (в АВО). Главный масляный центробежный насос *1* с приводом от ротора ТВД предназначен для подачи масла ко всем точкам ГТУ. Однако в момент запуска ГТУ или в период

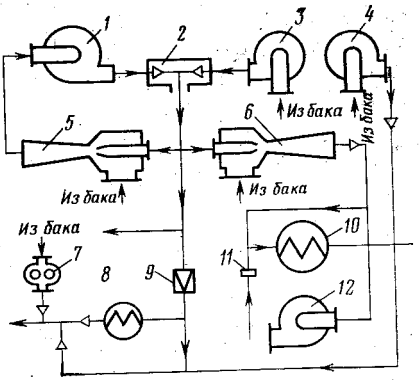
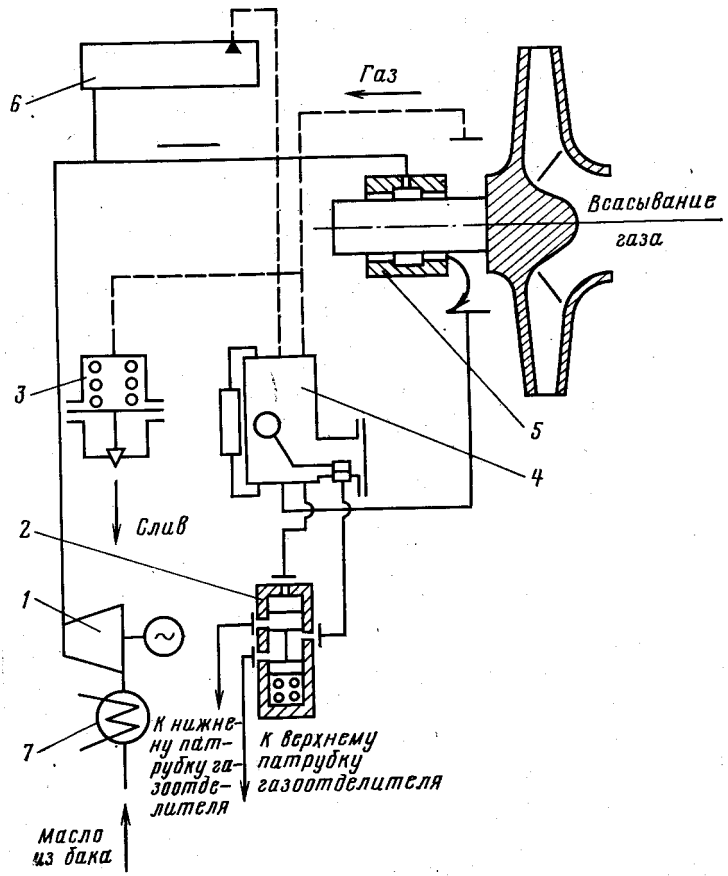


Рис. 16. Принципиальная схема системы маслоснабжения газотурбинной установки

Рис. 17. Принципиальная схема системы уплотнения центробежного нагнетателя



ее остановки главный масляный насос не может обеспечить нормальную подачу масла в систему (частота вращения рабочего колеса насоса возрастает или наоборот падает). Поэтому в пе-

риод запуска или остановки ГТУ подача масла в систему осуществляется пусковым насосом *3* с приводом от электродвигателя переменного тока. Резервный масляный насос *4* с приводом от электродвигателя постоянного тока обеспечивает подачу масла для смазки подшипников турбин при недостаточном давлении в системе смазки. Резервный шестеренный насос *7* с приводом от электродвигателя постоянного тока обеспечивает подачу масла в систему смазки опорно-упорного подшипника центробежного нагнетателя через редуктор давления *9*. Этот насос включается автоматически при недостаточном давлении масла в системе смазки. Специальный центробежный насос *12* с приводом от ротора ТНД предназначен для подачи импульсов гидравлическому регулятору частоты вращения ротора ТНД при изменении частоты вращения ротора. Этот насос забирает охлажденное масло из маслоохладителя *10* и возвращает его в систему. Направление потока масла изменяют распределительными клапанами *2*. Дроссельная шайба *11* служит для регулирования расхода масла.

Система уплотнения центробежного нагнетателя работает следующим образом (рис. 17). Масло из бака через маслоохладитель *7* забирается винтовым насосом *1* с приводом от электродвигателя и подается в уплотнительный подшипник центробежного нагнетателя *5*, откуда поступает в поплавковую камеру *4* и регулятор давления *3* «масло — газ». При повышении давления газа этот регулятор воздействует на поплавковую камеру *4* и тем самым увеличивает давление масла за счет его выдавливания из аккумулятора *6*, что создает дополнительные уплотнения и препятствует дальнейшему выходу газа из нагнетателя. Переключатель *2* предназначен для изменения направления потока масла и подачи его в газоотделитель.

Наиболее сложной из систем, обслуживающих газоперекачивающие агрегаты, является система регулирования и автоматической защиты ГПА. Эта система выполняет следующие функции: пуск и остановку ГПА; поддержание стабильной нормальной работы ГПА в заданном режиме; измерение различных физических параметров, характеризующих работу ГПА: давление газа, температуру продуктов сгорания, частоту вращения роторов ТВД и ТНД; защита ГПА при возникновении угрозы аварии; управление пусковой турбиной (турбодетандером) и защита пусковой турбины; дистанционное управление ГПА.

В целом система регулирования и автоматической защиты должна обеспечивать надежную и стабильную работу всего ГПА (рис. 18). В состав этой системы входит большое число автоматов, электрических и гидравлических выключателей и переключателей, регуляторов, золотников и др. Режим работы газовой турбины регулируют путем изменения подачи топливного газа в камеру сгорания. Система регулирования и автоматической защиты ГПА в случае нарушения режима его работы отключает агрегат и подает сигнал об этом обслуживающему персоналу.

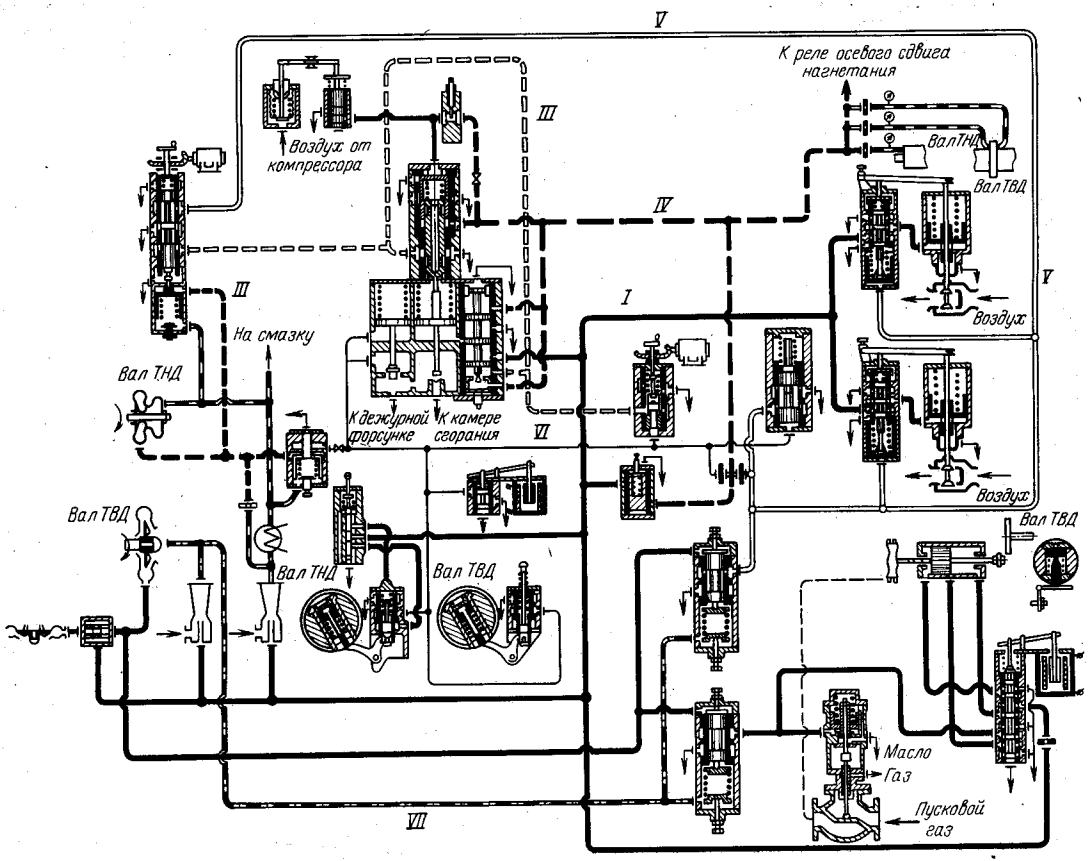


Рис. 18. **Принципиальная схéма системы регулирования и автоматической защиты газоперекачивающего агрегата. Трубопроводы для масла:**

I — силового от насоса ТВД; *II* — силового от импеллера; *III* — проточного; *IV* — постоянного давления 0,5 МПа; *V* — предельного регулирования; *VI* — защиты; *VII* — после инжектора насоса

При нарушении режима работы ГПА практически мгновенно отключается подача топливного газа в камеру сгорания. В системе предусмотрены различные виды блокировки. Например, насосы системы смазки подшипников ГТУ сблокированы с ТВД и ТНД таким образом, что пуск турбин (вращение их роторов) может осуществиться только при включенных насосах системы смазки.

Кроме стационарных газовых турбин для привода центробежных нагнетателей используют авиационные и судовые газовые турбины. Авиационные газовые турбины — газотурбинные двигатели НК-12СТ мощностью 6,3 тыс. кВт и НК-16СТ мощностью 16 тыс. кВт, отработавшие свой нормативный срок на самолетах. После небольшой переделки, связанной с переходом от жидкого к газообразному топливу, эти газовые турбины используют в качестве привода центробежных нагнетателей. Газоперекачивающие агрегаты с приводом от авиационных газотурбинных двигателей отличаются компактностью, меньшими габаритами и массой по сравнению с приводом от стационарных газовых турбин. Так, при примерно одинаковой мощности (6 тыс. кВт) газотурбинная установка (привод) на базе стационарной турбины типа ГТ-750-6 имеет массу 46,5 т, а на базе авиационного газотурбодвигателя ГПА-Ц-6,3—3,5 т. Кроме того, для газоперекачивающих агрегатов на базе авиационных газотурбодвигателей характерен быстрый запуск в работу (10—15 мин), а агрегат поступает на монтажную площадку в блочной поставке с размещением его механизмов в транспортабельных боксах (рис. 19).

В судовых ГТУ в качестве привода применяют судовую газотурбинную установку ГПУ-10 мощностью 10 тыс. кВт. Судовая ГТУ представляет собой единую «сигару» длиной 6 м и диаметром 1600 мм. Газотурбинная установка с судовыми газовыми турбинами обладает всеми указанными выше преимуществами ГТУ с авиационными газовыми турбинами. Масса блок-контейнера судового газотурбинного двигателя составляет 30 т, в том числе самой «сигары» 10,5 т. На строительную площадку компрессорной станции ГТУ с судовым газотурбинным двигателем доставляют в защитном транспортном контейнере (рис. 20) и устанавливают на фундамент на нулевой отметке.

Единое стандартное обозначение типов газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным приводом пока не установлено. Для газотурбинных установок, которые начали выпускать еще в 60-е годы, были приняты следующие обозначения: ГТ-700-4, ГТ-750-6, ГТ-700-5 (ГТ — газовая турбина; первые цифры — температура газа после камеры сгорания перед входом в ТВД, °С; вторые цифры — мощность газотурбинной установки, МВт). В некоторых случаях цифровые обозначения в маркировке типов газотурбинных установок меняют местами, например, ГТ-6-750. Для газоперекачивающих агрегатов со стационарными газовыми турбинами мощностью 10, 16 и 25 тыс. кВт, поставляемыми с заводов-изготовителей, приняты следующие обозначения: ГТК-10,

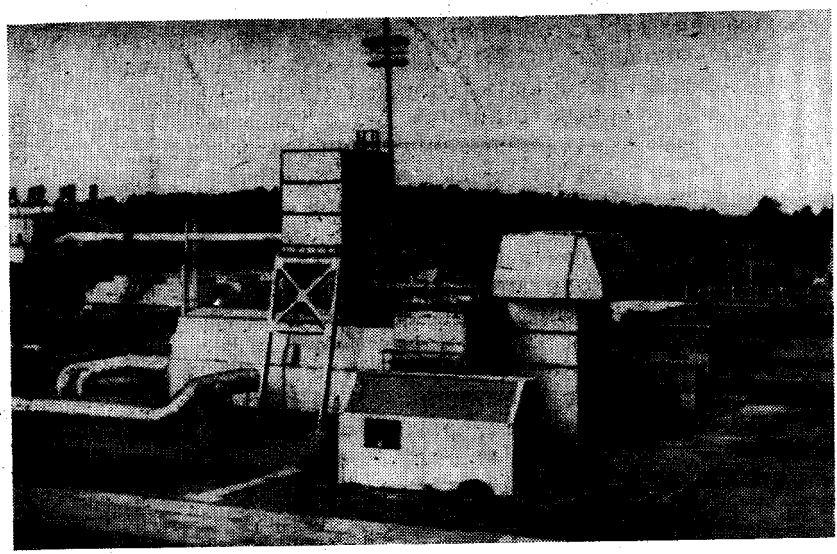


Рис. 19. Газоперекачивающий агрегат с приводом от авиационной газовой турбины ГПА-Ц-16

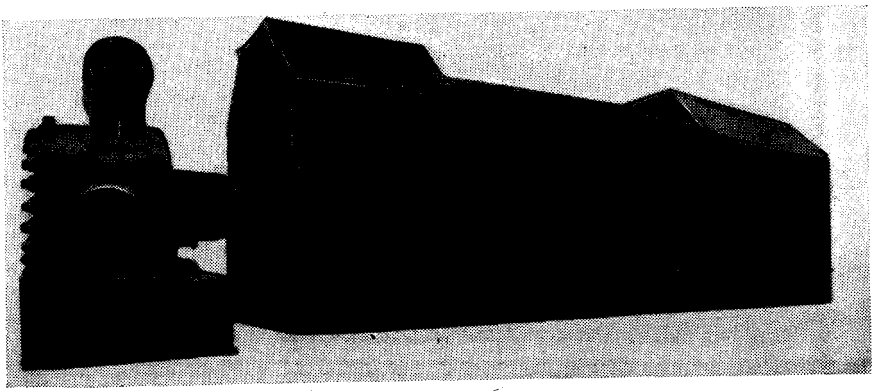


Рис. 20. Газоперекачивающий агрегат с приводом от судовой газовой турбины ГПУ-10 в транспортном контейнере

ГТН-16, ГТН-25 (ГТ — газовая турбина, К — для привода компрессора, Н — для привода нагнетателя, цифры — мощность газовых турбин, МВт). Существуют также отдельные модификации ГТК, например, ГТК-10-3 и ГТК-10-4, где вторые цифры — номер модификации. Для газоперекачивающих агрегатов с приводом от авиационных газовых турбин приняты следующие обозначения: ГПА-Ц-6,3 и ГПА-Ц-16 (ГПА — газоперекачивающий агрегат, цифры — мощность газовых турбин, МВт). Для газопе-

рекачивающих агрегатов с приводом от судовых газовых турбин принято обозначение ГПУ-10 (ГПУ — газоперекачивающая установка, цифра — мощность газовой турбины, МВт).

На компрессорных станциях магистральных газопроводов применяют также газоперекачивающие агрегаты с приводом центробежного нагнетателя от электродвигателей. В этом случае для привода центробежных нагнетателей используют синхронные электродвигатели мощностью 4, 6 и 12,5 тыс. кВт. Причем наибольшее применение для привода находят синхронные электродвигатели мощностью 4 и 12,5 тыс. кВт. Электродвигатели имеют обозначения: СТД-4000-2 и СТД-12500-2. Газоперекачивающие агрегаты имеют маркировку по типу электродвигателя, например, ГПА-СТД-4000 и ГПА-СТД-12500. Газоперекачивающие агрегаты с электроприводом обладают следующими преимуществами перед газоперекачивающими агрегатами с приводом от газовых турбин: значительное упрощение и удешевление монтажных и пусконаладочных работ; меньшая площадь, занимаемая агрегатом, и меньший объем фундамента; большой ресурс и большая эксплуатационная надежность; значительное упрощение системы автоматического управления компрессорной станцией; снижение эксплуатационных расходов на 50 % по сравнению с этими расходами газотурбинного привода одинаковой мощности.

Правильный выбор типа привода к нагнетателям для транспортировки газа по магистральным газопроводам имеет не только большое технико-экономическое, но и экологическое значение, так как электроприводные газоперекачивающие агрегаты не загрязняют атмосферу. Существуют различные мнения об оценке экономической эффективности применения газоперекачивающих агрегатов с электроприводом [11]. Так, например, известно мнение о более высокой экономической эффективности электроприводных ГПА по сравнению с газотурбинными, если протяженность ЛЭП, присоединяющей компрессорную станцию к магистральным линиям, не превышает 100 км. Однако вопрос о выборе того или иного типа привода газоперекачивающих агрегатов в каждом конкретном случае должен решаться на основе комплексного подхода к развитию газотранспортной и энергетической систем исходя из оптимального сочетания газоперекачивающих агрегатов с различным типом привода с учетом тенденции к изменению цен на топливо и электроэнергию на перспективу.

Газ, поступающий в центробежные нагнетатели газоперекачивающих агрегатов, необходимо очищать от механических примесей, влаги и конденсата. Наличие механических примесей в газе может вызвать повреждение центробежных нагнетателей. После компримирования транспортируемого газа в центробежных нагнетателях его температура возрастает до 50—80 °С. Такая температура газа может быть причиной снижения его подачи по газопроводу и вызвать большой температурный перепад

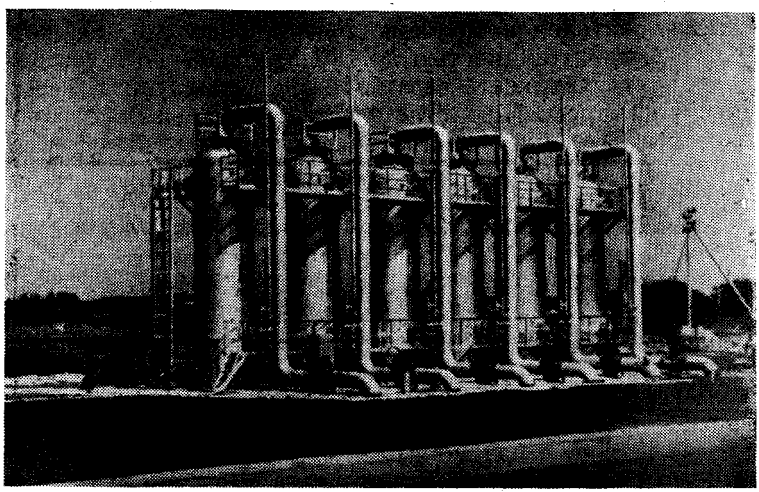


Рис. 21. Установка для очистки газа от механических примесей (пылеуловители)

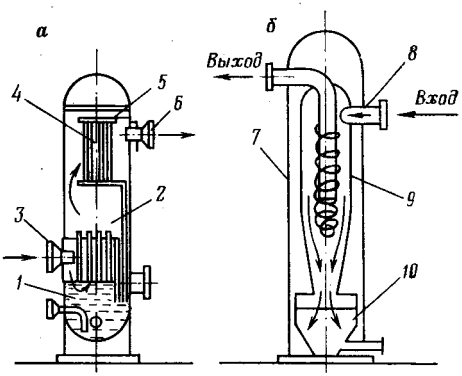


Рис. 22. Вертикальные сепараторы-пылеуловители масляный *(а)* и циклонный *(б)*:

1 — промывочная (нижняя) секция; *2* — осадительная (средняя) секция; *3* — входной патрубок; *4* — отбойная (верхняя) секция; *5* — отбойный козырек; *6* — выводной патрубок; *7* — корпус циклонного пылеуловителя; *8* — входной патрубок; *9* — циклон; *10* — бункер

на участке газопровода между компрессорными станциями. Заметный температурный перепад по длине участка трубопровода приводит к возникновению значительных продольных температурных напряжений и деформаций трубопровода. Поэтому газ после компримирования перед подачей в магистральный газопровод обязательно охлаждают до температуры 5—15 °С в специальных установках воздушного охлаждения газа. Кроме того, при использовании газотурбинного привода необходима очистка от механических примесей и конденсата, газа, сжигаемого в основных газовых турбинах ГПА (топливного газа), пусковых турбинах ГПА (пускового газа) и направляемого в приборы системы контроля и автоматики (импульсного газа). Эту очистку выполняют на специальных установках подготовки топливного, пускового и импульсного газа.

Установка для очистки газа от механических примесей и конденсата состоит из определенного числа вертикальных сепарато-

ров-пылеуловителей и трубной обвязки (рис. 21). На компрессорных станциях мощностью до 100 МВт обычно в состав установки входят пять-шесть вертикальных сепараторов-пылеуловителей. На компрессорных станциях магистральных газопроводов используют два типа сепараторов-пылеуловителей: масляные («мокрые») и циклонные («сухие») (рис. 22).

Масляный пылеуловитель представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, который по высоте можно разделить на три секции: нижнюю (промывочную), среднюю (осадительную) и верхнюю (отбойную). Газ, подлежащий очистке, попадает в верхнюю часть нижней секции через входной патрубок. В нижней (промывочной) секции на горизонтальной перегородке закреплены с помощью сварки контактные трубки, имеющие внизу продольные прорези. Концы трубок на 25—30 мм не доходят до верхнего уровня масляной ванны в нижней части аппарата. Выйдя из входного патрубка, газ отклоняется специальным отбойником (козырьком), проходит через слой масла и, захватив капельки масла, проходит в среднюю секцию аппарата через контактные трубки. В средней секции скорость потока газа, выходящего из контактных трубок, резко снижается и крупные частицы пыли вместе с капельками масла оседают и стекают по дренажным трубкам в нижнюю часть аппарата. Газ, освобожденный от крупных частиц пыли и масла, попадает в верхнюю секцию, где проходит через насадку из стальных извилистых пластин-жалюзей. На жалюзях осаждаются мелкие частицы пыли диаметром менее 0,25 мм и капельки масла. Очищенный газ выходит из аппарата в верхней части через выводной патрубок. Загрязненное частицами пыли масло периодически удаляют в отстойник, расположенный за пределами аппарата. Удаление загрязненного масла осуществляют продувкой воздухом через специальный патрубок. Свежее масло добавляют в аппарат через патрубок из специального аккумулятора. Полную очистку загрязненного масла через специальный люк осуществляют 2—3 раза в год при остановке аппарата. Масляные пылеуловители имеют следующие габариты: диаметр корпуса до 2,4 м, высота до 8,8 м. Масса пылеуловителя — до 30 т.

Циклонный пылеуловитель также представляет собой вертикальный цилиндрический аппарат, внутри которого расположены циклоны (табл. 12). Циклон — цилиндр, переходящий в нижней

Таблица 12. Технические показатели циклонных пылеуловителей

Высота, мм	Наружный диаметр, мм	Масса, т	Давление, МПа	Производительность по газу, млн. м³/сут	Число сепараторов в установке
9225	2120	32,2	7,5	20	6
8380	2000	22	7,5	20	6
9085	2090	23,9	5,5	20	6

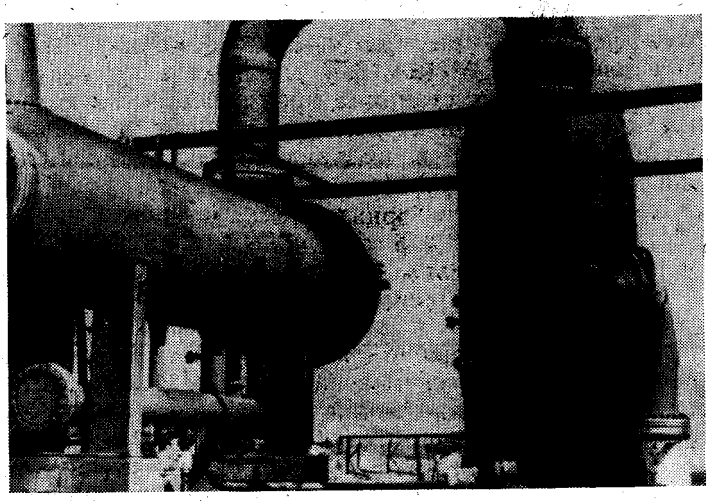


Рис. 23. Двухступенчатая установка для очистки газа от пыли

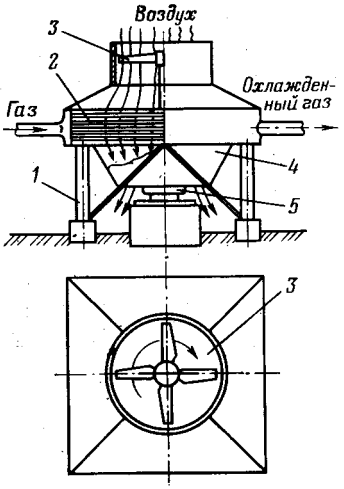


Рис. 24. Аппарат воздушного охлаждения газа:
1 — опорные металлоконструкции; *2* — теплообменные секции; *3* — вентилятор; *4* — диффузор; *5* — электродвигатель

части в конус (см. рис. 22, *б*). Газ попадает внутрь циклона по входному патрубку, расположенному тангенциально. Это придает потоку газа вращательное движение вокруг трубы для выхода газа. Вращающийся поток газа устремляется вниз по конусной поверхности циклона к вершине конуса. За счет центробежных сил частицы пыли и капли конденсата и влаги отбрасываются на поверхность циклона и стекают вниз в бункер. При этом в центре вращающегося потока газа давление резко падает, т. е. происходит разрежение, что создает центральный восходящий поток уже очищенного газа, который выходит из пылеуловителя через верхний патрубок. Циклонные пылеуловители

особенно эффективны при пропускной способности до 20 млн. м^3/сут и давлении 7,5 МПа. Поэтому на вновь сооружаемых мощных компрессорных станциях преимущественно используют циклонные пылеуловители. Применяют групповую установку пылеуловителей (батареей) и индивидуальную — при модульной компоновке.

Коллектор (трубный сборный узел) установки по очистке газа изготавливают из труб с условным диаметром 1000 мм, а обвязочные трубопроводы из труб с условным диаметром 500 мм. Однако степень очистки газа от механических примесей, влаги и конденсата в масляных и циклонных пылеуловителях не всегда отвечает требуемой. Остающиеся мельчайшие частицы пыли попадают с газом в нагнетатель и вызывают преждевременный износ его проточной части. Поэтому все большее распространение получает двухступенчатая очистка газа в двухступенчатых установках (рис. 23). Первая ступень — очистка в циклонных пылеуловителях; вторая ступень — очистка после циклонных пылеуловителей в фильтрах-сепараторах горизонтального типа за счет тонкой фильтрации в фильтрующих элементах.

Для охлаждения компримированного газа после центробежных нагнетателей перед подачей его в магистральный газопровод на компрессорных станциях используют установки воздушного охлаждения газа (рис. 24). Каждая такая установка состоит из определенного числа АВО (обычно 8—15). Применяют АВО типа АВГ (горизонтальные) и АВЗ (зигзагообразные). В аппарате типа АВГ теплообменные элементы расположены в один ряд горизонтально, а в аппарате типа АВЗ — под углом друг к другу (зигзагами). Аппарат воздушного охлаждения работает следующим образом. На опорных металлоконструкциях закреплены собственно трубчатые змеевиковые теплообменные секции. По трубам теплообменной секции под рабочим давлением пропускают транспортируемый газ. Через межтрубное пространство теплообменной секции принудительно с помощью двух вентиляторов с электроприводом прокачивают воздух. За счет теплообмена с принудительно перемещаемым потоком воздуха и происходит охлаждение газа. На строительную площадку каждый АВО поставляют в виде отдельных блоков (комплектов) и узлов, из которых и монтируют аппарат. Так, в состав АВО вхо-

Таблица 13. Технические показатели аппаратов воздушного охлаждения

Изготовитель	Рабочее давление газа, МПа	Число аппаратов в одной установке
Таллинский машиностроительный завод (СССР)	7,5	8
Фирма «Хадсон» (Италия)	7,5	15
Фирма «Крезо-Луар» (Франция)	7,5	11

дят секции трубных пучков (теплообменные элементы), диффузор, колеса вентиляторов, электродвигатели привода вентиляторов, металлоконструкции опорной части и трубной обвязки.

На вновь сооружаемых компрессорных станциях применяют АВО газа как отечественного, так и импортного производства, например, итальянской фирмы «Хадсон», французской фирмы «Крезо-Луар» (табл. 13).

Глава 4

Фундаменты зданий и оборудования насосных и компрессорных станций

8. ФУНДАМЕНТЫ ЗДАНИЙ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Насосные и компрессорные цехи размещают в общих и индивидуальных зданиях, как правило, с легким металлическим каркасом, а в отдельных случаях с железобетонным каркасом. Под стальные колонны каркаса этих зданий сооружают свайные фундаменты из типовых забивных железобетонных свай. Под каждую колонну забивают куст из трех-пяти свай в зависимости от вида колонны (крайняя или средняя), нагрузки на фундамент, характера грунтов основания и несущей способности каждой сваи. Оголовки свай, входящих в куст, соединяют железобетонным сборным или стальным ростверком (рис. 25). При строительстве в районах севера Западной Сибири применяют сборные ростверки из стального проката. Базы стальных колонн каркаса зданий опирают непосредственно на ростверки.

Такие фундаменты под колонны зданий освоены в производстве, сборные детали их в большом количестве выпускают заводы железобетонных изделий. Однако массовое применение свайных железобетонных фундаментов в районах севера Западной Сибири осложнено трудностью доставки железобетонных сборных ростверков и свай. Использование монолитных железобетонных ростверков в суровых условиях Севера чрезвычайно затруд-

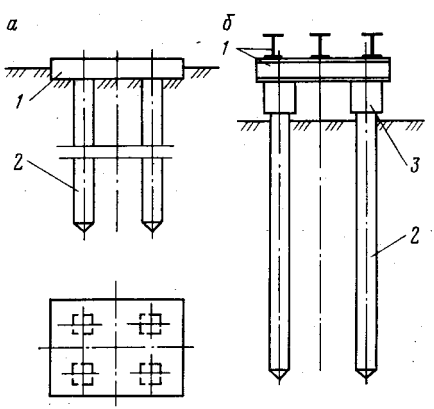


Рис. 25. Свайные фундаменты зданий насосных и компрессорных цехов с железобетонным *(а)* и стальным *(б)* ростверками:
1 — ростверк; *2* — свая; *3* — оголовок

нено необходимостью ведения бетонных работ. В связи с этим разработаны новые конструкции свайных фундаментов зданий насосных и компрессорных станций, в которых забивные железобетонные сваи заводского изготовления заменены буронабивными сваями, а железобетонные ростверки — ростверками из стального проката (двутавров, швеллеров). На голову каждой из свай монтируют стальные оголовки, на которые устанавливают стальные ростверки. Применение подобных свайных фундаментов по сравнению с применением традиционных из забивных железобетонных свай позволяет снизить транспортные расходы, исключить проведение бетонных работ непосредственно на строительной площадке и уменьшить трудоемкость возведения фундаментов, а следовательно, снизить трудоемкость и сроки выполнения работ нулевого цикла.

9. ФУНДАМЕНТЫ ПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

К фундаментам газоперекачивающих агрегатов КС и насосных агрегатов НС предъявляются более жесткие требования по сравнению с фундаментами зданий. Это связано, во-первых, с большими динамическими нагрузками на фундаменты, во-вторых, с жесткими минимальными допусками на перекосы, горизонтальность и смещение фундаментов. На этих фундаментах работают, например, газоперекачивающие агрегаты с газовыми турбинами с частотой вращения ротора 3000 об/мин, а смещение ротора на сотые доли миллиметра вызывает его усиленное биение и остановку на ремонт. Поэтому фундаменты перекачивающих агрегатов должны обладать необходимой статической прочностью и малой чувствительностью к динамическим (вибрационным) нагрузкам, т. е. малой амплитудой колебаний и отсутствием или малой динамической осадкой.

В практике сооружения насосных и компрессорных станций применяют три типа фундаментов перекачивающих агрегатов: массивные, рамные и свайные (рис. 26). Тип фундаментов перекачивающих агрегатов НС и КС зависит от многих причин: высотной отметки расположения перекачивающего агрегата, характера и прочности грунтов основания и района строительства.

Массивные фундаменты — фундаменты, имеющие форму, близкую к параллелепипеду, из бетона с минимальным коэффициентом армирования. Конфигурация и размеры этого фундамента в плане зависят от конфигурации и размеров основания перекачивающих агрегатов. Массивные фундаменты широко применяют на НС и КС под насосные и газоперекачивающие агрегаты с нулевой высотной отметкой или с незначительным отклонением от нее. Такие фундаменты отличаются высокой несущей и демпфирующей способностью, т. е. способностью к гашению колебаний. Массивные фундаменты выполняют монолит-

ными и реже сборно-монолитными. В связи с этим они отличаются большой трудоемкостью возведения, необходимостью проведения бетонных и значительного объема земляных работ на строительной площадке при повышенном расходе бетона. Последние обстоятельства значительно затрудняют использование массивных фундаментов, особенно в условиях севера Западной Сибири.

Рамные фундаменты — железобетонные фундаменты, состоящие из монолитной массивной фундаментной плиты, стоек и опорной рамы, на которую устанавливают перекачивающий агрегат. Эти фундаменты широко применяют для газоперекачивающих агрегатов, устанавливаемых на плюсовых высотных отметках до +4,5 м. К таким агрегатам относятся газоперекачивающие агрегаты с приводом от стационарных газовых турбин ГТК-10, ГТ-6-750, ГТ-750-6. Рамные железобетонные монолитные фундаменты отличаются большой трудоемкостью возведения. В связи с этим конструкция таких фундаментов изменена в сторону снижения трудоемкости их возведения и уменьшения расхода материала. Монолитные железобетонные стойки были заменены на сборные из железобетона. Установка и закрепление сборных железобетонных стоек осуществлялась в углублениях (колодцах) путем их замоноличивания. На стойки устанавливали опалубку и бетонировали монолитную опорную железобетонную раму. Но такая конструкция фундамента также требовала выполнения достаточно большого объема работ по заделке (замоноличиванию) концов стоек в плите и бетонированию верхней опорной рамы. Особые трудности при выполнении бетонных работ возникали в зимнее время. Поэтому в следующей конструкции монолитная опорная рама была заменена на сборную железобетонную раму. Затем последовала конструкция, полностью исключающая опорную раму, когда газоперекачивающий агрегат опирался непосредственно на оголовки стоек. Впоследствии сборные железобетонные стойки были заменены на стойки из стального проката, затем на стойки из стальных труб со стальными оголовками. При этом исключались трудоемкие работы по замоноличиванию концов железобетонных стоек. Увеличение расхода стали на стойки компенсировалось значительным снижением трудоемкости и сокращением времени работ по возведению фундамента.

Применение *свайных фундаментов* под газоперекачивающие и насосные агрегаты явилось дальнейшим развитием индустриализации строительства насосных и компрессорных станций. Применение свайных фундаментов позволяет почти полностью исключить земляные работы, сократить расход бетона, снизить трудоемкость и уменьшить сроки выполнения работ нулевого цикла. В связи с тем, что чувствительность свайных фундаментов к динамическим нагрузкам велика, а это вызывает дополнительную осадку свай, была проведена большая научно-исследовательская работа и опытно-промышленные испытания [14, 18,

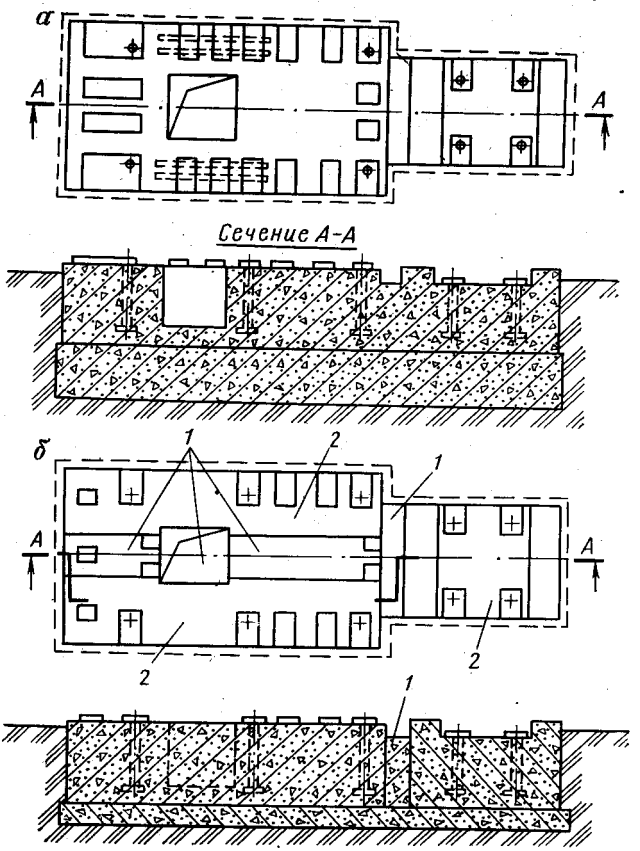
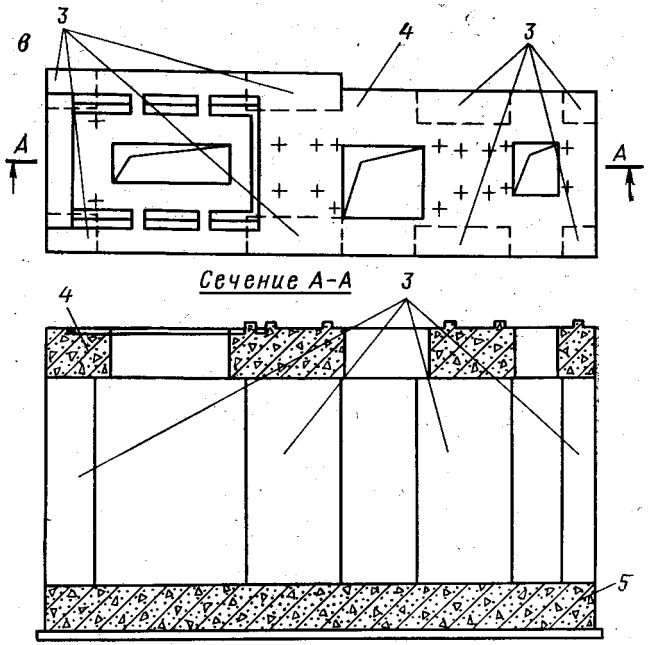
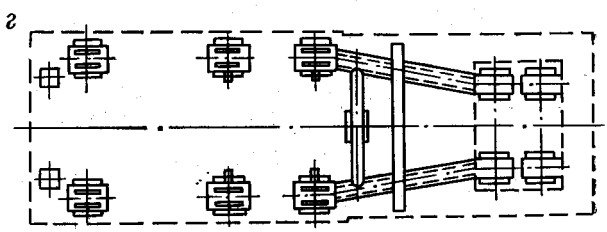


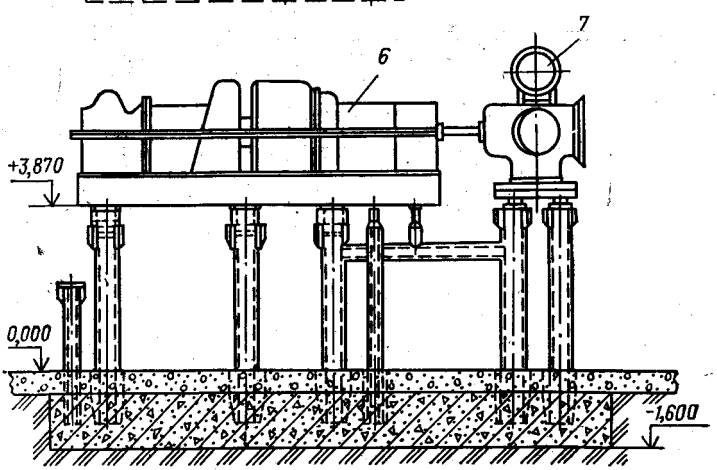
Рис. 26. Фундаменты перекачивающих агрегатов насосных и компрессорных станций:

а — массивные монолитные; *б* — массивные сборно-монолитные; *в* — рамные; *г* — свайные на стойках с массивной плитой; *1* — монолитный участок; *2* — блок; *3* — стойки; *4* — рама; *5* — плита; *6* — ГТУ; *7* — нагнетатель

26]. Проведенные испытания и многолетняя эксплуатация свайных фундаментов газоперекачивающих и насосных агрегатов показали достаточно высокую степень их надежности. Свайный фундамент состоит из системы забивных или буронабивных свай (рис. 27). В качестве забивных применяют железобетонные сваи, а в отдельных случаях, например в условиях севера Западной Сибири, стальные сваи из труб с пассивной или электрохимической защитой их от подземной коррозии. Буронабивные сваи изготовляют непосредственно на строительной площадке в предварительно пробуренных скважинах. На головы забивных или буронабивных свай монтируют на одинаковых высотных отметках специальные стальные оголовки. Для монтажа насосных агрегатов на оголовках свай устанавливают специальную раму


в
3
4
3
А
А
Сечение А-А
4
3
5


г


7
6
+3,870
0,000
-1,600

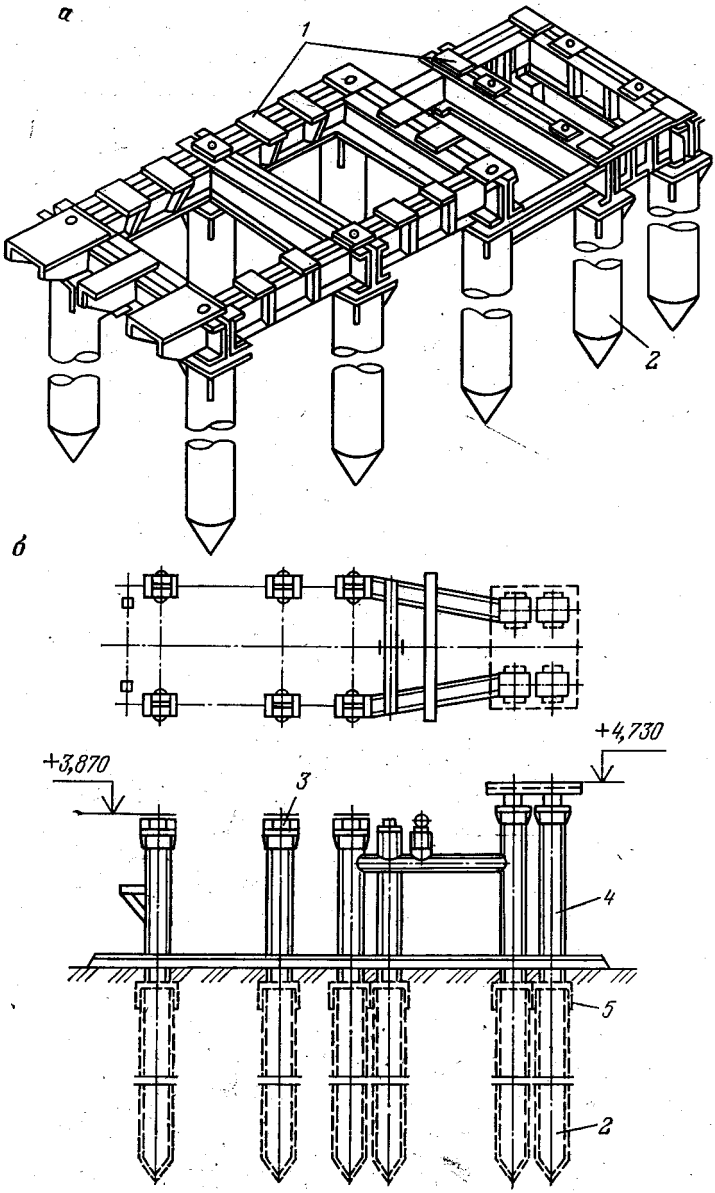


Рис. 27. Свайные фундаменты с установкой перекачивающих насосных агрегатов на нулевой отметке *(а)* и установкой газоперекачивающих агрегатов на отметке выше нулевой *(б)*:

1 — стальная рама; *2* — свая; *3* — башмак; *4* — стойка; *5* — оголовок

из стального проката. Аналогично ведут монтаж газоперекачивающих агрегатов с установкой на нулевой высотной отметке.

Более сложная конструкция свайного фундамента для газоперекачивающих агрегатов с приводом от стационарных газовых турбин ГТК-10 и других, устанавливаемых на плюсовых высотных отметках до +4,5 м. В этом случае на головы свай одевают специальные стальные соединительные оголовки, на которые устанавливают стойки из стальных труб диаметром 530 мм с толщиной стенки 12 мм. Под газотурбинную установку устанавливают шесть стоек, а под центробежный нагнетатель — четыре. На верхние концы труб-стоек монтируют специальные стальные оголовки с горизонтальными опорными площадками, на которые устанавливают раму газоперекачивающего агрегата (см. рис. 27). Верхние концы забитых в грунт свай, нижние концы труб-стоек и соединительные оголовки дополнительно закрепляют с помощью монолитной железобетонной плиты толщиной 1,3 м. Для ускорения монтажа газоперекачивающих агрегатов бетонирование этой плиты выполняют после окончания монтажа газоперекачивающих агрегатов. Точное расположение труб-стоек и предотвращение их смещения при монтаже газоперекачивающего агрегата достигают фиксацией труб-стоек с помощью временных стальных горизонтальных и вертикальных связей. Следует отметить, что бетонирование монолитной плиты выполняют не только после монтажа газоперекачивающего агрегата, но и

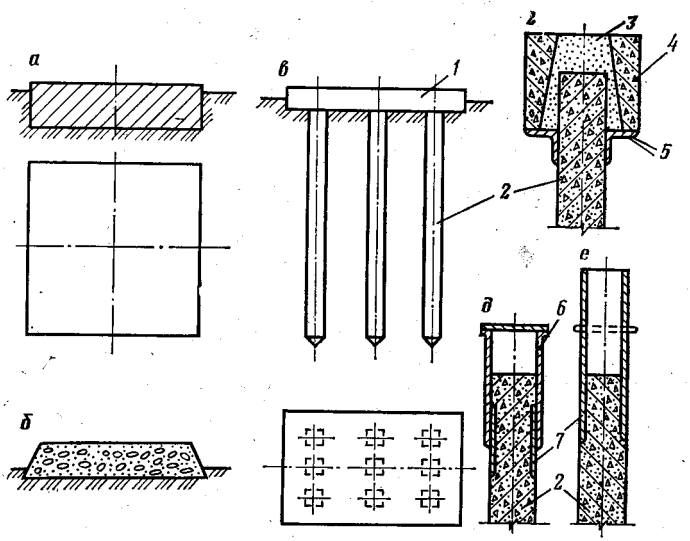
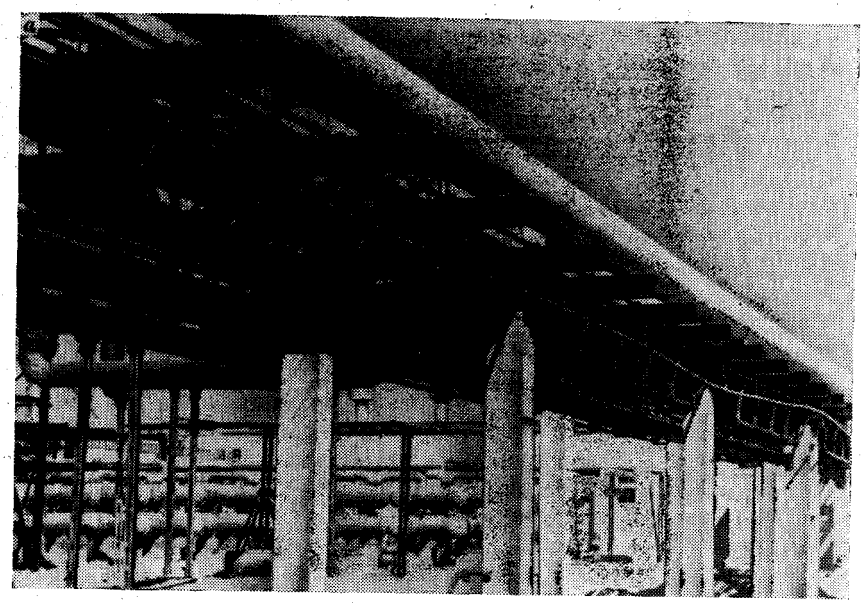


Рис. 28. Фундаменты для технологического оборудования насосных и компрессорных станций:

а — сплошной плитный; *б* — из песчано-гравийной смеси; *в* — свайный; *г* — свайный безростверковый с оголовком из железобетона; *д* — то же, со стальным оголовком и подвижным стаканом; *е* — то же, со стальным оголовком и неподвижным стаканом; *1* — ростверк; *2* — свая; *3* — бетонная смесь; *4* — оголовок; *5* — уголок; *6* — подвижный стакан; *7* — неподвижный стакан



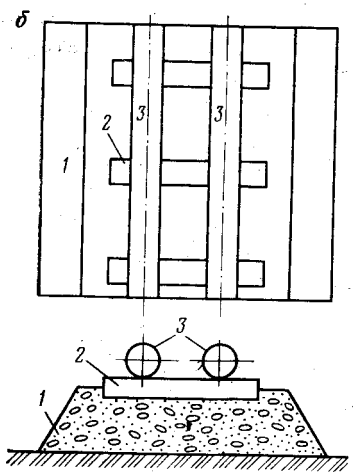


Рис. 29. Опорные сооружения для наземной и надземной прокладки технологических трубопроводов насосных и компрессорных станций:

а — эстакада для надземных трубопроводов; *б* — «шпальная» прокладка; *1* — насыпь из песчано-гравийной смеси; *2* — железобетонные балки (шпалы); *3* — трубопровод

здания компрессорного цеха, что обеспечивает возможность для круглосуточного ведения бетонных работ при положительной температуре. После набора бетоном необходимой прочности временные связи удаляют.

Применение свайных фундаментов для газоперекачивающих и насосных агрегатов обеспечивает значительные технико-экономические преимущества:

почти полное исключение земляных работ при сооружении свайных фундаментов;

значительное снижение расхода бетона;

значительное снижение трудоемкости возведения таких фундаментов по сравнению с трудоемкостью возведения массивных и рамных монолитных железобетонных фундаментов. Даже по сравнению с трудовыми затратами при сооружении модернизированных рамных фундаментов экономия трудовых затрат при сооружении свайных фундаментов составляет 30 %;

снижение сроков возведения фундаментов газоперекачивающих и насосных агрегатов.

Технологическое оборудование насосных и компрессорных станций устанавливают на фундаменты различных типов: плитные, свайные, сборные из железобетонных плит на песчаной подушке, железобетонные эстакады и постаменты (рис. 28). Для снижения трудоемкости монтажа все большее применение находят безростверковые свайные фундаменты, в которых нижняя плита оборудования или плиты эстакады опираются на специальные железобетонные или стальные оголовки. Железобетонный оголовок имеет внутреннюю полость в виде усеченной пирамиды и до замоноличивания со сваей опирается на фиксирующую рамку из стальных уголков. Внутреннее пространство оголовка заполняют мелкозернистой бетонной смесью. Стальные оголовки-стаканы закрепляют на железобетонных сваях путем сварки с закладкой стальной деталью. Причем применяют два вида оголовков-стаканов — подвижные и неподвижные. Подвижный оголовок-стакан устанавливают на нужную высотную отметку после забивки сваи путем перемещения вдоль оси стакана с последующим закреплением сваркой на закладной детали. Неподвижный стакан монтируют на голове сваи при ее изготовлении. Оголовок-стакан на нужную высотую отметку устанавливают путем обрезки стакана на нужную высоту и приварки опорной крышки.

Надземные технологические трубопроводы насосных и компрессорных станций располагают на железобетонных эстакадах (рис. 29), в том числе свайных. Перспективной является «шпальная» прокладка технологических трубопроводов. В этом случае трубопровод укладывают на железобетонные поперечные балки, которые размещают на насыпи из гравийно-песчаной смеси (наподобие шпал и рельс железнодорожного пути).

10. ОСНОВЫ РАСЧЕТА ФУНДАМЕНТОВ ПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Фундаменты газоперекачивающих и насосных агрегатов насосных и компрессорных станций испытывают два вида нагрузок: статические — собственный вес фундамента и перекачивающего агрегата и динамические от действия вращающихся частей привода и нагнетателя или насоса перекачивающих агрегатов.

Расчет фундаментов перекачивающих агрегатов на статические нагрузки практически не отличается от аналогичных расче-

тов фундаментов зданий и сооружений. В состав расчета фундаментов на статические нагрузки обычно входят проверка площади подошвы массивного фундамента или несущей способности свай в свайном фундаменте; определение осадки фундамента в данных грунтовых условиях основания; проверка прочности фундамента по материалу, из которого он изготовлен. Однако расчет на статические нагрузки фундаментов под машины и, в частности, под перекачивающие агрегаты насосных и компрессорных станций отличается меньшим объемом по сравнению с подобным расчетом фундаментов зданий и сооружений. Это связано со значительно меньшим весом перекачивающих агрегатов (максимальный вес наиболее крупных агрегатов ГТН-25—1470 кН). В то же время статические нагрузки на фундаменты зданий и сооружений (их вес) намного выше и составляют тысячи килоньютонов. Поэтому статический расчет фундаментов перекачивающих агрегатов ведут не в полном объеме, а именно: для массивных или рамных фундаментов на естественном основании проверяют среднее статическое давление на грунт, для свайных фундаментов — несущую способность основания.

РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТОВ НА СТАТИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

Проверка среднего статического давления на основание от массивных или рамных фундаментов сводится к выполнению следующего неравенства

$$p_{ср} \leqslant m_0 m_1 R,$$

где $p_{ср}$ — среднее давление на грунт основания от расчетных статических нагрузок на фундамент при коэффициенте перегрузок $n=1$; m_0 — коэффициент условий работы, учитывающий характер динамических нагрузок и ответственность машин; m_1 — коэффициент условий работы грунтов основания, учитывающий возможность возникновения длительных деформаций при действии динамических нагрузок; R — расчетное (допустимое) давление на грунт основания, определяемое в соответствии с требованиями СНиП II-15—74 «Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования».

Коэффициенты условий работы m_0 и m_1, учитывающие наличие динамических нагрузок для фундаментов машин с вращающимися частями, к которым относятся перекачивающие агрегаты насосных и компрессорных станций, принимают следующими: $m_0=0{,}8$; m_1 зависит от вида грунтов оснований: для мелких и пылеватых водонасыщенных песков и глинистых грунтов текучей консистенции $m_1=0{,}7$; для всех остальных видов и состояний грунтов $m_1=1$.

Среднее давление на грунт основания определяют следующим образом.

При центральном приложении нагрузки на фундамент результирующая расчетной статической нагрузки на фундамент N

проходит через его центр тяжести C, и p будет одинаковым в любой точке подошвы фундамента (рис. 30).

$$p_{ср} = p = \frac{N_а + N_ф + N_г}{F} =$$

$$= \frac{(m_а + m_ф + m_г)\, g}{F},$$

где $N_а$, $N_ф$ и $N_г$ — расчетный вес соответственно перекачивающего агрегата, фундамента и грунта на выступах фундамента; F — площадь опирания фундамента на грунт; $m_а$, $m_ф$ и $m_г$ — расчетная масса соответственно перекачивающего агрегата, фундамента и грунта на выступах фундамента; g — ускорение свободного падения.

Масса грунта на выступах фундамента $m_г = V_г \gamma_г$,
где $V_г$ — объем грунта на выступах фундамента; $\gamma_г$ — плотность грунта. Для фундаментов перекачивающих агрегатов обычно $m_г = 0$ (из-за отсутствия выступов).

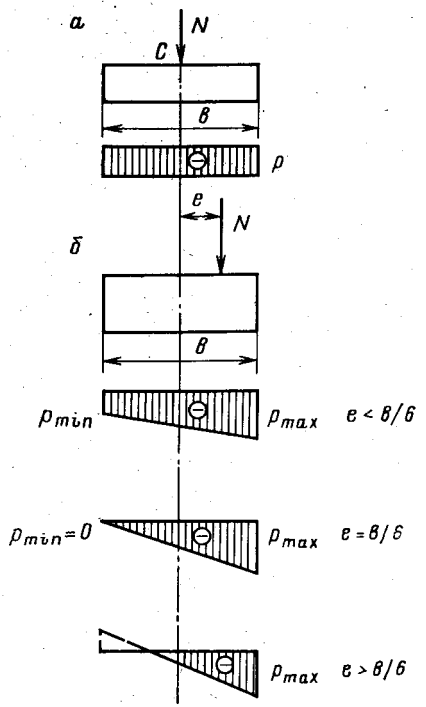


Рис. 30. Эпюры изменения давления на грунт от подошвы фундамента при центральном (*а*) и внецентренном (*б*) приложении нагрузки

При внецентренном приложении вертикальной результирующей нагрузки N давление на грунт основания от подошвы фундамента будет неравномерным, а $p_{ср}$ от действия центральной нагрузки N и изгибающего момента M, действующих в одной плоскости, определяют в зависимости от соотношения минимального p_{min} и максимального p_{max}:

$$P^{max}_{min} = N/F \pm \frac{M}{W},$$

где W — момент сопротивления площади подошвы фундамента.

При внецентренном приложении нагрузки эпюры давления на грунт могут иметь различную форму в зависимости от расположения вертикальной результирующей статической нагрузки N (см. рис. 30). Если нагрузка N находится в пределах ядра сечения подошвы фундамента ($e < b/6$), эпюра давления на грунт будет трапециевидной. Если нагрузки N находятся на границе ядра сечения подошвы фундамента ($e = b/6$), эпюра давления на грунт будет треугольная, а $p_{min} = 0$. Если нагрузка N находится

за пределами ядра сечения подошвы фундамента ($e > b/6$), эпюра давления на грунт будет двухзначной (из двух треугольников), а p_{min} будет растягивающим. В расчете нужно учитывать только участок эпюры от p_{max} до $p=0$.

Так как p_{max} действует лишь под гранью подошвы фундамента, а при удалении к центру p_{max} снижается, то по действующим нормам разрешается принимать расчетное максимальное давление p на 20 % больше R, т. е. $p_{max}=1{,}2R$, следовательно, при внецентренном приложении нагрузки на фундамент с учетом динамических нагрузок должно соблюдаться условие $p_{max} \leqslant \leqslant 1{,}2m_0m_1R$.

Причем размеры подошвы массивных или рамных фундаментов под перекачивающие агрегаты предварительно назначают исходя из габаритов агрегатов в горизонтальной плоскости.

Расчетное (допустимое) давление на грунт основания R определяют в каждом конкретном случае следующим образом.

1. На основе непосредственного определения прочности реальных грунтов в полевых или лабораторных условиях на строительной площадке насосной или компрессорной станции устанавливают нормативное давление на грунт основания $R^н$, по которому определяют расчетное (допустимое) давление на грунт основания:

$$R = R^н/k_г,$$

где $k_г$ — коэффициент безопасности по грунту, $k_г = 1/(1 \pm \rho)$, здесь ρ — показатель точности оценки среднего R.

Знак перед ρ в формуле выбирают таким, чтобы обеспечивалась бóльшая надежность расчета фундамента.

$$\rho = (t_\alpha v)/\sqrt{n},$$

где t_α — коэффициент, принимаемый по СНиП II-15—74 (приложение 1) в зависимости от заданной доверительной вероятности α и числа степеней свободы $(n-1)$; при $\alpha = 0{,}85 \div 0{,}99$ $t_\alpha = 1{,}05 \div 6{,}96$ (при расчете оснований по несущей способности $\alpha = 0{,}95$ и при расчете по деформациям $\alpha = 0{,}85$); n — число измерений давления на грунт основания; v — коэффициент вариации нормативного давления на основание

$$v = \sigma/R^н.$$

Здесь σ — среднее квадратичное отклонение $R^н$,

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(R^н - R_i)^2}.$$

2. На основе определения расчетного (допустимого) давления на грунт:

$$R = \frac{m_1 m_2}{k_н}\left(Ab\gamma_{II} + Bh\gamma'_{II} + Dc_{II} - \gamma'_{II}h_0\right),$$

где m_1 — коэффициент условий работы грунтов основания, зависящий от вида грунта и колеблющийся в пределах 1,1—1,4; m_2 — коэффициент условий работы фундамента во взаимодействии с основанием, зависящий от вида грунта основания и отношения длины и высоты фундамента и колеблющийся в пределах 1—1,4; $k_н$ — коэффициент надежности, зависящий от метода определения расчетной характеристики грунта основания (по результатам непосредственных испытаний грунта $k_н=1$, а по косвенным данным $k_н=1,1$); A, B, D — безразмерные коэффициенты, зависящие от угла внутреннего трения φ_{II} (при изменении φ_{II} от 0 до 45° A изменяется от 0 до 3,66; B — от 1 до 15,64; D — от 3,14 до 14,64); b — размер меньшей стороны подошвы массивного или рамного фундамента; h — глубина заложения фундамента от уровня планировки грунта; γ_{II}' — усредненная (по слоям) расчетная плотность грунта, залегающего выше отметки подошвы фундамента; γ_{II} — то же, но грунта залегающего ниже подошвы фундамента; c_{II} — расчетное удельное сцепление грунта, залегающего непосредственно под подошвой фундамента; h_0 — глубина до пола подвала (при отсутствии подвала, как это характерно для фундаментов перекачивающих агрегатов, $h_0=0$).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПО ПРОЧНОСТИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ

При одновременном действии статических и динамических нагрузок расчет отдельных свай фундамента по несущей способности грунтов сводится к проверке условия

$$N \leqslant \frac{\Phi}{k_н} m_{св} m_{1св},$$

где N — вертикальная результирующая нагрузка, действующая на сваю; Φ — расчетная несущая способность сваи; $k_н$ — коэффициент надежности (при определении несущей способности сваи расчетным путем $k_н=1,4$; при определении несущей способности сваи по результатам полевых испытаний статической нагрузкой $k_н=1,25$); $m_{св}$, $m_{1\,св}$ — коэффициенты условий работы сваи, учитывающие наличие динамических нагрузок (для висячих свай $m_{св}=0,8$; для свай-стоек $m_{св}=1$; для висячих свай при прорезании рыхлых песков любой крупности и влажности, мелких и пылевидных водонасыщенных песков и глинистых грунтов с показателем консистенции $I_L>0,6$ $m_{1\,св}=0,7$; для всех остальных видов грунтов при применении висячих свай и свай-стоек $m_{1\,св}=1$).

Расчетную несущую способность сваи по грунту основания определяют по различным формулам в зависимости от вида свай:

для свай-стоек

$\Phi = mRF$,

где $m=1$ — коэффициент условий работы сваи; F — площадь опирания сваи на грунт, равная площади поперечного сечения сваи сплошного сечения или трубчатой сваи, сердцевина которой заполнена бетоном; при применении полых трубчатых свай F принимают равной площади кольцевого сечения; R — расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи-стойки (для всех видов забивных свай, опирающихся нижним концом на скальные и крупнообломочные грунты $R=2\cdot10^4$; для набивных свай, свай-оболочек, заполненных бетоном, $R=(R^{н}_{сж}/k_г)(h_э/d_э+1{,}5)$, здесь $R^{н}_{сж}$ — нормативное сопротивление скального грунта одноосному сжатию в водонасыщенном состоянии; $k_г=1{,}4$ — коэффициент безопасности по грунту; $h_э$ — расчетная глубина заделки набивной сваи в скальный грунт; $d_э$ — наружный диаметр, заделанный в скальный грунт набивной сваи); для висячих свай

$$\Phi = m(m_R R F + U\sum m_f l_i f_i),$$

где $m=1$ — коэффициент условий работы сваи; m_R, m_f — коэффициенты условий работы грунта соответственно по нижним концам и на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения свай на расчетные сопротивления грунтов ($m_R=1$, $m_f=0{,}5\div1$); R — расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, определяемое по СНиП II-17—77 «Свайные фундаменты. Нормы проектирования» в зависимости от вида грунта и глубины погружения сваи (R изменяются в пределах от 600 до 15 000 кН/м²); F — площадь поперечного сечения сваи; U — наружный периметр поперечного сечения сваи; l_i — толщина i-го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи; f_i — расчетное сопротивление i-го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи в зависимости от вида грунта и глубины расположения i-го слоя грунта, изменяющееся в широких пределах от 2 до 100 кН/м².

РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТОВ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ

При работе машин с вращающимися частями и кривошипно-шатунными механизмами, а также машин ударного действия на фундаменты кроме статических действуют и динамические нагрузки. Динамические нагрузки, передаваемые от машин на фундаменты, могут изменяться по различным законам и вызывать в фундаментах свободные или вынужденные колебания различной амплитуды. Свободные колебания в фундаментах возникают при действии прерывистых, в частности, ударных нагрузок, т. е. в этом случае в промежутках между моментами приложения сил фундамент испытывает колебания до следующего импульса силового возбуждения. Вынужденные колебания возникают при непрерывном силовом возбуждении, передаваемом на фундамент, например, от машин с вращающимися

деталями. К таким машинам относятся и перекачивающие агрегаты насосных и компрессорных станций. Колебания фундамента передаются как на грунты основания, так и обратно на перекачивающие агрегаты. В первом случае колебания фундамента могут вызвать его дополнительную осадку, а во втором случае разбалансировку агрегата, его вращающихся частей.

Выше, при расчете фундаментов на статическую нагрузку, было показано, как с помощью коэффициентов условий работы учитывают воздействие динамических нагрузок при определении несущей способности грунтов основания как для массивных и рамных фундаментов, так и для свайных фундаментов.

Расчет массивных фундаментов. Расчет воздействия вынужденных колебаний массивного фундамента на работающие перекачивающие агрегаты связан с ограничением максимальных амплитуд вынужденных колебаний фундамента какими-то предельно допустимыми величинами. Следовательно, основную суть расчета можно выразить условием:

$$A \leqslant A_D,$$

где A — максимальная амплитуда вынужденных колебаний фундамента, определяемая расчетом; A_D — предельно допустимая амплитуда колебаний фундамента.

Предельно допустимую амплитуду колебаний фундамента определяют, как правило, по нормативным документам (СНиП II-19—79 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками. Нормы проектирования»). Для фундаментов машин с вращающимися частями, в том числе и для перекачивающих агрегатов насосных и компрессорных станций предельно допустимая амплитуда колебаний зависит от частоты вращения ротора машины и равняется 0,1—0,2 мм. Причем допускается уточнение A_D в соответствии с заданием на проектирование.

При работе перекачивающего агрегата в фундаменте возникают три вида колебаний: вертикальные (по вертикальной оси Z); горизонтальные (по горизонтальной оси X) и вращательные (крутильные вокруг оси X). Для каждого из этих видов колебаний расчетным методом необходимо определить их максимальные амплитуды, обозначаемые соответственно A_Z, A_X и A_φ. После этого необходимо провести проверку выполнения условий: $A_Z \leqslant A_D$; $A_X \leqslant A_D$; $A_\varphi \leqslant A_D$.

Определение максимальной амплитуды вынужденных вертикальных колебаний. При равномерном вращении ротора машины нагрузка (периодическая сила), действующая на фундамент в вертикальном направлении, изменяется по синусоидальному закону

$$P_Z = P_{Z\,\max} \sin \omega t,$$

где P_Z — переменная сила, действующая на фундамент в вертикальном направлении (по вертикальной оси Z); $P_{Z\,\max}$ — максимальная сила P_Z; t — время; ω — круговая частота вынуж-

денных колебаний, $\omega = 2\pi f$. Здесь f — частота вращения ротора.

По такому же закону изменяются и вертикальные колебания фундамента

$$Z = A_Z \sin \omega t.$$

Под действием вертикальной возмущающей силы P_Z происходят вертикальные колебания фундамента. Колебательное движение какой-либо точки фундамента в вертикальном направлении, без учета затухания колебаний, можно описать следующим дифференциальным уравнением второго порядка:

$$m\ddot{Z} + k_Z Z = P_{Z\,\max} \sin \omega t, \tag{1}$$

где m — масса фундамента и машины, испытывающих колебания; Z — вертикальное перемещение точки фундамента при колебании; k_Z — коэффициент жесткости основания при упругом равномерном сжатии.

Разделив обе части уравнения (1) на m, получим

$$\ddot{Z} + (k_Z/m)\, Z = (P_{Z\,\max}/m) \sin \omega t. \tag{2}$$

После обозначения $k_Z/m = \lambda_Z{}^2$ уравнение примет вид

$$\ddot{Z} + \lambda_Z^2 Z = (P_{Z\,\max}/m) \sin \omega t, \tag{3}$$

где λ_Z — круговая частота собственных колебаний фундамента по направлению вертикальной оси Z.

Решение уравнения (3) можно представить в виде [1]

$$Z = A \sin A_Z t + B \cos \lambda_Z t + \frac{P_{Z\,\max} \sin \omega t}{m\left(\lambda_Z^2 - \omega^2\right)}, \tag{4}$$

где A, B — постоянные, определяемые из начальных условий (при $t = 0$ $Z = Z_0$ и $\dot{Z} = \dot{Z}_0$).

Подставив $Z = Z_0$ при $t = 0$ в уравнение (4), получим $B = Z_0/\lambda_Z$. Возьмем первую производную от Z и, подставив $\dot{Z} = \dot{Z}_0$ при $t = 0$, получим $A = \dot{Z}_0/\lambda_Z$. Тогда исходя из $Z = A_Z \sin \omega t$ получим

$$A_Z = (P_{Z\,\max}/m)\left[1/\left(\lambda_Z^2 - \omega^2\right)\right]. \tag{5}$$

С учетом того, что $\lambda_Z{}^2 = k_Z/m$,

$$A_Z = (P_{Z\,\max}/m)\left[1/(k_Z/m - \omega^2)\right] = P_{Z\,\max}/(k_Z - m\omega^2). \tag{6}$$

Коэффициент жесткости основания

$$k_Z = C_Z F,$$

где C_Z — коэффициент равномерного упругого сжатия грунтов, который определяют экспериментальным путем.

---

[1] Б. И. Далматов. Механика грунтов, оснований и фундаментов. М., Стройиздат, 1981.

При отсутствии экспериментальных данных для фундаментов с площадью подошвы не более 200 м²

$$C_z = b_0 E\left(1 + \sqrt{\frac{F_0}{F}}\right), \qquad (7)$$

где b_0 — коэффициент, зависящий от вида грунта: для песков $b_0=1$; для супесей и суглинков $b_0=1{,}2$; для глин и крупнообломочных грунтов $b_0=1{,}5$; E — модуль деформации грунта, определяемый по СНиП II-15—74 «Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования»; $F_0=10$ м²; F — площадь подошвы фундамента.

Если площадь подошвы фундамента F превышает 200 м², C_z принимают как для фундаментов с площадью подошвы $F=200$ м².

Определение максимальной амплитуды вынужденных горизонтальных колебаний A_x. При малой высоте фундамента ($h<a/3$, где a — ширина подошвы фундамента) вращательными колебаниями пренебрегают. Тогда по аналогии с предыдущим амплитуду горизонтальных колебаний фундамента A_x по направлению оси X можно рассчитать по формуле

$$A_x = P_{x\,max}/(k_x - m\omega^2),$$

где $P_{x\,max}$ — максимальная возмущающая сила по оси X; $k_x = C_x F$ — коэффициент жесткости основания при упругом сдвиге; C_x — коэффициент равномерного упругого сдвига $C_x = 0{,}7C_z$.

Определение максимальной амплитуды вынужденных вращательных колебаний A_φ. Для высоких фундаментов, когда $h>2a$, можно пренебречь упругим сдвигом фундамента. Тогда

$$A_\varphi = P_x H/(k_\varphi - \theta_0\omega^2), \qquad (8)$$

где H — расстояние от подошвы фундамента до линии действия силы P_x; k_φ — коэффициент жесткости основания при неравномерном упругом сжатии (повороте), $k_\varphi = C_\varphi I$, здесь C_φ — коэффициент неравномерного упругого сжатия (поворота); I — момент инерции площади подошвы фундамента относительно центральной оси, перпендикулярной плоскости действия момента; θ_0 — момент инерции массы машины (агрегата) относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы фундамента перпендикулярно к плоскости колебаний, м⁴.

Можно принять $C_\varphi = 2C_z$.

Особенности расчета на динамическую нагрузку свайных фундаментов[1]. Проведенные эксперименты по исследованию работы свайного фундамента и грунта, заключенного между сваями, в условиях динамических нагрузок показали возможность рассматривать свайный фундамент и грунт между сваями

[1] О. А. Савинов. Современные конструкции фундаментов под машины и их расчет. Л., Стройиздат, 1977.

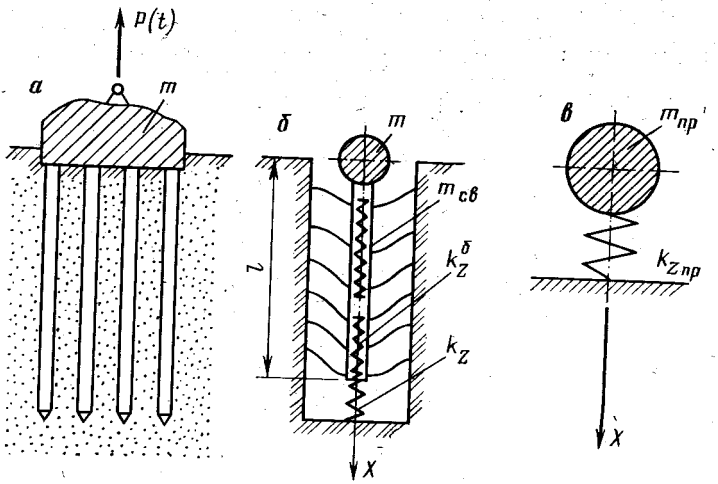


Рис. 31. Расчетная схема свайного фундамента:
а — свайный фундамент; *б* — эквивалент — упругий стержень с распределенной по длине массой; *в* — эквивалентная система с одной степенью свободы

как целый массив, опирающийся на естественное основание на уровне нижних концов свай. Причем проявление упругих свойств этого целого массива при динамических нагрузках наблюдается только при длине свай более 8—10 м. В связи с этим для расчета свайных фундаментов можно принять простейшую схему (рис. 31), в которой сваи фундаментов заменены эквивалентным упругим стержнем с массой, равномерно распределенной по его длине. Основание под концами свай моделируют упругой пружиной; сопротивление грунта перемещению свай по их боковым поверхностям — упругими связями, равномерно распределенными по длине стержня. Однако, как показала практика расчета, для практических целей расчетную схему свайного фундамента можно свести к эквивалентной системе с одной степенью свободы (см. рис. 31, *в*).

Расчет на динамическую нагрузку (на колебания) свайных фундаментов проводят по формуле (6) и (8). Полученные из расчета максимальные амплитуды колебаний A_z и A_φ не должны превышать допустимых амплитуд A_D, т. е. $A_z \leqslant A_D$ и $A_\varphi \leqslant A_D$. Однако вместо характеристик массы m и коэффициентов жесткости k_z и k_φ вводят приведенные массу фундамента $m_{пр}$, коэффициент жесткости грунта основания $k_{z\,пр}$ и $k_{\varphi пр}$ и коэффициент жесткости грунта, взаимодействующего с расчетным массивом по боковым граням, $k_z^б$.

Для вертикальных колебаний свайных фундаментов $m_{пр}$ и $k_{z\,пр}$ рассчитывают по формулам:

$$m_{пр} = m_р + \beta \sum_{i=1}^{n} m_{i\,св}; \qquad (9)$$

$$k_{Z\,\text{пр}} = nE_б d^2 \bar{\beta}\,\frac{\bar{\beta}\,\text{th}\,\bar{\beta}\,l + \alpha}{\bar{\beta} + \alpha\,\text{th}\,\bar{\beta}\,l}, \qquad (10)$$

где $m_р$ — общая масса ростверка и установленного на нем перекачивающего агрегата; $m_{i\,св}$ — масса i-й сваи; $\beta = k_2(0{,}2 + 0{,}8\text{th}\,6/l)$ — условный коэффициент; k_2 — коэффициент, учитывающий влияние свойств прорезаемого сваями грунта на приведенную массу свайного фундамента, $k_2 = 2$, th — тангенс гиперболический; l — длина сваи; n — число свай в свайном фундаменте; $E_б$ — начальный модуль упругости бетона; d — длина стороны поперечного сечения сваи; $\bar{\beta} = k_1/\sqrt{E_б\alpha}$; $\alpha = C_Z/E_б$; k_1 — коэффициент, учитывающий упругое сопротивление грунта по боковой поверхности сваи, $k_1 \approx 3{,}1 \cdot 10^2$ кН$^{\frac{1}{2}} \cdot$м$^{-\frac{3}{2}}$; C_Z — коэффициент равномерного сжатия грунтов на уровне нижних концов свай,

$$C_Z = 2b_0 E\,(1 + \sqrt{F_0/F}), \qquad 11)$$

здесь E — модуль деформации грунта; F — площадь поперечного сечения сваи.

Для определения амплитуды вертикальных колебаний свайных фундаментов $A_{Z\,св}$ применяют ту же формулу (6), что и для массивных фундаментов, т. е.

$$A_Z = P_{Z\,\max}/(k_Z - m\omega^2).$$

Но в этой формуле вместо k_Z и m принимают их приведенные значения $k_{Z\,пр}$ и $m_{пр}$, методика определения которых дана выше:

$$A_{Z\,св} = P_{Z\,\max}/(k_{Z\,пр} - m_{пр}\omega^2). \qquad (12)$$

Для горизонтально-вращательных колебаний свайных фундаментов амплитуда колебаний

$$A_{\varphi\,св} = (P_X H)/(k_{\varphi\,пр} - \theta_{0пр}\omega^2), \qquad (13)$$

где $k_{\varphi пр}$ — приведенный коэффициент жесткости основания при неравномерном упругом сжатии,

$$k_{\varphi\,пр} = k_{Zпр}/n\sum_{i=1}^{n} r_i^2,$$

здесь n — число свай; r_i — расстояние от оси i-й сваи до оси поворота подошвы фундамента; $\theta_{0\,пр}$ — приведенный момент инерции массы перекачивающего агрегата и ростверка относительно оси, проходящей через центр тяжести подошвы свайного фундамента перпендикулярно к плоскости колебаний,

$$\theta_{0пр} = \theta_{пр} + h_0^2 m_р;$$

$$\theta_{пр} = \theta_р + \beta\sum_{i=1}^{n} m_{iсв} r_i^2,$$

здесь $\theta_р$ — момент инерции массы ростверка и машины (перекачивающего агрегата) относительно горизонтальной оси, проходящей через их общий центр тяжести перпендикулярно к плоскости колебаний; h_0 — расстояние от центра тяжести массы до подошвы ростверка; r_i — расстояние от оси i-й сваи до оси поворота подошвы фундамента.

Глава 5

Здания и сооружения насосных и компрессорных станций

11. ЗДАНИЯ БЛОЧНО-КОМПЛЕКТНЫХ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Здания насосных и компрессорных станций используют для размещения насосных и газоперекачивающих агрегатов, некоторых видов технологического оборудования, систем энергоснабжения, связи, контрольно-измерительных приборов и автоматики и др.

На насосных и компрессорных станциях применяют три вида зданий:

каркасные — из легких металлических конструкций, а в некоторых случаях с железобетонным каркасом. Такие здания возводят из отдельных частей (элементов), доставляемых на строительную площадку с заводов или комбинатов (колонны, стропильные и подкрановые балки, стеновые панели, плиты покрытия и др.). Отдельные части таких зданий (полы и массивные фундаменты) изготовляют при возведении самого здания на строительной площадке;

каркасные — из отдельных боксов, собираемые путем их сотовой компоновки. На строительную площадку с заводов доставляют боксы типа БИ, БИВ, ВЖК и др., вписывающиеся в габариты погрузки. После доставки на строительную площадку боксы устанавливают на фундамент и стыкуют по длинным и коротким сторонам;

складывающиеся комплектные здания (СКЗ).

Рассмотрим вначале первый вид зданий из легких металлических конструкций насосных и компрессорный станций, используемых для размещения перекачивающих агрегатов.

Для зданий объектов нефтяной и газовой промышленности применяют унифицированные габаритные схемы. Унифицирование объемно-планировочных параметров зданий (пролета L, шага колонн t и высоты H) выполняют с помощью единой модульной системы (ЕМС), в основу которой положен модуль $М=100$ мм. Для унифицирования габаритных схем каркасов

используют укрупненные модули, равные 3М (300 мм), 6М (600 мм), 15М (1500 мм), 30М (3000 мм), 60М (6000 мм). Пролеты зданий L приняты кратными укрупненному модулю 60М, а именно $L=6$, 12, 18 м. Для зданий объектов нефтяной и газовой промышленности разрешено использовать пролеты, равные 9 м. Шаг колонн t в зданиях объектов нефтяной и газовой промышленности принят равным 6 м. Высота зданий $H=3{,}6$; 4,8; 6; 7,2; 8,4; 9,6 (через 12М) и 12,6 м (через 30М).

Наиболее часто для насосных и компрессорных цехов применяют здания со стальным каркасом. В некоторых случаях, например, при строительстве насосных и компрессорных станций в районах с развитой базой строительной индустрии возможно применение зданий с железобетонным каркасом. Значительное распространение зданий со стальным каркасом объясняется их преимуществами: высокой прочностью при меньшем объеме и меньшей массе элементов каркаса (1 т стального проката эквивалентна примерно 7—8 т железобетона или 3—3,5 м^3 его); возможностью для лучшего использования транспортных средств; большой точностью изготовления и монтажа элементов. Особенно важны эти преимущества при сооружении насосных и компрессорных станций на магистральных трубопроводах в районах Севера и Западной Сибири. ЭКБ по железобетону разработаны унифицированные металлические каркасы для производственных и вспомогательных зданий объектов нефтяной и газовой промышленности, в том числе зданий компрессорных и насосных цехов.

Нефтеперекачивающие агрегаты насосных станций магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов размещают (по четыре агрегата) в общем (групповом) здании (табл. 14). Если электродвигатели, являющиеся приводом центробежных насосов, выполнены во взрывобезопасном исполнении, то нефтеперекачивающие агрегаты размещают в одном помещении. При использовании электродвигателей в обычном исполнении здание разделяют сплошной газонепроницаемой перегородкой на два помещения: электродвигателей и насосное. Перегородку выполняют из сборных панелей (из легкого бетона) с двусто-

Таблица 14. Характеристика зданий насосных цехов насосных станций магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов

Тип насосной станции	Подача, тыс. м^3/ч	Длина, м	Ширина, м	Объем, м^3	Грузоподъемность мостового крана Q, т	
					в помещении насосов	в помещении электродвигателей
БКНС-1,25	1,25	24	9	1300	5	8
БКНС-2,5	2,5	36	12	3000	8	12
БКНС-3,6	3,6	36	12	3000	8	12
БКНС-12,5	12,5	54	15	12 000	15	25

ронним сплошным оштукатуриванием по металлической сетке. В месте прохода через перегородку вала, соединяющего электродвигатель и насос, в перегородке оставляют квадратное отверстие, которое заделывают специальной газонепроницаемой диафрагмой.

Газоперекачивающие агрегаты компрессорных станций размещают в зданиях двух видов: в общих (газоперекачивающие агрегаты с электроприводом и приводом от газовых турбин ГТК-10, ГТ-6-750 и ГТ-750-6); в индивидуальных для каждого агрегата (газоперекачивающие агрегаты с приводом от газовых турбин ГТН-25, ГТН-16, ГТН-6, ГПУ-10 и ГТН-25И). Габариты общих и индивидуальных зданий зависят от мощности и числа газоперекачивающих агрегатов (табл. 15).

Основой стального каркаса зданий насосных и компрессорных цехов служат поперечные рамы, каждая из которых состоит из двух вертикальных элементов (колонн) и верхнего поперечного элемента (стропильной балки или ригеля). В двухпролетных зданиях поперечная рама состоит из трех вертикальных элементов (колонн) и двух ригелей. Колонны и ригели выполняют из стального проката (двутавров № 40, 50 и 60 в зависимости от вида здания).

Колонны опирают на обрез фундаментов через траверсы, симметричные для средних колонн и односторонние для крайних колонн. Жесткое крепление колонн к фундаменту выпол-

Таблица 15. Характеристика зданий компрессорных цехов компрессорных станций магистральных газопроводов

Тип газоперекачивающего агрегата	Вид здания	Число пролетов	Длина, м	Ширина, м	Пролет, м		Шаг колонн, м	Расход стали на 1 м² площади с учетом массы прогонов, кг/м²	Q, т	
					отделения привода	отделения нагнетателя			в отделении привода	в отделении нагнетателя
СТД-12500	Общее	2	96	21	12	9	6	50	10	8
СТД-12500 (для северных районов)	То же	2	120	21	12	9	6	49	10	8
СТД-4000	»	2	96	15	9	6	6	57	5	5
ГТК-10-4	»	2	186	21	15	6	6	84	20	8
ГТН-25	Индивидуальное	2	18	27	18	9	6 и 3	91	10	16
ГПУ-10	То же	1	24	9	9	9	6	78	3,2 (подвесной ручной)	8
ГТН-6	»	2	24	18	12	6	6	83	10	3,3
ГТК-10И	»	3	21	15	6	6+3	6	86	—	—
ГТН-25И	»	1	21	18	18	18,0	—	—	12,5	—

няют анкерными болтами нормальной точности М36 и М42. Крепление ригелей к колоннам также осуществляют на болтах обычно нормальной точности М24. Для некоторых узлов крепления шарнирное, при котором создается возможность для некоторого взаимного перемещения ригеля и колонны. Поперечные рамы располагают по продольным осям здания с шагом, равным 6 м. Поперечные рамы воспринимают вертикальную нагрузку. Однако они не обладают достаточной жесткостью при действии продольной горизонтальной нагрузки. В связи с этим поперечные рамы в продольном направлении соединяют между собой такими элементами каркаса, как подкрановые балки, фундаментные балки, специальные горизонтальные и вертикальные связи. Система всех этих элементов (стержней) и образует достаточно жесткий пространственный каркас здания. Причем следует отметить, что главное назначение подкрановых балок — размещение крановых рельсов для перемещения тележек мостов кранов, а фундаментных балок — опирание нижнего ряда стеновых панелей. Одновременно подкрановые и фундаментные балки являются продольными связями каркаса. Специальные вертикальные связи из стального проката (обычно из уголков) размещают в вертикальной плоскости между колоннами через определенное число шагов, а специальные горизонтальные связи — в горизонтальной плоскости между ригелями двух соседних рам.

Для зданий компрессорных и насосных цехов используют унифицированные стальные каркасы. Унифицирование стальных каркасов означает следующее:

унифицирование габаритных схем каркасов;

унифицирование конструктивных решений (для стальных каркасов зданий), что включает следующие направления: выполнение элементов каркаса из минимального числа типоразмеров стального проката (двутавры № 40, № 50 и № 60); соединение всех элементов каркаса с помощью болтов нормальной точности М20, М24; расположение отметки низа рам (башмаков колонн) на одной высоте (на отметке +0,050 м), что позволяет осуществлять все работы нулевого цикла до начала монтажа каркаса; расчет всех каркасов, за небольшим исключением, на снеговую нагрузку по району IV и ветровую по району III.

Индивидуальное здание для газоперекачивающего агрегата ГТН-25 двухпролетное и имеет два отделения — газотурбинного привода и нагнетателя (рис. 32). Ось агрегата располагается по поперечной оси здания. Поперечная рама каракаса двухпролетная с пролетами, равными 18 м между продольными осями *А* и *Б*, и 9 м — между продольными осями *Б* и *В*. Двухпролетная рама состоит из двух крайних консольных колонн и одной средней консольной колонны. Нижняя часть колонны выполнена из двутавра № 60 с параллельными полками, а верхняя надкрановая часть — из такого же двутавра № 40. Ри-

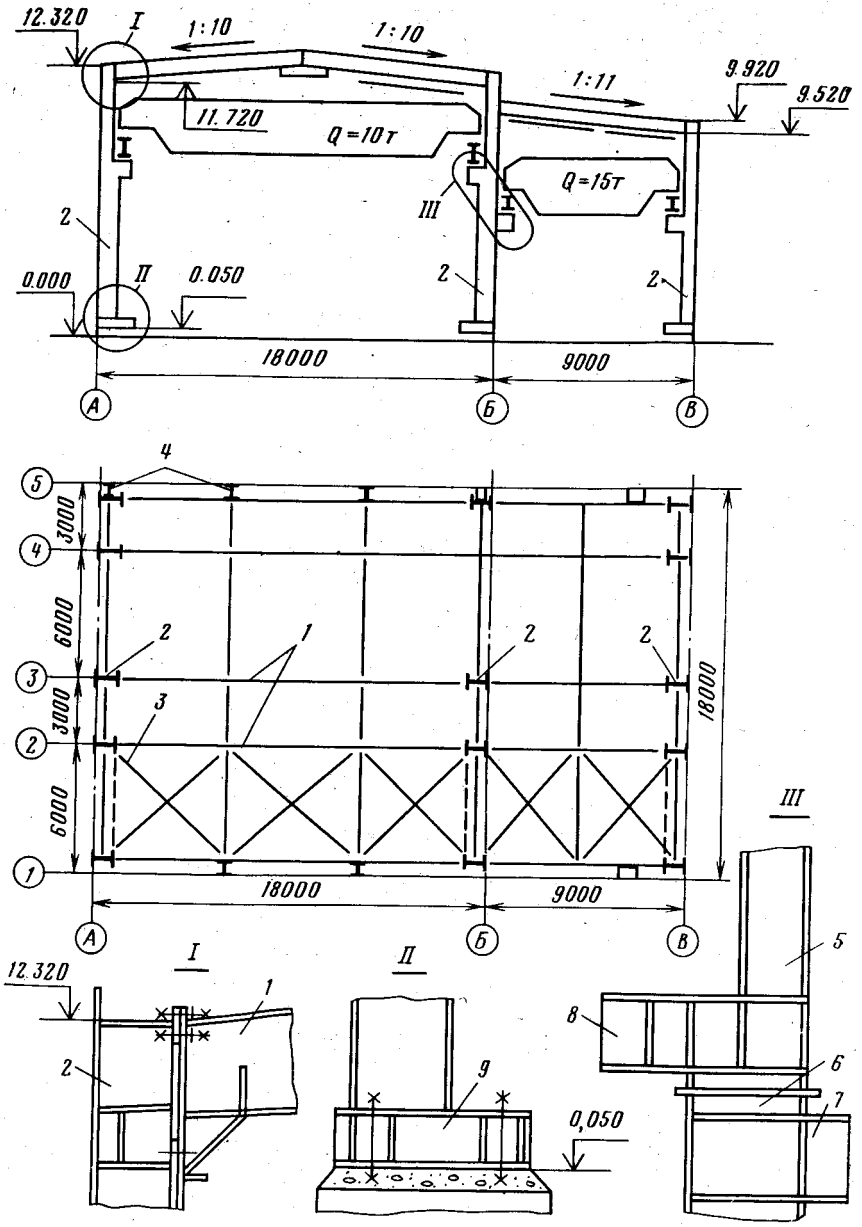


Рис. 32. Каркас индивидуального здания компрессорного цеха для газоперекачивающих агрегатов ГТН-25:

1 — ригель; *2* — колонна; *3* — горизонтальные связи; *4* — колонна фахверка; *5* — надкрановая часть колонны; *6* — подкрановая часть колонны; *7, 8* — консоли колонн; *9* — башмак колонны

гель в пролете длиной 18 м изготовлен из двух полуригелей — двутавров № 60 с параллельными полками, соединенных посредине с помощью сварки. Полуригели расположены с небольшим уклоном (1 : 10) для образования двухскатной кровли. Ригель в пролете длиной 9 м выполнен из двутавра № 60 с параллельными полками с уклоном 1 : 11. Колонны опирают на фундамент через башмаки и закрепляют с помощью анкерных болтов М36. Низ башмаков колонн устанавливают на отметке 0,050, т. е. на 5 см выше нулевой отметки. Регулирование колонн по высоте при их установке в проектное положение осуществляют с помощью подкладных шайб. После выверки колонн и их закрепления делают подливку мелкозернистым бетоном проектной марки М300. Ригели с колоннами соединяют на болтах нормальной точности М24. Пять двухпролетных рам устанавливают по продольным осям здания с поперечным шагом 6 и 3 м. На консолях колонн укладывают и закрепляют разрезные подкрановые балки. В продольном направлении на полки ригелей укладывают и закрепляют прогоны — облегченные балки-швеллеры. Между ригелями крайних рядов (оси 4—5) устанавливают горизонтальные крестообразные связи, а на передней и задней торцевых стенах здания — фахверки, которые состоят из облегченных колонн и связей и предназначены для восприятия нагрузок от стеновых панелей и ветровых нагрузок, действующих на них.

Каркас общего здания для размещения газоперекачивающих агрегатов с электроприводом СТД-12500 также состоит из системы поперечных двухпролетных рам, соединенных в продольном направлении вертикальными и горизонтальными связями, а также подкрановыми и фундаментными балками (рис. 33). Поперечная рама имеет пролеты в 12 м между осями *А* и *Б* и в 9 м между осями *Б* и *В*. Крайние и средняя консольные колонны поперечных рам изготовлены из двутавров № 40 с параллельными полками. Соединения ригелей с колоннами разъемные (болтовые) на болтах нормальной точности М20. Ригели в пролете 12 м укладывают с уклоном 1 : 10, а в пролете 9 м — с уклоном 1 : 7,5. Колонны закрепляют на фундаментах с помощью анкерных болтов М24. Все соединения в узлах жесткие, за исключением соединения ригеля в пролете 9 м со средней колонной по оси *Б*, которое выполнено шарнирным. Поперечные рамы расположены с шагом в 6 м. Общая длина здания — 96 м. В пролете между осями *А* и *Б* (длиной 12 м) размещают электродвигатели с редукторами (отделение электропривода), а в пролете между осями *Б* и *В* (длиной 9 м) — центробежные нагнетатели (отделение нагнетателей). При использовании электропривода в обычном исполнении здания по оси *Б* разделяют на два изолированных отделения. В пролете между осями *А* и *Б* устанавливают мостовой кран грузоподъемностью 10 т, а в пролете между осями *Б* и *В* — мостовой кран грузоподъемностью 8 т.

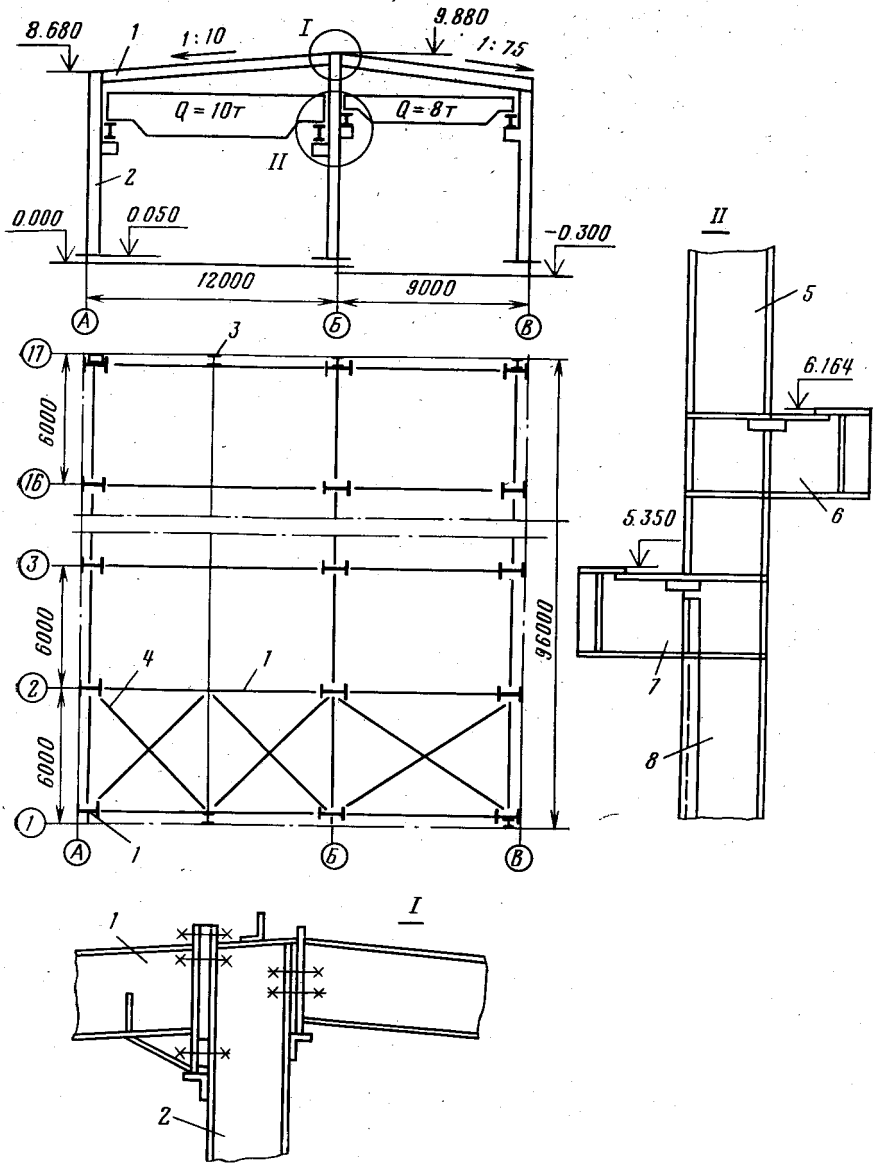


Рис. 33. Каркас общего здания компрессорного цеха для газоперекачивающих агрегатов с электроприводом СТД-12500:

1 — ригель; *2* — колонна; *3* — колонна фахверка; *4* — горизонтальные связи; *5* — надкрановая часть колонны; *6, 7* — консоли колонн; *8* — подкрановая часть колонны

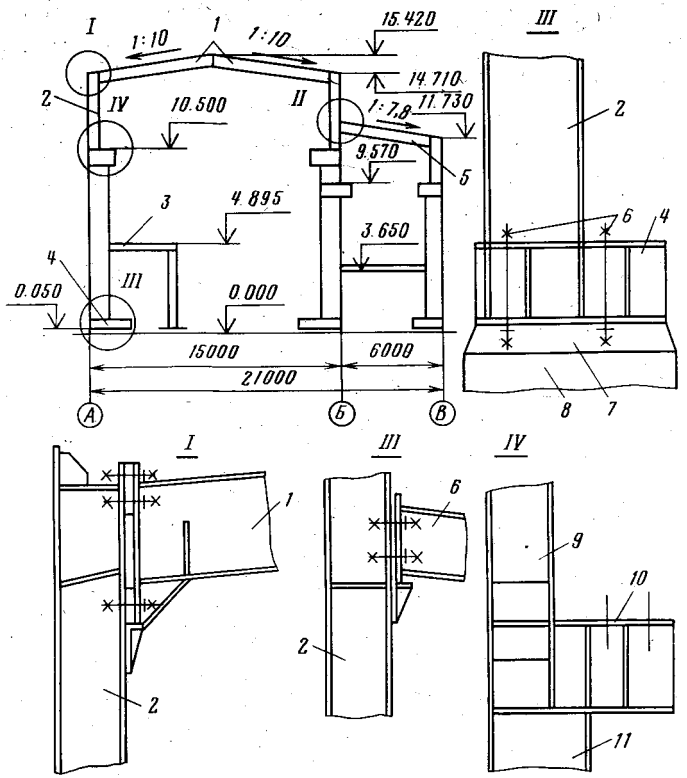


Рис. 34. Каркас общего здания компрессорного цеха с газоперекачивающими агрегатами ГТК-10-4:

1 — ригель; *2* — колонна; *3* — площадка обслуживания; *4* — башмак колонны; *5* — ригель малого пролета; *6* — фундаментные болты; *7* — бетон подливки фундамента; *8* — фундамент; *9* — надкрановая часть колонны; *10* — консоль колонны; *11* — подкрановая часть колонны

Стальной каркас общего здания для размещения газоперекачивающих агрегатов ГТК-10-4 двухпролетный с пролетами, равными 15 м между осями *А* и *Б*, и 6 м — между осями *Б* и *В* (рис. 34). Поперечная рама рассчитана на размещение двух этажей. Первый этаж расположен на нулевой высотной отметке и предназначен для размещения обвязочных трубопроводов и вспомогательного оборудования. Второй этаж предназначен для размещения собственно газоперекачивающего агрегата ГТК-10-4, который устанавливают на трубчатых стойках фундамента на отметках 3,870 (газотурбинная установка) и 4,730 (центробежный нагнетатель). Колонны поперечных рам выполнены из двутавров № 60 для подкрановой части и № 40 для надкрановой части колонны. Ригель в пролете 15 м выполнен из двух полуригелей (двутавров № 60) путем их соединения на сварке. Полуригели соединены под углом, образуя двухскатную

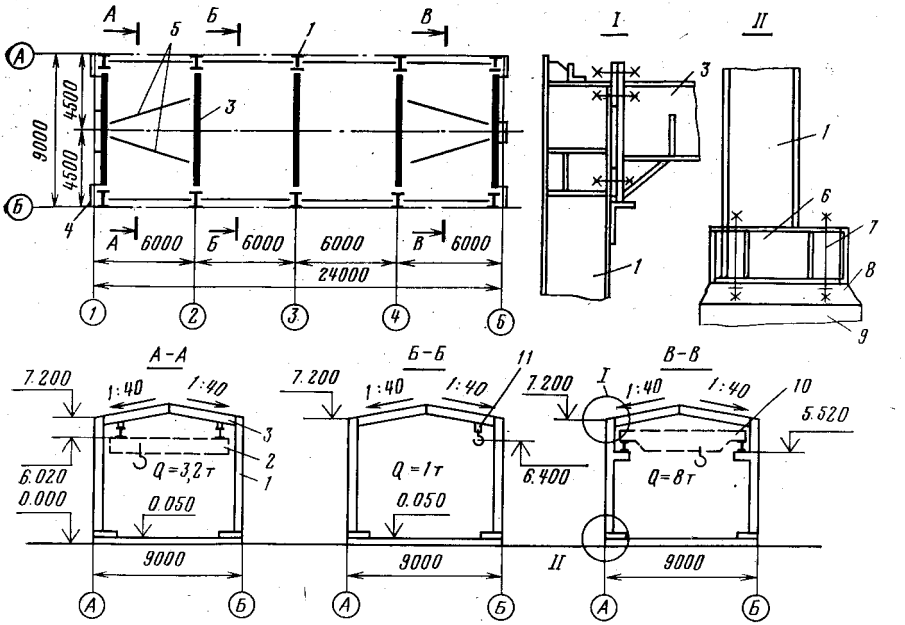


Рис. 35. Каркас индивидуального здания компрессорного цеха с газоперекачивающими агрегатами ГПУ-10:

1 — колонна; *2* — подвесной кран; *3* — ригель; *4* — колонны фахверка; *5* — горизонтальные связи; *6* — башмак колонны; *7* — фундаментные болты; *8* — бетон подливки фундамента; *9* — фундамент; *10* — мостовой кран; *11* — таль

кровлю с уклоном 1 : 10. Во втором пролете ригель (двутавр № 40) уложен на более низкой отметке с уклоном 1 : 7,8. Двухпролетные поперечные рамы устанавливают на фундаменты в направлении продольных осей с шагом 6 м. Крепление колонн к фундаментам, а ригелей к колоннам осуществляют на болтах нормальной точности. В каждой поперечной раме предусмотрены опорные конструкции для размещения площадок обслуживания (второго этажа) газоперекачивающего агрегата.

В продольном направлении поперечные рамы соединены между собой горизонтальными и вертикальными связями. Роль связей выполняют также подкрановые балки, балки перекрытия и щиты площадок обслуживания. В пролете 15 м предусмотрена установка мостового крана грузоподъемностью 20 т, а в пролете 6 м — ручного мостового крана грузоподъемностью 8 т. Каркасы разработаны для цехов с установкой не более шести агрегатов. Изменяя число секций, можно собрать каркас для цеха с числом газоперекачивающих агрегатов от трех до шести. Наиболее распространена схема с расчленением каркаса цеха на две части (на пять и три газоперекачивающих агрегатов), между которыми устанавливают каркас служебно-вспомогательного помещения (СВП).

Стальной каркас индивидуального здания для размещения газоперекачивающего агрегата ГПУ-10 — однопролетный с пролетом 9 м (рис. 35). Поперечная рама состоит из двух крайних колонн (двутавры № 40) и ригеля. Ригель составлен из двух полуригелей (двутавров № 40), соединенных с помощью сварки под некоторым углом. При этом образуется двухскатная кровля с уклоном 1 : 40. Колонны к фундаментам крепят с помощью анкерных болтов № 42, а ригели к колоннам — с помощью болтов нормальной точности М24. Поперечные рамы располагают по продольным осям здания с шагом 6 м. В продольном направлении жесткость каркаса усилена горизонтальными и вертикальными связями. Размеры здания в плане 9×24 м. Перед торцевыми рамами каркаса здания устанавливают фахверки. Индивидуальное здание сплошной газонепроницаемой перегородкой по поперечной оси *4* разделяется на два отделения: привода (газотурбинной судовой установки) и центробежного нагнетателя. Газонепроницаемая перегородка изготовлена из стеновых легкобетонных панелей с последующим двухсторонним оштукатуриванием.

Вертикальные и горизонтальные ограждающие конструкции зданий насосных и компрессорных станций представляют собой трехслойные и двухслойные панели с эффективным утеплителем. Такие панели бывают каркасными и бескаркасными. Характерным для каркасных панелей является наличие несущего каркаса в виде рамы, изготовленной чаще всего из гнутых алюминиевых профилей. К верхней и нижней плоскостям горизонтально уложенной рамы прикрепляют верхний и нижний облицовочные листы из асбестоцемента, алюминиевого сплава или оцинкованной листовой стали (плоские или гофрированные). В пространстве, образованном рамой каркаса и облицовочными листами, размещают эффективный теплоизоляционный материал (утеплитель из полужесткой минеральной ваты, прессованных или заливочных пористых пластмасс). Бескаркасные панели не имеют рамочного каркаса и состоят из двух облицовочных листов (для трехслойных панелей), между которыми размещают слой утеплителя.

В качестве стеновых ограждающих панелей применяют панели марок АПС (алюминиевая панель стеновая) и КСП (каркасная стеновая панель) и их разновидности КСПУ (утепленная) и АПС-1С (северная). Панели марки КСП — более старые трехслойные с каркасом из алюминиевого профиля из сплава марки АМг2 (табл. 16). Наружная и внутренняя облицовки панелей выполнены из прессованных асбестоцементных листов. В качестве тепловой изоляции используют полужесткие плиты из минеральной ваты. Панели марки АПС также трехслойные каркасные с каркасом из гнутых алюминиевых профилей из сплава марки АМг2. Наружная и внутреняя облицовки панелей выполнены из гофрированных листов алюминиевого сплава марки АМг2М. Облицовочные листы жестко скреплены с кар-

Таблица 16. Характеристика трехслойных стеновых панелей

Марка	Длина, мм	Высота, мм	Толщина, мм	Масса, кг	Приведенное термическое сопротивление (м²·°С)/Вт
КСП-1	5980	1190	143	373	1,1
КСП-1-У	5980	1190	143	383	1,1
КСПУ-2	4480	1190	143	280	1,1
КСПУ-2-У	4480	1190	143	285	1,1
КСПУ-3	2990	1190	143	190	1,1
КСПУ-4	1990	1190	143	133	1,1
КСПУ-5	990	1190	143	65	1,1
АПС-1	5980	1190	147	196,8	1,78
АПС-1С	5980	1190	167	214,1	2,04
АПС-2	4480	1190	147	147,8	1,78
АПС-3	2980	1190	147	102,1	1,78
АПС-3С	2980	1190	167	110,8	2,04
АПС-6	5980	590	147	107,6	1,78
АПС-6С	5980	590	167	117,3	2,04

касом с помощью заклепок. В качестве тепловой изоляции также используют полужесткие плиты из минеральной ваты.

В качестве плит покрытия зданий насосных и компрессорных станций используют трехслойные панели марок КПП (каркасная панель покрытия) и СПП (стальная панель покрытия), а также двухслойные марки ППД (панель покрытия двухслойная) (табл. 17). Трехслойная панель покрытия марки КПП имеет каркас, изготовленный из алюминиевого профиля из сплава АМг2. Облицовка панели выполнена из асбестоцементных прессованных листов. Утеплитель из минераловатных полужестких плит размещают внутри каркаса между листами облицовки. Трехслойная панель покрытия марки СПП бескаркасная. Она состоит из двух гофрированных оцинкованных стальных листов, между которыми заложен слой утеплителя — мине-

Таблица 17. Характеристика панелей покрытия

Марка	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Масса, кг	Приведенное термическое сопротивление (м²·°С)/Вт
КППУ-1	5980	1190	147	440	1,1
КППУ-1-У	5980	1190	147	450	1,1
КППУ-2	4480	1190	147	330	1,1
КППУ-3	2990	1190	147	220	1,1
СПП-9,0	9625	1392	258	615	1,3
СПП-7,5	8125	1392	258	515	1,3
СПП-6,0	6625	1392	258	415	1,3
ППД-9,0	9600	1494	160	478	1,3
ППД-7,5	8100	1494	160	406	1,3
ППД-6,0	6600	1494	160	338	1,3

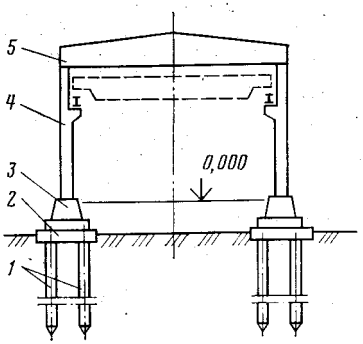
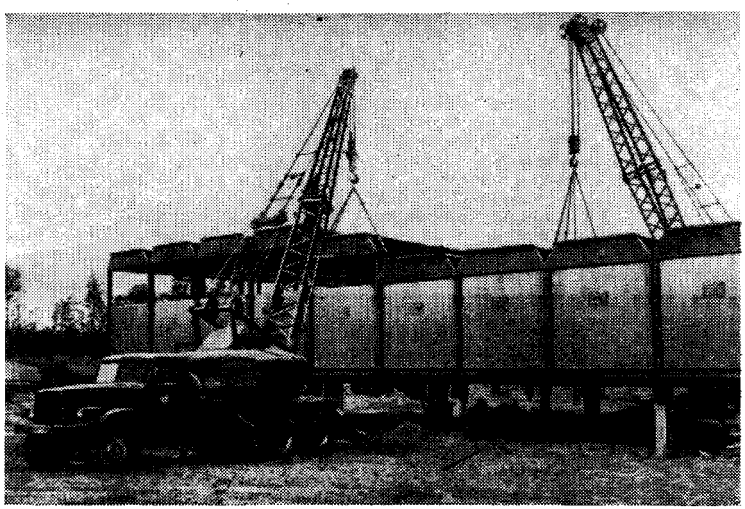


Рис. 36. Поперечная рама железобетонного каркаса здания насосного или компрессорного цеха:
1 — свая; *2* — ростверк; *3* — отдельный (столбчатый) фундамент (подколонник); *4* — железобетонная колонна; *5* — железобетонная стропильная балка (ригель)

Рис. 37. Монтаж здания на компрессорной станции из боксов изменяемой высоты типа БИВ-12



раловатные полужесткие плиты. Оцинкованные стальные листы имеют трапециевидные гофры для повышения жесткости панели. Эти панели покрытия предназначены для устройства покрытия без укладки гидроизоляционного ковра из рулонных материалов.

Все большее распространение получают двухслойные стеновые панели и плиты покрытия. В этом случае панель состоит из внешнего облицовочного гофрированного стального оцинкованного листа и слоя утеплителя (отсюда и название двухслойная панель). Однако широкое использование двухслойных панелей связано с необходимостью применения в качестве утеплителя теплоизоляционного материала с достаточно высокой прочностью, водостойкостью и низкой теплопроводностью. К таким материалам относятся жесткие пенопласты, например, ПСФ-ВНИИСТ, ФРП-1 и др. Двухслойная панель покрытия марки ППД состоит из одного внешнего облицовочного оцин-

кованного листа с трапециевидным профилем и слоя утеплителя-пенопласта ПСФ-ВНИИСТ. В процессе производства панелей при вспенивании исходного материала происходит прочное сцепление слоя утеплителя со слоем облицовки. Оцинкованный лист облицовки дополнительно покрывают слоем полимера.

В районах с развитой сетью заводов железобетонных изделий возможно применение железобетонных каркасов зданий насосных и компрессорных станций. Элементы каркаса — колонны, стропильные балки, подкрановые балки и плиты покрытия изготавливают из железобетона как для унифицированного промышленного здания (например, серии ИИ-04). Железобетонные каркасы, также как и стальные, состоят из поперечных рам и горизонтальных и вертикальных продольных связей (рис. 36). На ростверки куста свай устанавливают отдельные железобетонные фундаменты стаканного типа. Нижние концы колонн монтируют в стаканы фундаментов и жестко заделывают мелкозернистым бетоном, заполняющим пространство между гранями колонны и внутренними поверхностями стаканов фундаментов. Железобетонные элементы каркаса соединяют путем сварки стальных закладных деталей.

Второй вид зданий на насосных и компрессорных станциях— здания, собираемые из транспортабельных боксов. Бокс — индивидуальное здание, вписывающееся в габариты погрузки и рассчитанное не только на эксплуатационные, но и на транспортные нагрузки. Здание из боксов получают путем их соединения и стыковки по длинным и коротким сторонам. Особенно эффективным является применение специальных боксов, рассчитанных на стыковку и соединение в здания. К таким боксам относятся боксы типов БИ, БИВ, ВЖК и др. Здания из боксов изменяемой высоты типа БИВ-12 широко применяют в качестве вспомогательных зданий на насосных и компрессорных станциях (рис. 37). Так, на блочно-модульной насосной станции БМ ПНС-12,5 из боксов монтируют два вспомогательных корпуса, в одном из которых размещают энергетическое оборудование, оборудование связи, контрольно-измерительные приборы и автоматику, а в другом — различные вспомогательные помещения (контору, лаборатории, мастерские и др.).

Третий вид зданий — складывающиеся комплектные здания. Складывающимися эти здания называют потому, что секции этих зданий поступают на строительную площадку в виде сложенного плоского пакета (рис. 38). Каждая секция состоит из трех блоков — одного покрытия и двух стеновых. Блок покрытия состоит из двух стропильных балок с уложенными и закрепленными на них плитами покрытия. Стеновой блок состоит из двух колонн с закрепленными на них стеновыми панелями. Стеновые блоки шарнирно соединяют с блоком покрытия. В транспортном положении секцию складывают в плоский пакет. После доставки пакета к месту монтажа его поднимают с помощью

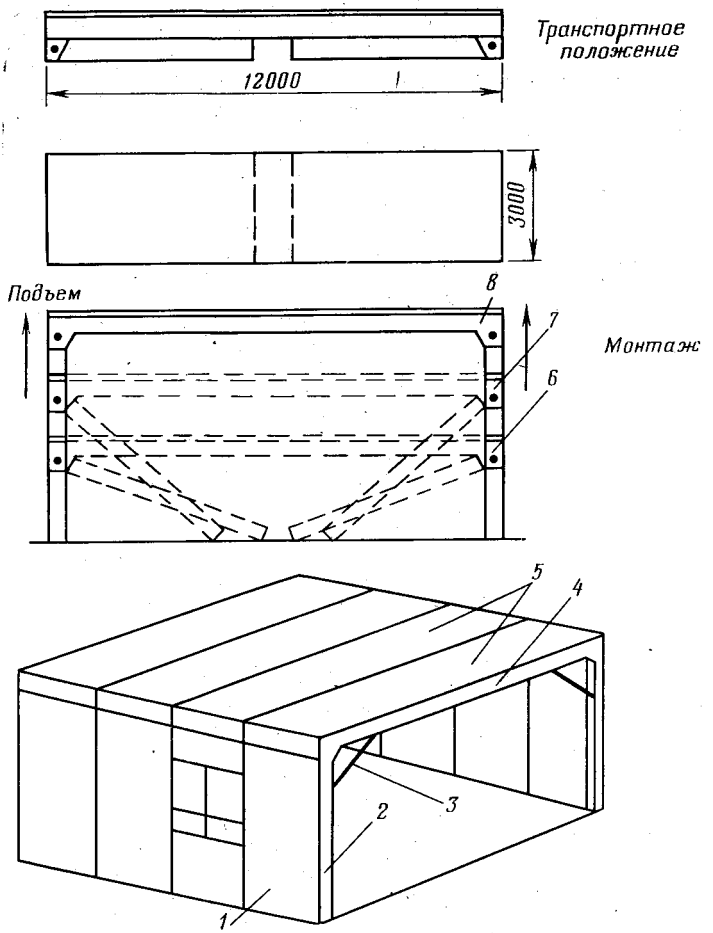


Рис. 38. Складывающееся комплектное здание:
1 — стеновая панель; *2* — колонна; *3* — распорка; *4* — ригель; *5* — плиты покрытия; *6, 7, 8* — положение ригеля СКЗ в процессе монтажа при подъеме

крана. При этом под действием силы тяжести стеновые блоки принимают вертикальное положение. В этом положении колонны секции закрепляют на фундаменте, а для повышения жесткости в верхних углах секции устанавливают специальные раскосы. Путем последовательного монтажа таких секций и их соединения в продольном направлении получают складывающееся комплектное здание. Преимущества СКЗ заключаются в значительном снижении трудоемкости монтажа подобных зданий по сравнению с трудоемкостью монтажа обычных каркасных зданий и ускорении процесса монтажа. Применяют также комбинации СКЗ и боксов.

12. ОСНОВЫ ТЕОРИИ РАСЧЕТА НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КАРКАСА ЗДАНИЙ И БЛОК-БОКСОВ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Здания и блок-боксы каркасного типа состоят из несущего каркаса, ограждающих стен и покрытия. Каркас образует основу сооружения и состоит из колонн, заделанных в фундамент, и ригелей в виде балок, расположенных в поперечном направлении и образующих совместно с колоннами поперечную раму (см. рис. 32—35). В продольном направлении колонны связываются между собой элементами покрытия (плитами), подкрановыми балками при наличии мостовых кранов, а также специальными горизонтальными и вертикальными связями. При этом две соседние колонны по продольной оси вместе с продольными связями образуют продольную раму.

Необходимая пространственная жесткость и устойчивость каркаса обеспечиваются жестким защемлением колонн в фундаментах и соединением их с жесткой в своей плоскости конструкцией покрытия. Причем в поперечном направлении жесткость каркаса обеспечивается только поперечными рамами, а в продольном — продольными рамами и связями. Так как число пролетов продольных рам в зданиях насосных и компрессорных станций большое (обычно не менее шести) и вдоль них часто ставят связи, расчет этих рам, как правило, не проводят.

Основные несущие элементы каркаса блок-боксов — колонны и ригели — рассчитывают как в продольном, так и поперечном направлениях. Таким образом, расчетными элементами в конструкциях зданий насосных и компрессорных цехов являются только поперечные рамы, а каркасе блок-боксов — поперечные и продольные.

РАСЧЕТНЫЕ СХЕМЫ ПОПЕРЕЧНЫХ РАМ

Основная несущая конструкция каркаса одноэтажных зданий насосных и компрессорных станций — плоская поперечная рама. К расчетным ее элементам относятся колонны и ригель. В зависимости от конструкции узла сопряжения колонн с ригелем возможны две принципиальные схемы расчета поперечной рамы: при шарнирном опирании ригеля на колонны и при абсолютно жестком соединении этих элементов. Определение основных геометрических характеристик поперечных сечений колонн и ригеля при заданном материале конструкции проводят при самых неблагоприятных сочетаниях нагрузок, действующих на поперечную раму: постоянные — вес элементов покрытия здания, вес ригеля; временные — снеговая, ветровая и крановая нагрузки (от мостовых кранов): вертикальная (давление колес крановой тележки) и горизонтальная поперечная (от торможения грузовой тележки T).

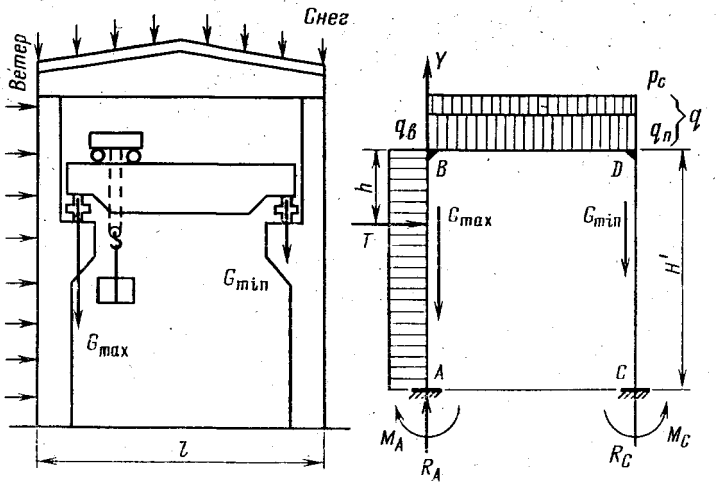


Рис. 39. Расчетная схема нагрузки на поперечную раму каркаса при жестком соединении элементов

Расчетная схема поперечной рамы каркаса при самом неблагоприятном случае воздействия на нее нагрузок: крановых G_{max} и G_{min}, ветровой $q_в$, снеговой $p_с$ и постоянной от веса покрытия $q_п$ представлена на рис. 39 (здесь H' — высота колонны, h — расстояние от верха колонны до точки приложения силы T).

Нагрузка от действия ветрового потока

$$q_в = p_в t,$$

где $p_в$ — расчетная ветровая нагрузка; t — шаг колонн каркаса здания.

Расчетную ветровую нагрузку определяют по следующей формуле:

$$p_в = p_в^н n,$$

где $p_в^н$ — нормативная ветровая нагрузка; n — коэффициент перегрузки (для зданий $n=1, 2$).

Нормативная ветровая нагрузка

$$p_в^н = q_0 k c,$$

где q_0 — скоростной ветровой напор, принимаемый по СНиП II-6 — 74 в зависимости от района строительства; k — коэффициент, учитывающий изменение скоростного ветрового напора по высоте (при высоте до 10 м на открытой местности $k=1$; для городов с окраинами и лесных массивов $k=0{,}65$; при высоте до 20 м $k=1{,}25$ и $0{,}9$); c — аэродинамический коэффициент, принимаемый по СНиП II-6—74.

Вертикальная равномерно распределенная нагрузка на ригель рамы q складывается из веса ригеля $q_р$, веса покрытия $q_п$ и снеговой нагрузки $p_с$:

$$q = q_п + q_р + p_с;$$

$$q_р = q_р^н n l; \quad q_п = q_п^н n t;$$

$$p_с = p_0 c n t,$$

здесь $q_р^н$ — нормативный вес ригеля на 1 м длины; n — коэффициент перегрузки по СНиП II-6—74; l — пролет здания; $q_п^н$ — нормативный вес покрытия; p_0 — вес (давление) снегового покрова в зависимости от района строительства, принимаемый по СНиП II-6—74; c — коэффициент перехода от веса снегового покрова на горизонтальной поверхности земли к снеговой нагрузке на покрытие, принимаемый для угла наклона кровли $\alpha \leqslant 25°$ равным 1; t — шаг колонн каркаса здания.

Максимальную и минимальную силы давления на консоль колонны от крановой нагрузки определяют по следующим формулам (рис. 40):

$$G_{max} = p_{max}(y_1 + y_2 + y_3 + y_4);$$

$$G_{min} = p_{min}(y_1 + y_2 + y_3 + y_4);$$

$$p_{max} = p_{max}^н n n_с k_д; \quad p_{min} = p_{min}^н n n_с k_д,$$

где p_{max} и p_{min} — соответственно максимальная и минимальная расчетные вертикальные крановые нагрузки; $p_{max}^н$ и $p_{m\ n}^н$ — соответственно максимальная и минимальная нормативные вертикальные крановые нагрузки; $n = 1{,}2$; $n_с$ и $k_д$ — соответственно коэффициенты сочетания нагрузок и динамичности, принимаемые по СНиП II-6—74 в зависимости от режима работы мостового крана; y_1, y_2, y_3, y_4 — ординаты линии влияния опорной реакции ($y_2 = 1$).

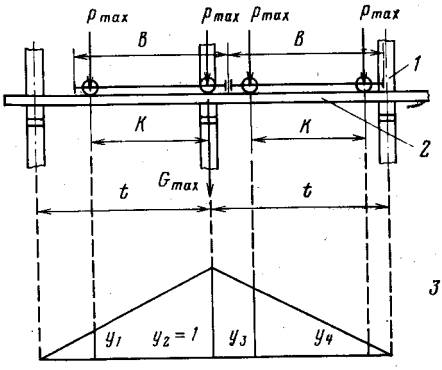


Рис. 40. Расчетная схема воздействия крановой нагрузки на колонну здания:

1 — колонна; *2* — подкрановая балка; *3* — линия влияния опорной реакции; B и K — размеры крановой тележки по ГОСТу

Вертикальное сжимающее усилие, действующее на левую колонну,

$$p = ql/2 + G_{max}.$$

Сосредоточенный изгибающий момент, действующий на уровне опорной поверхности консоли,

$$M = G_{max} l,$$

где l — расстояние между осью подкрановой балки и осью, проходящей через центр тяжести поперечного сечения колонны.

Расчетная поперечная горизонтальная крановая нагрузка

$$T = T_{max} = \frac{T^н}{n_0} n n_c (y_1 + y_2 + y_3 + y_4),$$

где $T^н$ — нормативная поперечная горизонтальная нагрузка от торможения грузовой тележки; n_0 — число колес на одной стороне моста крана.

Нагрузку $T^н$ определяют в зависимости от вида подвеса груза на мостовом кране:

для кранов с гибким подвесом груза

$$T^н = 0{,}05\,(Q + G_{гр.т})\,g;$$

для кранов с жестким подвесом груза

$$T^н = 0{,}1\,(Q + G_{гр.т})\,g,$$

где Q — грузоподъемность крана; $G_{гр.т}$ — масса грузовой тележки крана по таблицам ГОСТа; g — ускорение свободного падения.

Таким образом, все внешние нагрузки определены и можно приступить к расчету внутренних сил, действующих в элементах поперечной рамы каркаса.

Расчет элементов поперечной рамы при жестком сопряжении колонны с ригелем. В данном случае рама трижды статически неопределима. Поэтому в целях снижения громоздкости решения примем следующий алгоритм расчета. Определим изгибающие моменты и горизонтальные реактивные усилия в уз-

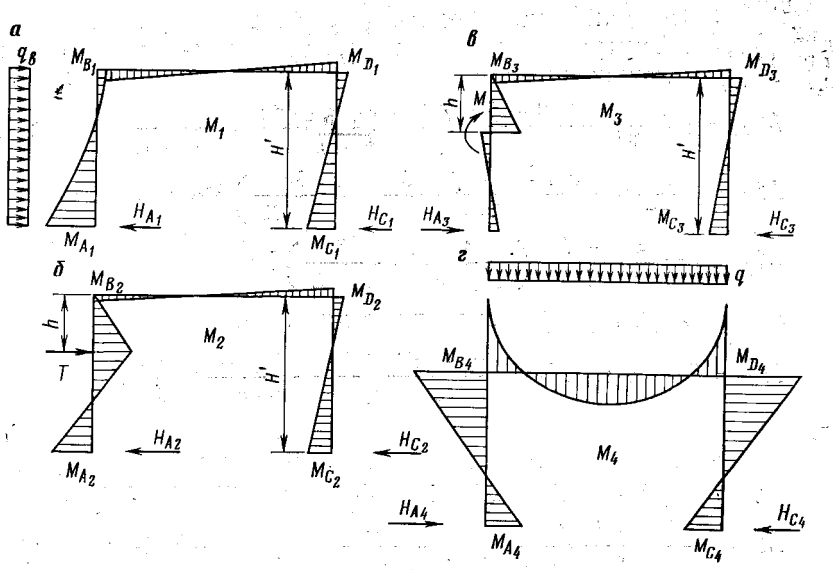


Рис. 41. Эпюры изгибающих моментов в стержнях рамы от действия ветровой *(а)* и поперечной крановой *(б)* нагрузок, опорокидывающего момента *(в)* и равномерно распределенной по длине ригеля нагрузки *(г)*

ловых точках рамы A, B, C и D для каждой отдельно действующей нагрузки и построим эпюры изгибающих моментов. На основании принципа суперпозиции (принципа наложения) с учетом знаков у внутренних усилий получим общее решение. Вертикальные реакции в точках A и C рамы определим из условий равновесия системы. По вычисленным значениям изгибающих моментов и продольных усилий проведем проверку прочности рамы в опасных сечениях.

1. Расчет рамы при действии ветровой нагрузки $q_в$. В этом случае согласно расчетной схеме (рис. 41):

$$M_{A1}=\left(\frac{5+18k}{1+6k}+\frac{1}{2+k}+2\right)\frac{q_в H'^2}{24};$$

$$M_{C1}=\left(\frac{5+18k}{1+6k}-\frac{1}{2+k}\right)\frac{q_в H'^2}{24};$$

$$M_{B1,\,D1}=k\left(\frac{12}{1+6k}\mp\frac{1}{2+k}\right)\frac{q_в H'^2}{24}.$$

Знак минус для M_{B1}, знак плюс для M_{D1}.

$$H_{C1}=\frac{17+18k}{1+6k}\,\frac{q_в H'}{28};$$

$$H_{A1}+q_в H'-H_{C1},$$

где $k=(I_2H')/(I_1l)$ (здесь I_1 и I_2 — соответственно моменты инерции сечения колонны и ригеля).

2. Расчет рамы при действии тормозного усилия T (см. рис. 41, *б*). Внутреннее усилие в узловых точках рамы определяется из соотношений:

$$M_{A2}=\left[(1-\beta)-\frac{(1-\beta)^2}{2}\left(\frac{2+k+\beta+\beta k}{2+k}+\frac{3k}{1+6k}\right)\right]TH';$$

$$M_{C2}=\frac{(1-\beta)^2}{2}\left(\frac{2+k+\beta+\beta k}{2+k}-\frac{3k}{1+6k}\right)TH';$$

$$M_{B2,\,D2}=\frac{k(1-\beta)^2}{2}\left(\frac{3}{1+6k}\mp\frac{\beta}{2+k}\right)TH'.$$

Знак минус для M_{B2}, знак плюс для M_{D2}.

$$H_{A2}=T-H_2;\quad H_{C2}=\frac{(1-\beta)^2}{2}\left(\frac{2+k+\beta+2\beta k}{2+k}\right)T,$$

где $\beta=h/H'$.

3. Расчет рамы при действии опрокидывающего момента (см. рис. 41, *в*). Внутренние усилия, действующие в раме,

$$M_{A3}=-\frac{1-\beta}{2}\left(\frac{1}{1+6k}+\frac{3\beta-1}{2+k}+3\beta\right)M+\beta(2-3\beta)M;$$

$$M_{C3}=\frac{1-\beta}{2}\left(\frac{1}{1+6k}-\frac{3\beta-1}{2+k}+3\beta\right)M;$$

$$M_{B3,\,D3}=\frac{k(1-\beta)}{2}\left(\frac{6}{1+6k}\mp\frac{3\beta-1}{2+k}\right)M.$$

Знак минус для M_{B3}, знак плюс для M_{D3}.

$$H_{A3}=\frac{3}{2}\cdot\frac{(1-\beta)(1+\beta+2\beta k)}{2+k}\cdot\frac{M}{H'}.$$

4. Расчет рамы при действии равномерно распределенной на ригеле нагрузки q (см. рис. 41, *г*). Внутренние усилия в узловых точках рамы

$$M_{A4}=M_{C4}=\frac{1}{2+k}\frac{ql^2}{12};\quad M_{B4}=M_{D4}=2M_{A4};$$

$$M_{1/2}=\frac{ql^2}{24}\frac{2+3k}{2+k};\quad H_{A4}=3M_{A4}/H'.$$

5. Полные внутренние усилия в раме определяют по формулам:

$$M_A=\sum_{n=1}^{n=4}M_{An};\quad M_B=\sum_{n=1}^{n=4}M_{Bn};\quad M_C=\sum_{n=1}^{n=4}M_{Cn};$$

$$M_D=\sum_{n=1}^{n=4}M_{Dn};\quad H_A=\sum_{n=1}^{n=4}H_{An};\quad H_C=\sum_{n=1}^{n=4}H_{Cn}.$$

Реактивные усилия R_A и R_C вычисляют из условий равновесия рамы как жесткого целого. Спроектировав все силы на ось OY и взяв сумму моментов относительно точки C, получим (см. рис. 39, 41)

$$\sum p_y=0;\quad -ql+R_A+R_C-G_{\max}-G_{\min}=0;$$

$$\sum M_C=0;\quad M+M_A-M_C+R_Al+T(H'-h)+\frac{q_BH'^2}{12}-$$

$$-\frac{ql^2}{2}-G_{\max}l=0,$$

откуда

$$R_A=\frac{ql}{12}+G_{\max}-\frac{M+M_A-M_C}{l}-\frac{T(H'-h)}{l}-\frac{q_BH'^2}{2l};$$

$$R_C=\frac{ql}{2}+G_{\min}+\frac{M+M_A-M_C}{l}+\frac{T(H'-h)}{l}+\frac{q_BH'^2}{2l}.$$

Прочность рамы в опасных сечениях проверяют по формуле

$$\sigma_{\max}=\frac{R_{\max}}{\varphi F}\pm\frac{M_{\max}}{W}\leqslant R,$$

где W и F — соответственно момент сопротивления и площадь поперечного сечения рамы; $R_{\max}$ — максимальная реактивная сила; $M_{\max}$ — максимальный изгибающий момент; R — расчет-

Таблица 18. Коэффициенты φ продольного изгиба центрально-сжатых элементов

Гибкость λ	Расчетное сопротивление R				
	200	240	280	320	360
10	0,988	0,987	0,985	0,984	0,983
20	0,967	0,962	0,959	0,955	0,952
30	0,939	0,931	0,924	0,917	0,911
40	0,906	0,894	0,883	0,873	0,863
50	0,869	0,852	0,836	0,822	0,809
60	0,827	0,805	0,785	0,766	0,749
70	0,782	0,754	0,724	0,687	0,654
80	0,734	0,686	0,641	0,602	0,566
90	0,665	0,612	0,565	0,522	0,483
100	0,599	0,542	0,493	0,448	0,408
110	0,537	0,478	0,427	0,381	0,338
120	0,479	0,419	0,366	0,321	0,287
130	0,425	0,364	0,313	0,276	0,247
140	0,376	0,315	0,272	0,240	0,215
150	0,328	0,276	0,239	0,211	0,189
160	0,290	0,244	0,212	0,187	0,167
170	0,259	0,218	0,189	0,167	0,150
180	0,233	0,196	0,170	0,150	0,135
190	0,210	0,177	0,154	0,136	0,122
200	0,191	0,161	0,140	0,124	0,111
210	0,174	0,147	0,128	0,113	0,102
220	0,160	0,135	0,118	0,104	0,094

ное сопротивление материала рамы; φ — коэффициент продольного изгиба колонны.

Численное значение φ подбирают в зависимости от гибкости λ по СНиП II-23—81 (табл. 18).

$$\lambda = H_0/r_{\min},$$

где H_0 — приведенная длина стержня, для колонны рамы $H_0 = 0{,}5H$ (при жестком закреплении), $r_{\min}$ — минимальный радиус инерции сечения, выбираемый по наименьшему значению из следующих зависимостей:

$$r_x = \alpha_x h_1; \quad r_y = \alpha_y b_1.$$

Численные значения коэффициентов α_x и α_y зависят от типа сечения (табл. 19).

Расчет элементов поперечной рамы при шарнирном сопряжении колонны с ригелем. Отсечем ригель от колонны в точках B и D (рис. 42). Взаимное влияние отсеченных элементов эквивалентно действию сил H_B, R_B в точке B и H_D, R_D в точке D.

Из условий равновесия ригеля с учетом того, что нагрузка приложена симметрично, получим

$$\sum p_y = 0; \quad R_B = R_D = \frac{ql}{2}; \tag{14}$$

элементов из стали, МПа

400	440	480	520	560	600	640
0,982	0,981	0,980	0,979	0,978	0,977	0,977
0,949	0,946	0,943	0,941	0,938	0,936	0,934
0,905	0,900	0,895	0,891	0,887	0,883	0,879
0,854	0,846	0,849	0,832	0,825	0,820	0,814
0,796	0,785	0,775	0,764	0,746	0,729	0,712
0,721	0,696	0,672	0,650	0,628	0,608	0,588
0,623	0,595	0,568	0,542	0,518	0,494	0,470
0,532	0,501	0,471	0,442	0,414	0,386	0,359
0,447	0,413	0,380	0,349	0,326	0,305	0,287
0,369	0,335	0,309	0,286	0,267	0,250	0,235
0,306	0,280	0,258	0,239	0,223	0,209	0,197
0,260	0,237	0,219	0,203	0,190	0,178	0,167
0,223	0,204	0,189	0,175	0,163	0,153	0,145
0,195	0,178	0,164	0,153	0,143	0,134	0,126
0,171	0,157	0,145	0,134	0,126	0,118	0,111
0,152	0,139	0,129	0,120	0,112	0,105	0,099
0,136	0,125	0,115	0,107	0,100	0,094	0,089
0,123	0,112	0,104	0,097	0,091	0,085	0,081
0,111	0,102	0,094	0,088	0,082	0,077	0,073
0,101	0,093	0,086	0,080	0,075	0,075	0,067
0,093	0,085	0,079	0,074	0,069	0,065	0,062
0,086	0,077	0,073	0,068	0,064	0,060	0,057

$$\sum p_x = 0; \quad H_B = H_D. \tag{15}$$

Так как в направлении оси $0X$ ригель обладает большой жесткостью на сжатие, то горизонтальные перемещения точек B и D равны между собой, т. е. $U_B = U_D$.

Горизонтальное смещение точек B и D при действии внешней нагрузки

$$U_B = \frac{H_B H'^3}{3EI_1} + \frac{T(H'-h)^2(2H'-h)}{6EI_1} + \frac{q_B H'^4}{8EI_1} + \frac{M(H'-h)^2}{2EI_1}; \tag{16}$$

$$U_D = \frac{H_D H^3}{3EI_1}. \tag{17}$$

Приняв во внимание равенства (16) и (17), получим

$$H_B = \frac{T(H'-h)^2(2H'-h)}{2H'^3} + \frac{3q_B H'}{16} + \frac{3M(H'-h)^2}{4H'^3}.$$

Из условий равновесия левой и правой колонн определим остальные неизвестные реактивные усилия.

Левая колонна (см. рис. 42, *б*)

$$\sum p_x = 0; \quad R_A - R_B - G_{max} = 0.$$

Коэффициенты α_x и α_y [6] *Таблица 19*

Сечение						
α_x	0,42	0,32	0,32	0,33	0,38	0,43
α_y	0,24	0,49	0,58	0,60	0,44	0,43

С учетом выражения (14)

$$R_A = \frac{ql}{2} + G_{\max};$$

$$\sum p_y = 0; \quad T + H_A + q_в H' - H_в = 0; \quad H_A = H_B - T - q_в H';$$

$$\sum M_A = 0; \quad M_A + T(H' - h) + M + q_в \frac{H'^2}{2} - H_B H' = 0;$$

$$M_A = -M - q_в \frac{H'^2}{2} - T(H' - h) + H_в H'.$$

Правая колонна (см. рис. 42, *б*)

$$\sum p_x = 0; \quad R_C - G_{\min} - R_D = 0.$$

С учетом выражения (14)

$$R_C = \frac{ql}{2} + G_{\min};$$

$$\sum p_y = 0; \quad H_D - H_C = 0; \quad H_C = H_D. \tag{18}$$

С учетом выражения (15)

$$H_C = H_B;$$

$$\sum M_C = 0; \quad H_D H' - M_C = 0; \quad M_C = H_D H'. \tag{19}$$

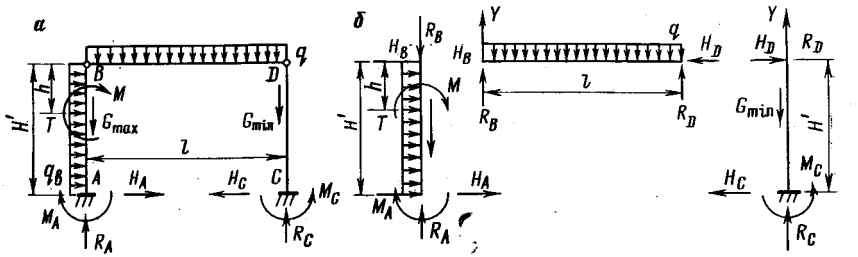


Рис. 42. Расчетная (*а*) и разрезная (*б*) схемы поперечной рамы при шарнирном сопряжении колонн с ригелем

Определив все реактивные усилия, переходим к отысканию опасных сечений рамы. Для этого построим эпюры моментов в элементах рамы.

Изгибающий момент на участке $0 \leqslant y_1 \leqslant H-h$ левой колонны

$$M_{y1} = M_A - H_A y_1 - \frac{q_в y_1^2}{2},$$

а на участке $H'-h \leqslant y_2 \leqslant H'$ изгибающий момент

$$M_{y2} = M_A - H_A y_2 - \frac{q_в y_2^2}{2} + M - T(y_2 - H' + h).$$

Нетрудно убедиться в том, что при $y_2 = H' M_{y2} = 0$. Выражение для изгибающего момента в ригеле запишется

$$M(X) = R_B X - \frac{qX^2}{2}.$$

При $X = l/2$ $M(l/2) = gl^2/8$; при $X = l$ $M(l) = 0$.

Изгибающий момент в правой колонне

$M(y) = H_C y - M_C$.

С учетом выражений (18) и (19)

$M(y) = H_B(y - H')$.

При $y = H'$ $M(H') = 0$.

Глава 6

Организация общих строительных работ при сооружении насосных и компрессорных станций

13. ВИДЫ ОБЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Сооружение современных насосных и компрессорных станций связано с выполнением достаточно сложного комплекса работ, который осуществляют в самых различных природно-климатических и геокриологических условиях. При сооружении насосных и компрессорных станций выполняют различные работы, начиная от земляных и кончая монтажом таким тонких и точных систем, как системы автоматики и телемеханики, связи.

По принятой в строительстве классификации и терминологии все виды строительных работ подразделяют на общие и специальные. К общим строительным работам относят работы по подготовке строительной площадки, земляные, бетонные и арматурные, монтажные по сооружению зданий (монтаж каркаса,

покрытия, стен и сборных фундаментов) и устройству полов, отделочные. К специальным строительным работам относят работы по монтажу перекачивающих агрегатов (газоперекачивающих агрегатов с газотурбинным и электроприводом и насосных агрегатов), основного и вспомогательного технологического оборудования, технологических трубопроводов, резервуаров для нефти и нефтепродуктов на насосных станциях, систем водоснабжения, канализации, вентиляции и отопления, систем контрольно-измерительных приборов и автоматики; систем телемеханики, связи и радиорелейных устройств.

С внедрением блочно-комплектных устройств (БКУ), повышением уровня блочности насосных и компрессорных станций и заменой тяжелых капитальных зданий легкими зданиями снижается объем и трудоемкость общих строительных работ и соответственно увеличивается объем специальных строительных работ, в частности, монтажных.

Подробное описание технологии и организации общих и специальных строительных работ при сооружении насосных и компрессорных станций дается в последующих главах. Здесь же отметим некоторые особенности общих строительных работ применительно к сооружению насосных и компрессорных станций.

Земляные работы на площадке сооружения насосных и компрессорных станций связаны с выполнением вертикальной планировки территории, разработкой грунтов для котлованов под массивные фундаменты перекачивающих агрегатов, для траншей при подземной прокладке технологических трубопроводов.

Бетонные и арматурные работы при сооружении насосных и компрессорных станций связаны с устройством монолитных фундаментов под перекачивающие агрегаты и некоторое технологическое оборудование (например, вертикальные пылеуловители, аппараты воздушного охлаждения газа). С увеличением объема применения свайных фундаментов со сборными железобетонными или стальными ростверками, сборных плитных фундаментов объем трудоемких бетонных и арматурных работ сокращается. В связи с массовым применением на насосных и компрессорных станциях легких общих и индивидуальных зданий с высокой степенью сборности несущих и ограждающих конструкций возведение таких зданий сводится к высокомеханизированному монтажу из элементов заводской готовности: стальных колонн, полуригелей, кровельных и стеновых панелей и т. д.

Работы по устройству полов выполняют в зданиях насосных и компрессорных цехов. В таких зданиях обычно устраивают террацовые (мозаичные) полы. Отделочные работы при сооружении насосных и компрессорных цехов сведены до минимума. Штукатурные и малярные работы проводят для обеспечения газонепроницаемости перегородок между отделениями насосного или компрессорного цеха. Малярные работы включают окраску

стального каркаса здания, различных стальных ограждений, ворот здания, стен, потолков, оконных переплетов, дверей и ворот.

14. ПОДГОТОВКА СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

До начала общих строительных работ на строительной площадке будущей насосной или компрессорной станции должна быть проведена необходимая подготовка строительного производства, которая включает организационные подготовительные мероприятия, внеплощадочные и внутриплощадочные работы (СНиП 3.01.01 — 84 «Организация строительного производства» и ОСТ 102-74 — 83 «Единая система организационно-технической подготовки строительного производства при сооружении наземных объектов»). Организационные подготовительные мероприятия включают прежде всего решение вопросов об условиях использования для нужд строительства насосных или компрессорных станций существующих транспортных и инженерных коммуникаций, предприятий строительной индустрии, сооружений теплоэнергетики и др. Далее необходимо решить вопрос о максимальном использовании для нужд строительства насосных и компрессорных станций местных строительных материалов (в первую очередь щебня или гравия, песка) во избежание дальних завозов этих материалов. К организационным подготовительным мероприятиям относят также определение строительных и строительно-монтажных организаций — участников сооружения насосной или компрессорной станции. Это особенно важно для насосных и компрессорных станций, в сооружении которых кроме генерального подрядчика (генподрядной организации) принимают участие 10—15 субподрядных организаций по монтажу перекачивающих агрегатов, технологического оборудования и трубопроводов, систем водоснабжения и канализации, систем КИП и А, телемеханики, связи, энергоснабжения и др. В период проведения организационных подготовительных мероприятий должны быть заключены договоры генерального подряда между организацией-генподрядчиком (общестроительным трестом Миннефтегазстроя) и заказчиком (объединением или управлением Мингазпрома, Миннефтепрома, Госкомнефтепродукта СССР) на сооружение компрессорных или насосных станций. В свою очередь, генподрядная организация заключает договор со специализированными субподрядными организациями на выполнение специальных строительных работ. К таким специализированным субподрядным организациям относятся как специализированные монтажные тресты Миннефтегазстроя, так и других министерств (например, Министерства монтажных и специальных строительных работ, Министерства энергетики и электрификации и др.). В связи с этим решается вопрос о необходимости передислокации или наращивания производственных мощностей строительных организаций и при-

Таблица 20. Нормы продолжительности строительства насосных и компрессорных станций магистральных трубопроводов (по СН 440-79)

Объект	Характеристика объекта					Нормы продолжительности строительства, мес				Нормы задела в строительстве по кварталам, % к сметной стоимости						
	НС		КС				В том числе									
	мощность, млн. т/год	производительность насоса, тыс. м³/ч	тип перекачивающего агрегата	общая мощность, тыс. кВт	число агрегатов	общая	подготовительный период	передача оборудования в монтаж	монтаж оборудования	1	2	3	4	5	6	7
ГНС в блочно-комплектном исполнении	8	1,25	—	—	—	9	2	5—7	3 6—8	20 22	75 78	100 100	—	—	—	—
	20	2,5	—	—	—	12	2	7—10	4 8—11	14 16	40 42	75 78	100 100	—	—	—
	28	3,6	—	—	—	15	3	10—13	4 11—14	8 10	23 25	43 45	77 80	100 100	—	—
	42—90	7; 10; 12,5				18	3	11—16	6 12—17	5 6	20 22	43 45	67 67	85 85	100 100	
ПНС в блочно-комплектном исполнении	8	1,25	—	—	—	7	1	3—5	3 4—6	40 40	90 90	100 100	—	—	—	—
	20	2,5	—	—	—	9	2	5—7	3 6—8	20 22	62 62	100 100	—	—	—	—
	28	3,6	—	—	—	10	3	5—8	4 6—8	20 20	65 68	90 90	100 100	—	—	—
	42—90	7; 10; 12,5	—	—	—	12	3	7—10	4 8—11	18 20	47 48	75 75	100 100	—	—	—

КС в традиционном исполнении	—	—	ГТК-10, ГТ-6-750	18—30	3	16	3	4—9	9 / 7—15	15	40	63	75	93	100	—
	—	—	ГТ-750-6	36—60	6	18	4	4—10	10 / 7—16	10 / 12	35 / 30	50 / 48	63 / 60	88 / 89	100 / 100	—
	—	—	ГТ-750-6	54—90	9	21	6	7—14	10 / 10—19	7 / 12	21 / 25	36 / 39	57 / 59	75 / 76	92 / 92	100 / 100
	—	—	СТД-4000-2	16	4	12	2	2—6	7 / 5—11	18 / 22	46 / 57	77 / 77	100 / 100	—	—	—
	—	—	СТД-4000-2	32	8	16	3	4—9	9 / 7—15	15 / 18	40 / 35	57 / 52	72 / 70	95 / 95	100 / 100	—
	—	—	СТД-4000-2	48	12	18	4	4—10	10 / 7	10 / 12	35 / 30	50 / 48	63 / 60	88 / 89	100 / 100	—
КС в блочно-комплектном исполнении	—	—	ГПА-Ц-6,3	18,9	3	9	2	4—7	4 / 5—8	25 / 25	70 / 75	100 / 100	—	—	—	—
	—	—	ГПА-Ц-6,3	37,8	6	12	2	6—10	5 / 7—11	10 / 10	33 / 35	75 / 75	100 / 100	—	—	—
	—	—	ГПА-Ц-6,3	56,7	9	14	3	7—12	5 / 9—13	10 / 12	30 / 32	62 / 65	88 / 90	100 / 100	—	—

Примечания: 1. Для ГНС нормы продолжительности строительства включают сооружение на этих станциях резервуарных парков общей вместимостью до 100 (при годовой производительности до 26 млн. т) и до 200 тыс. м³ (при годовой производительности до 90 млн. т). 2. При совмещении промежуточных насосных станций с наливными пунктами и резервуарными парками продолжительность строительства устанавливают по нормам для ГНС. 3. В столбце «Передача оборудования в монтаж» первое число — через сколько месяцев со дня начала строительства начинают передачу оборудования в монтаж, второе число — через сколько месяцев закончат передачу оборудования в монтаж. 4. В столбце «Монтаж оборудования» в числителе показана продолжительность монтажа оборудования (мес), в знаменателе — порядковые номера месяцев (от начала строительства), показывающие начало и окончание монтажа. 5. В столбце «Нормы задела в строительстве по кварталам» в числителе показано распределение объемов капитальных вложений по кварталам, в знаменателе — распределение объемов строительно-монтажных работ.

влечения специализированных субподрядных организаций для выполнения перечисленных выше специальных строительных работ.

К внеплощадочным подготовительным работам относят строительство внешних подъездных дорог, линий связи, электропередач с трансформаторными подстанциями, водопроводных сетей с водозаборными сооружениями, канализационных коллекторов с очистными сооружениями.

Внутриплощадочные подготовительные работы включают:

создание заказчиком геодезической разбивочной основы для сооружения насосной или компрессорной станции и передачу генподрядчику технической документации на эту основу не менее чем за 10 дней до начала строительно-монтажных работ;

расчистку территории строительной площадки насосной или компрессорной станции;

инженерную подготовку территории строительной площадки насосной или компрессорной станции;

создание общеплощадочного складского хозяйства, а также площадок для укрупнительной сборки конструкций (например, конструкций зданий — для перекачивающих агрегатов и некоторого технологического оборудования и др.);

обеспечение строительной площадки противопожарным водоснабжением и инвентарем, средствами связи и сигнализации.

Подготовительные работы должны быть технологически увязаны с основными строительно-монтажными работами. Задача подготовительных работ — обеспечение необходимого фронта для выполнения работ основного периода строительства. Завершение подготовительных работ фиксируют в общем журнале строительных работ. Время, отводимое на выполнение подготовительных работ (подготовительного периода), устанавливается нормативными документами (табл. 20).

Говоря об организации строительно-монтажных работ при сооружении насосных и компрессорных станций магистральных трубопроводов, необходимо отметить следующее обстоятельство. В практике сооружения магистральных газопроводов широко применяют метод их сооружения в едином технологическом коридоре. Например, из районов Западной Сибири в Центр и западные районы СССР в одиннадцатой пятилетке проложены системы мощных газопроводов, в числе которых экспортный магистральный газопровод Уренгой — Ужгород диаметром 1420 мм и протяженностью 4557 км. Сооружение системы магистральных трубопроводов в едином технологическом коридоре позволяет сократить сроки строительства и снизить их стоимость. Применительно к компрессорным станциям сооружение магистральных газопроводов в едином технологическом коридоре позволяет проектировать компрессорные станции с учетом их расширения, а сам процесс строительства осуществлять по очередям, т. е. вначале сдается в эксплуатацию первая очередь, затем вторая и т. д. Это позволяет сократить

объем подготовительных работ (вне- и внутриплощадочных) и в целом сократить срок подготовки строительства, а значит и всего периода строительства. При этом как бы проводят расширение уже действующих компрессорных станций.

15. ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Организация общих строительных работ должна обеспечить их качественное и современное выполнение для обеспечения необходимого фронта ведения специальных строительных и монтажных работ. Существует ряд методов организации строительных работ: последовательный, параллельный и поточный. Поточный метод организации работ в строительстве является преобладающим.

Основные общие принципы поточного метода строительства.

1. Разбивка строительного процесса на определенное число частных процессов. Причем эти частные процессы подбирают таким образом, чтобы на каждый из этих процессов затрачивалось бы одинаковое время. В связи с этим весь строящийся объект разделяют на участки, имеющие одинаковый объем работы, которые называют захватками.

2. Для выполнения работ по захваткам создают строительные формирования — потоки. Различают следующие виды потоков: частный, специализированный, объектный, комплексный.

Частный поток — поток, в котором на ряде захваток выполняют один или несколько простых процессов, например, монтаж сборных фундаментов, колонн, каркаса здания, плит покрытия, стеновых панелей и др.

Специализированный поток — поток, состоящий из нескольких частных потоков. Продукция этого потока — законченные виды работ (монтаж каркаса здания, фундаментов), конструктивные элементы или части здания (стена здания, покрытие здания и др.).

Объектный поток — поток, состоящий из нескольких специализированных потоков. Конечная продукция объектного потока — отдельное здание или сооружение (здание насосного или компрессорного цеха, вспомогательное здание, установка по осушке и очистке газа и др.).

Комплексный поток — поток, состоящий из ряда объектных потоков. Конечной продукцией комплексного потока, как можно понять из его названия, является комплекс зданий и сооружений (целиком насосная или компрессорная станция со всеми зданиями и сооружениями).

3. Однотипные работы выполняют последовательно, например, бетонные и арматурные на монолитных фундаментах, монтаж каркаса зданий, а разнотипные — параллельно, например, на первой захватке на готовые фундаменты монтируют каркас

здания, на второй захватке в это время ведут работы по возведению фундаментов и т. д. Совмещение, т. е. параллельное выполнение работ на всех захватках, позволяет сократить сроки строительства и привлечь для строительства меньшее количество рабочих и механизмов.

До недавнего времени между началом общестроительных работ и началом монтажных и специальных строительных работ, в частности при сооружении насосного или компрессорного цеха, существовал разрыв во времени. Это было связано с тем, что работы по монтажу газоперекачивающих или насосных агрегатов начинали только после полного окончания строительства здания компрессорного или насосного цеха. Помимо удлинения сроков строительства насосных или компрессорных станций это усложняло монтаж газоперекачивающих или насосных агрегатов. В связи с этим все чаще монтаж перекачивающего оборудования проводят до начала строительства зданий насосных и компрессорных цехов. На практике, особенно в условиях Западной Сибири, все большее применение находит поточно-совмещенный метод строительства компрессорных станций, характеризующийся следующими особенностями [19, 26]:

все объекты и сооружения компрессорной станции разбивают на ряд строительных зон;

основные объекты компрессорной станции — компрессорный цех и служебно-вспомогательные здания разделяют на определенное число захваток;

в пределах каждой из строительных зон организуют специализированные потоки для выполнения работ по каждой зоне;

работу специализированных потоков совмещают одновременно как по зонам, так и по захваткам в пределах зоны;

монтаж газоперекачивающих агрегатов в этом случае выполняют до начала строительства зданий компрессорного цеха;

при подобной организации строительства происходит совмещение во времени общестроительных и монтажных работ.

Основные строительно-монтажные работы при сооружении насосных и компрессорных станций выполняют в два этапа: первый — работы нулевого цикла; второй — работы надземного цикла по монтажу зданий, блок-боксов и блок-контейнеров, технологического оборудования. Контроль за технологической последовательностью производства общих строительных, монтажных и специальных строительных работ и за соблюдением директивных сроков строительства насосных и компрессорных станций осуществляют по двум видам графиков: сетевым и линейным календарным. Сетевые графики (рис. 43) более предпочтительные, так как они дают более полное представление о взаимной связи различных строительных работ. На линейных календарных графиках нельзя выделить работы, определяющие продолжительность сооружения насосной или компрессорной станции, и отразить все связи и зависимости между различными строительными работами.

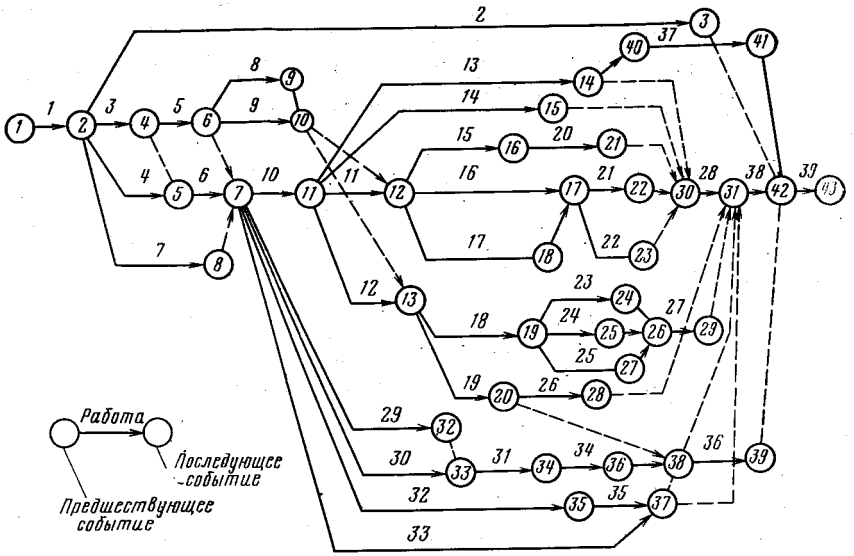


Рис. 43. Укрупненный сетевой график выполнения строительно-монтажных работ при сооружении компрессорной станции с ГПА ГТН-25:

1 — выдача проектно-сметной документации в комплекте; *2* — строительство комплекса жилого городка; *3* — внедрение проекта производства работ на подготовительные работы; *4* — сооружение подъездной автомобильной дороги; *5* — внедрение проекта производства работ нулевого цикла; *6* — строительство временного жилого городка; *7* — вертикальная планировка строительной площадки; *8* — внедрение проекта производства работ на технологическую часть; *9* — внедрение проекта производства работ на строительство надземной части; *10* — прокладка инженерных сетей; *11* — работы нулевого цикла промышленной зоны; *12* — работы нулевого цикла по зоне служебно-производственного комплекса; *13* — изоляционные работы; *14* — монтаж коллекторов и технологических трубопроводов; *15* — монтаж блок-боксов; *16* — монтаж технологического оборудования; *17* — монтаж каркасных зданий для газоперекачивающих агрегатов; *18* — монтаж каркасных вспомогательных зданий; *19* — монтаж блок-боксов; *20* — отделочные работы; *21* — электромонтажные работы; *22, 23* — монтаж контрольно-измерительных приборов и автоматики; *24* — электромонтажные работы; *25* — внутренние санитарно-технические работы; *26* — отделочные работы в зоне служебно-производственного комплекса; *27* — отделочные работы; *28* — испытание технологических трубопроводов и оборудования; *29* — строительство электростанции; *30* — монтаж внешних сетей линий электропередач (ЛЭП); *31* — монтаж внутриплощадочных ЛЭП; *32* — прокладка внешних сетей канализации и водопровода; *33* — строительство комплекса очистных сооружений; *34* — пусконаладочные работы на подстанции; *35* — испытание канализационных и водопроводных сетей; *36* — благоустройство площадки зоны служебно-производственного комплекса; *37* — благоустройство площадки производственной зоны; *38* — пусконаладочные работы; *39* — сдача КС в эксплуатацию; пунктирная линия — зависимость; цифры в кружках — номера работ

Рассмотрим для примера организацию работ по сооружению компрессорной станции, компрессорный цех которой оснащен газоперекачивающими агрегатами ГТК-10. На этой станции компрессорный цех в общем здании сблокирован со служебно-вспомогательным помещением, который разделяет компрессорный цех на два отделения. В каждом из этих отделений располагают шесть и два или пять и три газоперекачивающих агрегата.

Для организации строительных и монтажных работ поточно-совмещенным методом территорию компрессорной станции разбивают на пять строительно-монтажных зон (рис. 44):

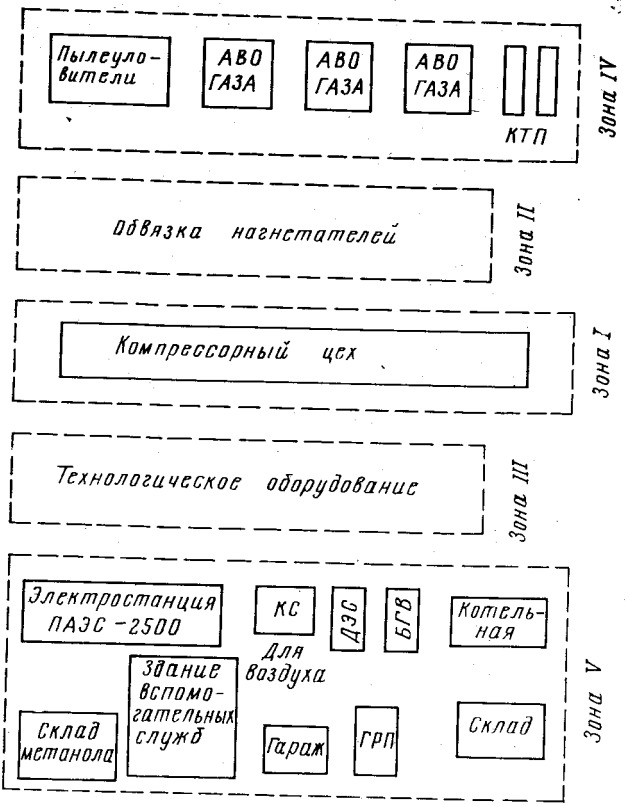


Рис. 44. Разбивка объектов и сооружений компрессорной станции на строительно-монтажные зоны

I включает здания компрессорного цеха и служебно-вспомогательное помещение;

II включает межцеховые подземные технологические трубопроводы, обвязку нагнетателей. Эту зону условно называют «высокая» сторона, так как она расположена со стороны нагнетателей;

III включает технологическое оборудование «низкой» стороны, т. е. со стороны подвода газа из магистрального газопровода в компрессорный цех. В этой зоне расположены объекты подготовки газа, воздуха, удаления отработанных газов из газовых турбин, охлаждения масла, обвязки турбоагрегатов по топливному и пусковому газу, а также комплексная воздухоочистительная установка, воздуховоды, регенераторы, газоходы и дымовые трубы;

IV включает площадку пылеуловителей и аппаратов воздушного охлаждения газа, коллекторы пылеуловителей (КТП) и АВО газа, трансформаторную подстанцию АВО газа.

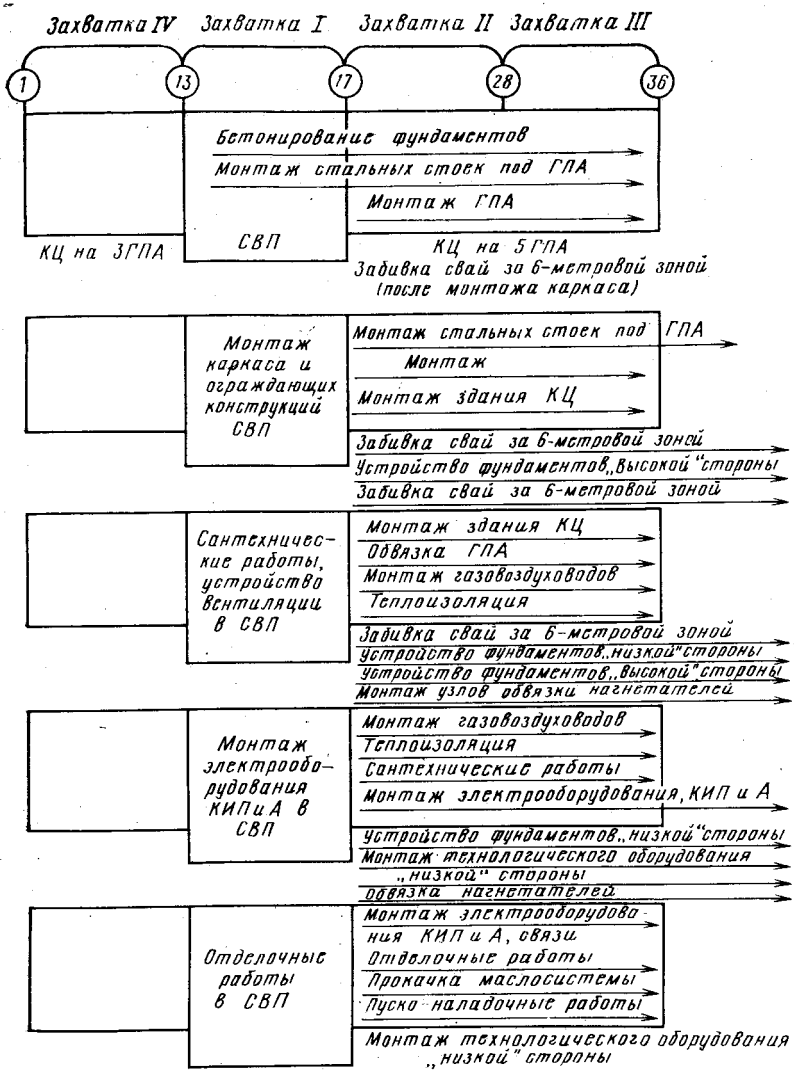


Рис. 45. График движения специализированных потоков в пределах строительно-монтажной зоны I при сооружении компрессорной станции

V включает различные объекты вспомогательного назначения: складское хозяйство, здания вспомогательных служб, электростанцию собственных нужд, площадки очистных сооружений водоснабжения, площадки канализационных очистных сооружений, дизельную электростанцию (ДЭС), газораспределительный пункт (ГРП), блок-бокс горячего водоснабжения (БГВ).

Строительные и монтажные работы на компрессорной станции начинают не одновременно во всех зонах, а только в трех: I, IV, V, т. е. в средней и крайних зонах. Причем наибольшей трудоемкостью отличаются работы в зоне I. Поэтому продолжительность сооружения компрессорной станции определяется именно длительностью выполнения работ в этой зоне.

Для организации поточного строительства в наиболее трудоемкой зоне I ее разделяют на четыре захватки (рис. 45). В состав захватки I входит служебно-вспомогательное помещение (СВП) между поперечными осями *13—17*, захватки II — часть здания компрессорного цеха между поперечными осями *17—28*, захватки III — то же, между поперечными осями *28—36*, захватки IV — то же, между поперечными осями *1—13*.

Для выполнения каждого из видов работ по захваткам создают специализированные потоки. Характер работ, выполняемых специализированными потоками, состав и численность специализированных потоков зависят от различных факторов: состава компрессорной и насосной станции, их мощности, степени блочности насосных и компрессорных станций и др. (табл. 21).

Общестроительные работы выполняют специализированные потоки I, II, IV, IX.

Движение специализированных потоков начинается от захватки I между поперечными осями *13—17* (см. рис. 44). Вначале идет поток земляных работ, который затем перемещается на захватки II, III и IV. Затем в этом же направлении в такой же последовательности выполняет работы поток по забивке свай (рис. 46), бетонированию фундаментов и установке стоек под газоперекачивающие агрегаты и т. д.

Забивку свай ведут одновременно два сваебойных агрегата. Забивка свай начинается с захватки I под каркас СВП. Затем сваебойные агрегаты перемещаются на захватки II и III, где проводят забивку свай под каркас здания компрессорного цеха и под газоперекачивающие агрегаты с перемещением агрегатов от оси *17* к оси *36*. После окончания забивки свай внутри будущего здания компрессорного цеха между осями *17—36* оба сваебойных агрегата перемещают за пределы контура здания и проводят забивку свай под технологическое оборудование и обвязочные трубопроводы в зонах шириной 6 м, примыкающих к зданию компрессорного цеха. Затем сваебойные агрегаты перемещают внутрь будущей второй половины здания компрессорного цеха между поперечными осями *1—13* с перемещением от оси *13* к оси *1*. По окончании забивки свай под каркас зда-

Таблица 21. Примерный состав и функции, выполняемые специализированными потоками при сооружении одной из КС на восьми агрегатах [26]

№ потока	Характер работы, выполняемой специализированным потоком	Максимальное число рабочих в потоке	Машины в потоке	Число машин в потоке
I	Земляные работы (вертикальная планировка, разработка котлованов и траншей, отсыпка полотна дорог и др.). Свайные работы	40	Бульдозеры	5
			Экскаваторы	6
			Сваебойный агрегат	3
			Бурильная машина	2
			Самосвалы	15
II	Работы нулевого цикла (устройство фундаментов зданий, сооружений и оборудования), устройство сетей водоснабжения, канализации, теплоснабжения	150	Экскаваторы	3
			Бульдозеры	3
			Монтажные краны	5
			Электросварочные агрегаты	3
			Вибраторы	4
III	Монтажные работы по монтажу газоперекачивающих агрегатов	15	Трубоукладчики	2
			Монтажные краны	2
			Трейлер	1
			Трактор-тягач	1
			Сварочные агрегаты	2
IV	Монтаж надземной части каркасно-панельных зданий и блок-боксов	80	Трубоукладчик	1
			Монтажные краны	5
			Сварочные агрегаты	3
			Трансформатор сварочный	1
V	Монтаж технологического оборудования (кроме газоперекачивающих агрегатов и обвязка этого оборудования технологическими трубопроводами	75	Монтажные краны	4
			Трубоукладчики	11
			Сварочные агрегаты	12
VI	Внутренние санитарно-технические работы, устройство вентиляции	20	Сварочный агрегат	1
			Сварочный трансформатор	1
VII	Электромонтажные работы	15	Сварочный трансформатор	2
VIII	Монтаж КИП и А	15	Сварочный трансформатор	1
IX	Отделочные и изоляционные работы	64	Подъемник	1
			Штукатурно-малярная станция	1
X	Телефонизация и радиофикация	5	—	—

ния компрессорного цеха и под газоперекачивающие агрегаты между осями *1—13* первый сваебойный агрегат переводят в 6-метровую зону с «высокой» стороны, рядом со зданием между осями *1—13*. После окончания забивки свай в этой 6-метровой зоне (строительная зона II) первый сваебойный агрегат перемещают в зону IV, где расположены АВО газа и сепараторы-пылеуловители. В зоне IV сваебойный агрегат проводит забивку свай фундаментов под АВО газа и пылеуловители. Из

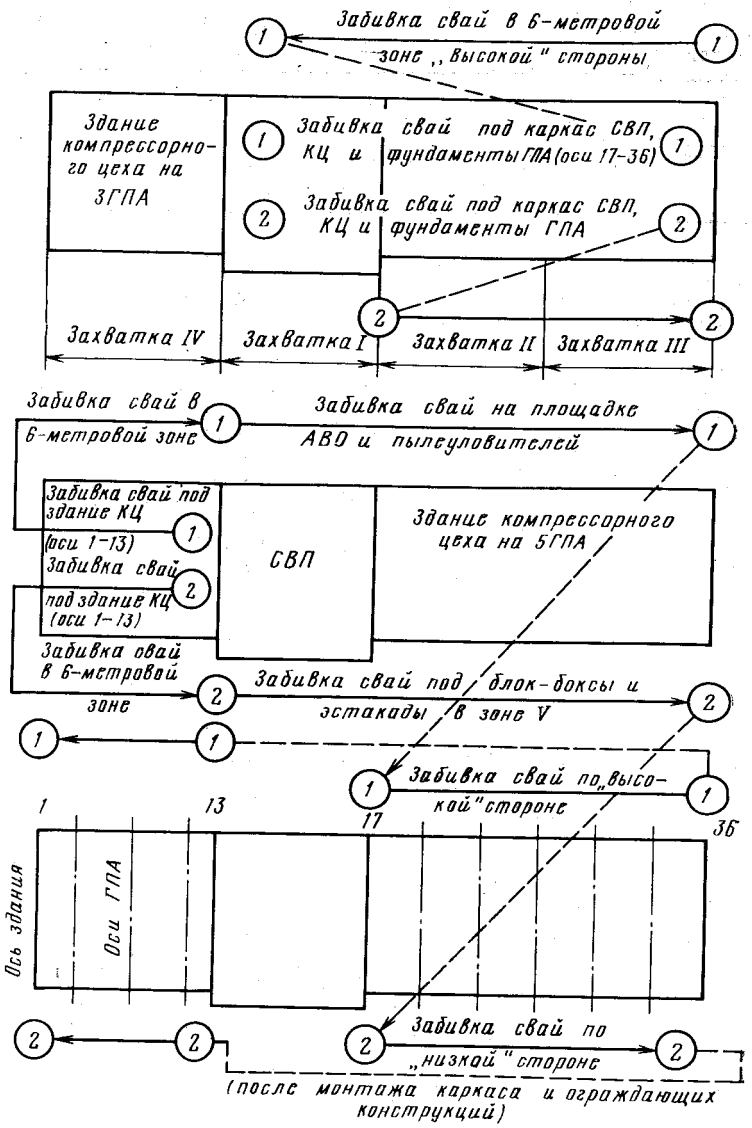


Рис. 46. График движения потоков сваебойных работ:
1 — первый сваебойный агрегат; *2* — второй сваебойный агрегат

зоны IV первый сваебойный агрегат переводят на «высокую» сторону за компрессорным цехом (за пределы 6-метровой зоны) и проводят забивку остальных свай. Второй сваебойный агрегат после окончания забивки свай внутри будущего здания компрессорного цеха между осями *1—13* переводят в 6-метровую полосу зоны III «низкой» стороны между осями *1—13*, а затем — в зону V. В последней будут размещены блок-боксы водоснабжения, канализации, электростанция и склады. В зоне V вторым сваебойным агрегатом забивают сваи под блок-боксы, склады и эстакады. После этого второй сваебойный агрегат вновь перемещают в строительную зону III, где забивают остальные сваи за пределами 6-метровой полосы.

Аналогичный путь совершает идущий вслед специализированный поток II, выполняющий работы нулевого цикла. Таким образом организуют ведение общестроительных работ при сооружении компрессорных станций.

Определенная типовая последовательность выполнения строительно-монтажных работ разработана также и для сооружения блочных и блочно-модульных насосных станций, когда территорию строительной площадки насосной станции разбивают на шесть монтажных зон (рис. 47).

Строительно-монтажные зоны имеют следующую характеристику:

зона I — монтаж фильтров-грязеуловителей, трубопроводов от общего здания насосного цеха до узла подключения, испытание трубопроводов;

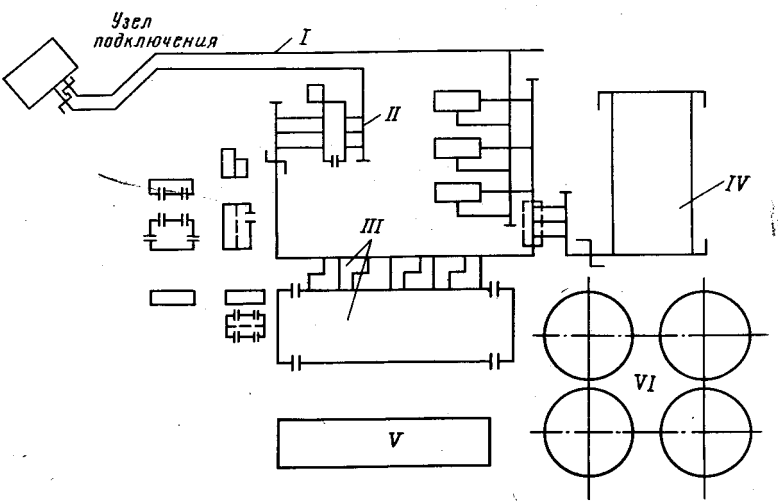


Рис. 47. Разбивка территории насосной станции на строительно-монтажные зоны

зона II — монтаж и обвязка блок-бокса регуляторов давления, монтаж трубопроводов от общего здания насосных агрегатов до узла подключения, испытание трубопроводов;

зона III — монтаж общего здания насосного цеха, монтаж трубопроводов, обвязка насосных агрегатов и оборудования со вспомогательными трубопроводами, испытание трубопроводов обвязки насосных агрегатов до блок-бокса регулятора давления;

зона IV — монтаж блока сборника нефти сброса ударной волны и блок-бокса гашения ударной волны;

зона V — монтаж блоков и блок-боксов, находящихся в здании, а также поэтапный монтаж отдельно стоящих блоков и блок-боксов;

зона VI — монтаж резервуарного парка.

Глава 7

Технология и организация работ нулевого цикла

16. ОСОБЕННОСТИ РАБОТ НУЛЕВОГО ЦИКЛА ПРИ СООРУЖЕНИИ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

К нулевому циклу при сооружении насосных и компрессорных станций относят земляные работы, связанные с вертикальной планировкой территории площадки, рытьем котлованов и траншей, и работы по устройству фундаментов зданий, сооружений и оборудования. Иначе, к нулевому циклу относят строительные работы, по возведению всех частей зданий или сооружений, расположенных ниже вертикальной нулевой отметки.

Несмотря на широкое применение блочно-комплектных устройств и повышение уровня блочности насосных и компрессорных станций, сохраняющиеся повышенная трудоемкость и большая длительность работ нулевого цикла не позволяли значительно сократить сроки строительства насосных и компрессорных станций. Это потребовало как совершенствования конструкций фундаментов, так и дальнейшей индустриализации работ нулевого цикла.

Развитие индустриализации работ нулевого цикла происходит по следующим основным направлениям.

1. Широкое применение под здания насосных и компрессорных цехов и вспомогательных зданий свайных фундаментов из забивных или буронабивных свай, отличающихся меньшей трудоемкостью возведения и большей эффективностью по сравнению с отдельными, плитными и массивными фундаментами. Особенно эффективно применение свайных фундаментов в от-

даленных северных районах со слабо развитой сетью транспортных дорог и суровыми климатическими условиями.

2. Снижение до минимума или полное исключение при работах нулевого цикла бетонных работ, отличающихся повышенной трудоемкостью, длительностью и сильной зависимостью от климатических условий и температур окружающего воздуха. Для этого при сооружении насосных и компрессорных станций проводят следующие организационно-технические мероприятия: применение свайных фундаментов; замена монолитных железобетонных ростверков свайных фундаментов на сборные; замена железобетонных ростверков под колонны зданий насосных и компрессорных цехов на стальные из прокатных профилей; широкое использование безростверковых свайных фундаментов.

17. ЗЕМЛЯНЫЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Земляные работы — разновидность общестроительных работ, связанных с разработкой, перемещением и укладкой грунтов. Готовая продукция земляных работ — постоянные и временные земляные сооружения, к которым относят насыпи и выемки (котлованы для фундаментов и траншеи для подземных трубопроводов). При сооружении насосных и компрессорных станций земляные работы выполняют при проведении вертикальной планировки строительной площадки, возведении котлованов и траншей, обратной засыпке пазух котлованов и траншей и строительстве внутриплощадочных дорог.

Охарактеризуем земляные сооружения, возводимые при строительстве насосных и компрессорных станций.

Котлован — временное земляное сооружение типа выемки с соизмеримыми по величине размерами в плане и глубиной, намного меньшей этих размеров. Размеры в плане котлована определяются размерами в плане зданий насосных и компрессорных цехов, оборудования и т. д. Глубина котлована зависит от характера грунтов основания, наличия в зданиях технических подвалов, гидрогеологических и геокриологических условий. В зависимости от вида грунтов вертикальным стенкам котлована придают различный наклон к вертикали. Уклон вертикальных стенок котлована характеризует коэффициент откоса $m = 1/\mathrm{tg}\,\alpha$ (где α — угол наклона стенки траншеи к горизонтали).

Траншея — временное земляное сооружение типа выемки, у которого длина во много раз больше размеров поперечного сечения. Траншеи на насосных и компрессорных станциях используют для размещения подземных технологических трубопроводов, трубопроводов водоснабжения, канализации и других инженерных сетей. Ширину траншеи для стальных трубопроводов определяют по СНиП III-8—76 «Земляные сооружения. Правила производства и приемки работ» и ОСТ 102-50—79.

Наименьшая ширина по дну траншеи с вертикальными стенками h имеет следующие значения.

Способ укладки трубопровода	h, м
Плети или отдельные секции при наружном диаметре труб D, мм:	
до 700	$D + 0{,}3$, но не менее $0{,}7D$
более 700	$1{,}5D$
Отдельные трубы при наружном диаметре труб D, мм:	
до 500	$D + 0{,}5$
от 500 до 1600	$D + 0{,}8$

При разработке траншей с откосами в грунтах, расположенных выше уровня грунтовых вод, ширина их по дну независимо от диаметра трубопровода должна быть не менее $D+0{,}5$ при укладке из отдельных труб и $D+0{,}3$ при укладке из плетей. При разработке траншей в грунтах, расположенных ниже уровня грунтовых вод и разрабатываемых с открытым водоотливом, ширину их по дну необходимо принимать с учетом размещения водосборных и водоотливных устройств согласно указаниям проекта.

Глубина траншей зависит от назначения трубопровода, транспортируемой среды и других факторов. Для технологических трубопроводов (газо- и нефтепроводов) глубину траншеи можно определять как для магистральных трубопроводов в соответствии со СНиП II-45—75, т. е. в нормальных грунтовых условиях глубина траншеи H должна быть: $H \geqslant D+0{,}8$ м при $D<1$ м и $H \geqslant D+1$ м при $D \geqslant 1$ м. Траншеи для инженерных сетей (систем водоснабжения, канализации и др.) отличаются большой глубиной (1,9—3 м), а ширина их по дну зависит от диаметра и числа размещаемых в траншее трубопроводов. Наибольшая глубина траншеи характерна для сетей водопровода, которые закладывают обязательно ниже нормативной глубины промерзания грунтов, достигающей в некоторых районах СССР 2,5 м. Вертикальные стенки такой траншеи выполняют с откосом $1:m$ при коэффициенте откоса $m=0{,}5$ и заложении стенок траншеи $a=mH=0{,}5H$.

Объем земляных работ рассчитывают различными способами в зависимости от вида работ, сложности земляных сооружений и других факторов. Объем земляных работ V при возведении котлованов, прямоугольных в плане и имеющих откосы, можно определять по формуле как для усеченного клина (рис. 48):

$$V = \frac{h}{6}[(2a+c)\,b+(2c+a)\,d].$$

Эту формулу можно преобразовать в виде

$$V = \frac{h}{6}[ab+cd+(a+c)\,(b+d)],$$

где a и b — соответственно ширина и длина прямоугольника основания (подошвы) котлована; c и d — соответственно ширина и длина по верху котлована; h — высота котлована.

Для расчета объема земляных работ при возведении линейно-протяженных сооружений (траншей) всю трассу по профилю разбивают на отдельные участки. Границами участка служат точки перелома профиля поверхности земли — черные высотные отметки. Объем земляных работ рассчитывают по указанным участкам путем суммирования объемов каждого участка:

$$V = \sum V_i,$$

где V — общий объем грунта; V_i — объем грунта на отдельных участках.

Каждый участок траншеи с уклоном стенок представляет собой призматоид (см. рис. 48, *б*). Объем такого призматоида

$$V_i = \left[F_{ср} + \frac{m(h_1 - h_2)^2}{12}\right] l_i, \qquad (20)$$

где $F_{ср}$ — площадь среднего поперечного сечения траншеи; h_1 и h_2 — рабочие отметки начального и конечного поперечного сечения на участке; m — коэффициент откоса; l_i — длина участка,

$$F_{ср} = bh + mh^2,$$

где b — ширина траншеи по дну; h — средняя рабочая отметка между начальным и конечным поперечным сечением на участке, $h = (h_1 + h_2)/2$.

Формулу (20) для определения V_i обычно применяют при разности высотных отметок $(h_1 - h_2) > 0{,}5$ м и длине участка

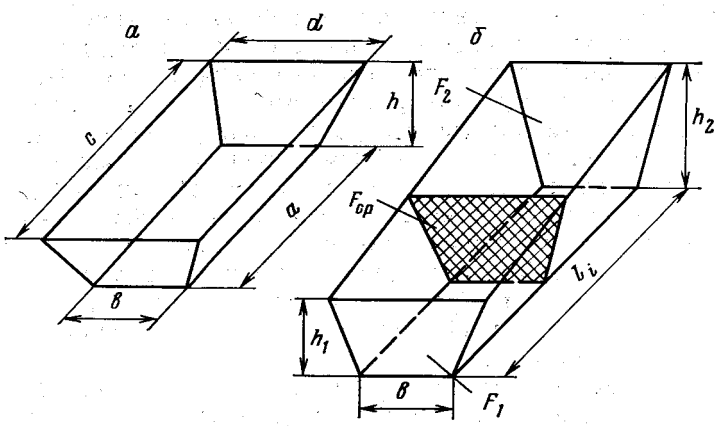


Рис. 48. Расчетная схема подсчета объема земляных работ при разработке котлована *(а)* и траншеи *(б)*

$l_i > 50$ м. Для спокойного рельефа местности при $(h_1 - h_2) < < 0{,}5$ м и $l_i < 50$ м

$$V_i = \frac{F_1 + F_2}{2} l_i,$$

где F_1 и F_2 — соответственно площади начального и конечного поперечных сечений участка, для которого определяют объем грунта.

При постоянном поперечном сечении траншеи на участке

$$F_1 = F_2 = F; \quad V_i = \frac{2F}{2} l_i = F l_i.$$

Наиболее сложен расчет объема земляных работ при проведении вертикальной планировки строительной площадки. Назначение вертикальной планировки — выравнивание пересеченной местности, т. е. приведение ее к какой-то средней выравненной поверхности, на которой и размещают здания, сооружения и оборудование насосных и компрессорных станций (рис. 49). Применение сплошной вертикальной планировки допускается при плотности застройки площадки более 25 % и при большой насыщенности строительной площадки дорогами и инженерными сетями. Строительная площадка насосной или компрессорной станции занимает относительно небольшую площадь (~70 000 м^2), плотность ее застройки превышает 25 % и она насыщена инженерными коммуникациями. Поэтому на строительных площадках насосных и компрессорных станций обычно выполняют сплошную планировку. Объем земляных работ при вертикальной планировке рассчитывают на стадии проектирования в составе проекта организации строительства (ПОС).

Для расчета объемов земляных работ при вертикальной планировке применяют методы квадратных и треугольных призм. Для случая относительно небольших размеров строительной площадки насосных и компрессорных станций подсчет объема земляных работ при вертикальной планировке проводят с помощью метода квадратных призм. Для этого весь план площадки с нанесенными горизонталями разбивают на квадраты со сторонами от 10 до 50 м. Причем в каждый квадрат должно попасть не более двух горизонталей (рис. 50). Объем земляных работ рассчитывают в пределах каждого квадрата с последующим их суммированием. Все квадраты последовательно нумеруют. Для всех четырех вершин квадратных пирамид со стороной a вычисляют черные отметки $H_{\text{чер}}$, т. е. отметки от условной плоскости до дневной поверхности земли естественного рельефа.

Первая цифра индекса черной отметки, например, H_{12}, H_{13}, H_{22}, H_{31} и т. д. означает номер горизонтального ряда квадратов, считая сверху вниз, а вторая — порядковый номер отметки (вершины квадрата) в горизонтальном ряду. На про-

Рис. 49. Схема вертикальной планировки строительной площадки

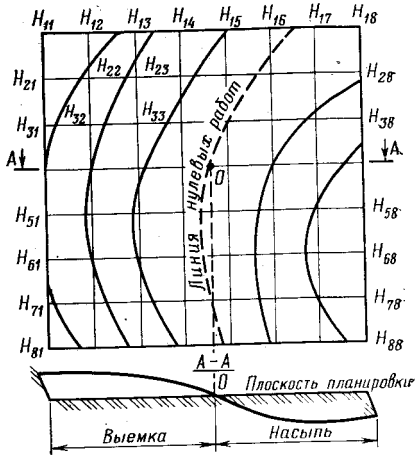
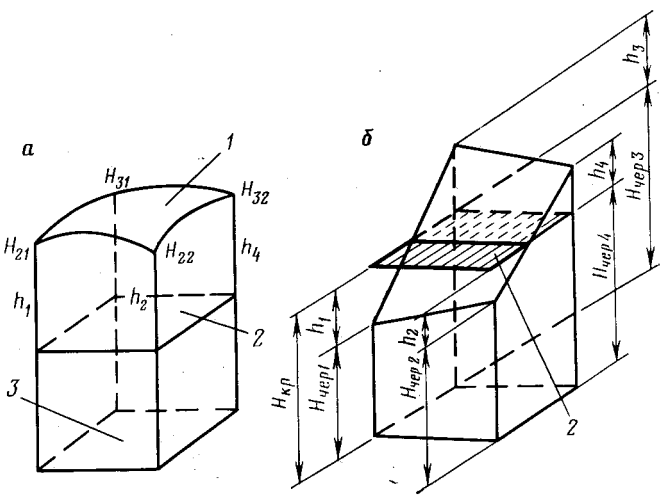


Рис. 50. Расчет объема земляных работ по методу квадратных призм: *а* — схема квадратной призмы на участке выемки; *б* — схема квадратной призмы на переходном участке; *1* — поверхность земли; *2* — плоскость планировки; *3* — условная (нулевая плоскость)



филь вертикальной планировки наносят также линию проектной плоскости планировки, полученную путем откладывания от условной (нулевой) линии красных отметок $H_{кр}$. Рабочие отметки $h_{раб}$ вычисляют как разность черных и красных отметок $h_{раб}=H_{чер}-H_{кр}$. Причем рабочая отметка может быть со знаком плюс при $H_{чер}>H_{кр}$ и со знаком минус при $H_{чер}<H_{кр}$. В первом случае приходится делать выемку, т. е. срезать излишек грунта, а во втором случае — проводить подсыпку грунта. Красную отметку надписывают в верхнем правом углу квадрата, черную отметку — в правом нижнем углу, а рабочую отметку — в левом верхнем углу. При $H_{чер}=H_{кр}$ рабочие отметки $h_{раб}=0$. Если все точки с рабочей отметкой $h_{раб}=0$ соединить на плане линией, то получится линия нулевых работ (см.

рис. 49). На линии нулевых работ никаких земляных работ проводить не нужно, она разделяет всю площадку на две части — насыпь и выемку.

Итак, общий объем земляных работ при вертикальной планировке определяют путем суммирования объемов грунта, удаляемого или добавляемого в каждом квадрате,

$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \ldots + V_n,$$

где $V_{1, 2, 3, \ldots, n}$ — объемы грунта, удаляемого и подсыпаемого в 1, 2, 3 ... n квадратных призмах.

Объем квадратных призм

$$V = \pm \frac{a^2 (h_1 + h_2 + h_3 + h_4)}{4},$$

где a — длина стороны квадрата основания призмы; $h_{1, 2, 3, 4}$ — рабочие отметки вершин квадратной призмы; $(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)/4$ — средняя высота рабочих отметок вершин квадратной призмы.

Знак плюс относят к квадратным пирамидам, находящимся в выемке, а знак минус — в насыпи.

Квадратные призмы, через которые проходит линия нулевых работ, содержат в одной части насыпи, а в другой — выемки (см. рис. 49). Поэтому в этом случае подсчет объемов земляных работ по квадратной призме проводят по формуле

$$V_i = V_{вi} - V_{нi},$$

где $V_{вi}$ — объем земляных работ по части квадратной призмы, находящейся в выемке; $V_{нi}$ — объем земляных работ по части квадратной призмы, находящейся в насыпи:

$$V_{вi} = a p_в (h_3 + h_4)/4;$$

$$V_{нi} = a p_н (h_1 + h_2)/4,$$

где $p_в$ — средняя рабочая отметка части квадратной призмы — выемки; $p_н$ — средняя рабочая отметка части квадратной призмы — насыпи.

При выполнении земляных работ для вертикальной планировки строительной площадки оптимальным вариантом является вариант с нулевым балансом. Это связано с тем, что при нулевом балансе объем срезанного грунта в выемках равен объему грунта, необходимого для заполнения насыпей, и в пределах площадки осуществляют только перераспределение грунта. При этом не требуется дополнительного вывоза или, наоборот, привоза грунта. Для обеспечения баланса земляных работ определяют среднюю проектную отметку планировки $H_{ср}$. С достаточной степенью точности для практики $H_{ср}$ приравнивают к средней отметке поверхности естественного рельефа местности:

$$H_{ср} = H_0 = (\sum H_1 + 2 \sum H_2 + 4 \sum H_4)/4n,$$

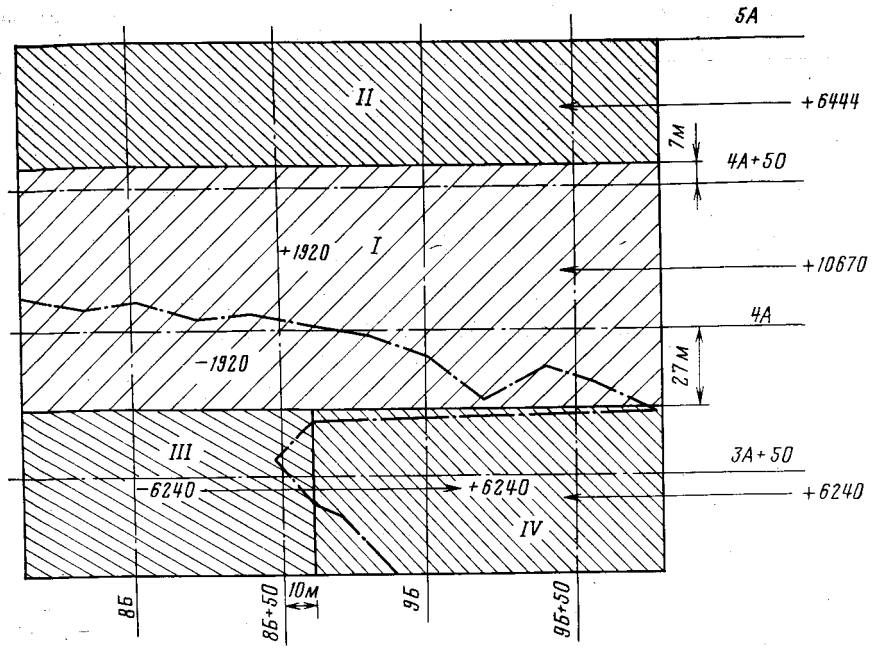


Рис. 51. План вертикальной планировки строительной площадки компрессорной станции:

I—IV — номера участков; —1920, +1920 — объемы соответственно выемки и насыпи на участке *I*; —6240, +6240 — соответственно выемки и насыпи на участках *III* и *IV*; +6444, +10 670, +6240 — объем ввоза грунта; 4А+50, 4А, 3А+50, 8Б, 8Б+50, 9Б, 9Б+50 — оси квадратов

где ΣH_1 — сумма черных отметок вершин, принадлежащих одному квадрату (угловые отметки площадки); ΣH_2 — сумма черных отметок вершин, принадлежащих одновременно двум квадратам; ΣH_4 — сумма черных отметок вершин, принадлежащих одновременно четырем квадратам; n — общее число квадратов на плане строительной площадки.

Расчет объема земляных работ, особенно для проведения вертикальной планировки площадки, достаточно трудоемок и длителен. Поэтому все эти расчеты рекомендуется выполнять с помощью ЭВМ. Для облегчения расчета объемов земляных работ при вертикальной планировке созданы также специальные таблицы.

При строительстве насосных и компрессорных станций объем земляных работ (особенно при максимальном использовании свайных фундаментов) относительно небольшой. Из трех видов земляных работ — вертикальная планировка, разработка котлованов и траншей и обратная засыпка — наиболее трудоемки разработка траншей и их обратная засыпка (до 70—75 %). Для выполнения земляных работ по вертикальной планировке строительную площадку компрессорной станции разби-

Таблица 22. Данные об объемах земляных работ при вертикальной планировке площадок одной из КС

Участок	Средняя планировочная отметка, м	Площадь, м²	Разработка грунта, м³		Ввоз недостающего грунта в насыпь, м³
			снятие растительного грунта	перемещение из выемки в насыпь	
I	260,70	18 500	6 020	1920	10 670
II	259,00	9 900	990	—	6 444
III	262,60	5 600	4 800	6240	—
IV	264,60	6 700	670	—	6 240
Всего		40 700	12 480	8160	23 354

вают на четыре участка (рис. 51) (табл. 22). Причем земляные работы выполняют последовательно в соответствии с номером участка. Участок I включает площадку компрессорного цеха, участок II — площадку аппаратов воздушного охлаждения и пылеуловителей, участок III — площадку энергоблоков, участок IV — площадку служебно-эксплуатационных, ремонтных блоков, блока маслохозяйства, склад горюче-смазочных материалов.

Вертикальную планировку строительной площадки компрессорной или насосной станции выполняют с помощью бульдозеров. Вначале на планируемой площадке удаляют растительный слой грунта, который перемещают за пределы площадки. Затем с помощью бульдозеров срезают послойно грунт в выемках и перемещают его в участки-насыпи. При необходимости излишек грунта, срезанного в выемках, удаляют за пределы площадки (при положительном балансе земляных работ) или, наоборот,— недостающий для насыпей грунт завозят на строительную площадку (при отрицательном балансе земляных работ).

После окончания вертикальной планировки строительной площадки разрабатывают котлованы (если они предусмотрены проектом) и траншеи для подземных технологических трубопроводов и инженерных коммуникаций. Котлованы на строительной площадке компрессорных и насосных станций имеют небольшую глубину (0,75—1,6 м) и сравнительно большие размеры в плане. Например, под общие здания блочных насосных станций БКНС-12,5 максимальный размер в плане котлована поверху составляет 25×58 м. Для компрессорных станций, оснащенных газоперекачивающими агрегатами, размещенными в индивидуальных зданиях (агрегаты ГПУ-10 с приводом от судовых газовых турбин и ГТН-25), разрабатывают либо индивидуальные котлованы под каждое здание, либо общий котлован под все здания. При применении газоперекачивающих агрегатов ГПУ-10 размер в плане индивидуального котлована

поверху составляет 26×11,8 м, а общего котлована под восемь индивидуальных зданий — 26×138 м.

Основная землеройно-транспортная машина при разработке котлованов — бульдозер. При работе бульдозеров необходимо обеспечить их выход из котлована для эвакуации срезанного грунта в отвалы, располагаемые на расстоянии 15—20 м от края котлована. Для этого откосы стенок котлована выполняют с малым уклоном. Угол откоса — 8—10°. Заложение откоса выполняют равным 4 м при коэффициенте откоса $m=6—7$. При разработке котлована поперечными ходами бульдозера стенки котлована с малым уклоном выполняют по длинной стороне котлована, а при разработке продольными ходами — по короткой стороне котлована.

Организация и технология разработки котлованов с помощью бульдозеров зависит от времени года (рис. 52). В летнее время грунт котлована разрабатывают при поперечных ходах бульдозера. За каждый ход бульдозер срезает слой грунта толщиной до 400 мм и транспортирует его в отвал. В зимнее время при промерзании грунта котлован разрабатывают в два этапа: предварительное рыхление грунта и разработка и удаление разрыхленного грунта из котлована в отвал. Предварительное рыхление мерзлого грунта проводят с помощью бульдозеров-рыхлителей, дополнительно оборудованных навесным оборудованием для рыхления, которое закрепляют на проушинах заднего моста бульдозера. В состав навесного оборудования для рыхления входят рыхлитель, тяги, балки, гидроцилиндры и флюгеры. Непосредственное рыхление грунта осуществляют с помощью рыхлителя, в состав которого входят три зуба со сменными наконечниками. Каждый зуб закрепляют в флюгере. Флюгеры с зубьями устанавливают в подвижной раме, закрепляемой в специальных проушинах заднего моста бульдозера. В транспортное положение рыхлитель поднимают с помощью гидравлического механизма.

Мерзлый грунт рыхлят при продольных ходах бульдозера-рыхлителя ДП-9С (Д-652АС). При включенном в работу рыхлителе продольный ход осуществляют на всю длину котлована (см. рис. 52, *б*). Глубина разрыхления мерзлого грунта в среднем составляет 400 мм. Каждый слой разрыхленного мерзлого грунта удаляют за пределы котлована в отвал на расстояние до 15—20 м, с помощью этого же бульдозера-рыхлителя, который в данном случае работает как бульдозер. Для удаления в отвалы разрыхленного мерзлого грунта всю площадь котлована разделяют на две равные захватки. Удаление грунта осуществляют сначала в первой захватке, а затем во второй. Необходимость деления котлована на захватки связана с ограничением объема грунта, срезаемого и перемещаемого за один ход бульдозера.

Общая протяженность траншей, разрабатываемых на строительной площадке насосной и компрессорной станций, относи-

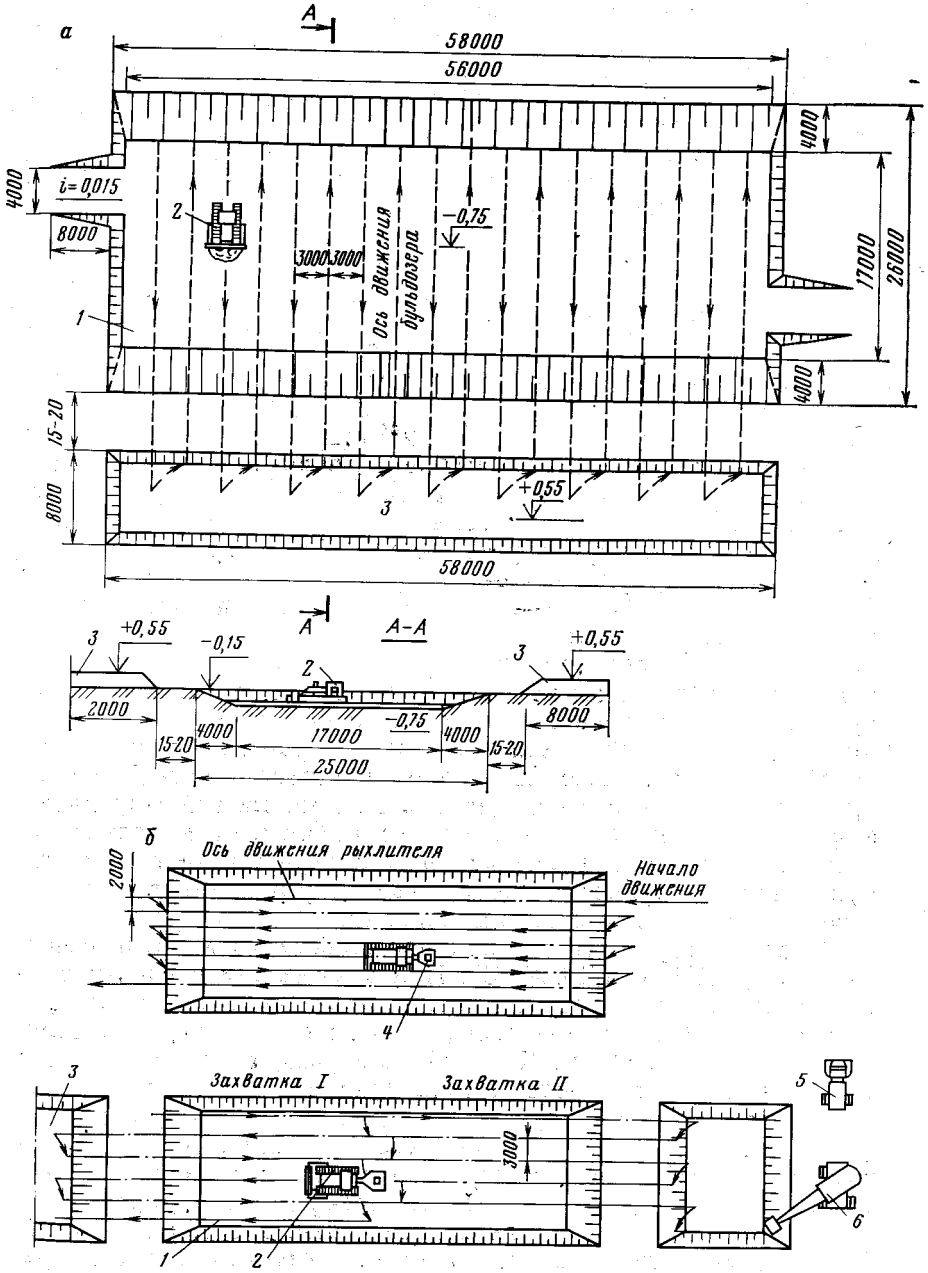


Рис. 52. Схема разработки котлована на строительной площадке насосной или компрессорной станции с помощью бульдозера в летнее *(а)* и зимнее время *(б)*:

1 — котлован; *2* — бульдозер; *3* — отвал грунта; *4* — рыхлитель; *5* — автомобиль-самосвал; *6* — экскаватор

тельно небольшая, а поперечные размеры траншеи различны ввиду разнообразия диаметров технологических и других трубопроводов. Поэтому при разработке таких траншей относительно небольшой протяженности применение высокопроизводительных специализированных роторных траншейных экскаваторов неэффективно. Траншеи разрабатывают одноковшовыми экскаваторами с обратной лопатой. Наиболее часто в строительстве применяют универсальные экскаваторы с ковшом вместимостью от 0,25 до 1 м³ на гусеничном или пневмоколесном ходу. Для силового оборудования механизма экскаватора в основном используют дизельные двигатели внутреннего сгорания. Наиболее рациональным приводом рабочих органов одноковшового экскаватора является гидромеханический. Модели одноковшовых экскаваторов обозначают ЭО-2621А, ЭО-3322А, ЭО-4321, ЭО-4321, ЭО-4121, Э-652Б, Э-10011А и др. При разработке траншей на строительной площадке насосных и компрессорных станций обычно применяют одноковшовые универсальные экскаваторы с обратной лопатой: ЭО-3322А с ковшом вместимостью 0,4 м³ на пневмоколесном ходу с наибольшим радиусом копания 8,2 м и ЭО-4121А с ковшом вместимостью 0,65 м³ на гусеничном нормальном ходу с наибольшим радиусом копания 8,54 м.

До начала работ по разработке траншей на участках трассы, отведенных под трубопроводы, срезают растительный слой грунта, который укладывают в отвалы с последующей рекультивацией. Одновременно проводят геодезическую разбивку продольной оси траншеи. По оси траншеи устанавливают временные реперы, а в точках изменения направления траншеи — выносные столбы. Причем положение в плане всех подземных сетей и сооружений определяют от точек опорной геодезической сети линейными засечками или перпендикулярами, а высотное положение — нивелированием. До начала разработки траншеи проводят разбивку линии, по которой машинист будет направлять наружный контур колеса или гусеницы экскаватора. Эту линию через каждые 5 м закрепляют на местности вешками. Разработку траншеи осуществляют путем срезки и выемки грунта и перемещением его в отвал. Причем отвал грунта осуществляют только с одной стороны траншеи. Траншею разрабатывают последовательно с расположенных вдоль оси траншеи на расстоянии 2—3 м стоянок экскаватора. В процессе рытья траншей под линии водоснабжения и канализации этим же экскаватором разрабатывают котлованы под колодцы в местах, предусмотренных проектом.

Последний вид земляных работ на строительных площадках насосных и компрессорных станций — обратная засыпка траншей и засыпка «пазух» между стенками фундаментов и котлована. Обратную засыпку траншеи осуществляют с помощью бульдозеров. Причем траншеи для водопровода и канализации при бесканальной прокладке (т. е. при укладке трубо-

провода непосредственно на дно траншеи без специальных защитных каналов прямоугольного сечения из железобетона) после укладки трубопровода засыпают в две стадии. Вначале, до испытания на герметичность, трубопровод присыпают грунтом на высоту 0,2—0,3 м, оставляя при этом незасыпанными стыки труб, затем, после испытания трубопровода,— на полную высоту траншеи. Засыпку «пазух» осуществляют с помощью бульдозеров или экскаваторов с грейферным ковшом с последующим уплотнением грунта трамбованием.

18. БЕТОННЫЕ И АРМАТУРНЫЕ РАБОТЫ ПРИ ВОЗВЕДЕНИИ МОНОЛИТНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПОД ПЕРЕКАЧИВАЮЩИЕ АГРЕГАТЫ

С развитием индустриализации строительства насосных и компрессорных станций, расширением объема применения блочно-комплектных и блочно-модульных насосных и компрессорных станций, внедрением свайных фундаментов перекачивающих агрегатов объем бетонных и арматурных работ, выполняемых непосредственно на строительной площадке, непрерывно сокращается. При сооружении насосных и компрессорных станций бетонные и арматурные работы все еще применяют при возведении монолитных массивных фундаментов газоперекачивающих и насосных агрегатов и некоторого технологического оборудования, монолитных ростверков свайных фундаментов зданий насосных и компрессорных цехов и монолитных плит свайных фундаментов перекачивающих агрегатов. Основной объем бетонных и арматурных работ выполняют при возведении монолитных массивных фундаментов перекачивающих агрегатов. Возведение монолитных фундаментов включает следующий комплекс работ: приготовление бетонной смеси; изготовление и установка опалубки (опалубочные работы); установка арматурных каркасов; доставка бетонной смеси к опалубкам; собственно бетонирование; твердение и уход за бетоном.

Насосные и компрессорные станции, как правило, сооружают вдали от крупных населенных пунктов и промышленных баз. Поэтому бетонную смесь приготавливают непосредственно на строительной площадке в стационарных бетоносмесителях гравитационного типа СБ-62, СБ-10В, СБ-93, СБ-94, СБ-1 (табл. 23). При наличии около строительной площадки бетонного завода возможна доставка готовой бетонной смеси.

В зависимости от расстояния возки и объема бетонирования готовую бетонную смесь к месту укладки доставляют различными способами: автобетоносмесителями, автобетоновозами, автосамосвалами, в инвентарных поворотных бадьях на грузовых автомобилях. На строительной площадке насосной и компрессорной станции бетонную смесь транспортируют в поворотных бадьях на грузовых автомобилях. При загрузке и транспортировке бетонной смеси на грузовом автомобиле в бадьях

Таблица 23. Техническая характеристика стационарных бетоносмесителей

Показатели	СБ-62 (С-951)	СБ-10В (С-30211)	СБ-93	СБ-94	СБ-1
Вместимость смесительного барабана, л:					
по загрузке	1200	1200	1500	1500	3000
по выходу готовой смеси	800	800	1000—1200	1000	2000
Время перемешивания, с	60—120	60—120	45—120	120	120
Установленная мощность электродвигателя, кВт	30	13	40	13	22
Производительность, м/ч	18	18	20	20	40
Габариты, мм:					
длина	2500	3700	2800	2600	2500
ширина	2280	2670	2690	2500	4100
высота	2675	2526	2850	2460	3300
Масса, кг	4200	4090	4900	3000	7200

Примечание. В скобках даны старые обозначения.

последние должны находиться в горизонтальном положении, а при подъеме, перемещении краном и выгрузке бетонной смеси — в вертикальном. Если бетонную смесь доставляют на строительную площадку в автосамосвале или автобетоновозе, то ее разгружают в бадьи, лежащие в горизонтальном положении на деревянных щитах около бетонируемого объекта в зоне действия крана. Число поворотных бадей с учетом их вместимости принимают кратным вместимости автосамосвала или автобетоновоза. При выгрузке бетонной смеси из бетоносмесителя стационарного типа в поворотные бадьи последние доставляют к месту укладки бетона грузовыми бортовыми автомобилями. Вместимость поворотных бадей 0,5—2 м^3.

Опалубочные работы включают установку и закрепление в проектном положении формы для бетонирования фундамента, называемой опалубкой. Обычно конструкция опалубки — деревянная, разборно-щитовая, состоящая из инвентарных деревянных щитов, закрепленных распорками. Перед установкой щитов опалубки на дне котлована по всей площади подошвы будущего фундамента с перекрытием на 100 мм выполняют бетонную подготовку. Бетонная подготовка — слой бетона толщиной 100—150 мм проектных марок М75—М100, предназначенный для изоляции фундамента от непосредственного соприкосновения с грунтом и осуществления более равномерной передачи давления на грунт. Для установки фундаментных болтов в теле массивного фундамента оставляют колодцы квадратного сечения 150×150 мм с глубиной, указанной на чертежах. Для формования колодцев устанавливают соответствующие по размерам опалубки. В опалубке монтируют арматурные сетки и

при необходимости — стальную установочную раму для фиксации в проектном положении арматурных сеток и стальных марок. Марки — установочные стальные пластины, размещаемые в верхней (опорной) части фундамента и служащие для установки и регулирования положения перекачивающего агрегата. Арматурные сетки и установочные рамы заранее изготовляют в условиях сборочной площадки или мастерских и в готовом виде доставляют на строительную площадку.

Укладку бетона в опалубки осуществляют из поворотных бадей, поднимаемых и перемещаемых обычно автомобильными кранами. Наиболее часто применяют автомобильные краны КС-4561, КС-4571 и др. с аналогичными характеристиками по грузоподъемности (обычно 16 т).

Бетонную смесь укладывают в опалубку горизонтальными слоями толщиной 30—35 см без перерывов с тщательным уплотнением глубинными вибраторами. После завершения укладки бетона создают оптимальные условия его твердения (температура 18—20 °С, относительная влажность 85—90 %) в течение срока, обеспечивающего набор бетоном нормативной прочности. Подобные условия во всех природно-климатических условиях практически создать невозможно, но специальными технологическими приемами как в условиях холодного климата, так и в условиях сухого жаркого климата можно приблизить их к оптимальным.

Уход за уложенным бетоном — система организационно-технологических мероприятий, направленных на обеспечение благоприятных условий в начальный период твердения бетонной смеси. Эти мероприятия по уходу за бетоном включают: поддержание благоприятного температурно-влажностного режима; предотвращение значительных деформаций бетона, связанных с изменением температуры и его усадкой; предохранение твердеющей бетонной смеси от механических повреждений в начальный период твердения.

Уход за бетоном — заключительная операция в изготовлении бетонной и железобетонной конструкции. Поэтому неправильно организованный уход за бетоном может свести на нет все выполненные работы по изготовлению бетонной или железобетонной конструкции. Проведение бетонных работ регламентируется СНиП III-15—76 «Бетонные и железобетонные конструкции монолитные. Правила производства и приемки работ», «Руководством по производству бетонных работ» (М., Стройиздат, 1975). В проекте производства работ указывают конкретные мероприятия по уходу за бетонной смесью.

Сформулируем общие положения технологии и организации ухода за бетоном.

В летнее время благоприятные температурно-влажностные условия твердения бетона обеспечивают путем предохранения уложенного бетона от воздействия ветра, прямых солнечных лучей и проведения периодического увлажнения бетона. Воз-

действие ветра и прямых солнечных лучей на свежеуложенный бетон вызывает интенсивное испарение влаги, высыхание бетона, замедление твердения и снижение его прочности. Поэтому в летнее время (особенно жаркое) принимают меры, во-первых, по предотвращению испарения влаги, во-вторых, по восполнению потерь влаги из свежеуложенного бетона. Испарение влаги предотвращают путем покрытия свежеуложенного бетона брезентом или мешковиной. Брезент или мешковину периодически увлажняют рассеянной струей воды из брандспойта. При отсутствии брезента или мешковины свежеуложенный бетон покрывают слоем влажных опилок или мелкого песка, которые также периодически увлажняют. Увлажнение проводят по 5 раз в день в течение 7—14 дней в зависимости от погоды, а также вида и марки применяемого цемента.

Снятие опалубки (распалубливание) фундаментов и других конструкций обычно осуществляют по достижении бетоном прочности не ниже $(0{,}5 \div 0{,}7) R_{28}$, где R_{28} — стандартная прочность бетона на сжатие после 28-суточной выдержки при температуре 18 °С и влажности 85 %. Обычно время распалубливания указывают в проекте производства работ.

Особые трудности возникают при проведении бетонирования конструкций в зимних условиях (зимнее бетонирование), при которых в соответствии с установленными нормами среднесуточную температуру окружающего воздуха принимают ниже 5 °С, а минимальную суточную температуру — ниже 0 °С. При температуре ниже 5 °С процесс твердения бетона значительно замедляется (затухает), а при температуре ниже 0 °С прекращается из-за замерзания воды. Методы ухода за бетоном в зимних условиях направлены на обеспечение положительной температуры твердения бетона в течение времени достижения твердеющим бетоном необходимой прочности, называемой критической прочностью. При замерзании бетона, набравшего прочность, равную или больше критической, и последующем его оттаивании процесс твердения бетона будет продолжаться. При этом в бетоне не образуются трещины, а бетон набирает прочность, соответствующую проектной марке. Если же бетон при твердении в зимних условиях до замерзания не набирает прочность, равную или больше критической, то после замерзания и последующего оттаивания из-за возникающих внутренних напряжений в бетоне образуются трещины. Зерна крупного заполнителя теряют связь с цементным камнем, а бетон не набирает после оттаивания уровень прочности, соответствующий проектной марке.

Критическую прочность, набираемую бетоном до замерзания, обычно указывают в каждом конкретном случае в проекте производства работ или технологической карте на бетонные работы. Критическая прочность бетона зависит от проектной марки бетона, наличия противоморозных добавок, предварительных напряжений в бетоне и др.

	Относительная критическая прочность, % от прочности проектной марки бетона
Без противоморозных добавок при проектных марках:	
М150	50
М200—М300	40
М400—М500	30
Независимо от проектных марок бетона:	
для конструкций, подвергающихся по окончании выдерживания замораживанию и оттаиванию	70
для предварительно напряженных железобетонных конструкций	80
для конструкций, подвергающихся сразу после окончания выдерживания действию расчетного давления воды и конструкций, к которым предъявляют специальные требования по морозостойкости и водонепроницаемости	100
С противоморозными добавками при проектных марках:	
М200	30
М300	25
М400	20

Для набора бетоном критической прочности в условиях зимнего бетонирования необходимо, во-первых, увеличить скорость твердения бетона, т. е. сократить время начального твердения и, во-вторых, в течение времени набора критической прочности обеспечить положительную температуру бетонной смеси. Выполнение этих условий обеспечивается использованием на практике следующих трех групп специальных технологических мероприятий:

использование химических противоморозных добавок, снижающих температуру замерзания бетона и являющихся в ряде случаев одновременно ускорителями твердения бетона;

использование теплоты укладываемой бетонной смеси (метод термоса), когда необходимая положительная температура поддерживается за счет сохранения тепла подготовленной бетонной смеси и тепла, выделяющегося при гидратации бетона. При необходимости предварительно подогревают воду и заполнители до температуры 40—60 °С;

тепловая обработка приготовленной и уложенной бетонной смеси для поддержания ее положительной температуры.

Применение того или иного метода зимнего бетонирования зависит от многих факторов: технико-экономического, массивности бетонируемой конструкции, объема бетонных работ и др.

Массивность бетонируемой конструкции характеризуют так называемым *модулем поверхности*

$$M_{\text{п}} = S/V,$$

где S — площадь поверхности охлаждения конструкции; V — объем конструкции, м³.

Модуль поверхности бетонных и железобетонных конструкций изменяется от 1—2 до 15 м$^{-1}$. Например, для массивных фундаментов в виде сплошного параллелепипеда размером

сторон 2×3×8 м при $V=48$ м³ и $S=92$ м² $M_п=92/48=1{,}92$ м$^{-1}$; для бетонной плиты толщиной 0,2 м и размером в плане 10×36 м при $V=72$ м³ и $S=731{,}2$ м² $M_п=731{,}2/72=10{,}1$ м$^{-1}$. Чем меньше модуль поверхности, тем больше массивность конструкции и тем медленнее ее охлаждение, в том числе и при отрицательных температурах окружающего воздуха. И, наоборот, чем больше модуль поверхности, тем меньше массивность конструкции и тем быстрее ее охлаждение, в том числе и при отрицательных температурах.

При значительной массивности конструкции ($M_п$ не более 6) достаточно широко используют метод термоса. При этом в утепленную опалубку, а в деревянную опалубку иногда и без утепления укладывают бетонную смесь с температурой 15—20 °С. Температура бетонной смеси с течением времени, естественно, снижается, но за счет теплоизоляции опалубки, собственного тепла большой массы бетона и экзотермических реакций гидратации бетона при твердении, скорость охлаждения регулируют таким образом, чтобы к моменту снижения температуры бетона до 0 °С в бетоне была бы достигнута критическая прочность. Время остывания бетона рассчитывают по специальным приближенным формулам.

Тепловые методы связаны с предварительным подогревом бетонной смеси перед укладкой или с прогревом уложенной в опалубку бетонной смеси. Предварительный подогрев бетонной смеси применяют для массивных конструкций, а прогрев уложенной бетонной смеси — для конструкций с развитой поверхностью охлаждения (при $M_п=6$ м$^{-1}$ и более).

Противоморозные добавки в бетоне — хлористые или азотистые соли калия или натрия или их смеси в количестве 3—5 % массы цемента, снижающие температуру замерзания воды в бетонной смеси. Одновременно некоторые из этих добавок ускоряют и процесс твердения бетона. Однако применение противоморозных добавок не допускается в ряде случаев, в частности, в конструкциях, подвергающихся динамическим воздействиям, к которым можно отнести фундаменты насосных и газоперекачивающих агрегатов.

Для массивных фундаментов насосных и газоперекачивающих агрегатов наиболее часто при зимнем бетонировании используют предварительный электроразогрев бетонной смеси перед ее укладкой. Процесс выдержки предварительно разогретой бетонной смеси в опалубке с теплоизоляцией получил на практике название «горячий» термос. Электроразогрев бетонной смеси обычно осуществляют в поворотных бадьях, оборудованных специальными стальными электродами. Можно применять также и съемные электроды на рамке. Через электроды пропускают переменный электрический ток напряжением 220—380 В, который, проходя в межэлектродном пространстве через бетонную смесь, нагревает ее до температуры 50—90 °С за 5—15 мин. Электроразогрев бетонной смеси осуществляют на

специально отведенной огороженной площадке рядом с местом укладки бетона на расстоянии, определяемом вылетом стрелы крана.

Организация бетонных работ при возведении массивных монолитных фундаментов насосных или газоперекачивающих агрегатов связана с поточным выполнением всех операций, составляющих цикл бетонных работ. При этом все фундаменты для выполнения бетонных работ разбивают на определенное число захваток, которое зависит от числа бетонируемых фундаментов, характера котлована (отдельные для каждого фундамента или общие для всех фундаментов). На насосных станциях, где обычно четыре насосных агрегата, выделяют две захватки, состоящие из двух фундаментов каждая. На компрессорных станциях, где бывает от трех до пятнадцати газоперекачивающих агрегатов, число захваток для выполнения бетонных работ может быть различным. Например, на компрессорной станции с суммарной мощностью газоперекачивающих агрегатов ГПУ-10 с судовым газотурбинным приводом, равной 80 МВт, возводят восемь массивных монолитных фундаментов. В каждую захватку входят по два фундамента, а число захваток равно четырем.

Для бетонирования подготавливают один (при четырех фундаментах) или два (при восьми фундаментах) комплекта щитов опалубки.

Возведение фундаментов по каждой захватке начинают с изготовления бетонной подготовки толщиной 100—150 мм. Бетонную подготовку выполняют из бетонов низких проектных марок М75—М100. Бетонную смесь в этом случае укладывают в один слой с уплотнением вибраторами. После окончания работ по бетонной подготовке на первой захватке звено, выполняющее эту работу, переходит на вторую захватку, затем на третью и т. д. После выполнения бетонной подготовки и набора бетоном необходимой прочности на первой захватке устанавливают опалубки. Чаще всего применяют деревянные разборно-щитовые опалубки. Опалубочные работы обычно выполняет звено плотников. Установка опалубочных щитов должна быть выполнена с достаточной степенью точности. Ориентиром для установки опалубок служат оси фундамента, которые предварительно наносят путем фиксации их колышками. Используя оси, наносят контур фундамента, фиксируют его деревянными пробками, заложенными в бетонную подготовку. К деревянным пробкам прибивают направляющие доски, по которым и устанавливают щиты опалубки. Щиты опалубки закрепляют с помощью подкосов, временных распорок и стяжных досок. До окончательного закрепления в опалубку устанавливают арматурную сетку, стальную раму и закладные детали и соединяют сетки и закладные детали с установочной рамой. В окончательно закрепленную опалубку звено бетонщиков укладывает бетон. Укладку бетона проводят с помощью поворотных бадей

вместимостью от 0,5 до 1,35 м³. Подачу поворотных бадей к месту укладки выполняют с помощью автомобильных кранов КС-4571, КС-4561 с максимальной грузоподъемностью $Q=16$ т. Для обеспечения непрерывности укладки бетонной смеси вблизи каждой стоянки крана в радиусе зоны действия крана устанавливают площадку из досок, на которой непрерывно находятся две бадьи. После загрузки бадей кран поднимает бадью и равномерно по всей площади опалубки укладывает бетонную смесь слоями толщиной не более 30 см. Каждый слой тщательно уплотняют с помощью ручного электромеханического глубинного вибратора, например модели ИВ-67 (С-800). Можно применять также и другие аналогичные вибраторы: ИВ-47, ИВ-66, ИВ-75. Ручной глубинный электромеханический вибратор состоит из трех основных частей: вибронаконечника, гибкого вала и привода (электродвигателя) переменного тока напряжением 36 В и мощностью 0,8—1,2 кВт. Собственно уплотнение бетонной массы осуществляет вибронаконечник, представляющий собой герметический корпус длиной 360—440 мм с наружным диаметром от 28 до 76 мм. Внутри корпуса с частотой вращения 10 000—20 000 об/мин вращается неуравновешенная масса-дебаланс, создающая высокочастотные колебания (вибрации).

На рис. 53 показана последовательность бетонирования монолитных фундаментов под газоперекачивающие агрегаты типа ГПУ-10 в двух вариантах. Первый вариант — под каждый фундамент разрабатывают индивидуальный котлован. В этом случае бетонирование двух фундаментов одной захватки ведут с одной стоянки автомобильного крана. Второй вариант — для всех восьми фундаментов разрабатывают общий котлован, и бетонирование фундаментов ведут с восьми стоянок автомобильного крана. В последнем случае за счет уменьшения длины (с 14 до 10 м) и вылета (с 11 до 9 м) стрелы r крана можно увеличить объем поворотной бадьи с 0,8 до 1,35 м³, а следовательно, сократить время бетонирования.

Снятие опалубок с фундаментов первой захватки (распалубливание) осуществляют при достижении бетоном фундамента прочности не менее 50 % стандартной прочности на сжатие (0,5 R_{28}). Время набора прочности $R=0{,}5R_{28}$ в нормальных условиях ориентировочно можно рассчитать по формуле

$$R_\tau = R_{28}\frac{\lg \tau}{\lg 28},$$

где $R_\tau=0{,}5R_{28}$ — искомая прочность; R_{28} — стандартная прочность бетона в нормальных условиях; τ — время, для которого определяют прочность 0,5 R_{28}.

После подстановки в формулу $R_\tau=0{,}5\ R_{28}$ можно определить $\lg\ \tau=0{,}5\lg 28=0{,}72236$; $\tau=5{,}5$ дней. Отсюда можно сделать вывод, что в летнее время проводить распалубливание фундаментов первой захватки следует не ранее чем через 5 дней

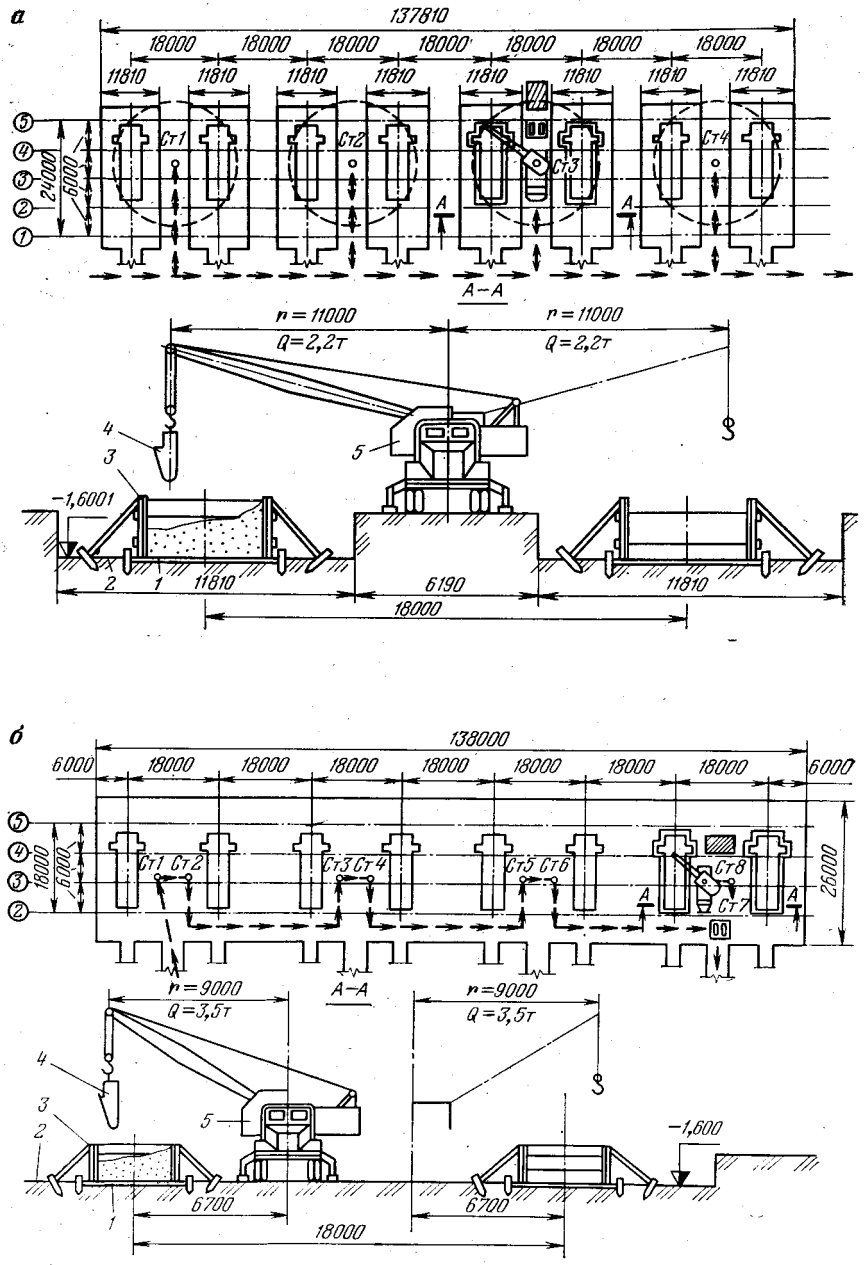


Рис. 53. Организация работ по бетонированию массивных фундаментов под газоперекачивающие агрегаты ГПУ-10:

а — при индивидуальных фундаментах; *б* — при общем фундаменте; *1* — бетонная подготовка; *2* — котлован; *3* — опалубка; *4* — бункер; *5* — автомобильный кран; *Ст1—Ст8* — стоянки автомобильного крана; цифры в кружках — поперечные оси

(конкретно этот срок указывают в проекте производства работ в зависимости от местных условий). За время бетонирования фундаментов первой захватки на второй захватке ведут работы по устройству бетонной подготовки под следующие два фундамента. А после распалубливания фундаментов на первой захватке щиты опалубки устанавливают на второй захватке и т. д.

В зимнее время организация работ по возведению монолитных фундаментов аналогична описанной выше, но для обеспечения необходимых условий твердения бетонной массы и достижения бетоном критической прочности до его замерзания применяют метод «горячего» термоса. Для этого бетонную смесь перед ее укладкой в опалубку разогревают электрическим током непосредственно в поворотных бадьях, оборудованных стальными электродами. Электроды присоединяют к электрической цепи переменного тока напряжением 220 или 380 В. Так как бетонная смесь представляет собой электролит с высоким электросопротивлением, то проходящий электрический ток в межэлектродном пространстве вызывает разогрев бетонной смеси. Обычно время разогрева бетонной смеси составляет 10—15 мин при температуре разогрева +30—70 °С. Температура разогрева зависит от ряда факторов: величины модуля поверхности бетонируемой конструкции, температуры окружающего воздуха, наличия в бетоне противоморозных добавок. Чем выше модуль поверхности бетонируемой конструкции и ниже температура окружающего воздуха, тем выше назначаемая температура разогрева бетонной смеси.

Конкретное значение температуры и времени разогрева бетонной смеси указывают в проекте производства работ (ППР) или в технологической карте.

Поворотные бадьи с разогретой бетонной смесью с помощью автомобильного крана подают в зону укладки бетона в опалубке. Укладку и уплотнение бетонной смеси производят способами, не отличающимися от описанных выше при «летнем» бетонировании.

Аналогичным образом производят бетонирование остальных массивных фундаментов на компрессорных и насосных станциях (кольцевые фундаменты под пылеуловители, фундаменты АВО газа и др.).

19. РАБОТЫ ПО ВОЗВЕДЕНИЮ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ПОД ЗДАНИЯ, ОСНОВНОЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНОЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

При сооружении насосных и компрессорных станций магистральных трубопроводов значительно возрос объем возведения свайных фундаментов не только под здания и технологическое

оборудование со статическими нагрузками, но и под технологическое оборудование с динамическими нагрузками.

В свайных фундаментах используют забивные и буронабивные сваи. В качестве забивных применяют стандартные железобетонные сваи сплошного квадратного сечения или круглые сваи кольцевого сечения, а также (в северных районах) стальные трубчатые сваи из некондиционных труб диаметром 530—720 мм. Для защиты от подземной коррозии стальные трубчатые сваи покрывают слоем алюминия (алюминируют). Сохранение защитного слоя при забивке стальных свай достигают покрытием их поверхности слоем смазки. Буронабивные сваи применяют со стальной оболочкой — обсадной трубой, а при достаточно прочном грунте без нее.

В грунт забивные сваи погружают с помощью самоходного сваебойного агрегата, состоящего из базовой самоходной машины (трактор, шасси экскаватора, автомобильное шасси), навесного копра и молота для забивки свай. Навесной копер обычно устанавливают на стрелу экскаватора в заводских условиях. Основу его составляет решетчатая вертикальная копровая стрела. На копровой стреле закреплены направляющие для перемещения молота и его подвижных частей. В верхней части копровой стрелы закреплена поворотная головка с роликами, по которым перемещается канат для подъема молота. В нижней части копровой стрелы закреплен отводной ролик для направления каната, осуществляющего горизонтальное перемещение (подтаскивание) сваи к месту ее забивки.

Наибольшее распространение на строительстве насосных и компрессорных станций получили сваебойные агрегаты на базе тракторов и шасси экскаваторов, оснащенных дизельными молотами (дизель-молотами).

В дизель-молотах для подъема на необходимую высоту падающих (ударных) частей используют энергию газов, полученных при сгорании в цилиндре дизельного топлива. Забивку свай осуществляют за счет потенциальной энергии падающих (ударных) частей дизель-молота. На практике для забивки свай используют два типа дизель-молотов: штанговые и трубчатые. Штанговые дизель-молоты получили такое название в связи с тем, что падающая (ударная) часть, одновременно служащая цилиндром, перемещается при забивке свай по двум круглым штангам. Такие дизель-молоты, отличающиеся простотой конструкции, удобством в эксплуатации и достаточно высокой производительностью, получили на практике широкое распространение. Масса ударной части штанговых дизель-молотов колеблется от 140 до 2500 кг, а энергия удара — от 1 до 19,5 кДж. Однако штанговые дизель-молоты металлоемки и имеют большие габариты. Трубчатые дизель-молоты отличаются от штанговых использованием в качестве падающей (ударной) части не цилиндра, а поршня, перемещаемого в трубчатом цилиндре. Такие дизель-молоты по сравнению со штанговыми обладают бол -

шей массой ударных частей (до 5 т) и энергией удара (от 9 до 76 кДж). Марки штанговых дизель-молотов с неподвижными штангами — С-264, С-222, С-268, С-330Б, а трубчатых дизель-молотов — С-859, С-949 (с воздушным охлаждением) и СП-40А, СП-476, СП-48 (с водяным охлаждением). Для забивки свай на строительных площадках насосных и компрессорных станций используют сваебойные агрегаты на шасси экскаватора или тракторов С-878, С-878С (в северном исполнении), С-268, СП-50, КН-12.

Забивка свай под колонны зданий насосных и компрессорных цехов, для свайных фундаментов перекачивающих агрегатов и технологического оборудования включает следующие виды последовательно осуществляемых работ. Вначале на местность переносят оси зданий перекачивающих агрегатов и оборудования. На оси непосредственно наносят места забивки свай, которые закрепляют в грунте забивкой стальных штырей или деревянных кольев. Для разбивки свайного поля и переноса осей используют теодолит и мерные ленты. На место проведения свайных работ доставляют необходимые машины и механизмы (сваебойные агрегаты, бурильную установку). До начала работ по забивке свай осуществляют доставку и предварительную раскладку забивных свай. На строительную площадку сваи доставляют на автомашинах большой грузоподъемности с полуприцепом. Затем сваи укладывают в штабель на деревянных подкладках головами в одну сторону. После этого с помощью копра на базе экскаватора или трактора осуществляют раскладку свай по схеме, обычно приводимой в проекте производства работ. Раскладка свай — укладка свай из штабеля в горизонтальном положении вблизи мест их забивки. До начала забивки сваи размечают по высоте масляной краской на метры, а на последнем метре —на дециметры. Разметка необходима для осуществления контроля за глубиной погружения сваи при ее забивке. Перед забивкой свай в грунте с помощью бурильной установки пробуривают скважины глубиной до 1 м и диаметром на 10—20 мм меньше сечения сваи, так называемые лидерные скважины. Эти скважины позволяют обеспечить вертикальность направления забивки свай, особенно в начальный момент, и облегчают проходку мерзлого слоя грунта в зимнее время. В летних условиях забивку свай можно вести и без предварительного бурения лидерных скважин. Однако наличие лидерных скважин значительно облегчает достижения вертикальности сваи в начальный момент ее забивки. Поэтому, несмотря на некоторое удорожание сваебойных работ, в проектах производства работ на сооружение насосных и компрессорных станций предусматривают предварительное бурение лидерных скважин с помощью передвижной бурильно-крановой машины БМ-802 или БМ-802С (в северном исполнении). Все механизмы бурильно-кранового оборудования и вышка смонтированы на шасси автомобиля КрАЗ-257. Бурильно-крановая машина БМ-802 или БМ-802С

предназначена для бурения скважин диаметром 300, 400, 650 мм и глубиной до 8 м.

Перед забивкой осуществляют подтаскивание сваи, перевод ее в вертикальное положение и установку в навесной копер. Сваи подтаскивают с помощью вспомогательной (копер на базе трактора) и основной (копер на базе экскаватора) лебедок через нижний отводной ролик. После установки в вертикальное положение на копре на сваю надевают специальный наголовник, препятствующий разрушению ее торца от ударов падающих (ударных) частей молота. Первые удары по свае наносят с минимальной энергией с тем, чтобы обеспечить вертикальность сваи в начале забивки. После погружения на 0,5—0,8 м забивку сваи прекращают и проверяют ее вертикальность. Обеспечив необходимую фиксацию сваи в грунте, осуществляют ее забивку в установленном режиме.

Для технологии свайных работ характерна своя терминология. От действия каждого удара свая погружается в грунт на какую-то определенную глубину. Причем по мере проникновения сваи в грунт сопротивление ее погружению со стороны грунта возрастает и глубина погружения сваи с каждым ударом молота снижается. Наконец, при продолжении забивки сваи наступает такой момент, когда после каждого удара молота свая погружается в грунт на одинаковую глубину. Эту глубину стабильного погружения сваи в грунт называют *отказом*. Для определения отказа замеряют глубину погружения сваи от 10 ударов молота. Средняя глубина погружения равна отказу. Серию ударов молота, выполненных при определенном отказе (обычно 10 ударов), называют *залогом*.

Забивка сваи считается законченной при достижении заданной глубины погружения при определенном расчетном отказе $l_р$, указываемом в ППР или в технологических картах на свайные работы. Расчетный отказ определяют по формуле

$$l_р = \frac{nQH_п Fg}{P_{пр}(P_{пр} + nF)} \cdot \frac{Q + 0{,}2q}{Q + q},$$

где n — коэффициент, зависящий от материала сваи и способа ее забивки, кН/м²; Q — масса падающей (ударной) части молота (известна из паспорта на дизель-молот); $H_п$ — расчетная высота падения ударной части молота; F — площадь поперечного сечения сваи; g — ускорение свободного падения; $P_{пр}$ — предельная несущая способность сваи; q — масса сваи с наголовком.

В конце забивки сваи проводят ее динамические испытания для определения действительного отказа $l_д$, который не должен превышать расчетный отказ ($l_д \leqslant l_р$). Действительный отказ определяют как средний из трех залогов по 10 ударов в каждом. Для измерения отказов свай применяют как новые геодезические приборы (лазерный визир ДВ-5М), так и простые приборы и приспособления (гидравлический уровень). Гидравлический

уровень состоит из резинового шланга диаметром 8—12 мм и длиной 6—7 м со стеклянными трубками на концах. Шланг и трубки заполняют подкрашенной жидкостью. Для определения отказа в качестве эталона выбирают уже забитую сваю, находящуюся на расстоянии 3—4 м от испытуемой. С помощью гидравлического уровня на эталонной и испытуемой сваях на одинаковых уровнях наносят отметки. Затем испытуемую сваю забивают в грунт необходимым числом залогов. После этого с помощью гидравлического уровня на испытуемой свае наносят риску, соответствующую исходной риске на эталонной свае. Расстояние между начальной и конечной рисками на испытуемой свае, измеренное мерной лентой, соответствует суммарному отказу. Разделив суммарный отказ на число ударов в залогах, получим действительный отказ. На практике для измерения отказов свай используют простые записывающие приборы — отказомеры различной конструкции. При отсутствии отказомера или гидравлического уровня отказ можно определить с помощью туго натянутой тонкой проволоки (струны) между колышками. На свае на уровне натянутой проволоки наносят риску и после забивки сваи с определенным числом залогов определяют суммарный отказ по расстоянию между проволокой и нанесенной риской. Все результаты работ по забивке каждой сваи фиксируют в специальном журнале.

Большое значение для качественной и производительной забивки свай имеет правильный выбор сваебойного оборудования. Минимальную расчетную энергию удара молота $Э$, необходимую для забивки сваи, можно приблизительно определить по формуле

$$Э = 1{,}75aP,$$

где a — эмпирический коэффициент (a=0,025 кДж/кН); P — несущая способность сваи, принятая в проекте.

Причем тип молота с расчетной энергией удара должен удовлетворять следующему условию:

$$K \leqslant \frac{(Q_{\text{п}} + q)\,g}{Э},$$

где K — эмпирический коэффициент (табл. 24); $Q_{\text{п}}$ — полная масса молота; q — масса сваи с наголовником и подбабком.

Для трубчатых дизель-молотов $Э = 0{,}9\ QHg$. Здесь Q—масса падающей (ударной) части молота; H — фактическая высота падения падающей (ударной) части молота; для штанговых дизель-молотов $Э = 0{,}4QHg$.

Высоту падения падающей (ударной) части молота на стадии окончания забивки свай принимают равной 2,8 для трубчатых дизель-молотов и 1,7; 2 и 2,2 м (при массе ударных частей соответственно 1,25; 1,8 и 2,5 т) для штанговых дизель-молотов.

Следует отметить, что в пределах свайного куста (под колонну здания, перекачивающий агрегат, технологическое обору-

Таблица 24. Эмпирический коэффициент K для различного материала свай

Тип молота	Железобетон	Дерево
Трубчатые дизель-молоты и молоты двойного действия	6	5
Молоты одиночного действия и штанговые дизель-молоты	5	3,5
Подвесные молоты	3	2

дование) трудно добиться забивки свай на строго одинаковую глубину. Поэтому перед установкой ростверков проводят срезку верхних концов свай на одинаковую отметку с помощью специальных машин, а при их отсутствии — путем срубки бетона пневматическими зубилами и обрезки арматуры газовой резкой.

Заключительной операцией при возведении свайных фундаментов является монтаж ростверков. В практике возведения свайных фундаментов на насосных и компрессорных станциях применяют сборные и монолитные ростверки. Сборные ростверки изготовляют в заводских условиях и устанавливают на головах свай через специальные углубления в плитах ростверков. Соединения голов свай с плитой ростверков замоноличивают сваркой выпусков арматуры и заполнением зазоров мелкозернистым бетоном. Монолитные железобетонные ростверки изготовляют непосредственно на головах свайного куста путем установки опалубки, арматуры и заполнения опалубки бетонной смесью.

Рассмотрим организацию работ по изготовлению свайных фундаментов при сооружении компрессорной станции. Забивку свай осуществляет специализированная бригада, в составе которой имеется два самоходных сваебойных агрегата С-878 и бурильная установка. Объем свайных работ при сооружении компрессорных станций достаточно большой. Общее число свай, забиваемых только в пределах здания компрессорного цеха с учетом свайных фундаментом газоперекачивающих агрегатов, достигает 900. Забивку свай под колонны общего здания компрессорного цеха проводят по продольным осям *А*, *Б*, *В*. Оба сваебойных агрегата начинают забивку свай с оси *13* по направлению к оси *17* и далее между осями здания *17* и *36* во второй и третьей захватках (см. рис. 46). После окончания забивки свай в этих захватках оба сваебойных агрегата переводят в 6-метровые зоны по обе стороны здания компрессорного цеха в пределах первой и третьей захваток, где проводят забивку свай под технологическое оборудование и надземные технологические трубопроводы. Затем оба свайных агрегата переводят в пределы четвертой захватки и забивают сваи между осями *1—13* здания компрессорного цеха. После этого первый сваебойный агрегат переводят для забивки свай в 6-метровой зоне компрессорного

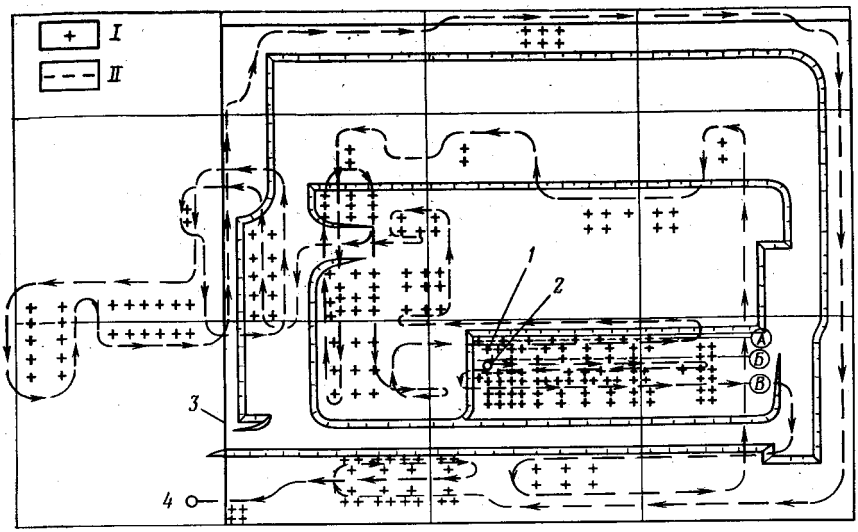


Рис. 54. Схема движения бурильной машины и сваебойного агрегата С-878 на строительной площадке блочно-комплектной насосной станции БКНС-3,6: *I* — оси свай; *II* — путь движения сваебойного агрегата; *1* — сваи под насосный цех; *2* — начало движения; *3* — границы площадки; *4* — конец движения

цеха между осями *1—13* и затем на площадку аппаратов воздушного охлаждения газа и сепаратов-пылеуловителей. Второй сваебойный агрегат после окончания забивки свай в пределах четвертой захватки переводят для забивки свай в 6-метровую зону с «низкой» стороны компрессорного цеха (между осями *1—13*), а затем — зону V для производства работ по забивке свай под блок-боксы вспомогательного оборудования, здания вспомогательных служб и другие вспомогательные объекты. Последней производят забивку свай на «высокой» и «низкой» сторонах компрессорного цеха между осями *1—36* за пределами 6-метровой зоны.

На строительной площадке блочно-комплектной насосной станции принята другая организация свайных работ (рис. 54). Забивку свай начинают под здание насосного цеха по оси *Б* (один ряд), затем по осям *В* и *А*, а также под блок-боксы с панелями релейной защиты, блок фильтров-грязеуловителей, сборник нефти сброса ударной волны, блок-боксы регуляторов давления и резервуары противопожарного запаса воды. По окончании забивки свай под указанные резервуары сваебойный агрегат перемещают для забивки свай под блок-боксы пожарного инвентаря, электромеханической мастерской, кладовой оборудования, водоснабжения и пожаротушения, щита силового управления, комплектной трансформаторной подстанции, обогрева вахтенного персонала. Затем ведут забивку свай под блок-боксы

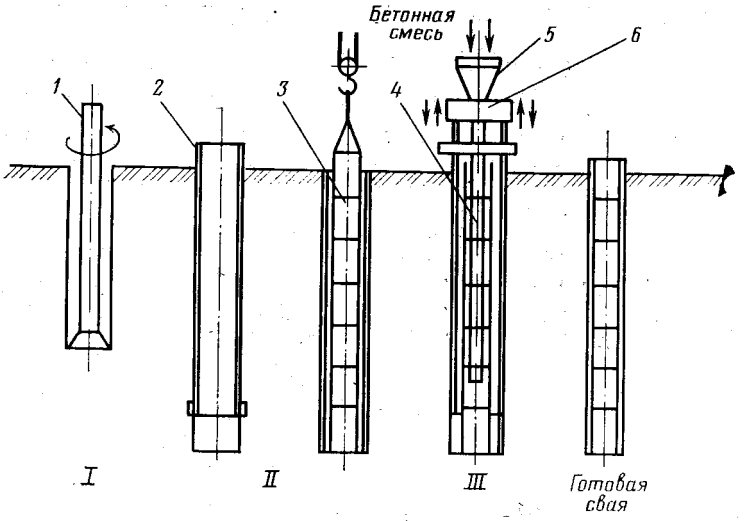


Рис. 55. Технология изготовления буронабивных свай:
I — бурение скважины; *II* — установка обсадной трубы и арматурного каркаса; *III* — заполнение скважины бетонной смесью; *1* — бурильная машина; *2* — обсадная труба; *3* — арматурный каркас; *4* — бетонолитная труба; *5* — приемный бункер; *6* — вибратор

приточных и подпорных вентиляторов и оборотного водоснабжения. После этого сваебойный агрегат перемещают опять в пределы контура здания насосного цеха и забивают второй ряд свай по оси *В*. После выхода сваебойного агрегата из пределов контура здания забивают сваи под блок-боксы гипохлораторной установки, операторной, компрессорной и узла связи. Затем сваебойный агрегат перемещается по периметру территории насосной станции для забивки свай под прожекторные мачты и молниеприемники и под навесы на площадке стоянки механизмов.

На компрессорных станциях в свайных фундаментах газоперекачивающих агрегатов наряду с забивными применяют и буронабивные сваи, т. е. сваи, изготовляемые в грунте непосредственно на строительной площадке. Рассмотрим кратко технологию изготовления буронабивных свай. На практике применяют два вида буронабивных свай: с остающейся обсадной стальной трубой (в слабых грунтах) и с извлекаемой обсадной трубой (в прочных грунтах). Производство свайных фундаментов в этом случае включает следующие технологические операции (рис. 55): бурение скважины бурильной машиной БМ-802; установку обсадной трубы в пробуренную скважину; установку арматурного каркаса, если он предусмотрен проектом; заполнение внутренней полости скважины бетонной смесью, для чего используют специальные бетонолитные трубы или применяют метод свободного сброса бетонной смеси. В первом случае на устье

скважины устанавливают бункер для приема бетонной смеси с направляющей трубой. В направляющую трубу вводят внутреннюю бетонолитную трубу, по которой и подают непрерывно бетонную смесь. Эту трубу заглубляют в бетонную смесь не более чем на 1 м. По мере заполнения скважины бетонной смесью бетонолитную трубу извлекают из скважины. После заполнения бетонной смесью ствола скважины бетонируют оголовок сваи. Уплотнение бетонной смеси осуществляют за счет вибрационных воздействий от вибробункера через бетонолитную трубу. К недостаткам указанного метода бетонирования относятся применение бетонолитной трубы, монтаж которой занимает значительное время, и необходимость применения литых бетонных смесей с осадкой стандартного конуса в 18—20 см, что вызывает повышенный расход цемента. Во втором случае на устье скважины устанавливают приемную воронку, через которую бетонную смесь подают в скважину непосредственно из автобетоносмесителей, автобетоновозов или автосамосвалов. Причем бетонирование можно проводить без уплотнения бетонной смеси или с уплотнением глубинным или плавающим вибратором.

Рассмотрим некоторые особенности работ по устройству свайных фундаментов перекачивающих агрегатов насосных и компрессорных станций. Для насосных агрегатов с приводом от электродвигателей на сваи монтируют стальные наголовники, а затем проверяют точность их установки на одном уровне. На наголовники монтируют стальные рамы. Стальная рама для электродвигателя состоит из двух спаренных продольных балок и трех спаренных поперечных балок. Каждая балка состоит из двух швеллеров № 40. Рама под насос состоит из двух спаренных продольных балок и двух поперечных балок. Аналогична технология монтажа свайного фундамента под газоперекачивающие агрегаты СТД-12500, фундаменты которых отличаются числом свай и высотными отметками рам под электродвигатель и центробежный нагнетатель с редуктором. Для свайных фундаментов под газоперекачивающие агрегаты, монтируемые на столбчатых фундаментах с высотной отметкой до 4,8 м, на забитые в грунт или на буронабивные сваи устанавливают специальные стальные наголовники. На эти наголовники монтируют трубчатые стойки (из стальных труб), на верхних концах которых закреплены специальные стальные башмаки с горизонтальными опорными поверхностями. На эти башмаки устанавливают газоперекачивающий агрегат. Стойки под газотурбинную установку и центробежный нагнетатель соединяют специальными связями. Такая конструкция свайного фундамента предложена М. В. Чижевским с группой других авторов [35]. На практике пока применяют промежуточное решение с использованием массивной плиты-ростверка из монолитного железобетона на уровне поверхности земли. В этом случае после окончания монтажа трубчатых стоек их дополнительно закрепляют стальными верти-

кальными и горизонтальными связями и сразу приступают к монтажу газоперекачивающих агрегатов. Бетонирование монолитной плиты-ростверка выполняют после окончания возведения здания компрессорного цеха или переносят на теплое время года. Конечно, применение монолитной железобетонной плиты-ростверка удорожает возведение свайного фундамента, но описанная выше технология позволяет сократить сроки строительства компрессорных станций на 1,5—2 мес по сравнению с вариантом применения массивных фундаментов.

Глава 8

Сооружение основных и вспомогательных зданий насосных и компрессорных станций

20. ТАКЕЛАЖНАЯ ОСНАСТКА, МОНТАЖНЫЕ МАШИНЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ

Для монтажа основных, вспомогательных зданий и технологического оборудования насосных и компрессорных станций применяют различную такелажную оснастку и различные по устройству и назначению монтажные машины и приспособления. Перемещение, подъем и подачу монтируемых элементов зданий к месту их установки осуществляют с помощью специальных монтажных машин (в основном самоходных кранов). При монтаже зданий насосных и компрессорных цехов, технологического оборудования, блок-боксов и блок-контейнеров, технологических трубопроводов приходится перемещать, поднимать и устанавливать в проектное положение монтажные элементы, различные по массе и габаритам. Для связи стрелы монтажного крана с перемещаемым монтируемым элементом, обеспечения выигрыша в силе и удобства монтажа используют гибкие связи (канаты) в виде полиспастов, грузозахватные и различные монтажные приспособления, объединяемые под общим названием такелажная оснастка. В качестве гибкой связи при монтажных работах используют стальные канаты, а для вспомогательных операций — пеньковые и капроновые канаты.

Стальные канаты изготавливают из отдельных тонких высокопрочных стальных проволочек, диаметр которых колеблется от 0,5 до 3,5 мм. Из проволочек скручивают пряди, а из прядей путем навивки их на сердечник получают канат двойной свивки. В процессе эксплуатации канаты необходимо периодически осматривать для обнаружения обрывов отдельных проволок. По нормам Госгортехнадзора допускается строго определенное число обрывов проволочек на длине одного шага свивки каната. В зависимости от конструкции каната и первоначального нормативного коэффициента запаса прочности число обрывов прово-

Таблица 25. Нормативный коэффициент запаса прочности k [15]

Назначение каната	Вид привода	Режим работы	k
Грузовой канат для кранов, лебедок и полиспастов	Ручной	—	4,5
	Машинный	Легкий	5
	—	Средний	5,5
	—	Тяжелый	6
Канаты для строповки грузов массой более 50 т, имеющие на концах инвентарные детали крепления к грузам	—	—	6
Канаты, закрепляемые на грузе обвязкой, для строповки грузов массой до 50 т	—	—	8
Винты и оттяжки	—	—	3,5

лок на длине одного шага каната, при котором он должен быть отбракован, колеблется от 6 до 40. Причем канаты грузоподъемных машин для подъема и перемещения людей, расплавленного металла, огнеопасных и ядовитых веществ бракуют при числе обрывов проволок на одном шаге свивки, вдвое меньшем по сравнению с вышеуказанным.

Основная характеристика канатов — разрывное усилие R, которое обычно указывают в стандартах на канаты (в зависимости от типа и диаметра каната) [15]. При подборе каната прежде всего выбирают его конструкцию. Затем определяют максимальное усилие S, испытуемое канатом при монтажных работах. После этого по назначению, условиям и режиму работы каната устанавливают нормативный коэффициент запаса прочности k (табл. 25). Разрывное усилие каната определяют по формуле

$$R = kS.$$

Зная разрывное усилие, по таблицам ГОСТ 7665—80 определяют диаметр и тип каната. Пеньковые канаты подбирают по такой же методике, но при $k=8$.

При расчете грузовых канатов для кранов и лебедок, а также полиспастов тяжелый режим работы принимают при движении каната со скоростью более 0,2 м/с, а также рывками и при наличии более чем четырех изгибов каната на роликах.

Легкий режим принимают при скорости движения каната менее 0,2 м/с, без рывков и при числе изгибов каната на роликах менее четырех. Средний режим работы каната занимает промежуточное положение.

Для непосредственного крепления монтируемых элементов к крюкам грузоподъемных машин из стальных канатов изготовляют простейшие грузозахватные приспособления — стропы. Способ обвязки, крепления и подвешивания монтируемых элементов к крюку крана называется строповка. Для строповки монтируемых элементов кроме строп применяют различные захваты и траверсы. Все приспособления для строповки должны

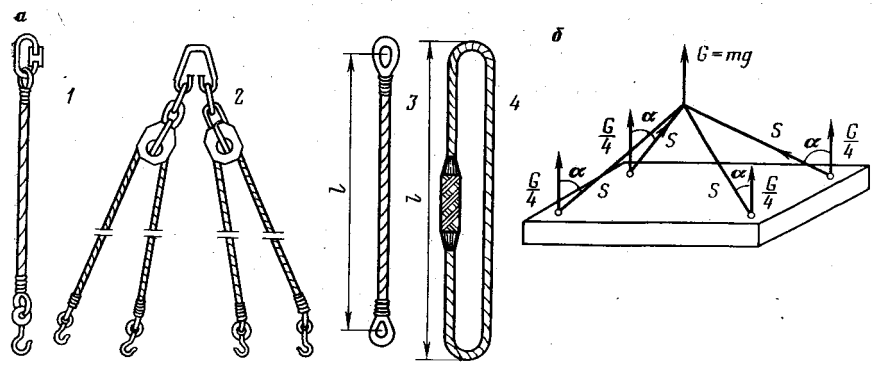


Рис. 56. Стропы для такелажной оснастки

обеспечить удобный, быстрый и безопасный захват монтируемых элементов, их подъем и установку в проектное положение и быструю расстроповку, т. е. освобождение монтируемого элемента из строп. На практике применяют следующие виды строп: одноветвевой *1*, многоветвевой *2* (двух- и четырехветвевой), облегченный *3* и универсальный *4* (рис. 56, *а*). Универсальный строп представляет собой замкнутую петлю из стального каната диаметром от 6 до 30 мм и длиной по одной стороне от 4 до 10 м. Концы каната соединены оплеткой по длине, равной 40 диаметрам, при помощи шести сжимов при диаметре каната до 28 мм и семи сжимов при диаметре каната 28—30 мм. Облегченный строп представляет собой отрезок стального каната длиной от 4 до 10 м и диаметром от 6 до 30 мм, снабженный на концах петлями на коушах.

Одноветвевой строп — разновидность облегченного стропа, снабженного на одном конце крюком с защелкой или карабином. Многоветвевой строп — совокупность двух, трех или четырех одноветвевых строп. Многоветвевые стропы применяют при монтаже длинномерных, а также плоских элементов типа балок, ферм, труб, плит, панелей и т. д.

В некоторых случаях вместо стальных канатов для строповки применяют стальные цепи.

Усилие в стропах S при подъеме монтируемого элемента зависит от массы элемента m, а следовательно, и его веса G, числа строп n и угла наклона α строп к вертикальной оси (рис. 56, *б*) и определяется по формуле

$$S = \frac{mg}{n \cos \alpha}.$$

Усилие в стропе увеличивается с повышением массы элемента, уменьшением числа строп и увеличением угла наклона и, наоборот, усилие в стропах уменьшаются со снижением массы, увеличением числа строп и уменьшением угла наклона.

При $\alpha=0$ и $\cos\alpha=1$

$$S=\frac{mg}{n\cdot 1}=\frac{mg}{n}.$$

При одноветвевом стропе, т. е. $\alpha=0$ и $n=1$,

$$S=mg.$$

Из наиболее распространенных монтажных приспособлений, входящих в такелажную оснастку и применяемых на монтажных работах при сооружении насосных и компрессорных станций, прежде всего следует выделить траверсы. Траверса — монтажное приспособление в виде балки (реже фермы) или группы балок, соединенных вместе, к которым присоединены стропы. Траверсы широко применяют при монтаже длинномерных и плоских монтажных элементов — балок, плит панелей, вертикальных и горизонтальных аппаратов, секций технологических трубопроводов, а также блок-боксов и блок-контейнеров (рис. 57). Стержень траверсы для монтажа блок-боксов составлен из двух швеллеров № 36, собранных вместе полками наружу и соединенных планками на сварке. Общая длина стержня траверсы 3320 мм. Соединение швеллеров выполнено на 16 планках (по восьми сверху и снизу), расположенных через 400 мм по обе стороны от центра. В центре стержня приварена петля, за которую траверсу крепят к крюку крана. По концам траверсы приварены сквозные втулки. Через них проходят оси, к которым крепят серьги. К каждой серьге прикреплены две одноветвевые стропы, имеющие на концах петли с коушами. Длина каждого стропа — 5,5 м, а диаметр каната — 25,5 мм. Траверса рассчитана на грузоподъемность 15 т.

Для монтажа плит покрытия размером 1,5×6 м зданий компрессорных и насосных цехов используют специальные траверсы, позволяющие одновременно поднимать сразу три плиты (гирлянду) и обеспечить их последовательную укладку на опорные плоскости ригелей (рис. 58, *а*). Такая конструкция состоит из продольной траверсы и двух поперечных траверс. Верхнюю плиту крепят с помощью строп к концам продольной траверсы; среднюю и нижнюю плиты — через уравновешивающие ролики к поперечным траверсам. Для одновременного подъема трех стеновых панелей размером 1,2×6 м используют специальную траверсу (рис. 58, *б*). Траверса состоит из продольной фермы, по концам которой закреплены уравновешивающие блоки. На канатах крепят три стеновые панели. После подъема на необходимую высоту стеновые панели, начиная с нижней, последовательно устанавливают в проектное положение на колоннах.

Одновременный подъем и последовательный монтаж трех плит покрытия или стеновых панелей позволяет сократить время монтажа за счет одновременного их подъема. Еще больший выигрыш во времени дает применение монтажа стеновых панелей блоками сразу на всю высоту здания. Такой монтаж выполняют

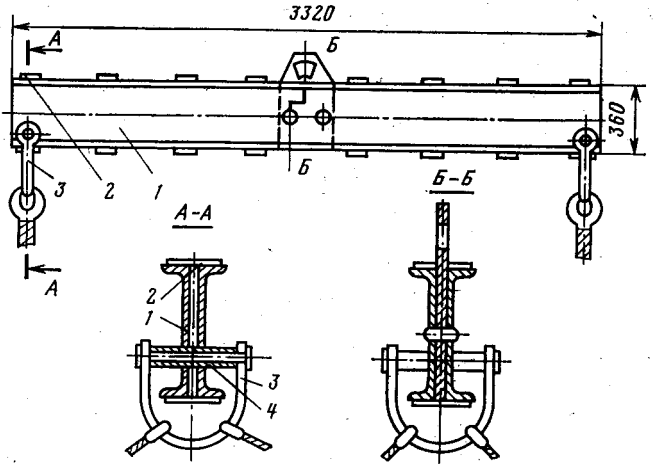


Рис. 57. Траверса для монтажа блок-боксов и блок-контейнеров:
1 — швеллер; *2* — соединительная планка; *3* — петля; *4* — втулки

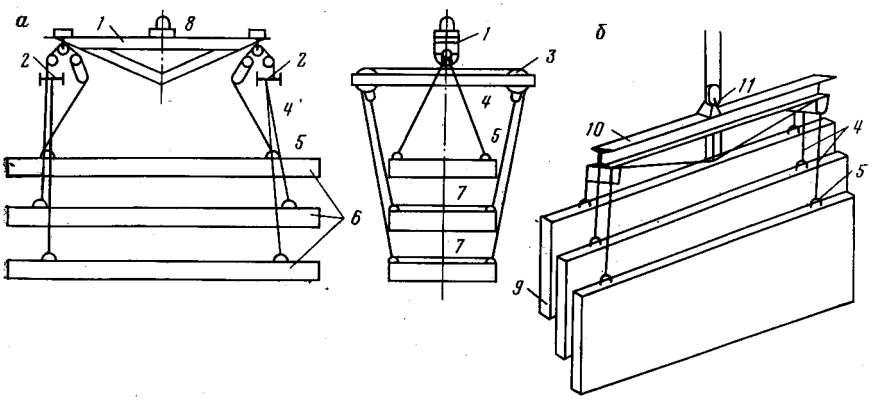


Рис. 58. Специальные траверсы для монтажа плит покрытия *(а)* и стеновых панелей *(б)*:
1 — продольная траверса; *2* — поперечная траверса; *3* — ролик; *4* — строп; *5* — монтажная петля; *6* — плита; *7* — выдвижной штырь; *8* — ось крюка крана; *9* — стеновая панель; *10* — траверса-ферма; *11* — блок

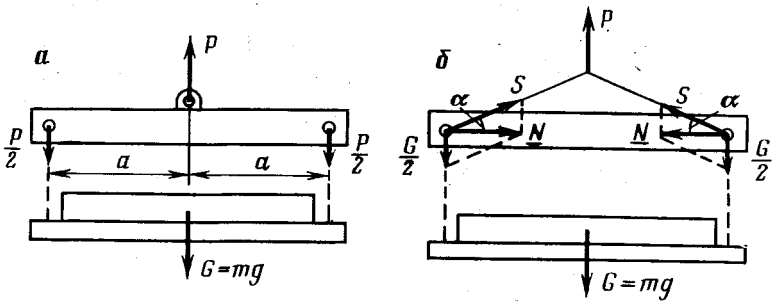


Рис. 59. Расчетные схемы траверс, работающих на изгиб *(а)* и сжатие *(б)*

с помощью специальных кассет конструкции ВНИИСТа. В таких кассетах в горизонтальном положении стеновые панели собирают в блок, который с помощью монтажного крана переводят в вертикальное положение и закрепляют на колоннах.

По характеру напряженного состояния под нагрузкой различают траверсы, работающие в условиях изгиба и сжатия (рис. 59). В первом случае траверса работает как балка, нагруженная посредине сосредоточенной нагрузкой, а во втором случае из-за наклонных строп в траверсе возникают сжимающие усилия.

Расчет траверсы, работающей на изгиб

1. Определяют нагрузку P, действующую на траверсу, по формуле

$$P = Gnk_д = mgnk_д,$$

где G — вес поднимаемого груза; m — масса поднимаемого груза; g — ускорение свободного падения, м/с^2; n — коэффициент перегрузки ($n=1{,}1$); $k_д$ — коэффициент динамичности ($k_д=1{,}1$).

2. Рассчитывают максимальный изгибающий момент M_{max}, возникающий в центральном сечении траверсы, по формуле

$$M_{max}=Pa/2,$$

где a — расстояние между точками подвеса груза.

3. Вычисляют требуемый момент сопротивления сечения траверсы по формуле

$$W_{тр} \geqslant \frac{M_{max}10^3}{kR},$$

где k — коэффициент условий работы; R — расчетное сопротивление материала траверсы, МПа.

4. Выбирают профиль сечения балки (тавр, двутавр или спаренный швеллер).

5. По полученному значению требуемого момента сопротивления $W_{тр}$ выбирают профиль сечения с моментом сопротивления W_x, соблюдая при этом условие $W_x \geqslant W_{тр}$.

Расчет траверсы сплошного сечения, работающей на сжатие

1. Определяют усилие натяжения S в каждой стропе, соединяющей концы траверсы с крюком грузоподъемной машины, по формуле

$$S = \frac{mg}{2\sin\alpha}.$$

2. По найденному S определяют продольное сжимающее усилие в траверсе

$$N = \frac{mg}{2} nk_д \operatorname{ctg}\alpha.$$

3. Выбирают профиль сечения траверсы из одного швеллера, двутавра, или спаренных швеллеров.

4. Проводят расчет выбранного сечения траверсы заданной длины на устойчивость при сжатии.

Для траверс в виде стержня сплошного сечения:

а) определяют требуемую площадь поперечного сечения траверсы по формуле

$$F_{тр} = \frac{N10^{-3}}{\varphi_0 kR},$$

где N — продольное сжимающее усилие в траверсе, кН; φ_0 — коэффициент устойчивости стержня при продольном изгибе (для стержней из фасонного проката тавров, двутавров и уголков $\varphi_0 = 0{,}7 \div 0{,}9$, для стальных труб $\varphi_0 = 0{,}4$); k — коэффициент условий работы траверсы, равный 0,85; R — расчетное сопротивление материала траверсы, МПа.

б) по принятому профилю $F_{тр}$ выбирают номер двутавра, тавра и швеллера, а для стальных труб — диаметр и толщину стенки. Определяют также площадь сечения и радиусы инерции сечения r_x и r_y (для стальных труб — r);

в) определяют расчетную длину $l_р$ стержня траверсы по формуле

$$l_р = \mu l,$$

где μ — коэффициент приведения расчетной длины; l — фактическая длина стержня траверсы. Коэффициент μ изменяется от 0,5 до 2 в зависимости от способа заделки концов стержня траверсы, например, при шарнирном закреплении концов стержня траверсы $\mu = 1$;

г) определяют гибкость стержня λ траверсы относительно главных осей x и y по формулам:

$$\lambda_x = l_р/r_x; \quad \lambda_y = l_р/r_y.$$

Для трубы $\lambda = l_р/r$. Причем необходимо, чтобы $\lambda_x \leqslant [\lambda]$; $\lambda_y \leqslant [\lambda]$, $\lambda \leqslant [\lambda]$, здесь $[\lambda]$ — максимально допустимая гибкость стержня траверсы (для траверс из проката $[\lambda] = 150$, для траверс из труб $[\lambda] = 180$);

д) по найденной λ находят по таблице коэффициент продольного изгиба φ. При изменении λ от 0 до 2000 φ изменяется от 0,19 до 1;

е) проводят проверку полученной площади сечения траверсы на устойчивость по формуле

$$N/\varphi F \leqslant kR.$$

Для траверс составного (сквозного) сечения:

а) определяют расчетное сжимающее усилие N в стержне траверсы от действия усилия в стропе S (см. пункты 1 и 2 расчета траверсы сплошного сечения);

б) по найденному усилию N определяют требуемую площадь сечения $F_{тр}$ и расчетную длину стержня $l_р$ (см. пункт 4 расчета траверсы сплошного сечения);

в) выбирают расчетную схему сечения стержня траверсы (из двух швеллеров, двух двутавров, четырех уголков и т. д.);

г) подбирают по таблицам геометрических характеристик профилей проката размеры площади каждого профиля так, чтобы суммарная площадь сечения составного сечения F была бы не меньше требуемой площади сечения $F_{тр}$;

д) расстояние между профилями b, составляющими сечение, определяют из условия равноустойчивости составного сечения в двух главных плоскостях:

$$b \geqslant 1{,}2\,\frac{l_р \alpha_x}{l_р \alpha_y}\,h = 1{,}2\,\frac{\alpha_x}{\alpha_y}\,h,$$

где α_x, α_y — коэффициент (см. табл. 19); h — высота сечения;

е) определяют моменты инерции I_x и I_y и радиусы инерции r_x и r_y составного сечения траверсы.

Для сечения из двух швеллеров полками внутрь:

$$I_x = 2I_x^{шв}; \quad W_x = 2W_x^{шв}: \quad r_x = \sqrt{\frac{I_x}{2F^{шв}}},$$

где $I_x^{шв}$, $W_x^{шв}$ — соответственно момент инерции и момент сопротивления одного швеллера относительно оси x;

$$I_y = 2\left[I_y^{шв} + F^{шв}\left(\frac{b}{2} - z_0\right)^2\right],$$

где $F^{шв}$ — площадь одного швеллера; b — ширина сечения; z_0 — толщина полки швеллера; $I_y^{шв}$ — момент инерции одного швеллера относительно оси y.

Для сечения из двух швеллеров полками наружу:

$$I_x = 2I_x^{шв}; \quad W_x = 2W_x^{шв}; \quad r_x = \sqrt{\frac{I_x}{2F^{шв}}};$$

$$I_y = 2\left[I_y^{шв} + F^{шв}\left(\frac{b}{2} + z_0^2\right)\right]; \quad W_y = 2W_y^{шв};$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{2F^{шв}}},$$

где b — расстояние между внутренними поверхностями полок швеллеров по оси x; остальные обозначения те же.

Для сечения из двух двутавров:

$$I_x = 2I_x^{\text{дв}}; \quad W_x = 2W \quad ; \quad r_x = \sqrt{\frac{I_x}{2F^{\text{дв}}}} \; ;$$

$$I_y = 2\left[2I_y^{\text{дв}} + F^{\text{дв}}\left(\frac{b}{2}\right)^2\right]; \quad W_y = 2W_y^{\text{дв}};$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{2F^{\text{дв}}}},$$

где $I_x^{\text{дв}}$, $I_y^{\text{дв}}$, $W_x^{\text{дв}}$, $W_y^{\text{дв}}$, $F^{\text{дв}}$ — соответственно моменты инерции одного двутавра относительно осей x и y, моменты сопротивления одного двутавра относительно осей x и y и площадь одного двутавра; b — расстояние по оси x между осями y двутавров.

Для сечения из четырех уголков:

$$I_x = 4\left[I^{\text{уг}} + F^{\text{уг}}\left(\frac{b}{2} - z_0\right)^2\right];$$

$$W_x = \frac{I_x}{b/2}; \quad r_x = \sqrt{\frac{I_x}{4F^{\text{уг}}}} \; ;$$

$$I_y = 4\left[I^{\text{уг}} + F^{\text{уг}}\left(\frac{h}{2} - z_0\right)^2\right];$$

$$W_y = \frac{I_y}{b/2}; \quad r_y = \sqrt{\frac{I_y}{4F^{\text{уг}}}},$$

где $I^{\text{уг}}$, $W^{\text{уг}}$, $F^{\text{уг}}$ — соответственно момент инерции, момент сопротивления и площадь одного уголка; b — ширина сечения; z_0 — толщина стенки уголка; h — высота сечения;

ж) определяют гибкость составного сечения стержня траверсы относительно оси x по формуле

$$\lambda_x = l_{\text{р}}/r_x \leqslant [\lambda].$$

По найденному λ_x по таблицам определяют коэффициент продольного изгиба φ_x;

з) определяют приведенную гибкость составного сечения $\lambda_{\text{пр}}$ относительно оси y. Приведенная гибкость учитывает податливость составного сечения из-за наличия соединительных планок. Приведенную гибкость определяют по различным формулам в зависимости от вида профилей проката составного сечения, расположения соединительных планок (с наклоном или перпендикулярно). Например, для составного сечения из двух швеллеров полками внутрь, соединенных прямыми планками:

$$\lambda_{\text{пр}} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_{by_0}^2},$$

где λ_y — гибкость составного сечения относительно оси y; $\lambda_{вy_0}$ — гибкость отдельного швеллера относительно собственной вертикальной оси y_0

$$\lambda_y = l_р/r_y; \quad \lambda_{вy_0} = l_{вy_0}/r_{вy_0},$$

здесь $l_р$ — расчетная длина составного сечения; r_y — радиус инерции составного сечения; $l_{вy_0}$ — расчетная длина отдельной ветви составного сечения (одного швеллера); $r_{вy_0}$ — радиус инерции одной ветви составного сечения (одного швеллера) относительно собственной вертикальной оси y_0.

Расчетная приведенная гибкость $\lambda_{пр}$ не должна превышать предельную (максимальную) гибкость $[\lambda]$, т. е. $\lambda_{пр} \leqslant [\lambda]$;

и) по найденной $\lambda_{пр}$ определяют по таблице коэффициент продольного изгиба φ_y относительно оси y;

к) проверяют на устойчивость полученное составное сечение траверсы по условиям

$$N/F\varphi_x \leqslant kR; \quad N/F\varphi_y \leqslant kR;$$

л) рассчитывают на прочность соединительные элементы — пластины или стяжные болты.

Кроме траверс при сооружении насосных и компрессорных станций используют и другие монтажные приспособления. Для удобства монтажа трехслойных стеновых панелей применяют специальный клещевой захват конструкции ВНИИСТа, а для монтажа плит покрытия — вилочный захват. Клещевой захват состоит из траверсы, на которой закреплены два синхронно действующих клещевых устройства, оснащенных широкими пластинами для предохранения поднимаемой стеновой панели от продавливания. При подъеме пластины плотно прижимаются к поверхностям панели, а за счет сил трения панель удерживается в клещевом захвате. После установки панели в проектное положение и ослабления стропов клещевой зажим разжимается и освобождается для повторного использования. Вилочный захват для монтажа плит покрытия состоит из траверсы, по концам которой жестко закреплены две опорные вилки. На опорные поверхности вилок в горизонтальном положении укладывают плиту. От самопроизвольного выпадания плиту удерживает специальный фиксатор с пружиной.

Для монтажа колонны и ригелей каркаса применяют простейшие полуавтоматические захваты, оснащенные полуавтоматическими замками. Эти замки автоматически закрываются (обычно за счет пружин) и удерживают в рабочем положении грузозахватное приспособление. После установки в проектное положение колонны или ригеля и их закрепления грузозахватное приспособление освобождается стропальщиком путем натяжения с земли пенькового тросика замка.

Монтаж элементов заданий, оборудования, технологических трубопроводов на насосных и компрессорных станциях выполняют с помощью монтажных кранов. На строительстве насосных

Таблица 26. Техническая характеристика стреловых самоходных кранов

Вид крана	Модель	Длина основной стрелы, м	Грузоподъемность, т		Вылет основной стрелы, м		Высота подъема основного крюка, м		Шасси крана
			минимальная	максимальная	минимальный	максимальный	при минимальном вылете	при максимальном вылете	
Гусеничный	МКГ-16М	10	4	16	4	10	10	6	Гусеничный ход
	РДК-25	12,5	4,7	25	4,6	12,7	12	6,4	
	МКГ-40	15,8	8	40	3—5	14	13,5	8	
	СКГ-63	15	12,2	63	4,5—5	14	15	9,5	
	КС-8161 (СКГ-100)	20	16,7	100	5—6	18	19,6	12,5	
Автомобильный	КС-3561А	10	1,6 (0,4)	10 (2)	4	10	10	5	МАЗ-500А; МАЗ-500А; КрАЗ-257К1; КрАЗ-257К1, КрАЗ-257К1
	КС-35Н	8—14 (телескопическая)	3 (0,5)—1	10 (2,5)—4	4	7,2—13	8—14	1,2	
	КС-4561А	10	2,1 (1)	16 (4,4)	3,75	10	10	4,5	
	КС-4561А	22	1,14	5,5	6	14	21,9	18	
	КС-4571	9,75—21,75 (телескопическая)	3,7 (1) 0,3	16 (5) 5	3,8—6,2	8,45—20,45	10,6—22	1,5	
	ТМ-1055	До 32 (телескопическая)	1,5	5,5	10,5	33,8	41,6	23,7	
Пневмоколесный	КС-4361А	10,5	3,4 (2,3)	16 (9)	3,8	10	10	5,3	Платформа с двумя ведущими мостами
	КС-5363	15	3,5 (2)	25 (14)	4,5	13,8	14	8	
	КС-6362	15	6,4 (3,1)	40 (20)	4,5	14	14,5	8,3	
	КС-7362	15	5 (2,7)	63 (30)	5	14	14,4	8,1	
	КС-8362	15	9 (7)	100 (26)	5,2	18	18	10	

Примечание. В скобках показана грузоподъемность кранов без выносных опор, а без скобок — с выносными опорами.

Таблица 27. Техническая характеристика кранов-трубоукладчиков

Модель	Базовый трактор	Марка двигателя	Мощность двигателя, кВт	Максимальная грузоподъемность, т	Максимальный вылет крюка, м	Момент устойчивости, кН·м	Тяговое усилие, кН
ТГ-62	ДТ-75Р-С3	СМД-14	55,2	6,3	—	156,8	102,9
ТГ-123	Т-130 Б	Д-160	117,7	12,5	—	333,2	155,8
ТО-1224В		Д-108	79,43	12	4,5	240	112,4
ТГ-201	Т-130	Д-160	117,7	20	6	490	215,6
Т-3560А		Д-180	132,39	35	6,5	600	223,44
ТГ-502	ТТ-330	ВДВГ-330	198,6	50		1225	725,2
К-583Н (США)	Д-8Н	Д-342Т	198,59	63,5	6	735	—
К-594 (США)	Д-9	Д-353	283,17	90,7	7	1078	—
Д-155 (Япония)	«Камацу»	96Д-155-4	235,36	70	6,1	—	—
Д-355 (Япония)	«Камацу»	96Д-155-4	257,43	92	8,5	—	—

и компрессорных станций применяют самоходные стреловые монтажные краны, автомобильные, на гусничном ходу и пневмоколесные грузоподъемностью до 100 т. Кроме самоходных монтажных кранов широко используют краны-трубоукладчики (табл. 26, 27).

Большое значение для оптимальной организации монтажных работ имеет правильный выбор монтажных самоходных кранов.

Рассмотрим основные принципы выбора.

1. Определяют требуемую грузоподъемность крана по формуле

$$Q_{кр} = m_э + m_т,$$

где $m_э$ — максимальная масса монтируемого элемента; $m_т$ — масса такелажной оснастки (стропов, захватов, траверсы).

2. Определяют минимально необходимое расстояние по вертикали от уровня стоянки крана до верха оголовка стрелы $H_с$ (рис. 60) по формуле

$$H_с = h_0 + h_з + h_э + h_с + h_п,$$

где h_0 — расстояние по вертикали от уровня стоянки крана до опоры сборного монтируемого элемента на верхнем монтажном горизонте; $h_з$ — запас по высоте, необходимый для установки элемента и проноса его над ранее смонтированными элементами ($h_з = 0{,}5$— 2м); $h_э$ — высота монтируемого элемента в положении подъема; $h_с$ — высота грузозахватного устройства (высота от верхней точки монтируемого элемента до центра крюка крана); $h_п$ — высота полиспаста в стянутом положении.

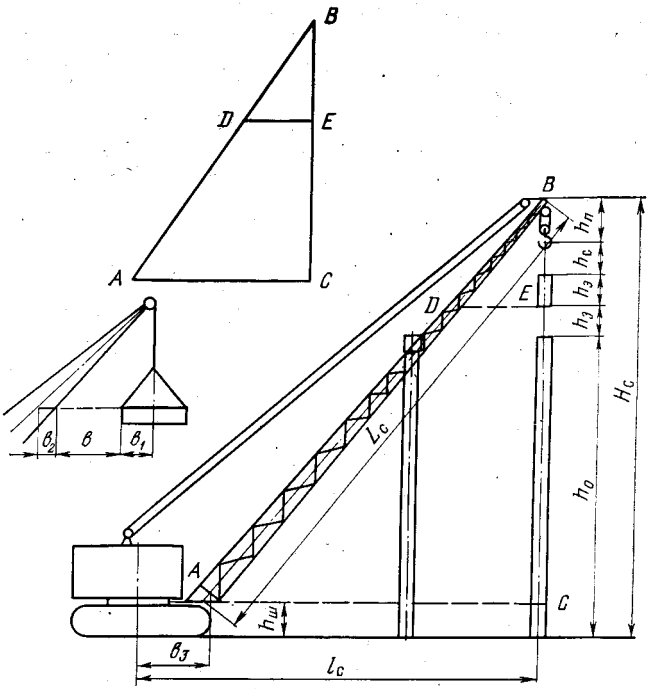


Рис. 60. Расчетная схема выбора монтажного крана

3. Определяют минимально необходимый вылет стрелы крана при требуемой высоте подъема по формуле

$$l_c = \frac{(b + b_1 + b_2)(H_c - h_ш)}{h_п + h_c} + b_3,$$

где l_c — вылет стрелы крана, т. е. расстояние по горизонтали от оси вращения крана до линии, проходящей через точку подвеса груза на крюке; b — минимальный зазор между стрелой крана и монтируемым элементом или между стрелой и ранее смонтированной конструкцией (в первом случае $b = 0{,}5$ м), во втором случае в зависимости от длины стрелы b до 1 м; b_1 — расстояние по горизонтали от центра тяжести монтируемого элемента до наиболее приближенного к стреле крана края элемента; b_2 — половина толщины стрелы по горизонтали на уровне верха монтируемого элемента или ранее смонтированной конструкции; b_3 — расстояние по горизонтали от оси вращения крана до оси поворота стрелы в вертикальной плоскости; $h_ш$ — расстояние по вертикали от уровня стоянки крана до оси поворота стрелы в вертикальной плоскости.

Формулу для определения l_c можно вывести следующим образом. Заменим стрелу линией и рассмотрим два подобных тре-

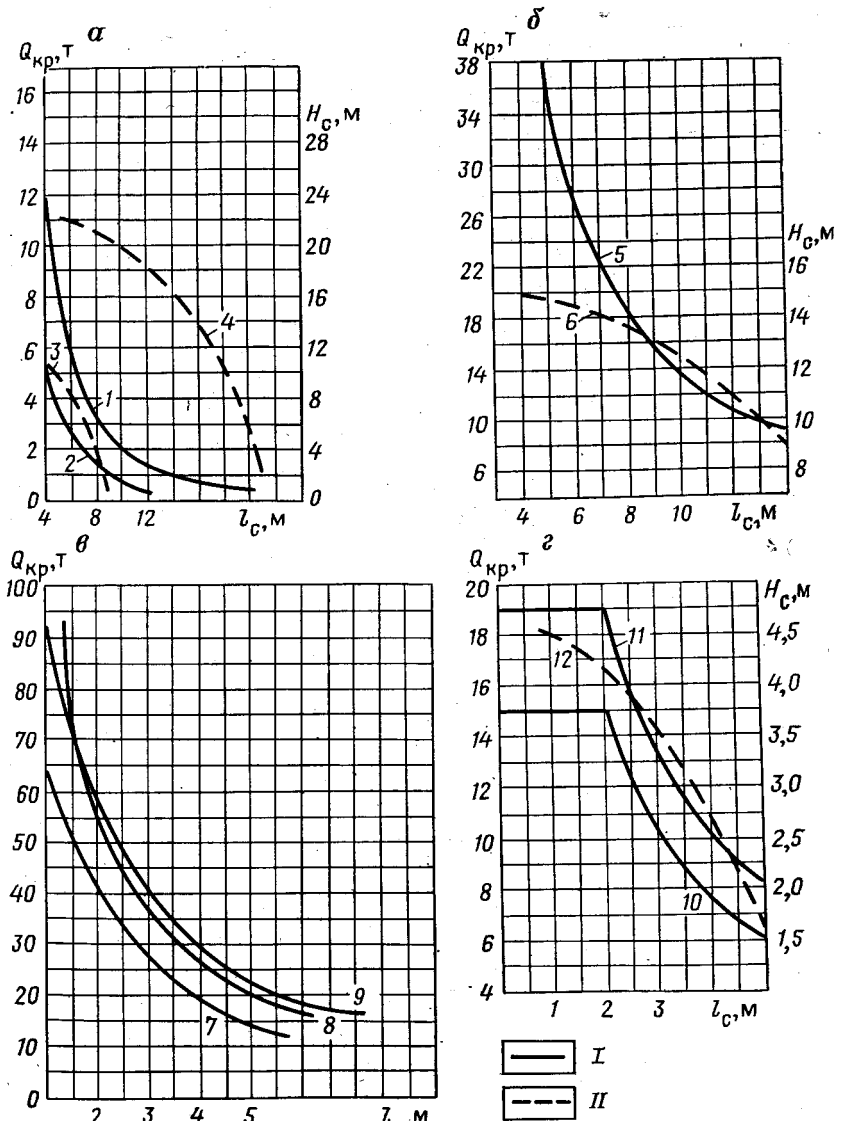


Рис. 61. График грузоподъемности самоходных стреловых монтажных кранов:

а — для автомобильного крана КС-4571; *б* — для гусеничного крана СКГ-40; *в, г* — для кранов-трубоукладчиков; *I* — H_c; *II* — $Q_{кр}$; *1* — при работе на выносных опорах со стрелой длиной 9,75—21,75 м; *2* — при работе без выносных опор; *3* — для крана со стрелой длиной 9,75 м; *4* — для крана со стрелой длиной 21,75 м; *5, 6* — для крана СКГ-40 со стрелой длиной 15 м; *7, 8, 9, 10, 11* — кривые грузоподъемности для кранов-трубоукладчиков соответственно К-583Н, К-594, Д-355, Т15-30, ТГ-201; *12* — кривая зависимости высоты подъема крюка от вылета стрелы крана-трубоукладчика ТГ-20

угольника ABC и $BДE$ (см. рис. 60). В этих треугольниках: $AC=l_c-b_з$, $BC=H_c-h_ш$, $ДE=b+b_1+b_2$ и $BE=h_п+h_c$. Тогда из подобия треугольников ABC и $BДE$ можно записать

$$\frac{AC}{DE}=\frac{BC}{BE};\quad \frac{l_c-b_з}{b+b_1+b_2}=\frac{H_c-h_ш}{h_п+h_c}.$$

Откуда

$$l_c=\frac{(b+b_1+b_2)(H_c-h_ш)}{h_п+h_c}+b_з.$$

4. Необходимую длину стрелы L_c определяют как гипотенузу AB треугольника ABC по формулам

$$AB=\sqrt{AC^2+BC^2};\quad L_c=\sqrt{(l_c-b_з)^2+(H_c-h_ш)^2}.$$

5. Пользуясь паспортными данными и графиками грузоподъемности монтажных кранов, окончательно выбирают монтажный кран. График грузоподъемности крана — графически выраженная зависимость грузоподъемности крана $Q_{кр}$ от вылета стрелы l_c (рис. 61).

Для монтажа выбирают кран с несколько большей грузоподъемностью по сравнению с расчетной грузоподъемностью, что позволяет работать при бо́льшем вылете стрелы и сократить число стоянок крана.

21. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖА ЗДАНИЙ КОМПРЕССОРНЫХ И НАСОСНЫХ ЦЕХОВ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Монтаж каркаса зданий насосных и компрессорных цехов, стеновых панелей и плит покрытия можно вести тремя способами: поэлементным, укрупненными блоками и смешанным. Поэлементный способ монтажа ведут путем доставки и установки в проектное положение отдельных элементов каркаса здания (колонн, ригелей, прогонов и связей). При монтаже укрупненными блоками на строительной площадке организуют площадку укрупнительной сборки; на которой отдельные элементы каркаса здания с помощью специального приспособления — шаблона собирают в укрупненные блоки: например, укрупненный блок каркаса здания компрессорного цеха (укрупненный колонный блок) массой 5 т, состоящий из двух стальных колонн, одной секции подкрановой балки и вертикальных связей, или укрупненный блок несущих конструкций покрытия насосного цеха, состоящий из двух ригелей, четырех прогонов, горизонтальных связей общей массой примерно 3,5 т (рис. 62). Монтаж укрупненными блоками значительно ускоряет сооружение зданий насосных и компрессорных цехов. Однако монтаж укрупненными блоками, собранными на строительной площадке, будет эффективным только при условии уменьшения или, в крайнем случае, равен-

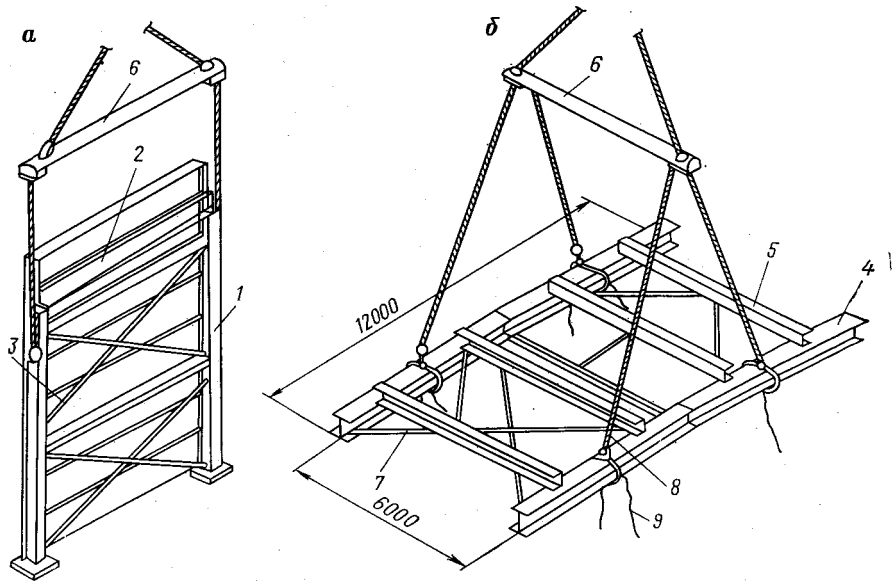


Рис. 62. Схемы укрупненного колонного блока *(а)* и укрупненного блока несущих конструкций покрытия *(б)*:

1 — колонна; *2* — подкрановая балка; *3* — вертикальные связи; *4* — полуригель; *5* — прогон; *6* — траверса; *7* — горизонтальные связи; *8* — строп с полуавтоматическим замком; *9* — тросик полуавтоматического замка

ства суммарных трудовых затрат при поэлементном и укрупненном методах монтажа.

В математической форме это условие можно выразить так:

$$\sum_{i=1}^{n} t_{эi} \leqslant \sum_{i=1}^{m} t_{нi} + t_{м},$$

где n — число монтажных элементов; $t_{эi}$ — трудоемкость монтажа i-го элемента при поэлементном методе монтажа; m — число операций по укрупнению элементов в блоки; $t_{нi}$ — трудоемкость i-й операции по укрупнению конструкции в блоки; $t_{м}$ — трудоемкость монтажа укрупненного блока.

Технологию и организацию монтажа зданий насосных и компрессорных станций рассмотрим на примере монтажа общего здания насосного цеха блочно-модульной нефтеперекачивающей станции типа БМПНС и индивидуальных зданий компрессорного цеха, оснащенного газоперекачивающими агрегатами ГПУ-10 с приводом от судовых газотурбинных двигателей. Общее здание насосного цеха имеет размеры в плане 12×54 м. Каркас этого здания состоит из десяти поперечных рам. При отсутствии разделительной стенки в здании насосного цеха поперечные рамы выполняют однопролетными с пролетом 12 м. По торцам здания устанавливают дополнительные колонны

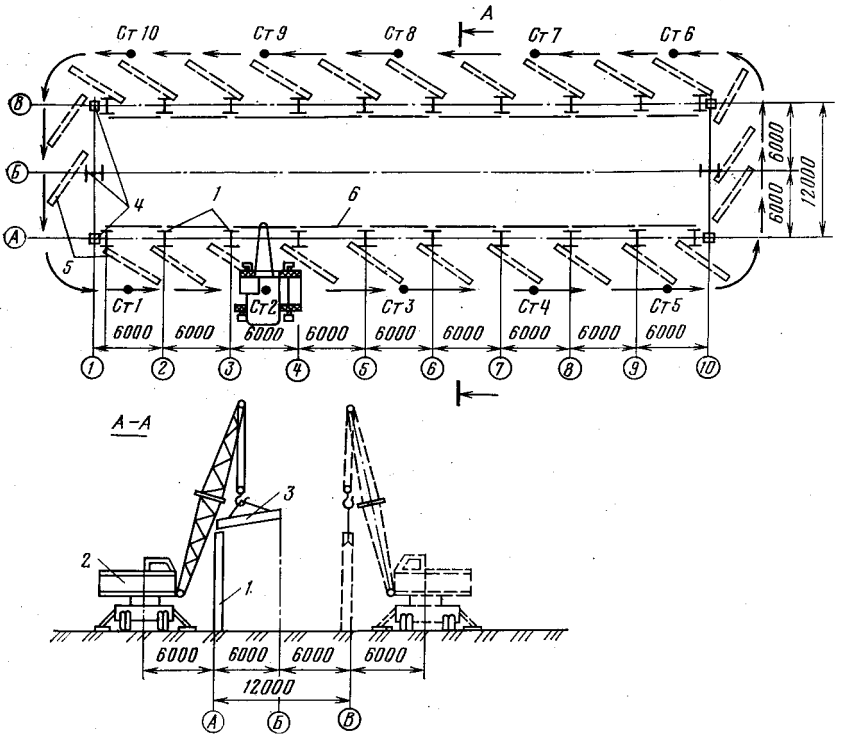


Рис. 63. Схема организации работ при монтаже здания насосного цеха:
1 — колонна; *2* — самоходный монтажный пневмоколесный кран; *3* — полуригель; *4* — колонны фахверка; *5* — колонны в предмонтажном состоянии, т. е. уложенные в горизонтальном положении; *6* — подкрановые балки; *Ст1—Ст10* — стоянки монтажного крана; *А, Б, В* — продольные оси; цифры в кружках — поперечные оси

фахверка с пролетом 6 м. При наличии разделительной стенки в здании насосного цеха применяют двухпролетные поперечные рамы с пролетом 9 и 6 м. Поперечные рамы располагают с шагом, равным 6 м. В продольном направлении для обеспечения жесткости рамы соединяют специальными вертикальными и горизонтальными связями, подкрановыми балками и прогонами.

При поэлементном способе монтаж каркаса здания без разделительной стенки начинают с установки в проектное положение и закрепления колонн. Колонны предварительно раскладывают по контуру здания под углом примерно 30° к осям здания. Монтаж колонн выполняют с помощью кранов максимальной грузоподъемностью в 25 т. Выбор крана с такой грузоподъемностью обусловлен сравнительно большой высотой монтируемых колонн (до 8 м и более) при необходимости сохранения достаточно большого вылета стрелы, хотя масса отдельной колонны не превышает 0,8 т. Монтаж колонн с помощью пневмоколесного стрелового самоходного крана КС-5363 при длине стрелы 20 м

ведут с десяти стоянок (рис. 63). Кран перемещают от стоянки к стоянке по периметру здания в направлении против часовой стрелки. Причем последовательно с колоннами ведут монтаж подкрановых балок и вертикальных связей между колоннами. Вертикальные связи устанавливают между колоннами фахверков и колоннами основного каркаса по продольным осям *А* и *Б*. С первой стоянки *Ст1* монтируют последовательно среднюю и крайнюю колонны фахверка, а затем две крайние колонны основного каркаса по поперечным осям *1* и *2*. На консоли этих колонн устанавливают подкрановую балку; а между колоннами — связи. С этой же стоянки монтируют связи между установленными колоннами фахверка. После окончания работ на *Ст1* монтажный кран перемещают на *Ст2*, где ведут монтаж колонн по поперечным осям *3* и *4*, подкрановых балок на колонны между поперечными осями *2—3* и *3—4* и связей между колоннами. Аналогичную работу по монтажу элементов каркаса здания проводят с остальных восьми стоянок монтажного крана.

Монтируемые колонны устанавливают и закрепляют в проектном положении строго вертикально с соблюдением единых высотных отметок башмаков, опорных столиков консолей и верхних опорных площадок. Для точной установки стальных колонн в проектное положение можно применять следующие четыре способа: упрощенный, безвыверочный, установка на заранее смонтированные на фундаменте опорные детали, установка непосредственно на подготовленную бетонную поверхность фундамента.

Последний метод, связанный с тщательной подготовкой поверхности железобетонного фундамента на строго заданной вертикальной отметке, отличается высокой трудоемкостью. Поэтому в большинстве случаев применяют методы, не связанные с тщательной и трудоемкой подготовкой опорной бетонной поверхности фундаментов. При этом фундамент не доводят до проектной отметки на 50—60 мм. Точную установку колонны обеспечивают за счет размещения между поверхностью фундамента и опорной поверхностью башмаков колонны регулируемых приспособлений (стальных шайб, пластин и др.), за счет которых и осуществляют точную выверку колонн по вертикалям. После выверки пространство между опорными поверхностями заливают мелкозернистой бетонной смесью. Этот процесс называют подливкой фундаментов.

В практике монтажа стальных каркасов зданий насосных и компрессорных станций широко применяют упрощенный метод выверки колонн, при котором по данным геодезических отметок каждой опорной поверхности фундаментов заранее подбирают стальные подкладки в виде шайб, пластин. Толщину пакетов этих пластин подбирают таким образом, чтобы, во-первых, обеспечить нахождение подошвы башмака колонн на нужной высотной отметке и, во-вторых, обеспечить строго горизонтальное положение опорной поверхности башмака колонны. После

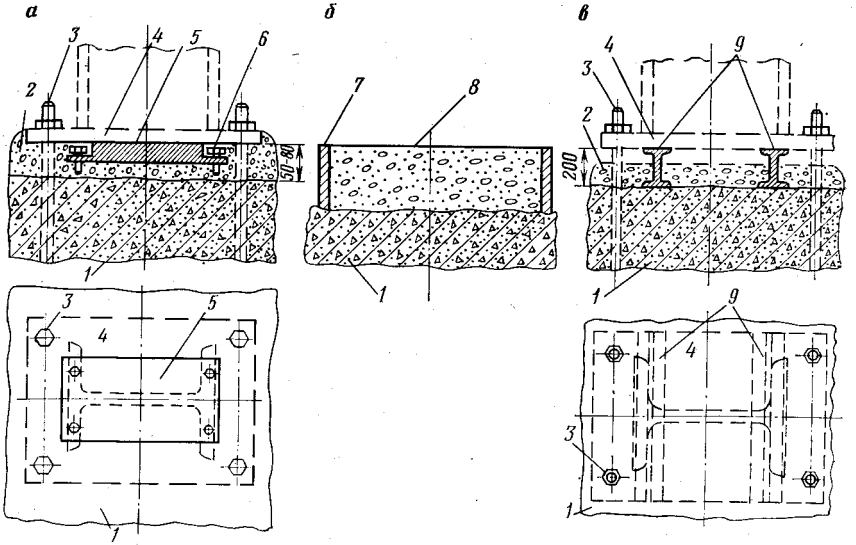


Рис. 64. Схемы опирания башмаков стальных колонн на фундаменты:
а — на стальную заранее выверенную плиту; *б* — на подготовленную горизонтальную бетонную площадку; *в* — на опорные детали; *1* — фундамент; *2* — бетонная подливка; *3* — фундаментный болт; *4* — база колонны; *5* — установочная плита; *6* — установочный болт; *7* — опалубка; *8* — горизонтальная опорная площадка; *9* — опорные детали (отрезки проката)

выверки проводят подливку фундамента и затяжку фундаментных болтов (рис. 64). При упрощенном методе не требуются тщательная обработка опорной поверхности башмаков и высокая точность изготовления колонн. Метод отличается простотой технологии. Однако для упрощенного метода характерны повышенная трудоемкость и длительность процесса выверки.

В практике монтажа стальных колонн получают широкое распространение безвыверочные методы, исключающие проведение на строительной площадке трудоемких и длительных процессов выверки. При безвыверочных методах прежде всего необходимо обеспечить высокую точность изготовления стальных колонн. Опорные поверхности башмака и стержня колонны тщательно обрабатывают на фрезерном станке для обеспечения строгой перпендикулярности оси колонны. Такую колонну без выверки устанавливают на заранее подготовленную на фундаменте стальную опорную пластину, размеры которой несколько меньше размеров опорной поверхности башмака. Опорную пластину устанавливают на фундамент и выверяют с помощью выверочных болтов. По окончании выверки осуществляют подливку под опорную пластину мелкозернистого бетонного раствора. После затвердевания последнего на пластину наносят осевые риски, которые при монтаже совмещают с рисками на башмаке

колонны. Применение безвыверочного метода позволяет снизить трудоемкость монтажа колонн примерно на 30 %.

Для монтажа тяжелых колонн применяют их установку на опорные детали в виде отрезков двутавра или рельсов. Эти опорные детали заранее устанавливают, выверяют и закрепляют бетонной смесью на поверхности фундамента. Оставшееся пространство между опорами заливают бетонной смесью.

При установке башмака колонны непосредственно на подготовленную бетонную поверхность фундамента без применения подкладок и установочных пластин поверхность фундамента подготавливают следующим образом. На поверхность фундамента устанавливают опалубку, которую заполняют бетонной смесью для образования площадки, находящейся на высотной отметке опорной поверхности башмака колонны. Для обеспечения высокой чистоты и точности опорной поверхности бетонной площадки ее рекомендуется заливать в опалубку с применением съемной плиты — шаблона. При этом опорную поверхность башмака колонны фрезеруют, а колонну изготовляют с высокой степенью точности. После окончания монтажа колонн приступают к монтажу стропильных балок (ригелей) с параллельной установкой прогонов и горизонтальных связей. Монтаж ведут монтажным краном КС-5363. При наличии разделительной стенки сначала монтируют средний ряд колонн, который служит для крепления панелей разделительной стенки из легкого бетона с последующим сплошным двусторонним их оштукатуриванием. Кроме того, средние колонны служат дополнительной опорой для ригелей поперечных рам.

При блочном монтаже каркаса общего здания насосного или компрессорного цеха рядом с будущим зданием в пределах зоны действия монтажного крана организуют площадки укрупнительной сборки. Блок покрытия состоит из двух ригелей, горизонтальных связей и прогонов, соединенных с помощью сварки. Масса такого блока составляет 3,5 т. Колонный блок состоит из двух колонн, подкрановой балки, закрепленной на опорных площадках консолей колонн, и вертикальных связей. Для монтажа блоков применяют самоходный пневмоколесный монтажный кран КС-5363 грузоподъемностью 25 т со стрелой длиной 20 м.

Монтаж начинают с установки и закрепления в проектном положении колонного блока. Монтаж этого блока состоит из следующих операций: перевод горизонтально лежащего блока в вертикальное положение; подъем блока и выверка в вертикально подвешенном состоянии и наводка башмаков на фундаментные болты; установка, выверка и закрепление блока на фундаментах. После установки и закрепления на фундаментах двух соседних колонных блоков по продольной оси *А* или *Б* на пересечении их с поперечными осями *1—2* и *3—4* на консоли колонн (между осями *2* и *3*) устанавливают подкрановую балку и вертикальные связи (см. рис. 63). Затем устанавливают тре-

тий колонный блок по продольным осям *А* или *Б* на пересечении их с поперечными осями *5* и *6*. Установленный блок колонн соединяют подкрановой балкой и вертикальными связями с ранее установленным блоком и т. д. После окончания монтажа всех колонных блоков и соединения их подкрановыми балками и вертикальными связями приступают к монтажу блоков покрытия. Блоки покрытия устанавливают последовательно на колонны между поперечными осями *1—2*, *3—4*, *5—6*, *7—8*, *9—10*. Установленные и закрепленные блоки покрытия соединяют прогонами и горизонтальными связями между поперечными осями *2—3*, *4—5*, *6—7*, *8—9*. При смешанном методе монтажа каркаса колонны монтируют поэлементно, а горизонтальные несущие элементы покрытия — в виде блоков.

После окончания монтажа каркаса здания приступают к монтажу вертикальных ограждающих конструкций (стеновых панелей) и горизонтальных ограждающих конструкций (плит покрытия).

При наличии разделительной стенки в общем здании насосного или компрессорного цеха монтаж стеновых панелей начи-

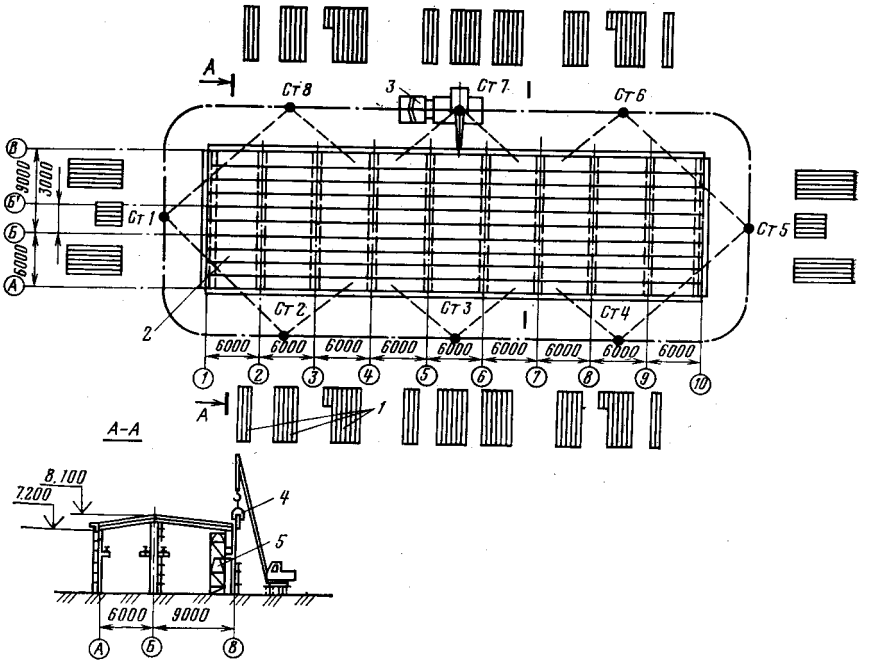


Рис. 65. Монтаж стеновых панелей и плит покрытия здания насосного цеха:

1 — стеновые панели в предмонтажном состоянии; *2* — плиты покрытия; *3* — автомобильный монтажный кран; *4* — клещевой захват; *5* — монтажная вышка; *Ст1 — Ст8* — стоянки крана; *А, Б, В* — продольные оси; цифры в кружках — поперечные оси

нают с установки этой стенки. После этого устанавливают стеновые панели наружных стен здания. При отсутствии разделительной стенки монтаж начинают с установки наружных стеновых панелей. Монтаж стеновых панелей осуществляют с помощью автомобильного крана грузоподъемностью 16 т, например КС-4571, и специального клещевого захвата. Стеновые панели предварительно раскладывают группами в зонах действия крана вблизи его намеченных стоянок (рис. 65). Панели устанавливают в вертикальном положении для облегчения их подъема клещевыми захватами. Монтаж стеновых панелей для здания насосного цеха БМПНС-12,5 выполняют с восьми стоянок крана. В зазоры между панелями при монтаже закладывают уплотнительные прокладки из герметизирующего материала. Монтажные операции по высоте стены ведут с передвижной вышки (например, типа «Тура»). Монтаж стеновых панелей можно ускорить за счет применения специальной траверсы, осуществляющей одновременный подъем трех панелей с последовательной их установкой при одном положении стрелы крана. Но наибольший эффект дает укрупнительная сборка в горизонтальном положении одного ряда (блока) панелей сразу на всю высоту здания с помощью специальной кассеты конструкции ВНИИСТа с последующим подъемом и закреплением блока в проектном положении. Панели закрепляют в проектном положении на горизонтальных балках (ригелях) с помощью болтов. Горизонтальные легкие балки, играющие одновременно роль вертикальных связей, располагают между колоннами по высоте через 1,8 м.

После окончания монтажа вертикальных ограждающих конструкций (стеновых панелей) приступают к монтажу горизонтальных ограждающих конструкций (плит покрытия). Плиты покрытия предварительно раскладывают в горизонтальном положений пакетами в зоне действия монтажного крана у намеченных стоянок. Так же как и для стеновых панелей, монтаж плит покрытия ведут с помощью автомобильного крана КС-4571 с применением четырехветвевых строп, удерживающих плиты за монтажные петли. При наличии в несущих конструкциях покрытия здания прогонов каждую плиту типа КПП или СПП длиной 5990 мм укладывают на прогоны по направлению поперечных осей. Каждая плита в зданиях без разделительной стенки перекрывает половину пролета. Если половина пролета составляет 9 м, то укладывают плиты длиной 9 м. Если по проекту не предусматривается устройство рулонной кровли, то герметизацию стыков между плитами осуществляют специальными уплотнительными эластичными прокладками. Крепление плит к прогонам выполняют на болтах. При отсутствии в каркасе здания прогонов (для зданий в районах с малой снеговой нагрузкой) плиты покрытия укладывают непосредственно на опорные поверхности ригелей по направлению продольных осей здания.

Монтаж общих зданий насосных и компрессорных цехов ведут как до начала монтажа перекачивающих агрегатов (после возведения фундаментов под колонны здания и под перекачивающие агрегаты), так и после окончания монтажа перекачивающих агрегатов. В последнем случае улучшаются условия монтажа перекачивающего оборудования, создаются условия для широкого применения монтажных кранов при больших высоте и вылете стрелы крана. Монтаж перекачивающих агрегатов в готовом здании цеха значительно усложняется, так как достаточно громоздкие блоки перекачивающих агрегатов приходится вначале затаскивать через ворота внутрь здания, а затем устанавливать на фундаменты с помощью заранее смонтированного мостового крана.

Индивидуальные здания каркасно-панельного типа для газоперекачивающих агрегатов ГПУ-10 (с судовой газовой турбиной типа «Волна») имеют размеры в плане 9×24 м. При поточно-совмещенном методе монтаж этих зданий ведут по двум захваткам. В каждую захватку входят по четыре индивидуальных здания. Причем возведение индивидуальных зданий для ГПА, так же как и общих зданий, может осуществляться как до начала монтажа газоперекачивающего агрегата, так и после его окончания. Монтаж каркасов индивидуальных зданий (рис. 66), как и для описанных выше общих зданий, обычно ведут из укрупненных блоков колонн (две колонны, подкрановая балка и связи), покрытия (два ригеля, прогоны и связи), опорной рамы под воздухозаборные шахты. Укрупнение элементов каркаса

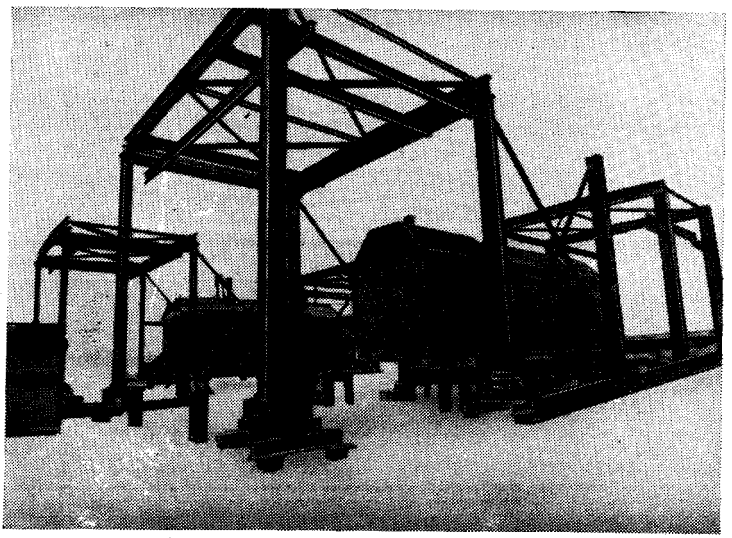


Рис. 66. Монтаж каркаса индивидуального здания газоперекачивающего агрегата

в блоки осуществляют на специальной площадке со стороны поперечной оси *1*. Складирование готовых укрупненных блоков обычно проводят на законченном фундаменте под агрегат рядом стоящего еще не начатого монтажом здания. Монтаж каркаса и ограждающих конструкций индивидуальных зданий в каждой захватке осуществляют с помощью крана грузоподъемностью 25 т, например, РДК-25 или МКГ-25, что позволяет при правильном выборе длины стрелы и дополнительном ее оснащении «гуськом» обеспечить монтаж каркаса здания с одной стоянки. Порядок движения монтажного крана показан на технологической схеме (рис. 67). Число стоянок крана соответствует числу индивидуальных зданий в захватке (в нашем случае *4*). Стоянки обозначены цифрами *1*, *2*, *3*, *4* (при монтаже каркаса) и *1′*, *2′*, *3′*, *4′* (при монтаже ограждающих конструкций). Последовательность монтажа каждого здания следующая. Монтаж начинают с установки выверки и закрепления укрупненных блоков колонн между поперечными осями *4—5*. После этого по оси *4* устанавливают две промежуточные колонны для закрепления панелей разделительной стенки, а по оси *5* устанавливают и закрепляют на колоннах вспомогательную поперечную балку. На смонтированные и закрепленные колонны между осями *4* и *5* устанавливают и закрепляют блок покрытия, состоящий из двух ригелей, трех продольных и двух горизонтальных крестообразных связей. После этого монтируют блоки колонн между осями *2—3* и закрепляют их фундаментными болтами, а по осям *3—4* укладывают и закрепляют продольные связи. Следующий этап — монтаж разделительной стенки по оси *4*, отделяющей помещение газотурбинного привода (между осями *1—4*) от помещения нагнетателя (между осями *4—5*). Разделительную стенку монтируют из панелей, изготовленных из легкого бетона. Затем не меняя стоянку крана монтируют одиночные колонны по оси *1* и соединяют их продольными связями с колоннами на оси *2*.

Предпоследний этап монтажа — установка между колоннами по оси *1* вспомогательной балки и установка и закрепление между осями *1—2* блока несущих конструкций покрытия. Последним из каркаса здания монтируют ригель (стропильную балку) по оси *3*. По окончании монтажа несущих элементов каркаса ведут монтаж опор под шахту и площадки вентиляторов. Опоры шахты монтируют в виде четырех плоских блоков, каждый из которых состоит из двух стоек, ригелей и связей. Смонтированные блоки соединяют продольными связями. По окончании монтажа каркаса монтажный кран удаляют от продольной оси *А* здания на 1 м (*Ст1*) и приступают к монтажу стеновых панелей, а затем плит покрытия. Для стен здания по продольным осям *А* и *Б* используют трехслойные алюминиевые панели типа АПС размером 6×1,2 м, а для торцевых стен — размером 4,5×1,2 м. По окончании монтажа стеновых панелей монтируют трехслойные алюминиевые панели покрытия. Перед этим между

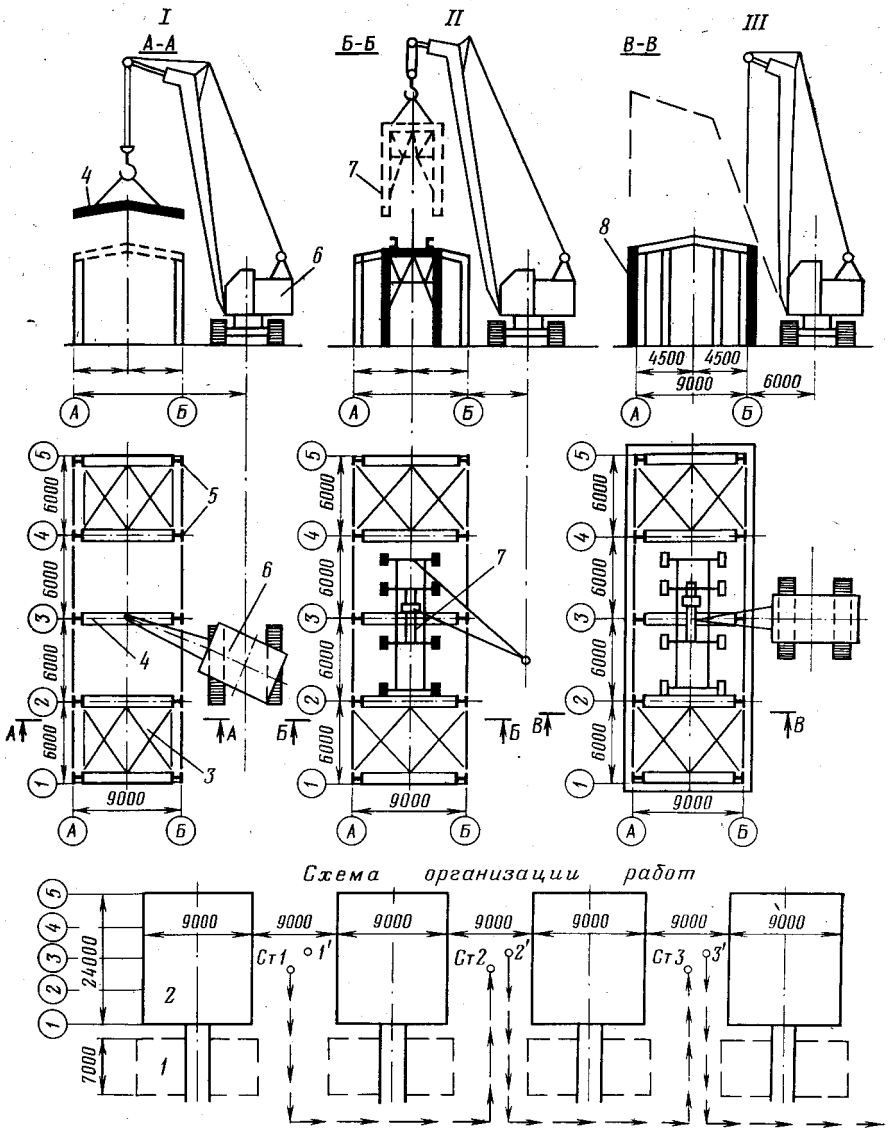
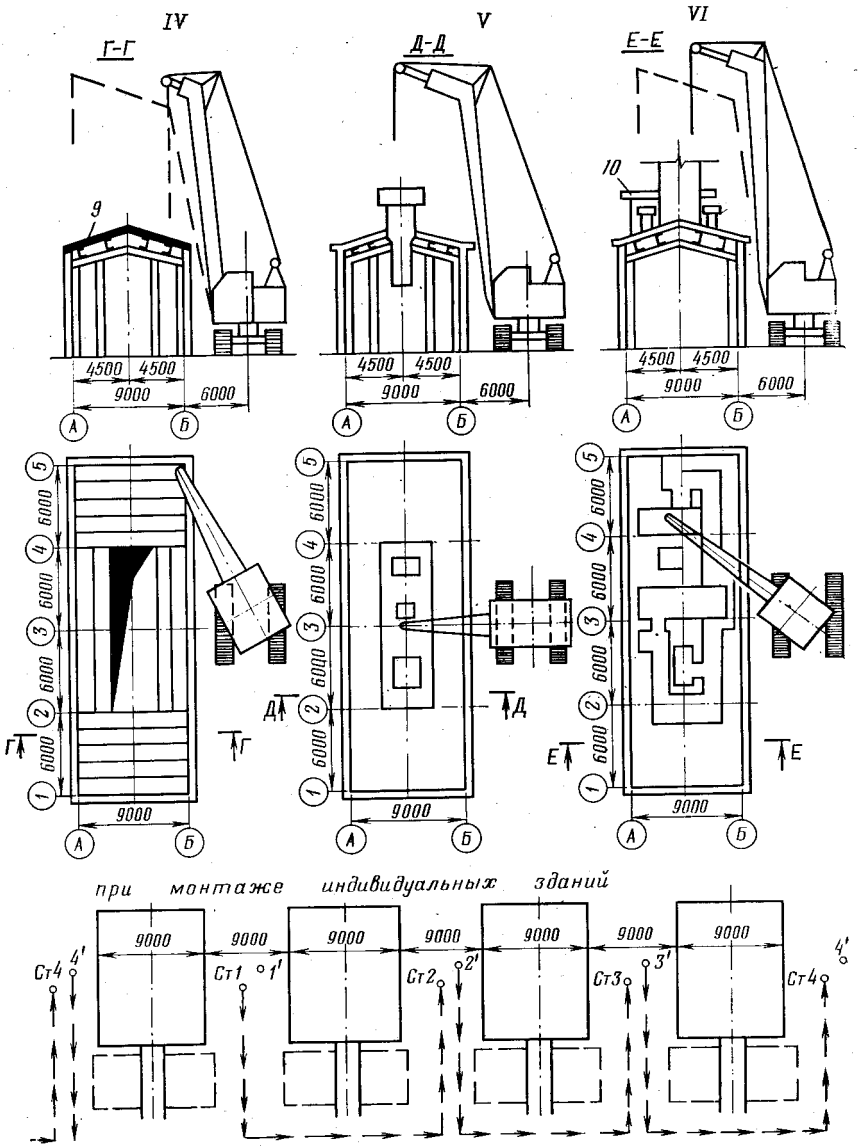


Рис. 67. Монтаж компрессорного цеха состоящего из восьми индивидуаль-
I — монтаж каркаса и разделительной стенки по поперечной оси *4; II* — монтаж опор таж прогонов, плит покрытия и карнизных стеновых панелей; *V* — устройство покрыной сборки; *2* — индивидуальное здание; *3* — блок покрытия; *4* — ригель; *5* — колонна; плиты покрытия; *10* — площадка обслуживания; *Ст1 — Ст4* — стоянки крана; *А, Б* —



ных зданий. Последовательность монтажа:

IV — монтаж стеновых панелей; *III* — монтаж стеновых панелей; *IV* — монтажа площадок обслуживания; *1* — площадка укрупнительтия в районе шахт; *VI* — монтаж площадок под вентиляторы; *III* — монтаж стеновых панелей; *IV* — монтажа площадок обслуживания; *1* — площадка укрупнительпод шахты и площадок под вентиляторы; *III* — монтаж стеновых панелей; *IV* — монтажа площадок обслуживания; *1* — площадка укрупнительтия в районе шахт; *VI* — монтаж

поперечными осями *4—5* и *1—2* на ригели укладывают и закрепляют сваркой прогоны. Причем между осями *1—2* и *4—5* укладывают плиты покрытия размером 4,5×1,2 м перпендикулярно к продольным осям здания, а между осями *2—4* плиты покрытия укладывают по направлению продольных осей здания. В середине покрытия здания оставляют незакрытым окно размером 12×4,7 м, которое необходимо для установки на опоры шахты воздухоочистителя и площадок для вентиляторов. Заделку покрытия в этой зоне проводят после монтажа шахты. В заключение монтажных работ индивидуальных зданий монтажным краном устанавливают обслуживающие площадки на отметках 9,400 и 7,900 м. Технология монтажа каркаса и ограждающих конструкций индивидуальных зданий аналогична описанной выше технологии монтажа общих зданий.

22. КРОВЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ. УСТРОЙСТВО ПОЛОВ. ОТДЕЛОЧНЫЕ РАБОТЫ

Кровельные работы — работы по гидроизоляции и теплоизоляции покрытий, т. е. по возведению на несущих и ограждающих конструкциях непроницаемой кровли. В зданиях насосных и компрессорных станций гидроизоляцию кровли обеспечивают двумя путями: установкой уплотнительных прокладок между плитами покрытия и настилом гидроизоляционного ковра.

Кровля должна удовлетворять следующим требованиям: быть водонепроницаемой, водостойкой, морозоустойчивой, достаточно прочной против действия снеговой нагрузки (особенно в северных районах). В промышленных зданиях применяют три вида кровли: из рулонных кровельных материалов, сплошные (мастичные) и из штучных материалов. В промышленном строительстве наиболее широко используют кровли из рулонных материалов (до 90 % всей площади покрытий промышленных зданий и сооружений). В покрытиях зданий насосных и компрессорных цехов также применяют кровли из рулонных материалов. Так как уклон кровли зданий насосных и компрессорных цехов не превышает 1 : 10, то гидроизоляционный ковер состоит из трех слоев рулонного кровельного материала.

В качестве рулонного кровельного материала применяют рубероид марок РПМ-300 и РКК-500. Обозначение марок рубероида: Р — рубероид, П — подкладочный, М — мелкозернистая защитная посыпка, К — кровельный, вторая К — крупнозернистая защитная посыпка, число — масса 1 м² кровельного картона, не пропитанного битумом, в граммах. Рубероид изготовляют из кровельного картона путем его пропитки расплавленным легкоплавким нефтяным битумом с температурой размягчения не ниже 40 °С с последующим покрытием поверхности с двух сторон расплавленным тугоплавким битумом с температурой размягчения не ниже 85 °С. Покровные слои сверху

покрывают слоем посыпки из талька или частиц слюды для защиты рубероида и предотвращения склеивания его слоев при сворачивании в рулоны. Рулоны рубероида имеют ширину 1000, 1025 и 1050 мм. Подкладочный рубероид применяют для нижележащих слоев гидроизоляционного ковра, а кровельный — для покровного (верхнего) слоя.

Полотнища рубероида при уклоне кровли до 15 %, т. е. на кровлях зданий насосных и компрессорных станций, наклеивают перпендикулярно к стоку воды (вдоль продольных осей зданий) с нахлестом краев слоев на 100—150 мм. Полотнища рубероида на поверхности плит закрепляют путем наклейки на битумную кровельную мастику, которую изготовляют на основе нефтяных кровельных битумов марки БНК-90/40 или БНК-90/30 с добавкой наполнителей (асбеста, порошков из известняка, доломита и др.) и прочих добавок для повышения пластичности и других свойств. Рубероид наклеивают горячим способом путем расплавления битумной мастики и холодным способом с применением специальных холодных битумных мастик. Расплавляемые (горячие) битумные мастики, применяемые при горячем способе, имеют марки МБК-Г-55, МБК-Г-65, МБК-Г-75, МБК-Г-85, МБК-7-100. МБК-Г — мастика битумная кровельная горячая, а числа показывают температуру теплостойкости мастик (55, 65, 75, 85, 100 °С). Температура теплостойкости мастик имеет большое значение, так как от нее зависит прочность склеивающих слоев рулонных ковров. Если в жаркую погоду мастика с малой температурой теплостойкости нагреется до достаточно высоких температур, то произойдет не только размягчение, но и вытекание мастики, что может вызвать нарушение сплошности гидроизоляционного ковра. Холодная битумная мастика — смесь коллоидного раствора нефтяного битума в органическом растворителе (керосине, лигроине, соляровом масле и др.) с наполнителями и антисептиком. Такую мастику наносят на кровлю без нагрева, а ее затвердевание происходит за счет испарения растворителя и проникновения его в рулонный материал — рубероид. На практике применяют мастику битумную кровельную холодную марки МБК-Х-1 с теплостойкостью 70 °С.

На зданиях насосных и компрессорных станций рулонные кровли наносят на горячих битумных кровельных мастиках. Разработан способ наклейки полотнищ рубероида без предварительного нанесения на поверхность кровли слоя расплавленного битума, при котором применяют наплавляемый рубероид с утолщенным слоем тугоплавкого битума на поверхности. В этом случае при разматывании рулона рубероида его нижнюю поверхность нагревают горелкой до размягчения битумной мастики, которая и обеспечивает приклеивание полотнища битума.

Схема организации кровельных работ на здании насосного или компрессорного цеха приведена на рис. 68.

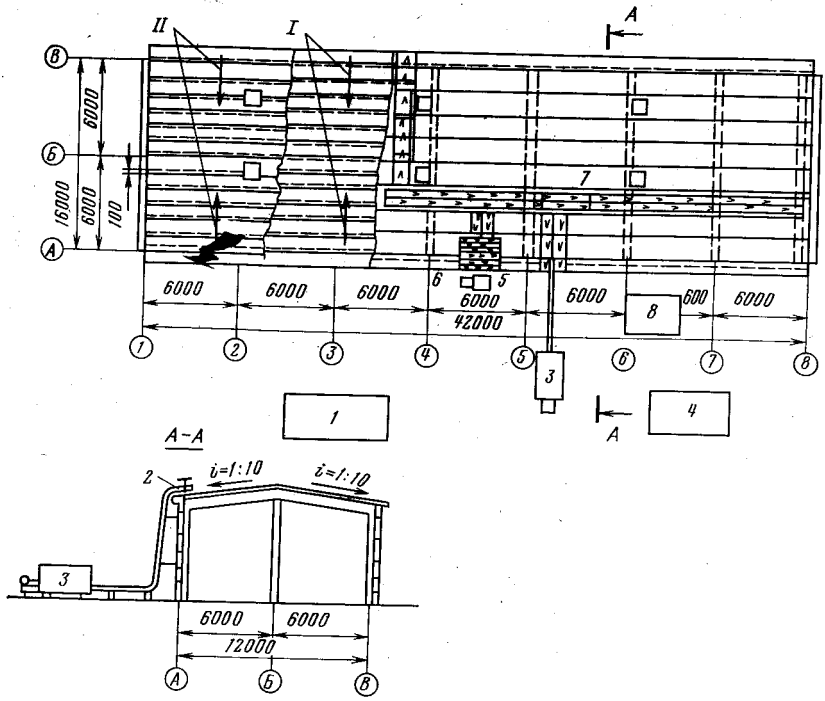


Рис. 68. Схема организации кровельных работ на здании насосного или компрессорного цеха:

I — направление наклейки первого рулонного ковра; *II* — то же, второго рулонного ковра; *1* — площадка для рулонов рубероида; *2* — пробковый раздаточный кран; *3* — установка с шестеренным насосом; *4* — площадка для складирования твердого битума; *5* — подъемник; *6* — переносной деревянный настил; *7* — площадка; *8* — площадка для вспомогательных материалов; *А, Б, В* — продольные оси; цифры в кружках — поперечные оси

Битумную кровельную мастику для приклейки рубероидного ковра можно приготовить централизованно или непосредственно на строительной площадке. В первом случае готовую битумную мастику доставляют на строительную площадку на автобитумовозах, а во втором случае приготавливают на месте в битумоварочном котле. При строительстве насосных и компрессорных станций битумную мастику обычно приготавливают на строительных площадках. Из битумоварочного котла битумную мастику с помощью специального агрегата, оборудованного насосом шестеренного типа, по трубопроводу подают на кровлю здания. На конце трубопровода расположены кран и раздаточный шланг. Трубопровод состоит из отдельных труб, соединяемых на фланцах, и имеет специальную тепловую изоляцию. Применяют также подогрев труб до температуры 190 °С за счет прохождения по ним электрического тока напряжением 36 В. Трубопровод закрепляют на стене здания с помощью временных кронштейнов. Для перекачки битумной мастики применяют

серийные машины для отделочных и кровельных работ СО-119 и СО-120. Первая обеспечивает подачу битумной мастики 1,5 м³/ч под давлением 0,7 МПа, вторая — подачу 6 м³/ч под давлением 1,5 МПа. Расплавленную битумную мастику к месту ее укладки подают по специальным гибким бронированным шлангам, а иногда развозят в специальных конусных бачках с крышкой на ручной тележке. На поверхность кровли битумную мастику наносят ручным или механизированным способом. В последнем случае применяют машину СО-122, передвигаемую вручную. Из этой машины расплавленная битумная мастика насосом подается через гибкий шланг («удочку») на поверхность кровли.

Рулоны рубероида на крышу здания подают мачтовым подъемником и укладывают на деревянные щиты. Для перемещения людей и грузов по крыше также используют деревянные щиты, из которых составляют настил. Рулоны рубероида перед подачей на крышу здания очищают от защитной посыпки и перематывают. Очистку и перемотку рулонов выполняют специальной машиной СО-98. Размотку и наклейку рулонов на слой битумной мастики проводят с помощью простого устройства — катка СО-108. Рулон рубероида с начальной размотанной кромкой укладывают по направлению размотки. Каток устанавливают прокатывающим роликом-катком на размотанный начальный конец рулона, а переднюю скобу упирают в рулон. Каток перемещают вручную по полотнищу рубероида. При этом происходит одновременно разматывание рулона и его выравнивание. Перед наклейкой гидроизоляционного ковра поверхность крыши очищают от пыли и осушают. Очистку от пыли выполняют обдувом струей сжатого воздуха через шланг и плоское сопло от компрессора, а осушку — горячим воздухом от калорифера. Затем на подготовленную поверхность наносят слой битумной мастики и проводят укладку и наклейку трехслойного гидроизоляционного ковра. Непосредственно на кровлю укладывают слой подкладочного рубероида. Два верхних слоя — кровельный рубероид. Причем наклейку полотнищ рубероида начинают от крайних рядов и заканчивают в центре кровли.

К отделочным работам при строительстве насосных и компрессорных станций относят штукатурные и малярные работы. Штукатурные работы — работы по нанесению выравнивающего и защитного слоя штукатурки на поверхность стен, несущих конструкций, перегородок. Штукатурку выполняют путем послойного нанесения на защищаемые поверхности штукатурного раствора различного состава: цементного, цементно-известкового, гипсового, известково-гипсового. Общая толщина слоя штукатурки — 18—25 мм. Для упрочнения штукатурного слоя используют металлическую сетку. Малярные работы — работы по нанесению слоя краски, а именно окраска ограждающих и несущих конструкций зданий и сооружений с декоративными целями и для защиты от коррозии.

Отделочные работы относятся в строительстве к наиболее трудоемким процессам. В связи с широкой индустриализацией промышленного строительства выполнение отделочных работ непосредственно на строительных площадках сведено до минимума. На строительных площадках насосных и компрессорных станций, в частности в зданиях насосных и компрессорных цехов, штукатурные работы применяют для нанесения слоя двусторонней штукатурки по металлической сетке на разделительную стенку с целью обеспечения ее газонепроницаемости. Малярные работы применяют для окраски по слою штукатурки разделительной стенки, а также несущих стальных конструкций здания, дверей, оконных переплетов, внутренних стальных трубопроводов, площадок обслуживания и т. д.

Нанесение слоя штукатурки на разделительную стенку, выполняют с помощью смесительно-штукатурного агрегата СО-57, смонтированного на раме-шасси с пневмоколесным ходом. Смесительно-штукатурный агрегат СО-57 обеспечивает приготовление и подачу через шланг и форсунку 2 м^3 раствора в 1 ч на расстояния по горизонтали до 40 м и по вертикали до 20 м. Заглаживание и затирку оштукатуренных поверхностей проводят вручную с помощью терок и затирочной машины ИП-2101А или СО-86. При проведении штукатурных работ широкое применение находят штукатурные станции — комплект оборудования для приема штукатурного раствора, процеживания и транспортировки его к рабочим местам штукатуров. Такая станция оснащена приемным бункером, виброситом и растворонасосом и размещается в фургоне на пневмоколесах.

Для разделительных стенок насосных и компрессорных станций применяют улучшенную штукатурку при суммарной толщине слоев не более 20 мм. Толстые слои штукатурки толщиной на бетонных поверхностях 8—9 мм наносить за один раз не рекомендуется, так как слои повышенной толщины отваливаются или стекают, а при высыхании на них могут образоваться усадочные трещины. В связи с этим улучшенную штукатурку выполняют в три слоя. Первый слой называют *обрызгом*. Назначение обрызга — обеспечение прочного сцепления штукатурки с бетонной поверхностью разделительной стенки. Обрызг обычно выполняют механизированным способом с помощью смесительно-штукатурного агрегата СО-57. Толщина слоя обрызга обычно не превышает 5 мм. Для обрызга применяют жидкий подвижный штукатурный раствор с содержанием воды до 60 %. Густота раствора для механизированной штукатурки, определяемая по осадке стандартного конуса, принимается равной 9 см. Второй слой штукатурки называют *грунтом*. Грунт наносят в один или несколько слоев толщиной не более 9 мм. Назначение грунта — выравнивание поверхности и образование основного слоя штукатурки. Для грунта применяют более густой штукатурный раствор (густота по осадке стандартного конуса не более 7 см) с содержанием воды 35 %. Третий слой штукатурки

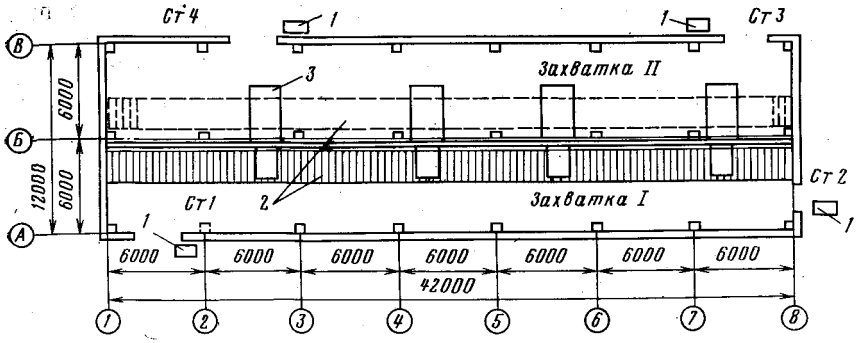


Рис. 69. Схема организации штукатурных работ на разделительной стенке здания насосного цеха БКНС-3,6:

1 — штукатурная станция СО-57; *2* — инвентарные трубчатые леса; *3* — фундамент насосных агрегатов; *Ст1—Ст4* — стоянки станции; *А, Б, В* — продольные оси; цифры в кружках — поперечные оси

называют *накрывкой.* Накрывка — облицовочный слой, который прежде всего должен иметь ровную поверхность. Накрывку выполняют толщиной в 2 мм. Подвижность раствора по осадке стандартного конуса должна быть в пределах 7—8 см. Накрывку обычно выполняют вручную с помощью терок или затирочных машин.

Штукатурные работы на разделительных стенках здания насосных или компрессорных цехов ведут по захваткам с применением инвентарных трубчатых лесов (рис. 69). Перед началом штукатурных работ бетонную поверхность разделительной стенки тщательно очищают стальными щетками от налипшей грязи, ржавчины, смолы, масел. Затем на поверхности разделительной стенки прикрепляют металлическую плетеную сетку с ячейками 20×20 мм из проволоки диаметром 1,6 мм. Сетку закрепляют к рамам обрамления по швам панелей. Раму крепят дюбелями-гвоздями при помощи строительно-монтажного пистолета. На подготовленную поверхность разделительной стенки последовательно по захваткам наносят три слоя штукатурки: обрызг, грунт и накрывку. Причем слои штукатурки наносят на разделительную стенку сверху вниз, начиная от уровня покрытия здания.

Малярные работы являются завершающими работами. До начала малярных работ в здании насосного или компрессорного цеха следует закончить все работы (в том числе навеску дверей, окон, остекление), за исключением устройства покрытия полов. Все внутренние трубные разводки, подлежащие окраске, выполняют и сдают до начала малярных работ. Для промышленных зданий, в том числе и для зданий насосных и компрессорных станций, применяют улучшенную отделку поверхностей под окраску. Окраска поверхностей состоит из слоев шпаклевки, грунтовки и собственно слоя окраски. До начала окраски

поверхности, подлежащие отделке, проходят специальную подготовку. От тщательности выполнения подготовки в значительной степени зависят прочность и качество окрасочных слоев. При подготовке оштукатуренных поверхностей их прежде всего сглаживают и очищают от крупных песчинок лещадью, закрепленной в диске шлифовального аппарата, или вручную торцом деревянного бруска. После сглаживания пыль с поверхности штукатурки удаляют струей воздуха от компрессора. Непрочные слои штукатурки удаляют, и эти места оштукатуривают вновь. При наличии трещин в штукатурке их расшивают, т. е. вырезают на глубину около 20 мм под углом 45° и очищают от пыли. Металлические поверхности (стальные колонны, балки, рамы, трубы) очищают от пыли, грязи и обрабатывают, выполняя следующие операции: подмазку трещин, шлифование подмазочных мест, огрунтовку и шпатлевание. Для подмазки трещины используют шпатлевки. Шпатлевка (шпаклевка)—пастообразная масса, приготовленная из тонкоразмолотого минерального порошка (мел, известь, гипс) на масляных или других связующих. Трещины заполняют (подмазывают) вручную шпателями. Подмазанные места шлифуют шлифовальной бумагой или стеклянной шкуркой. Огрунтовка поверхностей — покрытие их слоем грунта для выравнивания и обеспечения сцепления основного окрасочного слоя с поверхностью конструкции. Для улучшенной подготовки поверхности огрунтовку поверхностей проводят дважды. Грунтовка (грунт) — первый окрасочный слой, состоящий из пленкообразующего вещества и пигментов густой консистенции. После нанесения первого слоя грунтовки проводят сплошное шпатлевание поверхности. Шпатлевка может выполняться вручную или механизированным способом специальными шпатлевочными агрегатами. После высыхания шпатлевки ее шлифуют для выравнивания поверхности.

Шпатлеванную поверхность покрывают вторым слоем грунта, который после сушки шлифуют и только после этого приступают к окраске, т. е. к нанесению окрасочных составов в два слоя. Масляные краски, применяемые для окраски, изготовляют в виде сухих порошков, паст или жидкостей. В их состав входят связующие (пленкообразующие) вещества (олифы, смолы, полимеры), пигменты (тонкоизмельченные цветные порошки), а в некоторых случаях — растворители и разбавители и другие составляющие, например, ускорители. На строительные площадки масляные краски поступают в виде сухих порошков или паст.

Для подготовки различных окрасочных составов и подачи их к рабочим местам маляров используют малярные станции — крытые фургоны на пневмоколесном ходу с оборудованием для выполнения основных технологических операций по приготовлению окрасочных составов и их подаче к рабочим местам. Оборудование включает смеситель с бункером для приготовления окрасочных составов, растворонасос для подачи окрасочных со-

ставов из бункера по напорным трубопроводам к рабочим местам маляров, воздушный компрессор для обеспечения сжатым воздухом малярных инструментов и продувки поверхностей для очистки от пыли при подготовке под окраску. Кроме того, малярная станция оснащена необходимым комплектом ручных и механизированных малярных инструментов. Разработаны и применяются несколько конструкций передвижных малярных станций: ЦНИИОМТП, СО-115, 2М76. Техническая производительность таких станций изменяется от 300 до 500 м²/ч покрываемой поверхности в зависимости от вида окрасочного состава. При этом обеспечивается дальность подачи окрасочных составов по горизонтали на 80—120 м, а по вертикали на 15—30 м. Непосредственное нанесение окрасочных составов обеспечивают: при нанесении шпатлевки — шпатлевочным агрегатом СО-21, при нанесении грунтовки и окрасочных составов — краскораспылителями СО-43, СО-71, СО-24 и др.

Для выполнения малярных работ в здании насосного цеха блочно-комплектной промежуточной насосной станции БКНС-3,6 выделены две захватки, границей между которыми служит разделительная стенка (рис. 70). Малярные работы обеспечиваются с четырех стоянок малярной станции. Окраску разделительной стенки ведут с инвентарных трубчатых лесов, а стальных конструкций зданий, окон, дверей — с инвентарных подвижных подмостей.

В зданиях насосных и компрессорных станций применяют два вида полов: по грунту при отсутствии технических подвалов и установке оборудования на нулевой отметке; по железобетонным плитам настила (для компрессорных цехов с газоперекачивающими агрегатами, установленными на стойках). При устрой-

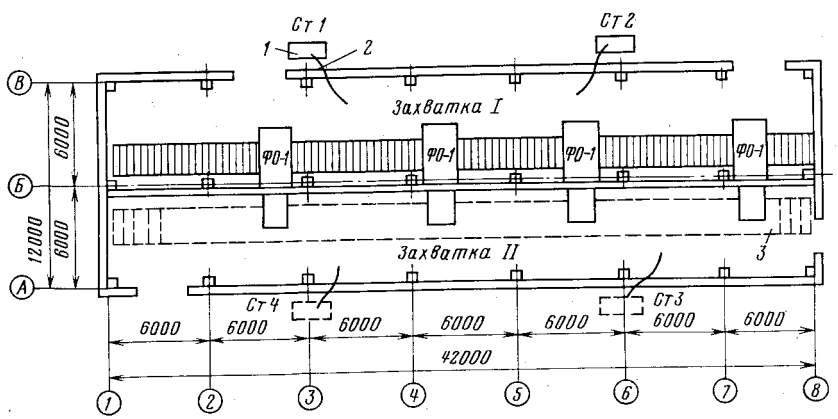


Рис. 70. Схема организации малярных работ в здании насосного цеха БКНС-3,6:

1 — малярная станция; *2* — разводящий трубопровод; *3* — инвентарные трубчатые леса; *Ст1—Ст4* — стоянки станции; *А, Б, В* — продольные оси; цифры в кружках — поперечные оси

стве полов по грунту последний предварительно уплотняют. Затем на поверхность грунта наносят бетонную подготовку из тяжелого бетона проектной марки М-100 толщиной 100 м. На бетонную подготовку укладывают промежуточный, или выравнивающий, слой из мелкозернистого бетона проектной марки М-200 толщиной 50 мм, а на выравнивающий — покровный слой, который может быть сплошным или из отдельных плит. В зданиях насосных и компрессорных цехов и вспомогательных зданиях применяют мозаичные полы типа «террацио», бетонные и шлакоситалловые полы. Полы мозаичные типа «террацио» — это полы с сплошным бетонным покрытием, в котором вкраплена мраморная крошка, являющаяся отходом при разработке мрамора. Наличие мраморной крошки придает покровному слою пола хорошую декоративность и обеспечивает повышенную износостойкость. Бетонные полы имеют сплошной покровный слой из мелкозернистого бетона, а шлакоситалловые полы — штучное покрытие из плит, изготовленных из шлакового ситалла. При устройстве полов по железобетонным плитам бетонная подготовка отсутствует. Стяжку укладывают непосредственно на поверхность плит. При устройстве полов по грунту выполняют следующие технологические операции: уплотнение грунтового основания, последовательное нанесение слоев бетонной подготовки, промежуточного или выравнивающего слоя, верхнего покровного слоя (покрытия).

Для устройства полов здания насосного или компрессорного цеха, или вспомогательное разделяют на три захватки: I — устройство бетонной подготовки; II — устройство цементно-песчаной стяжки; III — устройство покрытия типа «террацио» (рис. 71). Бетонную подготовку выполняют на предварительно утрамбованном грунте основания. Перед началом бетонирования уплотненный грунт поливают водой. Всю площадь захватки разделяют на полосы шириной 3 м. На границах полос устанавливают строганые доски, высота которых соответствует толщине бетонной подготовки. Эти доски называют маячными. Положение досок фиксируют забивкой деревянных колышков. Бетонирование ведут через полосу, т. е. вначале по нечетным, а затем по четным полосам во избежание возникновения больших усадочных напряжений в бетоне. Бетонную смесь к месту укладки доставляют автопогрузчиком с ковшом или мототележкой ТГ-200. Разровненную бетонную смесь в пределах каждой полосы уплотняют с помощью виброрейки СО-47 или СО-132. Виброрейка состоит из двух стальных брусьев, соединенных вместе струбцинами. В середине брусьев устроена виброплощадка с вибратором ИВ-21А. По концам рейки закреплены четыре тросика с виброзащитными рукоятками, за которые и перемещают виброрейку. Уплотнение бетонной смеси осуществляют при перемещении виброрейки вдоль бетонируемой полосы. Для уплотнения уложенного бетона можно применять также поверхностные вибраторы ИВ-2А, расположенные на стальной площадке (под-

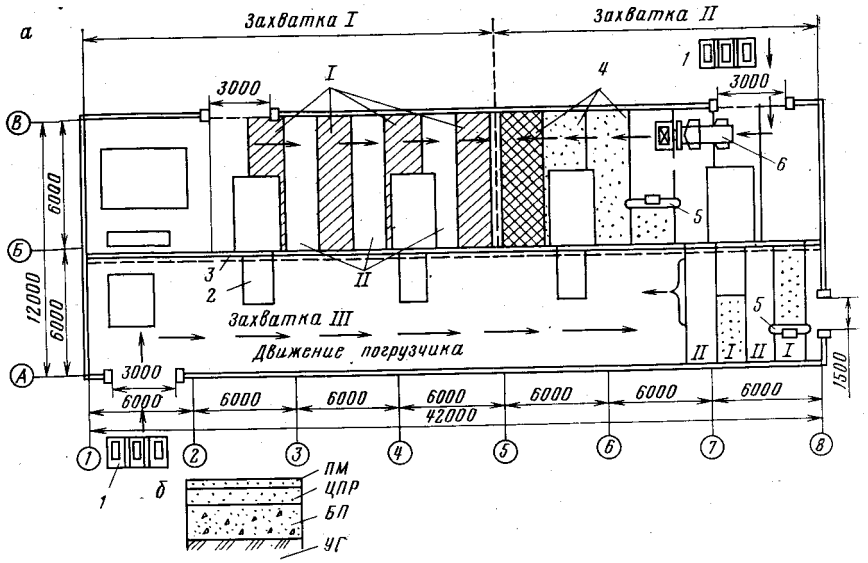


Рис. 71. Схема организации работ по устройству мозаичных полов в здании насосного цеха *(а)* и структура мозаичного пола по грунту *(б)*:

I, II — последовательность выполнения работ; *1* — площадка с инвентарными бадьями с раствором; *2* — фундамент насосного агрегата; *3* — разделительная стена; *4* — маячные доски; *5* — виброрейка; *6* — автопогрузки; *ПМ* — покрытие мозаичное типа «терраццо» толщиной 25 мм из бетона марки М-300; *ЦПР* — цементно-песчаный раствор толщиной 50 мм из бетона марки М-200; *БП* — бетонная подготовка толщиной 100 мм из бетона марки М-100; *УГ* — уплотненный грунт

доне) размером 950×550 мм. После окончания бетонирования нечетных полос и набора бетоном необходимой прочности маячные доски удаляют и бетонируют четные полосы, используя в качестве направляющих уже забетонированные полосы. После набора бетоном необходимой прочности, допускающей перемещение по бетону людей и механизмов, приступают к устройству промежуточного слоя из мелкозернистого бетона. Перед нанесением промежуточного слоя поверхность бетонной подготовки обрабатывают пескоструйным аппаратом или стальными щетками для удаления карбонатной пленки, а пыль и мусор удаляют промывкой водой. Затем устанавливают маячные доски, разделяющие площадь пола на полосы, и проводят работу по бетонированию мелкозернистой бетонной смесью промежуточного слоя. Технология и организация работ аналогична устройству бетонной подготовки. После затвердевания и набора необходимой прочности бетонной смесью в промежуточном слое приступают к устройству покровного мозаичного слоя. Технология и организация укладки и уплотнения покровного мозаичного слоя также аналогична устройству бетонной подготовки, но ширину полос бетонирования покровного слоя берут меньше (около 1,8 м) и перед нанесением мозаичного слоя поверхность промежуточного слоя грунтуют цементным молоком.

Для устройства покровного мозаичного слоя площадь пола маячными рейками высотой 25 мм разделяют на полосы, которые бетонируют мозаичной смесью через одну полосу (вначале нечетные, а затем четные). Для улучшения декоративности в ряде случаев перед укладкой мозаичной смеси на поверхность промежуточного слоя укладывают полоски (жилки) из латуни или стекла, образующие фигуры (восьми- или шестиугольники). Полоски (жилки) удерживаются маяками (горками) из мелкозернистого бетона (раствора). Мозаичную смесь уплотняют виброрейкой. Сразу же после уплотнения мозаичной смеси покровный слой пола выравнивают и заглаживают стальными гладилками. В период твердения покровного слоя создают условия, предотвращающие быстрое высыхание мозаичного раствора. На следующий день покрытие осторожно засыпают слоем опилок, которые в течение 5 сут поливают рассеянной струей воды из брандспойта не реже 1 раза в сутки. Заключительной операцией при устройстве мозаичных полов типа «террацио» является отделка поверхности, которую проводят шлифовальной машиной при поливке водой. Эту операцию называют оттиркой и ее продолжают до полного выявления фактуры мраморной крошки.

Глава 9

Проектирование, изготовление и транспортировка блочно-комплектных устройств

Выполняемые при сооружении насосных и компрессорных станций магистральных трубопроводов монтажные работы связаны с установкой, выверкой и закреплением в проектном положении перекачивающих агрегатов, основного и вспомогательного технологического оборудования, технологических трубопроводов. Перекачивающие агрегаты, технологическое оборудование, как правило, поставляют с заводов-изготовителей в виде блоков, блочно-комплектных устройств, размещаемых в зданиях, в боксах или на открытом воздухе.

23. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЛОЧНО-КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

Массовый переход к комплектно-блочному методу при сооружении наземных объектов нефтяной и газовой промышленности потребовал как кардинального пересмотра принципов проектирования технологического оборудования, так и разработки но-

вых средств его доставки и совершенствования организации и технологии монтажа блочно-комплектных устройств.

Рассмотрим основные принципы проектирования блочно-комплектных устройств (БКУ).

Принцип миниатюризации БКУ. Чем меньше объем, масса и габариты БКУ, тем лучше они вписываются в габариты погрузки и легче размещаются в транспортабельные боксы. Облегчаются также их доставка на строительную площадку и монтаж. В связи с этим дальнейшее развитие комплектно-блочного метода строительства требует специального подхода к конструированию технологического оборудования с учетом принципа миниатюризации.

Принцип полной заводской готовности БКУ позволяет снизить до минимума объем строительно-монтажных работ непосредственно на строительной площадке. При этом наибольшее значение имеет сокращение или даже полное устранение на строительной площадке трудоемких работ: бетонных, штукатурных и малярных.

Принцип суперблочности. Не все виды технологического оборудования можно выпускать в виде единых транспортабельных блоков. Некоторое оборудование поставляют на строительные площадки в виде нескольких отдельных блоков, которые соединяют между собой на строительной площадке. Для устранения подобных работ используют этот принцип. Блоки, входящие в состав БКУ, укрупняют на заводах-изготовителях до размеров, превышающих габариты погрузки. Масса таких суперблоков доходит до 300—400 т. Основную трудность представляет доставка суперблоков на строительные площадки. Наиболее перспективным является способ транспортировки суперблоков на воздушной подушке [20]. Суперблоки пока еще не получили распространения при сооружении насосных и компрессорных станций. Однако следует отметить перспективность этого направления при комплектно-блочном строительстве насосных и компрессорных станций.

Принцип обеспечения жесткости и неизменяемости БКУ при транспортировке и погрузочно-разгрузочных работах.

Унификация БКУ позволяет организовать их массовое промышленное изготовление, упростить организацию и технологию монтажных работ и способствует широкому внедрению поточных методов строительства.

Максимальное использование объемно-планировочных характеристик производственных и вспомогательных зданий и сооружений:

Замена в максимальной степени производственных и вспомогательных зданий легкими малообъемными укрытиями (блок-боксы, блок-контейнеры).

Повышение единичной мощности блочного оборудования, в первую очередь перекачивающих агрегатов, позволяет снизить число монтажных единиц, число рабочих, занятых на монтаже,

численность эксплуатационного обслуживающего персонала и сократить площадь, занимаемую насосной или компрессорной станции.

Минимизация генеральных планов блочно-комплектных насосных и компрессорных станций за счет снижения числа блоков, блок-боксов и применения оптимальных компоновок БКУ.

Централизация ремонтно-эксплуатационных служб с применением вахтового и безвахтового обслуживания, а также агрегатно-узлового ремонта.

При проектировании БКУ насосных и компрессорных станций следует учитывать повышенную трудоемкость работ нулевого цикла. При заметном снижении трудоемкости и сокращении сроков монтажа наземных БКУ использование традиционных методов проектирования и выполнения работ нулевого цикла снижает эффективность применения комплектно-блочного метода. Поэтому наряду с дальнейшим развитием БКУ необходимо учитывать и меры, направленные на снижение трудоемкости и сокращение сроков выполнения работ нулевого цикла. К ним относятся: преимущественное применение более индустриальных и менее трудоемких свайных фундаментов со сборными ростверками или безростверковых, а также плитных на песчано-гравийной подушке; преимущественное наземное и надземное исполнение внутриплощадных технологических трубопроводов и инженерных сетей, а также бесканальной подземной прокладки инженерных коммуникаций с применением гидрофобной тепловой изоляции.

Кардинальным направлением улучшения технико-экономических показателей объектов в комплектно-блочном исполнении является выявление и устранение конструктивной, функциональной и информационной избыточности объектов, что позволяет уменьшить затраты в строительстве и эксплуатации на единицу объема транспортируемых газа, нефти или нефтепродуктов. Для этого при проектировании используют специальные структурно-функциональные модели основных объектов нефтяной и газовой промышленности, позволяющие системно рассматривать объект от процессов технологии до его жизнеобеспечения и дающие представление о характере процессов, происходящих в функциональных блоках и отдельных элементах, а также о наличии между ними связей (коммуникаций) — функциональных и информационных (рис. 72). Эксплуатационные характеристики объекта при этом, как правило, не ухудшаются. Это положение можно проиллюстрировать на примере открытых НС, а также НС и КС в блочно-комплектном исполнении (рис. 73).

На новом этапе развития комплектно-блочного метода строительства все более важную роль в сооружении насосных и компрессорных станций должны сыграть крупногабаритные блоки (суперблоки). В ряде подотраслей нефтяной и газовой промышленности, например в нефте- и газодобыче, разработаны и реализованы проекты некоторых объектов из крупнога-

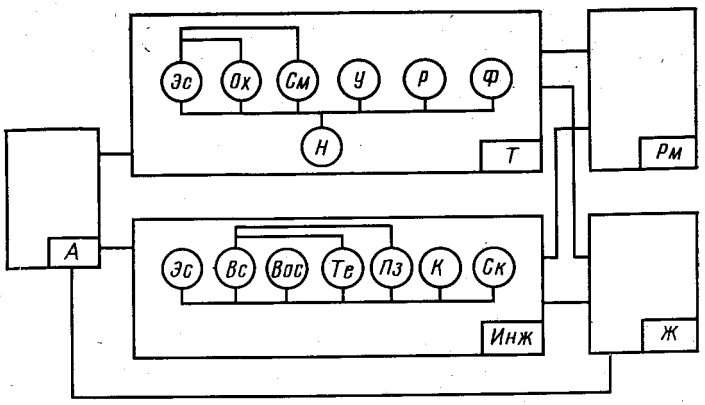


Рис. 72. Структурно-функциональная модель насосной станции:

Т — технологический блок; *Н* — магистральный насос; *Эс* — энергоснабжение; *Ох* — охлаждение воздуха в обмотках привода; *См* — смазка подшипников маслом; *У, Р* — утечка и разгрузка насоса; *Ф* — очистка нефти; *ИНЖ* — блок инженерного обеспечения; *Вс* — водоснабжение; *Вос* — воздухоснабжение; *К* — канализация; *Те* — теплоснабжение; *Пз* — пожарозащита; *Ск* — блок связи; *Рм* — ремонтный блок; *Ж* — блок жизнеобеспечения; *А* — блок автоматического управления

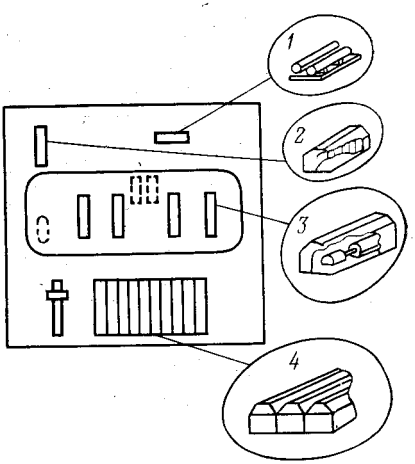


Рис. 73. Схема разбивки НС на БКУ:

1 — блок гашения ударной волны; *2* — блок-бокс регуляторов давления; *3* — блок-контейнер насосного агрегата; *4* — блок здания вспомогательных служб

баритных блоков, в том числе кустовых насосных станций (КНС), дожимных насосных станций (ДНС), компрессорных станций для транспорта нефтяного газа (КСНГ), газлифтных компрессорных станций (ГКС), а также сооружений общетехнологического назначения, например, плавуче-передвижных котельных для НС и КС с двумя, тремя и четырьмя котлами.

Такие решения позволяют:

до 95 % объема строительно-монтажных и пусконаладочных работ перенести со строительной площадки в цеха сборочно-комплектовочных предприятий;

в 2—2,5 раза сократить суммарные трудовые затраты за счет механизации и автоматизации технологических процессов в заводских условиях;

на 10—15 % снизить общую материалоемкость объектов за счет компактности объемно-планировочных решений;

повысить качество строительно-монтажных работ и надежность объектов при эксплуатации;

вести сооружение объектов экспедиционно-вахтовым методом, резко сокращая затраты на создание и развитие производственной и социальной инфраструктуры.

Уровень индустриализации объекта (предприятия, здания, сооружения), конструктивной части объекта, укрупненного комплекса работ оценивается коэффициентом индустриализации

$$K_{и} = 1 - C_{эт}/C,$$

где $C_{эт}$ — основная заработная плата рабочих и затраты на эксплуатацию машин и механизмов по данному этапу процесса создания объекта; C — суммарная основная заработная плата рабочих и затраты на эксплуатацию машин и механизмов по совокупности этапов процесса создания объекта (предприятия, здания, сооружения), конструктивной части объекта, укрупненного комплекса работ.

Для планирования процесса развития индустриализации строительного производства строительно-монтажные организации разрабатывают временные нормативы величин «этапных» коэффициентов индустриализации по каждому объекту (конструктивной части объекта, укрупненному комплексу работ).

Оценка состояния индустриализации объекта в целом производится по совокупности частных коэффициентов индустриализации путем сравнения рассматриваемой совокупности с аналогичной совокупностью коэффициентов по другому объекту, или с совокупностью временных нормативных величин коэффициентов индустриализации.

24. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЛОЧНО-КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВ

Применение комплектно-блочного метода при строительстве нефтегазовых объектов позволило разделить строительный процесс на два независимых потока, согласованных и, в значительной степени, совмещенных по срокам (рис. 74). Поток *I* охватывает организационно-техническую подготовку и производство строительно-монтажных работ нулевого цикла, которые осуществляют генподрядные организации Миннефтегазстроя. Поток *II* охватывает изготовление, транспортировку БКУ и монтажные работы надземного цикла с частичным проведением наладочных работ. В реализации этого потока участвуют специализированные субподрядные организации — сборочно-комплектовочные предприятия, заводы БКУ и передвижные механизированные монтажные колонны, относящиеся к Миннефтегазстрою. Окончательные пусконаладочные работы осуществляют организации заказчиков — Мингазпрома и Миннефтепрома.

Изготовлению БКУ предшествует проведение конструкторской, технологической и материально-технической подготовок промышленного производства.

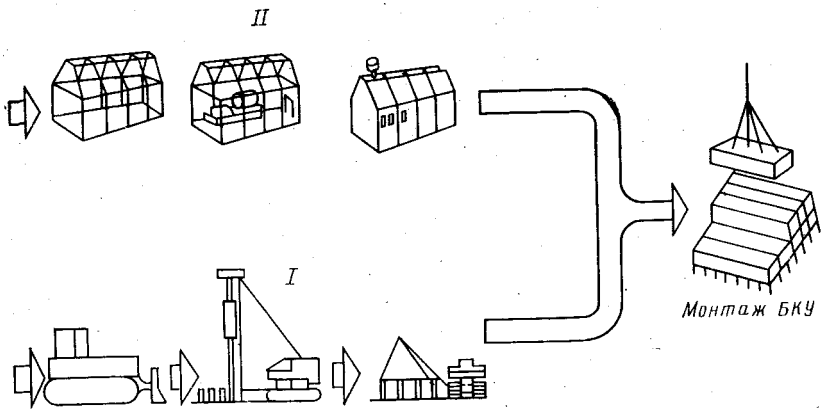


Рис. 74. Схема поточно-совмещенного выполнения общестроительных работ с процессами управления и доставки БКУ

Конструкторская подготовка промышленного производства включает разработку новых БКУ и совершенствование выпускаемых типов блоков, боксов и др., а также обеспечение промышленного производства конструкторской документацией в требуемом объеме. Кроме того, конструкторская подготовка охватывает, в условиях серийного производства, изготовление опытных образцов БКУ и их элементов, проведение необходимых испытаний, устранение выявленных недостатков конструкции и корректировку конструкторской документации. Конструкторскую подготовку осуществляют проектно-конструкторские бюро — либо общеотраслевые, либо входящие в состав предприятия — изготовители БКУ. На стадии конструкторской подготовки проверяют соответствие разрабатываемых БКУ требованиям технологичности, т. е. степени соответствия конструкции производственно-техническим условиям на всех этапах строительного производства: промышленного изготовления, доставки на строительные площадки, монтажа и эксплуатации, включая ремонт при минимальных затратах труда.

Технологическая подготовка промышленного производства обеспечивает планомерное освоение новых видов и совершенствование конструкции выпускаемых БКУ. Технологическая подготовка — совокупность взаимосвязанных процессов, обеспечивающих технологическую готовность сборочно-комплектовочных предприятий и заводов БКУ к выпуску блочной продукции заданного уровня качества, при установленных сроках, определенном объеме выпуска и соответствующих материальных и трудовых затратах. Качество технологической подготовки существенно влияет на организацию промышленного производства и на качество монтажа на строительной площадке. В зависимости от типа производства технологические процессы

разрабатывают с различной степенью детализации. Большую часть БКУ изготовляют в условиях единичного производства. На такие изделия разрабатывают маршрутную технологию, указывающую только основные операции. Металлоконструкции зданий, оконные блоки, двери, ворота, ограждающие конструкции боксов и котельные изготовляют в условиях серийного производства. На эти изделия технологические процессы разрабатывают более подробно, с разбивкой на операции и переходы. Технологическая подготовка осуществляется силами технологических отделов (бюро) предприятий и в части изготовления оснастки и нестандартного оборудования — инструментальными цехами и цехами нестандартного оборудования предприятий-изготовителей.

Материально-техническая подготовка промышленного производства направлена на своевременное и качественное обеспечение производства топливом, сырьем, материалами и конструкциями. При этом необходимо обеспечить оптимальный размер запасов материалов и топлива и их рациональное использование. Материально-техническую подготовку осуществляет управление производственно-технологической комплектации (для больших объемов с применением ЭВМ). План материально-технического обеспечения сборочно-комплектовочных предприятий (опорно-производственной базы) формируют не позднее мая — июня в год, предшествующий планируемому. Иногда в условиях отсутствия полного плана строительства и наличия неполного объема проектно-сметной документации этот план формируют на основе данных типовых проектов и проектов-аналогов.

Изготовление БКУ в организациях Миннефтегазстроя проводят на сборочно-комплектовочных предприятиях, а в объединении «Сибкомплектмонтаж» на опорно-производственной базе (рис. 75), в которую входят: завод БКУ, завод металлоконструкций, завод электромонтажных заготовок, комсомольско-молодежный экспериментальный заготовок блочных устройств (КМЭЗБУ) с цехом ограждающих конструкций, база сборки крупнообъемных блоков и ремонтно-механический завод. Для предприятий данного типа принята следующая форма организации производственных процессов: для заготовительных работ — подетально-групповая; для специальных сборочных работ — предметная; для общих сборочных работ — технологическая. В состав завода по выпуску БКУ входят: заготовительно-сварочный и сборочные корпуса; цехи комплектации узлов и керамзитобетонных оснований; склады заполнителей и цемента, металла и готовой продукции, долгосрочного хранения блок-боксов; кислородная станция; компрессорная; железнодорожное депо с зарядной станцией; склад изотопов.

Обычно принципиальная технологическая схема производства БКУ выглядит следующим образом. Поступающие материалы разгружают козловыми кранами, автокранами, пневмо-

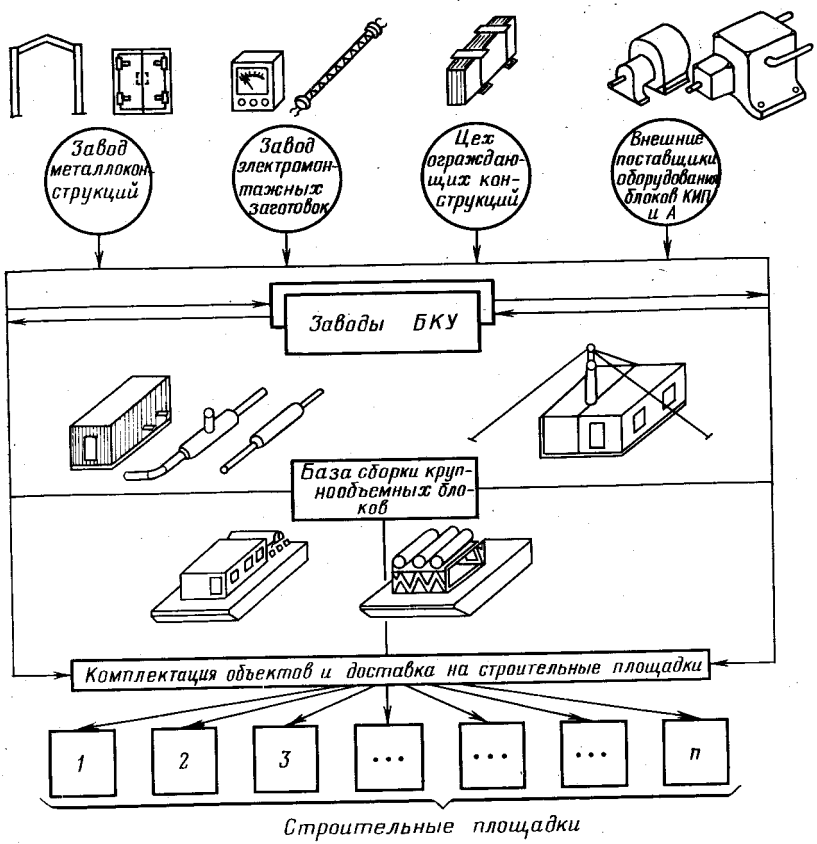


Рис. 75. Принципиальная схема организации комплектации, изготовления и доставки БКУ на опорно-производственной базе

колесными кранами, а также с помощью автопогрузчиков и электропогрузчиков. Материалы и комплектующее оборудование направляют в производственные корпуса, а готовую продукцию подают в зону действия козловых кранов с помощью рельсовых электротележек и напольного безрельсового транспорта. Материалы поступают в заготовительно-сварочный корпус, где в специализированных цехах и участках организовано изготовление деталей и узлов блок-боксов. Трубные узлы собирают в специальном цехе. Готовые узлы и детали поступают в цех комплектации узлов и затем, по мере потребности, подаются в сборочный корпус. Готовые блок-боксы со сборки поступают на склад готовой продукции.

Заготовительно-сварочный корпус включает следующие цехи: подготовки металла, заготовительный, оснований и кровель, каркасов и нестандартного оборудования, окраски.

В цехе подготовки металла проводят дробеметную очистку, грунтовку стального листа и проката. Металл в цех подают рельсовой электротележкой грузоподъемностью 20 т, а раскладывают по рабочим местам мостовыми кранами грузоподъемностью 20 т с распределением на два потока — для подготовки проката и подготовки листа. Подготовку поступившего металла осуществляют на механизированных линиях очистки и грунтовки с предварительной правкой и резкой. Линии правки включают в себя пресс, углоправильную машину с механизированной подачей металла. Резку профиля проводят на отрезных автоматах с использованием в линии машин для стыковой контактной сварки с механизированной подачей и съемом проката.

В цехе комплектации узлов проводят приемку и комплектование деталей и узлов БКУ с последующей их подачей (в соответствии со специальным графиком) в сборочный корпус. Складирование крупногабаритных узлов осуществляют на специальных площадках, а мелкие детали и узлы укладывают на стеллажах в контейнеры. В сборочном корпусе объединены четыре цеха сборки: технологических и энергетических БКУ, электротехнических БКУ без внутренней отделки, блок-боксов с внутренней отделкой, блок-боксов типа кладовых, ремонтно-механических мастерских и др. В этом же корпусе расположены электромонтажный и ремонтно-инструментальный цехи, гальваническое и кузнечно-термическое отделения, участок ревизии оборудования.

Собирают БКУ на специализированных поточно-механизированных линиях, представляющих собой систему опор и тележек с подъемными платформами. Для сборки БКУ используют механизированный инструмент, а также наборы необходимых приспособлений. В каждом цехе установлено четыре механизированных линии сборки. Расположение механизированных линий поперек пролетов позволяет ставить блоки и блок-боксы вплотную, друг за другом, что значительно увеличивает число одновременно собираемых БКУ. Собранные узлы и изделия доставляют к месту монтажа сначала напольным транспортом, а затем спускают в зону установки мостовыми кранами. Готовые БКУ подают напольными тележками в зону козлового крана и затем помещают на склад готовой продукции.

В цехе оснований и кровель на механизированной линии собирают рамы оснований и кровли БКУ. Сборку выполняют с помощью кондукторов полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа. Собранные рамы оснований и кровель подают на тележках в окрасочный цех.

В цехе каркасов и нестандартного оборудования предусмотрены две линии: одна для сборки каркасов боксов, другая для изготовления нестандартного оборудования. Сборка каркасов предусмотрена в кондукторах с последующей полуавтоматической сваркой в среде углекислого газа. На участке нестандартного оборудования проводят сварку листов встык, гибку царг

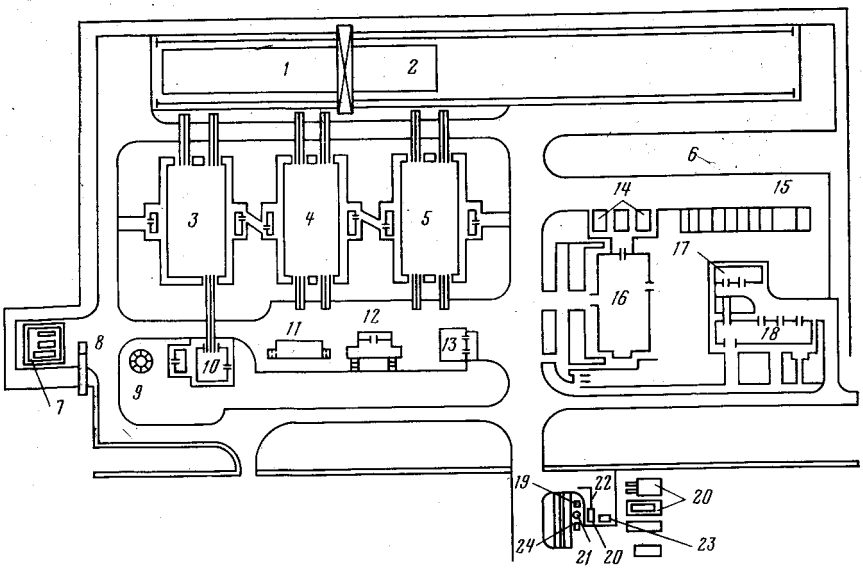


Рис. 76. Генеральный план сборочно-комплектовочного предприятия для производства 200 БКУ в год:

1 — козловой кран грузоподъемностью 30 т; *2* — площадка для складирования; *3* — цех заготовительный; *4* — цех сборки технологического оборудования; *5* — материальный склад; *6* — участок доукомплектования; *7* — склад горюче-смазочных материалов (ГСМ); *8* — бензозаправочная колонна; *9* — малогабаритная канализационная насосная установка (МКНУ); *10* — участок окраски; *11* — складной блок; *12* — трансформаторная; *13* — гараж на три машины; *14* — передвижная участковая ремонтная мастерская (ПУРМ); *15* — открытая стоянка автомашин; *16* — административный корпус; *17* — вспомогательное здание; *18* — столовая; *19* — моечная установка; *20* — моечная эстакада; *21* — колодец очищенной воды; *22* — блок-бокс «Кристалл»; *23* — бункер-отстойник для осадка; *24* — насос центробежный самовсасывающий

и сборку емкостей на специальной установке. Для удобства работы сварочные полуавтоматы устанавливают на поворотных консолях.

В цехе трубных узлов выполняют сборку и сварку узлов трубопроводов из отдельных элементов. Точность и малую трудоемкость сборки обеспечивают применением манипуляторов и специальных стендов. Нанесение теплоизоляционного и антикоррозионного покрытий на трубные узлы осуществляют на специальном участке. Качество сварных швов контролируют в специальной камере ренгеновскими лучами. Гидравлическое испытание трубных узлов проводят на специальных стендах в цехе каркасов и нестандартного оборудования.

В окрасочном цехе ведут грунтовку, окраску и сушку узлов и деталей БКУ. Грунтовку и окраску изделий выполняют на вентилируемых решетках методом безвоздушного распыления. Окрашенные изделия с помощью подъемных электрических кранов укладывают на платформы и направляют в сушильные установки, после чего готовые изделия поступают в цех комплектации узлов.

Состав сооружений сборочно-комплектовочного предприятия показан на рис. 76.

Замыкающим звеном системы промышленного изготовления БКУ является инвентарная пионерная производственная база, позволяющая индустриализовать производство тех работ, которые в соответствии с проектом должны выполняться «по месту», т. е. на месте монтажа БКУ. Трудоемкость работ по возведению комплектно-блочных объектов при выполнении их на производственной базе значительно снижается.

Виды работ	Снижение трудоемкости, %
Прокладка внутриплощадочных и обвязочных технологических трубопроводов, включая их сборку (укрупнительную) и изоляцию	35—40
Операции, связанные с применением бетона, раствора и доборных монтажных элементов из железобетона	65—70
Доукомплектация блочных устройств, поступающих на площадку (в том числе укрупнение и монтаж электромонтажных и сантехнических заготовок)	25—30
Погрузочно-разгрузочные работы	40—50
Ремонтные работы (текущий и профилактический ремонт технических и транспортных средств, а также инструмента, средств механизации и инвентаря)	50—65

Инвентарные пионерные производственные базы в блочно-комплектно-блочном исполнении (БКИППБ) разработаны ВНИИСТом совместно с СПКБ «Проектнефтегазспецмонтаж» как завершающее звено системы материально-технической комплектации строительства (рис. 77). Для возведения БК ИППБ использованы следующие строительные конструкции: здания из складывающихся секций (СКЗ) и блок-боксы типа БН (блоки низкие) конструкции ЭКБ для вспомогательных и административно-бытовых помещений. Для теплоснабжения базы принята автономная блочная котельная с котлами на жидком топливе общей производительностью 7,3 ГДж/ч с насосной установкой для химводоочистки и бойлерной. Прокладка теплосети — надземная на низких опорах, отопление в рабочих помещениях — воздушное от калориферов; вентиляция — принудительная приточно-вытяжная. Электроснабжение базы обеспечивается двумя электростанциями. Расчетная мощность потребителей базы — 300 кВт. Мощности электростанции достаточно для обслуживания как базы, так и строящегося объекта до момента подачи электроэнергии от постоянного источника. Водоснабжение базы осуществляют от артезианской скважины. Водонапорный узел состоит из блок-бокса над скважиной (общий расход — 62 м³/сут) с погружным насосом и бактерицидной установкой, блок-бокса автоматической насосной с подачей 10 м³/ч и резервуара чистой воды вместимостью 50 м³. Для телефонизации базы в блок-боксе диспетчерской устанавливают автоматическую телефонную станцию на 50 номеров. Питание станции осуществляется от источника постоянного тока с номинальным

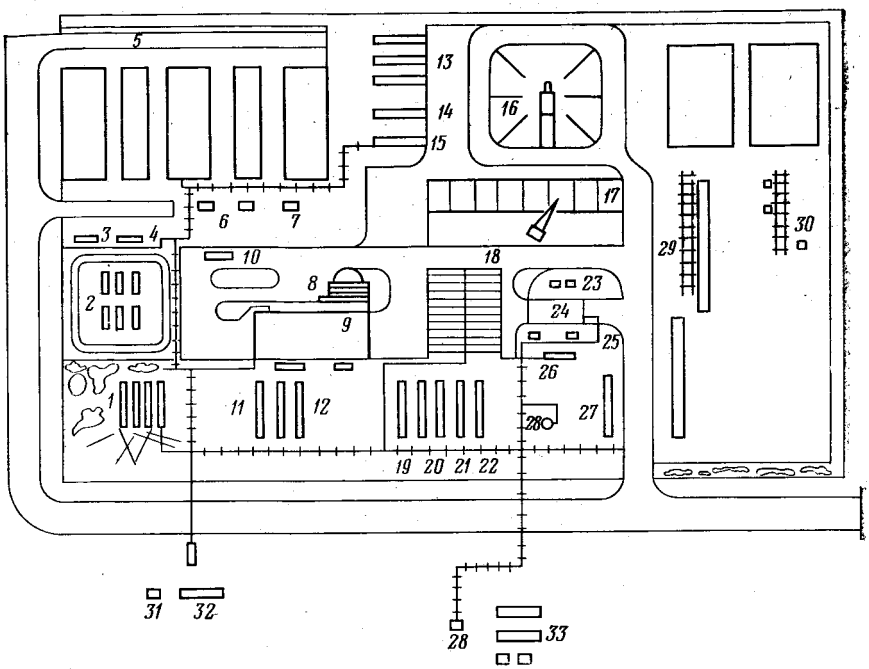


Рис. 77. Генеральный план инвентарной пионерной производственной базы в комплектно-блочном исполнении:

1 — котельная; *2* — склад ГСМ; *3* — насосная склада ГСМ; *4* — склад масел; *5* — склад; *6* — дизельная электростанция; *7* — электрощитовая; *8* — передвижная участковая ремонтная мастерская (ПУРМ); *9* — ремонтная мастерская; *10* — топливозаправочный пункт; *11* — мужской гардероб; *12* — женский гардероб; *13* — инвентарный склад цемента; *14* — мобильная лаборатория; *15* — столярная мастерская; *16* — мобильный бетоносмесительный узел; *17* — открытая стоянка автомобилей; *18* — стоянка автомобилей с воздухоподогревом; *19* — резервуары пожарного запаса; *20* — пищевой блок; *21* — диспетчерская; *22* — контора; *23* — очистные сооружения; *24* — пункт наружной мойки; *25* — вентиляционные блок-боксы; *26* — пункт обогрева; *27* — проходная; *28* — канализационная насосная станция; *29* — ПАУ-602; *30* — стенд укрупнительной сборки узлов технологических трубопроводов; *31* — насосная над артезианской скважиной; *32* — АНПУ-10; *33* — очистные сооружения ЮИО-25

напряжением 60 В. Система канализации состоит из двух станций перекачки и сооружений биохимической очистки бытовых вод (общий расход — 62 м³/сут). Очистные сооружения выполнены по принципу продленной аэрации в виде единого блока.

Продолжительность развертывания базы на новом месте — 20 дней. Экономическая эффективность применения БК ИППБ проявляется как за счет ускорения строительства вследствие сокращения подготовительного периода, так и за счет снижения себестоимости строящегося объекта. Причем экономический эффект применения БК ИППБ усиливается за счет перенесения части особо трудоемких работ на базу и тем самым ускорения их выполнения. Причем экономический эффект в сфере строительного производства возникает лишь в случае снижения фактических издержек производства по сравнению со сметными и фактическими затратами без применения БК ИППБ.

25. ТРАНСПОРТИРОВКА БКУ

В связи с неосвоенностью и труднодоступностью большинства районов нефтегазового строительства, в том числе строительства насосных и компрессорных станций затраты на доставку комплекта блоков к объектам строительства составляют от 30 до 50 % стоимости строительно-монтажных работ, а продолжительность транспортировки — до 25—40 % баланса времени на сооружение блочного объекта. Доставку блоков осуществляют в основном комбинированными методами: по железной дороге, водным путем, наземным транспортом, самолетами (рис. 78).

Проблема совершенствования технологии транспортировки БКУ приобретает особую остроту в связи с постоянным увеличением дальности перевозок (в том числе автомобильным транспортом) до 350—400 км и более. При этом чаще всего применяют универсальные транспортно-монтажные средства. Наличие консольного свеса у блок-боксов, транспортируемых на серийно выпускаемых прицепах или полуприцепах, приводит к расхождению фактической транспортной схемы опирания с проектной, что нередко вызывает появление дополнительных повреждений. Процент повреждаемости БКУ при монтаже и при перевозке автомобильным транспортом примерно одинаков. Больше других конструктивных элементов деформируются козырьки над дверными проемами блок-боксов.

Процесс доставки принято делить на два этапа — подготовительный и непосредственной транспортировки БКУ.

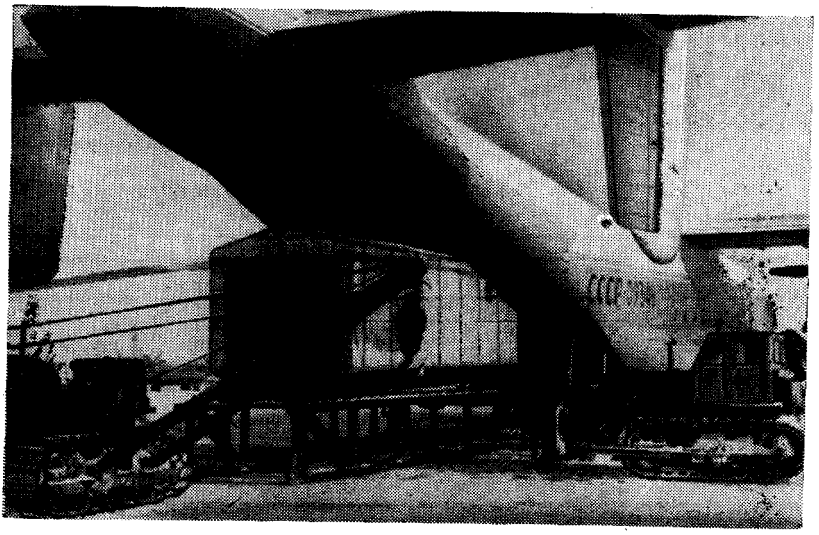


Рис. 78. Погрузка блок-бокса в самолет АН-22

Наиболее рациональной организационно-структурной формой доставки БКУ на площадки являются передвижные механизированные колонны по комплектации (ПМК). Этим колоннам передают необходимые транспортные средства, грузоподъемные машины и механизмы для погрузки, транспортировки и разгрузки БКУ. Подготовку транспортных работ осуществляют тресты «Оргтехстрой» с участием ПМК и производственных отделов объединения (треста). Транспортировку БКУ на строительные площадки осуществляют в соответствии с разработанными графиками и комплектовочными ведомостями силами ПМК, которая передает по акту комплект БКУ непосредственно монтажной бригаде. План ПМК считается выполненным, если в установленные сроки на объект завезены в полном комплекте все БКУ. Отраслевыми нормативами предусмотрены решения по механизации транспортировки БКУ при различных дорожных условиях; со специальным покрытием, по специально подготовленным трассам и бездорожью. При этом используют следующие градации масс БКУ: до 30 т, до 60 т, до 100 т, до 300 т, более 300 т.

Различают следующие технологические этапы транспортировки БКУ: погрузочно-разгрузочные работы на сборочно-комплектовочном предприятии; транспортировка БКУ после сборки на предприятии; погрузочно-разгрузочные работы на прирельсовых складах, причалах, аэропортах; транспортировка БКУ от прирельсовых складов, причалов, аэропортов до накопительных складов; погрузочно-разгрузочные работы на накопительных площадках; транспортировка БКУ от накопительных складов до строительных площадок; погрузочно-разгрузочные радов до строительных площадок; погрузочно-разгрузочные работы на строительных площадках; монтажные работы на строительных площадках.

В зависимости от дорожных и природно-климатических условий, массы и габаритов БКУ для их доставки к месту монтажа используют различные транспортные средства: при наличии асфальтированных и грунтовых дорог — автомобили-тягачи с прицепами и полуприцепами, автомобили-тягачи с трейлером грузоподъемностью до 200 т, в зимнее время — тягачи с санями, при отсутствии дорог (например, в условиях северных районов Тюменской области) — специальные гусеничные транспортеры-вездеходы (болотоходы «Тюмень», «Хаски» и др.), при наличии водных путей в период навигации — баржи, перемещаемые буксирами, при наличии в регионе железной дороги и вписывании наружных контуров БКУ в габариты погрузки — железнодорожный транспорт, в приполярных северных районах Тюменской области — воздушный транспорт: самолеты АН-12, АН-22, вертолеты большой грузоподъемности.

Для обеспечения погрузочно-разгрузочных операций все более широкое распространение получают трейлеры с саморазгружающимися и транспортно-монтажными средствами. Перспек-

тивными автотранспортными средствами для перевозки БКУ, особенно сверхтяжелых и негабаритных, являются многоопорные автомобили грузоподъемностью до 600 т. Погрузка и разгрузка БКУ осуществляются за счет изменения погрузочной высоты платформы. Необходимо отметить, что значительные нагрузки на колеса и малый дорожный просвет исключают возможность их применения на грунтовых дорогах с небольшой несущей способностью.

В условиях рассредоточенности, относительной малообъемности и труднодоступности объектов особое значение приобретают свойства саморазгружающихся транспортных средств: независимость от дополнительных грузоподъемных механизмов, минимальные затраты времени на разгрузочные работы, надежность и экономичность при эксплуатации, сохранность груза при доставке и разгрузке, обеспечение безопасности движения по дорогам, обеспечение безопасности при отгрузке. Существуют три способа саморазгрузки: в сторону, противоположную движению транспортного средства, в сторону, перпендикулярную к движению транспортного средства (боковая разгрузка), вертикально вниз относительно транспортного средства (разгрузка вниз). На данном этапе развития комплектно-блочного метода наиболее перспективным является автопоезд-саморазгрузчик с саморазгрузкой, выполненной по первому способу (рис. 79). Рациональное расстояние ездки саморазгружающихся автопоездов — 150 км в центральных районах и до 200—300 км на Севере.

При перевозке БКУ от железнодорожной станции, пристани или сборочно-комплектовочного предприятия до места монтажа

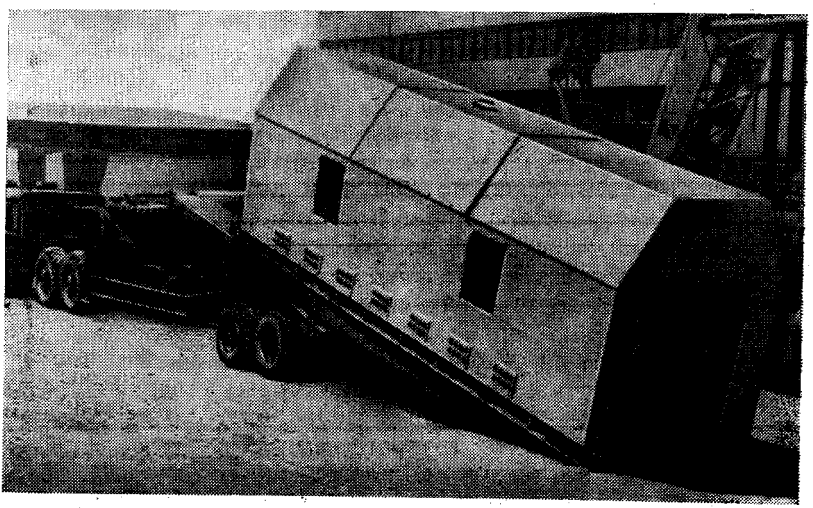


Рис. 79. Саморазгружающийся транспортер

Таблица 28. Технико-экономическая характеристика способов перевозки крупнообъемных блоков в условиях Тюменского региона на расстояние 50 км

Показатели	Сочлененный прицеп 4МЗАП-8388	Транспортное устройство АТУ-250	Гусеничное транспортное средство ГТС-450А	Транспортировка способом «волок»	Транспортное средство на воздушной подушке
Инвентарно-расчетная стоимость комплекта машин, тыс. руб.	532	360	754	359,38	273,65
Эксплуатационные расходы, тыс. руб.	1,16	1,32	0,86	134,25	1,68
Капитальные вложения, тыс. руб.	1443,2	153,6	1424	484,38	423,65
Удельные приведенные затраты:					
на 1 т блока, руб/т	7770	7684	715	690	217
на 1 т/км, руб/т-км	155,4	154	14,30	13,79	4,35

необходимо выполнять следующие требования: обеспечивать транспортировку БКУ в проектном положении, создавать условия, при которых длина части БКУ, свисающей над платформой транспортного средства, не должна превышать величины, указанной в рабочих чертежах, осуществлять при перевозке тщательное закрепление БКУ для предотвращения опрокидывания, продольного или поперечного смещения.

Для равномерного распределения груза при больших габаритах БКУ транспортные средства оборудуют дополнительной рамой, соответствующей габаритам основания БКУ. В связи с этим на транспортном средстве применяют специальную площадку, равномерно распределяющую груз на прицепе. Для транспортировки различных материалов со сборочно-комплектовочного предприятия используют контейнеры.

В районах Крайнего Севера для перевозки БКУ на небольшие расстояния применяют сани. Фиксацию блоков на санях осуществляют сменными поперечными упорами, а крепление — прижимными тросами с винтовыми талрепами для блоков цилиндрической формы и скрутками для блоков прямоугольной формы.

В связи с перспективой возможного применения при сооружении насосных и компрессорных станций суперблоков рассмотрим кратко технологию транспортировки таких блоков (табл. 28).

На первом этапе после изготовления блок спускают на воду и проводят его пробное буксирование. На втором этапе непосредственно осуществляют транспортировку блока в район назначения. Бóльшая часть пути проходит по судоходным рекам

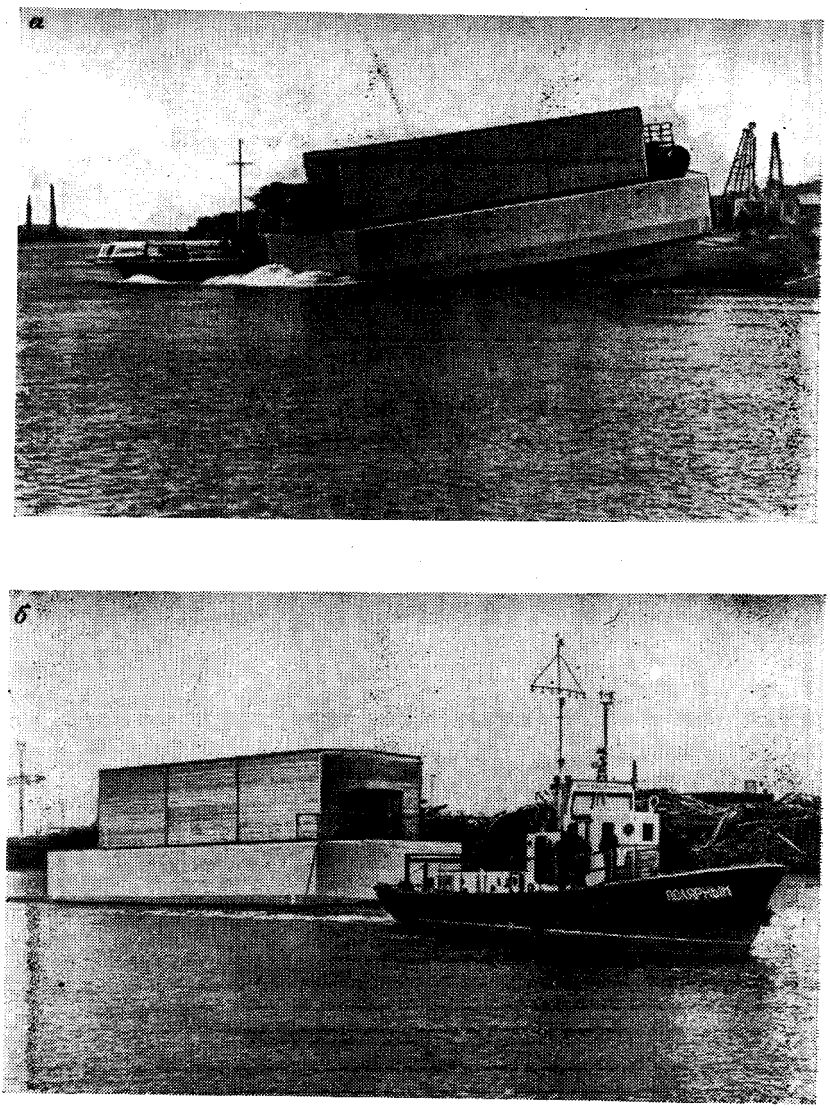


Рис. 80. Транспортировка по реке суперблока кустовой насосной станции: *а* — спуск на воду; *б* — транспортировка

на плаву. Вместе с тем многие северные реки мелководны и могут быть использованы в качестве транспортных коммуникаций только при применении устройств на воздушной подушке (рис. 80). На третьем этапе вытаскивают суперблоки на берег гусеничными тягачами через полиспасты. Наиболее трудоемок четвертый этап — транспортировка на суше и установка на

фундамент (более 50 % суммарной трудоемкости). Поэтому так важно на этом этапе тщательно выбрать и подготовить трассу (планировка и расширение, обеспечение максимальных радиусов поворота, усиление полотна дороги и мостов, устройство переездов через коммуникации и др.). Доставка способом «волок» рациональна только в зимний период для блоков массой до 200 т на расстояние не более 3 км.

Наиболее экономичный способ доставки суперблоков — транспортные средства на воздушной подушке. Для практического внедрения приняты следующие основные конструктивные решения транспортных средств на воздушной подушке (ВП):

несамоходные платформы на ВП с размещением перевозимого блока на грузовой площадке;

съемные устройства на ВП многоразового пользования, представляющие собой оборудование, навешиваемое на транспортируемый крупнообъемный блок;

баржи на ВП для выхода на берег.

Несамоходные платформы на ВП применяют для транспортировки блоков массой до 250 т. Погрузку блоков на такую платформу осуществляют часто притоплением ее балластной водой. Съемное устройство на ВП, применяемое для блоков массой более 250 т, состоит из следующих частей: энергетического блока, расширителей, гибкого ограждения и воздуховодов. Расширители представляют собой легкую металлическую конструкцию, крепящуюся по периметру перевозимого блока. Они предназначены для увеличения площади ВП. Воздух от нагнетателей энергетических блоков поступает в гибкое ограждение и из него в зону ВП, создавая подъемную силу. Осадка блока на ВП при максимальной загрузке на воде не превышает 0,6 м. Буксировку блока на ВП по мелководью осуществляют мелкосидящими буксирами, а по суше серийными тягачами.

26. ПОГРУЗОЧНО-РАЗГРУЗОЧНЫЕ РАБОТЫ ПРИ СООРУЖЕНИИ БЛОЧНО-КОМПЛЕКТНЫХ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

После доставки БКУ к месту монтажа возможны следующие варианты организации погрузочно-разгрузочных работ:

организация накопительного склада при конечной железнодорожной станции или пристани, предназначенного для временного хранения блоков и БКУ, поступающих со сборочно-комплектовочных предприятий (СКП);

организация накопительного склада на СКП в случае, если поставку БКУ ведут в очередности и ритме монтажа — с перегрузкой изделий непосредственно на транспортные средства и подачей их сразу на монтажную площадку;

непосредственная перегрузка БКУ с железнодорожных платформ или барж на транспортные средства строителей при

отсутствии накопительных складов и транспортировка их на строительную площадку к месту монтажа.

В связи со сложностью и высокой стоимостью дополнительных «перевалок» БКУ наиболее целесообразно совмещать процессы разгрузки и монтажа БКУ, т. е. монтировать «с колес», не устраивая накопительных складов на площадке.

Во избежание повреждений панелей и каркаса блок-боксов погрузку и разгрузку БКУ осуществляют с помощью специальных траверс. При проведении погрузочно-разгрузочных работ БКУ стропуют только за цапфы монтажных штуперов, а при их отсутствии с помощью специальных хомутов. Погрузку и разгрузку БКУ проводят двумя способами: с помощью кранов (крановый способ) и бескрановым способом с применением разборной (секционной) наклонной эстакады (рис. 81). Эстакада позволяет совместить и соединить между собой погрузочно-разгрузочные площадки различной высоты. Так, с применением одной секции наклонной эстакады можно проводить

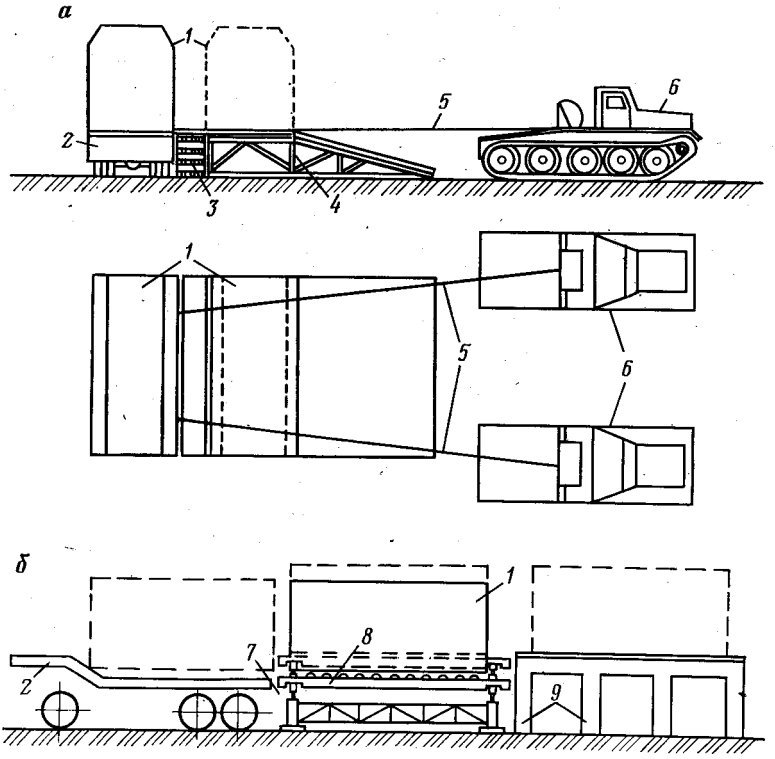


Рис. 81. Схемы транспорта, погрузки, разгрузки и монтажа блочных устройств:

а — надвижка трелевочным трактором по инвентарной эстакаде; *б* — эстакада с изменяемыми высотой и углом наклона; *1* — блок; *2* — трейлер; *3* — шпальная клетка; *4* — инвентарная эстакада; *5* — трос; *6* — трелевочный трактор; *7* — пространственная ферма эстакады с домкратными устройствами; *8* — роликовый стол; *9* — фундамент

погрузочно-разгрузочные операции с полуприцепа, двух секций — с платформы железнодорожного состава, с трейлеров и самолета АН-12, трех секций — с самолета АН-22. Наклонная эстакада позволяет разгружать аппараты с указанных транспортных средств как непосредственно на землю, так и на сани. Возможен вариант использования отдельных секций и в качестве транспортных средств. Это позволяет совместить разгрузочные и транспортные средства в единый комплекс, что упрощает и ускоряет доставку блоков на место и позволяет избежать лишних перевалок груза.

Наиболее тяжелые блоки (например, блоки насосного агрегата) с прицепов автомобилей, железнодорожных платформ, барж и других транспортных средств разгружают следующим образом. Эстакады и транспортное средство устанавливают параллельно друг другу. После этого выкладывают шпальную клетку между транспортным средством и эстакадой на высоте уровня эстакады и устанавливают специальные разгрузочные балки на транспортное средство и эстакаду, соединяя их двумя накладками в месте стыка. От эстакады до накопительного склада или строительной площадки устраивают технологический путь. Затем на разгрузочные балки устанавливают направляющие лыжи. Поверхность скольжения балки и технологического пути предварительно смазывают графитной смазкой или солидолом. После этого в соответствии со схемой ППР расстанавливают лебедки или трелевочные тракторы ТТ-4. Тросы лебедок, в том числе якорной лебедки, зачаливают за монтажные штуцеры блоков. Блоки на застопоренную лыжу затаскивают одновременным включением двух лебедок. Затем лыжи расстопоривают и подтягивают блок с помощью лебедок до места, указанного на схеме ППР. После этого лебедки переводят на новую стоянку и операции повторяют.

Погрузку тяжелых блоков на транспортные средства проводят аналогичным методом. После натаскивания блоков инвентарные направляющие рельсы убирают краном. Для этого сначала поднимают один конец блока за специально приваренные скобы на высоту 10—20 см и удерживают его на этой высоте. При подъеме следят, чтобы противоположный конец блока не касался пола транспортного средства. Затем из-под приподнятого конца блока тягачом или лебедкой вытаскивают направляющий рельс и блок опускают на платформу. После проверки правильности размещения блока на транспортном средстве его крепят в соответствии с запланированной схемой.

Представляет интерес дальнейшее развитие описанного метода погрузки-разгрузки на базе модернизации отечественных тягачей. Установка на тягачах лебедок с тяговым усилием 150—200 кН и инвентарного комплекта оснастки для перемещения блоков и крепления инвентарной эстакады позволяет в значительной степени решить проблему транспорта и такелажа наиболее тяжелых БКУ. Разработан специальный полуприцеп-

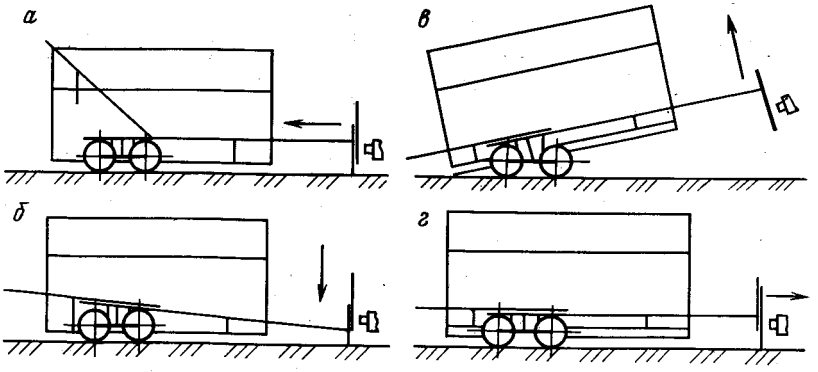


Рис. 82. Схема погрузки БКУ на полуприцеп-самопогрузчик СП-30:
а — наезд на блок; *б* — строповка за передние цапфы; *в* — строповка за задние цапфы; *г* — блок в транспортном положении

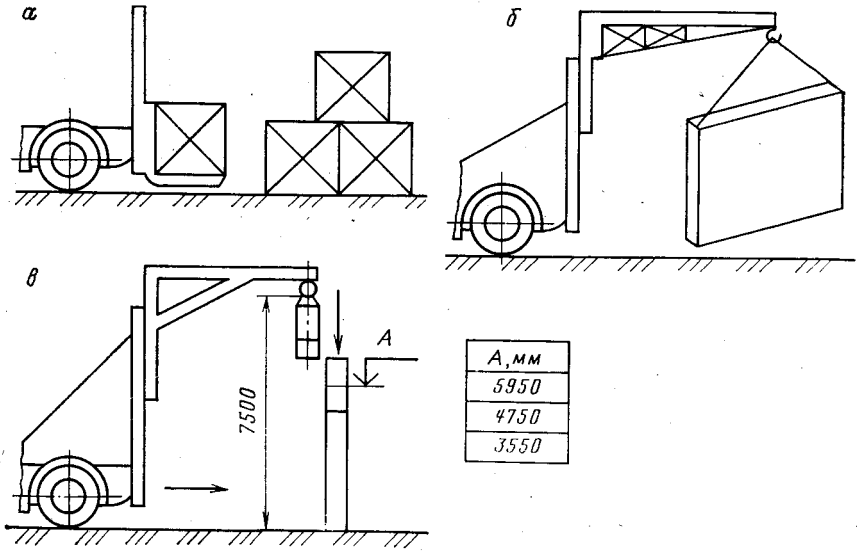


Рис. 83. Схема транспортно-погрузочного средства ТПС-10:
а — полуприцеп-самопогрузчик СП-30, оборудованный грузоподъемной рамой с вилочным захватом; *б* — то же, оборудованный грузоподъемной рамой со стрелой; *в* — то же, оборудованный грузоподъемной рамой с поворотной стрелой

самопогрузчик СП-30, предназначенный для бескрановой погрузки, разгрузки и транспортировки тяжеловесных блоков и БКУ. Этот же полуприцеп-самопогрузчик можно использовать для разгрузки большегрузных контейнеров и спакетированных строительных конструкций в пунктах перевалки, накопления, комплектования и бескранового монтажа. При применении по-

луприцепа-самопогрузчика отпадает необходимость в тяжелых кранах.

Полуприцеп-самопогрузчик СП-30 состоит из П-образной грузозахватной рамы, ходовой части, устройства для крепления блоков и тягово-сцепного устройства для соединения с самоходным транспортным средством. К месту погрузки блока полуприцеп-самопогрузчик СП-30 буксируют трактором К-701. При помощи гидроцилиндров поднимают концы грузовых балок и полуприцеп надвигают на блок. Концы балок опускают в горизонтальное положение (рис. 82, *а*). Затем при помощи трактора опускают вниз переднюю часть грузозахватной рамы и в этом положении проводят строповку блока передними стропами за передние монтажные цапфы (рис. 82, *б*). Передний конец полуприцепа с блоком, подвешенным на передних стропах, поднимают вверх до тех пор, пока задние стропы не опустятся до задних монтажных цапф. Задние стропы также закрепляют за задние монтажные цапфы (рис. 82, *в*), а раму опускают в горизонтальное положение. После этих операций блок готов к транспортировке (рис. 82, *г*).

В практике погрузочно-разгрузочных работ применяют также транспортно-погрузочное средство ТПС-10, которое увеличивает коэффициент использования СП-30 по времени (рис. 83). За счет высокой проходимости трактора К-701 транспортно-погрузочное средство ТПС-10 можно использовать на дорогах с плохим дорожным покрытием и на строительно-монтажных площадках, что является преимуществом по сравнению с выпускаемыми серийно автопогрузчиками.

Глава 10

Монтаж насосных агрегатов для транспорта нефти и нефтепродуктов

27. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ. ПРИЕМКА ФУНДАМЕНТОВ

До начала монтажа перекачивающих агрегатов заканчивают общестроительные работы, обеспечивающие необходимый фронт ведения монтажных работ. В частности, до начала монтажа перекачивающих агрегатов необходимо закончить работы нулевого цикла, т. е. монтаж и устройство фундаментов, обратную засыпку и уплотнение грунтов по всем элементам нулевого цикла, обустройство внеплощадочных и внутриплощадочных дорог и площадок для укрупнительной сборки оборудования, подлежащего монтажу. Организация монтажных работ определяется СНиП 3.05.05 — 84 «Технологическое оборудование и

технологические трубопроводы», в соответствии с которыми до начала монтажа монтажные организации получают проектную и техническую документацию и составляют проект производства работ. Обычно типовые проекты производства работ в системе Миннефтегазстроя составляет НИПИоргнефтегазстрой, а привязку типовых ППР к конкретным условиям осуществляют строительные и монтажные организации. Проект производства монтажных работ содержит в своем составе календарный и сетевой графики выполнения монтажных работ, технологические карты и технологические схемы.

Для ведения монтажных работ монтажные организации должны иметь комплект технической документации, в состав которого входят: паспорта перекачивающих агрегатов, технологического оборудования, блок-боксов и блоков и другого оборудования, входящего в комплект поставки; технические условия на поставку перекачивающих агрегатов, технологического оборудования, блоков и блок-боксов; комплектовочные (отправочные) ведомости; эксплуатационные и монтажные инструкции заводов — изготовителей перекачивающих агрегатов, технологического оборудования, блоков и блок-боксов; чертежи фундаментов под перекачивающие агрегаты, основное и вспомогательное оборудование блочной и неблочной поставки; узловые чертежи перекачивающих агрегатов и технологического оборудования; принципиальные схемы вспомогательных систем агрегатов (топливной, смазки, охлаждения); установочные чертежи и чертежи деталей и узлов трубопроводов; спецификации на оборудование и трубопроводы.

Организации, ведущие монтаж, принимают от заказчика технологическое оборудование и перекачивающие агрегаты.

Заказчики строящихся насосных станций магистральных нефтепроводов — дирекции строящихся предприятий нефтепроводных управлений Миннефтепрома, а магистральных нефтепродуктопроводов и продуктопроводов (аммиакпроводов, этиленопроводов и др.) — дирекции строящихся предприятий управлений нефтепродуктопроводами Госкомнефтепродуктов СССР и союзных республик и управлений или отделов капитального строительства Минхимпрома, Минудобрений. Заказчики строящихся компрессорных станций магистральных газопроводов — дирекции строящихся предприятий объединений по транспортировке и поставке газа Мингазпрома. Современные методы сооружения насосных и компрессорных станций предусматривают комплектную поставку и передачу заказчикам перекачивающих агрегатов и технологического оборудования.

Особое место в период подготовки монтажных работ занимают приемка и подготовка фундаментов под монтаж. В соответствии со сроками, установленными календарными и сетевыми графиками, строительные организации передают монтажным организациям фундаменты под перекачивающие агрегаты и технологическое оборудование. Приемку фундаментов пред-

ставители монтажных организаций проводят в соответствии с требованиями СНиП III-16—80, СНиП III-15—76, СНиП III-31—78, СНиП 3.02.01—83 и ОСТ 102-50—79 в зависимости от вида фундамента (сборного, монолитного железобетонного или свайного).

Строительная организация (генподрядчик) предъявляет монтажной организации (субподрядчику) акты готовности каждого из элементов нулевого цикла под монтаж оборудования. Этот акт подписывают представители строительной организации (генподрядчика), монтажной организации (субподрядчика) и заказчика. После окончательной приемки монтажной организацией фундаментов и других элементов нулевого цикла составляют акт готовности нулевого цикла в соответствии с проектом. Акт готовности подписывают те же представители.

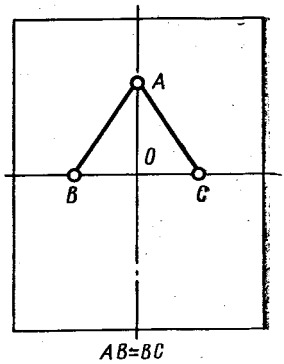


Рис. 84. Проверка перпендикулярности разбивочных осей на фундаменте

Приемку фундаментов под перекачивающие агрегаты и оборудование насосных и компрессорных станций начинают с их внешнего осмотра и обмера. При внешнем осмотре обращают внимание на отсутствие трещин, отколов и других дефектов в теле фундамента, ростверка и стоек. При обмере фундамента с помощью рулетки проверяют соответствие его габаритов проектным размерам. Далее, проверяют правильность нанесения на фундамент разбивочных осей и их взаимную перпендикулярность при помощи струн (стальных проволок) и отвесов. Перпендикулярность разбивочных осей проверяют следующим образом (рис. 84). Путем натяжения одной из струн обозначают поперечную ось. На концах струны навешивают отвесы, позволяющие перенести поперечную ось на боковые грани фундамента. Затем второй струной обозначают продольную ось и навешивают на ее концах отвесы. От точки пересечения осей *0* на струне, имитирующей поперечную ось, откладывают равные отрезки *0C* и *0B* произвольной длины. От точки *0* на продольной оси откладывают отрезок *0A* произвольной длины. Продольная и поперечная оси будут перпендикулярны в том случае, если боковые стороны *AC* и *AB* треугольника *ACB* будут равны, т. е. если треугольник *ACB* будет равнобедренным.

Проверяют также соответствие отклонений реальных размеров фундаментов от проектных и допустимых отклонений. Допустимые отклонения обычно указывают в приведенных выше нормативных документах. Так, для монтажа сборных элементов объектов нулевого цикла установлены следующие допустимые отклонения:

смещение осей фундаментных блоков и стаканов фундаментов относительно разбивочных осей ±10 мм;

отклонение отметок верхних опорных поверхностей элементов фундаментов —10 мм;

отклонение отметок дна стаканов фундаментов —20 мм.

Допустимые отклонения (в мм) монолитных бетонных и железобетонных конструкций объектов нулевого цикла принимают по ОСТ 102-50—79 «Объекты в комплектно-блочном исполнении. Приемка работ нулевого цикла».

Отклонения:	
плоскостей и линий их пересечения от вертикали или проектного наклона на всю высоту фундамента	±20
горизонтальных плоскостей на всю плоскость выверяемого участка	±20
в длине или пролете элементов	±20
в отметках поверхностей и закладных частей, служащих опорами для сборных элементов	—5
в расположении анкерных болтов:	
в плане внутри контура опоры	+5
в плане вне контура опоры по высоте	+10—+20
Разница отметок по высоте на стыке двух смежных поверхностей	+3

Отклонение от вертикали забетонированных анкерных (фундаментных) болтов по всей высоте выступающей части не должно превышать 1,5 мм.

Допустимые отклонения осей свай свайных фундаментов принимают по СНиП 3.02.01—83 «Основания и фундаменты».

Забивные сваи квадратного и прямоугольного сечения, полые круглые диаметром до 0,5 м:	
для однорядного расположения свай:	
поперек осей свайного ряда	0,2d
вдоль оси свайного ряда	0,3d
для кустов и лент с расположением свай в два и три ряда:	
для крайних свай	0,2d
для свайного ряда поперек оси	0,3d
при сплошном свайном поле под всем зданием или сооружением для свай:	
для крайних свай	0,2d
для средних свай	0,4d
для одиночных свай	5 см
для свай-колонн	3 см
Полые круглые сваи диаметром от 0,5 до 0,8 м и буронабивные диаметром свыше 0,5 м:	
при ленточном расположении свай поперек ряда	10 см
то же, вдоль ряда и при кустовом расположении свай	15 см
для одиночных полых круглых свай под колонны	8 см

d — диаметр круглой, сторона квадратной или меньшая сторона прямоугольной сваи.

Число свай, имеющих максимально допустимые отклонения от проектного положения, не должно превышать при ленточном расположении 25 % общего числа свай, а при сваях-колоннах — 5 %.

Контроль высотных отметок опорных частей фундаментов осуществляют геодезическим нивелированием. Привязку колодцев для фундаментных болтов в монолитных железобетонных фундаментах к продольной и поперечным осям проверяют с помощью струн и отвесов с применением измерительного инструмента — рулетки.

При обнаружении каких-либо дефектов в принимаемых фундаментах или других объектах нулевого цикла монтажная организация не имеет права самостоятельно вести работы по исправлению фундамента. Работы по исправлению фундаментов и их усовершенствованию выполняет только строительная организация, ведущая общестроительные работы и имеющая письменное разрешение проектной организации.

После приемки фундаментов монтажная организация проводит их подготовку к монтажу оборудования, которая заключается в получении на обрезе фундамента строго горизонтальной опорной площадки на необходимой проектной высотной отметке. Причем характер и объем подготовки опорных поверхностей фундамента целиком зависит от выбранного способа опирания перекачивающих агрегатов и оборудования на фундаменты. Применяют следующие способы опирания перекачивающих агрегатов и оборудования на опорные поверхности массивных, рамных или ростверков свайных фундаментов (рис. 85): на плоско-параллельных подкладках с фрезерованными поверхностями; на парных монтажных клиновых подкладках; на установочных болтах; на стальных подкладках, опирающихся на бетонные подушки [31]. В первом случае стальные подкладки укладывают непосредственно на бетонную опорную поверхность

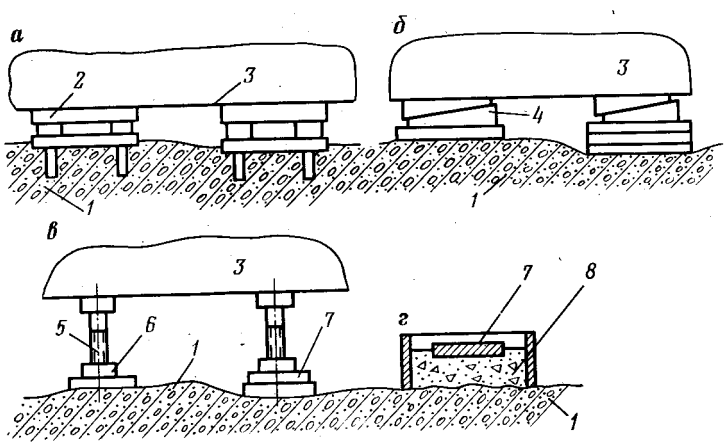


Рис. 85. Способы опирания оборудования на фундамент:
а — на плоско-параллельных подкладках; *б* — на парных монтажных клиновых подкладках; *в* — на установочных болтах; *г* — на стальных подкладках, опирающихся на бетонные подушки; *1* — фундамент; *2* — плоская подкладка; *3* — опорная часть оборудования; *4* — клиновая подкладка; *5* — установочный болт; *6* — гайка; *7* — стальная подкладка; *8* — бетонная подушка

фундамента. При этом применяют наиболее трудоемкий процесс подготовки опорных поверхностей фундамента. Опорные площадки фундаментов обычно размером 200×200 мм обрабатывают для получения строго горизонтальной поверхности. Обработку опорной площадки проверяют при укладке на нее опорной пластины с помощью уровня.

Высотную отметку каждой опорной площадки определяют геодезическим нивелированием. Нивелирование обычно ведут по отношению к реперу. Репер — это стальная пластинка размером 120×120 мм со строго параллельными и тщательно обработанными поверхностями. Репер размещают на специально подготовленной площадке, а высотная отметка репера заранее известна. Обычно составляют схему расположения каждой опорной площадки с пластиной на поверхности фундамента с указанием высотной отметки и ее отклонением от проектной отметки. За нулевую принимают максимальную отметку одной из пластин, к которой и подгоняют все пластины на других опорных площадках с помощью подкладок различной толщины.

Несколько менее трудоемок процесс подготовки фундаментов при использовании способа на бетонных подушках. В этом случае высотную подгонку каждой опорной пластины за счет применения подкладок заменяют изготовлением на поверхности фундамента бетонных подушек, в поверхностном слое которых размещают стальные опорные пластины. Причем верхнюю поверхность каждой пластины устанавливают на проектную отметку. Для изготовления бетонной подушки на поверхности фундамента устанавливают опалубку. Предварительно поверхность бетона фундамента в пределах опалубки обрабатывают 3 %-ным водным раствором соляной кислоты. Для ускорения процесса твердения бетона в опалубке применяют бетонную смесь на быстротвердеющем цементе следующего состава на 1 м³ ее объема: цемент БТЦ — 350 кг, щебень — 1235 кг, песок — 630 кг, вода — 175 л (при водоцементном отношении, равном 0,5).

Наименьшая подготовка фундамента требуется при опирании оборудования на парные клиновые подкладки и особенно — на установочные болты. Парные клиновые подкладки состоят из двух клинообразных пластин длиной 500 мм и шириной 150 мм. Толщина пластин на противоположных концах соответственно 5 и 20 мм (уклон $i=0{,}03$). Клинообразные пластины складывают попарно по наклонным плоскостям, что дает возможность при их взаимном перемещении получать пластины с параллельными плоскостями толщиной от 25 мм и менее. Установочные болты ввинчивают в резьбовые гнезда опорных частей монтируемого оборудования. Концы болтов опираются на опорные пластины, установленные на поверхности фундамента (табл. 29). Путем поочередного ввинчивания и вывинчивания установочных болтов добиваются точной установки оборудования в горизонтальном положении на проектной от-

Таблица 29. Характеристика установочных болтов и рекомендуемые размеры опорных пластин

Диаметр болтов, мм	Грузоподъемность болтов, т	Максимальный крутящий момент, Н·м	Размеры опорных пластин, мм	Диаметр болтов, мм	Грузоподъемность болтов, т	Максимальный крутящий момент, Н·м	Размеры опорных пластин, мм
12	0,33	4	40×40×6	30	4,10	120	100×100×10
16	0,82	23	45×55×8	36	6,40	220	120×120×12
20	1,50	28	70×70×10	42	9,20	370	130×130×16
24	2,40	54	80×80×16	48	12,10	570	140×140×18

метке. Число установочных болтов назначают в зависимости от их грузоподъемности, диаметра и массы опирающегося на них оборудования.

Подготовка фундамента в этом случае сводится к установке на поверхность фундамента опорных пластин. Причем отклонения вертикальных отметок опорных пластин исправляют за счет предварительной установки клиновых парных подкладок или регулирования по высоте установочных болтов.

При применении столбчатых фундаментов из стальных столбов-труб, на которых монтируют газоперекачивающие агрегаты ГТК-10, опорными частями служат стальные башмаки с плоскими площадками. Проектную высотную отметку опорной площадки каждого столба-трубы обеспечивают перемещением и установкой опорных башмаков по высоте с помощью установочных болтов. При использовании безростверковых свайных фундаментов для размещения блок-боксов и блок-контейнеров установку опорных поверхностей на проектную отметку осуществляют путем вертикального перемещения и закрепления железобетонных или стальных оголовков.

До начала монтажа на монтажную площадку доставляют грузоподъемные машины и приспособления для монтажа. В качестве грузоподъемных машин при монтаже перекачивающих агрегатов используют гусеничные, автомобильные самоходные краны и самоходные краны на пневмоколесном ходу. При монтаже перекачивающих агрегатов и оборудования насосных и компрессорных станций масса монтажных блоков достигает 100 т. Так, турбоблок для ГТК-10 имеет массу 44 т, для ГТН-16 — 74 т, для ГТН-25 — 99,7 т. Это требует применения самоходных кранов грузоподъемностью до 100 т и более: СКТ-63, Л-75, СКГ-100 и др. Однако использование таких кранов из-за их неполной загрузки на строительных площадках насосных и компрессорных станций экономически не всегда оправдано. Поэтому при монтаже перекачивающих агрегатов и оборудования насосных и компрессорных станций чаще применяют два спаренных самоходных монтажных крана меньшей грузоподъемности. Причем монтаж перекачивающих агрегатов насос-

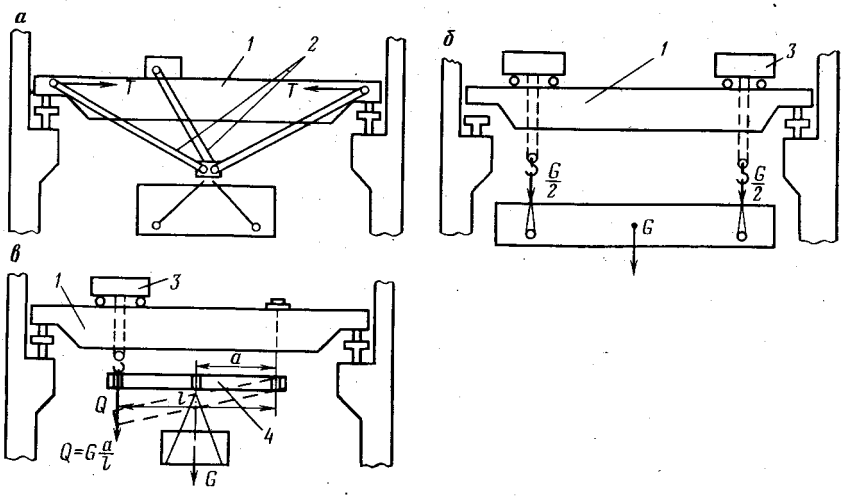


Рис. 86. Приспособления для повышения грузоподъемности мостовых кранов: *а* — конструкция ВНИИСТ; *б* — установка двух грузовых тележек; *в* — применение траверсы; *1* — мостовой кран; *2* — система полиспастов; *3* — грузовая тележка; *4* — траверса

ных станций и некоторых газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций, размещаемых в зданиях, можно проводить как до начала строительства зданий перекачивающего цеха, так и в готовом здании. В последнем случае для монтажа перекачивающих агрегатов используют смонтированные в этом здании мостовые краны. Грузоподъемность мостовых кранов может быть увеличена за счет применения простейших приспособлений (рис. 86). При использовании двух грузовых тележек вместо одной силы вес груза G разделяется на две равные силы $G/2$. При этом заметно снижается максимальный изгибающий момент в сечении балки крана. Приспособление конструкции ВНИИСТа способствует замене изгибных нагрузок в балке мостового крана сжимающими T, за счет чего повышается ее несущая способность. При использовании дополнительной балки-рычага второго рода грузоподъемная сила Q будет меньше веса груза G на величину отношения плеч балки-рычага a и l.

Горизонтальные перемещения перекачивающих агрегатов и технологического оборудования при монтаже (например, в готовых зданиях-укрытиях) выполняют с помощью лебедок и талей. По виду привода лебедки бывают электрические и ручные. По назначению лебедки разделяют на тяговые, поворотные и грузоподъемные (грузовые). Тяговые и поворотные лебедки — специализированные лебедки, поставляемые обычно в комплекте с монтажными кранами. Грузовые лебедки — универсальные. Их можно применять и для вертикального подъема груза, и для горизонтального перемещения. В последнем случае для удержания лебедки от смещения применяют закрепление ее на

Таблица 30. Техническая характеристика лебедок

Показатели	С-929	ЛС1Н	ЛМ2	ЛМ3	Т-145	ЛМ8
Тяговое усилие, кН	5	10	20	32	50	80
Размеры барабана, мм						
диаметр	205	145	250	215	360	500
длина	145	320	710	855	820	950
Скорость перемещения каната на первом слое, м/мин	24	13—16	18—27	14,9—24,2	18,6	5
Мощность электродвигателя, кВт	4	3	8,3	12,5	22	12
Габариты, мм:						
длина	850	680	1185	1488	1630	1625
ширина	655	625	1085	1150	1970	2200
высота	620	615	696	720	880	1280
Масса, т	0,195	0,140	0,9	0,835	2,05	2,15

якоре (заякоривание). В качестве якоря можно применять тяжелые плиты из железобетона, заглубленные отрезки стального проката и др. Лебедка состоит из привода (электродвигателя), редуктора, барабана для каната и тормозного механизма, установленных на опорной раме (табл. 30).

При монтаже используют также простые по устройству ручные лебедки с максимальным тяговым усилием от 12,5 до 50 кН и грузоподъемные тали. Таль — простейшее грузоподъемное или тяговое устройство, имеющее рычажный тяговой механизм с трещоткой, соединенный со звездочкой тягового крюка втулочно-роликовой цепью. Корпус тягового механизма заякоривают. Один конец цепи, пропущенный через звездочку тягового крюка, закрепляют за корпус, а второй — пропускают через звездочку тягового механизма и тоже закрепляют на корпусе тягового механизма. При повороте рукоятки звездочка тягового механизма начинает вращаться. За счет перемещения втулочно-роликовой цепи осуществляют движение тягового крюка.

Кроме монтажных самоходных кранов и лебедок при монтаже перекачивающих агрегатов применяют домкраты: реечные, винтовые и гидравлические. Домкраты используют при местном подъеме оборудования для регулирования его высотного положения на фундаменте при выверке. Реечный домкрат состоит из стального сварного корпуса с опорой, внутри которого перемещается зубчатая рейка с верхней опорной плитой и нижней опорной пятой. Подъем оборудования осуществляют перемещением рейки за счет вращения рукояткой вручную зубчатого колеса, находящегося в зацеплении с рейкой. Грузоподъемность реечного домкрата ДР-5 составляет 5 т при усилии на рукоятке 250 Н. Винтовой домкрат состоит из корпуса, ходового винта, рабочей гайки и рукоятки с трещоткой. С помощью винтового домкрата осуществляют подъем оборудования за счет

вывинчивания винтового стержня из неподвижной гайки. Винтовой домкрат ДЛ-10 имеет грузоподъемность 10 т при усилии на рукоятке вращения винта 200 Н. Гидравлический домкрат состоит из корпуса, в котором расположен цилиндр. В цилиндре перемещается поршень с опорной плитой. Перемещение поршня при подъеме и опуске оборудования осуществляют за счет давления масла, нагнетаемого под поршень с помощью встроенного в корпус ручного плунжерного насоса. Масло размещается в кольцевом резервуаре между корпусом и цилиндром. Грузоподъемность гидравлических домкратов — от 5 до 200 т при усилии на рукоятке насоса до 250 Н.

Для регулирования высотного положения оборудования применяют плоские и парные клиновые подкладки, а также установочные болты. Проверку зазоров между опорными поверхностями выполняют с помощью щупа. Щуп — набор калиброванных стальных пластинок длиной 75 или 150 мм и толщиной 0,33—1 мм. Зазор определяют последовательным введением пластинок щупа. Размеры подкладок должны обеспечивать, во-первых, достаточно плотный контакт опорных частей рам перекачивающих агрегатов и оборудования по всей площади подкладки и, во-вторых, передачу на бетон фундамента определенного давления, не превышающего допустимое. Так, допустимая нагрузка на бетон фундаментов $R_{доп}=7500$ кН/м^2 для бетона проектной марки М150 и $R_{доп}=8500$ кН/м^2 для бетона проектной марки М200.

Предварительную выверку перекачивающих агрегатов и оборудования осуществляют плоскопараллельными и клиновыми подкладками. Для окончательной выверки используют подкладки толщиной 0,5 мм. Изменение высотного положения перекачивающих агрегатов и оборудования при выверке осуществляют также с помощью установочных болтов (бесподкладочный метод). Установочный болт состоит из собственно болта с шестигранной головкой и одной или двух гаек. Такие болты ввинчивают в отверстия с резьбой в опорной части рам и за счет этого регулируют высотное положение. Гайки необходимы для фиксации и закрепления установочных болтов в определенном положении во избежание их смещения при бетонировании и подливки рамы. Минимальное число установочных болтов обычно соответствует числу фундаментных или анкерных болтов, закрепляющих перекачивающие агрегаты или оборудование на фундаменте.

Горизонтальность опорных частей фундамента и монтируемого оборудования проверяют уровнями различного типа: слесарным, рамным и гидростатическим. Гидростатический уровень (рис. 87) позволяет обеспечить наиболее высокую точность измерения отклонений от горизонтальности (до 0,01 мм/м). Такой уровень состоит из двух измерительных головок-резервуаров *1*, которые соединены между собой прозрачными шлангами: нижним для воды *2* и верхним для воздуха *3*. Измерительные при-

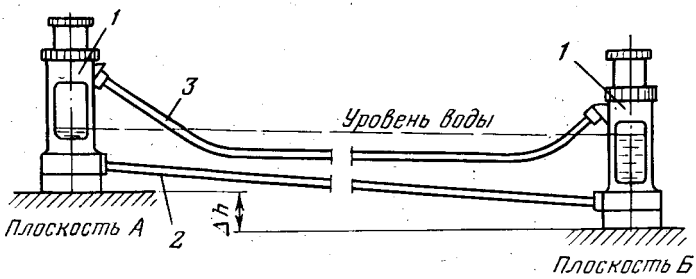


Рис. 87. Гидростатический уровень

способления позволяют точно показать уровень воды в каждой головке резервуара. Если обе головки уровня установить на строго горизонтальной поверхности, то уровень воды в обеих головках-резервуарах будет одинаковым и разность этих уровней будет равна 0. Если же одна головка будет расположена выше, а другая ниже, то по закону сообщающихся сосудов уровень воды в первой головке будет расположен ниже, а во второй выше. По разности отметок уровней можно узнать превышение Δh одной плоскости над другой:

$$\Delta h = H_1 - H_2,$$

где H_1, H_2 — высота уровней воды в первой и во второй головках-резервуарах.

Для проверки центровки сопрягающихся валов привода и насоса или нагнетателя применяют различные приспособления. Наиболее часто применяют приспособления индикаторного типа. Индикаторы прибора при вращении одного из валов должны показывать при идеальной центровке нулевые отклонения, а в практических условиях — отклонения в пределах допустимых. Применяют также приборы для центровки других типов.

Вибрацию вращающихся частей перекачивающих агрегатов обследуют с помощью специальных приборов — виброметров. Простейшие виброметры — ручные. Корпус таких виброметров удерживают на поверхности вращающегося вала вручную за рукоятку. Применяют ручные виброметры индикаторного типа и типа ВР-1. В первом случае о вибрациях вала судят по отклонениям стрелки индикатора, во втором амплитуду и частоту колебаний определяют путем расшифровки записи на ленте. Используют также стационарные виброметры, устанавливаемые непосредственно на измеряемую поверхность вала (ротора).

Закрепление перекачивающих агрегатов и технологического оборудования на фундаментах осуществляют специальными болтами. В практике монтажа оборудования используют три вида крепежных болтов (рис. 88): фундаментные, анкерные и болты, устанавливаемые на готовых фундаментах в просверливаемых отверстиях. Фундаментные болты устанавливают либо

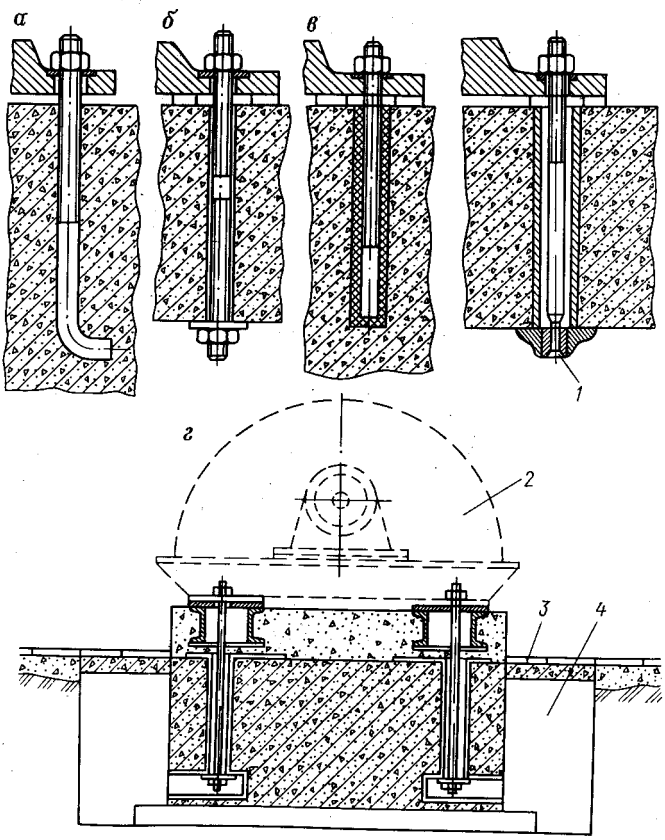


Рис. 88. Крепежные болты:

а — фундаментные; *б* — анкерные; *в* — болты, закрепляемые в готовом фундаменте; *г* — анкерный болт для крепления насосного агрегата мощностью 8000 кВт и подачей 12 500 м³/ч; *1* — зачеканка; *2* — электродвигатель насосного агрегата; *3* — съемные плиты; *4* — колодец

до бетонирования фундаментов и закрепляют бетоном при бетонировании последних, либо в специальных колодцах квадратного сечения, оставляемых в фундаменте при бетонировании. В последнем случае крепление болтов, установленных в колодцах, осуществляют путем заливки колодцев бетонной смесью. При использовании фундаментных болтов обеспечиваются наиболее прочное сцепление их с бетоном, а также простота их установки. Однако в случае необходимости замены фундаментных болтов возникают значительные трудности. Анкерные болты лишены этого недостатка, так как их закрепляют гайками с двух сторон и их при необходимости можно заменить новыми. Доступ ко второму концу анкерного болта осуществляется через специальную нишу в фундаменте.

Крепежные болты третьего вида устанавливают в отверстия, просверленные в бетоне фундамента. Закрепление их осуществляют на клею или с применением самоанкерующихся болтов.

28. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖА НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ В БЛОЧНОМ ИСПОЛНЕНИИ

Насосные агрегаты для насосных станций магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов в блочном исполнении поступают с завода-изготовителя в виде готовых блоков, полностью подготовленных к монтажу без необходимости проведения разборки и ревизии их узлов на месте монтажа. Насосные агрегаты поставляют в виде двух основных блоков, устанавливаемых на раздельные рамы: центробежного одноступенчатого магистрального насоса и электродвигателя. В комплект блока центробежного насоса входят собственно насос с фундаментной рамой, поставляемой отдельно от насоса, зубчатая соединительная муфта и фундаментные или анкерные болты. Блок электродвигателя включает синхронный электродвигатель, возбудитель, фундаментную раму в виде двух направляющих из стального проката, поставляемую отдельно от электродвигателя, и фундаментные или анкерные болты. Максимальную массу —23,5 т имеет блок электродвигателя СТДП-8000-2 для насосной станции БКНС-12,5, а минимальную массу 2,6 т — блок центробежного насоса для насосной станции БКНС-1,25. Монтаж перекачивающих агрегатов и сложного оборудования выполняют при участии представителей (шеф-монтажников) заводов-изготовителей, а о начале монтажа монтажная организация письменно извещает завод-изготовитель.

Технология и организация монтажа насосных агрегатов блочной поставки зависит от степени готовности здания насосного цеха. В связи с этим различают два способа монтажа насосных агрегатов: до начала строительства здания насосного цеха; после окончания строительства здания насосного цеха. В первом случае значительно облегчается монтаж насосных агрегатов, так как при этом возможно применение любых монтажных кранов, и упрощается доставка блоков насосных агрегатов к фундаментам, что повышает производительность монтажа, снижает его трудоемкость и в конечном итоге приводит к сокращению сроков строительства насосных цехов и насосных станций. Однако при этом качество монтажа существенно зависит от погодных условий. Кроме того, при последующем монтаже здания необходимо принимать меры для защиты насосных агрегатов от случайных повреждений. При монтаже насосных агрегатов в готовом здании насосного цеха условия монтажа значительно ухудшаются из-за стесненности пространства, но при этом сам процесс монтажа не зависит от погодных условий. На практике применяют оба способа монтажа насосных агрегатов.

Таблица 31. Рекомендации по выбору монтажных кранов

Насосная станция	Масса, т		Кран		
	насоса	электродвигателя	модель	максимальная грузоподъемность, т	длина стрелы, м
БКНС-1,25	2,6	7,7	Автомобильный КС-3571	10	8
БКНС-2,5	4,7	8,3	То же	10	8
БКНС-3,6	5,6	10	Автомобильный КС-4571	16	9,75
БКНС-12,5	10	23,5	Пневмоколесный КС-5363 или гусеничный РДК-25	25	15
БМПНС-12,5	10	23,5	То же	25	15

При монтаже насосных агрегатов до постройки здания насосного цеха организация монтажных работ для всего ряда блочно-комплектных насосных станций, включающего БКНС-1,25; БКНС-2,5; БКНС-3,6; БКНС-12,5 и БМПНС-12,5, одинаковая. Каждая из насосных станций имеет по четыре насосных агрегата, отличающихся мощностью привода, величиной напора и подачи, а следовательно, массой и габаритами. Кроме того, станции отличаются размерами фундаментов и расстояниями между ними. Для монтажа насосных агрегатов используют самоходные гусеничные или пневмоколесные краны грузоподъемностью до 50 т и автомобильные краны грузоподъемностью до 16 т. Доставку блоков насосного агрегата (центробежного насоса и синхронного электродвигателя) к месту монтажа или в зону действия крана осуществляют на трейлерах или грузовых автомобилях грузоподъемностью 12 т.

Монтаж центробежного насоса и электродвигателя на каждом фундаменте проводят с одной стоянки крана соответствующей грузоподъемности (табл. 31) при необходимом для условий монтажа вылете стрелы.

Последовательность монтажа насосного агрегата до постройки здания насосного цеха следующая (рис. 89). Вначале на фундамент устанавливают центробежный насос, который выверяют на фундаменте и закрепляют в проектном положении с помощью фундаментных болтов. Затем на фундамент устанавливают синхронный электродвигатель, который прицентровывают к насосу и также закрепляют в проектном положении с помощью фундаментных болтов. Принятая последовательность монтажа связана, во-первых, с меньшими размерами в плане и большей жесткостью конструкции центробежного насоса, во-вторых, с более легкой выверкой проектного положения центробежного насоса.

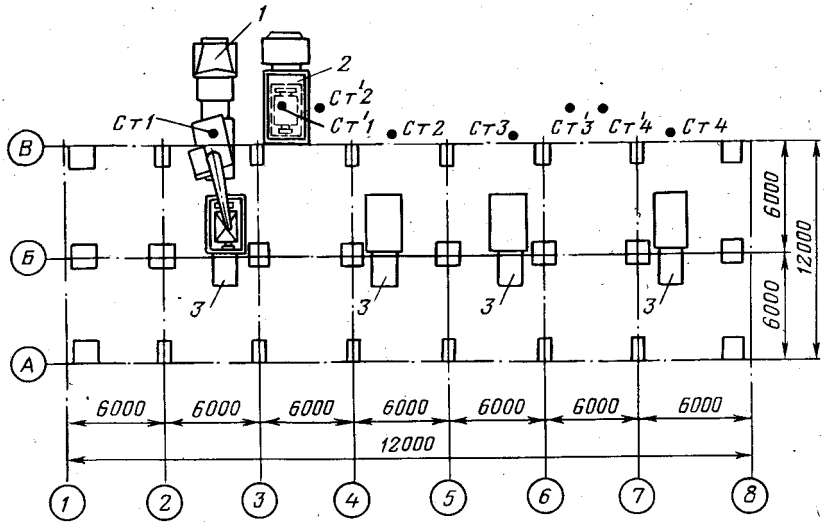


Рис. 89. Схема монтажа насосных агрегатов до постройки здания насосных агрегатов:

1 — автомобильный кран; *2* — автомобиль; *3* — фундаменты под насосные агрегаты; *Ст1—Ст4* — стоянки автомобильного крана; *Ст1'—Ст4'* — стоянки автомобиля; *А, Б, В* — продольные оси; цифры в кружках — поперечные оси

Рассмотрим монтаж насосного агрегата на массивный железобетонный фундамент с готовыми колодцами для фундаментных болтов. Причем основные принципы монтажных технологических операций одинаковы для монтажа технологического оборудования различного по назначению. Монтажные технологические операции при монтаже насосных агрегатов выполняют в определенной последовательности:

подготовка и выверка на поверхности фундамента горизонтальных площадок и установка опорных пластин для установочных болтов с применением молотков и зубил;

подъем и установка на фундамент рамы насоса, выверка рамы и ее закрепление сваркой к закладным деталям фундамента с применением монтажного крана, установочных болтов, сварочного агрегата;

установка фундаментных болтов с помощью шаблона;

бетонирование фундаментной рамы под насос до проектной отметки с применением опалубки и вибратора;

подъем и установка на раму насоса и его выверка с применением монтажного крана и подкладок;

предварительная затяжка фундаментных или анкерных болтов на насосе с помощью гаечных ключей;

установка фундаментной рамы под электродвигатель на фундамент с применением монтажного крана;

установка электродвигателя на фундаментную раму с применением монтажного крана;

выверка электродвигателя и прицентровка его к насосу с помощью домкратов, подкладок и центровочных приспособлений;

закрепление фундаментной рамы электродвигателя приваркой к закладным деталям фундамента с наружной стороны, снятие электродвигателя и закрепление фундаментной рамы приваркой к закладным деталям с внутренней стороны с применением монтажного крана и сварочного агрегата;

бетонирование фундаментной рамы под электродвигатель с установкой упрочняющей арматуры с использованием бункера для бетонной смеси и вибратора;

окончательная установка электродвигателя на фундаментную раму и его окончательная выверка и прицентровка к насосу с помощью монтажного крана и подкладок толщиной 0,5 мм;

окончательная затяжка фундаментных или анкерных болтов электродвигателя и насоса с помощью гаечных тарированных ключей;

монтаж зубчатой муфты, соединяющей валы электродвигателя и насоса.

Рассмотрим более подробно некоторые наиболее важные технологические операции монтажа блочных насосных агрегатов.

Подъем и установку фундаментных рам, блока насоса и электродвигателя осуществляют самоходными кранами с соответствующими грузоподъемными характеристиками (см. табл. 30).

Строповку блоков насоса и электродвигателя выполняют четырехветвевым стропом за рым-болты корпуса насоса и за специальные приливы рамы электродвигателя.

Выверка фундаментных рам — установка их в проектное положение на фундаменте. Ее выполняют в двух плоскостях — горизонтальной и вертикальной: выверка в горизонтальной плоскости — точная установка блоков оборудования по продольным и поперечным осям, выверка в вертикальной плоскости — точная установка оборудования в горизонтальном положении (проверка горизонтальности). Выверку в горизонтальной плоскости выполняют следующим образом. Над установленной на фундамент *2* рамой или насосом на стойках *4* из уголков по направлению продольной и поперечной осей натягивают тонкую стальную проволоку (струну) *1*, на концах которой навешивают отвесы *3* (рис. 90). Выверяемое оборудование перемещают в горизонтальной плоскости до совпадения нижней точки отвеса с рисками (линиями) на поверхности фундамента, обозначающими взаимно перпендикулярные продольную и поперечные оси. Перемещение электродвигателя, насоса и другого оборудования в горизонтальной плоскости на незначительные расстояния при выверке осуществляют домкратами или специальными винтовыми отжимными устройствами.

Рис. 90. Выверка насоса в горизонтальной плоскости с помощью струн

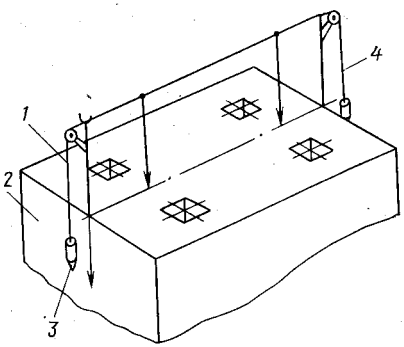
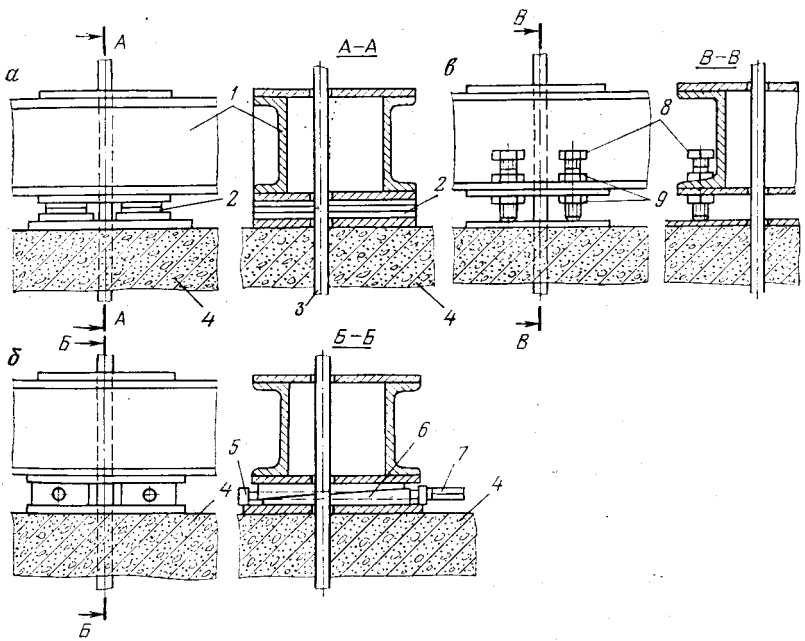


Рис. 91. Выверка насоса и электродвигателя в вертикальной плоскости:
а — при подкладочном методе; *б* — с помощью специального клинового домкрата; *в* — при бесподкладочном методе; *1* — рама; *2* — клиновые подкладки; *3* — анкерный болт; *4* — фундамент; *5* — корпус домкрата; *6* — клинья домкрата; *7* — винт; *8* — установочный болт; *9* — гайка



Выверку в вертикальной плоскости выполняют для придания строго горизонтального положения устанавливаемому оборудованию. Необходимость этой выверки связана с практической невозможностью выполнить опорную поверхность фундамента строго горизонтальной. Поэтому при возведении фундамента его опорную поверхность не доводят до проектной отметки на 50—80 мм и этот зазор используют для регулирования положения оборудования в вертикальной плоскости.

Для выверки в вертикальной плоскости применяют два метода: подкладочный и бесподкладочный (с применением установочных болтов) (рис. 91). При подкладочном методе горизонтальности установки оборудования добиваются за счет вве-

дения в зазор между опорными поверхностями оборудования и фундамента плоских или парных клиновых подкладок. Подъем перекачивающих агрегатов или оборудования для установки подкладок выполняют с помощью винтовых, реечных или гидравлических домкратов. Подкладки укладывают по обе стороны фундаментных или анкерных болтов, как можно ближе к их оси, во избежание возникновения в раме оборудования или перекачивающего агрегата повышенных изгибных напряжений. Места расположения подкладок обычно указывают на монтажных чертежах. Набор подкладок, как правило, состоит из одной или двух плоских подкладок и одной или двух парных клиновых подкладок, но не более пяти пластин в наборе. Путем изменения числа подкладок и за счет сдвига клиновых подкладок относительно друг друга добиваются необходимой общей толщины пакета подкладок. После окончания выверки подкладки в наборе проверяют на плотность прилегания введением между ними и опорными поверхностями пластинки щупа толщиной 0,1 мм. Затем пластины соединяют между собой и с закладными деталями (или рамой) фундамента короткими сварными швами-прихватками и выполняют предварительную затяжку фундаментных или анкерных болтов.

Подкладочный метод выверки в вертикальной плоскости хорошо освоен в практике монтажа оборудования. Однако этот метод отличает повышенная трудоемкость и расход стали на остающиеся в бетоне подкладки. Для исправления последнего недостатка пакет подкладок не фиксируют сваркой, а с трех сторон защищают от контакта с бетоном подливки опалубкой. Это позволяет после затвердевания бетона подливки извлечь пакеты подкладок, а оставшиеся пустоты заполнить бетонной смесью. Для снижения трудоемкости вместо подкладок можно применять специальные клиновые домкраты, которые устанавливают в зазор между опорными поверхностями фундамента и рамы оборудования. При вращении винта домкрата за счет перемещения клиньев осуществляют местный подъем и опуск монтируемого оборудования. Максимальная высота подъема оборудования этим домкратом до 8 мм. В процессе подливки бетонной смеси клиновый домкрат защищают с трех сторон опалубкой и после затвердевания бетона извлекают. Извлечь клиновый домкрат можно также после введения в зазор инвентарных подкладок.

Для выверки в вертикальной плоскости при монтаже перекачивающих агрегатов и оборудования все более широкое применение находит более эффективный бесподкладочный способ путем поочередного ввинчивания и вывинчивания установочных болтов. Проверку горизонтальности оборудования выполняют уровнями различного вида. Фиксацию установочных болтов осуществляют гайкой и контргайкой. Установочные болты опираются на стальные подкладки, установленные на поверхность фундамента. При выверке оборудование должно опираться на

все установочные болты. Плотность прилегания торцевой поверхности установочных болтов к подкладкам проверяют с помощью пластинки щупа толщиной в 0,1 мм. При бесподкладочной выверке с помощью установочных болтов значительно снижается трудоемкость процесса и устраняются потери металла на остающиеся подкладки.

Фундаментные рамы насоса и электродвигателя выверяют на установочных болтах. Число установочных болтов на раме насоса обычно равно четырем, а на раме электродвигателя зависит от типа насосного агрегата. Так, например, максимальное число установочных болтов у рамы электродвигателя СДТП-8000-2 равно 21. Установочные болты у насосных агрегатов различной мощности отличаются не только числом, но и диаметром. Максимальный диаметр установочных болтов у рамы электродвигателя СДТП-8000-2 равен 42 мм, а у рамы насоса НМ-10000 — 24 мм. Диаметр и число установочных болтов зависят от массы оборудования, периметра и площади опорной части. После окончания выверки затягивают гайки (контргайки) установочных болтов для предотвращения их самопроизвольного разворачивания в процессе бетонирования рам и подливки оборудования. На выверенную раму устанавливают электродвигатель и прицентровывают его к насосу.

Прицентровку электродвигателя к насосу проводят по зубчатым соединительным муфтам, в которых передача крутящего момента осуществляется за счет зубчатого зацепления (рис. 92). Такая муфта состоит из двух втулок, надеваемых на шпонках соответственно на вал насоса и электродвигателя, и двух зубчатых полумуфт. На круговых венцах этих втулок нарезаны зубья эвольвентного профиля. В зацеплении со втулками находятся внутренние зубья двух полумуфт. Полумуфты соединяют между собой болтами с гайками. Кольцевое пространство между полумуфтами и втулками заполняют маслом с образованием масляной ванны, которую герметизируют установкой резиновых манжет и торцевых крышек. Передача вращения от вала электродвигателя к валу насоса происходит через зубчатые зацепления, обеспечивающие плавность передачи. Центровку валов осуществляют для зубчатых муфт по зубьям втулок двумя способами: с помощью щупа и индикаторов.

Рассмотрим основные принципы центровки двух валов привода и насоса или нагнетателя. Допустим, что ось одного из валов смещена относительно оси другого как по вертикальной оси y, так и по горизонтальной x (рис. 93).

Проверку зазоров a и b осуществляют с помощью измерительных скоб с индикаторами или измерительных скоб с применением щупа. Обычно измерение зазоров (прицентровку) выполняют при повороте одного из валов на 90°. На полумуфте наносят начальную отметку. В этом начальном положении в верхней точке замеряют радиальный зазор a_1^0, а в четырех точках — осевые зазоры b_1^I, b_2^I, b_3^I, b_4^I. Затем тот же вал по-

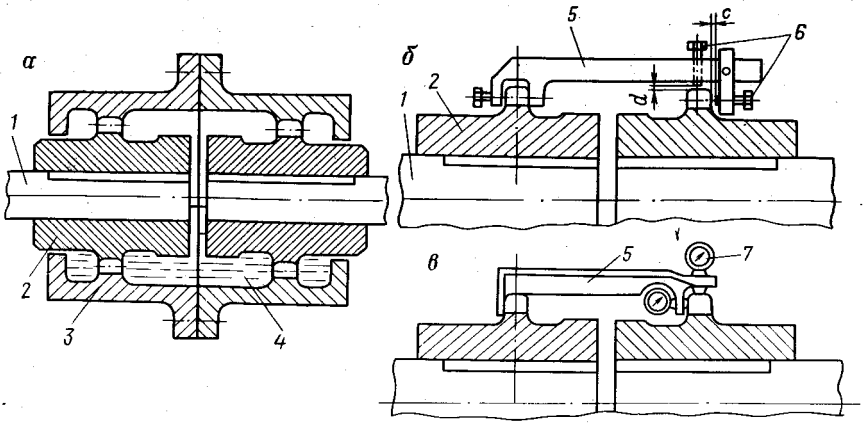


Рис. 92. Центровка валов по зубчатым полумуфтам:
а — зубчатая муфта; *б* — центровка по зубчатым полумуфтам с помощью щупа (зазоры *c* и *d* измеряют с помощью пластинок щупа); *в* — центровка по зубчатым полумуфтам с помощью индикаторов; *1* — вал; *2* — зубчатая втулка; *3* — зубчатая полумуфта наружная; *4* — масляная ванна; *5* — измерительная скоба; *6* — установочные винты; *7* — индикатор

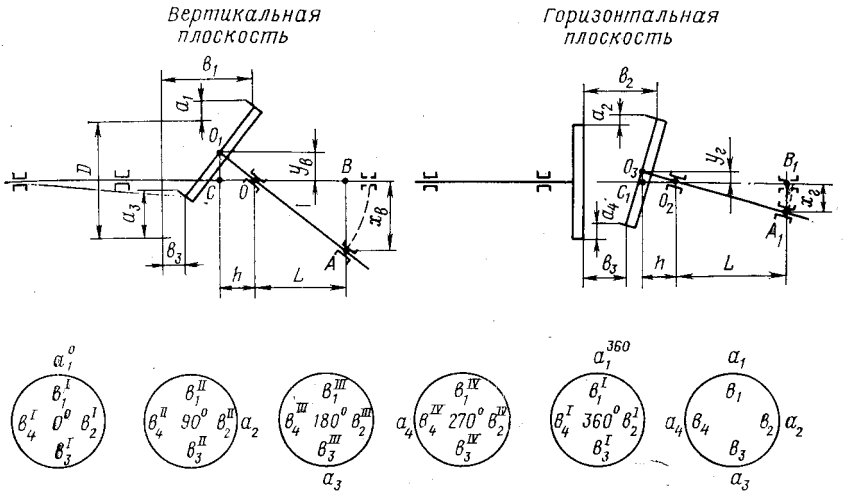


Рис. 93. Центровка валов насосного агрегата

ворачивают по часовой стрелке на 90° и в отмеченной ранее точке измеряют радиальный зазор a_2, а в точках по окружности, отстоящих на 90° друг от друга — осевые зазоры b_1^{II}, b_2^{II}, b_3^{II}, b_4^{II}. Затем вал вновь поворачивают на 90° и измеряют зазоры a_3 и b_1^{III}, b_2^{III}, b_3^{III}, b_4^{III} и, наконец, повернув вал еще на 90° (на 270° от начала отсчета), измеряют зазоры a_4 и b_1^{IV}, b_2^{IV}, b_3^{IV}, b_4^{IV}. Повернув после этого вал еще на 90°, т. е. в первоначальное положение, вновь измеряют радиальный зазор

a_1^{360} и осевые b_1^{I}, b_2^{I}, b_3^{I}, b_4^{I}. Причем разница между начальным зазором a_1^{0} и конечным a_1^{360} не должна быть более $\pm 0{,}02$ мм ($a_1^{0} - a_1^{360} \leqslant \pm 0{,}02$ мм). После этого определяют средние значения осевых зазоров при следующих положениях валов: 0°, 90°, 180° и 270°:

$$b_1 = \frac{b_1^{I} + b_2^{I} + b_3^{I} + b_4^{I}}{4}; \quad b_2 = \frac{b_1^{II} + b_2^{II} + b_3^{II} + b_4^{II}}{4};$$

$$b_3 = \frac{b_1^{III} + b_2^{III} + b_3^{III} + b_4^{III}}{4}; \quad b_4 = \frac{b_1^{IV} + b_2^{IV} + b_3^{IV} + b_4^{IV}}{4}.$$

По полученным данным измерений радиальных и осевых зазоров строят круговую диаграмму в виде окружности, снаружи которой в точках, отстоящих на 90°, записывают радиальные a и внутри осевые b зазоры. На сводной круговой диаграмме снаружи записывают радиальные зазоры a_1, a_2, a_3, a_4, а внутри — средние осевые зазоры b_1, b_2, b_3, b_4. Затем определяют минимальные значения радиального a и осевого b зазоров, которые принимают за условные нулевые значения. После этого вычисляют приведенные значения этих зазоров путем вычитания значения зазора, принятого за условный нуль, из данного значения зазора и также строят круговую диаграмму приведенных зазоров.

Обязательным условием точной прицентровки валов является соблюдение равенства сумм противоположных радиальных и осевых зазоров:

$$a_1 + a_3 = a_2 + a_4; \quad b_1 + b_3 = b_2 + b_4.$$

Для того чтобы добиться указанных выше условий центровки валов, противоположный от полумуфты подшипник прицентровываемого вала в вертикальной плоскости нужно поднять на расстояние $x_в$, а в горизонтальной плоскости на расстояние $x_г$ (см. рис. 92). При этом центр полумуфты переместится в вертикальной плоскости на расстояние $y_в$ и горизонтальной на расстояние $y_г$.

Необходимые смещения $x_в$ и $x_г$ можно определить по формулам

$$x_в = \frac{(a_1 - a_3)\,L}{h}; \quad x_г = \frac{(a_2 - a_4)\,L}{h}.$$

Смещения $y_в$ и $y_г$ можно определить из подобия треугольников соответственно ABO и OO_1C и $A_1B_1O_2$ и $O_2O_3C_1$:

$$\frac{x_в}{y_в} = \frac{L}{h}; \quad y_в = x_в \frac{h}{L};$$

$$\frac{x_г}{y_г} = \frac{L}{h}; \quad y_г = x_г \frac{h}{L}.$$

После окончания центровки валов по полумуфтам рамы короткими швами присоединяют к закладным пластинам фунда-

мента с внешней стороны. Затем электродвигатель снимают с рамы, а раму приваривают короткими швами к закладным пластинам фундамента с внутренней стороны. После чего проводят бетонирование рамы, оставляя незабетонированной ее верхние опорные поверхности. Когда бетон достигнет уровня прочности, указанного в ППР, но не менее 70 % проектного, на опорные поверхности рамы вновь устанавливают электродвигатель и проводят окончательную центровку его с насосом. Для проведения центровки между опорными поверхностями забетонированной фундаментной рамы и электродвигателя укладывают прокладки толщиной по 0,5 мм. После окончательной центровки проводят предварительную затяжку фундаментных или анкерных болтов, а затем подливку фундамента. Окончание выверки и закрепления насосных агрегатов или оборудования на фундаменте фиксируют актом проверки правильности установки оборудования на фундаменте.

Добетонирование и подливку фундаментов выполняет строительная организация под наблюдением монтажной организации не позднее 48 ч после получения строительной организацией письменного извещения монтажной организации. Перед добетонированием и подливкой поверхность фундамента очищают от пыли и мусора обдувкой сжатым воздухом. Затем поверхность фундамента увлажняют. При этом не допускают скоплений воды в нишах и углублениях. По контуру рамы на расстоянии 100—200 мм от ее кромки на поверхности фундамента устанавливают деревянную опалубку высотой около 150 мм. Для добетонирования и подливки фундаментов применяют бетон, проектную марку которого указывают в ППР, но не ниже проектной марки бетона фундамента. Добетонирование и подливку фундаментов ведут при непрерывной подаче бетонной смеси. Причем при подливке необходимо обеспечить проникновение бетонной смеси под всю опорную поверхность рам агрегатов и оборудования, не допуская образования пустот и раковин. Уплотнение бетонной смеси осуществляют вручную с помощью штыря. Для ее уплотнения можно применять и электромеханические вибраторы, но в этом случае нужно избегать соприкосновения вибратора с рамой оборудования.

При подливке фундаментов перекачивающих агрегатов и оборудования для обеспечения непрерывности подачи бетонной смеси рекомендуется применять лотки-накопители (рис. 94). Лоток-накопитель располагают по всей длине подливаемого пространства. Уровень бетонной смеси в лотке-накопителе непрерывно поддерживают на высоте 300 мм. В бетонную смесь в лотке-накопителе погружают вибратор для ее уплотнения. Применение лотков-накопителей обязательно при ширине подливаемой опорной поверхности 1300 мм и более. Подливку ведут до появления бетонной смеси с противоположной стороны и достижению ею уровня, на 20—30 мм превышающего высоту основного объема подливки. Поверхность подливки на ее пери-

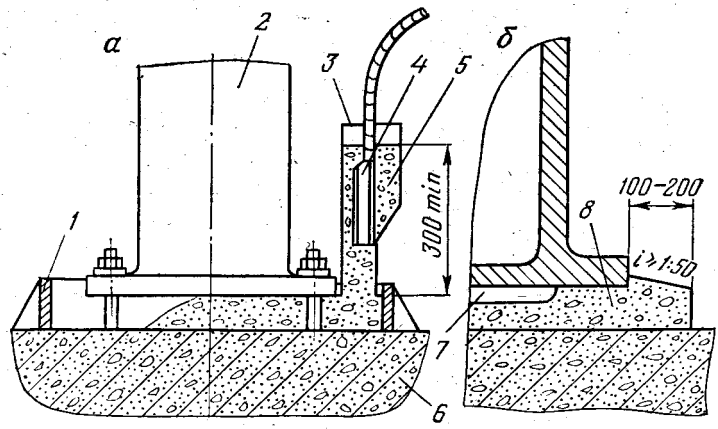


Рис. 94. Подливка фундамента насосного агрегата бетонной смесью:
а — процесс подливки; *б* — готовая подливка; *1* — опалубка; *2* — опорная часть корпуса насоса; *3* — лоток-накопитель; *4* — вибратор; *5* — подливочная бетонная смесь; *6* — фундамент; *7* — ребро жесткости опорной части; *8* — бетон подливки

ферийной части, примыкающей к опорной части рамы, выполняют с уклоном $i \geqslant 1:50$ при ширине 100—200 мм. Эту выступающую поверхность бетона покрывают слоем мокрых опилок или мокрой мешковины и систематически увлажняют в течение 3 сут после окончания подливки.

При подливке фундаментов перекачивающих агрегатов и оборудования в зимнее время (при минимальной температуре ниже 0°С и среднесуточной температуре 5 °С и ниже) подливку бетонной смеси выполняют по правилам зимнего бетонирования и, в частности, с применением электроподогрева бетона. После окончания подливки и набора бетоном необходимой прочности (по данным ППР, но не менее 70 % проектной) проводят окончательную затяжку фундаментных или анкерных болтов. Окончательную затяжку проводят специальными тарированными гаечными ключами с контролируемым усилием затяжки.

После затяжки фундаментных или анкерных болтов проверяют центровку валов электродвигателя и насоса и соединяют элементы зубчатой муфты. Кожух, закрывающий зубчатую муфту при работе насосного агрегата, крепят к двум стальным швеллерам, заделанным в фундамент. К электродвигателю присоединяют вводы электрокабелей и воздуховоды для охлаждения обмоток статора. При монтаже насосного агрегата на свайном фундаменте его устанавливают на готовых и выверенных стальных рамах отдельно для насоса и электродвигателя, закрепленных на оголовках свай. При этом отпадает необходимость в установке и выверке промежуточной и фундаментной рамы под электродвигатель, что, во-первых, снижает металлоемкость фундамента, и, во-вторых,— время монтажа. Рама электродви-

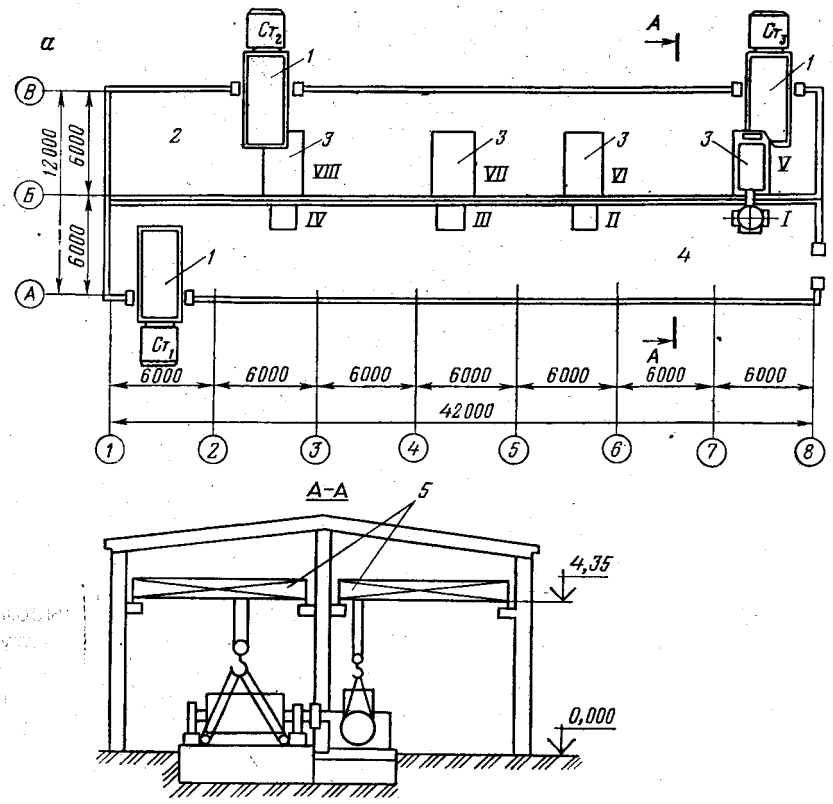
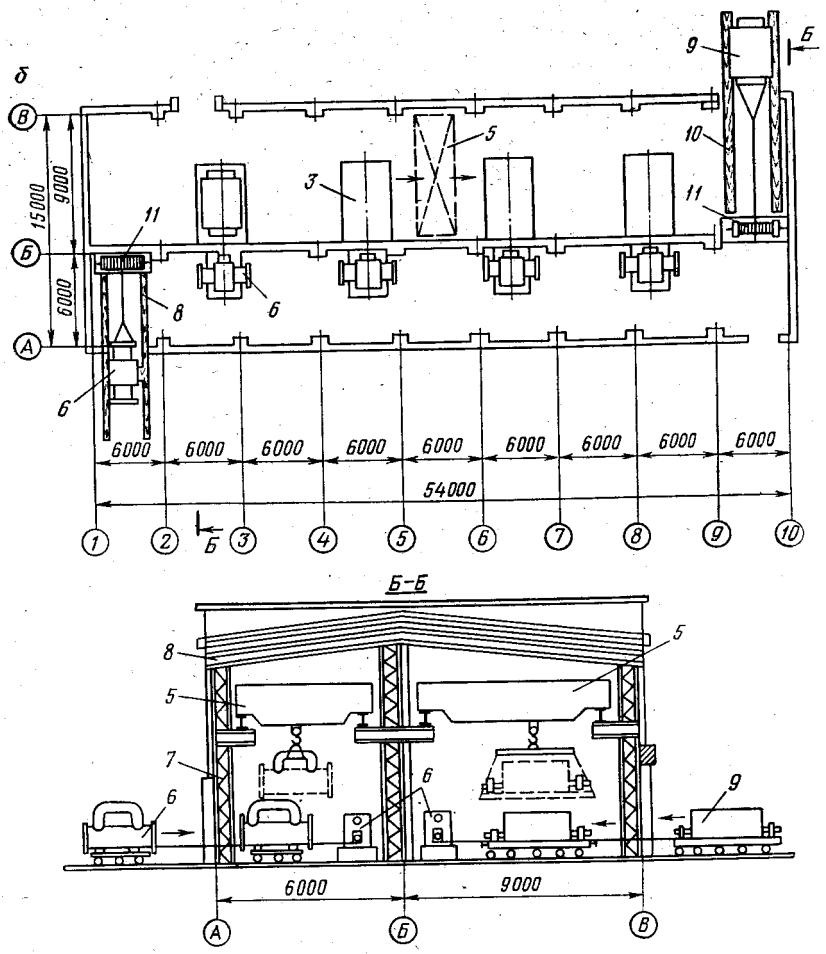


Рис. 95. **Монтаж насосных агрегатов в готовом здании цеха на БКНС-3,6** *(а)*, **БМПНС-12,5** *(б)*:

1 — автомобиль; *2* — зал электродвигателей; *3* — фундамент под насосные агрегаты; *4* — зал насосов; *5* — мостовой кран; *6* — блок насоса; *7* — колонна; *8* — ригель; *9* — блок электродвигателя; *10* — деревянные полозья; *11* — лебедка

гателя опирается на шесть свай, а рама насоса — на четыре. Порядок монтажа насосного агрегата на свайный фундамент аналогичен вышеописанному, т. е. вначале устанавливают, выверяют и предварительно закрепляют анкерными болтами насос. Затем на свою раму устанавливают электродвигатель, который выверяют и прицентровывают к насосу описанным выше способом с применением установочных болтов. Окончательную затяжку анкерных болтов выполняют без предварительной подливки бетоном, что также сокращает время монтажа насосного агрегата.

В случае монтажа насосных агрегатов в готовом здании насосного цеха технология и организация монтажа несколько изменяется в части доставки блоков насоса и электродвигателя к фундаменту внутри здания и применения грузоподъемного



механизма для подъема и установки центробежного насоса и электродвигателя на фундамент (см. рис. 94). Внутрь здания насосного цеха насос и электродвигатель доставляют двумя способами: автомобилями с полуприцепами и на катках по деревянным брусьям с помощью лебедки. Первый способ менее трудоемкий и значительно сокращает время доставки блоков насосного агрегата. Однако такой метод доставки ограничен массой и габаритами блоков насосного агрегата и его применяют для насосных станций БКНС-1,25; 2,5 и 3,6. Второй способ более трудоемкий и малопроизводительный, но его применяют при большой массе и габаритах блоков насосного агрегата для насосных станций БКНС-12,5 и БМПНС-12,5.

Другой особенностью технологии монтажа насосных агрегатов в готовом здании насосного цеха является использование

мостовых кранов, смонтированных в цехе, для подъема и установки на фундамент насоса и электродвигателя. Применение стреловых самоходных монтажных кранов в здании насосного цеха исключается из-за малых габаритов здания цеха. После установки насоса и электродвигателя на фундамент монтажные операции не отличаются от вышеописанных. При подъеме насоса мостовым краном используют кольцевой строп или двухветвевой строп, а электродвигателя — траверсу или четырехветвевой строп.

При монтаже насосных агрегатов в готовом здании цеха насосных станций БКНС-3,6 (рис. 95, *а*) и БМПНС-12,5 с электродвигателем во взрывозащищенном исполнении (рис. 95, *б*) вначале ведут последовательно монтаж на фундаментах насосов, а затем электродвигателей. Для насосных цехов с доставкой блоков насосного агрегата автомобилями монтаж насоса ведут с одной стоянки. Насосы поднимают с полуприцепа мостовым краном или кран-балкой и устанавливают на фундаментах, начиная с фундамента *I*, электродвигатели монтируют на фундаментах с двух стоянок автомобиля с полуприцепом и с перемещением их с помощью мостового крана. За время, прошедшее после установки на фундамент *I* насоса и до установки на этот же фундамент *V* электродвигателя, монтажники успевают выверить и предварительно закрепить фундаментными болтами насос и т. д. В случае доставки блоков насосного агрегата в здание насосного цеха с помощью лебедки перед воротами цеха организуют площадку складирования насосов и электродвигателей. Затем на деревянные направляющие устанавливают катки, на которые с помощью крана (или двух менее мощных кранов) устанавливают насос или электродвигатель. Насос или электродвигатель с помощью лебедки перемещают на катках внутрь здания цеха. Затем с помощью мостового крана насосы устанавливают последовательно на фундаменты *I*, *II*, *III*, *IV*. Электродвигатели монтируют на фундаменты с помощью этого же мостового крана в последовательности *V*, *VI*, *VII*, *VIII*.

Глава 11

Монтаж газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций магистральных трубопроводов

Перед рассмотрением технологии и организации монтажа газоперекачивающих агрегатов компрессорных станций следует отметить, что характер подготовительных работ и, в частности, правила приемки и подготовки фундаментов практически аналогичны рассмотренным в гл. 10 для насосных агрегатов.

29. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖА ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ С ПРИВОДОМ ОТ СТАЦИОНАРНЫХ ГАЗОВЫХ ТУРБИН И ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Газоперекачивающие агрегаты с приводом от стационарных газовых турбин ГТН-6, ГТК-10, ГТН-16, ГТН-25 (табл. 32), ГТН-10И, ГТН-25И (импортного производства) поставляют с заводов-изготовителей в виде отдельных блоков, полностью подготовленных к монтажу, газоперекачивающие агрегаты с электроприводом СТД-6300-2 и СТД-12500 — в виде трех отдельных блоков: электродвигателя, редуктора и центробежного нагнетателя. Все агрегаты, за исключением ГТК-10, ГТН-10И, устанавливают на фундаменты на отметках, близких к нулевым (+0,4—+0,7 м). Газоперекачивающие агрегаты ГТК-10, устанавливают на столбчатых фундаментах на отметках +4,5—+4,8 м.

Монтаж газоперекачивающих агрегатов с приводом от стационарных газовых турбин и электроприводом, как правило, ведут до начала строительства общих или индивидуальных зданий. Для монтажа блоков газоперекачивающих агрегатов наиболее часто применяют стреловые самоходные краны — гусеничные и пневмоколесные грузоподъемностью до 100 т и более (табл. 33). При отсутствии на строительной площадке стреловых самоходных кранов достаточной грузоподъемности используют спаренные краны меньшей грузоподъемности. Для установки газоперекачивающих агрегатов на отметке опорной поверхности фундамента, близкой к нулевой, применяют также по два крана-трубоукладчика необходимой грузоподъемности. Вопрос применения конкретных видов монтажных кранов на

Таблица 32. Характеристика монтажных блоков газоперекачивающих агрегатов ГТН-25

Тип ГПА	Монтажный блок	Габариты, м			Масса, т
		длина	ширина	высота	
ГТН-25	Блок ГТУ совместно с блоком маслохозяйства	10,9	3,18	3,3	99,7
	Блок центробежного нагнетателя	4,89	3,38	3,27	38,5
	В целом ГТН-25	14,7	3,38	3,3	144
ГТН-25И	Блок ГТУ	8,5	3,20	3,2	83
	Блок маслохозяйства	6,7	3,20	3,2	29
	Блок центробежного нагнетателя	4,7	3,2	3,3	35
	В целом ГТН-25И	19,5	3,2	3,2	147

Таблица 33. Характеристика стреловых самоходных кранов

Тип ГПА	Самоходные монтажные краны (варианты)		
	шасси, модель	максимальная грузоподъемность, т	число кранов
ГТК-10	Пневмоколесный, Л-75	75	1
ГТК-10И	КС-7361 (К-631)	63	1
	Пневмоколесный, Л-75	75	1
	Гусеничный, СКГ-63	63	1
	Гусеничный, МКГ-25	25	2
	Пневмоколесный, КС-5363	25	2
ГТН-25, ГТН-25И	Пневмоколесные:		
	КС-8362Д	100	1
	КС-8363	100	1
	КС-7361	63	2
	Гусеничные:		
	КС-8161	100	1
	СКГ-100	100	1
	СКГ-63	63	2
	Краны-трубоукладчики, ТГ-502	50	2
СТД-12500	Пневмоколесный, КС-6362	40	1
	Гусеничные:		
	МКГ-40	40	1
	СКГ-40	40	1
СТД-6300	Пневмоколесный, КС-5363	25	1
	Гусеничный, МКГ-25	25	1

строительных площадках компрессорных станций решается в проекте производства работ (ППР). Доставка блоков ГПА в зону монтажа осуществляется на трейлерах грузоподъемностью от 30 до 100 т.

Монтаж газоперекачивающего агрегата включает следующие технологические операции: доставку блоков ГПА в зону монтажа (в пределы вылета стрелы крана); установку блоков ГПА на опорные поверхности фундамента; выверку и стыковку монтажных блоков; затяжку фундаментных или анкерных болтов.

Рассмотрим технологию и организацию монтажа мощных газоперекачивающих агрегатов. Агрегат ГТН-25И устанавливают на фундамент на высотной отметке +0,720. Агрегат поставляют на площадки сооружаемых компрессорных станций в виде четырех основных монтажных блоков: нагнетателя массой 60 т, турбины низкого давления массой 34 т, турбины высокого давления массой 56 т и блока маслохозяйства массой 29 т. Монтаж газоперекачивающих агрегатов проводят до начала строительства индивидуальных зданий. Самоходные монтажные краны для монтажа блоков ГТН-25И выбирают исходя из максимальной массы блока, т. е. в нашем случае 60 т и с учетом необходимого вылета стрелы. На практике в зависимости от возможностей монтажной организации применяют два

варианта монтажа: с помощью самоходного гусеничного крана КС-8161 максимальной грузоподъемностью 100 т с вылетом стрелы 20 м; с помощью двух кранов-трубоукладчиков ТГ-502 грузоподъемностью по 50 т каждый с кабиной спереди.

Монтаж газоперекачивающих агрегатов ведут последовательно по захваткам. Захваткой служит фундамент под агрегат. Следовательно, общее число захваток равно трем. В пределах каждой захватки последовательно выполняют следующие монтажные операции: монтаж центробежного нагнетателя; монтаж блока турбины низкого давления; монтаж блока турбины высокого давления; монтаж блока маслохозяйства.

При первом варианте монтажа установку на фундамент всех блоков газоперекачивающего агрегата осуществляют с одной стоянки крана (рис. 96). В зону действия монтажного крана *4* блоки газоперекачивающего агрегата доставляют на трейлере *5* грузоподъемностью 60 т. Строповку нагнетателя выполняют четырьмя универсальными стропами за монтажные штуцеры рамы. При установке нагнетателя на фундамент в проектное положение *3* необходимо учесть следующее. Доставку блоков ГПА на трейлере к фундаменту *1* выполняют со стороны газовой турбины. В месте установки нагнетателя на фундаменте (в плане) имеются выступы для размещения опор под трубопроводы обвязки. Наличие этих выступов ограничивает приближение крана к месту установки нагнетателя в проектное положение на фундаменте, а это, в свою очередь, не дает возможности установить нагнетатель непосредственно в проектное положение на фундаменте при стреле крана длиной 20 м. Поэтому нагнетатель устанавливают в промежуточное положение *2* на фундамент с последующим его горизонтальным перемещением в проектное положение *3*. Горизонтальное перемещение нагнетателя в проектное положение осуществляют с помощью домкратов. Для облегчения этого перемещения перед установкой нагнетателя на поверхность фундамента укладывают трубы диаметром 219 мм, смазанные солидолом и играющие роль катков. После горизонтального перемещения в проектное положение нагнетатель с помощью домкратов поднимают, удаляют катки и опускают его на опорную поверхность фундамента. Закончив установку блока нагнетателя, последовательно на фундамент устанавливают блоки турбины низкого давления, турбины высокого давления и маслохозяйства. Установку всех этих блоков в проектное положение осуществляют одним краном с одной стоянки.

При втором варианте последовательность монтажа блоков газоперекачивающего агрегата аналогична вышеописанной (рис. 97). Каждый из блоков доставляют к фундаменту на трейлере. Краны-трубоукладчики *2* подходят к трейлеру *1* с обеих сторон — один передним, а второй задним ходом, так как они оснащены неповоротными стрелами, расположенными с левой стороны по ходу вперед. Краны-трубоукладчики подни-

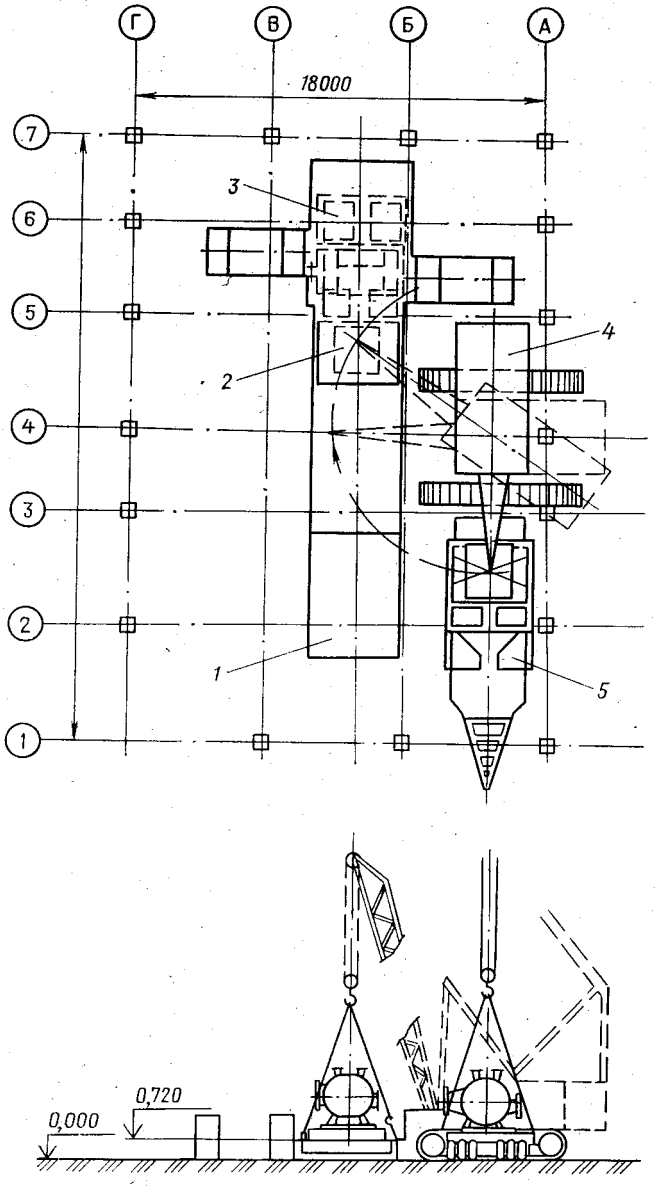


Рис. 96. Монтаж газоперекачивающего агрегата ГТН-25И с помощью монтажного самоходного гусеничного крана КС-8161

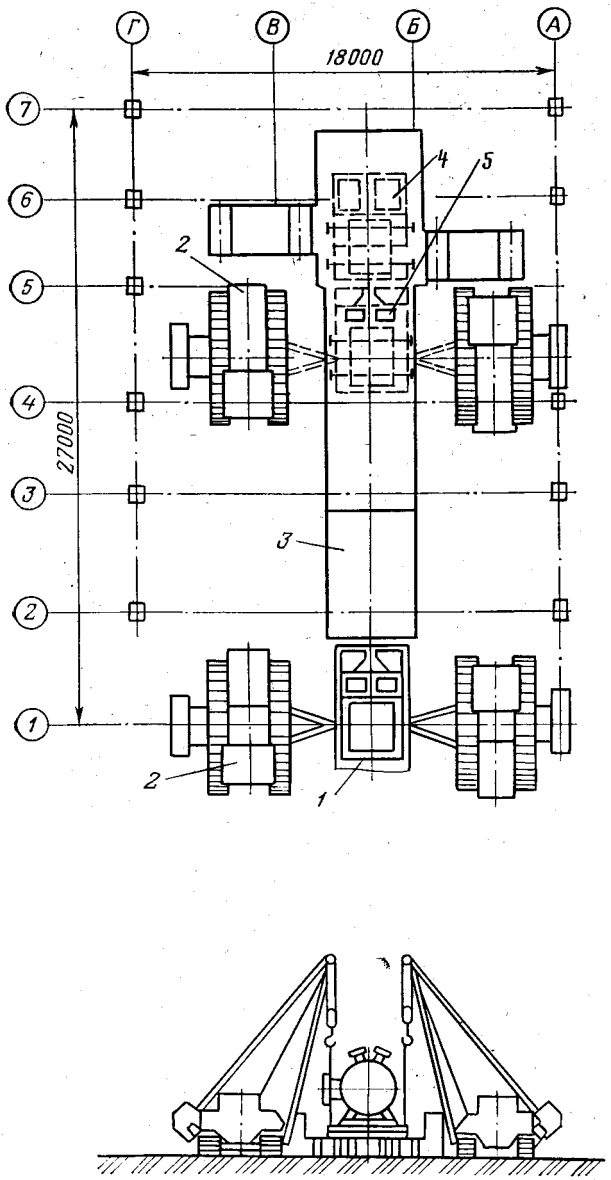


Рис. 97. Монтаж газоперекачивающего агрегата ГТН-25 с помощью двух кранов-трубоукладчиков ТГ-502

мают блоки на высоту примерно 300 мм, а тягачи убирают в это время трейлер. Затем оба крана-трубоукладчика, передвигаясь синхронно, перемещают блоки и устанавливают их на фундамент *3*. При монтаже блок нагнетателя вначале устанавливают в промежуточное положение *5* на трубы-катки с последующим горизонтальным перемещением с помощью домкратов в проектное положение *4* на фундаменте. После выверки и прицентровки блоков нагнетателя и газовой турбины их закрепляют фундаментными болтами.

Монтаж газоперекачивающих агрегатов ГТН-25 (отечественного производства) практически не отличается от вышеописанного монтажа агрегата ГТН-25И (импортного производства). Отличие — главным образом в массе блоков. Так, для отечественных ГТН-25 заводы поставляют единый турбоблок массой 90 т, включающий блоки турбины высокого и низкого давления, осевой воздушный компрессор и камеру сгорания. С этим же блоком конструктивно связан и поставляется совместно блок маслохозяйства.

Кроме мощных газоперекачивающих агрегатов ГТН-25 и ГТН-16 на компрессорных станциях также монтируют и менее мощные агрегаты ГТК-10. Эти агрегаты монтируют на столбчатых фундаментах с высотными отметками в пределах 4,000—5,000.

Наибольшую трудность при монтаже представляет выверка блока турбины (турбоблока). Выверка в горизонтальной плоскости заключается в достижении совпадения продольных и поперечных осей турбоблока и фундамента. Выверка турбоблока в вертикальной плоскости должна обеспечить его строго горизонтальное положение и является наиболее трудоемкой.

Турбоблок или турбоблоки газоперекачивающего агрегата ГТН-25 поставляют на строительную площадку компрессорной станции полностью собранными, выверенными и отрегулированными. Однако в процессе транспортировки погрузочно-разгрузочных и монтажных работ турбоблоков происходит изменение зазоров в проточных частях турбин низкого и высокого давления и воздушного осевого компрессора за счет изменения пространственной формы конструкции последнего. Причины этого следующие: недостаточная жесткость турбоагрегата, большие размеры турбоагрегата в плане (до 6—12 м), статическая неопределенность конструкции, так как у турбоблока более трех опор-стоек (у ГТК-10 шесть). Повышение жесткости рамы за счет увеличения ее массивности (толщины стенки) ведет к перерасходу металла и повышению массы. Тем более, что жесткость рамы увеличивается после затяжки фундаментными болтами и подливки бетоном. Уменьшение числа опор турбоагрегата также ведет к прогибу рамы и увеличению давления на опорные части.

Выход был найден в воспроизведении при монтаже тех высотных отметок рамы в определенных ее точках, которые были

зафиксированы при стендовой заводской сборке турбоагрегата. При этом рама турбоагрегата как бы принимает первоначальное положение, заданное ей при заводской сборке и выверке, и этим самым зазоры между роторами и корпусом восстанавливаются до первоначальных. Сохранение или восстановление зазоров в турбоблоке после транспортировки и монтажа доказано проведением ревизии турбоблоков после их монтажа на фундаментах компрессорной станции [4].

Такой метод выверки заключается в следующем. На заводе-изготовителе проводят полную сборку, выверку и опробование турбоблока. Выверку турбоблока в вертикальной плоскости выполняют по реперным площадкам — строго горизонтальным и тщательно обработанным (чистота обработки $\nabla 5$) — размером 120×120 мм на раме турбоблока, расположенным в определенных местах и пронумерованным (рис. 98). Отсчет высотных отметок реперных площадок осуществляют гидростатическим уровнем с двумя отсчетными головками относительно репера — инвентарного приспособления, изготовленного на заводе и поставляемого вместе с турбоблоком в виде стального столбика со строго горизонтальной и тщательно обработанной верхней площадкой размером 120×120 мм. Причем высота репера до уровня горизонтальной площадки соответствует проектной отметке реперных площадок на раме турбоблока. Так как некоторые реперные площадки на раме турбоблока расположены на более низком уровне, то используют проставки — стальные шаблоны, высота которых равна разности отметок данной реперной площадки и проектного уровня. При отсчете высотной отметки реперной площадки одну отсчетную головку гидростатического уровня устанавливают на реперной площадке, а другую головку — на площадке репера. При применении проставок их устанавливают на реперную площадку, а головку уровня на площадку проставки. Достижение проектного уровня реперных площадок рамы турбоблока (ее горизонтальности) добиваются

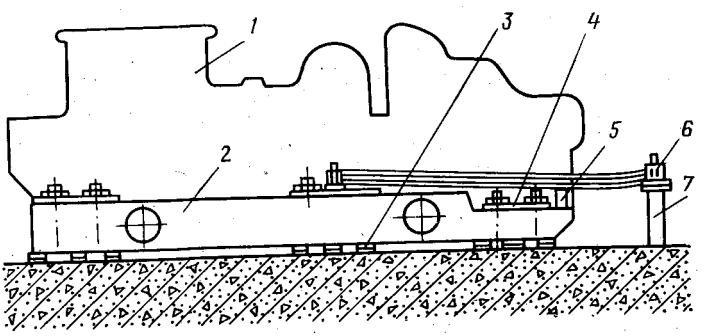


Рис. 98. Выверка турбоблока газоперекачивающего агрегата:
1 — турбоблок; *2* — рама турбоблока; *3* — клиновые подкладки; *4* — реперная площадка; *5* — проставка для реперной площадки; *6* — гидростатический уровень; *7* — репер

Таблица 34. Формуляр турбоблока для записи высотных отметок реперных площадок [25], мм

Точки	Замеры по фундаментной раме							
	на заводе				на монтаже			
	З	Р	ЗВ	0	З	Р	ЗВ	0
1	11,33	16,19	—4,86	15,61	24,43	1,29	23,14	15,58
2	9,82	17,93	—8,11	12,36	22,70	2,75	19,95	12,39
3	11,60	16,02	—4,42	16,05	24,83	1,22	23,61	16,05
4	10,04	17,63	—7,59	12,88	23,35	2,85	20,50	12,94
5	3,69	24,16	—20,47	0,00	16,80	9,24	7,56	0,00
6	5,82	21,04	—15,82	4,65	19,16	6,90	12,26	4,70

введением инвентарных подкладок между опорной поверхностью рамы и стенда (при заводской сборке) или поверхностью фундамента (при монтаже на фундаменте).

Все высотные отметки реперных площадок выверенного на заводском стенде турбоблока заносят в специальный формуляр, который вместе с турбоблоком доставляют на монтажную площадку компрессорной станции (табл. 34). В столбце «замер» (З) приведены зафиксированные одной из головок гидростатического уровня высотные отметки реперных площадок; в столбце «репер» (Р) — зафиксированные другой головкой гидростатического уровня высотные отметки репера. В столбце «завышение» (ЗВ) дана разность между показателями «замер» и «репер» с учетом знака. Наименьшее значение (с учетом знака) показателя «завышение» принимают за условный нуль. Затем все остальные показатели «завышение» приводят к этому условному нулю путем вычитания (с учетом знака) из всех показателей «завышение» этого условного нуля. Полученные данные по каждой точке замера заносят в столбец «приведено к нулю» (0).

Турбоблок газоперекачивающего агрегата доставляют к месту монтажа трейлерами большой грузоподъемности и с помощью одного или двух монтажных кранов устанавливают на опорные поверхности фундаментов. Затем с помощью домкратов и инвентарных подкладок проводят вертикальную выверку. Так же как и на заводском стенде, высотные отметки реперных площадок на раме турбоблока отсчитывают гидростатическим уровнем относительно репера, который устанавливают на фундамент. Отсчет высотного показателя и выверку начинают с реперной площадки, принятой за условный нуль. Все остальные реперные площадки будут расположены выше нулевой площадки. Так же как и при заводской стендовой выверке, одну головку гидростатического уровня при монтажной выверке устанавливают на репер, а другую — на реперную площадку и записывают отсчеты соответственно «замер» и «репер». Затем

вычисляют показатель «завышение» путем вычитания из показателя «замер» показателя «репер», а показатели «завышение» каждой реперной площадки приводят к нулю, как было описано выше. При выверке добиваются минимальных расхождений на каждой реперной площадке показателя «приведено к нулю», полученного при монтаже турбоблока на фундаменте, с тем же показателем, полученным при заводской стендовой выверке.

Выверку турбоагрегата при монтаже проводят в два этапа: предварительная и окончательная выверка. При предварительной выверке разница между заводскими и монтажными показателями «приведено к нулю» допускается на всех реперных площадках не более $\pm 0{,}25$ мм, а при окончательной выверке — не более $\pm 0{,}03$ мм. После окончательной проверки показатели выверки турбоагрегата заносят в формуляр в раздел «на монтаже».

При выверке местный подъем турбоблока осуществляют с помощью домкратов. Окончив предварительную выверку, проводят предварительную затяжку анкерных (фундаментных) болтов. После этого, используя предварительно выверенный турбоблок в качестве базового агрегата, прицентровывают к нему установленный на фундамент центробежный нагнетатель. Выверку и прицентровку нагнетателя выполняют описанными выше способами: подкладочным с применением инвентарных плоских или парных клиновых подкладок или бесподкладочным с применением установочных болтов. Соединение вала центробежного нагнетателя и ротора турбины низкого давления (силовой турбины) осуществляют с помощью муфт различного вида: жестких (на болтах), полужестких (пальцевых с упругими прокладками), упругих (зубчатых). Прицентровку вала (ротора) нагнетателя к ротору турбины проводят по полумуфтам с применением измерительных скоб с индикаторами или щупом.

При центровке добиваются выполнения основных условий:

$$a_1 + a_3 = a_2 + a_4; \quad b_1 + b_3 = b_2 + b_4.$$

При этом допускается разница в левой и правой частях равенства не более 0,02 мм. Необходимые смещения нагнетателя при центровке в вертикальной и горизонтальной плоскостях рассчитывают по формулам, приведенным в гл. 10. После предварительной прицентровки и выверки нагнетателя его закрепляют путем предварительной затяжки фундаментных или анкерных болтов. Затем выполняют подливку бетонной смесью рамы агрегата. После окончательной выверки проводят окончательную затяжку фундаментных или анкерных болтов.

Для некоторых типов газоперекачивающих агрегатов (например, ГТК-10) камеру сгорания поставляют в виде отдельного блока (вертикальная камера сгорания). Вертикальная однокорпусная камера сгорания имеет форму цилиндра, опираю-

щегося через пружинные подвески на раму, установленную на фундаменте. Верхним концом камеру сгорания через специальный входной патрубок присоединяют к корпусу турбины высокого давления. Монтаж камеры сгорания выполняют до установки турбоблока на стойки фундамента, начиная с установки рамы на нулевой отметке фундамента. Раму выверяют в горизонтальном положении по уровню с допускаемым уклоном ±0,5 мм на 1 м. На раму монтируют пружинные опоры, а на пружинные опоры устанавливают корпус камеры сгорания. Корпус камеры сгорания стропуют двухветвевым стропом за монтажные патрубки. Затем его опускают монтажным краном в проем между стойками фундамента, устанавливают и закрепляют на пружинных опорах.

Монтаж однокорпусной выносной вертикальной камеры сгорания завершают после окончания монтажа турбоблока. При выверке камеры сгорания путем регулирования пружинных опор добиваются, во-первых, совпадения горизонтальных осей турбины высокого давления и камеры сгорания и, во-вторых, обеспечения равномерного зазора 10—20 мм между опорными поверхностями фланцев патрубка турбины высокого давления и камеры сгорания. Для обеспечения плотности монтажного соединения при тепловом расширении корпуса камеры сгорания применяют вставку-патрубок, поверхность которой покрыта слоем специальной уплотнительной мастики. После окончательной выверки выполняют подливку бетонной смесью рамы камеры сгорания и затяжку фундаментных болтов по достижении бетоном подливки уровня прочности не менее 70 % проектной.

При блочной поставке газоперекачивающих агрегатов ГТН-25 и ГТН-16 ревизию многокорпусной (секционной) камерой сгорания на строительной площадке не проводят.

По окончании монтажа газоперекачивающего агрегата ведут монтаж систем смазки, уплотнения, регулирования и защиты ГТУ, а также трубопроводной обвязки нагнетателей. Объем монтажа этих систем, выполняемого на строительной площадке, зависит от типа агрегата и степени блочности его поставки с завода-изготовителя. Монтаж систем выполняют после окончания монтажа турбоагрегата и нагнетателя и завершения строительных работ в компрессорном цехе. Монтаж начинают с установки на фундамент, выверки и закрепления основных и резервного маслонасосов и маслоохладителей радиаторного типа. Насос для перекачки масла поступает в виде блока, включающего насос и электропривод, установленного на общую раму и полностью готового к монтажу. Маслоохладители также поступают с заводов полностью готовыми к монтажу. Монтаж агрегатов и маслоохладителей сводится к установке их на фундамент, выверке, подливке бетоном и закреплению фундаментными болтами. Для насосных агрегатов дополнительно проверяют центровку валов насоса и электродвигателя. Турбинное масло для системы смазки насосы забирают из об-

щего бака для масла, расположенного в раме турбоблока, а в некоторых случаях из отдельного бака системы.

Наибольшую трудность при монтаже системы смазки представляют сборка и соединение труб маслопровода. Применяют два метода монтажа маслопроводов: из укрупненных трубных узлов, изготовленных в монтажных мастерских, и из отдельных труб, поступивших на монтажную площадку. В первом случае при монтаже выполняют подгонку «по месту» трубных узлов в соответствии с чертежами системы и соединение трубных узлов с помощью газовой или ручной электродуговой сварки. Во втором случае на монтажной площадке внутри компрессорного цеха проводят резку труб на необходимую длину и их гибку в соответствии с чертежами системы маслопроводов. Гибку труб на необходимый радиус выполняют на специальных трубогибочных станках без нагрева или реже с местным и общим нагревом соответственно токами высокой частоты и в печи или горне. Холодную гибку выполняют на специальных турбогибочных станках. Труба, подвергнутая на станке холодной гибке, после освобождения от прижимов испытывает некоторую обратную упругую деформацию (пружинит). При гибке на 90° угол пружинения стальных труб, на который перемещается изогнутая труба в обратном направлении, составляет 3—5°. На эту величину и необходимо увеличить угол изгиба трубы.

Необходимая длина трубы при холодной гибке

$$L = 0{,}0175R\alpha + l,$$

где R — радиус изгиба трубы; α — угол изгиба трубы, включая угол пружинения, равный 3—5°; l — добавочный участок трубы, необходимый для захвата трубы в гибочном станке, $l = 100$—300 мм в зависимости от конструкции гибочного станка; 0,0175 — переходный коэффициент от градусов к радианам (1 град = 0,0175 рад).

Прямые и гнутые участки маслопровода соединяют между собой с помощью газовой сварки. Вначале выполняют контрольную сборку системы маслопроводов. Соединение труб маслопроводов осуществляют сваркой и на фланцах. Прокладки фланцевых соединений изготовляют из картона, проваренного в турбинном масле. Толщина прокладок не должна превышать 2 мм. Фланцы приваривают к трубам двойным швом (наружным и внутренним). На трубах диаметром менее 32 мм внутренний шов на фланцах не выполняют. Для выполнения неразъемных соединений используют ручную газовую и электродуговую сварку. Газовую кислородно-ацетиленовую сварку для соединения трубопроводов для подачи масла применяют при диаметре труб до 168 мм включительно с толщиной стенки до 5 мм.

После контрольной сборки и сварки системы маслопроводов разъемные (фланцевые) соединения разъединяют, а участки маслопровода подвергают внутренней очистке. Необходимость

очистки внутренней полости маслопроводов связана с возможностью повреждения подшипников газоперекачивающего агрегата различными твердыми частицами, находящимися внутри труб. На практике используют два способа очистки внутренней полости: химический и механический (с помощью стальных ершей). При химическом способе очистки маслопроводов через отсоединенную секцию маслопровода под давлением прокачивают 15—20 %-ный водный раствор ортофосфорной кислоты. Промывку этим раствором ведут в течение 15—20 ч.

Рассмотрим монтаж газоперекачивающих агрегатов с электроприводом. В состав газоперекачивающего агрегата с электроприводом входят три основных монтажных блока: центробежный нагнетатель, синхронный электродвигатель и редуктор. Основной газоперекачивающий агрегат с электроприводом на вновь сооружаемых компрессорных станциях — СТД-12500. Центробежный нагнетатель и редуктор поставляют на одной раме. Масса основных монтажных блоков газоперекачивающего агрегата СТД-12500: синхронного электродвигателя СТД-12500 — 28,9 т, редуктора вместе с центробежным нагнетателем К-370-18-2 — 47,8 т.

Монтаж газоперекачивающих агрегатов СТД-12500 осуществляют на массивных железобетонных или свайных фундаментах со стальными опорными рамами. При этом нагнетатель вместе с редуктором устанавливают практически на нулевой высотной отметке —0,080 м, а электродвигатель — на плюсовой отметке +0,920 — +0,980 м в связи с наличием смотрового канала для периодического осмотра и ремонта электродвигателя. Соединение валов электродвигателя и нагнетателя с входным и выходным валами редуктора осуществляют с помощью зубчатых муфт. Монтажные блоки газоперекачивающего агрегата в зону монтажного крана доставляют трейлером соответствующей грузоподъемности. Для подъема и установки на фундамент монтажных блоков газоперекачивающего агрегата СТД-12500 применяют гусеничные или пневмоколесные самоходные краны: один кран грузоподъемностью 63 т (КС-7361 или СКГ-63) или два крана грузоподъемностью по 25 т (МКП-25 или МКГ-25 или РДК-25).

Вначале на фундамент устанавливают электродвигатель с рамой, а затем редуктор и центробежный нагнетатель, смонтированные на одной раме. После установки монтажных блоков газоперекачивающего агрегата с электроприводом проводят их выверку в горизонтальной и вертикальной плоскостях. За базовый блок принимают редуктор. После выверки и закрепления редуктора к нему прицентровывают электродвигатель и центробежный нагнетатель. Такая последовательность выверки связана с наличием в цепи не двух, а трех последовательно центрируемых машин (нагнетатель, редуктор, электродвигатель). Если за базу принять нагнетатель или электродвигатель, то при последовательной центровке ошибка измерений

возрастает. Выверку редуктора проводят в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В горизонтальной плоскости добиваются совмещения осей редуктора с осями фундамента по методу натяжения струн с отвесами. Выверку в вертикальной плоскости осуществляют с помощью подкладок или бесподкладочным методом (на установочных болтах). После выверки редуктора с него снимают верхнюю крышку и проверяют состояние зубчатого зацепления. По окончании выверки редуктор закрепляют фундаментными или анкерными болтами. К входному валу редуктора прицентровывают электродвигатель, а к выходному валу — центробежный нагнетатель. Окончив предварительную выверку и прицентровку электродвигателя и нагнетателя, проводят предварительную затяжку фундаментных или анкерных болтов. Затем выполняют подливку рам газоперекачивающего агрегата бетонной смесью. По достижении бетоном подливки необходимой прочности (не менее 70 % проектной) осуществляют окончательную выверку и затяжку фундаментных или анкерных болтов. При монтаже газоперекачивающего агрегата с электроприводом на стальные рамы свайного фундамента подливку бетонной смесью не выполняют, а сразу производят затяжку анкерных болтов.

30. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖА БЛОЧНЫХ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ С ПРИВОДОМ ОТ АВИАЦИОННЫХ И СУДОВЫХ ГАЗОВЫХ ТУРБИН

Блочные газоперекачивающие агрегаты с приводом от авиационных и судовых газовых турбин получают все большее распространение на компрессорных станциях магистральных газопроводов.

Блочные газоперекачивающие агрегаты с приводом мощностью 6300 и 16000 кВт от авиационных газовых турбин соответственно ГПА-Ц-6,3 и ГПА-Ц-16 поставляют с заводов в виде отдельных блоков, соединяемых в единый агрегат на месте монтажа. Каждый блок размещен в индивидуальном транспортабельном блок-контейнере и имеет следующую массу (в т):

Агрегат ГПА-Ц-6,3:	
блок турбоагрегата	40,7
всасывающая камера с контейнером автоматики	2,93
выхлопная шахта	5,137
блок маслоохладителей	10,2
Воздухоочистительное устройство	7,53
В том числе:	
блок шумоглушителей	2,51
блок фильтров	5,02
Всего	66,497
Агрегат ГПА-Ц-16:	
блок турбоагрегата	70
блок маслоагрегатов	5,65

опора выхлопной шахты	5,5
блок автоматики	5,35
блок вентиляции	3,1
блок всасывающей камеры	13,282
В том числе:	
камера всасывания	2,432
шумоглушитель	4,850
диффузор	6
воздухоочистительное устройство	5,250
Блок выхлопной шахты	6,95
В том числе:	
шумоглушитель	4,85
промежуточный блок	2,1
Блоки маслоохладителей	19.72
Всего	134,802

Монтажный блок воздухоочистительного устройства (ВОУ) агрегата ГПА-Ц-6,3 поставляют на монтаж в виде двух отдельных блоков: шумоглушителя с фильтрами и элементов площадки обслуживания. Перед началом монтажа методом укрупнительной сборки оба блока соединяют в единый блок ВОУ с навешиванием и закреплением площадки обслуживания.

Монтаж блоков газоперекачивающего агрегата лучше всего осуществлять непосредственно с колес трейлера грузоподъемностью 60—70 т самоходными кранами. Блок турбоагрегата ГПА-Ц-6,3 массой 40,7 т устанавливают на фундамент с помощью гусеничного крана СКГ-63 или пневмоколесного крана К-7361 (К-631) грузоподъемностью 63 т, а при отсутствии самоходных кранов с помощью двух кранов-трубоукладчиков Т-35-60 максимальной грузоподъемностью 35 т каждый. Монтаж остальных монтажных блоков, масса которых колеблется от 2,51 до 10,2 т, выполняют самоходным автомобильным краном максимальной грузоподъемностью 16 т (например, КС-4561). Блок турбоагрегата ГПА-Ц-16 массой 70 т устанавливают на фундамент с помощью пневмоколесного или гусеничного крана максимальной грузоподъемностью 100 т (например, КС-8161, СКГ-100 и др.).

До начала монтажа обеспечивают приемку фундамента от строительной организации, его необходимую подготовку.

Монтаж блоков газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3 проводят в следующей последовательности (рис. 99). Вначале устанавливают на фундамент, выверяют и предварительно закрепляют блок турбоагрегата *I*, который принимают за базовый и к которому прицентровывают остальные монтажные блоки. Затем устанавливают блок всасывающей камеры с контейнером автоматики *II*. На верхнюю опорную поверхность блока турбоагрегата устанавливают монтажный блок выхлопной шахты *III*. С левого торца блока турбоагрегата на фундамент устанавливают и прицентровывают к нему блок маслоохладителей *IV*. Последним ведут монтаж блока воздухоочистительного устройства *V*. Этот блок предварительно укрупняют

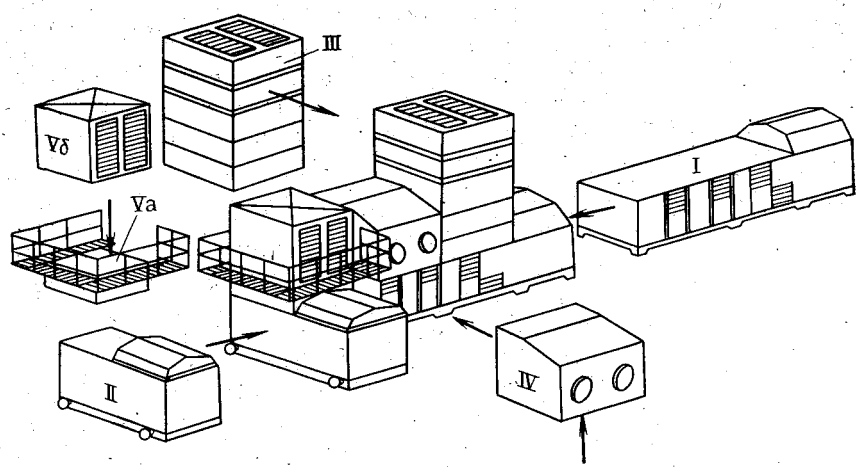


Рис. 99. Монтаж блоков газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3 с приводом от авиационной газовой турбины

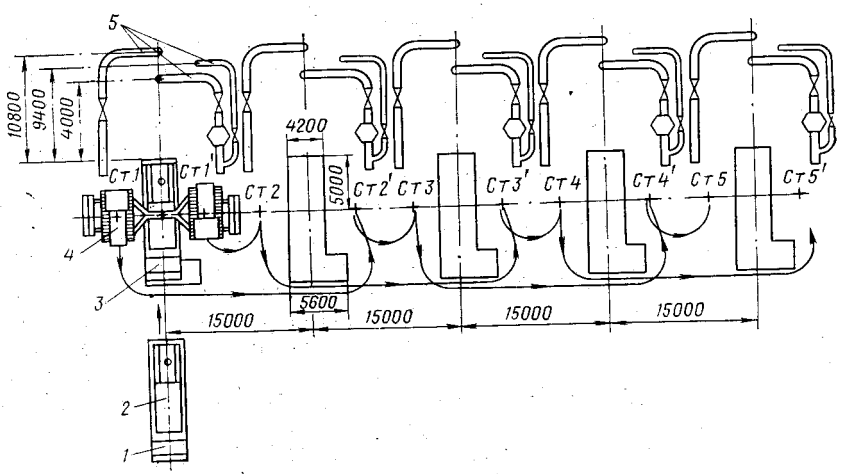


Рис. 100. Схема организации работ при монтаже газоперекачивающих агрегатов ГПА-6,3:

1 — трейлер; *2* — блок газоперекачивающего агрегата; *3* — трейлер с блоком на фундаменте; *4* — кран-трубоукладчик; *5* — узлы трубопроводной обвязки; *Ст1, Ст1'—Ст5, Ст5'* — стоянки кранов-трубоукладчиков

из двух блок-шумоглушителей *Va* и фильтров и элементов площадки обслуживания *Vб*.

Монтаж основного (базового) блока турбоагрегата ведут двумя кранами-трубоукладчиками Т35-60. Подъем и перемещение блока турбоагрегата осуществляют с помощью траверсы грузоподъемностью 60 т и системы самоуравновешивающихся строп. Схема организации работ (рис. 100) предусматривает монтаж блока турбоагрегата с трейлера. Трейлером доставляют

блок турбоагрегата на фундамент. По обе стороны трейлера подходят два крана-трубоукладчика Т35-60, на стрелах которых подвешена траверса. Так как стрела у крана-трубоукладчика всегда закреплена с левой стороны по направлению переднего хода, то краны-трубоукладчики имеют различное направление движения. Кран-трубоукладчик, расположенный слева, имеет передний ход по направлению сверху вниз, а кран-трубоукладчик, расположенный справа,— ход по направлению снизу вверх. Краны-трубоукладчики поднимают блок турбоагрегата над платформой трейлера примерно на 300 мм, после чего трейлер удаляют за пределы фундамента. Затем блок турбоагрегата плавно опускают на фундамент. При этом добиваются совпадения осей блока с осями фундамента, а опорных цапф — с колодцами в фундаменте под фундаментные болты. Предварительно перед монтажом блока турбоагрегата на опорные поверхности фундамента укладывают набор плоских или парных клиновых подкладок. Толщину этих наборов подбирают заранее по данным геодезических замеров. После установки на фундамент блока турбоагрегата приступают к выверке этого блока.

Местный подъем блока турбоагрегата при выверке осуществляют реечным домкратом, а проверку горизонтальности — слесарным уровнем. Плотность прилегания подкладок в наборе проверяют с помощью щупа. После выверки через отверстия в опорных цапфах вводят в колодцы фундамента фундаментные болты. Выверяют их высотное и плановое положение и заполняют колодцы, в которые введены фундаментные болты, мелкозернистой бетонной смесью. После затвердения бетонной смеси и набора бетоном необходимой прочности (не менее 70 % проектной) проводят окончательную выверку и закрепление блока турбоагрегата. При окончательной выверке еще раз проверяют горизонтальность блока и затягивают фундаментные болты.

В блоке турбоагрегата роторы силовой турбины привода и нагнетателя окончательно прицентрованы на заводе, а сам турбоагрегат жестко закреплен на сталежелезобетонной плите. В связи с этим при монтаже турбоагрегата проводят только проверку соосности роторов силовой турбины привода и нагнетателя, соединенных зубчатой муфтой. Для проведения центровки на зубчатых обоймах роторов турбины низкого давления (силовой) и нагнетателя закрепляют приспособления для центровки. По индикаторам проверяют перекосы роторов (переломы осей) и смещение осей роторов. При необходимости проводят прицентровку роторов силовой турбины и нагнетателя путем изменения их положения при неподвижном нагнетателе. Допустимый перелом осей роторов составляет 0,1 мм, а смещение осей ротора — 0,3 мм.

Оба крана-трубоукладчика сразу после установки на фундамент блока турбоагрегата переводят к следующему фундаменту

для монтажа блока второго турбоагрегата. При этом кран-трубоукладчик с *Ст1* переводят на *Ст2'* передним ходом, а *Ст1'* на *Ст2* задним ходом.

После окончания монтажа блока трубоагрегата на первом фундаменте приступают к монтажу остальных четырех блоков газоперекачивающего агрегата (см. рис. 99). Монтаж блоков массой, не превышающей 10,2 т, ведут с помощью самоходного автомобильного крана КС-4561 максимальной грузоподъемностью 16 т. К месту стоянки крана монтажные блоки доставляют грузовым автомобилем КрАЗ-257 грузоподъемностью 12 т. Из оставшихся четырех блоков только один блок всасывающей камеры с контейнером автоматики устанавливают на фундамент и соединяют с блоком турбоагрегата. Остальные блоки устанавливают и закрепляют на блоке турбоагрегата и блоке всасывающей камеры с контейнером автоматики. Соединение блоков осуществляют через прокладки на болтах. Все блоки (II—V) монтируют автомобильным краном с одной стоянки.

Блок всасывающей камеры с контейнером автоматики устанавливают на опорные стальные брусья, которые предварительно укладывают и выверяют на фундаменте. Блок на опорных брусьях устанавливают в проектное положение с помощью домкратов с применением плоских или парных клиновых подкладок и с выверкой горизонтальности уровнями. После установки в проектное положение блок всасывающей камеры соединяют с блоком турбоагрегата. Стыковку блоков осуществляют через диффузор. При этом смещение соединительных фланцев блоков не должно превышать 10 мм. После стыковки между соединительными фланцами диффузоров и блока всасывающей камеры устанавливают уплотнительную прокладку и соединяют их болтами. Затем внутри турбоагрегата монтируют ограждения турбины и монорельс, на котором закрепляют ручную таль, применяемую при текущем ремонте турбоагрегата. Блок выхлопного устройства (выхлопной шахты) с шумоглушителем монтируют непосредственно на блок турбоагрегата с помощью четырехветвевого стропа. Блоки стыкуют с установкой стяжных болтов. Между опорными поверхностями размещают уплотнительную прокладку, а затем затягивают болты. Отклонение от вертикали на всей высоте выхлопной шахты допускается не более 10 мм.

Четвертым монтируют блок маслоохладителей, для чего применяют универсальную траверсу и две кольцевые самоуравновешивающиеся стропы. Блок маслоохладителей устанавливают на опорные верхние поверхности блока турбоагрегата через уплотнительные прокладки и закрепляют болтами.

Последним монтируют блок воздухоочистительного устройства. Перед монтажом блок ВОУ укрупняют из двух блоков (фильтров и шумоглушителей) и элементов площадки обслуживания. Предварительный монтаж (укрупнение) блока ВОУ

осуществляют на специально отведенной площадке укрупнительной сборки. Блоки фильтров и шумоглушителей собирают на уплотнительных прокладках и закрепляют болтами. Элементы площадки обслуживания монтируют на кронштейнах блока шумоглушителя. Укрупненный блок ВОУ доставляют грузовым автомобилем к месту монтажа и устанавливают самоходным автомобильным краном КС-4561 на верхнюю опорную поверхность через уплотнительные прокладки на блок всасывающей камеры. Блоки ВОУ и всасывающей камеры соединяют болтами.

Завершают монтаж блочного газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3 установкой всасывающего и нагнетательного патрубков центробежного нагнетателя. Монтаж патрубков выполняют непосредственно перед началом монтажа обвязки нагнетателя.

Монтаж блоков газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-16 с авиационным приводом выполняют аналогично вышеописанному монтажу газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-6,3, т. е. путем установки и состыковки блоков. Отличие монтажа — в массе блоков (блок турбоагрегата массой до 70 т), а следовательно, в применении более мощных грузоподъемных кранов.

Для монтажа турбоблоков газоперекачивающего агрегата, ГПА-Ц-16 массой 70 т используют один монтажный кран грузоподъемностью 100 т (гусеничный (СКГ-100, пневмоколесный КС-8362Д) или чаще два крана грузоподъемностью по 40—50 т (СКГ-40, пневмоколесные МКП-40). После установки, выверки и закрепления турбоблока в контейнере на фундаменте монтируют опору выхлопной шахты в виде четырех опорных ног, укрепленных раскосами. Затем устанавливают выхлопную шахту, состоящую из собственно шахты, шумоглушителя и промежуточного блока. После этого монтируют камеру всасывания, которую устанавливают на фундамент и соединяют с блоком турбоагрегата через диффузор. Соединение блоков, как и для ГПА-Ц-6,3, выполняют на болтах с применением уплотнительных прокладок. После окончания монтажа камеры всасывания монтируют последовательно блоки маслоагрегатов, вентиляции и автоматики. Затем устанавливают шумоглушитель всасывающей камеры. И, наконец, в последнюю очередь монтируют воздухоочистительное устройство.

Газоперекачивающий агрегат ГПУ-10 в блочном исполнении с приводом от судового газотурбинного двигателя, применяемый на компрессорных станциях, размещают в индивидуальном здании. Мощность привода — 10 000 кВт. Необходимость строительства индивидуального здания для ГПУ-10 связана с тем, что основной блок — блок турбоагрегата выполнен не в виде единого блока, размещенного в транспортабельном блок-контейнере, как у агрегатов ГПА-Ц-6,3, а в виде отдельных блоков: центробежного нагнетателя и газотурбинного судового двигателя. Причем габариты этого двигателя не по-

зволяют объединить их в единый блок турбоагрегата и поставлять в готовом блок-контейнере. Блок центробежного нагнетателя состоит из собственно нагнетателя 370-18-1 и рамы. Блок газотурбинного судового двигателя ДР-59Л поставляют в транспортном контейнере. Кроме нагнетателя и газотурбинного судового двигателя в состав газоперекачивающего агрегата входят еще четыре монтажных блока: выхлопной шахты; шахты забора охлаждающего воздуха; шахты забора воздуха для горения газа; воздухоохлаждающего устройства. Каждый из перечисленных блоков состоит из отдельных узлов (табл. 35).

Монтаж нагнетателя 370-18-1 выполняют самоходным гусеничным краном СКГ-40 или краном трубоукладчиком ТГ-502 в зависимости от степени готовности индивидуального укрытия. Для монтажа блока газотурбинного двигателя используют самоходный гусеничный кран СКГ-40 или спаренные краны-трубоукладчики грузоподъемностью не менее 20 т. Для закатки блока газотурбинного двигателя на фундамент в проектное положение используют рельсовый путь, уложенный на фундаменте в зоне монтажа, и тяговые лебедки. Для монтажа остальных блоков газоперекачивающего агрегата применяют

Таблица 35. Характеристика монтажных блоков газоперекачивающего агрегата ГПУ-10 с судовым газотурбинным двигателем

Блок	Масса, т	Габариты, мм		
		длина	ширина	высота
Центробежный нагнетатель 370-18-1 с рамой-маслобаком	25,8	4 000	3000	4200
Блок газотурбинного судового двигателя ДР-59Л с кузовом	30	11 000	3600	3900
Выхлопная шахта	6,925	—	—	—
В том числе:				
шахта с выхлопной трубой	3,83	4 000	2440	4380
переходник	0,205	2 830	2900	490
глушитель	2,89	3 350	3350	2110
Шахта забора охлаждающего воздуха	1,30	—	—	—
В том числе:				
глушитель и проставка	0,52	1 600	1300	1200
проставка	0,62	1 400	1300	3000
воздухозаборник	0,16	1 700	1300	810
Шахта забора воздуха для горения газа	8,285	—	—	—
В том числе:				
шахта забора воздуха	6,7	3 500	4000	5000
проставка	1,585	5 310	3220	2100
Воздухоохлаждающее устройство	5,1	—	—	—
В том числе:				
блок воздухоочистительный	4,6	8 500	2750	3100
Установка вентиляторов	0,5	—	—	—
Всего	77,4	—	—	—

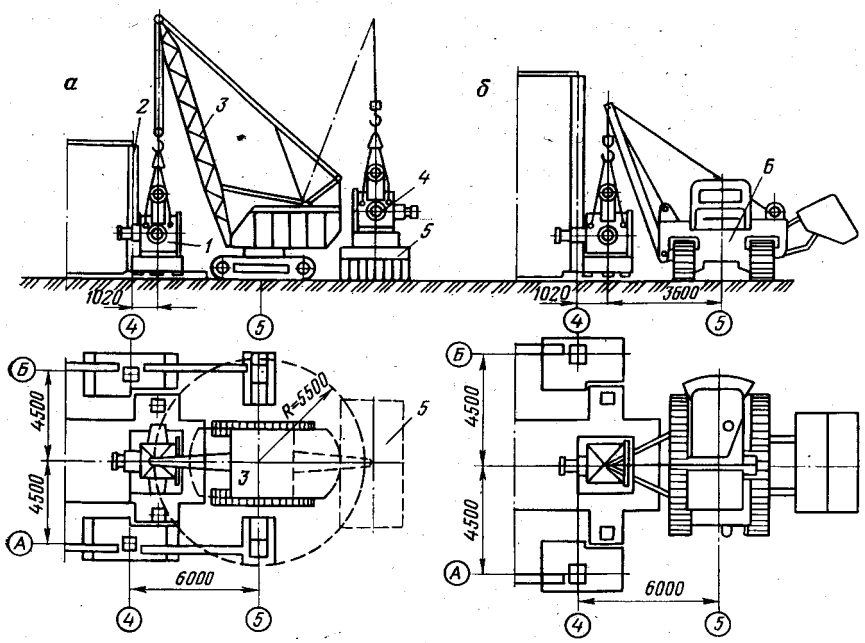


Рис. 101. Монтаж центробежного нагнетателя газоперекачивающего агрегата ГПУ-10 с помощью монтажного самоходного гусеничного крана *(а)* и крана-трубоукладчика *(б)*:

1 — нагнетатель на фундаменте; *2* — поперечная рама здания по оси 4; *3* — самоходный гусеничный монтажный кран; *4* — нагнетатель на трейлере; *5* — трейлер; *6* — кран-трубоукладчик; *А, Б* — продольные оси; цифры в кружках — поперечные оси

самоходный гусеничный кран максимальной грузоподъемностью 25 т.

До начала монтажа газоперекачивающего агрегата принимают от строительной организации фундамент, индивидуальное здание с опорными конструкциями для установки шахт забора воздуха и выхлопа, а также рельсовый путь.

Монтаж блоков газоперекачивающего агрегата ГПУ-10 проводят в следующей последовательности: монтаж нагнетателя 370-18-1; монтаж и центровка блока газотурбинного двигателя ДР-59Л; монтаж шахт выхлопа, забора охлаждающего воздуха, забора воздуха, необходимого для сжигания газа в ГПУ, и монтаж ВОУ.

Центробежный нагнетатель монтируют на фундамент в отделении нагнетателя между поперечными осями 4—5 индивидуального здания (рис. 101). В зависимости от степени готовности здания монтаж центробежного нагнетателя ведут либо с помощью гусеничного крана грузоподъемностью 40 т, либо с помощью крана-трубоукладчика грузоподъемностью 90 т. Если монтаж каркаса здания между осями 4—5 закончен, то

центробежный нагнетатель устанавливают на фундамент самоходным краном СКГ-40 грузоподъемностью 40 т со стрелой длиной 15 м. В этом случае нагнетатель в зону действия крана доставляют на трейлере грузоподъемностью 40 т. Подъем и перемещение нагнетателя осуществляют неподвижным краном с поворотом стрелы на 180°. Наличие на кране стрелы длиной 15 м позволяет обеспечить подачу нагнетателя внутрь каркаса здания с последующей установкой на фундамент сразу после подъема нагнетателя над площадкой трейлера. Последний перед поворотом крана удаляют из зоны монтажа. Если же фундаменты здания и элементы каркаса по оси *5* не смонтированы, то монтаж нагнетателя ведут с помощью крана-трубоукладчика. В этом случае кран-трубоукладчик «своим ходом» доставляет нагнетатель подвешенным на стреле от места разгрузки к месту монтажа и устанавливает его на фундамент. При этом добиваются совпадения осей фундамента и нагнетателя. Вертикальная ось должна проходить от оси *4* здания на расстоянии 1020 мм. Строповку нагнетателя выполняют за монтажные рым-болты с помощью четырехветвевого стропа. При установке нагнетателя отверстия в его раме наводят на опускные колодцы фундамента. Нагнетатель центрируют и добиваются его горизонтального положения с помощью домкратов и плоских или парных клиновых подкладок. После установки фундаментных болтов и окончательной центровки и выверки нагнетатель закрепляют в проектном положении путем затяжки фундаментных болтов.

При монтаже нагнетателя допустимые отклонения от горизонтальной оси нагнетателя до нулевой отметки составляют ±2 мм, в горизонтальной плоскости — не должны превышать ±2 мм.

После окончания монтажа нагнетателя на первом фундаменте приступают к монтажу блока газотурбинного двигателя. До начала монтажа на рельсовом пути перед фундаментом на длине 12 м устанавливают четыре клетки из шпал (брусьев), укладываемых поперек рельсов. Высота шпальных клеток должна обеспечить последующую установку на раме блока газотурбинного двигателя специальных съемных инвентарных катков, которые необходимы для закатывания блока газотурбинного двигателя в здание на фундамент. Блок газотурбинного двигателя доставляют к месту монтажа на трейлере грузоподъемностью 40 т. Установку блока газотурбинного двигателя на шпальные клети выполняют либо одним краном СКГ-40 (рис. 102), либо двумя кранами-трубоукладчиками грузоподъемностью не менее 20 т каждый. В первом случае трейлер с блоком устанавливают параллельно рельсовому пути, во втором случае — в конце рельсового пути по его оси. Перемещение блока газотурбинного двигателя на шпальные клети осуществляют при повороте стрелы крана СКГ-40 на 180° или при продольном перемещении спаренных кранов-трубоуклад-

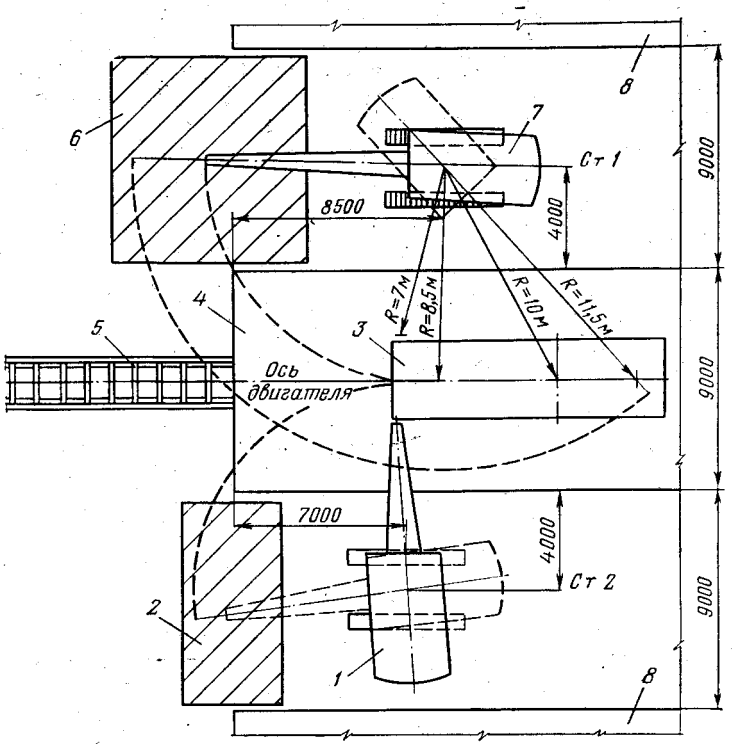


Рис. 102. Подъем блока судовой газотурбинной установки с помощью одного крана СКГ-40:

1, 7 — монтажный гусеничный кран; *2, 6* — площадки складирования; *3* — блок газотурбинного судового двигателя; *4* — индивидуальное здание; *5* — рельсовый путь; *8* — индивидуальное здание ГПУ-10; *Ст1, Ст2* — стоянки крана; *R* — радиус действия крана при различном вылете стрелы

чиков. Блок газотурбинного двигателя поднимают с применением траверсы и двух двухветвевых строп (при подъеме одним краном СКГ-40) или двух двухветвевых строп (при подъеме двумя кранами-трубоукладчиками). Затем на раме двигателя монтируют и закрепляют спаренные инвентарные катки, а блок газотурбинного двигателя поднимают над шпальными клетками, их удаляют и блок опускают на рельсовый путь, на который он опирается уже с помощью катков. После этого приступают к основной операции монтажа — закатыванию блока газотурбинного двигателя до рельсовому пути на фундамент.

Перемещение блока по рельсовому пути осуществляют с помощью лебедки тяговым усилием 30 кН и полиспаста. Причем в работе участвуют две лебедки: тяговая для перемещения блока и удерживающая (страховочная) для предотвращения самопроизвольного качения блока. С помощью лебедок блок судовой газотурбинной установки надвигают (закатывают) на фундамент (рис. 103) и устанавливают на опоры.

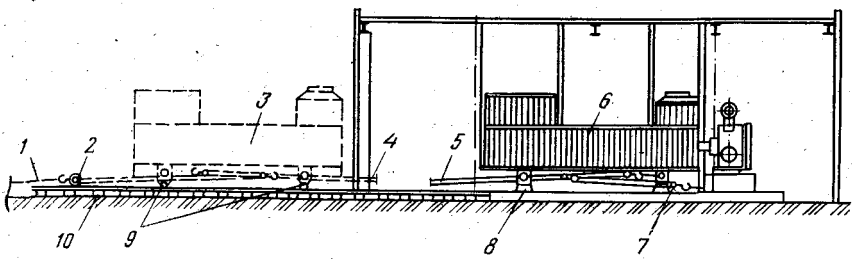


Рис. 103. Надвижка (закатывание) блока судовой газотурбинной установки на фундамент по рельсовому пути с помощью лебедок (талей):

1 — канат, идущий на якорь; *2* — оттяжная (тормозная) таль; *3* — исходное положение блока двигателя; *4* — канат, идущий на тяговую таль; *5* — канат, идущий на оттяжную таль; *6* — проектное положение блока двигателя; *7* — тяговая таль; *8* — опора; *9* — каток; *10* — рельсовый путь

Для этого четырьмя домкратами поднимают блок газотурбинного двигателя и с него снимают и выкатывают инвентарные катки, которые используют при монтаже следующих газоперекачивающих агрегатов. Затем блок опускают на опорные поверхности фундамента. Соединение роторов силовой турбины двигателя и нагнетателя осуществляют рессорой (эластичной) трансмиссией. В торцевой стенке кузова блока газотурбинного двигателя имеется фланец, который соединяют с фланцем кожуха рессоры. После этого выполняют прицентровку ротора двигателя к ротору нагнетателя с помощью плоских или двойных клиновых подкладок, а также установку и затяжку фундаментных болтов.

Центровку роторов газотурбинного двигателя и нагнетателя проверяют приспособлением с индикаторами. Причем при монтаже блока газотурбинного двигателя необходимо соблюдать следующие допустимые отклонения: разность длин диагоналей между опорами — 3 мм; расстояние от горизонтальной оси агрегата до поверхности опоры — 1 мм; отклонение плоскостей поверхностей опор — 0,1 мм.

Выхлопные шахты, шахты забора охлаждающего воздуха и забора воздуха для горения газа и воздухоохлаждающее устройство монтируют из отдельных узлов. Монтаж ведут с помощью самоходного гусеничного крана РДК-25 грузоподъемностью 25 т и со стрелой длиной 22,5 м с двух стоянок (рис. 104). Кран расположен между индивидуальными укрытиями агрегата. Строповку узлов шахт и ВОУ выполняют с помощью четырехветвевых строп. Узлы шахт и ВОУ подают в зону монтажа на специально отведенную площадку, с которой кран РДК-25 переносит их для установки в проектном положении.

Шахты опирают на специальные несущие конструкции, смонтированные вместе с каркасом индивидуального здания. Для монтажа шахт в покрытии здания оставляют проемы. Вначале монтируют выхлопную шахту путем последователь-

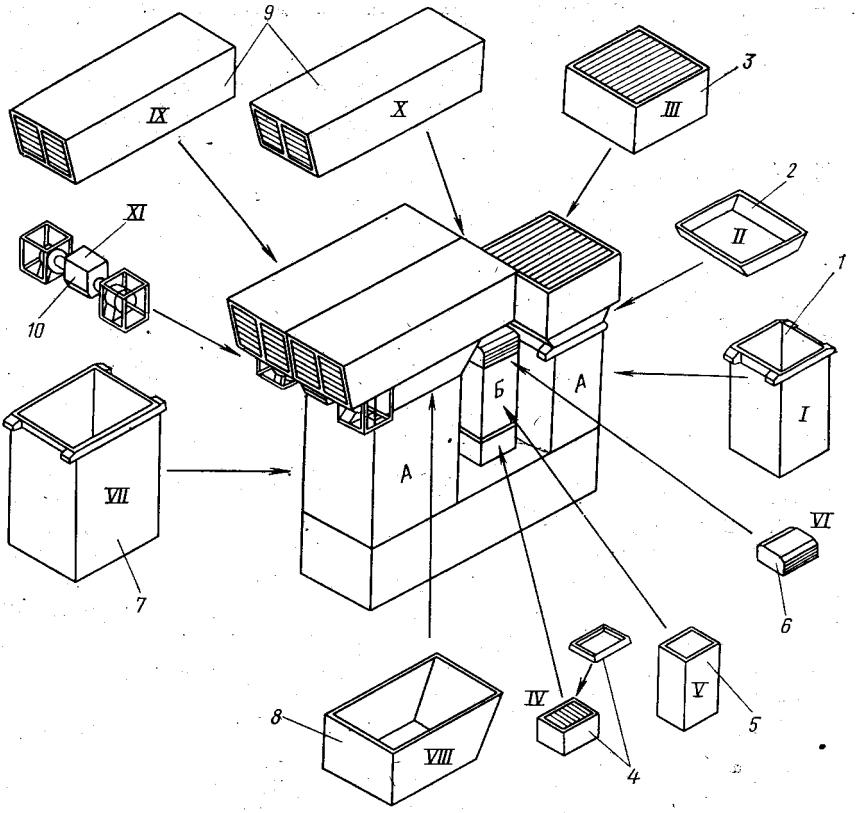


Рис. 104. Монтаж блоков газоперекачивающего агрегата ГПУ-10:
А — шахты забора воздуха для горения газа и охлаждения; *Б* — выхлопная шахта; *I—XI* последовательность монтажа блоков; *1* — выхлопная шахта выхлопа; *2* — переходник; *3* — воздухоочиститель; *4, 6* — глушитель; *5, 8* — проставка; *7* — шахта забора воздуха; *9* — воздухоочистительные блоки; *10* — вентиляторы

ного монтажа трех узлов: шахты, переходника и глушителя. Шахту устанавливают на опорную поверхность кузова блока газотурбинного двигателя через установочные прокладки и закрепляют болтами. После окончания монтажа выхлопной шахты приступают к монтажу шахты забора охлаждающего воздуха путем последовательного монтажа трех узлов: глушителя, проставки и воздухозаборника. После окончания монтажа шахты забора охлаждающего воздуха монтируют шахту забора воздуха для горения газа. Вначале монтируют собственно шахту, которую через верхние опорные выступы опирают на несущие конструкции, а нижнюю плоскость стыкуют со стыковочным поясом кузова блока газотурбинного двигателя. Закрепление шахты осуществляют через уплотнительные прокладки на болтах. На верхнюю поверхность шахты монтируют проставку. На проставку шахты забора воздуха устанав-

ливают воздухоочистительное устройство, состоящее из трех узлов: двух блоков воздухоочистителей и установки вентиляторов.

Глава 12

Монтаж основного и вспомогательного технологического оборудования насосных и компрессорных станций

31. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ И ПРИЕМКА ФУНДАМЕНТОВ

До начала монтажа основного и вспомогательного технологического оборудования и трубопроводов заканчивают работы нулевого цикла в объеме, предусмотренном проектом. В частности, заканчивают строительство фундаментов технологического оборудования, БКУ, блок-боксов и блок-контейнеров, а также монтаж строительных конструкций и фундаментов надземных технологических трубопроводов. Требования к приемке фундаментов технологического оборудования аналогичны изложенным выше требованиям к приемке фундаментов зданий и перекачивающих агрегатов (внешний вид, отсутствие сколов и трещин, соответствие размеров проектным и др.). Если технологическое оборудование устанавливают на фундамент с подливкой бетонной смесью, то фундамент сдают под монтаж незабетонированным на 50—60 мм ниже проектной отметки опорной поверхности оборудования. При наличии на опорной поверхности оборудования выступающих ребер фундамент сдают с опорной поверхностью, расположенной на 50—60 мм ниже отметки ребер.

На фундаментах, сдаваемых под монтаж, должны быть нанесены разбивочные оси, рабочие реперы или рабочие высотные отметки. На фундаментах, предназначенных для установки БКУ и оборудования, оси наносят на закладные металлические детали, а высотные отметки фиксируют на реперах.

Приемка под монтаж элементов нулевого цикла регламентирована комплексом организационно-технологических требований.

Генподрядная строительная организация обязана сдать выполненные ею основания и фундаменты опорных конструкций надземных технологических трубопроводов, несущих конструкции кабельных коммуникаций, БКУ и оборудования по акту монтажной (субподрядной) организации в сроки, предусмотренные согласованным графиком, а субподрядчик обязан при-

нять их в течение трех дней со дня получения извещения о готовности элементов нулевого цикла к проведению строительно-монтажных работ наземного периода. К актам приемки фундаментов оборудования и опорных конструкций генподрядная строительная организация прилагает рабочие чертежи фундаментов с надписями о соответствии этим чертежам выполненных в натуре работ или с внесенными изменениями. Эти чертежи являются исполнительной документацией на фундаменты.

При приемке работ нулевого цикла генподрядчик предъявляет субподрядчику акты готовности элементов нулевого цикла под монтаж. Указанные документы являются основанием для оформления акта готовности работ нулевого цикла к проведению строительно-монтажных работ наземного периода.

Оборудование в монтаж передают по заявке монтажной организации, что оформляют актом по специальной форме ЦСУ СССР. Работы по приемке и подготовке к монтажу проводят в соответствии со СНиП 3.05.05—84 «Технологическое оборудование и технологические трубопроводы» и СНиП III-42—80 «Правила производства и приемки работ. Магистральные трубопроводы» и документацией завода-изготовителя.

Металлоконструкции, трубы, трубные узлы, а также оборудование, принятое в монтаж, складируют на специальных площадках, примыкающих к площадке укрупнительной сборки. При этом принимают во внимание последовательность их укрупнительной сборки и монтажа.

Узлы трубопроводов, металлоконструкций и, в случае необходимости, оборудование до начала монтажа проходят укрупнительную сборку. Максимальная масса узлов и блоков лимитируется характеристикой грузоподъемного механизма, с помощью которого их монтируют. Максимальные габариты этих узлов и блоков обусловлены условиями монтажа, а также транспортировки в зону монтажа.

32. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Монтаж установки очистки газа. Установка, предназначенная для очистки газа от механических примесей и конденсата, состоит из группы аппаратов колонного типа — пылеуловителей и их трубной обвязки. До начала монтажа установки необходимо выполнить комплекс мероприятий и работ, указанных выше, и кроме того провести укрупнительную сборку узлов на сборочно-сварочном стенде, расположенном в специальной зоне, предусмотренной стройгенпланом.

После доставки пылеуловителей и трубных узлов в монтажную зону установку очистки газа собирают в следующей последовательности: подъем и установка в вертикальное положение пылеуловителей; укладка коллекторов в траншеи; монтаж обвязочных трубопроводов.

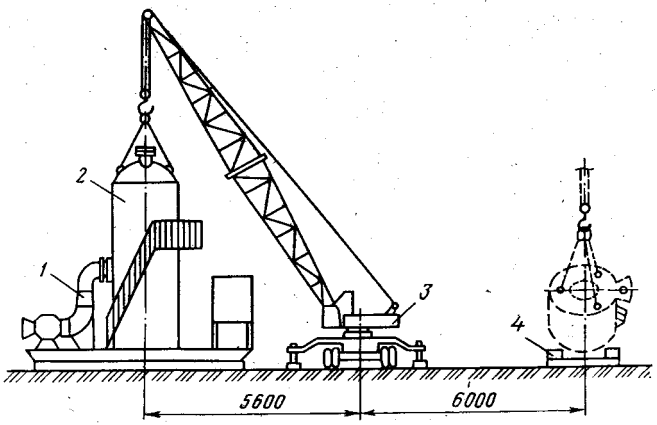


Рис. 105. Монтаж вертикальных сепараторов-пылеуловителей:
1 — подводящий трубопровод; *2* — сепаратор-пылеуловитель; *3* — монтажный автомобильный кран; *4* — шпальная клетка (опора)

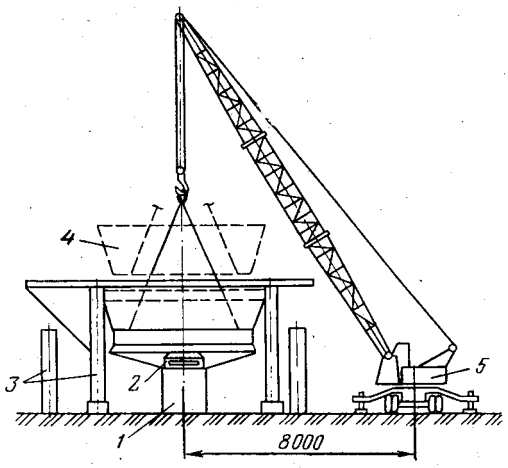


Рис. 106. Монтаж АВО газа:
1 — фундамент электродвигателя; *2* — электродвигатель; *3* — опоры; *4* — корпус; *5* — монтажный кран

Подъем и установку пылеуловителей в проектное положение осуществляют одним краном или двумя кранами с одновременным подтаскиванием (в процессе подъема) низа аппаратов краном-трубоукладчиком (рис. 105). Монтаж коллекторов осуществляют двумя кранами-трубоукладчиками или одним краном грузоподъемностью 25 т, монтаж обвязочных трубопроводов — тем же краном с длиной стрелы 17,5 м. Таким образом, при монтаже установки очистки газа необходимы следующие машины и такелажная оснастка; монтажный кран грузоподъемностью 25 т, краны-трубоукладчики грузоподъемностью 15 и 63,5—70 т, сварочные агрегаты, стропы — грузовой, подтаскивающий, кольцевой, универсальный, оттяжной, временные опоры под аппарат.

Монтаж установки аппаратов воздушного охлаждения газа (АВО газа). Установка АВО газа предназначена для его

охлаждения после компримирования и состоит из группы аппаратов, каждый из которых включает: секцию трубных пучков, диффузор, электродвигатель привода вентилятора, колесо вентилятора, металлоконструкции опор, жалюзи, трубную обвязку.

Монтаж установки АВО газа выполняют в следующей последовательности: монтаж аппаратов, укладка коллекторов, монтаж обвязочных трубопроводов.

Монтаж каждого аппарата начинают с установки металлоконструкции опор (рис. 106). Предварительно перед этим устанавливают приводы вентиляторов-электродвигатели. Для установки последних применяют временные опоры. Затем приступают к монтажу трубных пучков с фланцами. По окончании монтажа трубных пучков выверяют и закрепляют электродвигатели. После этого последовательно монтируют жалюзи, диффузоры и вентиляторы. Монтаж аппаратов выполняют краном грузоподъемностью 25 т.

После монтажа аппаратов отрывают траншеи под коллекторы. Укладку коллекторов в траншеи выполняют двумя трубоукладчиками.

Обвязочные трубопроводы монтируют краном последовательно с первого до последнего аппарата — сначала с одной стороны установки, затем с другой. Последовательность монтажа этих трубопроводов на каждом аппарате со стороны входа или выхода газа следующая: монтаж коллектора, монтаж узла трубопровода от коллектора до крана.

В комплект машин, механизмов и оснастки для монтажа установки АВО газа входят: монтажный кран, трубоукладчик, сварочный агрегат, временные опоры для монтажа электродвигателя АВО газа, стропы универсальные и четырехветвевой.

33. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ МОНТАЖА БЛОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО И СЛУЖЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСОВ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ

При сооружении насосных и компрессорных станций применяют различные варианты монтажа блочных устройств:

установка блоков и блок-боксов с металлическим основанием с трейлера на монолитный железобетонный или свайный фундамент с ростверком высотой до 1500 мм;

установка блоков и блок-боксов с металлическим основанием с трейлера на монолитный железобетонный или свайный фундамент с ростверком высотой от —0,200 до +0,200;

установка блоков и блок-боксов на указанные выше типы фундаментов при использовании для их перевозки саней высотой до 800 мм или стального листа;

установка блоков и блок-боксов с металлическим основанием на безростверковый свайный фундамент;

установка блоков и блок-боксов с основанием в виде железобетонной плиты (не допускающей нагрузок на растяжение) на указанные фундаменты;

установка блоков и блок-боксов с креплением их анкерами, заделанными в фундаменты.

Монтажные работы на строительной прощадке насосных и компрессорных станций организуют в определенной последовательности, обеспечивающей монтаж непосредственно с транспортных средств. В этом случае погрузку оборудования на средства транспорта для подачи его на монтаж осуществляют как на заводе-изготовителе блоков, так и на сборочной площадке промежуточной базы на прирельсовом или приобъектном складе. При выборе грузоподъемных машин для производства монтажных работ следует учитывать массу блока; для блока массой до 5 т рекомендуется использовать кран грузоподъемностью 10 т; для блока массой до 10 т — кран грузоподъемностью не менее 10 т при вылете стрелы 5 м; для блока массой до 15 т — кран грузоподъемностью не менее 15 т при вылете стрелы 4 м; для блока массой до 25 т — кран грузоподъемностью не менее 40 т при вылете стрелы 4,5 м или два синхронно работающих крана грузоподъемностью 16—20 т каждый; для блока массой 25—40 т — кран соответствующей грузоподъемности или несколько кранов необходимой суммарной грузоподъемности; для блока массой более 40 т — кран соответствующей грузоподъемности или несколько кранов необходимой суммарной грузоподъемности и специальные такелажные приемы с помощью комплекта оснастки.

Монтаж блочных и блочно-комплектных устройств обычно проводят в последовательности:

монтаж блок-боксов, используемых строителями и монтажниками, т. е. бытовых помещений, пунктов связи, фельдшерского пункта, а также сборно-разборных зданий;

монтаж блоков распредустройства, узла связи, трансформаторной подстанции, блоков подачи воды и т. д.;

монтаж технологических установок, агрегатов основного и вспомогательного назначения, последовательность подачи которых на монтажную площадку определяется удобством применения крановых средств;

монтаж эстакады технологических трубопроводов и межблочных коммуникаций.

Все блочные устройства для осуществления данной последовательности монтажа разбивают на монтажные группы. При этом устанавливают монтажную зависимость блоков в группе и групп между собой. На основе этого каждой группе и каждому блоку в составе группы присваивают определенный номер, указывающий на очередность подачи под монтаж и монтажа в соответствии с графиком.

Монтаж с помощью грузоподъемных кранов (разгрузку с транспортного средства и установку в проектное положение) осуществляют следующим образом: транспортное средство с погруженным на него блоком накатывают на подготовленный фундамент; положение блока по отношению к фундаменту проверяют провеской углов; расположенные с обеих сторон блока два крана (или один кран) приподнимают блок и после вывода транспортного средства из-под монтируемого блока опускают его на основание.

Для монтажа блочных и блочно-комплектных устройств массой, превышающей максимальную грузоподъемность крана, имеющегося на строительной площадке, применяют бескрановые методы. В качестве примера бескранового монтажа блоков и блок-боксов может служить технология проведения монтажных работ с помощью саморазгружающегося транспорта грузоподъемностью 45 т на базе седельного тягача с полуприцепом ЧМЗАП-5247 (Г). На базовом тягаче смонтирована насосная станция, гидробак и механизм включения насоса. На полуприцепе установлено разгружающее оборудование, включающее в себя подвижную раму и ее опорные элементы, а также механизмы раздвижки, наклона и спуска груза. В передней части подвижной рамы имеется ловитель, центрирующий раму и воспринимающий боковые инерционные нагрузки, а также механизм спуска, состоящий из гидроцилиндра и тросов с блоками. При монтаже транспортер наезжает на фундамент, подвижная рама трейлера наклоняется под действием гидроцилиндров с последующим откатыванием трейлера в противоположную сторону до тех пор, пока блок-бокс не коснется фундамента. В этом положении блок-бокс заякоривают тросом и фиксируют. После заякоривания трейлер отъезжает и блок-бокс, сползая, устанавливается в проектное положение.

Перед монтажом блок-боксов подготавливают подъездные пути на одинаковой отметке с фундаментом со стороны въезда и выезда.

При отсутствии кранов и устройств необходимой грузоподъемности монтаж наиболее тяжелых (в том числе крупногабаритных) блоков можно выполнять методом надвижки на фундамент при помощи лебедок, гидравлических домкратов, тракторов-тягачей или специальных устройств.

Для дальнейшего расширения применения крупногабаритных блоков (суперблоков) массой более 300 т в перспективе будут разработаны транспортно-монтажные средства повышенной грузоподъемности: универсальные саморазгружающиеся транспортеры, работающие на любых грунтах — на песках и мерзлых грунтах, на болотах и др., способные перевозить блоки массой до 2000 т. В наибольшей степени этим требованиям отвечают платформы на воздушной подушке.

Монтаж оборудования и блочных устройств насосных и компрессорных станций осуществляют методом непрерывного

(долговременного) потока силами укрупненных комплексных хозрасчетных бригад численностью до 65—70 человек и более.

В составе бригад по монтажу насосной станции организуют следующие звенья (специализированные потоки): по монтажу магистральных насосов и электродвигателей; сборке, сварке и испытанию технологических трубопроводов; монтажу вспомогательного технологического оборудования и общего здания насосных агрегатов; монтажу блоков, блок-боксов и блок-контейнеров. Для повышения организационно - технологической надежности предусматривают комплексную (поэтапную) специализацию звеньев, что обеспечивает возможность маневрирования ресурсами.

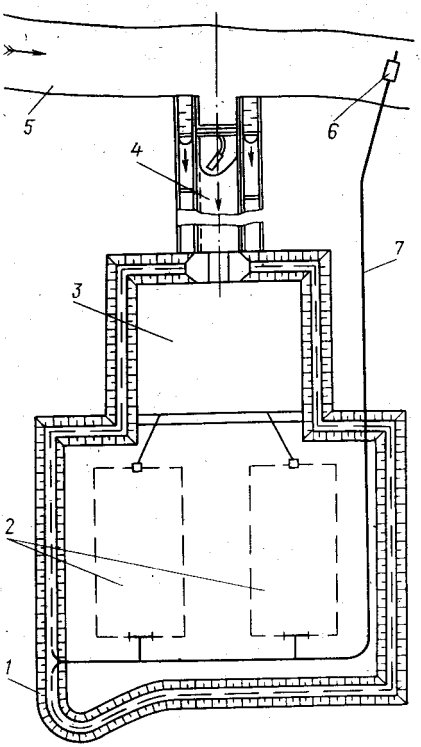


Рис. 107. Принципиальная схема сооружения объектов из функциональных блок-модулей на наплавных основаниях:
1 — защитная дамба (обваловка); *2* — монтажные площадки; *3* — накопитель; *4* — канал; *5* — река; *6* — землесосный снаряд; *7* — трубопровод

Представляет интерес технология возведения объектов из функциональных блоков-модулей на наплавных основаниях. Данный вариант целесообразен для районов Западной Сибири со слаборазвитой сетью транспортных магистралей, обширными заводненными территориями и сетями мелководных рек и болот, отсутствием баз стройиндустрии, сложными гидрогеологическими и климатическими условиями и др.

Монтаж блоков-модулей по этой схеме осуществляют методом шлюза-дока, сущность которого заключается в следующем.

Блоки-модули изготавливают и испытывают на заводе-изготовителе и водным путем доставляют к площадке, на которой заблаговременно выполняют подготовительные работы, включающие: выторфовку территории, прокладку инженерных сетей, гидромеханизированную разработку грунта в канале и ковше-накопителе, намыв площадки и дамбы обвалования, устройство свайных фундаментов (рис. 107). Затем наплавные блоки и буксиры по каналу заходят в ковш-накопитель, где пришвартовываются к специальным сваям, заложенным в дамбу обвалования. После этого перемычки на канале засы-

пают с помощью бульдозеров. Внутренний откос дамбы обвалования для уменьшения фильтрации воды покрывают полиэтиленовой пленкой. На площадке проводят разметку мест установки и якорение блоков при помощи тросов с поплавками, имеющими соответствующую маркировку. После засыпки перемычки на канале плавучая насосная станция закачивает в ковш-накопитель воду до глубины 1,8—2 м по всей площадке.

Буксир и подруливающий буксирный катер подвозят блоки к местам их установки. С блоков баграми поднимают тросы с поплавками и закрепляют их на носовой и кормовой ручных лебедках. С помощью ручных лебедок блоки устанавливают на проектное место.

После установки всех блоков по местам буксиры уходят в ковш-накопитель. Воду с площадки и ковша начинают сбрасывать через спускные трубы. Во время спуска воды блоки с помощью лебедок удерживают в проектном положении.

После посадки блока на место его закрепляют на ростверках. Когда все блоки установлены в проектное положение и закреплены, проводят спуск и откачку воды с площадки и из ковша-накопителя и удаляют перемычки на канале для выхода буксиров. С блоков демонтируют ручные лебедки и возвращают заводу-изготовителю БКУ для повторного использования.

Описанный метод по сравнению с традиционным обеспечивает сокращение продолжительности строительства на 45—50 %.

При установке блоков и блок-боксов должны быть соблюдены все необходимые антикоррозионные мероприятия. Так, например, нельзя устанавливать блоки и блок-боксы, имеющие металлическую раму, непосредственно на грунт. Необходимо устанавливать их на подушки (бетонные, деревянные) или на лежки (инвентарные или образованные полозьями рамы блок-бокса).

В зависимости от характера внешних воздействий и собственных нагрузок блока (блок-бокса) возможны три способа его установки и крепления: анкерное крепление блока к фундаменту; приварка закладных деталей фундамента к раме блока; свободная установка блока на фундамент. Первый способ целесообразен для блока (блок-боксов) с большими динамическими нагрузками; второй — для блока с малыми вибрациями и значительными внешними воздействиями (температурные деформации соединительных трубопроводов, ветер и т. д.); третий — для блока со статическими нагрузками и незначительными внешними воздействиями.

Все закрытые блочные конструкции (блок-контейнеры и блок-боксы) монтируют без раскрытия опломбированных дверей и оконных проемов. По окончании выверки и установки на фундаментах их можно вскрыть в соответствии с техническими условиями.

При сооружении наземных объектов в блочном исполнении пусконаладочные работы имеют свою особенность, поскольку блочные установки или узлы поступают на строительную площадку в полностью собранном и испытанном виде. Поэтому на площадке перед поузловым опробованием проводят гидроиспытание обвязочных трубопроводов только на плотность.

После окончания монтажа технологических установок на строительной площадке испытывают рабочие агрегаты под рабочим давлением отдельно каждой технологической линии в соответствии с требованием Госгазинспекции и техническими условиями на поставку. Приемку в эксплуатацию законченного сооружением объекта проводят в соответствии с действующими инструкциями для обеспечения точности монтажа блочных устройств. Выверку в горизонтальной плоскости проводят по продольным и поперечным осям относительно разбивочных осей фундамента. Вначале проводят выверку блочного устройства по продольным и поперечным осям относительно вынесенных разбивочных осей площадки. Перемещение блочного устройства в горизонтальной плоскости осуществляют домкратами, которые упирают в оголовок сваи и в специально приваренный упор основания блочного устройства или в захватное устройство.

Контроль положения осей блочного устройства (по нанесенным на укрытия отметкам) выполняют рулеткой. Результаты заносят в специальный формуляр.

Выверку в вертикальной плоскости выполняют с помощью домкратов, опирающихся на грунт через подкладки площадью не менее 100×100 см. В образовавшиеся зазоры между основанием и сваей укладывают парные клинья размером 150×200 мм и максимальной толщиной 15 мм (одного клина) с уклоном 1:40, забивая их ударами легкой кувалды. В зазоры между основанием блочного устройства и железобетонными плитами укладывают наборы металлических прокладок размером не менее 150×200 мм и толщиной отдельной прокладки не менее 0,5 мм. По окончании выверки клинья, а также прокладки приваривают электросваркой между собой, а также к основанию блочного устройства и оголовку сваи.

Контроль выверки высотного положения осуществляют нивелиром по отметкам, намеченным на ограждениях блочных устройств. При этом высотное положение первого устанавливаемого блок-контейнера фиксируют относительно высотных отметок осей площадки, а всех последующих блок-контейнеров и блок-боксов — относительно первого. Результат заносят в формуляр.

Для дальнейшего контроля за поведением агрегатов и технологической обвязки забивают три репера (труба диаметром 50 мм на глубину 3 м с шаброванной площадкой наверху размером 120×120 мм), от которых при помощи гидростатического уровня ведут замеры реперных площадок блок-контейне-

ров и блоков арматуры. Первый замер осуществляют сразу же после окончания выверки указанных устройств и приварки клиньев. Результаты замеров заносят в формуляр.

Глава 13

Монтаж технологических трубопроводов насосных и компрессорных станций

34. ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ РАБОТЫ

Технологические трубопроводы насосных и компрессорных станций включают трубопроводы-обвязку насосных и газоперекачивающих агрегатов; внутриплощадочные трубопроводы, соединяющие насосные и компрессорные цехи с технологическим оборудованием; внешние трубопроводы, соединяющие насосные и компрессорные станции с магистральным трубопроводом.

До начала работ по монтажу технологических трубопроводов выполняют подготовительные работы. Прежде всего следует убедиться в полном завершении предусмотренных проектом объеме работ нулевого цикла: земляных по рытью траншей и устройству лотков, опорных устройств, фундаментов под технологические трубопроводы и их отдельные узлы-задвижки, камеры приемки и пуска скребков на насосных станциях, краны и узлы трубопроводов на компрессорных станциях. Внутри насосного или компрессорного цеха для крепления внутрицеховых трубопроводов устанавливают различные детали в виде кронштейнов, опор, подвесок. Монтажная организация до начала монтажных работ принимает от строительной организации фундаменты и опоры под технологические трубопроводы.

В период подготовки заказчик непосредственно или через генподрядную организацию передает монтажной организации чертежи на систему технологических трубопроводов, чертежи предприятия-изготовителя на трубные узлы, технические паспорта узлов трубопроводов.

На монтажную площадку в период подготовки доставляют с заводов-изготовителей и из монтажных мастерских трубные узлы, осуществляют их приемку и складирование. При приемке трубных узлов проверяют соответствие их чертежам и наличие маркировки. На монтажную площадку доставляют также необходимые монтажные машины и механизмы.

35. ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ МОНТАЖА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Большое значение для снижения трудоемкости и сокращения сроков монтажа технологических трубопроводов имеет дальнейшее развитие индустриализации монтажа. Основа индустриализации монтажа — перенос максимально возможного объема монтажных работ в заводские условия, монтажные мастерские и на площадки укрупнительной сборки. Это позволяет значительно сократить объем сборочно-сварочных работ при монтаже технологических трубопроводов непосредственно на строительной площадке, повысить качество этих работ и сократить время, затрачиваемое на монтаж системы технологических трубопроводов.

Для эффективного и экономичного заводского изготовления узлов технологических трубопроводов насосных и компрессорных станций их необходимо типизировать и унифицировать. Сложный трубный узел можно составить из относительно простых по конфигурации элементов. Так, любой трубный узел можно представить состоящим из трех отдельных участков различной конфигурации: Г-образной, Т-образной и прямой. Участки Г-образной конфигурации осуществляют поворот линии трубопровода, а участки Т-образной конфигурации — ответвление линии трубопровода. Участки прямой конфигурации соединяют участки Г- и Т-образной конфигурации. Унифицированные трубопроводные узлы поставляют с заводов-изготовителей по различным ТУ.

Подобное унифицирование выполнено и для элементов технологических трубопроводов компрессорных станций, работающих на давление до 7,5 МПа. В системе Миннефтегазстроя разработан ОСТ-102-46—78 на элементы трубопроводов для

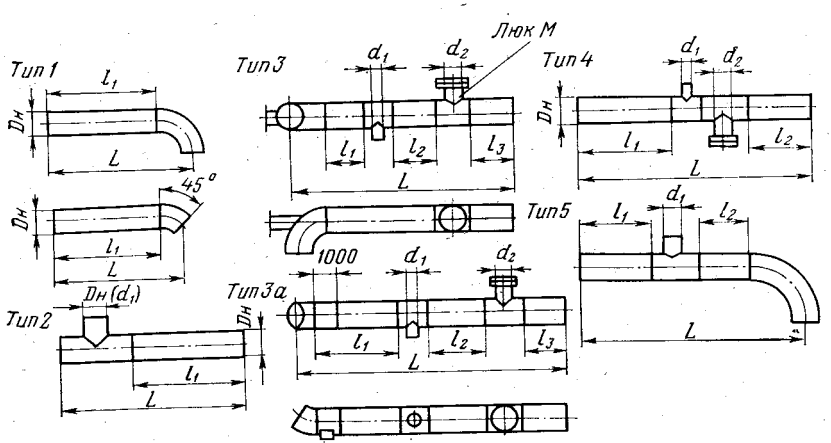


Рис. 108. Элементы основных и комбинированных типов технологических трубопроводов компрессорной станции

Таблица 36. Размеры элементов основных и комбинированных типов

Тип элемента	Наружный диаметр основной трубы, мм	Тип газоперекачивающего агрегата	Размеры элемента, мм					
			d_1	d_2	l_1	l_2	l_3	L
1, 1а	1020	ГТК-10-4	325	530	1100	—	—	7 800
1, 1а	1020	ГПУ-10	325	530	1100	—	—	7 800
3	1020	СТДП-12500	325	530	3700	1700	1500	10 400
3а	1020	СТД-12500	325	530	3400	—	—	10 100
4	720	ГТН-6	325	530	5500	1500	—	9 000
4	720	СТДП-4000	325	530	0	0	—	2 000
4	720	СТДП-4000	325	530	0	2250	—	42 500
4	720	ГПА-Ц-6,3	325	530	0	0	—	2 000
4	720	ГПА-Ц-6,3	325	530	0	2250	—	4 250
5	1020	—	1020	—	1500	0	—	5 100
5	1020	—	1020	—	1500	1000	—	6 100
5	1020	—	720	—	1500	0	—	4 100
5	1020	—	720	—	1500	1000	—	5 100

схем групповой обвязки одноступенчатых центробежных нагнетателей с газоперекачивающими агрегатами ГТК-10-4, СТД-12500, СТД-4000, ГПУ-10, ГТН-6 и двухступенчатых нагнетателей, входящих в ГПА-Ц-6,3. Согласно указанному отраслевому стандарту установлены три основных типа элементов технологических трубопроводов — 1,1а и 2 и четыре комбинированных — 3, 3а, 4 и 5 (рис. 108). Комбинированные типы можно получить путем присоединения к элементам основных типов 1, 1а, 2 по их оси отрезков труб и соединительных деталей трубопроводов (переходов, отводов, днищ-заглушек, тройников). Присоединение каких-либо деталей к элементам комбинированных типов 3, 3а, 4 и 5 не допускается. Причем при составлении элементов трубопроводов комбинированного типа обеспечивают возможность установки одного конца в торцевом центраторе и его закрепление для выполнения поворотной сварки.

Габариты элементов должны удовлетворять требованиям существующих габаритов погрузки, а также удобствам монтажа (табл. 36).

Для изготовления элементов технологических трубопроводов используют трубы соответствующих диаметров и марок сталей. Причем каждая партия труб для изготовления элементов должна иметь сертификат. Требования к прочности, пластичности, ударной вязкости сталей труб для элементов технологических трубопроводов аналогичны требованиям, предъявляемым к трубам для магистральных трубопроводов (раздел 13 СНиП II-45-75 «Магистральные трубопроводы. Нормы проектирования»).

При изготовлении элементов для соединения составляющих частей широко применяют электродуговую сварку (ручную,

автоматическую под слоем флюса, полуавтоматическую в среде защитного газа). Поэтому стали труб для изготовления элементов технологических трубопроводов должны обладать хорошей свариваемостью. Эквивалент углерода этих сталей $C_э$ не должен превышать 0,46 % при определении по формуле Международного института сварки

$$C_э = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15},$$

где C, Mn, Cr, Mo, V, Cu, Ni — максимальное содержание в стали (по массе) соответственно углерода, марганца, хрома, молибдена, ванадия, меди и никеля по данным сертификата, %.

Процесс изготовления элементов технологических трубопроводов и узлов из них складывается из следующих операций: заготовка (резка) труб на участки нужной длины и конфигурации; подготовка кромок свариваемых труб; сборка элемента под сварку; сварка элемента; термическая обработка для снятия внутренних (сварочных) напряжений (при необходимости); контроль сварных соединений и испытание на прочность.

Перед резкой труб на участки необходимой длины и конфигурации проводят разметку, т. е. переносят на трубу с рабочего чертежа размеры с нанесением линий реза. Для разметки и нанесения линий реза используют различные приспособления. При нанесении линий реза руководствуются нормативными припусками и допусками. Технологический припуск зависит от принятой технологии резки. Так, при резке труб с толщиной стенки от 5 до 25 мм припуск назначают равным: 3—4 мм при ручной газовой резке, 2—3 мм при машинной газовой резке, 6—8 мм при плазменно-дуговой резке, 6—10 мм при воздушно-дуговой резке и 4—6 мм — при механической резке. Особую трудность вызывает разметка фасонных частей (тройников, крестовин). Для резки труб наиболее широко используют ручную и машинную газовую и механическую резку (последнюю обычно для труб небольшого диаметра).

Кромки труб, подлежащие сварке, предварительно проходят необходимую подготовку. Перед сборкой кромкам свариваемых труб придают необходимую конфигурацию, т. е. путем резки выполняют кромку под прямым углом к оси трубы, без специальной разделки; с наклоном под углом 35° к оси трубы с необходимым притуплением кромок на внутренней поверхности (V-образная разделка) или фасонную кромку с притуплением (U-образная разделка). Конфигурация кромки свариваемых трубных элементов и притупление кромок зависят от толщины стенки труб и вида сварки. Прямой скос концов труб и трубных элементов без специальной разделки выполняют при небольшой толщине их стенок (обычно до 3 мм). Специальная разделка кромок при большой толщине стенок труб связана с необходимостью обеспечения провара кромок по всей толщине стенки, что возможно только при проникновении электри-

ческой дуги или ядра кислородно-ацетиленового пламени в корень шва. V-образную разделку кромок с углом скоса 30—35° используют при толщине стенок труб или трубных элементов 4 мм и выше. U-образную разделку кромок, как более трудоемкую в исполнении, применяют при толщине стенок труб 20—25 мм и более для сокращения объема наплавленного металла шва. При подготовке труб и трубных элементов к сварке поверхность кромок и прилегающих участков наружной и внутренней поверхности трубы на длине 10 мм очищают от грязи, ржавчины и окалины до металлического блеска.

При подготовке к сварке труб с разной толщиной стенок применяют переходники длиной не менее 250 мм из трубы, толщина стенки которой занимает промежуточное положение между свариваемыми трубами. Если отношение толщин стенок δ свариваемых труб не превышает 1,5 ($\delta_1/\delta_2 \leqslant 1{,}5$), то по действующим нормам (ВСН-2-120—80 Миннефтегазстроя «Инструкция по технологии сварки трубопроводов и технологического оборудования при монтаже компрессорных и насосных станций») можно соединять такие разностенные трубы без промежуточной вставки, но с обязательной обработкой торцов трубы с большей толщиной стенки (рис. 109). Непосредственное соединение труб с арматурой (задвижкой, краном) при разной толщине стенок трубы и патрубка арматуры без промежуточной вставки допускается, если толщина стенки патрубка арматуры превышает толщину стенки трубы не более чем в 1,5 раза. При этом торцы патрубков арматуры соответственно обрабатывают (см. рис. 109).

Перед сваркой осуществляют сборку трубного узла. Все соединения, как правило, выполняют стыковыми. При сборке стыковых соединений обеспечивают: необходимый технологический зазор между свариваемыми трубами, минимально допу-

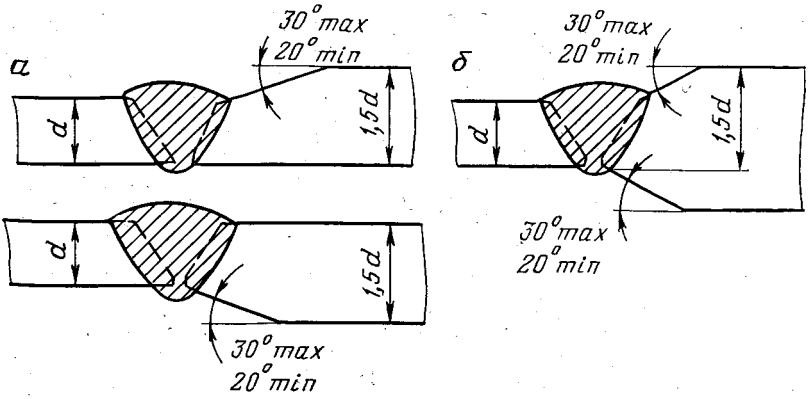


Рис. 109. Сварные соединения труб с разной толщиной стенки:
а — соединения труб; *б* — соединение труб с арматурой

Таблица 37. Нормируемые технологические зазоры, мм

Сварка	Диаметр электрода или сварочной проволоки, мм	δ, мм		
		до 8	от 8 до 10	от 10 и более
Ручная электродуговая	2—3,25	2—3	—	—
	3—3,25	2—3	2,5—3,5	3—3,5
Аргонодуговая	1,4—2	1,5—2,5	—	—
	2—2,5	1,5—2,5	2—2,5	2—2,5
Электродуговая в среде углекислого газа	0,8—1	0—0,5 мм при δ = 1 мм	—	—
	0,8—1	0,5—1,5 мм при δ = 2—4 мм	2—2,5	2—2,5
	1—1,2	1—1,5 мм при δ = 5—8 мм	2—2,5	2—2,5
Газовая кислородно-ацетиленовая	2—3	1—1,5 мм при δ до 3 мм	—	—
	4—5	0—0,5 мм при δ = 4—5 мм	—	—

стимые смещения кромок свариваемых труб, минимальную овальность труб, минимальный перелом труб в стыке.

Технологический зазор между стыкуемыми трубами зависит от толщины стенок труб, способа сварки, диаметра, применяемых электродов или сварочной проволоки (табл. 37).

При сборке стыков труб или трубных элементов с одинаковыми толщинами стенок допустимое смещение стыкуемых кромок не должно превышать 20 % толщины стенки, но при любой толщине стенок — не более 3 мм. Смещение кромок свариваемых труб не должно превышать 1 мм. Овальность стыкуемых торцов труб не должна быть более 1 %. Овальность O торцов труб вычисляют по формуле

$$O = [(D_{max} - D_{min})/2]\,100\ \%,$$

где D_{max} — наибольший диаметр трубы; D_{min} — диаметр трубы в перпендикулярном направлении.

Перелом (кривизна) стыкуемых труб или трубных элементов в месте стыка не должен превышать 1,5 мм на 1 м длины, но не более 15 мм на всю длину.

Сборку стыков труб выполняют на специальных сборочно-сварочных стендах с помощью внутренних (как правило, для труб диаметром 530 мм и выше) и наружных центраторов (при диаметре труб менее 530 мм).

36. СВАРКА ТРУБ И ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Соединение труб и трубных элементов в трубные узлы и систему технологических трубопроводов осуществляют с помощью следующих видов сварки: ручной электродуговой, автоматиче-

ской электродуговой под флюсом, электродуговой в среде углекислого газа, газовой кислородно-ацетиленовой, аргонодуговой.

Автоматическую электродуговую сварку под флюсом применяют в заводских условиях или на сварочных базах, где имеется возможность проведения сварки стыков с вращением свариваемых труб или трубных узлов при диаметре труб не менее 168 мм. Ручная электродуговая сварка — более универсальная, ее используют как в заводских и базовых условиях, так и непосредственно на строительной площадке при соединении неповоротных стыков. Применение ручной электродуговой сварки ограничено минимальными толщиной стенки (3 мм и менее) и диаметром труб (80 мм и менее). Газовую ручную кислородно-ацетиленовую сварку используют главным образом на строительной площадке при монтаже участков технологических трубопроводов с толщиной стенок труб 3 мм и менее при диаметре труб не более 80 мм. Для трубопроводов, транспортирующих масло, воду, сжатый воздух, для труб-проводок системы контрольно-измерительных приборов и автоматики этот вид сварки допускается применять при диаметре до 168 мм и толщине стенки труб до 5 мм. Электродуговую сварку в среде углекислого газа применяют и в заводских и монтажных условиях, т. е. для соединения поворотных и неповоротных стыков практически без ограничения толщины стенки и диаметра. По нормативным документам для полуавтоматической электродуговой сварки минимальный диаметр свариваемых труб технологических трубопроводов установлен равным 57 мм.

При аргонодуговой сварке неплавящимся вольфрамовым электродом для защиты зоны электрической дуги используют дорогостоящий инертный газ — аргон. Поэтому при монтаже технологических трубопроводов применение аргонодуговой сварки ограничивают сваркой корневого слоя шва неповоротных стыков труб диаметром от 57 до 1420 мм независимо от их прочности.

Для ручной электродуговой сварки технологических трубопроводов используют качественные сварочные электроды с покрытием основного (фтористо-кальциевого) типа отечественного и импортного производства. Тип применяемого электрода зависит от уровня прочности свариваемого материала труб. Так, при пределе прочности трубной стали $\sigma_в$ до 500 МПа применяют электроды типа Э42А марки УОНИ 13/45, при $\sigma_в$ от 510 до 550 МПа — электроды типа Э50А отечественной марки УОНИ 13/55 и импортных марок Гарант (ГДР), Фокс-ЕВ/50 (Австрия), Грюн К50П (ФРГ), при $\sigma_в$ от 550 до 600 МПа — электроды типа Э60А, отечественные ВСФ-65У и импортных марок Шварц ЗК (ФРГ), Гарант КС (ГДР) [1].

---

[1] Подробно сварочные материалы и технология сварки излагаются в курсе «Сварка трубопроводов и конструкций».

Таблица 38. Рекомендуемые диаметры электродов для ручной электродуговой сварки, мм

Толщина стенок труб, деталей трубопроводов, патрубков, арматуры, мм	Корневой слой	Заполняющий или облицовочный слой
До 5 мм	2—2,5	3—3,25
От 5 до 8	2,5—3,25	3—4
Более 8	2,5—3,25	4

Диаметр электрода, определяемый по диаметру сварочной проволоки, при сварке технологических трубопроводов выбирают в зависимости от толщины стенок труб, арматуры и патрубков, от места расположения слоя сварного шва: корневой, заполняющий или облицовочный (табл. 38).

Для автоматической электродуговой сварки под флюсом в качестве сварочных материалов используют сварочную проволоку и флюсы. Для сварки технологических трубопроводов применяют сварочную малоуглеродистую проволоку марок Св 08 (качественная), Св 08А, Св 08ГА (высококачественная), Св08АА (особо высококачественная) и легированную марок Св 08ХМ и Св 08МХ. В качестве флюса используют плавленые сварочные флюсы марок АН-348А и АН-347 (табл. 39).

Таблица 39 *. Рекомендуемые сварочные материалы для автоматической электродуговой сварки технологических трубопроводов

$\sigma_в$, МПа	Марка сварочных материалов		Условия прокладки трубопроводов
	сварочной проволоки	флюсов	
До 500 включительно	Св 08, Св 08А (Св 08ГА)	АН-348А (АН-348АМ)	Подземная — в средней и южной климатических зонах
	Св 08А, Св 08АА (Св 08ГА)	АН-47	Подземная, наземная, надземная — в любой климатической зоне
От 510 до 550	Св 08ГА	АН-348А (АН-348АМ)	Подземная — в средней и южной климатических зонах
		АН-47	Подземная, наземная и надземная — в любой климатической зоне
От 550 до 600 включительно	Св 08ХМ, Св 08МХ	АН-47	Подземная, наземная и надземная — в любой климатической зоне

* Табл. 38, 39 заимствованы из «Инструкции по технологии сварки трубопроводов и технологического оборудования при монтаже компрессорных и насосных станций», М., изд. ВНИИСТа, 1981.

Для полуавтоматической электродуговой сварки в среде углекислого газа используют углекислоту в баллонах и легированную марганцовокремнистую сварочную проволоку марок Св 08ГС, Св 08Г2С, Св 08Г2СМ диаметром 1,2—2,5 мм. Для газовой кислородно-ацетиленовой сварки применяют технический кислород в стальных баллонах, ацетилен в специальных стальных баллонах, заполненных ацетоном с пористым гранулированным заполнителем, или ацетилен, получаемый в переносных ацетиленовых генераторах, и сварочную проволоку марок Св 08, Св 08А и Св 08АА диаметром 2 мм при толщине стенки труб 1—2 мм, 2—3 мм при толщине стенки труб 2—4 мм и 3—4 мм при толщине стенки труб 4—5 мм.

При производстве элементов и трубных узлов в заводских или базовых условиях широко используют автоматическую электродуговую сварку под флюсом с вращением собранных элементов или трубных узлов. Для осуществления равномерного вращения собранного трубного узла применяют различные манипуляторы и сборочно-сварочные стенды. Вращение труб на этих стендах осуществляют с помощью торцевых вращателей или внутренних центраторов, приводимых во вращение электродвигателем через редуктор и штангу. Применяют также гидравлический или электромеханический привод внутреннего центратора. Сварку поворотных стыков выполняют сварочной головкой, установленной над стыком. При использовании автоматической или полуавтоматической электродуговой сварки в среде углекислого газа все слои сварного шва, включая и корневой, выполняют этим видом сварки. Однако в случае применения автоматической электродуговой сварки под флюсом корневой слой шва уже невозможно выполнить этим видом сварки вследствие опасности образования прожогов и вытекания расплавленного металла из разделки шва. Поэтому в данном случае корневой (первый) слой шва выполняют ручной электродуговой сваркой или полуавтоматической электродуговой сваркой в среде углекислого газа. Заполняющие и облицовочный слои выполняют автоматической электродуговой сваркой под флюсом.

В систему технологических трубопроводов входят внешние трубопроводы — межцеховые и соединяющие насосные и компрессорные станции с магистральными трубопроводами. Процесс индустриализации сооружения подобных линейных участков технологических трубопроводов заключается в изготовлении на сборочно-сварочной базе секций из трех труб длиной 36 м. На этой же базе можно выполнить также работы по нанесению изоляционного покрытия для защиты от коррозии. Это позволяет сократить объем ручной сварки при монтаже подземного технологического трубопровода непосредственно у бровки, траншей, а основной объем сварки выполнять на базах с применением автоматической электродуговой сварки под флюсом. Так, при длине трехтрубной секции 36 м из трубы дли-

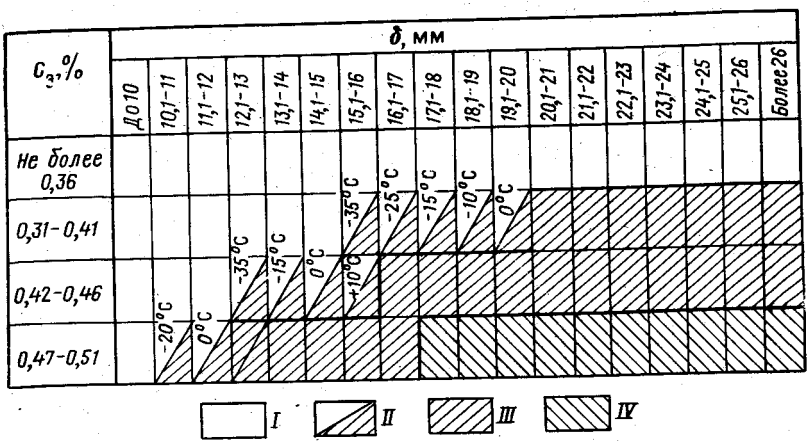


Рис. 110. Номограмма ВНИИСТа для выбора температуры нагрева кромок труб перед сваркой:

I — подогрев не требуется; *II* — подогрев до 100 °С при температуре окружающего воздуха ниже указанной; *III* — подогрев до 100 °С независимо от температуры окружающего воздуха; *IV* — подогрев до 150 °С независимо от температуры окружающего воздуха

ной 12 м на базе выполняют сварку 67 % всех стыков и только 33 % — ручной электродуговой сваркой у бровки траншеи. Кроме того, нанесение изоляционного покрытия на трехтрубные секции в базовых условиях значительно снижает объем изоляционных работ перед укладкой участка трубопровода в траншею, когда необходимо заизолировать участки длиной 150—200 мм, прилегающие к монтажным сварным стыковым швам. Для соединения трех труб в секции используют полевые сварочные базы, применяемые при сооружении магистральных трубопроводов, и подробно описанные в работе [2].

При сварке корневого слоя шва в случае необходимости кромки труб и прилегающие к ним участки предварительно подогревают до 100—150 °С пламенем кольцевой газовой горелки. Необходимость предварительного подогрева вызвана опасностью образования трещин в металле корневого слоя шва и зависит от химического состава трубной стали (эквивалента углерода $C_э$), толщины стенок труб (определяемой по максимальной толщине в случае разной толщины стенок труб) и температуры окружающего воздуха. При обосновании необходимости предварительного подогрева и его режимов используют специальную номограмму, разработанную во ВНИИСТе (рис. 10). Из этой номограммы видно, что при эквиваленте углерода трубной стали $C_э = 0{,}36$ % и менее предварительный подогрев не требуется при любой толщине стенок труб и температуре окружающего воздуха до —35 °С и ниже. В то же время при $C_э = 0{,}47$—$0{,}51$ % предварительный подогрев до тем-

пературы 150 °С необходим при толщине стенок труб 17,7 мм и выше независимо от температуры окружающего воздуха.

По окончании сварки проводят контроль сварных соединений и испытание на прочность трубных узлов.

37. МОНТАЖ ВНУТРИПЛОЩАДОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Технологические трубопроводы насосных и компрессорных станций по месту их расположения и выполняемым функциям можно разделить на две группы: *внутриплощадочные*, т. е. находящиеся на территории станции, и *внеплощадочные*, т. е. находящиеся за пределами территории станции. В состав внутриплощадочных трубопроводов входят обвязочные трубопроводы, соединяющие между собой насосные или газоперекачивающие агрегаты, и трубопроводы, соединяющие насосный или компрессорный цех с технологическим оборудованием. От 42 до 50 % (по числу свариваемых стыков) объема сварочно-монтажных работ при монтаже трубопроводов обвязки центробежных нагнетателей выполняют в заводских условиях. С учетом же проведения укрупнительной сборки узлов объем сварочно-монтажных работ непосредственно на монтажной площадке сокращается до 30—35 % общего объема. Это существенно облегчает монтажные работы и снижает трудоемкость сварочно-монтажных работ непосредственно на строительной площадке, а, следовательно, сокращает сроки сооружения компрессорных и насосных станций.

Рассмотрим основы технологии и организации монтажа обвязки нагнетателей. Перед началом монтажных работ проводят приемку фундаментов под узлы обвязки, траншей для подземных трубопроводов, оборудования и узлов трубопровода. Монтаж обвязки нагнетателей ведут из узлов заводского изготовления и узлов, прошедших укрупнительную сборку на строительной площадке. Для укрупнительной сборки узлов организуют специальную площадку. Заводские узлы и узлы укрупнительной сборки подают к месту монтажа обычно кранами-грубоукладчиками необходимой грузоподъемности. Для монтажа узлов обвязки используют гусеничные самоходные краны типа РДК грузоподъемностью 25 т. Внутри отделения (галереи) нагнетателей монтаж узлов обвязки ведут также с помощью кран-балки, которой оснащено отделение нагнетателей. В качестве монтажных приспособлений при монтаже узлов обвязки применяют наружные центраторы, инвентарные временные опоры и монтажные стенды.

Монтаж обвязки нагнетателей газоперекачивающих агрегатов проводят последовательно по захваткам. Последовательность захваток устанавливают в проекте производства работ. Так, монтаж обвязок центробежных нагнетателей на компрессорных станциях, оборудованных восемью ГПА ГТК-10-4 и

ГПУ-10, ведут по семи захваткам. Монтаж обвязки нагнетателей на компрессорных станциях, оборудованных восемью ГПА СТД-12500, ведут по шести захваткам. Строповку монтируемых узлов выполняют с помощью кольцевых (универсальных) двух- и четырехветвевых стропов. Во избежание скольжения каната стропов по поверхности трубных узлов при подъеме и перемещении под стальной канат стропов устанавливают деревянные прокладки.

При монтаже обвязки нагнетателей газоперекачивающих агрегатов ГТК-10-4 отметка центров патрубков нагнетателя находится на отметке около плюс 5,0 м, а основная часть системы обвязки — на отметке, близкой к нулевой. Поэтому в местах расположения всасывающего и выкидного патрубков нагнетателя устанавливают трубопроводные узлы, обеспечивающие связь основной системы обвязки с патрубками нагнетателя. Патрубки нагнетателей 370-18-1 и 370-18-2, входящих в состав газоперекачивающих агрегатов ГПУ-10, ГПА-Ц-6,3, ГПА-Ц-16, СТД-12500, находятся на незначительной плюсовой отметке, т. е. практически почти на одном уровне с трубопроводной обвязкой.

Рассмотрим технологию и организацию монтажа трубопроводов обвязки нагнетателей на компрессорной станции, оборудованной восемью ГПА ГТК-10 (рис. 111). Всю систему трубопроводов обвязки разделяют на семь захваток, границы между

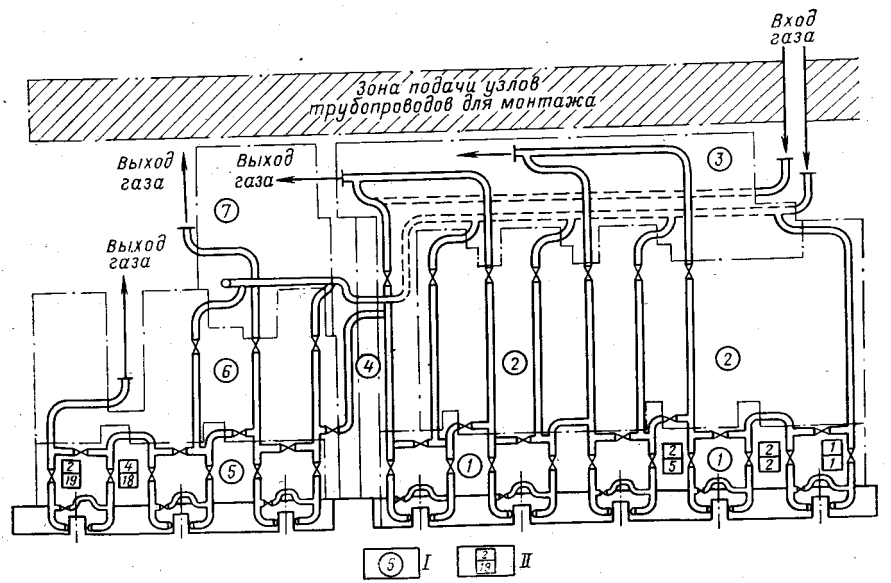


Рис. 111. Схема организации работ по монтажу обвязки центробежных нагнетателей типа 370-18-1:

I — номер захватки; *II* — условное обозначение узла (числитель — номер узла, знаменатель — последовательность монтажа)

которыми показаны штрихпунктирной линией. Узлы трубопроводной обвязки с помощью кранов-трубоукладчиков доставляют в зону подачи. Из зоны подачи трубопроводные узлы также кранами-трубоукладчиками доставляют непосредственно к месту монтажа. Подачу и непосредственную установку трубных узлов в проектное положение осуществляют гусеничными монтажными кранами грузоподъемностью 25 т или кранами-трубоукладчиками. Монтаж трубопроводных узлов обвязки выполняют последовательно по захваткам. В пределах каждой захватки монтаж ведут в соответствии с разработанным проектом-производства работ. По номеру трубного узла из спецификации можно установить его массу и правильно выбрать грузоподъемный механизм.

На рис. 112 показан момент установки трубного узла обвязки нагнетателей в проектное положение на временной опоре с помощью крана-трубоукладчика. Более прогрессивной является сборка трубных узлов с помощью специального сборочного стенда (рис. 113). Такой стенд состоит из рельсового пути, на котором установлены на роликах рамы из двух швеллеров. На раме перемещаются опоры с регулируемой высотой опорной части. Рельсовый путь должен быть тщательно выверен в горизонтальном положении. Это позволяет вести в проектном положении сборку сразу нескольких трубных узлов. После сборки соседних или группы узлов их фиксируют короткими швами-прихватками. В качестве монтажной сварки применяют ручную электродуговую сварку. При монтаже ведут сварку неповоротных стыков, расположенных в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Особенно ответственна заключительная сварка, связанная с присоединением трубопроводов обвязки к всасывающему и нагнетательному патрубкам центробежных нагнетателей. Дело в том, что трубопроводную обвязку присоединяют к уже отцентрованному и закрепленному на фундаменте нагнетателю. Нагрев и последующее местное охлаждение металла нагнетателя при сварке могут вызвать остаточные напряжения и даже деформации в корпусе нагнетателя. Поэтому при присоединении системы обвязки к патрубкам нагнетателей сварку ведут одновременно на всасывающем и нагнетательном патрубках. При этом сохранение центровки нагнетателя контролируют с помощью индикаторов, установленных на полумуфты вала нагнетателя. Аналогично по семи захваткам ведут работы по монтажу обвязки центробежных нагнетателей компрессорных станций с газоперекачивающими агрегатами ГПУ-10.

Особенность этого монтажа — использование кран-балки индивидуального здания для подъема и установки в проектное положение отдельных трубопроводных узлов.

Подземные участки трубопроводов обвязки нагнетателей защищают от подземной коррозии слоем битумной или полимерной изоляции усиленного типа. Изоляцию стыковых участ-

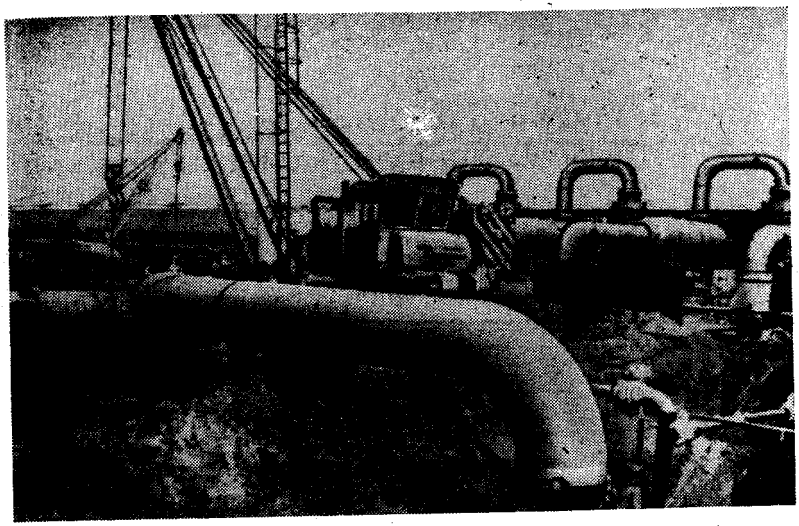


Рис. 112. Установка трубного узла обвязки нагнетателей с помощью крана-трубоукладчика

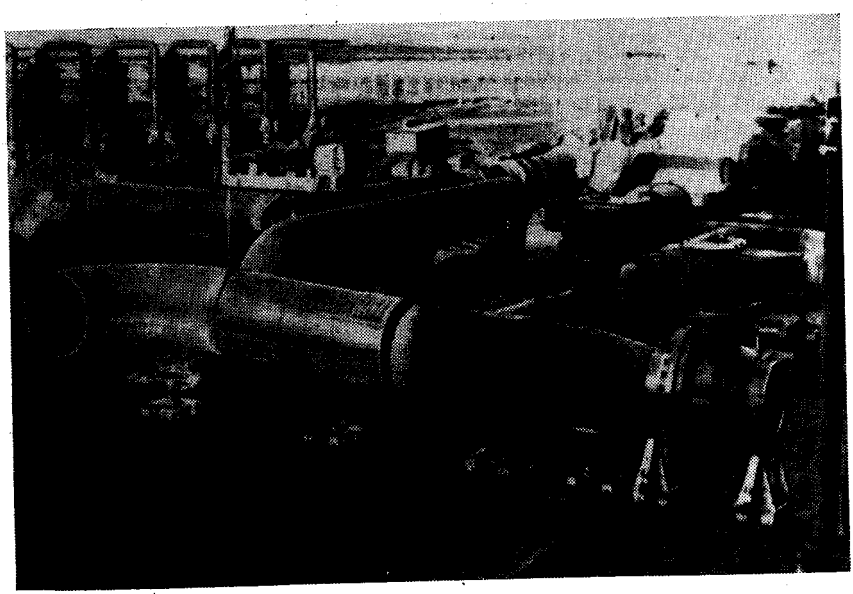


Рис. 113. Монтаж трубных узлов с помощью сборочного стенда

ков выполняют в траншеях. Наземные и надземные участки трубопроводной обвязки защищают от атмосферной коррозии двумя слоями лакокрасочного покрытия.

38. ТЕПЛО- И ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫЕ РАБОТЫ НА ОБВЯЗОЧНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ И ОБОРУДОВАНИИ

Для газоперекачивающих агрегатов, некоторых видов технологического оборудования и газопроводов характерны интенсивные выделения тепла в окружающее пространство. Поэтому для снижения потерь тепла, повышения эффективности работы оборудования и газопроводов и поддержания необходимых температурных условий внутри компрессорного цеха поверхности газотурбинной установки, воздухоподогревателя, камеры сгорания, воздуховодов, по которым подают горячий воздух, покрывают слоем тепловой изоляции (табл. 40).

В качестве теплоизоляционных материалов широко используют минеральную вату и асбестовые и асбестсодержащие материалы. Асбестовые материалы состоят из асбестового волокна в виде картона, бумаги и изделий из них. Асбестсодержащие материалы и изделия наряду с асбестовым волокном (15—20 % по массе) содержат неорганические вяжущие вещества (магнезиальные вяжущие, цементы, известь и др.) или осадочные породы (трепел). Смешивая порошки вяжущих веществ или трепела с асбестовым волокном и водой получают пластичное тесто, затвердевающее с течением времени, которое наносят слоем необходимой толщины на поверхность трубопроводов и оборудования. В заводских условиях из пластичного теста формуют готовые элементы теплоизоляционных покрытий в виде плит, сегментов, скорлуп.

Таблица 40. Конструкция тепловой изоляции оборудования и трубопровода

Оборудование и трубопроводы обвязки ГТУ	Температура изолируемой поверхности, градус	Конструкция тепловой изоляции
Камера сгорания	400	Плиты или сегменты из совелита, оштукатуренные асбозуритом
Воздуховоды от воздушного компрессора ГТУ до воздухоподогревателя	175	То же, оштукатуренные асбестоцементом
Воздуховоды от воздухоподогревателя к камере сгорания	390	Минеральная вата, оштукатуренная асбестоцементом, а внутри помещения компрессорного цеха — асбозуритом
Выхлопной трубопровод для отработанных газов	470	То же
Воздухоподогреватель	390	Плиты или сегменты из совелита, оштукатуренные асбестоцементом

Наибольшее применение имеют следующие асбестсодержащие теплоизоляционные материалы: асбозурит, совелит, ньювель. Асбозурит — асбестсодержащий теплоизоляционный материал, состоящий из 15 % асбеста и порошка трепела или диатомита. Совелит — асбестсодержащий теплоизоляционный материал, относящийся к группе асбестомагнезиальных материалов и состоящий из асбеста и углекислых солей магния и кальция. Сырьем для получения совелита служат асбест (15 %) и доломит. Ньювель — теплоизоляционный материал, аналогичный совелиту, но содержащий наряду с асбестом только углекислые соли магния.

Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов состоит из трех основных элементов: собственно слоя тепловой изоляции, крепления и наружного защитного слоя. Крепления тепловой изоляции представляют собой различные по конструкции крючки и скобы, закрепленные сваркой на поверхности трубы. На эти крючки и скобы и навешивают плиты, скорлупы и другие элементы тепловой изоляции. Снаружи плиты и скорлупы закрепляют проволокой или проволочной сеткой. Конструкция наружного защитного слоя может быть в виде: кожуха из оцинкованной листовой стали (реже алюминиевого сплава), слоя наружной штукатурки (асбозурит, асбозуритцемента), обшивки или оклейки асбестовой или стекловолокнистой тканью.

Для снижения уровня шума при работе газоперекачивающих агрегатов применяют звуковую изоляцию из звукопоглощающих материалов, в качестве которых применяют плиты из минеральной ваты, материалы «Акмигран» и «Акминит», газобетонные плиты «Силакопор». «Акмигран» — материал, содержащий гранулированную минеральную или стеклянную вату и связующие — крахмал, карбосиметилцеллюлозу, бентонит. «Акминит» — материал содержащий гранулированную минеральную или стеклянную вату и связующие — крахмал, литопон и поливинилацетатную эмульсию.

39. МОНТАЖ ОБВЯЗКИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ

Обвязка насосных агрегатов на насосных станциях магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов обеспечивает последовательное включение при работе любых трех магистральных центробежных насосов из четырех, установленных в насосном цехе (один — резервный). Кроме того, обвязка позволяет отключить один из работающих насосных агрегатов и подключить в работу резервный агрегат. Обвязка насосных агрегатов (рис. 114) менее сложна по своей структуре по сравнению с обвязкой газоперекачивающих агрегатов. Диаметр трубопроводных элементов обвязки насосных агрегатов колеблется от 1220 до 530 мм в зависимости от пропускной способности насосной станции. Монтаж обвязки насосных агрегатов ведут так же,

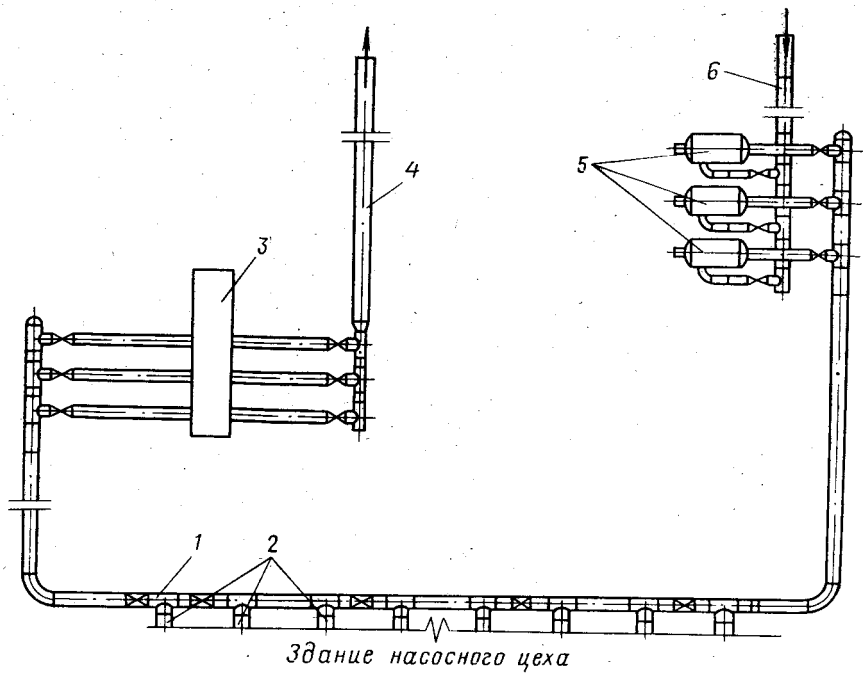


Рис. 114. Схема технологических трубопроводов насосной станции:
1 — прямолинейный участок обвязки насосов; *2* — отводы (всасывающие и нагнетательные) к насосам; *3* — блок-бокс регуляторов давления; *4* — отводящий трубопровод (к магистральному трубопроводу); *5* — блок фильтров-грязеуловителей; *6* — подводящий трубопровод (от магистрального трубопровода)

как монтаж обвязки агрегатов компрессорных станций,— индустриальным способом из трубопроводных узлов.

До начала монтажа обвязки насосных агрегатов проводят монтаж технологических блоков вспомогательного оборудования: сборника нефти сброса ударной волны и разгрузки; блока фильтров грязеуловителей; сборника утечек нефти и нефтесодержащих стоков, блоков с погружными насосами откачки утечек; трубопровода утечек нефти и нефтесодержащих стоков. Монтаж начинают с наружного прямолинейного участка, а затем монтируют криволинейные отводы к каждому из четырех магистральных насосов. Прямолинейный участок монтируют из трубопроводных узлов. Монтаж трубопроводных узлов начинают со среднего узла и затем последовательно наращивают попеременно в обе стороны (рис. 115). Такой способ монтажа уменьшает отклонение крайних узлов. Установку трубных узлов в проектное положение выполняют гусеничным или автомобильным самоходным краном грузоподъемностью 10—25 т в зависимости от массы трубопроводных узлов. Последняя зависит от пропускной способности насосной станции. Строповку

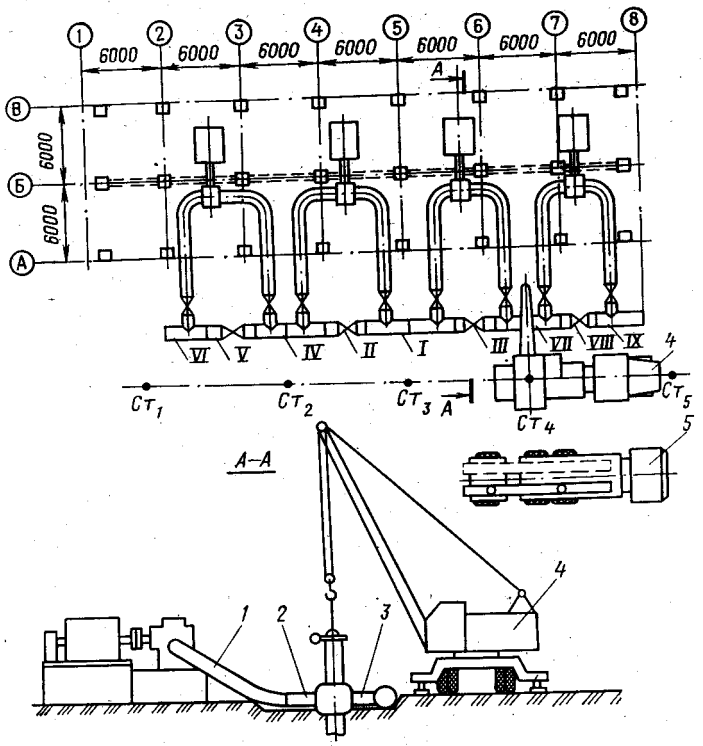


Рис. 115. Схема организации работ по монтажу трубопроводной обвязки насосных агрегатов:

I—IX — последовательность монтажа; *1* — колено; *2, 3* — вставки из труб; *4* — автомобильный монтажный кран; *5* — автомобиль с полуприцепом; $Ст_1$—$Ст_5$ — стоянки автомобильного крана; *А, Б, В* — продольные оси: цифры в кружках — поперечные оси

трубных узлов выполняют с помощью универсальных (кольцевых) строп. После окончания монтажа прямолинейного участка обвязки начинают монтаж отводов к каждому насосу. Каждый такой отвод состоит из гнутого участка (колена) и двух вставок. Монтаж отводов ведут автомобильным или гусеничным краном соответствующей грузоподъемности обычно с пяти стоянок. Со стоянок $Ст_1$ и $Ст_5$ монтируют по одному отводу, а со стоянок $Ст_2$, $Ст_3$, $Ст_4$ — по два отвода. Монтаж каждого отвода ведут в такой последовательности: изогнутый участок (колено), трубная вставка, соединяющая колено с прямолинейным участком трубопровода обвязки, и вторая трубная вставка, соединяющая колено с патрубком магистрального насоса.

40. МОНТАЖ ЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКОВ ВНУТРИПЛОЩАДОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ

Линейные участки внутриплощадочных технологических трубопроводов соединяют компрессорный или насосный цехи с основным и вспомогательным технологическим оборудованием. На компрессорных станциях — это трубопроводы, соединяющие компрессорный цех с установками по очистке газа и аппаратами воздушного охлаждения газа. На насосных станциях — это трубопроводы, соединяющие резервуарный парк с подпорными насосами и последние с основным насосным цехом (для головных насосных станций), фильтрами-грязеуловителями и сборником утечек нефти.

Линейные участки технологических трубопроводов выполняют в основном в подземном варианте, а в настоящее время — в надземном и наземном вариантах. Последние варианты перспективны при сооружении компрессорных или насосных станций в северных районах в условиях многолетнемерзлых и вечномерзлых грунтов. Надземные технологические трубопроводы размещают на эстакадах, которые состоят из фундаментов со стойками. Стойки по длине трубопровода располагают с определенным стандартным шагом — 12 м. На стойки устанавливают продольные балки или фермы, на которых размещают поперечные балки-траверсы обычно с шагом 3, 4 или 6 м. На поперечные балки-траверсы укладывают технологические трубопроводы.

В продольном направлении всю трассу на эстакаде разделяют на температурные блоки длиной от 36 до 72 м с одной неподвижной анкерной опорой, которую обычно располагают посредине температурного блока. Остальные опоры трубопровода в пределах температурного блока — подвижные (скользящие). Трубопроводные эстакады выполняют одноярусными с расположением трубопроводов в один ярус по высоте и двухъярусными с расположением трубопроводов в два яруса. Конструкции трубопроводных эстакад унифицированы и достаточно хорошо отработаны. Однако для них характерны повышенные расход материалов и трудоемкость возведения. Поэтому все большее применение находят трубопроводные эстакады на сваях. В этом случае балки или фермы эстакады опирают на оголовки свай, забитых в грунт. Применение свайных эстакад заметно снижает трудоемкость и сроки их возведения.

Наземную прокладку выполняют путем укладки ниток технологических трубопроводов на поперечные балки (шпалы) из железобетона. Шпалы, в свою очередь, укладывают на невысокую насыпь — призму из уплотненной песчано-гравийной смеси. Этот тип наземной прокладки напоминает железнодорожный путь на шпалах, поэтому его называют также «шпальная» прокладка.

Рассмотрим организацию и технологию подземной прокладки линейных участков технологических трубопроводов. Монтаж линейной части подземных технологических трубопроводов ведут из трехтрубных секций. Сварку труб в секции и их изоляцию выполняют на базах. Такие трехтрубные секции доставляют со сварочной базы к месту монтажа и раскладывают у бровки готовой траншеи. Каждую секцию труб двумя кранами-трубоукладчиками опускают на дно траншеи (рис. 116). Чтобы избежать повреждения изоляции при подъеме и опуске трубной секции, применяют мягкие подвески (полотенца). Сварку отдельных секций труб в нитку осуществляют на дне траншеи, где также проводят изоляцию стыков. Для обеспечения минимально необходимых условий работы сварщика и рабочих-изолировщиков в месте сварки и изоляции стыков выполняют местное расширение и углубление траншеи. После сварки и изоляции стыков на подземном участке траншеи засыпают.

Монтаж надземных участков технологических трубопроводов на эстакаде можно выполнять тремя способами: из отдельных труб, секционным и из укрупненных блоков. Метод монтажа надземных технологических трубопроводов из отдельных труб связан с поэлементной сборкой эстакады и последующим монтажом трубопровода на эстакаде из отдельных труб, т. е. на эстакаду поднимают и устанавливают каждую отдельную трубу и сваривают ее с уже уложенными трубами. Этот метод монтажа отличается высокой трудоемкостью и низкой производительностью. Поэтому метод монтажа из отдельных труб на практике применяют редко, главным образом на действующих предприятиях. При секционном способе монтажа надземных технологических трубопроводов на заранее смонтированную эстакаду укладывают не отдельные трубы, а секции из трех труб. Эти секции сваривают в базовых условиях из от-

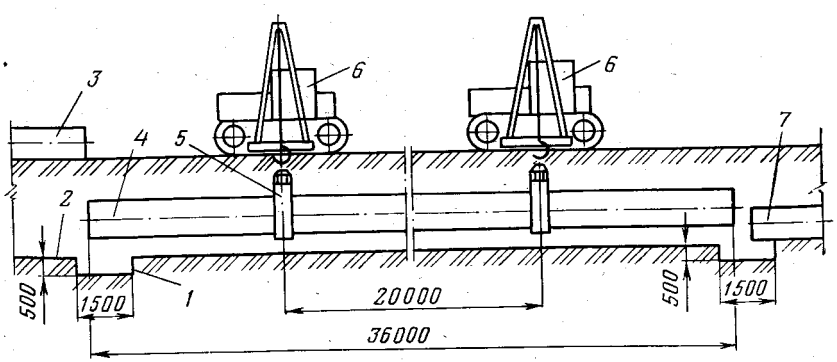


Рис. 116. Монтаж участка подземного технологического трубопровода:
1 — приямок; *2* — дно траншеи; *3* — секция трубопровода у бровки траншеи; *4* — секция из труб с изоляционным покрытием; *5* — монтажные полотенца; *6* — кран-трубоукладчик; *7* — уложенный на дно траншеи участок трубопровода

дельных труб и там же на них наносят изоляционное покрытие. При секционном способе значительно снижается трудоемкость монтажа и повышается его производительность. Но в наибольшей степени требованиям индустриализации удовлетворяет метод монтажа технологических трубопроводов укрупненными блоками. В этом случае на фундаменты эстакады устанавливают только вертикальные стойки или в грунт забивают вертикальные стойки-сваи. На сборочно-сварочной базе собирают укрупненные блоки, состоящие из продольных балок эстакады, поперечных балок и смонтированных на них секций трубопровода с необходимыми арматурой и деталями. Следовательно, в этом случае на монтаж поступают готовые укрупненные блоки, включающие элементы эстакады и участок (секцию) готового трубопровода, смонтированного на опорах на сборочной площадке. Это позволяет до минимума снизить объем монтажных работ на высоте (на эстакаде) и повысить производительность и качество монтажа. В то же время при монтаже технологических трубопроводов из укрупненных блоков увеличивается объем подготовительных работ и предъявляются высокие требования к точности предварительной сборки укрупненных блоков.

Укрупненные блоки доставляют автотранспортом или на трейлерах к месту монтажа. Подъем и установку в проектное положение укрупненного блока осуществляют двумя автомобильными или самоходными гусеничными кранами (рис. 117). Вначале поднятый укрупненный блок наводят на вертикальные стойки путем совмещения монтажных отверстий и разбивочных

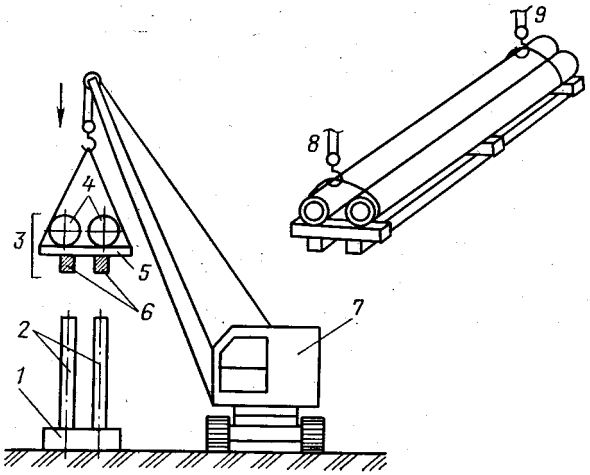


Рис. 117. Монтаж надземных участков технологических трубопроводов укрупненными блоками:

1 — фундамент; *2* — колонна (стойка); *3* — укрупненный блок; *4* — секция трубопровода; *5* — траверсы; *6* — несущие продольные балки; *7* — монтажный кран; *8* — подъем первым краном; *9* — подъем вторым краном

рисок, предварительно нанесенных на элементы конструкций. После наводки и выверки установленных блоков их временно закрепляют монтажными болтами, струбцинами. Окончательное закрепление укрупненных блоков и сварку монтажных стыков трубопроводов на эстакаде осуществляют только после установки всех укрупненных блоков в пределах одного температурного блока (участка).

Внеплощадочные технологические трубопроводы — короткие отводы от магистральных газо-, нефте- или нефтепродуктопроводов соответственно к компрессорным и насосным станциям. Длина таких отводов до 100—250 м, а диаметр до 1420 мм. Внеплощадочные технологические трубопроводы выполняют подземными. Сварку их проводят из трехтрубных секций. Соединение труб в секции выполняют на сварочных базах с применением автоматической электродуговой сварки под флюсом. На этих же базах трубные секции покрывают слоем изоляции. Готовые секции доставляют к бровке траншеи, соединяют ручной электродуговой сваркой в нитку и опускают на дно траншеи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверьянов А. В., Лебедев Н. М.* Газоперекачивающие агрегаты с приводом авиационного типа. М., Недра, 1983.

2. *Баталин Ю. П.* Комплектно-блочный метод строительства. М., изд. Информнефтегазстрой, 1979.

3. *Березин В. Л., Суворов А. Ф.* Сварка трубопроводов и конструкций. М., Недра, 1982.

4. *Блочная* поставка и монтаж газотурбинных установок и компрессорных станций магистральных газопроводов/Н. С. Дудоров, С. Я. Куриц, И. И. Лобанов, В. М. Чернин. М., изд. Информнефтегазстрой, 1976.

5. *Бондарева Л. А., Калмыков А. Е., Орлов И. А.* Конструкции заводского изготовления для комплектно-блочного строительства производственных зданий.— Строительство трубопроводов, 1983, № 6.

6. *Васильев А. А.* Металлические конструкции. М., Стройиздат, 1979.

7. *Галеев В. Б., Карпачев М. З., Харламенко В. И.* Магистральные нефтепродуктопроводы. М., Недра, 1976.

8. *Галюк В. Х., Пастухова Н. М.* Современные нефтеперекачивающие станции открытого типа. М., изд. ВНИИОЭНГ, 1982.

9. *Глазков А. П.* Электрооборудование насосных, компрессорных станций и нефтебаз. М., Недра, 1980.

10. *Калмыков А. Е.* Унификация строительных конструкций зданий и сооружений объектов нефтяной и газовой промышленности и их стандартизация.— Экспресс-информация. Информнефтегазстрой, 1983, вып. 3.

11. *Клименко А. П., Крюкова А. Н., Чумаков В. Х.* Применение на магистральных газопроводах газоперекачивающих агрегатов различного типоразмера. М., изд. Информнефтегазстрой, 1983.

12. *Ковалев Е. В., Сологуб В. Н.* Опыт применения и совершенствования комплектно-блочного метода строительства при сооружении компрессорных станций магистральных газопроводов. М., изд. Информнефтегазстрой, 1982.

13. *Куриц С. Я.* Блочно-комплектное строительство в нефтяной и газовой промышленности. М., Недра, 1977.

14. *Макар Р. М., Кагановская С. Е., Троицкий Э. В., Гликман Н. А.* Об-

легченные свайные фундаменты под газоперекачивающие агрегаты.— Строительство трубопроводов, 1982, № 3.

15. *Матвеев В. В.* Примеры расчета такелажной системы. М., Стройиздат, 1979.

16. *Меньшов Б. Г., Суд И. И.* Электрификация предприятий нефтяной и газовой промышленности. М., Недра, 1984.

17. *Монтаж* стальных и железобетонных конструкций/Г. Б. Броверман, И. Б. Гитман, Г. Е. Гофштейн и др. Справочник монтажника. М., Стройиздат, 1980.

18. *Монголов Ю. В., Шаевич В. М., Чижевский М. В., Костоглодов В. В.* Испытание свай фундаментов под нефтеперекачивающие агрегаты.— Строительство трубопроводов, 1982, № 2.

19. *Мороховец В. З., Шмидт Г. Б., Щецко С. А.* Опыт строительства компрессорных станций в условиях севера Западной Сибири. М., изд. Информнефтегазстрой, 1980.

20. *Растегаев И. Я.* Транспортировка суперблоков на стройках Западной Сибири.— Строительство трубопроводов, 1982, № 4.

21. *Ройтер М. С., Бочагов В. П.* Единая серия унифицированных конструкций для объектов в комплектно-блочном исполнении.,— Строительство трубопроводов, 1983, № 8.

22. *Системное* решение задач типизации, унификации и симплификации в комплектно-блочном строительстве/Ю. П. Баталин, А. Г. Московцев, Ю. В. Макаров, М. Г. Тайгунов. М., изд. Информнефтегазстрой, 1983.

23. *Сооружение* и ремонт газонефтепроводов/В. Л. Березин, Н. В. Бобрицкий, П. П. Бородавкин, В. Б. Галеев, Л. С. Маслов. М., Недра, 1972.

24. *Сооружение* компрессорных и нефтеперекачивающих станций магистральных трубопроводов/Э. В. Актабаев, О. А. Атаев, С. Я. Куриц и др. М., Недра, 1979.

25. *Строительство* и монтаж насосных и компрессорных станций/В. Л. Березин, П. П. Бородавкин, С. Я. Куриц, Е. И. Трушин. М., Недра, 1974.

26. *Строительство* компрессорных станций в Западной Сибири/В. В. Бессараб, А. И. Брун, Т. Ф. Хуснутдинов и др. М., изд. Информнефтегазстрой, 1981.

27. *Тавастшерна Р. И.* Монтаж технологических трубопроводов. М., Высшая школа, 1980.

28. *Технологические* трубопроводы в промышленном строительстве. Справочник монтажника/Е. Я. Николаевский, Р. И. Тавастшерна, А. Л. Зильберберг, А. Г. Рузанов. М., Стройиздат, 1979.

29. *Технология* и механизация строительного производства. Ч. 1/С. С. Атаев, В. А. Бондарик, И. Н. Громов, Э. В. Овчинников. М., Высшая школа, 1983.

30. *Технология* и механизация строительного производства. Часть 2./ С. Е. Конторер, С. Я. Луцкий, А. Г. Поршнев. М., Высшая школа, 1983.

31. *Титов Н. А.* Монтаж оборудования насосных и компрессорных станций. М., Недра, 1979.

32. *Федоров М. С., Григоренко В. М.* О дальнейшем повышении уровня индустриализации строительства КС. М., изд. Информнефтегазстрой, 1981.

33. *Харас З. Б.* Монтаж аппаратов нефтяной и газовой промышленности. М., Недра, 1974.

34. *Храпач Г. К.* Монтаж и ремонт компрессоров. М., Недра, 1983.

35. *Чижевский М. В., Костоглодов В. В., Павлов В. И.* Фундаменты новой конструкции под газокомпрессорные агрегаты.— Строительство трубопроводов, 1981, № 12.

36. *Чижевский М. В.* Опыт строительства и эксплуатации свайных фундаментов под нефтеперекачивающие агрегаты. — Основания и фундаменты и механика грунтов, 1980, № 4.

37. *Шапиро В. Д.* Индустриальные методы возведения наземных сооружений нефтяной и газовой промышленности. М., Недра, 1975.

38. *Шелихов С. Н., Мазурин Л. И., Миткин Л. В.* Контроль качества строительных работ (справочное пособие). М., Стройиздат, 1981.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

ГЛАВА 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЯХ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ 5

1. Назначение и классификация насосных и компрессорных станций . . 5
2. Основные принципы строительного и технологического проектирования насосных и компрессорных станций 8
3. Перспективы развития насосных и компрессорных станций магистральных трубопроводов 17

ГЛАВА 2. БЛОЧНО-КОМПЛЕКТНЫЕ НАСОСНЫЕ И КОМПРЕССОРНЫЕ СТАНЦИИ 21

4. Основные особенности конструктивных и объемно-планировочных решений блочно-комплектных насосных и компрессорных станций 21
5. Боксы для блочно-комплектных насосных и компрессорных станций . 34

ГЛАВА 3. ОБОРУДОВАНИЕ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ 38

6. Основное и вспомогательное технологическое оборудование насосных станций 38
7. Основное и вспомогательное технологическое оборудование компрессорных станций 45

ГЛАВА 4. ФУНДАМЕНТЫ ЗДАНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ 61

8. Фундаменты зданий насосных и компрессорных станций 61
9. Фундаменты перекачивающих агрегатов и технологического оборудования насосных и компрессорных станций 62
10. Основы расчета фундаментов перекачивающих агрегатов 69

ГЛАВА 5. ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ 80

11. Здания блочно-комплектных насосных и компрессорных станций . . 80
12. Основы теории расчета на прочность элементов каркаса зданий и блок-боксов насосных и компрессорных станций 94

ГЛАВА 6. ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЩИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ 103

13. Виды общих строительных работ при сооружении насосных и компрессорных станций 103
14. Подготовка строительного производства 105
15. Организация общих строительных работ при сооружении насосных и компрессорных станций 109

ГЛАВА 7. ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ НУЛЕВОГО ЦИКЛА 118

16. Особенности работ нулевого цикла при сооружении насосных и компрессорных станций 118
17. Земляные работы при сооружении насосных и компрессорных станций 119

18. Бетонные и арматурные работы при возведении монолитных фундаментов под перекачивающие агрегаты 130
19. Работы по возведению свайных фундаментов под здания, основное и вспомогательное технологическое оборудование 139

ГЛАВА 8. СООРУЖЕНИЕ ОСНОВНЫХ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ 148

20. Такелажная оснастка, монтажные машины и приспособления . . . 148
21. Технология и организация монтажа зданий компрессорных и насосных цехов и вспомогательных зданий 162
22. Кровельные работы. Устройство полов. Отделочные работы 174

ГЛАВА 9. ПРОЕКТИРОВАНИЕ, ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ТРАНСПОРТИРОВКА БЛОЧНО-КОМПЛЕКТНЫХ УСТРОЙСТВ 184

23. Основные принципы проектирования блочно-комплектных устройств для насосных и компрессорных станций 184
24. Технология и организация изготовления блочно-комплектных устройств 188
25. Транспортировка БКУ 196
26. Погрузочно-разгрузочные работы при сооружении блочно-комплектных насосных и компрессорных станций 201

ГЛАВА 10. МОНТАЖ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ТРАНСПОРТА НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ 205

27. Подготовительные работы. Приемка фундаментов 205
28. Технология и организация монтажа насосных агрегатов в блочном исполнении 217

ГЛАВА 11. МОНТАЖ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ 230

29. Технология и организация монтажа газоперекачивающих агрегатов с приводом от стационарных газовых турбин и электродвигателей . . . 231
30. Технология и организация монтажа блочных газоперекачивающих агрегатов с приводом от авиационных и судовых газовых турбин 243

ГЛАВА 12. МОНТАЖ ОСНОВНОГО И ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ 255

31. Подготовительные работы и приемка фундаментов 255
32. Технология и организация монтажа технологического оборудования 256
33. Технология и организация монтажа блочных устройств производственного и служебно-производственного комплексов насосных и компрессорных станций 258

ГЛАВА 13. МОНТАЖ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ НАСОСНЫХ И КОМПРЕССОРНЫХ СТАНЦИЙ . 264

34. Подготовительные работы 264
35. Индустриализация монтажа технологических трубопроводов 265
36. Сварка труб и элементов технологических трубопроводов 269
37. Монтаж внутриплощадочных технологических трубопроводов . . . 274
38. Тепло- и звукоизоляционные работы на обвязочных трубопроводах и оборудовании 278
39. Монтаж обвязки насосных агрегатов насосных станций 279
40. Монтаж линейных участков внутриплощадочных технологических трубопроводов 282
Список литературы 285