С. И. ВЕРЕВКИН, В. А. КОРЧАГИН

ГАЗГОЛЬДЕРЫ

Издательство литературы по строительству
Москва—1966

УДК 624.953

Научный редактор инженер
В. Н. ЗЕЛЯТРОВ

Предисловие

Увеличение добычи природных газов, расширение производства искусственных и промышленных газов требуют непрерывного роста парка газгольдеров.

Развитие производства полиэтилена и ряда других специальных производств химической промышленности невозможно без создания емкостей нового типа, пригодных для хранения обезвоженных газов и газов высокой концентрации, для которых не могут быть использованы газгольдеры обычных типов.

Авторы монографии стремились восполнить пробел, существующий в отечественной технической литературе по такой специализированной области инженерных сооружений, как газгольдеры. С этими сооружениями мало знакомы и специалисты по металлическим конструкциям, и работники газовых заводов, в то время как газгольдеры стали неотъемлемой частью современных химических, нефтеперерабатывающих, азотнотуковых, коксохимических и других заводов, а также коммунальных станций ряда городов.

В книге описаны различные типы газгольдеров, применяемых в отечественном газгольдеростроении, показаны принципы инженерных решений сооружения в целом и отдельных узлов, даны практические советы для проектирования, приведены методы статических расчетов узлов и сооружения в целом. Большое внимание уделено особенностям изготовления и монтажа газгольдеров, влияющим на проектные решения, допускам при изготовлении и монтаже, выбору марок стали и методам защиты стальных конструкций от коррозии.

Монография не претендует на исчерпывающее изложение темы и полноту описания всех этапов жизни сооружения. Монтаж и строительство газгольдеров описаны в пределах, необходимых для конструирования и инженерного решения отдельных узлов и сооружения в целом.

Авторы выражают благодарность коллективу газгольдерщиков института Проектстальконструкция за помощь, оказанную ими при подборе материалов для написания книги.

Авторы признательны также инженерам В. В. Кузнецову и Л. Н. Глухову за ценные замечания при рецензировании рукописи и инженерам Е. Е. Анохину и Н. И. Нефедовой за товарищескую помощь в оформлении книги.

Главы III (§ 1), V и VII написаны инж. С. И. Веревкиным, главы I, II, III (§ 2), IV, VI, VIII и IX — инж. В. А. Корчагиным.

Глава I

Назначение газгольдеров, их классификация и историческое развитие

§ 1. НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЗГОЛЬДЕРОВ

Газгольдеры представляют собой инженерные сооружения, предназначенные для хранения газов различного происхождения и назначения и снабженные специальными устройствами для регулирования основных параметров хранимых материалов (количество, состав и др.).

В соответствии со своим назначением газгольдеры могут выполнять одну или несколько функций. Основными из них являются:

а) длительное или кратковременное хранение газа;

б) смешивание и перемешивание газов различных составов или одного газа различных концентраций;

в) аккумулирование энергии давления хранимого газа;

г) измерение количества вырабатываемого или добываемого газа;

д) распределение газа при наполнении баллонов, цистерн и др. или при подаче его в несколько цехов;

е) выравнивание давления газа в замкнутой газораспределительной системе;

ж) сигнализирование о стабильности установленного технологического процесса или нарушении его.

В зависимости от применяемого давления газгольдеры могут быть разделены на два основных класса:

а) газгольдеры низкого давления — класс I;

б) газгольдеры высокого давления — класс II.

Рабочее давление в газгольдерах класса I назначается исходя из специфических особенностей технологических процессов; обычно оно не превышает 400—500 *мм вод. ст.* (0,04—0,05 *ати*).

Газгольдеры класса II предназначены для эксплуатации при рабочем давлении газа от 0,7 до 30 *ати*, а иногда при еще более высоком давлении.

Каждый из этих двух классов газгольдеров подразделяется на подклассы и типы. Существенно различие между газгольдерами постоянного давления и газгольдерами постоянного объема.

Первые являются емкостями переменного объема, в которых

объем хранимого газа легко изменяется, тогда как давление газа остается неизменным. В газгольдерах постоянного объема геометрический объем остается стабильным, а давление газа может быть изменено в заранее заданных пределах, определяемых исходя из параметров технологического процесса, а также прочности и надежности сооружения.

Газгольдеры низкого давления, как правило, являются газгольдерами постоянного давления и по своим технологическим и конструктивным особенностям могут быть подразделены на две группы:

а) мокрые газгольдеры — группа I;

б) сухие газгольдеры — группа II.

Мокрые газгольдеры бывают двух типов.

а) мокрые газгольдеры с вертикальными направляющими (рис. 1, *а*) — тип I;

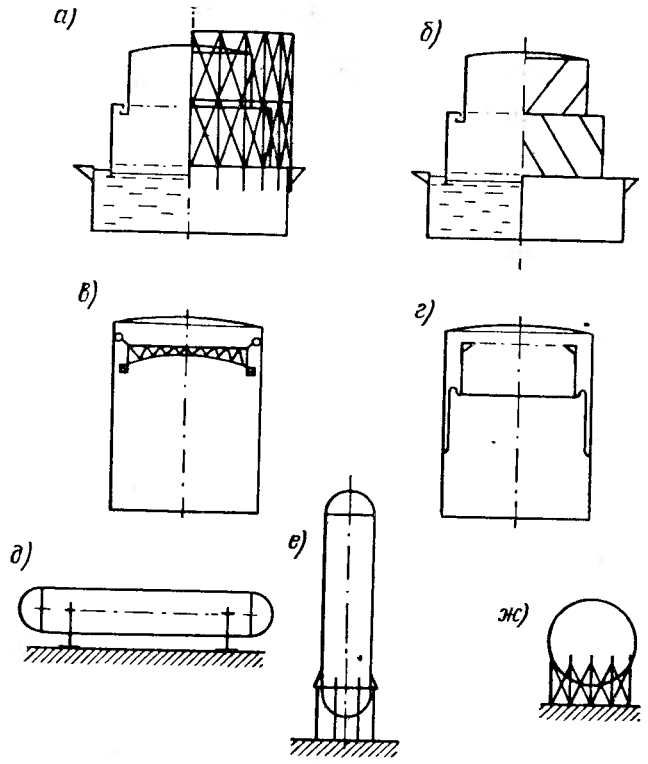


Рис. 1. Схемы газгольдеров

а — мокрый газгольдер низкого давления с вертикальными направляющими; *б* — мокрый газгольдер низкого давления с винтовыми направляющими; *в* — сухой газгольдер поршневого типа; *г* — сухой газгольдер специального типа с гибкой секцией (мембраной); *д* — горизонтальный газгольдер постоянного объема высокого давления; *е* — вертикальный газгольдер постоянного объема высокого давления; *ж* — сферический (шаровой) газгольдер

б) мокрые газгольдеры с винтовыми направляющими (рис. 1, *б*) — тип II.

По принципу работы мокрые газгольдеры обоих типов являются газгольдерами низкого давления и переменного объема. Различие между ними заключается в системах конструкций, воспринимающих воздействие горизонтальных сил (ветер, неравномерный снег на крыше и др.), а также в системе выравнивания отдельных элементов газгольдера при изменении объема.

Сухие газгольдеры также могут быть разделены на два основных типа:

а) сухие газгольдеры поршневого типа (рис. 1, *в*) — тип I;

б) сухие газгольдеры с гибкой секцией (мембраной) (рис. 1, *г*) — тип II.

Сухие газгольдеры обоих типов относятся к газгольдерам переменного объема и постоянного давления газа.

Газгольдеры постоянного объема обычно эксплуатируются при повышенном и высоком давлении хранимых газов и различаются только своей геометрической формой. Давление газа в этих газгольдерах бывает переменным и возрастающим при увеличении объема газа, подаваемого в газгольдер при помощи специальных компрессорных устройств.

По геометрической форме газгольдеры постоянного объема также делятся на два основных типа:

а) цилиндрические газгольдеры со сферическими днищами, располагаемые как в горизонтальном, так и в вертикальном положениях (рис. 1, *е*) — тип I;

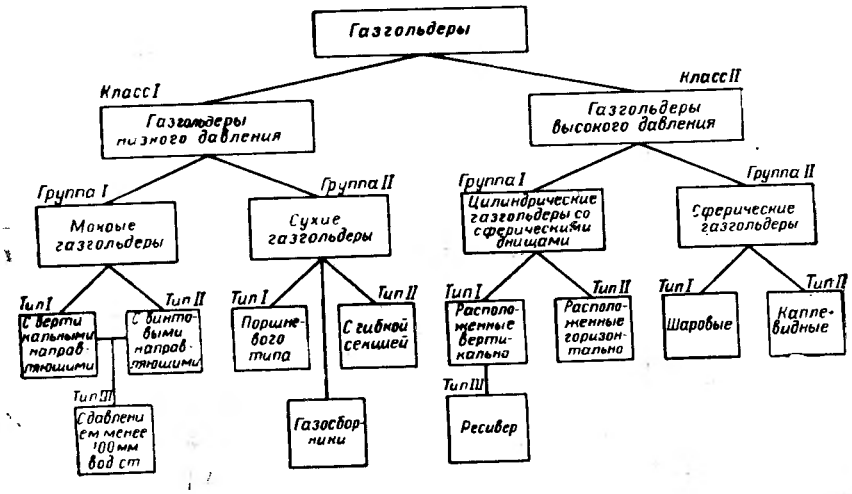


Рис. 2. Классификация газгольдеров

б) сферические (шаровые) газгольдеры, опирающиеся на отдельные стойки или на специальный стакан (см. рис. 1) — тип II.

Классификация газгольдеров показана на рис. 2.

§ 2. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О РАЗВИТИИ ГАЗГОЛЬДЕРОСТРОЕНИЯ

Первым известным из описанных в технической литературе газгольдеров был газгольдер Нерета (1775 г.). По принципу работы он относился к группе сухих газгольдеров переменного объема и постоянного давления, которое создавалось специальной пружиной (рис. 3, *а*).

В 1781 г. французский химик Лавуазье сконструировал первый в мире мокрый газгольдер емкостью около 100 *л*, предназначенный для хранения газа в лаборатории (рис. 3,*б*). Первоначально этот газгольдер имел прямоугольную форму, но через несколько лет (в 1789 г.) Лавуазье переделал его, придав газгольдеру цилиндрическую форму (рис. 3,*в*).

Первый мокрый газгольдер промышленного типа был построен английским химиком Мордохом в 1816 г. в Брайтоне. Он имел прямоугольные очертания. Для уравновешивания отдельных элементов этого газгольдера были применены железные цепи с противовесами.

В 1820 г. английский химик С. Клегг построил первый мокрый газгольдер промышленного типа, имевший цилиндрическую форму.

В начале XIX в. возникла и начала развиваться светильно-газовая промышленность. Для нужд городского уличного освещения строились светильно-газовые заводы и мокрые газгольдеры стали неотъемлемой их частью. Газовое освещение улиц появилось впервые в Лондоне в 1813 г. В 1835 г. зажглись газовые фонари на улицах Петербурга, в 1864 г. — в Вильно, в 1865 г. — в Москве и в 1871 г. — в Харькове. В дальнейшем мокрые газгольдеры стали применяться не только в светильно-газовой, но и в химической промышленности, причем емкость мокрых газгольдеров стала возрастать. Уже в 1888 г. в Лондоне был построен газгольдер емкостью 230 000 $м^3$, а в 1898 г.— емкостью 345 000 $м^3$. Самый большой мокрый газгольдер емкостью 424 800 $м^3$ был построен в Нью-Йорке.

В нашей стране максимальная емкость мокрого газгольдера была равна 100 000 $м^3$ (Днепропетровск). Газгольдер проектировался институтом Гипроспецпромстрой, построен — в 1933 г.

В 1870 г. английскими механиками Гэддом и Мейзоном была предложена конструкция «геликоидального» винтового мокрого газгольдера. Первоначально винтовые газгольдеры строились исключительно в Англии, затем они нашли применение в

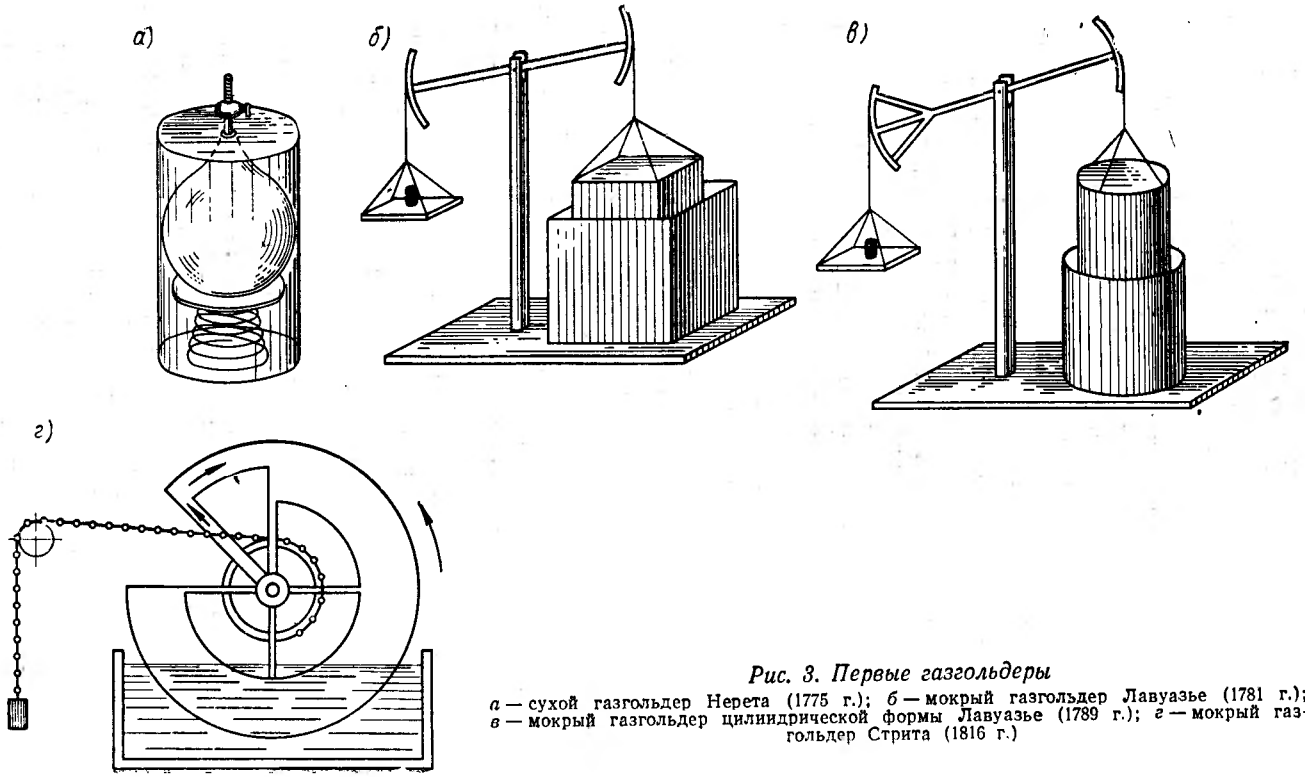


Рис. 3. Первые газгольдеры

а — сухой газгольдер Нерета (1775 г.); *б* — мокрый газгольдер Лавуазье (1781 г.); *в* — мокрый газгольдер цилиндрической формы Лавуазье (1789 г.); *г* — мокрый газгольдер Стрита (1816 г.)

Европе и сейчас строятся во всем мире. Максимальная емкость действующего винтового мокрого газгольдера равна 225 000 $м^3$.

В настоящее время за рубежом развивается строительство винтовых мокрых газгольдеров с частичной заменой стальных конструкций резервуара предварительно напряженным бетоном.

Изобретенный в Германии около 1903 г. сухой поршневой газгольдер впервые был построен в 1915 г. и имел емкость 1 700 $м^3$. Первые сухие газгольдеры строились немецкой фирмой МАН, затем появилась успешно конкурирующая с ней также немецкая фирма «Клённе», которая строила сухие поршневые газгольдеры более совершенного типа. После первой мировой войны сухие газгольдеры поршневого типа получили большое распространение, поскольку на первый взгляд казалось, что сухие газгольдеры обладают некоторыми преимуществами перед мокрыми. Считалось, что сухие газгольдеры большой емкости наиболее экономичны по затратам стали, и около г. Обергаузен (Германия) был построен сухой газгольдер емкостью 347 000 $м^3$, а в Чикаго (США) — емкостью 566 000 $м^3$. В США проектировалась постройка сухого газгольдера емкостью 1 000 000 $м^3$.

В СССР сухие газгольдеры поршневого типа отечественной конструкции строились емкостью до 50 000 $м^3$. Эти газгольдеры имели более совершенное конструктивное решение, лучшую систему уплотнения между корпусом и поршнем, чем газгольдеры немецких фирм.

Множество тяжелых аварий, дороговизна эксплуатации и выявившаяся малая надежность в эксплуатации остановили победный путь сухих газгольдеров поршневого типа. Но промышленность предъявляла спрос на сухие газгольдеры. Необходимо было искать другие конструктивные решения сухих газгольдеров, основывающиеся на новых принципах.

После второй мировой войны в разных странах появились новые типы сухих газгольдеров. Новый сухой газгольдер имел подвижную шайбу и соединительную гибкую секцию. Первое промышленное строительство сухих газгольдеров нового типа, названных по имени изобретателя газгольдера Уиджинса, осуществлялось немецкими фирмами. Емкость газгольдеров этого типа, построенных в Европе, не превышает 5 000 $м^3$. В Советском Союзе сухие газгольдеры с гибкой секцией строятся емкостью от 100 $м^3$ до 10 000 $м^3$.

В 1912 г. в Германии появились принципиально новые газгольдеры постоянного (геометрического) объема и высокого (переменного) давления. Они представляют собой стальные емкости, в которые под высоким давлением нагнетается газ. Хотя геометрический объем газгольдера остается неизменным, объем хранимого газа может многократно увеличиваться, причем фактический объем хранимого газа кратен давлению газа в атмосферах. Так, в постоянный по объему газгольдер емко-

стью 100 $м^3$ при давлении газа в 10 *ати* можно вместить 1000 $м^3$ газа. Такой газгольдер имеет переменное давление газа; по мере нагнетания газа давление в газгольдере увеличивается до расчетного, при выпуске газа давление падает.

В годы первой мировой войны в г. Феникс (штат Аризона, США) был построен первый шаровой газгольдер емкостью 2850 $м^3$ для хранения газа под давлением 3,5 *ати*. В последующие годы шаровые газгольдеры строились в разных странах на различные величины давления газа.

Стальной шаровой газгольдер максимального объема 87 000 $м^3$ построен для ядерного реактора в Шиноне (Франция) в 1963 г. и имеет диаметр 55 *м*. Он рассчитан на давление 17 *ати* и эксплуатационную температуру 235°С.

В Советском Союзе шаровые газгольдеры строятся емкостью от 300 до 2000 $м^3$ и используются главным образом для хранения сжиженных газов.

Шаровые газгольдеры являются газгольдерами постоянного геометрического объема и высокого (переменного) давления газа.

Развитие большой химии в нашей стране предъявляет особые требования к конструкциям газгольдеров. В промышленности используются обезвоженные газы и газы очень высокой концентрации. Для их хранения не пригодны мокрые газгольдеры и сухие газгольдеры поршневого типа, так как хранимые газы могут увлажниться или загрязниться маслами и смазками, что недопустимо. Для хранения таких газов строятся сухие газгольдеры с гибкой секцией.

Глава II

Мокрые газгольдеры

§ 1. МОКРЫЕ ГАЗГОЛЬДЕРЫ С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ

1. Общие сведения

Наиболее распространенными как в СССР, так и за рубежом являются мокрые газгольдеры. Широкое применение они получили вследствие конструктивной простоты, освоенности строительством и надежности в эксплуатации.

Мокрые газгольдеры являются газгольдерами низкого давления, так как обычно максимальное давление газа задается технологами не выше 400 *мм вод. ст.* Это давление остается постоянным во время эксплуатации, хотя и может иметь незначительные перепады. В мокрых газгольдерах объем газа меняется довольно легко, и это является значительным их преимуществом.

Мокрый газгольдер (рис. 4) состоит из неподвижного резервуара, наполненного водой, в котором помещается подвижное звено — опрокинутый стакан-колокол. Газ подается под коло-

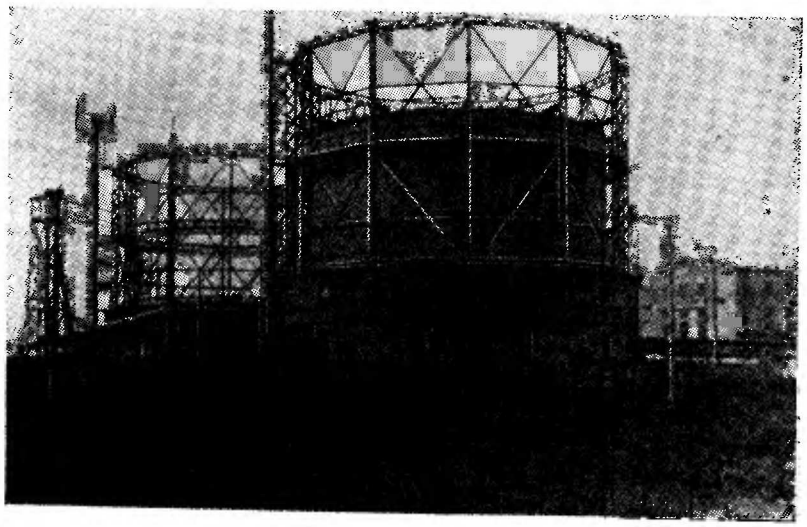


Рис. 4. Общий вид мокрого газгольдера с вертикальными направляющими

кол по газовводному стояку, проходящему через днище резервуара. Упругое давление газа поднимает колокол. Вода резервуара служит гидравлическим уплотнением, препятствующим выходу газа из-под колокола, а при выпуске газа является как бы поршнем, вытесняющим газ из подвижных звеньев. Использование воды как гидрозатвора и послужило основанием для наименования газгольдера мокрым.

В газгольдерах больших объемов между резервуаром и колоколом могут размещаться промежуточные подвижные звенья — телескопы. В зависимости от числа подвижных звеньев газгольдер называется однозвенным, когда есть одно подвижное звено — колокол, двухзвенным — когда кроме колокола есть телескоп, трехзвенным — когда кроме колокола есть два телескопа и т. д.

При наполнении газгольдера газом происходит последовательное телескопическое выдвижение одного подвижного звена из другого и подъем их специальной конструкцией зацепления — гидрозатвором.

С одной стороны, гидрозатворы являются соединительными зацепляющими конструкциями между подвижными звеньями, а с другой стороны, они работают как основные элементы уплотнения между звеньями, противостоя давлению газа. Они представляют собой кольцевые желобчатые конструкции, состоящие из нижнего гидрозатвора, наполненного водой, и обратного ему верхнего гидрозатвора, входящего вертикальным листом в воду нижнего гидрозатвора.

Когда газгольдер наполняется газом, упругое его давление поднимает сначала колокол. Вслед за колоколом, зацепившимся своим нижним гидрозатвором (зачерпнувшим воду при выходе из воды резервуара) за верхний гидрозатвор первого телескопа, первый телескоп начинает подниматься из воды, за ним после аналогичного зацепления поднимается второй телескоп и т. д. и все подвижные звенья, соединяясь последовательно в одно целое, достигают своего наивысшего положения.

При выпуске газа из газгольдера опускание подвижных звеньев происходит в обратном порядке, сначала опускается нижний телескоп, а затем верхние телескопы, последним опускается колокол.

Чтобы подвижные звенья при движении вверх (при наполнении газгольдера газом) или вниз (при выпуске газа) сохраняли свое горизонтальное положение (так как при перекосах звена возможно его заклинивание), устанавливается система выравнивающих роликов. Верхние ролики размещаются на крыше колокола и на верху каждого подвижного звена и катятся по вертикальным внешним направляющим, закрепленным на стенке резервуара с его внешней стороны, равномерно по периметру резервуара. Высота направляющих измеряется высшим положением подвижных звеньев. Вертикальные направ-

ляющие образуют статически неизменяемую многогранную пространственную конструкцию, состоящую из собственно вертикальных внешних направляющих (в виде двутавров или решетчатых ферм), соединенных друг с другом жесткими ригелями и системой раскосных связей.

Нижние ролики установлены по низу каждого подвижного звена; двигаются они по внутренним направляющим, прикрепленным к внутренним поверхностям стенок последующих подвижных звеньев и резервуара.

В целом система внутренних и внешних направляющих обеспечивает восприятие горизонтальных нагрузок, действующих на газгольдер (ветер, односторонний снег и т. д.), создает условия для нормального перемещения подвижных звеньев и передает внешние нагрузки через корпус резервуара на фундамент.

Членение газгольдера на подвижные звенья производится с учетом ряда обстоятельств: общего габарита газгольдера, наименьших затрат стали, снижения стоимости строительства газгольдера в целом, способов изготовления и др.

В практике зарубежного строительства максимальное количество звеньев не превышает шести (рис. 5), так как с увеличением количества звеньев значительно возрастают эксплуатационные расходы и уменьшается надежность работы газгольдера.

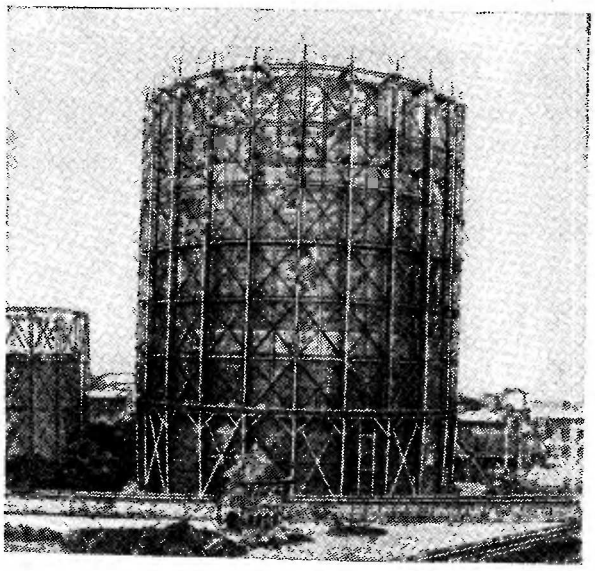


Рис. 5. Общий вид шестизвенного мокрого газгольдера

Мокрые газгольдеры опираются на кольцевой железобетонный, обычно сборно-монолитный фундамент. В середине кольцевого фундамента устраивается искусственное песчаногрунтовое основание.

Количество вводов и выводов газа определяется в зависимости от назначения мокрого газгольдера в технологической цепи предприятия. Газгольдер может быть «буферным» (тупиковым) или работать на «проход» газа. В зависимости от этого может изменяться количество вводов и выводов. Газовводы входят в газгольдер снизу, через днище, для чего необходимо устройство железобетонного приямка, туннеля через кольцевой фундамент и будки над приямком для размещения аппаратуры по управлению газгольдером.

При эксплуатации резервуар газгольдера наполнен водой, ею наполнены также и гидрозатворы. В зимнее время воду в резервуаре и гидрозатворах необходимо подогревать до 5°. Чтобы снизить расходы на отопление (в районах с суровым зимним климатом), вокруг резервуара строят кирпичную утепляющую стенку, доходящую по высоте до кольцевой площадки резервуара.

В мокрых газгольдерах вследствие испарения воды в резервуаре газы несколько увлажняются, что не позволяет использовать мокрые газгольдеры для хранения обезвоженных газов и газов с высокой концентрацией.

Мокрые газгольдеры работают в тяжелых коррозийных условиях, и для защиты их стальных конструкций необходима надежная антикоррозийная защита.

Резервуары многих существующих мокрых газгольдеров выполняются из стальных листов. Если резервуар выполнен из предварительно напряженных железобетонных конструкций, значительно снижается стоимость его эксплуатации, так как затраты на антикоррозийную защиту в этом случае исключаются (что необходимо в стальных резервуарах).

Кроме того, поскольку железобетонный резервуар можно делать заглубленным в землю, расходы на подогрев воды исключаются. Железобетонный резервуар более долговечен, чем стальной.

Управлять работой мокрого газгольдера можно на расстоянии, для чего необходимо оборудовать его механизмами, датчиками и сельсинами. При проектировании технологической части газовводов учитывается, что нормальная скорость опускания или поднятия подвижных звеньев по вертикали не должна превышать 1,5 *м* в минуту.

Если газгольдер строится в районе лёссовидных просадочных грунтов, необходимы специальные мероприятия по укреплению грунтов или разработка специального проекта на конструкции фундамента и основания.

Для создания заданного давления газа в газгольдере соб-

ственного веса конструкций может оказаться недостаточно. В таких случаях применяют специальную пригрузку из верхних бетонных и нижних чугунных грузов, располагаемых на крыше колокола по его периметру и внизу колокола. В отдельных случаях возможна замена нижних чугунных грузов бетонными.

Газгольдер должен быть оборудован грозозащитными устройствами.

2. Основные размеры

Полезной (номинальной) емкостью газгольдера низкого давления считается объем газа, который может быть заключен в нем при высшем положении подвижных звеньев. В мокрых газгольдерах полезной емкостью считается объем всего внутреннего пространства подвижных звеньев, за вычетом объема сферического сегмента крыши колокола, поскольку газ из этого пространства не может быть вытеснен даже при низшем положении подвижных звеньев.

Эксплуатационная емкость газгольдера зависит от способа управления газовыми вводами. При автоматическом управлении газовым вводом она составляет примерно 80% полезной емкости газгольдера; при ручном управлении — около 90% полезной емкости.

В каждой стране существует наиболее употребительная градация емкостей мокрых газгольдеров, соответствующая принятой технологии и характеру производства. Емкость мокрых газгольдеров за рубежом достигает 100 000, 200 000 $м^3$ и более. В Советском Союзе существуют мокрые газгольдеры емкостью 100 000 $м^3$, однако такая емкость не характерна. Наиболее распространенными являются газгольдеры емкостью 600 и 1000 $м^3$ для коммунального хозяйства городов и 6000, 10 000 и 20 000 $м^3$ для химической промышленности.

До 1956 г. в Советском Союзе существовала градация емкостей мокрых газгольдеров по ГОСТ 2908—45; мокрые газгольдеры имели емкости: 100, 300, 600, 1000, 2400, 6400, 10 000, 15 000, 22 000 и 32 000 $м^3$.

С 1956 г. действуют новые типовые проекты, более совершенные по конструкциям, по методам изготовления и монтажа мокрых газгольдеров, с градацией емкостей: 100; 300; 600; 1000; 3000; 6000; 10 000; 15 000; 20 000 и 30 000 $м^3$.

Газгольдеры промежуточных или бóльших емкостей, чем принято в типовых проектах, строятся по индивидуальным проектам.

Для определения генеральных геометрических размеров мокрых газгольдеров не существует готовых формул, как это

Таблица 1

Генеральные размеры мокрых газгольдеров с вертикальными направляющими
(типовые проекты Госстроя СССР 7-07-01 до 7-07-10, 1956)

Номинальная емкость в $м^3$	Фактическая емкость в $м^3$	Диаметр в *мм*			Высота в *мм*			Полная высота газгольдера в *мм* H	$\frac{D_к}{H}$	Количество направляющих			Расход стали	
		резервуара $D_р$	1-го телескопа $D_{т_1}$	колокола $D_к$	резервуара h	1-го телескопа $h_{т_1}$	колокола $h_к$			внешних	внутренних		в *т*	в *кг/м³* номинальной емкости
											в резервуаре	в телескопе		
100	109	7 400	—	6 600	3 450	—	3 240	6 210	1,19	6	6	—	15,7	157
300	321	9 300	—	8 500	5 920	—	5 710	11 150	0,83	6	6	—	26,72	89
600	635	11 480	—	10 680	7 390	—	7 140	14 030	0,82	8	8	—	40,49	67,5
1000	1 045	14 500	—	13 700	7 390	—	7 140	14 030	1,03	8	16	—	56,91	56,9
3 000	3 060	21 050	—	20 250	9 800	—	9 550	18 850	1,12	12	24	—	121,35	40,5
6 000	6 072	26 900	—	26 100	11 750	—	11 450	22 600	1,19	12	24	—	209,25	34,8
10 000	10 078	28 140	27 120	26 100	9 800	9 400	9 400	27 440	1,02	12	24	24	291,3	29,1
15 000	15 134	31 170	30 110	29 050	11 750	11 350	11 350	33 290	0,93	12	24	24	369,38	24,8
20 000	20 280	35 860	34 780	33 700	11 750	11 350	11 350	33 290	1,08	12	24	24	430,41	21,5
30 000	30 360	43 600	42 500	41 400	11 730	11 330	11 330	33 210	1,31	16	32	32	642,71	21,5

имеет место в резервуаростроении, где формула академика В. Г. Шухова в определенных пределах дает нужные оптимальные соотношения для генеральных размеров резервуаров.

Генеральные размеры мокрых газгольдеров с вертикальными направляющими (типовые проекты) приведены в табл. 1.

Сопоставлением проектов газгольдеров одной и той же емкости, но с различными параметрами удалось вывести оптимальное с точки зрения экономики сооружения отношение величины диаметра резервуара к величине полной высоты газгольдера при поднятых звеньях.

Для мокрых газгольдеров с вертикальными направляющими это соотношение колеблется от 0,8 до 1,3, для мокрых газгольдеров с винтовыми направляющими — от 1,2 до 1,75.

В пределах этих соотношений должно быть выбрано правильное членение газгольдера по высоте, которое должно обеспечивать уменьшение высоты стенки резервуара, работающей на гидростатическое давление.

При определении геометрических размеров мокрого газгольдера следует иметь в виду, что высота всех стенок подвижных звеньев должна быть одинаковой, а высота стенки резервуара — больше высоты стенки звеньев на высоту подкладной балки, на которую опираются подвижные звенья, когда газгольдер пуст, и на запас высоты в 100 *мм* над уровнем воды, залитой в резервуар.

Вертикальные и горизонтальные размеры гидрозатвора определяют расчетом, исключающим возможность проскока газов в гидрозатворе или переливания воды через его борт, что в зимнее время может привести к образованию льда на поверхности звена и, следовательно, увеличению его веса (рис. 6).

При полностью заполненном газом газгольдере должна быть обеспечена надежная глубина гидрозатвора с учетом:

а) противостоящего заданному давлению газа общего столба воды в полостях гидрозатвора;

б) возможности перекоса подвижного звена;

в) запаса глубины для предотвращения просачивания газа через воду над прокладкой в нижнем гидрозатворе;

г) толщины нижней и верхней прокладок;

д) запаса высоты в случае образования волн на наружной поверхности воды в гидрозатворе;

е) дополнительной высоты при использовании в виде антикоррозийной защиты специальной жидкости.

Нижний гидрозатвор подвижного звена, выходя из бассейна (резервуара), зачерпывает воду. Когда гидрозатвор входит в зону газового пространства, газ вытесняет воду из внутренней полости в наружную полость гидрозатвора на общую высоту,

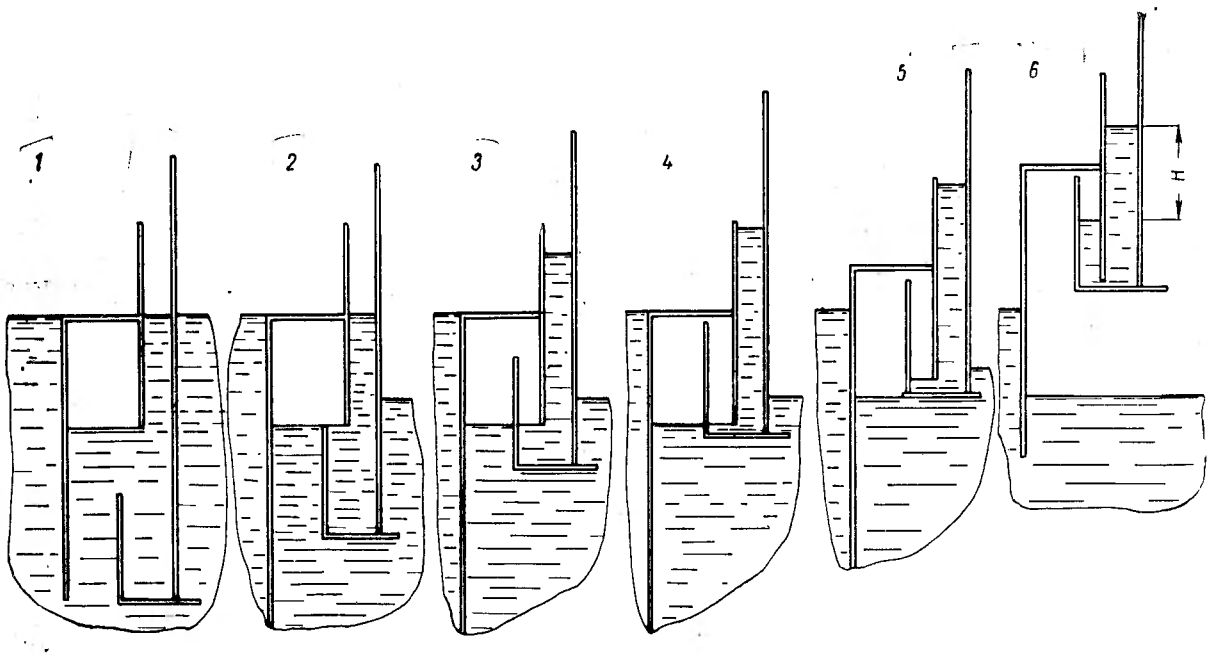


Рис. 6. Положение уровней воды в гидрозатворах

1 — резервуар заполнен водой; в полости верхнего гидрозатвора находится воздух (воздушный пузырь); *2* — вертикальный лист нижнего гидрозатвора дошел до нижнего уровня воздушного пузыря в верхнем гидрозатворе; *3* — вертикальный лист нижнего гидрозатвора на половину высоты вошел в зону верхнего гидрозатвора; *4* — вертикальный лист нижнего гидрозатвора вошел на всю высоту в зону верхнего гидрозатвора; *5* — гидрозатвор поднимается вместе с подвижными звеньями вверх; давление воздуха (воздушный пузырь) приблизительно равно 520 *мм вод. ст.*; *6* — гидрозатворы поднялись; перепад уровней воды в пазухах гидрозатворов равен давлению газа в газгольдере — *H мм вод. ст.*

равную заданному давлению газа (обычно максимальное давление 400 *мм вод. ст.*) (рис. 7).

По объему вытесненной воды определяют высоты h_1 и h_2:

$$h_1 f_1 = h_2 h_2,$$

где $h_1+h_2=H$ — заданное давление газа в *мм вод. ст.*, равное для типовых проектов 400 *мм*.

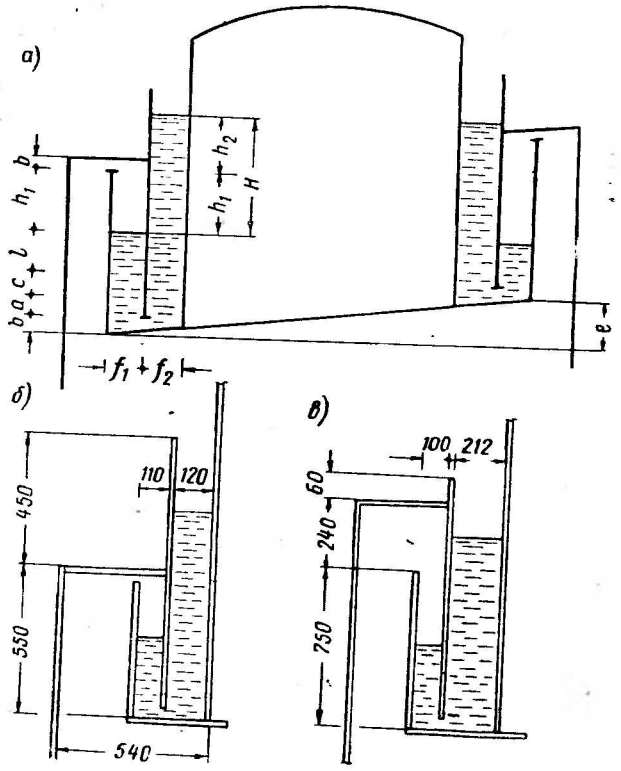


Рис. 7. Гидрозатворы мокрых газгольдеров

а — определение необходимой глубины гидрозатвора; *б* — геометрические размеры гидрозатвора газгольдера с вертикальными направляющими; *в* — геометрические размеры гидрозатвора газгольдера с винтовыми направляющими

Полная высота гидрозатвора складывается:

а) из расчетной, противостоящей заданному максимальному давлению газа, высоты столба воды в полостях h_1 и h_2, в сумме равных H_2 в *мм* (или в *мм вод. ст.*);

б) из запасной высоты l на возможный вертикальный перекос подвижного звена газгольдера, равный по данным практики $0{,}002D$ (или $0{,}2\%\ D$) верхнего подвижного звена;

в) из добавочной высоты для предотвращения просачивания газа $a=50$ *мм*;

г) из толщины нижней прокладки $b=30$ *мм*;

д) из образования волны на поверхности воды в наружной полости гидрозатвора $c=30$ *мм*.

Следовательно,

$$H_2 = h_1 + h_2 + l + a + b + c.$$

Если необходимо применение антикоррозийной защитной жидкости, общую высоту гидрозатвора увеличивают на 50—100 *мм*.

Во всех типовых проектах мокрых газгольдеров зазор установлен равным 550 *мм* и диаметр верхнего подвижного звена от диаметра нижнего подвижного звена отличается на 1100 *мм* (рис. 8).

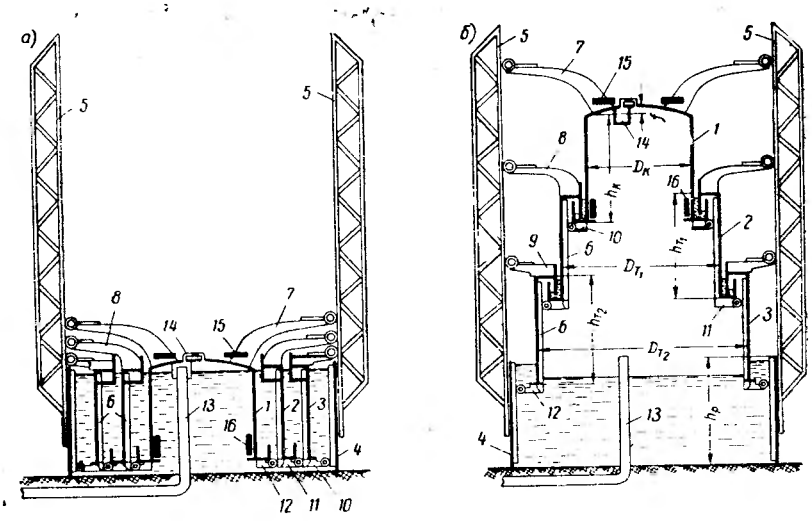


Рис. 8. Схема мокрого газгольдера с вертикальными направляющими

а — подвижные звенья опущены; *б* — подвижные звенья подняты давлением газа; *1* — колокол; *2* — 1-й телескоп; *3* — 2-й телескоп; *4* — резервуар; *5* — внешние направляющие; *6* — внутренние направляющие; *7* — верхний ролик колокола; *8* — верхний ролик 1-го телескопа; *9* — верхний ролик 2-го телескопа; *10* — нижний ролик колокола; *11* — нижний ролик 1-го телескопа; *12* — нижний ролик 2-го телескопа; *13* — газоввод; *14* — колпак над газовводом с перепускной трубой; *15* — верхние бетонные грузы; *16* — нижние чугунные грузы

Полезную (номинальную) емкость газгольдера определяют при наивысшем положении звеньев, без включения сегмента сферической кровли, так как при опускании подвижных звеньев вода доходит до верха цилиндрической стенки колокола и не вытесняет газ, заключенный в пространстве под куполом колокола.

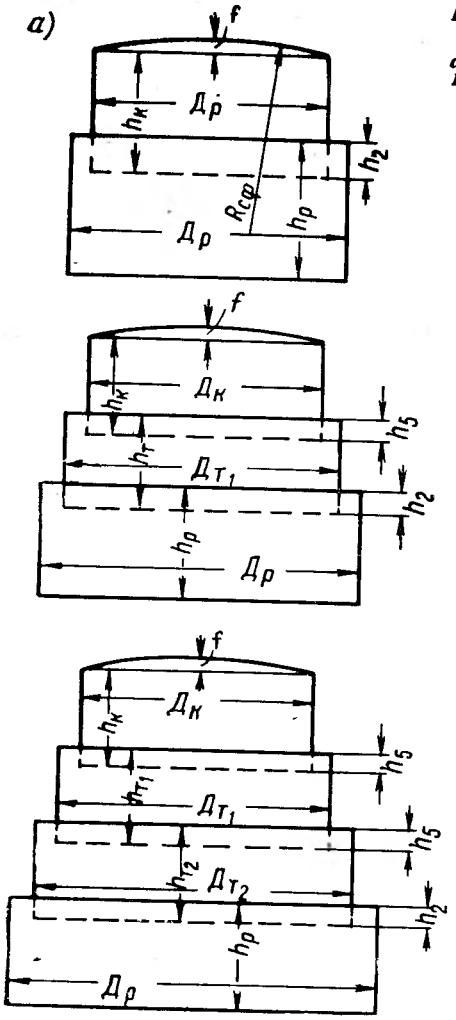


Рис. 9. Схемы газгольдеров с вертикальными направляющими

а — геометрическая; *б* — конструктивная; *1* — настил кровли $\delta = 3$ *мм*; *2* — крайние листы (окрайки)

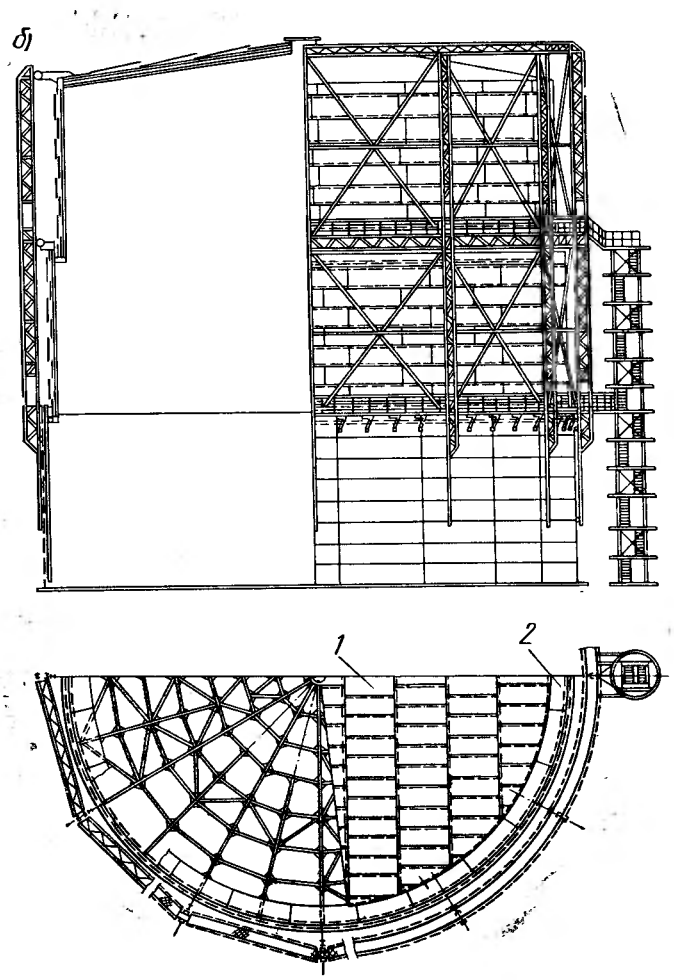
Полезную емкость газгольдера определяют по формулам (рис. 9):

для однозвенных газгольдеров

$$V_1 = \frac{\pi D_к^2}{4}(h_к - h_2);$$

для двухзвенных газгольдеров

$$V_2 = \frac{\pi D_к^2}{4} h_к + \frac{\pi D_т^2}{4}(h_т - h_5 - h_2);$$



для трехзвенных газгольдеров

$$V_3 = \frac{\pi D_к^2}{4} + \frac{\pi D_{т_1}^2}{4}(h_т - h_5 - h_2) + \frac{\pi D_{т_2}^2}{4}(h_{т_2} - h_5),$$

где $D_к$ — внутренний диаметр колокола;

$D_{т_1}$, $D_{т_2}$, $D_{т_3}$ — внутренний диаметр телескопов;

$h_к$ — высота цилиндрической степени колокола;

$h_{т_1}$, $h_{т_2}$ — высота цилиндрической стенки телескопов;

h_2 — величина погружения колокола (или телескопа) в воду резервуара (минимальная);

h_5 — величина, теряемая от нахлестки частей верхнего и нижнего гидрозатворов.

3. Резервуар газгольдера

Резервуар мокрого газгольдера наполняется водой, создающей газонепроницаемое уплотнение в гидрозатворах подвижных звеньев.

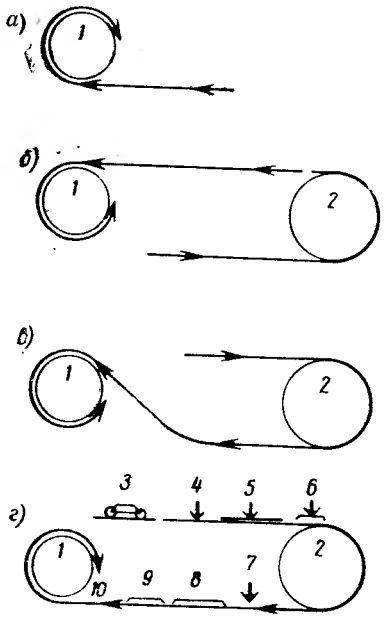


Рис. 10. Принципиальная схема рулонирования (Н — ширина)

а — одноярусная со сборкой внизу, $H=12{,}9$ *м*; *б* — двухъярусная со сборкой внизу, $H=14{,}8$ *м*; *в* — двухъярусная со сборкой вверху, $H=14{,}8$ *м*; *г* — двухъярусная со сборкой вверху, $H=18$ *м*; *1* — барабан со сворачивающим устройством; *2* — направляющий барабан; *3* — тележка с пневмозахватами; *4* — сварка поперечных швов; *5* — сварка продольных швов; *6* — участок внешнего осмотра; *7* — подварка поперечных швов; *8* — подварка продольных швов; *9* — контроль исправленных швов; *10* — грунтовка

Для определения габарита резервуара исходят из высоты стенки и диаметра резервуара. Стенка работает на горизонтальное растяжение от гидростатического напора воды. Стальные резервуары делают наземными; железобетонные резервуары целесообразно заглубить в землю полностью или на часть высоты. В отдельных случаях встречаются резервуары двухстенчатые, состоящие из двух цилиндров, помещенных один в другом. В таком случае внешняя цилиндрическая стенка работает на растяжение, как в обычном резервуаре, внутренняя стенка работает на сжатие и поэтому по соображениям прочности и устойчивости требует значительных затрат металла (если внутренняя стенка делается из стали).

Днище в резервуаре наиболее целесообразно делать плоским из листового металла, целиком опирающимся на песчаное основание. Случаи проектирования днища резервуара в форме днища Инце, вогнутых сферических и конических чаш и др. относятся к сравнительно давним временам и вызывались рекламными или экспериментальными целями зарубежных фирм.

Для лучшего стока воды и очистки (когда из резервуара выпускают воду) днище резервуара имеет незначительную конусность с подъемом к центру днища, равным $^1/_{75}$ диаметра резервуара.

Стенки резервуара, как и стенки подвижных звеньев (колокола и телескопов), а также днища резервуаров изготовляются из стальных листов, сваренных в заводских условиях в целые полотнища. В настоящее время изготовление их производится на заводских рулонных стендах (рис. 10), где по мере готовности полотнище наматывается на каркас барабана, имеющего цилиндрическую форму, внутри которого может быть оборудована шахтная лестница (используемая затем по прямому назначению как лестница), или на простой инвентарный барабан.

Вес одного рулона не должен превышать 62 *т*, и в случае, если вес стенки резервуара превышает максимальный вес ру-

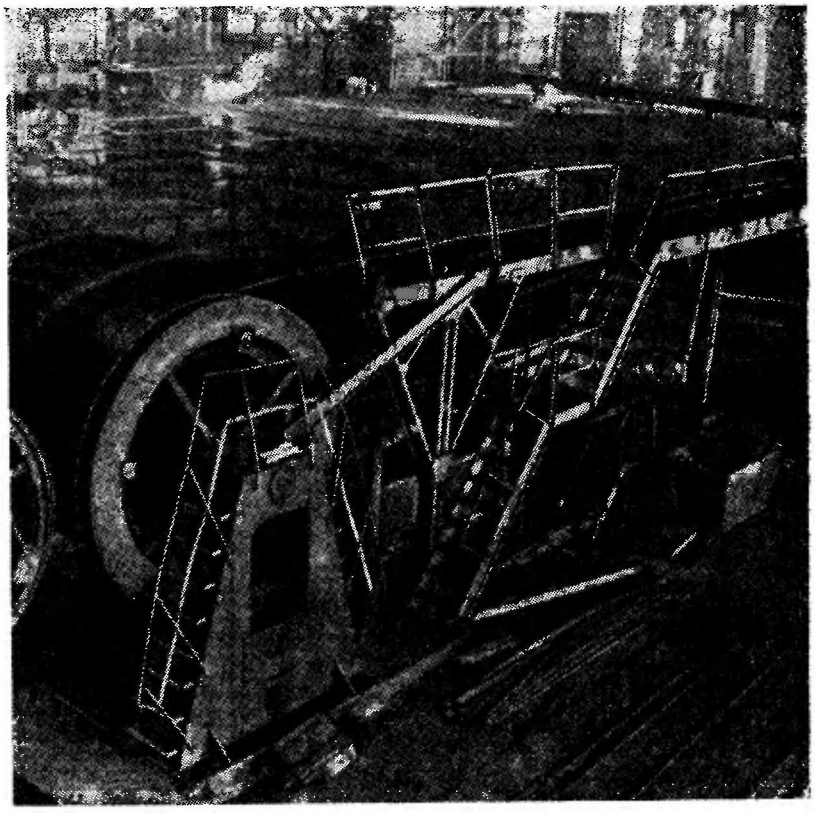


Рис. 11. Общий вид рулонной установки на заводе металлоконструкций

лона, стенка изготовляется из двух или более рулонов. Рулон не должен превышать габаритов, допустимых для железнодорожных перевозок, и его максимальный диаметр не должен быть более 3250 *мм* (рис. 11).

Днище обычно делится на два или более (но обязательно четное количество) монтажных полотнища с обязательным монтажным стыком посередине днища (для образования конусности).

Толщина стенки резервуара определяется по расчету. Обычно она выполняется из отдельных листов-поясов, толщина ко-

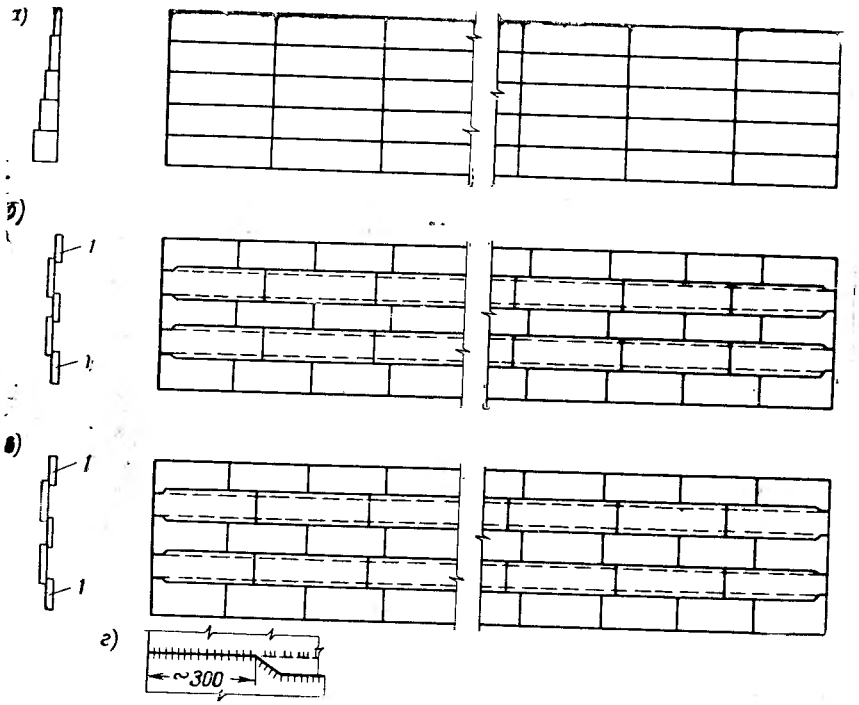


Рис. 12. Рулонные заготовки для стенок мокрого газгольдера

а — стенка резервуара; *б* — стенка телескопа; *в* — стенка колокола; *г* — деталь выравнивания плоскостн стенки; *1* — пояса толстолистовой стали, относящиеся к несущему каркасу подвижных звеньев; все вертикальные стыки листов сварнваются в стык

торых уменьшается к верху резервуара в связи с уменьшающимся гидростатическим давлением воды.

Вертикальные стыки листов (любой толщины) сваривают в стык; горизонтальные стыки листов рекомендуется выполнять при любых толщинах также прямыми в стык, но в отдельных случаях для листов толщиной 4 *мм* и менее возможна сварка

внахлестку, со сплошными швами с обеих сторон. При сварке в стык кромки листов следует предварительно прострогать. Для расчета стенки резервуара расчетным является вертикальный сварной стык.

Вертикальная стенка резервуара должна иметь гладкую поверхность с внутренней стороны для удобства крепления внутренних направляющих и обеспечения высокого качества антикоррозийной защиты (рис. 12). Следовательно, ступенчатая поверхность стенки с постепенно утончающимися вверх листами должна находиться снаружи. Такое расположение листов делает необходимым изготовление рулонных полотнищ на таких стендах, где сборка листов и сварка их производятся на верхнем ярусе. При проектировании газгольдеров максимальная высота стенки резервуара должна быть не больше ширины рулонного стенда. С другой стороны, высота стенки так же, как и высота налива воды (и диаметр резервуара), влияет на толщину листа нижнего пояса. Толщина листа не должна превышать толщину, при которой можно свернуть рулон на рулонном стенде определенной мощности. В случае если толщина нижнего листа стенки резервуара, при расчете ее с применением стальных листов из стали марки Ст.3, окажется большей, чем это возможно для обработки полотнища (сворачивания его) на рулонном стенде, необходимо перейти к маркам стали более высокой прочности, например к низколегированным сталям. Если по каким-либо причинам низколегированную сталь применить невозможно, то применяют двухслойные оболочки из стали марки ВСт.3. В таком случае рулонная заготовка изготовляется с нижними листами максимально возможной для сворачивания на стенде толщиной, а недостающая толщина накладывается на эти листы снаружи, в виде внешнего бандажа или второй стенки. Суммарная толщина стенки должна составлять расчетную толщину. Наружную вторую стенку-бандаж затягивают и монтажный стык заваривают.

Вертикальный монтажный стык рулонного полотнища (рис. 13) стенки резервуара может быть сварен в стык, внахлестку или на накладке.

В первом случае общая длина рулонного полотнища делается на 100—150 *мм* больше и при подгонке стыка обрезается; во втором случае длина полотнища делается большей на величину принятой нахлестки, обычно около 150—200 *мм*; в третьем случае припуск дается по ширине накладки и величине принятого зазора. Накладку ставят изнутри резервуара, где стенка гладкая без ступенек, возникающих от разницы толщин листов по высоте. Конструкция монтажного стыка полотнища стенки со сваркой в стык наиболее распространена.

При определении длин полотнищ рулонной заготовки необходимо пользоваться числом π не менее чем с пятью знаками после запятой (3,14159). (Пример: $L=\pi D$; при $D=40\,000$ *мм*,

при $\pi=3{,}14$ $L=125\,600$ *мм*; при $\pi=3{,}14159$ $L=125663{,}6$ *мм*, следовательно, разница составляет 63,6 *мм*).

Стенки резервуара в целях экономии металла должны быть расчленены на пояса малой высоты. При этом полнее используется несущая способность листа определенной толщины, так как гидростатическое давление имеет для всей стенки эпюру давления в виде треугольника, а для отдельных поясов — в виде трапеции. Однако в типовых проектах мокрых газгольдеров высота поясов принята равной 1500 *мм* из соображения конструктивных особенностей рулонного стенда, где на таком расстоянии расположены подкладки под горизонтальные стыки листов стенки, и снижения стоимости (заказ листов без приплаты). Из этих же соображений для стенки резервуара приняты общие габариты листов 1500×6000 *мм*.

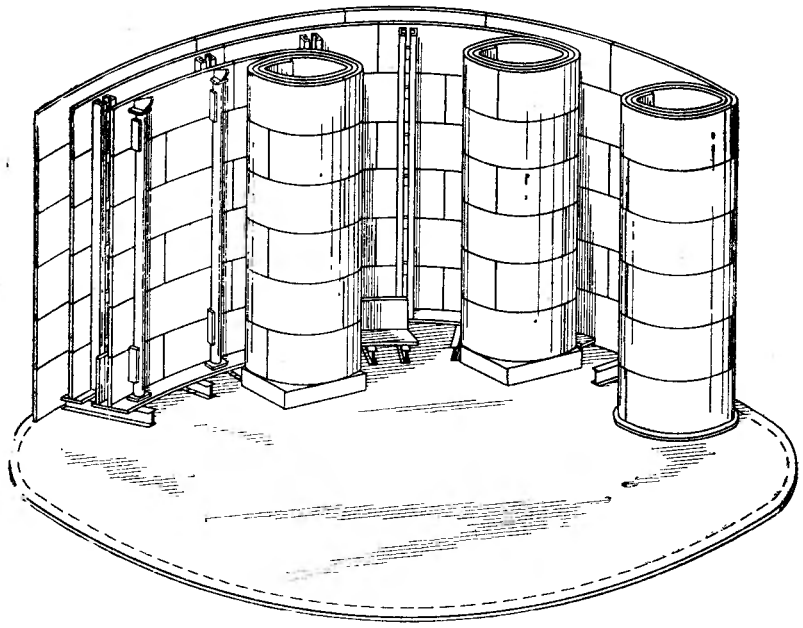


Рис. 13. Параллельное разворачивание рулонов

Толщину верхних листов назначают по конструктивным соображениям и принимают не менее 4 *мм*. Самый верхний пояс принимают толщиной 4 *мм* — для газгольдеров емкостью от 100 до 600 $м^3$; 5 *мм* — для газгольдеров емкостью 1000 и 3000 $м^3$; 6 *мм* — для газгольдеров емкостью от 6000 до 30 000 $м^3$.

Увеличение толщины листа верхнего пояса вызывается необходимостью прикрепления горизонтальной кольцевой площадки, играющей роль жесткого диска и обеспечивающей устойчивость и неизменяемость цилиндрического очертания резервуара.

Кольцевая площадка воспринимает горизонтальные нагрузки от вертикальных направляющих и через корпус резервуара передает их на кольцевой фундамент. Площадку делают шириной примерно 800 *мм* с двухсторонним ограждением и настилом из рифленой стали.

При расчете стенки резервуара учитывают марки стали, из которых изготовляется стенка, и вид контроля качества сварных швов, который задается при проектировании (нормальный или повышенный).

Толщину листа стенки резервуара определяют расчетом по безмоментной теории (без учета изгибных напряжений) по формуле

$$\delta = \frac{(P+\gamma h)r}{R\varphi} \cdot \frac{n}{m},$$

где δ — толщина листа в поясе стенки резервуара в *см*;

r — внутренний радиус резервуара для данного пояса стенки в *см*;

P — давление газа в $кГ/см^2$;

γ — объемный вес воды при $t=4°C$, равный 1 $т/м^3$, или 0,001 $кг/см^3$;

h — глубина налива воды, соответствующая центру тяжести трапеции эпюры давлений воды на участке высоты пояса рассчитываемой стенки в *см* (разрешается в запас прочности принимать положение центра тяжести на $^1/_3$ высоты пояса стенки);

n — коэффициент перегрузки, принимаемый для воды в резервуаре и равный 1,1;

m — коэффициент условий работы, принимаемый для резервуара и равный 0,8;

R — расчетное сопротивление, принимаемое для стали или для сварного шва;

φ — коэффициент сварного шва (при повышенных методах контроля сварных швов $\kappa=1$, т. е. его прочность равна прочности металла).

Днище резервуара составляется из стальных листов одной толщины или из листов двух толщин. Во втором случае днище состоит из центральной части, где листы имеют одну толщину, и окаймляющей части — окраек, где листы принимаются несколько большей толщины, чем в центральной части.

В типовых проектах для газгольдеров емкостью от 100 до 600 $м^3$ толщина листов днища принята равной 5 *мм*, для газгольдеров емкостью 1000 $м^3$ — 6 *мм*, для газгольдеров ем-

костью 3000 $м^3$ и выше — в центральной части листы приняты толщиной 6 *мм*, а на окрайках 8 *мм*.

Листы днища свариваются между собой в стык автоматической сваркой, в виде рулонной заготовки. Сопряжение листов стенки резервуара с днищем осуществляется двухсторонним сварным швом, без каких-либо конструктивных усилений.

Днище состоит из двух или более монтажных полотнищ и обязательно имеет монтажный стык по средней части днища, для более удобного образования конусной формы с подъемом к центру ($^1/_{75}$ диаметра резервуара).

Монтажные полотнища днища соединяют между собой сваркой внахлестку или на подкладке.

Для удобства приварки вертикальной стенки к листам окрайки при сварке внахлестку делают специальную подрезку на части листа окрайки и сварку в стык (рис. 14).

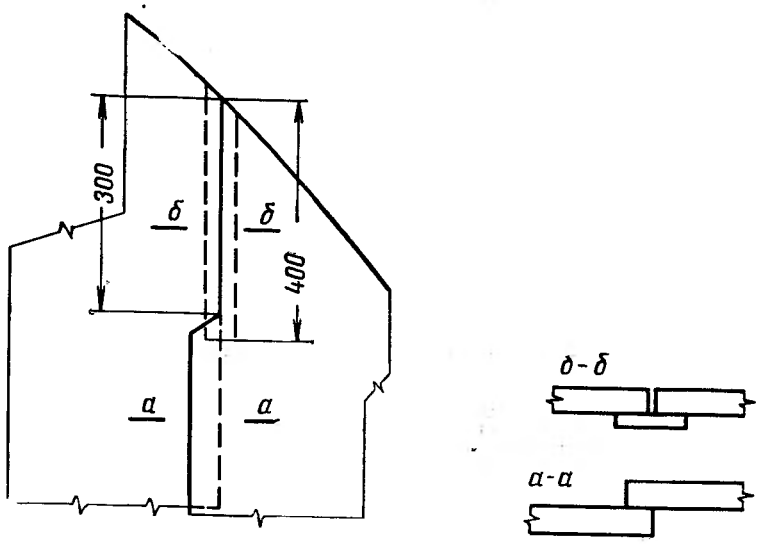


Рис. 14. Узел окрайки днища газгольдера

При изготовлении и монтаже днища необходимо учитывать величину усадочных деформаций при сварке (один шов — 1 *мм*). Размер листов при изготовлении днища в типовых проєктах принят равным 1800×6000 *мм*.

На днище резервуара через равные промежутки укладывают в радиальном направлении подкладные балки, на которые в пустом газгольдере опираются подвижные звенья: колокол и телескопы (низшее положение подвижных звеньев). Кроме того, подкладные балки обеспечивают зазор между днищем и низом подвижных звеньев, который необходим для размеще-

ния нижних роликов, крепящихся снизу горизонтальных листов подвижных звеньев.

Балки предотвращают присасывание грязи, скапливающейся на дне резервуара, к телескопу и колоколу, когда они находятся в низшем положении. Присасывание же увеличивает сопротивление при подъеме подвижных звеньев.

Балки приваривают к днищу только на том участке длины, на котором они находятся над железобетонным кольцевым фундаментом, и не приваривают в том участке, где балки располагаются за пределами фундамента над песчаным основанием, которое могло быть уложено с нарушением указаний СНиП или в зимнее время и в результате этого может дать просадку, из-за чего будет опускаться и стальное днище, нагруженное давлением воды. В таком случае возможны разрывы листов днища и их отрывы от подкладных балок.

4. Подвижные звенья газгольдера

Колокол является подвижным звеном мокрого газгольдера и представляет собой полый цилиндр с герметической сферической крышей.

Конструкции колокола состоят из двух основных элементов: несущего каркаса и оболочки.

Каркас колокола состоит из выгнутых по радиусу сферы и образующих крышу стропил, стоек, на которые одним концом опираются стропила, и поясов жесткости стенки (верхнего и нижнего), выполненных из толстолистовой стали (рис. 15).

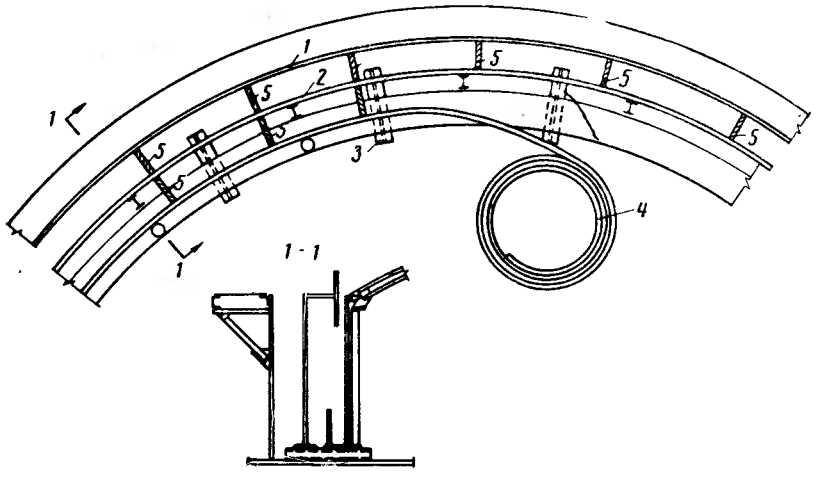


Рис. 15. Разворачивание стенки колокола

1 — стенка резервуара; *2* — стенка телескопа; *3* — подкладная балка; *4* — рулонная заготовка; *5* — распорка, фиксирующая зазор между стенками

Радиально расположенные стропила связаны по периметру окрайкой кровли из толстолистовой стали, приваренной как к уторному уголку, так и к стропилам кровли. К этой окрайке и приваривается кровельный настил из листа толщиной 2,5—3 *мм*. Кровельный настил не приваривается к стропилам и лежит на них свободно («дышащая кровля»). При заполнении газом он может свободно подниматься над стропилами, надуваясь как оболочка шара. Обшивка стенки колокола также делается из тонколистовой стали толщиной 3—4 *мм*. Оболочка стенки приваривается к верхнему и нижнему поясам жесткости стенки. Она также свободно надувается при заполнении газгольдера газом.

Стенка колокола изготовляется в виде рулонной заготовки. Вертикальные стыки верхних и нижних несущих поясов стенки сваривают в стык. Листы оболочки из тонких листов соединяют по-разному: вертикальные стыки оболочки — в стык, горизонтальные стыки также рекомендуется делать сваренными в стык, но разрешается соединение внахлестку.

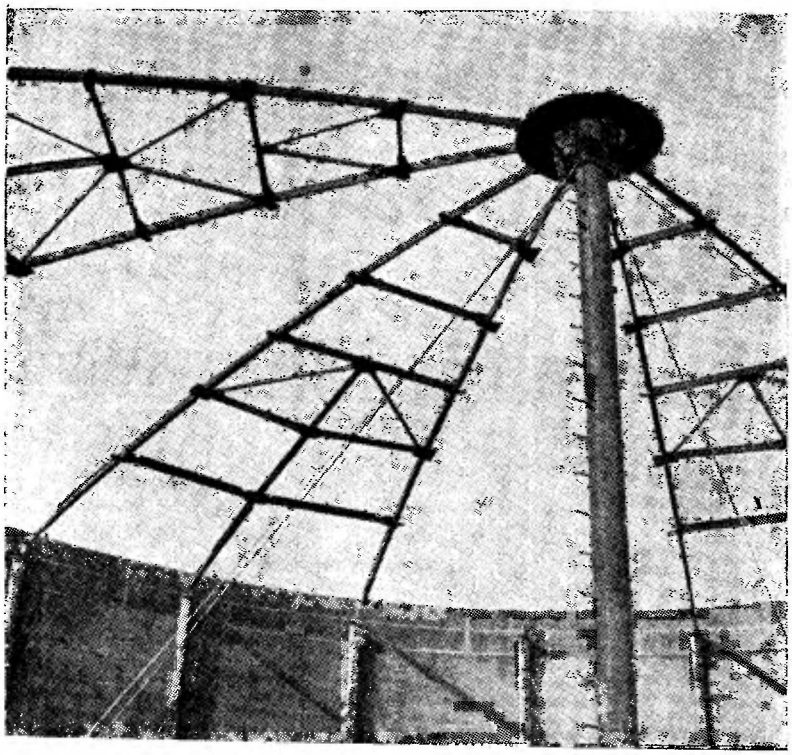


Рис. 16. Монтаж стропил

Верхнее кольцо жесткости колокола образуется из окрайков кровли, уторного уголка и верхнего пояса жесткости стенки (верхнего пояса стенки колокола) (рис. 16).

Нижнее кольцо колокола образуется из нижнего вертикального поясного листа (жесткости) колокола и горизонтального кольца. В однозвенных газгольдерах это кольцо имеет уширение с внутренней стороны колокола, предназначенное для опирания на него чугунных грузов, а в случае, если газгольдер имеет два звена и более, горизонтальный лист делается достаточно широким для того, чтобы с наружной его стороны разместить короб нижнего гидрозатвора, а с внутренней стороны дать уширение, необходимое для размещения чугунных грузов.

Радиус сферы купола назначается из условия

$$f \approx \frac{D_к}{15},$$

где f — стрелка подъема сферы над горизонталью в *мм*;
$D_к$ — диаметр колокола в *мм*.

Радиус сферы

$$R_{сф} = \frac{\frac{D_к^2}{4} + f^2}{2f} = \frac{\frac{D_к^2}{4} + \frac{D_к^2}{15}}{\frac{2D_к}{15}} = 1{,}908\, D_к.$$

Несущий каркас, поддерживающий оболочку купола, состоит из радиально расположенных стропил, гнутых по радиусу сферы, и системы связей, состоящей из кольцевых распорок и раскосов и образующей в целом ребристо-кольцевой купол (рис. 17).

Радиально расположенные стропила сходятся в центре купола, опираясь на опорный барабан-кольцо (корону).

Когда колокол наполнен газом, то внешняя нагрузка на оболочку кровли уравновешивается внутренним давлением газа и стропила не участвуют в работе.

При пустом газгольдере, когда колокол находится в своем низшем положении, вся внешняя нагрузка воспринимается стропилами.

Нагрузка на сферические стропила включает собственный вес стропил, связей и оболочки, вес снеговой нагрузки и бетонных грузов, расположенных на специальной площадке для грузов по периметру кровли.

Нагрузки на стропила передаются дальше на стойки колокола, которые наиболее рационально делать трубчатого сечения; в этом случае внутренняя полость труб используется для наполнения вибрированным бетоном, что позволяет уменьшать вес специальной пригрузки (рис. 18). Гибкость стоек не должна превышать 150.

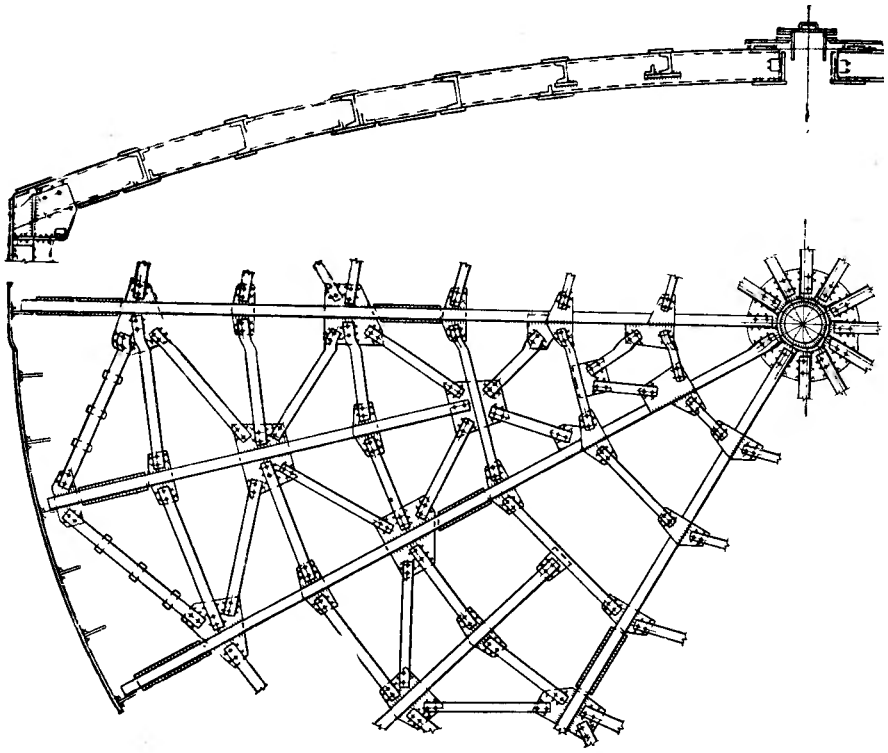


Рис. 17. Конструкция несущего каркаса крыши колокола

В отечественных типовых проектах мокрых газгольдеров вес несущего каркаса крыши (без кровельного настила) увеличивается с возрастанием емкости газгольдера вследствие увеличения диаметра колокола и пролета купола. Если отнести вес стальных конструкций несущего каркаса крыши (без кровельного настила) к площади крыши (при конструкции дышащей кровли), то приведенная толщина (если бы вес несущего каркаса из прокатных профилей заменить листовой сталью такого же веса) получается: для газгольдеров емкостью от 100 до 600 $м^3$ — от 2,12 до 2,55 *мм*; для газгольдеров емкостью от 10 000 до 20 000 $м^3$ — от 2,6 до 2,7 *мм*, для газгольдеров емкостью 30 000 $м^3$ — 3,2 *мм*.

Телескоп. Высота стенки телескопа мокрого газгольдера принимается равной высоте стенки колокола от его опорной плоскости до обушка уторного уголка. Телескоп представляет собой полый цилиндр без дна и крыши. Конструкция телескопа состоит из основного несущего каркаса и обшивки (тонколистовая сталь 3—4 *мм*).

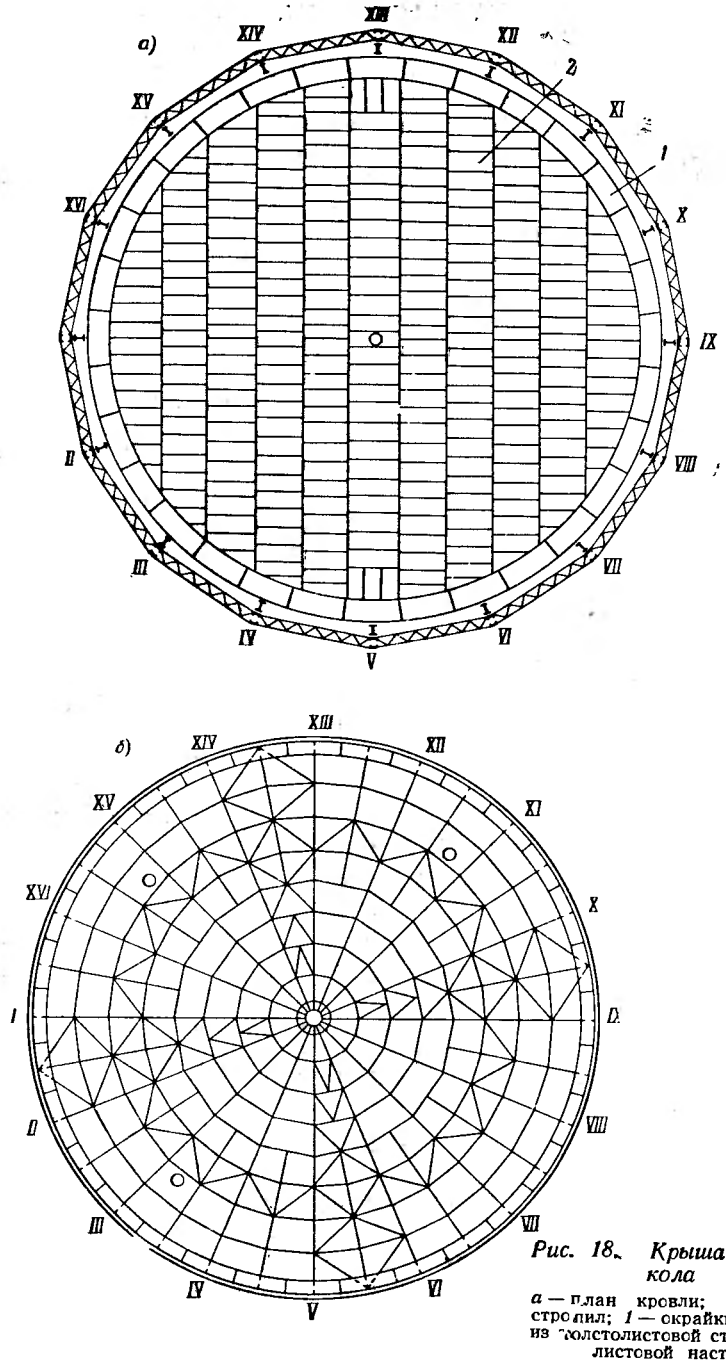


Рис. 18. Крыша колокола

а — план кровли; *б* — план стропил; *1* — окрайки кровли из толстолистовой стали; *2* — листовой настил

Основным каркасом телескопа является верхнее кольцо жесткости, включающее вертикальный поясной лист и гидрозатворную часть (верхний гидрозатвор), состоящую из горизонтального кольца из листовой стали толщиной 10 *мм* и вертикального листа гидрозатвора из стали такой же толщины.

Нижнее кольцо жесткости также состоит из вертикального поясного листа стенки телескопа и гидрозатворной части. Если телескоп в газгольдере один, то нижняя часть стенки телескопа заканчивается кольцевым горизонтальным листом толщиной 10 *мм*. В двух- и многозвенных газгольдерах нижняя часть стенки телескопа имеет конструкцию нижнего гидрозатвора (горизонтальное кольцо толщиной 10 *мм* и вертикальная стенка гидрозатвора толщиной 10 *мм*).

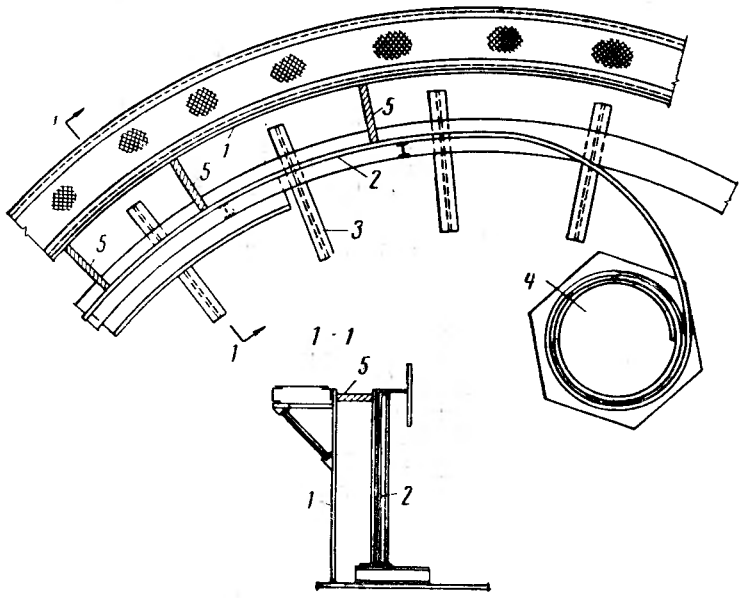


Рис. 19. Разворачивание стенки телескопа

1 — стенка резервуара; *2* — стенка телескопа; *3* — подкладиая балка; *4* — рулониая заготовка; *5* — распорка, фиксирующая зазор

Верхнее и нижнее кольца жесткости телескопа (рис. 19) соединены между собой стойками, обычно из составного двутавра, работающего в основном на изгибающий момент от давления ролика, так как стойка служит одновременно внутренней направляющей для движения ролика колокола или предыдущего телескопа. Гибкость стойки не должна превышать 150 в обоих направлениях, количество стоек телескопа обычно в 2 раза больше, чем их бывает в колоколе. Стенки

телескопа изготовляются также в виде рулонной заготовки, как и стенки колокола.

Монтажный стык стенки телескопа, как и колокола, обычно осуществляется через систему накладок, поскольку соединяются толстые листы верхнего и нижнего поясов жесткости и тонкая оболочка-обшивка стенки телескопа. Гидрозатворы являются отдельными монтажными элементами; перед установкой на место они проходят укрупнительную сборку и при монтаже тщательно выверяются.

Расчет стенки телескопа на внутреннее давление производится аналогично расчету кольцевой цилиндрической оболочки по формуле

$$R_\varphi \geqslant \frac{npr}{\delta m};$$

$$\delta = \frac{npr}{R\varphi m},$$

где p — рабочее давление газа в $кГ/см^2$;
r — радиус телескопа в $см$;
R — расчетное сопротивление стали в $кГ/см^2$;
m — коэффициент условия работы (равный 0,9);
n — коэффициент перегрузки (равный 1,2);
φ — коэффициент прочности шва;
δ — толщина оболочки.

Вследствие малости величины давления газа толщина оболочки телескопа конструктивно принимается равной 2,5—3 *мм*.

5. Направляющие газгольдера

Вертикальные направляющие служат для обеспечения строго горизонтального положения подвижных звеньев при их перемещении вверх или вниз. Направляющие располагаются на равных расстояниях по периметру резервуара и крепятся к верхней части его наружной стенки горизонтальными и вертикальными фасонками. В зависимости от емкости газгольдера (и, следовательно, его высоты, площади воздействия ветра и величины горизонтального усилия, передающегося от ролика) вертикальные направляющие могут иметь двутавровое сечение или представлять собой решетчатую ферму (рис. 20). Направляющие соединяются между собой одним или несколькими ярусами горизонтальных жестких ригелей и системой раскосных связей. Жесткие ригели, также в зависимости от величины сжимающих усилий, могут состоять из прокатных профилей или представлять собой треугольную (в поперечнике) решетчатую ферму. В многозвенных мокрых газгольдерах пространственные ригели используются в качестве ходовых площадок для обслуживания гидрозатворов, отопительной системы и роликов. В конструкциях решетчатых ферм вертикаль-

ных направляющих предусматриваются проходы в местах расположения кольцевых ходовых площадок, причем на этих участках предусматриваются соответствующие усиления поясов ферм, представляющих собой безраскосные фермы Виренделя.

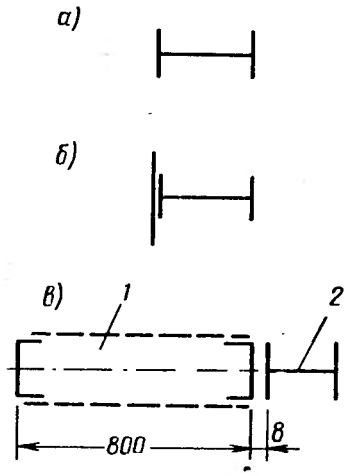


Рис. 20. Сечение вертикальных направляющих

а — из двутавра; *б* — из двутавра с усилением; *в* — решетчатая направляющая: *1* — ферма; *2* — ездовая балка

Система вертикальных направляющих, связанных жесткими горизонтальными ригелями и крестовыми связями, представляет собой статически неизменяемую, многогранную конструкцию, «заделанную» на верхней части резервуара (рис. 21). Заделка вертикальных направляющих осуществляется закреплениями к стенке резервуара и к кольцевой площадке, расположенной по верху резервуара и служащей жестким диском, обеспечивающим неизменяемость цилиндрического очертания резервуара и передачу суммарной горизонтальной и вертикальной реакции от вертикальных связей на фундамент.

Вес системы вертикальных связей, внешних и внутренних направляющих составляет до 20% веса всех стальных конструкций мокрого газгольдера.

Монтаж вертикальных направляющих производится укрупненными элементами, причем на земле собираются две направляющие с системой связей между ними и поднимаются стрелой крана на место за один подъем. Связи между вертикальными направляющими крепятся монтажными болтами. После тщательной проверки вертикального положения направляющих и подгонки положения роликов связи закрепляются и привариваются в местах, предусмотренных проектом.

Для соединения обслуживающих кольцевых площадок с уровнем земли устанавливается шахтная лестница, которая нередко используется как монтажный барабан для свертывания рулонной заготовки. Так как барабаны имеют высоту, равную высоте подвижного звена, то для обеспечения обслуживания всех подвижных звеньев барабаны ставятся один на другой; соприкасающиеся их части тщательно привариваются друг к другу. С шахтной лестницы на каждый ярус кольцевой площадки (кольцевая площадка вверху резервуара и площадки по кольцевым ригелям внешних направляющих), а также на крышу колокола делаются переходные мостики с ограждениями. На каждом ярусе площадок шахтная лестница должна

иметь горизонтальные связи, которые необходимо устанавливать немедленно по мере монтажа лестничной шахты. Нижняя опорная часть шахтной лестницы—барабана устанавливается на железобетонный фундамент, к закладным частям которого и приваривается нижняя опорная часть шахты.

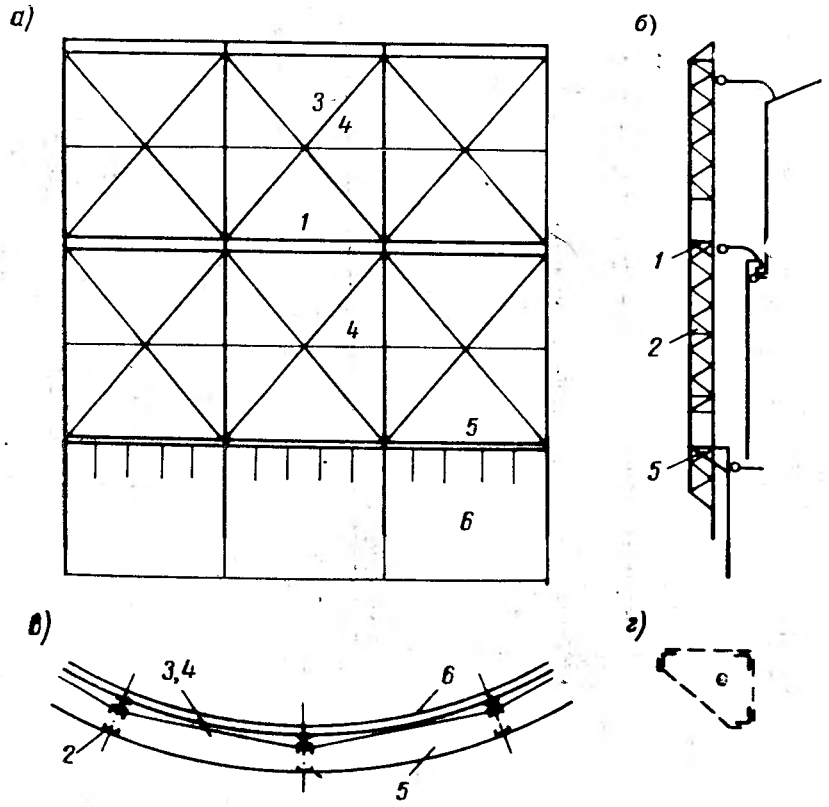


Рис. 21. Система вертикальных направляющих и связей

а — развертка; *б* — ферма направляющей и связей; *в* — план направляющих и связей; *г* — сечение распорки; используемой для ходовой площадки; *1* — распорка площадки; *2* — ферма направляющей; *3* — раскосы; *4* — распорка для уменьшения свободной длины участка фермы; *5* — кольцевая площадка резервуара; *6* — стенка резервуара

Сечение элементов нижнего барабана-лестницы многозвенных газгольдеров должно быть рассчитано на усилия от воздействия ветра на всю высоту шахты как на защемленную консольную балку, имеющую податливые опоры в местах, где установлены горизонтальные связи. Между кольцевыми площадками делают по две стремянки на каждом ярусе для перехода на подвижные звенья, если они не достигли своего верхнего положения.

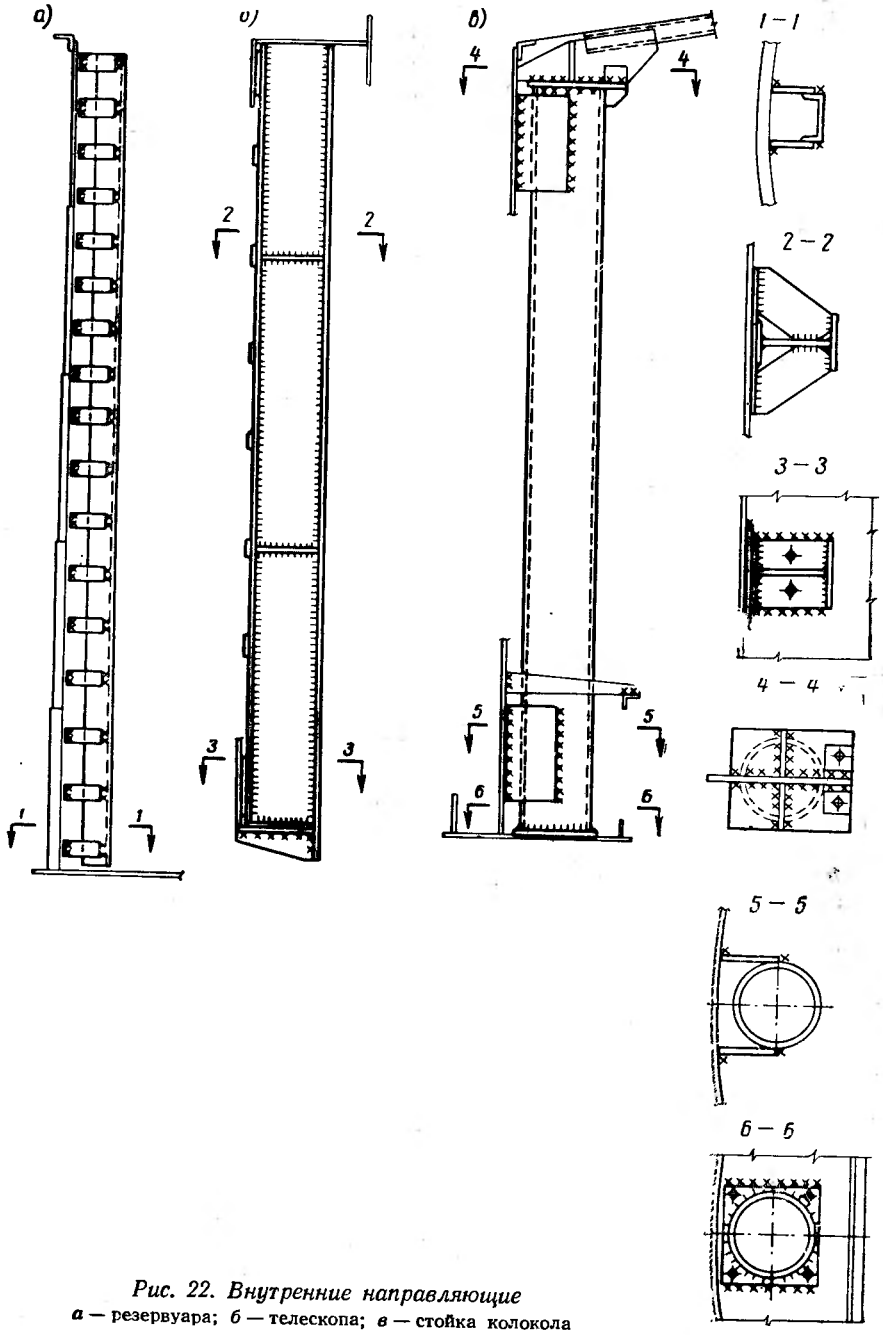


Рис. 22. Внутренние направляющие
а — резервуара; *б* — телескопа; *в* — стойка колокола

Внутренние направляющие газгольдера, во-первых, **являются** элементами несущего каркаса телескопов, соединяя его верхние и нижние поясные листы. Направляющие располагаются с внутренней стороны стенки резервуара и телескопов и закрепляются к верхним и нижним поясным листам телескопов или к внутренней стенке резервуара (рис. 22).

Во-вторых, внутренние направляющие служат направляющими для нижних роликов, устанавливаемых по низу предшествующих подвижных звеньев. Внутренние направляющие работают как стойки на вертикальные силы, передаваемые на них от верхних роликов и собственного веса конструкции, и как несущие балки на горизонтальные реакции от нижних роликов. Габариты профилей, из которых составляются направляющие, ограничены 220 *мм* по высоте, и обычно в телескопах газгольдеров направляющие свариваются из профилей или стальных листов.

Так как направляющая внизу устанавливается на нижний горизонтальный лист телескопа и по существу заканчивается здесь, а ролик должен проходить еще ниже, в нижней части устраивается консольное продолжение внутренней направляющей, по которому ролик может доходить до своего нижнего предельного положения.

Для создания устойчивости балки (направляющей) от поворота сечения в средней части предусматривают две консольные планки — ребра, приваренные к стенке балки (направляющей), но не приваренные к тонкой листовой оболочке. При стремлении балки повернуться консольные крылья препятствуют этому, свободно опираясь на упругую оболочку стенки телескопа из тонких листов.

Внутренняя направляющая резервуара состоит из швеллера, прикрепленного к внутренней его стенке. Она рассчитывается как подкрановая балка, на которую нижний ролик передает горизонтальное усилие от предыдущего подвижного звена (в однозвенном газгольдере — колокола, в многозвенном — телескопа). Расчетным пролетом является расстояние между осями опорных планок, которыми швеллер крепится к стенке резервуара.

Стойка колокола является элементом несущего каркаса; рассчитывается она на вертикальные нагрузки и имеет обычно трубчатое сечение.

Внутреннее пространство трубчатого сечения целесообразно заполнять вибрированным бетоном, что позволяет увеличить вес колокола и, следовательно, уменьшить необходимую пригрузку.

Не заполненная бетоном труба, если концы ее заварены герметично, а внутри оставлен воздух, может играть роль поплавка, помогая колоколу всплывать, уменьшая его собственный вес и, следовательно, снижая величину давления.

Основной внешней нагрузкой при расчете внутренних направляющих является давление катка нижнего ролика. При расчете учитывается степень защемления направляющих на опорах; изгибающий момент определяется по формуле

$$M = \frac{pl}{5} \text{ или } M = \frac{pl}{6},$$

в зависимости от степени защемления или неразрезности.

Значения коэффициентов перегрузки и расчетных коэффициентов условий работы мокрых газгольдеров низкого давления приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения коэффициентов перегрузки и расчетных коэффициеитов условий работы мокрых газгольдеров низкого давления

Наименование	Величина
Коэффициенты перегрузки n	
Рабочее давление газа	1,2
Собственный вес конструкций	1,1
Давление воды (для резервуара)	1,1
Полезная нагрузка на обслуживающие площадки и лестницы	1,2
Ветровая нагрузка	1,2
Снеговая нагрузка на колоколе	1,4
Коэффициенты условий работы m	
Для корпуса резервуара	0,8
» внешних направляющих (колонн)	0,9
» сжатых основных элементов (стропила) купола колокола	0,9
» сжатого пояса жесткости купола колокола (периферийного)	0,9
Для элементов из одиночных неравнобоких уголков и профилей, крепящихся односторонне (узкой полкой)	0,75

6. Крыша колокола

Толщина листов оболочки сферической кровли колокола (дышащая кровля) определяется расчетом, исходя из разности между внутренним давлением газа (обычно около 0,04 *кГ/см²*) и собственным весом оболочки, и равна:

$$\delta = \frac{pr}{R\varphi} \cdot \frac{n}{m},$$

где p — давление в *кГ/см²* (разность);
r — радиус оболочки в *см*;
R — расчетное сопротивление стали в *кГ/см²*;
φ — коэффициент прочности шва;
n — коэффициент перегрузки;
m — коэффициент условий работы.

Обычно толщина оболочек кровли принимается конструктивно: для листов кровельного настила 2,5—3 *мм*; для листов оболочки стенки колокола 3—4 *мм*.

Ширина элементов окрайки или верхнего пояса стенки определяется по формуле

$$b = \frac{1{,}845}{2}\sqrt{r\delta} \leqslant 40\,\delta,$$

где r — радиус кривизны в *см*;

δ — толщина листов стенки колокола (в *см*) при определении ширины листа верхнего пояса стенки или толщина листа кровельной оболочки для определения ширины листов окрайки кровли.

Уторная кольцевая конструкция рассчитывается в двух предположениях (рис. 23):

1) уторная конструкция сжимается вследствие передачи сжимающих усилий от давления газа на кровельный настил;

2) уторная конструкция растягивается, когда давление газа отсутствует, но передается распор от арок в результате загрузки собственным весом, снегом и оборудованием на кровле.

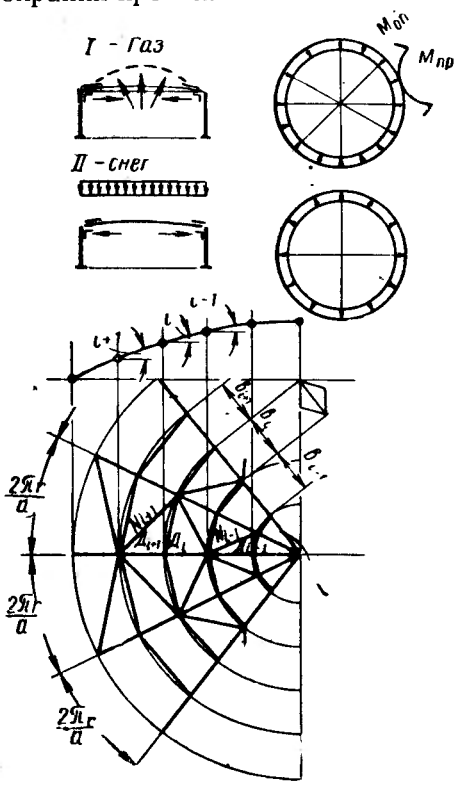


Рис. 23. Расчетная схема несущего каркаса крыши колокола

Растягивающие усилия в кольце

$$g = \frac{pr}{2}n; \quad g_r = \frac{pr_к \cos\alpha}{2}n;$$

$$g_z = \frac{pr_{сф}\sin\alpha}{2}n,$$

где p — разность давления газа и собственного веса кровли;

$r_к$ и $r_{сф}$ — радиусы колокола и сферы.

Реакции стропил определяются из равенства деформаций уторного кольца и стропил по формуле

$$X = \frac{pr_{сф}r_к\cos\alpha}{\frac{ar_к}{\pi} + 2EF\Delta_{1x}} \cdot \frac{n}{m},$$

где a — число арок, пролет которых равен диаметру купола;
F — площадь поперечного сечения кольца;
Δ_{1x} — радиальная горизонтальная деформация от стропил при $x=1$.

Изгибающие моменты кольца на опорах при различном количестве стропил рассчитываются по формуле

$$M_{оп} = -Xr\left[\frac{a}{\pi} - \frac{1}{2}\sum_{1}^{a}\sin\left(\frac{2\pi}{a}\right)_{i-1}\right].$$

Изгибающие моменты кольца в середине пролета определяются по формуле

$$M_{пр} = -Xr\left[\frac{a}{\pi} - \frac{1}{2}\sum_{1}^{h}\sin\left(\frac{2\pi}{a}\right)_{i-\frac{1}{2}}\right].$$

Значения моментов верхнего кольца колокола приведены в табл. 3.

Таблица 3

Моменты верхнего кольца колокола

Число стропил	1	2	3	4	6	8	12	16
$\frac{M_{оп}}{Xr}$	—0,318	—0,137	—0,089	—0,066	—0,044	—0,032	—0,022	—0,016
$\frac{M_{пр}}{Xr}$	0,182	0,07	0,045	0,034	0,023	0,016	0,011	0,008

Примечание. Знак минус указывает на растяжение наружных волокон уторного кольца.

Изгибающий момент определяется как для опертой балки с треугольной нагрузкой:

$$M_{D_i} = \frac{SD_ib_i}{6},$$

а напряжение в стропильной ноге

$$\sigma_{D_i} = \frac{D_i}{F\varphi} + \frac{M_{D_i}}{W}.$$

В первом случае в кольце возникает максимальное растяжение, причем напряжение определяется по формуле (I), а во втором случае в кольце возникает максимальное сжатие и напряжения определяются по формуле (II):

$$T_{i\,\text{макс}} = \frac{\operatorname{ctg}\alpha_1 \sum_1^{i-1} Q - \operatorname{ctg}\alpha_{i+1}\left(\sum_1^{i-1} Q + p_i\right)}{2\sin\frac{\pi}{a}}; \qquad \text{(I)}$$

$$T_{i\,\text{мин}} = \operatorname{ctg}\alpha_i \sum_1^{i-1} p - \operatorname{ctg}\alpha_{i+1}\left(\sum_1^{i-1} Q + p_i\right). \qquad \text{(II)}$$

Кроме воздействия нормальных сил элементы кольца, так же как и стропильные ноги, подвергаются воздействию местного изгиба, величина которого определяется по формуле

$$S_{T_i} = \frac{a_i g}{4}(b_i + b_{i-1})\frac{n}{m};$$

$$M_{T_i} = \frac{S_{T_i} a_i}{6}.$$

Напряжения в элементах колец равны:

$$\sigma_{T_i\,\text{макс}} = \frac{T_{i\,\text{макс}}}{F\varphi} + \frac{MT_i}{W}.$$

Раскосы при равномерной нагрузке не включаются в работу и работают только в случае различного загружения двух смежных панелей купола.

Величина растягивающих усилий

$$N_i = \frac{\sum_1^i Q - \sum_1^i p}{2\sin\alpha_i \cos\beta_i}.$$

Сферическая крыша представляет собой пространственную конструкцию типа ребристо-кольцевого купола.

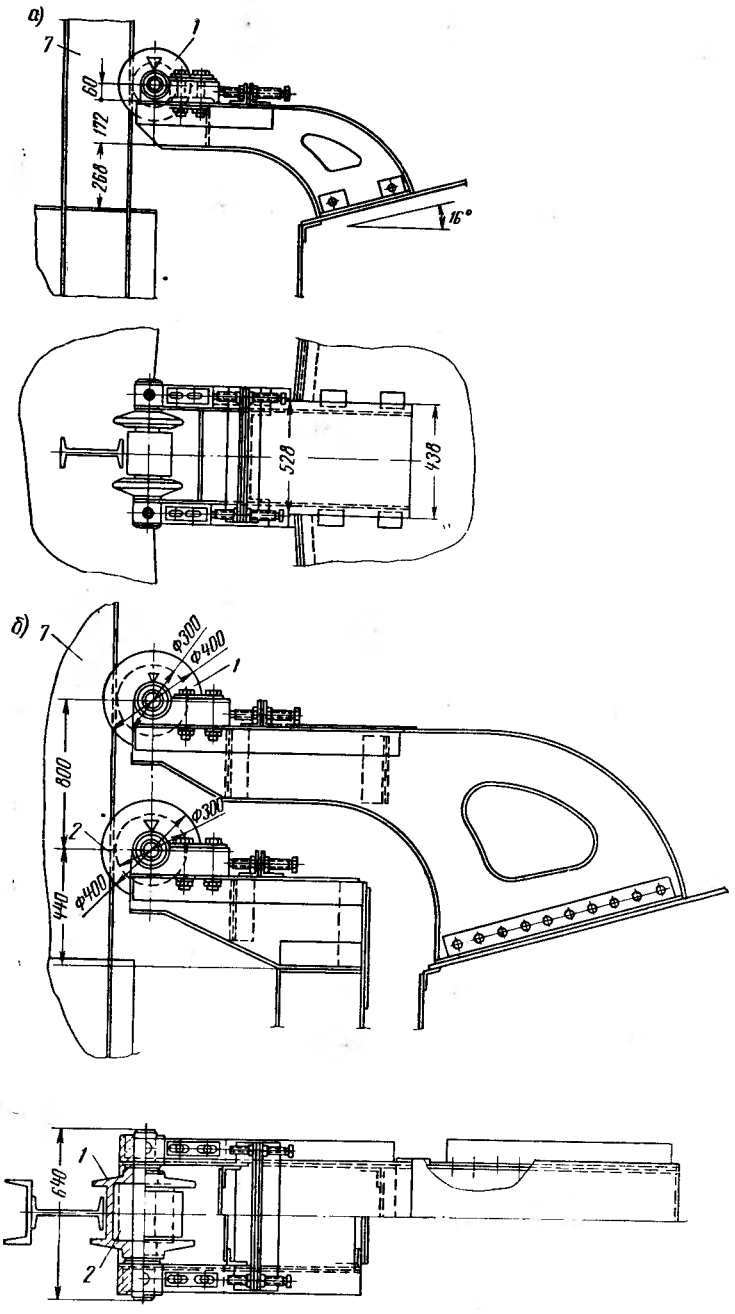
Расчет такой конструкции производится по условной схеме, для которой в местах присоединения связей предполагаются шарнирные узлы. Порядок расчета следующий.

Подготавливается вся геометрическая часть с определением значения углов и геометрических размеров элементов ребристо-кольцевого купола.

Стропильные ноги рассчитываются на случай равномерного загружения снеговой нагрузкой и собственным весом каркаса и кровли.

Наибольшее сжимающее усилие в стропильной ноге находят по формуле

$$D_i = \frac{\sum_1^i Q}{\sin\alpha_i}.$$


а)
7
1
60
172
268
16°
528
438
б)
7
Ф300
Ф400
1
800
2
Ф300
Ф400
440
640
1
2

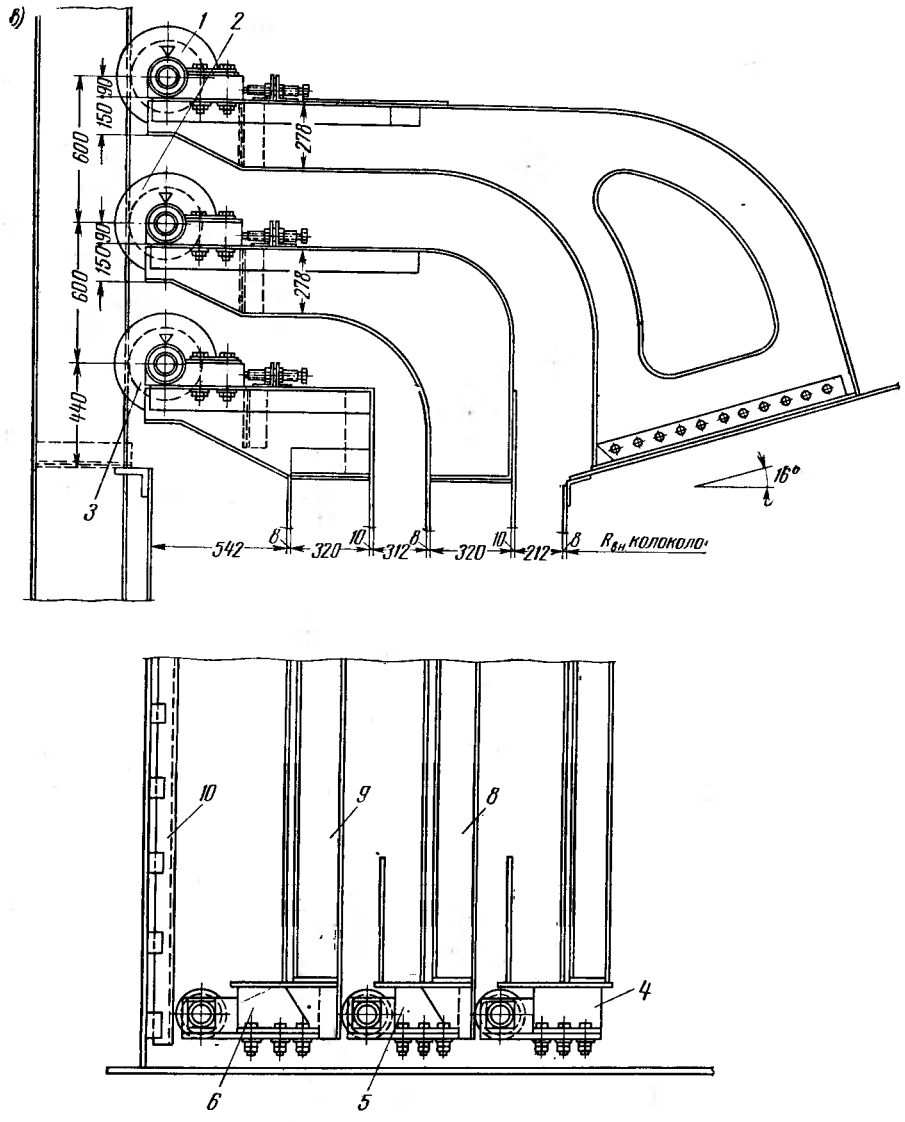


Рис. 24. Ролики мокрых газгольдеров

а — верхний ролик однозвенного газгольдера; *б* — верхние ролики двухзвенного газгольдера; *в* — верхние ролики трехзвенного газгольдера; *1* — верхний ролик колокола; *2* — верхний ролик 1-го телескопа; *3* — верхний ролик 2-го телескопа; *4* — нижний ролик колокола; *5* — нижний ролик 1-го телескопа; *6* — нижний ролик 2-го телескопа; *7* — вертикальная внешняя направляющая; *8* — вертикальная внутренняя направляющая для нижнего ролика колокола; *9* — вертикальная направляющая для нижнего ролика 1-го телескопа; *10* — вертикальная направляющая для нижнего ролика 2-го телескопа

В этой формуле принято, что суммирование сил производится в пределах рассматриваемой стропильной ноги.

Кроме расчета на продольные усилия как в стропильных ногах, так и в элементах связей необходимо учитывать местный изгиб от нагрузки собственным весом, снегом и оборудованием по эпюре моментов треугольного очертания.

7. Определение усилий на ролики

Когда газгольдер наполнен газом, все подвижные звенья находятся в высшем положении и на газгольдер не действуют какие-либо горизонтальные силы (ветер, неравномерная нагрузка от снега), то ни ролики, ни сами направляющие не испытывают никаких внешних усилий.

Ролики (рис. 24) и направляющие включаются в работу при появлении горизонтально направленных сил в результате ветрового воздействия или неравномерного загружения кровли снеговой нагрузкой.

Определение ветровых нагрузок производится по формулам (рис. 25):

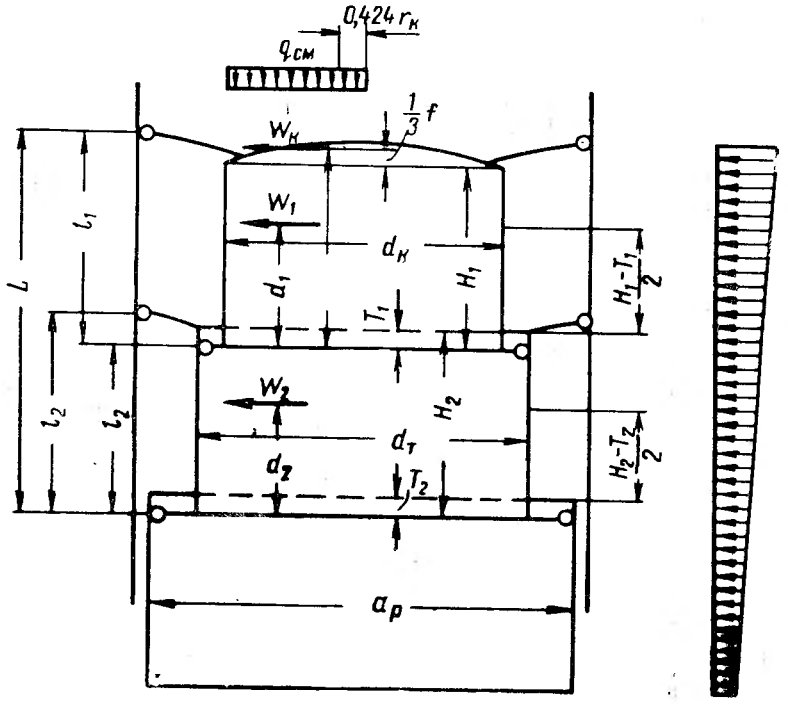


Рис. 25. Схема приложения ветровых нагрузок

на крышу колокола

$$W_к = np\frac{\pi d_к^2}{4} k_{обт};$$

на боковую плоскость стенки колокола

$$W_1 = np\pi d_к (H_1 - T_1) k_{обт};$$

на боковую плоскость стенки телескопа

$$W_2 = np\pi d_T (H_2 - T_2) k_{обт},$$

где p — скоростной напор ветра;

$k_{обт}$ — коэффициент обтекания, принимаемый равным 0,7.

Снеговая нагрузка на половину кровли

$$Q_{сн} = n\frac{1}{2}\frac{\pi d_к^2}{4} g = ng\frac{\pi d_к^2}{8};$$

с точкой приложения равнодействующей

$$l = 0{,}424 r_к.$$

При направлении ветра под углом к горизонту ветровую нагрузку на кровлю можно определить по приближенной формуле

$$W_к = np\frac{\pi d_к^2}{4}\sin\beta,$$

где β — угол между направлением ветра и горизонтом.

Суммарная горизонтальная нагрузка на систему роликов одного яруса слагается из воздействия ветровых нагрузок и только для верхнего ролика колокола учитывается дополнительная односторонняя нагрузка от снега на кровле.

Верхние ролики колокола

$$\Sigma P_1 = \frac{1}{l_1}(W_к h_1 + W_1 a_i + Q \cdot 0{,}424 r_к);$$

нижние ролики колокола (только от ветровой нагрузки)

$$\Sigma P_2 = \frac{1}{l_2} W_1 (h_1 - a_1);$$

верхние ролики телескопа

$$\Sigma P_3 = \frac{1}{l_2}(W_2 a_2 + \Sigma P_2 h_2);$$

нижние ролики телескопа

$$\Sigma P_4 = \frac{1}{l_2}[W_2 (l_2 - a_2) + \Sigma P_2 (l_2 - h_2)].$$

Внешняя нагрузка воспринимается роликами только с наветренной стороны. Ролики передают на направляющие ра-

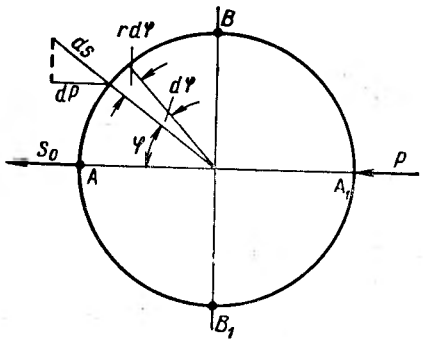


Рис. 26. Схема определения усилий на ролики

диально направленные усилия, которые достигают максимума в точке, диаметрально противоположной направлению ветра.

Обозначим давление в точке A через S_0 (рис. 26).

В промежуточных точках поверхности цилиндра давление распределяется пропорционально cos φ:

$$S = S_0 \cos\varphi.$$

На бесконечно малый элемент дуги rd_φ приходится давление

$$dS = Srd_\varphi = S_0 r \cos\varphi\, d_\varphi .$$

Проектируя это давление на направление действия внешней нагрузки, получаем

$$dP = dS\cos\varphi = S_0 r \cos^2\varphi d_\varphi .$$

Полное давление на четверть окружности равняется определенному интегралу от 0 до π/2, а полное давление на половину окружности — двум таким интегралам:

$$P = 2\int_0^{\pi/2} S_0 r\cos^2\varphi d_\varphi = 2\ S_0 r\left(\frac{\varphi}{2} + \frac{\sin 2\varphi}{4}\right)^{\pi/2} =$$

$$= 2S_0 r\left(\frac{\varphi}{2} + \frac{\sin\varphi\cos\varphi}{2}\right)^{\pi/2} = \frac{\pi S_0 r}{2},$$

откуда давление ролика в точке A

$$R_{\text{макс}} = S_0\frac{2\pi r}{a},$$

где a — число направляющих.

Подставив значение S_0, получим

$$R_{\text{макс}} = \frac{2P}{\pi r}\cdot\frac{2\pi r}{a} = \frac{4}{a}P.$$

Следовательно, максимальное давление на один ролик равняется учетверенному суммарному давлению всех роликов данного яруса, деленному на число направляющих.

Так как обычно количество внутренних направляющих (по сравнению с внешними) назначается в 2 раза бóльшим, максимальное давление от ролика на внутреннюю направляющую дает усилие в 2 раза меньшее, чем для верхнего ролика.

8. Расчет вертикальных направляющих

При проектировании конструкций вертикальных направляющих целесообразно располагать кольцевые связи из распорок в уровне наивысшего расположения верхних роликов для восприятия максимального давления от них.

Давление роликов вызывает в горизонтальных кольцах растягивающее усилие, прямо пропорциональное радиальному давлению ролика.

Величину этого усилия находят разложением радиального давления на две смежные грани кольца связей (рис. 27)

$$D = \frac{R_1}{2 \sin \frac{\beta}{2}}.$$

Радиальное давление создает максимальное растягивающее усилие в точке A (в месте $R_{макс}$).

Кроме растягивающих усилий, в элементах горизонтального кольца возникают местные изгибающие моменты, поскольку распорки горизонтального кольца используются как кольцевые обслуживающие площадки и загружены кроме собственного веса весом находящихся там людей (200 $кГ/м^2$). Напряжение будет равно:

$$\sigma = \frac{D_{макс}}{F} \pm \frac{M}{W}.$$

Нижним кольцом в системе связей является кольцевая площадка (располагаемая по верху резервуара), воспринимающая всю внешнюю нагрузку от верхних роликов колокола и телескопа и давление от внутреннего ролика последнего телескопа, являющаяся основанием всей системы внешних направляющих. Эта площадка также используется как обслуживающая, и при расчете ее следует учитывать местные моменты, вызванные нагрузкой от веса людей.

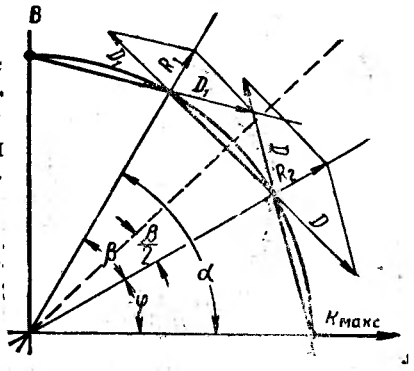


Рис. 27. Усилия в горизонтальном кольце направляющих

Для определения усилий в диагоналях и вертикальных стойках вся пространственная система вертикальных направляющих делится на отдельные плоские формы. Усилия в каждой из панелей кольца могут меняться в пределах от 0 до максимума; в двух соседних панелях кольца возникает разность усилий:

$$H = D - D_1 = \frac{R_1 - R_2}{2 \sin \frac{\beta}{2}}.$$

Значения R_1 и R_2 можно выразить через $R_{макс}$; в точке A

$$R_1 = R_{макс} \cos \varphi; \quad R_2 = R_{макс} \cos (\varphi + \beta).$$

Подставляя значения R_1 и R_2, получаем

$$H = \frac{R_{макс} [\cos \varphi + \cos (\varphi + \beta)]}{2 \sin \frac{\beta}{2}} = R_{макс} \sin \left(\varphi + \frac{\beta}{2}\right) = R_{макс} \sin \alpha.$$

Следовательно, разность горизонтальных усилий будет максимальной при $\alpha = +90°$ или $-90°$, а в точках A и A_1 равна 0. Растягивающие усилия H возникают по всей окружности си-

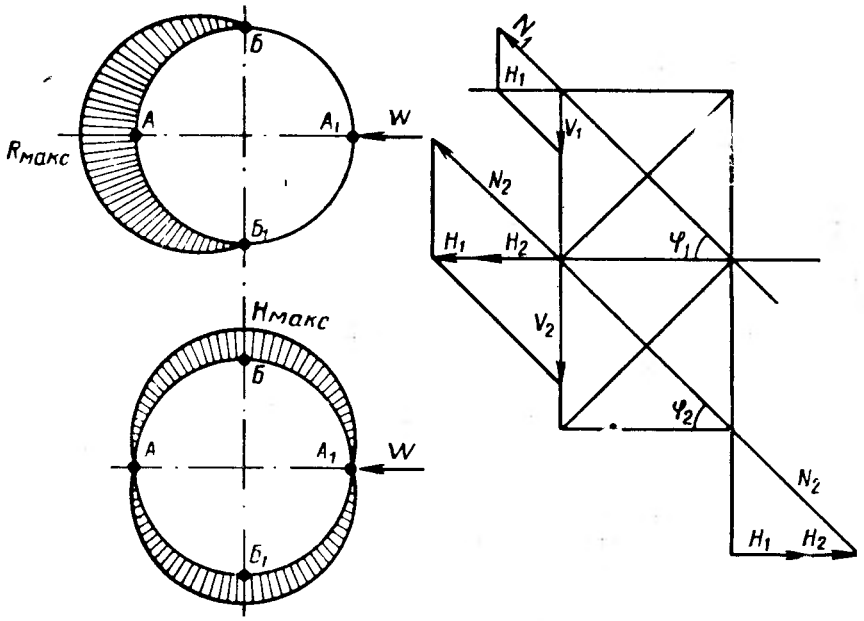


Рис. 28. Определение усилий в конструкциях направляющих и связях

стемы как с подветренной, так и с наветренной стороны (рис. 28).

На основании предыдущего

$$R_{макс} = \frac{4}{a} P.$$

Исходя из воздействия нагрузки только на половину роликов с наветренной стороны, интегрирование было произве-

дено на половине окружности. Чтобы определить максимальную разность $H_{макс}$, необходимо интегрирование произвести по всей окружности и результат его будет в 2 раза меньше:

$$H_{макс} = \frac{2}{a} P.$$

В системе направляющих (в разделенных плоских формах), в точках $Б$ и $Б_1$ определяем разности радиальных усилий, действующих в плоскости фермы.

Разлагая эти усилия по направлению диагоналей и вертикальной стойки, получаем

$$N_1 = + \frac{H}{\cos \varphi} = + \frac{2P_1}{a \cos \varphi_1};$$

$$V_1 = - N \sin \varphi_1 = H \operatorname{tg} \varphi_1 = - \frac{2}{a} P \operatorname{tg} \varphi_1.$$

Складывая разности усилий H_1 и H_2 в узле 2, найдем

$$N_2 = \frac{H_1 + H_2}{\cos \varphi_2} = + \frac{2}{a \cos \varphi_2} (P_1 + P_3);$$

$$V_2 = - N_2 \sin \varphi_2 = - (H_1 + H_2) \operatorname{tg} \varphi_2 = - \frac{2}{a} \operatorname{tg} \varphi_2 (P_1 + P_3).$$

Внешние вертикальные направляющие (стойки) работают не только на вертикальные нагрузки, но и главным образом на местный изгибающий момент от горизонтального давления катка ролика. При определении значения местного момента можно учитывать частичное защемление элемента фермы на опорах (неразрезность) и при проверке на местный момент принимать

$$M = \frac{Pl}{5}.$$

Общая проверка сечения направляющей должна быть произведена по формуле

$$\sigma = \frac{1}{m} \left(\frac{M_{макс}}{W} + \frac{V}{F\varphi} \right).$$

Кроме того, конструкции направляющих должны быть проверены на устойчивость в плоскости действия сил, совпадающих с наибольшей жесткостью сечения,

$$\frac{N}{F\varphi_{уст}} \leqslant mR,$$

и из плоскости действия сил

$$\frac{N}{c\varphi F} \leqslant mR,$$

где $\varphi_{уст}$ — коэффициент понижения несущей способности сжатого элемента при внецентренном сжатии;
φ — коэффициент продольного изгиба при сжатии;
c — коэффициент влияния момента на устойчивость (из плоскости действия момента).

9. Расчет мокрых газгольдеров на действие сейсмических нагрузок

При проектировании газгольдеров, строящихся в подверженных землетрясениям районах, необходимо обратиться к СНиП II-А.12-62 «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования», где указана величина сейсмичности в баллах для определенных географических пунктов, в которых предполагается строительство газгольдера, или географически близких к ним.

Типовые проекты мокрых газгольдеров предусматривают возможность применения их при строительстве в районах с сейсмичностью до 7 баллов. Если район строительства относится к районам с сейсмичностью выше 7 баллов, то необходима проверка конструкций мокрого газгольдера на сейсмические нагрузки. В случае если в результате проверочного расчета на действие сейсмических нагрузок конструкции или узлы их окажутся перенапряженными, то необходимо усилить конструкции.

Практикой расчетов конструкций мокрых газгольдеров на сейсмические нагрузки установлено, что наиболее слабыми являются сечения внутренних направляющих и вертикальных направляющих.

Согласно «Инструкции по определению расчетной сейсмической нагрузки для зданий и сооружений» (Москва, 1962 г.) величина сейсмической нагрузки определяется по формуле

$$S_j = Q_j k_c \beta_j \eta_j, \qquad (1)$$

где S_j — сейсмическая нагрузка в какой-либо рассматриваемой точке, которая принимается действующей: для расчета корпуса и направляющих — горизонтально; для кольцевых площадок — вертикально; для болтовых креплений и анкеров — на срез или на отрыв;
Q_j — вес конструкции или отдельных ее частей, пригрузок и временных нагрузок, принимаемых по нормативным значениям с коэффициентами перегрузки, приведенными в табл. 4;
k_c — коэффициент сейсмичности, принимаемый по табл. 5.

Таблица 4

Коэффициенты перегрузки при расчете на сейсмические воздействия

Нагрузка	Коэффициент перегрузки
Собственный вес конструкций (включая постоянное оборудование)	1
Снеговая	0,8
Временная	0,8

Таблица 5

Коэффициент сейсмичности K_c для данной местности строительства

Расчетная сейсмичность в баллах	7	8	9
Значение K_c	0,025	0,05	0,1

Расчетная сейсмичность определяется по табл. 4 СНиП II-А.12-62. По этой таблице здания и сооружения подразделяются на группы в зависимости от степени уникальности (для уникальных сооружений сейсмическая балльность может быть увеличена на 1 балл) или по степени опасности для жизни людей (при относительной безопасности сейсмический балл может быть снижен на 1 балл). Для расчета мокрых газгольдеров на сейсмические нагрузки по мнению авторов сейсмический балл следует принимать пониженным на один балл;

β_j — коэффициент динамичности, зависящий от периода свободных колебаний сооружения T, а также от затухания колебаний в конструкциях и грунте; определяется по графику или по формуле

$$\beta_j = \frac{0{,}9}{T}, \qquad (2)$$

где T — численное значение периода свободных колебаний сооружения в *сек* (не менее 0,6 и не более 3);

$_j$ — коэффициент формы колебаний, зависящий от формы деформации сооружения при его свободных колебаниях, а также от уровня рассматриваемой точки.

Период колебаний основного тона T_1 вычисляется по приближенной формуле

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{n} Q_j X_{1j}^2}{g \sum_{j=1}^{n} Q_j X_{1j}}}, \qquad (3)$$

где Q_j — вес массы, принятой сосредоточенной в одной точке;
g — ускорение свободного падения тела в *м/сек*^{2};
n — количество точек по высоте сооружения, в котором принята сосредоточенной его масса;
X_{1j} — перемещение основного тона от сдвига, изгиба и поворота в точке j.

Коэффициент формы колебаний η_{ik} равен:

$$\eta_{ik} = \frac{X_{1k} \sum_{j=1}^{n} Q_j X_{1j}}{\sum_{j=1}^{n} Q_j X_{1j}^2}. \qquad (4)$$

Чтобы определить коэффициенты, надо вычислить перемещение от сдвига, изгиба и поворота.

Расчетную схему газгольдера примем в виде системы с сосредоточенными массами (бетонная и чугунная пригрузки, вес крыши со снегом, вес конструкций колокола, вес конструкций телескопа, вес резервуара с водой) (рис. 29).

Согласно «Инструкции по определению расчетной сейсмической нагрузки для зданий и сооружений» вода в резервуаре рассматривается как твердое тело (проводимые в настоящее время исследовательские работы позволят в будущем рассматривать воду как пластичную массу и принимать сейсмическую нагрузку от образующейся волны, а не от всей массы воды, что поведет к уменьшению сейсмической нагрузки от воды в 2—3 раза).

Перемещения определяют по формулам:

а) от сдвига

$$\delta_{сд1} = \frac{1{,}5\, h_1 Q_1}{FG} = M;$$

$$\delta_{сд2} = \delta_{сд1} + \frac{1{,}5 h_2 Q}{FG}, \qquad (5)$$

где F — площадь основания в $м^2$;
G — модуль сдвига;

б) от изгиба

$$\delta_{изг\,k} = \frac{h_k^3}{3EJ} \left[\sum_{j=k}^{n} Q_j + \frac{1{,}5}{h_k} \sum_{j=k+1}^{n} Q_j (h_j - h_k) \right] +$$

$$+\sum_{j=1}^{k=1}\frac{Q_j h_j^3}{3EI}\left(1+1{,}5\,\frac{h_k-h_j}{h_j}\right), \qquad (6)$$

где j — любая точка сосредоточенной массы;
k — рассматриваемая точка сосредоточенной массы;
h_k — высота любой точки;
h_j — высота рассматриваемой точки сосредоточенной массы;
E — модуль упругости материала в $т/м^2$;
I — момент инерции рассматриваемого сечения газгольдера;

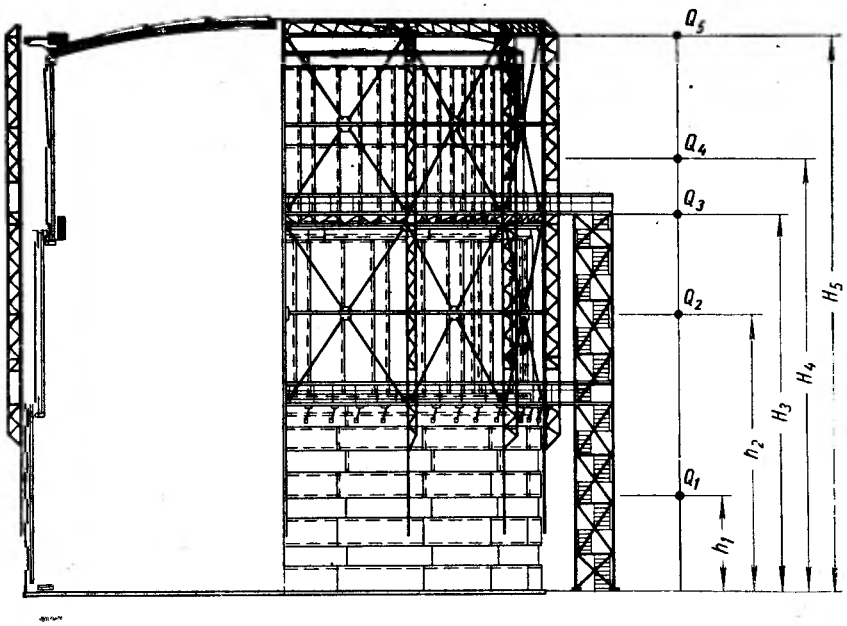


Рис. 29. Схема сейсмических нагрузок: Q_1 — вес резервуара с водой; Q_2 — вес телескопа; Q_3 — вес чугунной пригрузки; Q_4 — вес конструкций колокола; Q_5 — вес кровли, снега и бетонной пригрузки

в) от поворота

$$\sigma_{\varphi k} = h_k\,\frac{M_0}{k_\varphi}\,, \qquad (7)$$

где M_0 — момент в основании от всех сил Q_j в $т \cdot м$

$$k_\varphi = c_\varphi I_\Phi\,,$$

где c_φ — коэффициент упругого равномерного сжатия, равный для среднего грунта 4000—5000 $т/м^3$;
I_Φ — момент инерции площади фундамента.

Полное перемещение составит

$$X_{1k} = (\delta_{\text{сд}\,k} + \delta_{\text{изг}\,k} + \delta_{\varphi k}) - M.$$

Зная перемещения X_{1k}, определим по формуле (3) период колебаний основного тона и по формуле (4) коэффициент формы колебания. Зная период колебаний T_1, по формуле (2) определим коэффициент динамичности. Найдя эти коэффициенты и подставив их в формулу (1), определим расчетные сейсмические силы в каждой рассматриваемой точке.

Стыки конструкций и элементы соединений (анкерные болты крепления колонн к фундаментам) рассчитывают на усилия расчетных сейсмических сил.

В тех случаях когда действующие в соединении усилия не могут быть найдены из рассмотрения работы всего сооружения, при определении расчетной сейсмической силы произведение $\beta\eta_k$ принимается равным 5.

При расчете на прочность стальных конструкций помимо коэффициентов условий работы, принимаемых в соответствии с другими главами СНиП, ввиду кратковременности действия нагрузки учитывается дополнительный коэффициент условия работы $m = 1{,}4$.

10. Монтаж и испытание мокрых газгольдеров

Изготовление и монтаж стальных конструкций мокрых газгольдеров производится в соответствии с требованиями СНиП III-В.5-62.

Монтаж газгольдера должен производиться после окончания возведения днища, песчаного основания, приямков, будок управления газовводами, устройства вокруг газгольдера дренажных канавок и подъездных автодорог.

Поверхность железобетонного кольцевого фундамента должна быть гладкой, без выступов. Отклонение поверхности от проектной отметки может быть в пределах ± 10 *мм*.

При развертывании рулонной заготовки днища края днища прихватываются к фундаменту специальными планками, приваренными к закладным частям железобетонного кольцевого фундамента (рис. 30).

Песчаное основание под днище имеет коническое очертание с подъемом в середине, поэтому при укладке полотнищ рулонной заготовки необходимо следить за тем, чтобы средний монтажный стык днища приходился по середине основания, где регулированием зазора в монтажном стыке и создается конусность днища. В центре днища (определяемого методом засечки) устанавливается постоянный центральный штырь (иногда совмещаемый с центральной монтажной стойкой), на котором шарнирно закрепляется жесткое циркульное приспо-

собление для разметки линий окружности резервуара и подвижных звеньев, а также основных осей газгольдера.

Плотность швов монтажных стыков полотнищ днища проверяют вакуум-аппаратом. После разметки окружности резервуара и установки фиксирующих приспособлений начинается разворачивание рулонного полотнища стенки резервуара.

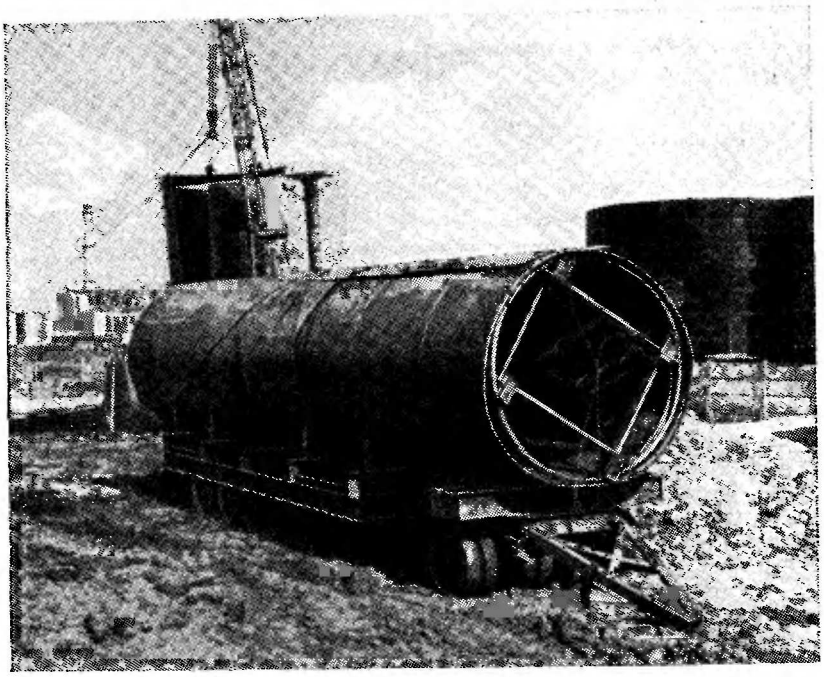


Рис. 30. Транспортирование рулона

Разворачивают рулоны стенки от заданного проектом места в определенной последовательности (сначала резервуар, потом телескопы, а затем колокол); разворачивание может вестись и параллельно (одновременно резервуара и подвижных звеньев). Последний способ является наиболее эффективным по темпам монтажа.

В зависимости от принятого способа разворачивания рулонов на днище располагают и приваривают (на части длины) подкладные балки для опирания подвижных звеньев.

В процессе разворачивания стенок должна производиться тщательная проверка их геометрических размеров и расстановки стоек внутренних направляющих, а также их вертикальности. Кроме того, следует следить за давлением ветра и устанавливать временные оттяжки и взаимные раскрепления стенок по

высоте. После проверки геометрического положения стенки резервуара устанавливается кольцевая площадка.

Для гидрозатворов необходимы контрольная сборка и укрупнение монтажных элементов. Сборку рекомендуется производить в жестких кондукторах на земле, и при установке на место контролировать соблюдение технологии приварки и качество сварных швов.

Отклонения от проектных размеров при монтаже стальных конструкций регламентированы СНиП II-В.5-62 и опытными данными (табл. 6).

Таблица 6

Допускаемые отклонения от проектных размеров при моитаже коиструкций мокрых газгольдеров

Наименование	Не более, в *мм*
Отклонение поверхности кольцевого фундамента от проектной отметки	±10
Отклонение в размерах наружного диаметра кольцевого фундамента от проектных значений	−30 +50
Ширина кольцевого фундамента поверху	−0 +50
Разность двух любых радиусов резервуара, колокола и телескопа	20
Отклонение стенок резервуара от вертикали на каждый метр высоты	2
Отклонение высоты резервуара от проекта	±20
Отклонение радиуса горизонтальных колец гидрозатвора телескопа и колокола	±10
Отклонение зазора между поверхностью колокола и телескопа	±20
Отклонение от проекта горизонтального размера в свету, между поверхностью верхнего листа стенки телескопа и внешней гранью горизонтального листа затвора колокола, а также между вертикальной поверхностью затвора телескопа и внешней поверхностью стенки колокола	±8
Отклонение от вертикали внутренних направляющих телескопа и стоек колокола (после окончания сварки) на всю высоту	±10
Отклонение стропил купола колокола из вертикальной плоскости	1/1000 диаметра колокола
Отклонение от центра купола оси стропильного ригеля	±10
Отклонение внешних направляющих от вертикали (на всю высоту направляющих):	
в радиальном направлении	±10
в тангенциальном »	±15
Отклонение оси винтовой направляющей от геометрической оси на протяжении 3 *м*	±2

Стальные конструкции несущего каркаса мокрых газгольдеров монтируют в зависимости от варианта, принятого в проекте.

При дышащей кровле производится контрольная сборка несущего каркаса на земле. При сборке и установке на место кровле придается строительный подъем, равный

для газгольдеров		емкостью	100—600 *м*³	50 *мм*
»	»	»	1000—3000 »	75 »
»	»	»	6000—20000 »	100 »
»	»	»	до 30 000 »	150 »

Собранный каркас подается на монтаж укрупненными элементами, состоящими из двух—четырех стропил; иногда укрупненный элемент (зависит от грузоподъемности кранового оборудования) может составлять $^1/_4$ всей крыши или всю крышу.

После установки несущего каркаса производится приварка окраек из толстолистовой стали к стропилам и уторному уголку. Кровельный настил подается на крышу сваренными на земле полотнищами (если его не рулонировали на заводе-изготовителе), укладывается на стропила и приваривается к окрайкам, привариваются и полотнища одно к другому (но не привариваются к стропилам). При давлении газа весь кровельный настил поднимается над несущим каркасом. Все оборудование крыши колокола (люки, колпаки, свечи) также приваривается только к кровельному настилу.

Кровля может быть запроектирована из щитов, которые поднимаются по отдельности, образуя затем крышу купола.

По темпам монтажа щитовая кровля имеет преимущества, хотя она тяжелее дышащей примерно на 10%, причем суммарное количество сварных швов (заводских и монтажных) в ней в 2 раза больше, чем в дышащей кровле.

Монтаж вертикальных направляющих является очень трудоемким. Вертикальные направляющие обязательно должны пройти контрольную сборку. Они монтируются укрупненными попарно элементами, завязанными связями и ригелями. Рекомендуется изготовление и монтаж ездовых балок производить отдельно от вертикальных направляющих.

В процессе монтажа положение вертикальной направляющей проверяют по отвесу в радиальном и тангенциальном направлениях.

После проверки положения вертикальных направляющих концы связей и ригелей приваривают в местах, предусмотренных проектом, после чего устанавливают и временно закрепляют ездовые балки. При последующих испытаниях газгольдера (наливом воды, нагнетанием воздуха и многократными пробными поднятиями и опусканиями подвижных звеньев) проверяется положение ездовых балок. Если зазоры между гранью ездовой балки и гранью ролика не превышают 5 *мм*, то ездовые балки приваривают к поясу фермы вертикальных направляющих.

По окончании монтажа стальных конструкций испытывают еще не окрашенные отдельные узлы и элементы.

Это испытание начинают с внешнего осмотра и проверки исполнительных размеров, причем отклонения не должны превышать допустимых. Сначала осматривают днище, в котором после монтажа стенок из рулонов могут быть пробоины и вмятины, а также трещины в металле и сварных швах.

Замеченные дефекты устраняют, а дефектные места сварных швов вырубают и заваривают вновь или подваривают.

Следует обратить особое внимание на проверку плотности сварных швов и отсутствие дефектов в металле днища газгольдера, так как даже незначительная пробоина или трещина в сварном шве может в процессе испытаний или при эксплуатации привести к аварии; через такие дефектные места вода просачивается под большим гидравлическим напором и размывает песчаное основание, в результате чего происходит осадка фундамента и газгольдер выходит из строя.

Качество сварных швов в вертикальных стыках резервуаров при толщине листов не менее 6 *мм* должно контролироваться рентгено- или гамма-просвечиванием, либо магнитографическим способом.

Для каждого пересечения вертикального шва с горизонтальным должен делаться один снимок длиной 240 *мм*. Кроме этого, должна быть проверена плотность всех сварных швов стенки резервуара (с внутренней стороны швы промазывают керосином, а с наружной — мелом).

Плотность сварных вертикальных стыков стенок подвижных звеньев и окраек кровли, а также сварные швы в гидрозатворах испытывают промазкой керосином. Сварные швы стенки резервуара, выполненные внахлестку, обязательно испытывают промазкой керосином, для чего с внутренней стороны стенки рассверливается отверстие в стыке и в пространство между листами, сваренными внахлестку, нагнетается подогретый керосин, а швы с наружной и внутренней сторон покрываются меловой обмазкой.

Плотность сварных швов нижних гидрозатворов и резервуара, а также газовых вводов проверяют, наливая воду на 12 *ч*.

Если после нескольких часов наблюдений сварные швы резервуара показали достаточную плотность, производится нагнетание воздуха в колокол и подвижные звенья, чтобы проверить плотность сварных швов на стенках подвижных звеньев и на кровле колокола (швы обмазывают снаружи мыльной эмульсией). Воздух, проходящий через неплотный шов под давлением, вызывает образование мыльного пузыря.

Перед следующим этапом испытания (наливом воды и нагнетанием воздуха) внутренную часть резервуара очищают от строительного мусора и монтажных деталей. Особо тщательно следует проверить отсутствие монтажных прихваток подвижных звеньев друг к другу и к подкладным опорным балкам. В случае если монтажные прихватки останутся, то подвижные звенья,

поднимаясь, будут отрывать подкладные балки от днища, что может вызвать его разрывы.

Необходимо иметь в крыше колокола манометр в виде водомерной изогнутой трубки, по уровню воды в которой можно следить за нормальным ходом подъема звена. Каждое заклинивание и задержка в подъеме подвижных звеньев будет вызывать повышение давления.

Во время подъема звеньев производятся дополнительная рихтовка верхних роликов и замеры в тангенциальном и радиальном направлениях величины зазоров между гранью ездовой балки вертикальной направляющей и гранью ролика; одновременно составляются графики величины зазоров в плане через каждый метр высоты. Сопоставлением исполнительной схемы вертикальных направляющих и результатов замеров рихтуется положение роликов, а в некоторых случаях и ездовых балок.

Нормальное движение подвижных звеньев может нарушаться вследствие:

а) отклонения внешних направляющих от вертикали и изогнутости их в тангенциальном направлении;

б) криволинейности ездовых балок внешних направляющих;

в) отклонения оболочек телескопов и колокола от правильной цилиндрической формы;

г) неправильной установки роликов;

д) плохой смазки роликов;

е) неравномерного расположения пригрузок.

Когда произведены все предварительные испытания, приварены все связи и ригели вертикальных направляющих в местах, предусмотренных по проекту, на стальные конструкции наносятся антикоррозийные покрытия (см. § 5 «Антикоррозийная защита мокрых газгольдеров»). Работы по антикоррозийному покрытию производятся по специальному проекту, учитывающему свойства хранимого газа, климатические и местные условия.

После полного окончания работ по антикоррозийной защите начинаются испытания газгольдера в целом (в резервуар наливают воду и нагнетают воздух в колокол и подвижные звенья). Объем заполнения газгольдера воздухом должен составлять 90% номинального объема.

Определение величин утечки воздуха в течение 7 суток испытания газгольдера на плотность производится с учетом поправки на барометрическое давление и давление водяных паров по формуле

$$V_0 = V_t \frac{273\,(B - p_{\text{пар}} + P)}{760\,(273^\circ + t^\circ)},$$

где V_0 — нормальный объем сухого воздуха в $м^3$ при температуре 0°С и нормальном давлении 760 *мм рт. ст.*;

V_t — измеренный объем воздуха в $м^3$ при средней темпера-

туре $t°$, барометрическом давлении B *мм рт. ст.* и среднем давлении воздуха в газгольдере P *мм рт. ст.*;

P — давление воздуха в газгольдере в *мм рт. ст.*;

$p_{пар}$ — парциальное давление водяных паров, находящихся в воздухе при температуре $t°$ и давлении B *мм рт. ст.*;

$t°$ — средняя температура воздуха в °С.

При незначительной разнице температуры в начале и конце испытаний величина $p_{пар}$ может не учитываться. В таком случае вычисление производится по формуле

$$V_0 = V_t \frac{273\,(B+P)}{760\,(273° + t°)}.$$

Утечку воздуха, определенную в конце испытания, пересчитывают на соответствующую утечку газа умножением величины утечки воздуха на величину

$$\sqrt{\frac{\gamma_в}{\gamma_г}},$$

где $\gamma_в$ — удельный вес воздуха;

$\gamma_г$ — удельный вес газа.

Газгольдер считается выдержавшим испытания на плотность, если полученная в результате пересчета величина утечки при непрерывном испытании за 7 суток не превышает: 3% — для газгольдера емкостью до 1000 *м*³; 2% — для газгольдеров емкостью от 3000 *м*³ и выше (величина утечки относится к номинальному объему газгольдера).

Затем газгольдер проверяют на горизонтальность положения подвижных звеньев быстрым двукратным опусканием и подъемом их. Перекосы корпуса колокола и телескопа не должны превышать (от уровня воды) 1 *мм* на 1 *м* диаметра звена.

Как правило, большинство аварий газгольдеров происходит перед полным испытанием газгольдера (в целом) или после него.

Следует открывать верхние люки в крыше колокола, когда газгольдер пуст, что позволяет устранить возможность образования в колоколе вакуума, который может получиться вследствие неожиданного уменьшения объема воды в резервуаре или под влиянием охлаждения находящегося под куполом воздуха, например после жаркого дня. Вакуум может вызвать деформации или разрушение стенок и кровли колокола.

§ 2. МОКРЫЕ ГАЗГОЛЬДЕРЫ С ВИНТОВЫМИ НАПРАВЛЯЮЩИМИ

1. Краткое описание

Английские механики Гэдд и Мезон в 70-х годах прошлого столетия предложили новый вид мокрого газгольдера — «геликоидальный» или винтовой мокрый газгольдер. Так же как и

обычный мокрый газгольдер с вертикальными направляющими — винтовой мокрый газгольдер является газгольдером низкого и постоянного давления (обычно 400 *мм вод. ст.*) и переменного объема.

В течение многих лет винтовые мокрые газгольдеры сравнительно небольших объемов строились исключительно в Англии.

В период после второй мировой войны преимущество винтовых мокрых газгольдеров было оценено и их стали строить во многих странах (табл. 7).

Таблица 7

Краткий перечень крупнейших винтовых мокрых газгольдеров, построенных в разных странах[1]

Место сооружения	Емкость в $м^3$	Год постройки
Брюссель (Бельгия)	100 000	1951
Бимберг (ФРГ)	30 000	1953
Ницца (Франция)	30 000	1955
Изерлон (ФРГ)	30 000	1956
Саарбрюккен (ФРГ)	50 000	1957
	75 000	1957
Сидней (Австралия)	113 000	1957
Париж (Франция)	225 000	1957
Шанхай (Китай)	54 000	1958
Наинтерре (Франция)	75 000	1958
Западный Берлин	200 000	1962

[1] Таблица составлена инж. К. К. Купаловым.

Винтовой мокрый газгольдер отличается от газгольдера с вертикальными направляющими схемой подъема и опускания подвижных звеньев; не вертикально вверх, удерживаясь в горизонтальном положении при посредстве роликов на внешних и внутренних направляющих, как в обычном мокром газгольдере, а движением по винтовой линии, подобно винту, вывинчиваемому из гайки. Движение подвижного звена в винтовом газгольдере состоит не только из подъема или опускания, но и одновременно вращения вокруг вертикальной оси.

При этом расположенное выше звено вывинчивается из расположенного ниже путем проскальзывания рельсовых направляющих в парных роликах, неподвижно установленных наверху нижерасположенного подвижного звена или резервуара (рис. 31).

Вместо громоздких и тяжелых вертикальных направляющих в винтовом мокром газгольдере применяются винтовые направляющие, прикрепленные к стенкам подвижных звеньев под углом 45° к горизонту и образующие отрезки винтовой линии.

В каждом последующем подвижном звене направление винтовых направляющих меняется на обратное, для того чтобы при выпуске газа и, следовательно, при опускании подвижных звеньев не накапливалась сила инерции движения и не увеличивалась скорость поворота подвижных звеньев.

В остальном конструкции винтового мокрого газгольдера аналогичны конструкциям обычного мокрого газгольдера с вертикальными направляющими и в них имеются наполненный водой резервуар, колокол и промежуточные звенья-телескопы, соединяемые гидрозатворами (рис. 32).

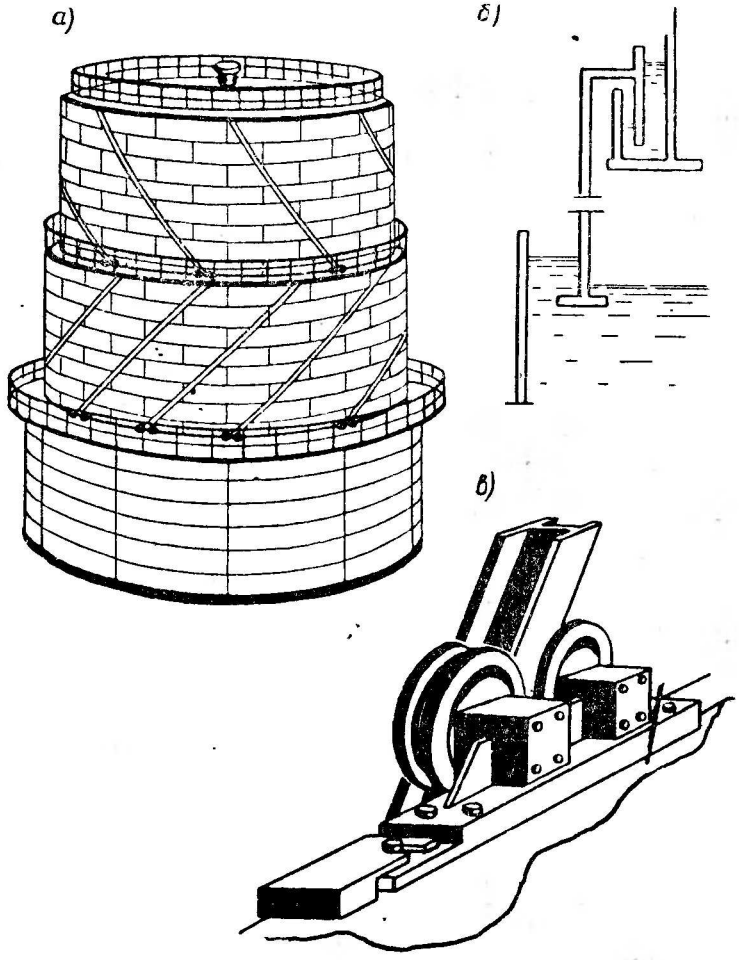


Рис. 31. Мокрый газгольдер с винтовыми направляющими
а — общий вид; *б* — деталь гидрозатвора; *в* — конструкция роликов винтовой направляющей

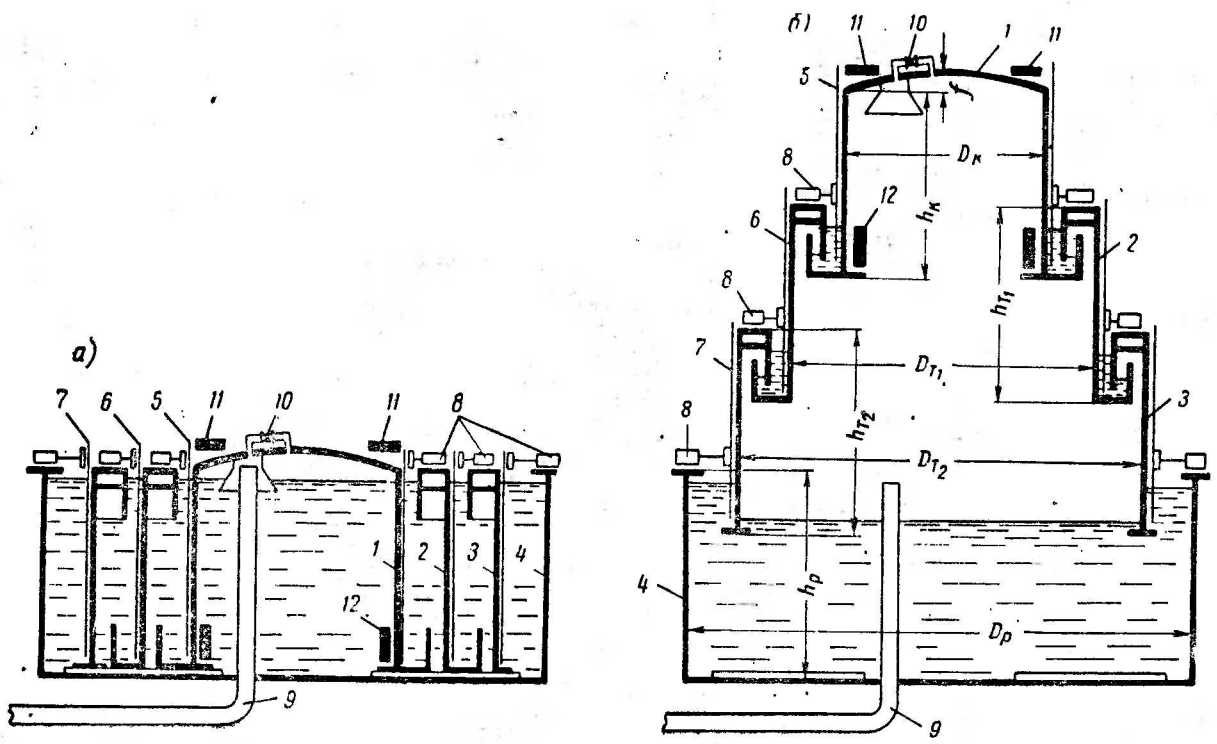


Рис. 32. Схема винтового газгольдера

а — низшее положение звеньев; *б* — высшее положение звеньев; *1* — колокол; *2* — телескоп 1-й; *3* — телескоп 2-й; *4* — резервуар; *5* — винтовая направляющая на колоколе; *6* — винтовая направляющая на телескопе 1-м; *7* — винтовая направляющая на телескопе 2-м; *8* — ролики; *9* — газовый ввод; *10* — отсекающий колпак газового ввода; *11* — бетонные грузы; *12* — чугунные грузы

Гидрозатворы винтовых газгольдеров имеют некоторое отличие от гидрозатворов обычных мокрых газгольдеров; они не имеют высоко выступающего листа верхнего гидрозатвора, а внутренняя часть верхнего гидрозатвора снабжена специальной диафрагмой.

Винтовая направляющая является в газгольдере ответственным элементом каркаса и работает на изгиб, сжатие и кручение. По всей длине винтовая направляющая приваривается к оболочке стенки подвижных звеньев, а в тех местах, где она пересекает оси вертикальных стоек подвижных звеньев, крепится через оболочку к этим стойкам. Чтобы уменьшить расчетный пролет винтовой направляющей, расстояние между вертикальными стойками в подвижных звеньях следует делать меньшим, чем в обычных газгольдерах.

В несущем каркасе подвижных звеньев винтовых газгольдеров вертикальных стоек делается больше, и потому вес конструкций подвижных звеньев (телескопов) обычно бывает больше, чем в обычных мокрых газгольдерах (рис. 33).

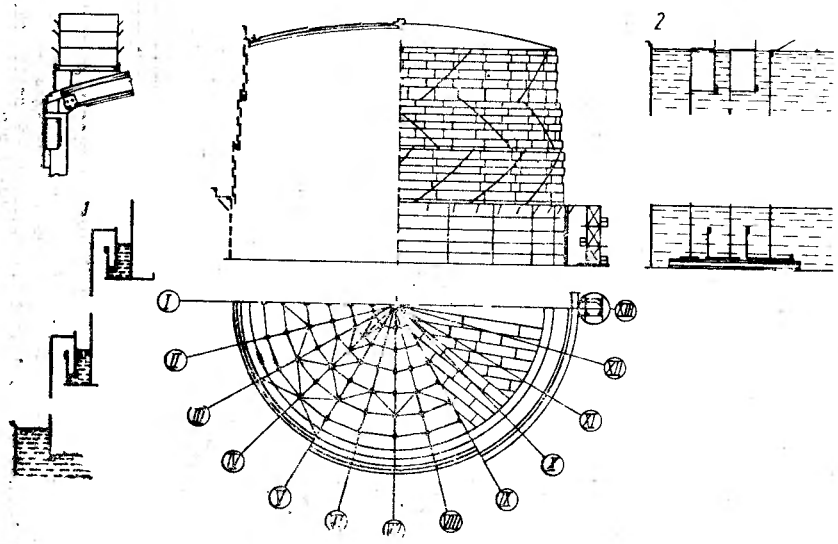


Рис. 33. Конструкции винтового газгольдера

1 — гидрозатворы при высшем положении звеньев; *2* — то же, при низшем положении звеньев

Несмотря на то, что винтовые мокрые газгольдеры изготовляются и монтируются с более жесткими допусками, они имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными мокрыми газгольдерами:

а) в технологическом отношении винтовые газгольдеры более надежны и безотказны в работе;

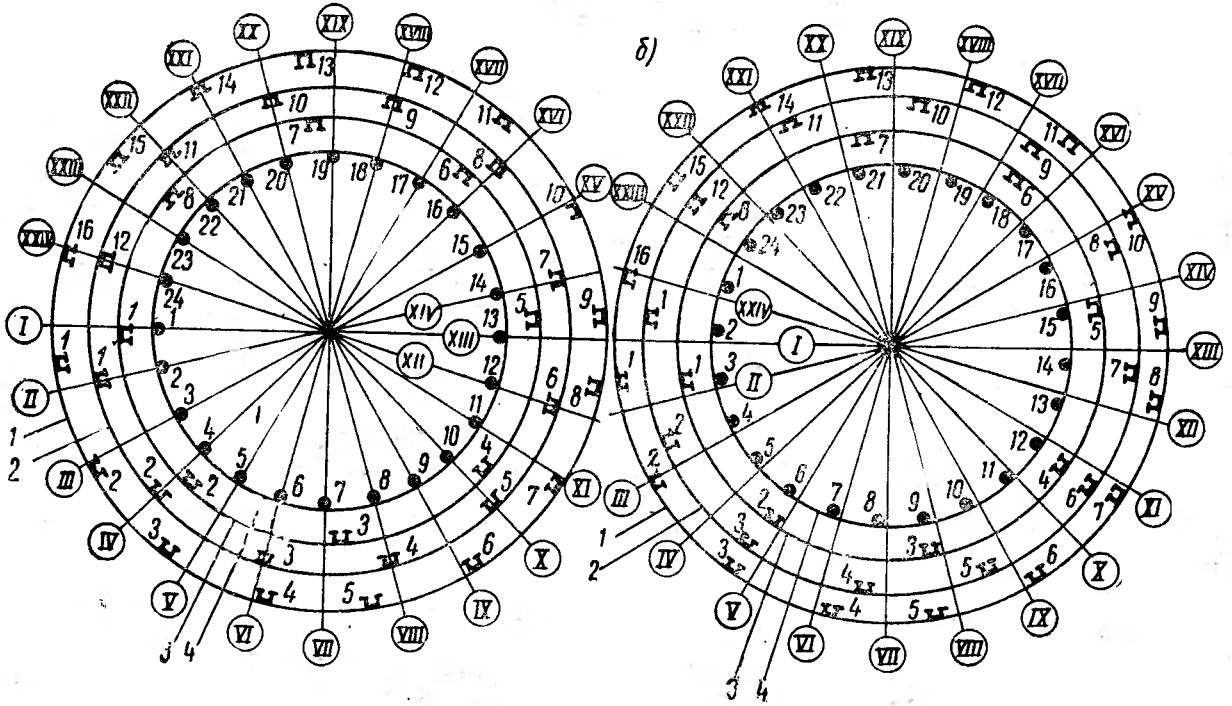


Рис. 34. Расположение (в плане) роликов винтовых направляющих на резервуаре и подвижных звеньев в зависимости от их положения

а — при высшем положении подвижных звеньев; *б* — при низшем положении; *1* — резервуар; *2* — 2-й телескоп; *3* — 1-й телескоп; *4* — колокол (каждый ролик имеет свой порядковый номер)

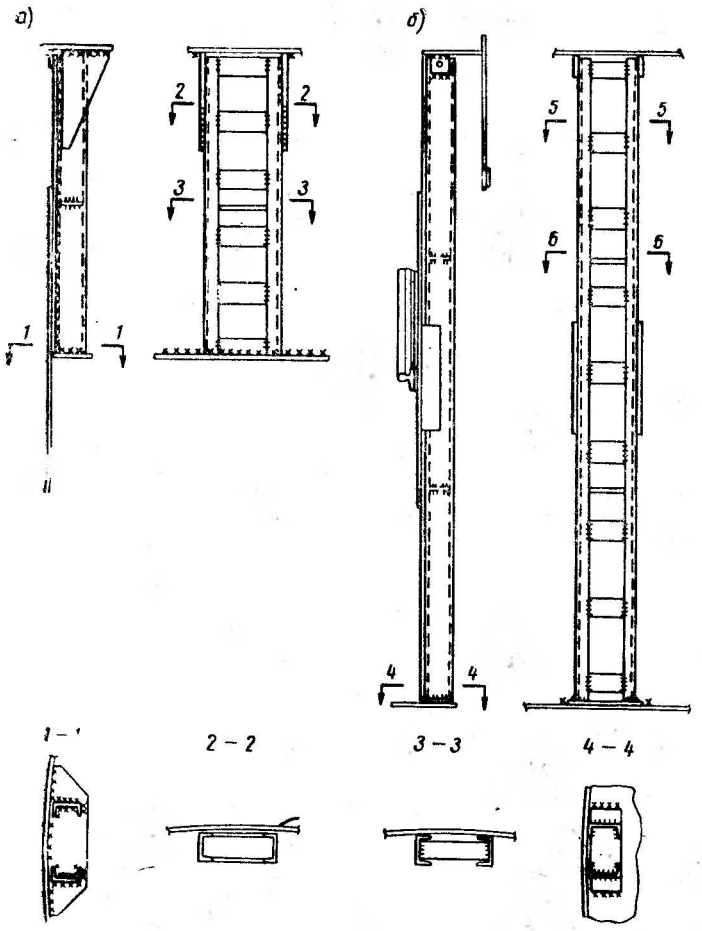


Рис. 35. Стойки подвижных звеньев и ребра жесткости резервуара

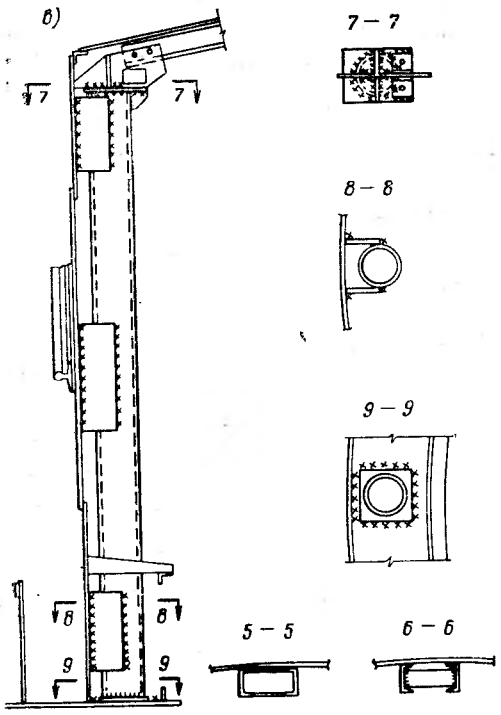
а — ребро жесткости резервуара; *б* — стойка телескопа; *в* — стойка колокола

б) механические детали роликов более доступны для осмотра, смазки и ремонта, так как не опускаются в воду;

в) при опущенных звеньях (когда газгольдер не заполнен газом) все сооружение размещается в пределах высоты резервуара для воды и испытывает меньшее воздействие ветровых нагрузок;

г) более экономичны по расходу стали (около 10%) и по сметной стоимости строительства (около 6%);

д) количество и вес механических деталей (роликов) значительно уменьшается;



е) исключается сложная, трудоемкая и тяжелая система вертикальных направляющих.

Конструкции стенок резервуара, телескопов и колокола винтового мокрого газгольдера ничем не отличаются от аналогичных конструкций мокрого газгольдера с вертикальными направляющими. Эти конструкции выполняются на заводе-изготовителе в виде рулонных заготовок. Соединение листов производится в стык автоматической или полуавтоматической сваркой. Предусмотрен повышенный контроль за качеством сварных швов, что позволяет принимать сварные швы (особенно вертикальный стык листов) равнопрочными основному металлу.

По внешним габаритам винтовые мокрые газгольдеры отличаются от мокрых газгольдеров с вертикальными направляющими (рис. 34). Отношение величины диаметра к полной высоте газгольдера $\frac{D}{H}$ для винтовых мокрых газгольдеров принимается бóльшим, чем для обычных мокрых газгольдеров. Для мокрых газгольдеров с вертикальными направляющими это отношение равно 0,8—1,3, тогда как для винтовых мокрых газгольдеров оно равно 1,2—1,75 и выше (для винтовых газгольдеров рационален больший диаметр звеньев, что уменьшает давления на ролики и винтовые направляющие).

Основным несущим каркасом колокола винтового газгольдера служат верхние и нижние поясные листы цилиндрической стенки колокола из толстолистовой стали, соединенные стойками (рис. 35). Количество стоек должно быть бóльшим, чем в обычных мокрых газгольдерах, так как они являются опорами для винтовой направляющей (и уменьшают ее пролет) и кроме основной работы на вертикальные нагрузки работают на изгиб от горизонтальных и вертикальных сил, передаваемых с винтовой направляющей на ролик, а затем на стойку. Каркас кровли работает на нагрузки от снега, собственного веса и ветра только

при пустом газгольдере, когда колокол находится в низшем положении, опираясь на подкладные балки, радиально расположенные на дне резервуара. Когда колокол наполнен газом, упругое давление его поднимает листовой настил кровли из тонких листов. Листовой настил кровли не приваривается к несущему каркасу и лежит на каркасе свободно. Он приваривается лишь к окрайкам кровли, выполненным из толстолистовой стали и создающим вместе с уторным уголком и верхним вертикальным поясным листом стенки уторную конструкцию, воспринимающую распор от стропил, гнутых из двутавров или швеллеров по сфере радиусом приблизительно в 2 раза бо́льшим, чем радиус колокола. Стропила располагаются радиально, в центре они опираются на «корону» — опорное кольцо. Все оборудование (люки, перепускное устройство, колпаки) приваривается к листовому настилу кровли и не крепится к несущему каркасу.

Цилиндрическая стенка колокола имеет пояса из толстолистовой стали только вверху и внизу (верхний и нижний пояса). Средняя часть стенки делается из тонких листов толщиной 3—4 *мм*. Пояса из тонких листов при изготовлении рулонной заготовки стенки колокола соединяют в стык (вертикальные стыки). Горизонтальные стыки также выполняются в стык, но для тонких листов от 4 *мм* и ниже разрешается соединение внахлестку.

Телескоп, так же как и в обычных мокрых газгольдерах, состоит из несущего каркаса — верхнего и нижнего поясов из толстолистовой стали (с верхними и нижними гидрозатворными устройствами), соединенных стойками (обычно из двух швеллеров), работающих на вертикальные нагрузки (если над стойкой помещается ролик) и на горизонтальную силу, передающуюся от винтовой направляющей через оболочку из тонких листов на стойку в том месте, где пересекаются оси винтовой направляющей и стойки (в этом месте винтовая направляющая прикрепляется через тонкую оболочку к стойке).

Чтобы уменьшить расчетный пролет винтовой направляющей, стойки телескопа располагают чаще, чем в обычных мокрых газгольдерах.

2. Винтовые направляющие

К основным конструктивным элементам винтового мокрого газгольдера относятся винтовые направляющие и ролики.

Винтовой мокрый газгольдер имеет стационарную часть — резервуар, наполненный водой, и подвижные части—звенья: колокол и телескопы. При заполнении газгольдера газом звенья поднимаются и удерживаются в строго горизонтальном положении винтовыми направляющими, скользящими между парными роликами. По существу система парных роликов выполняет роль заделки цилиндрических конструкций подвижных звеньев, являющихся консолями, выдвинутыми из расположенных ниже звеньев или резервуара.

Таблица 8

Генеральные размеры мокрых газгольдеров с винтовыми направляющими (типовые проекты Госстроя СССР 7-07-30 до 7-07-36)

Емкость в $м^3$		Диаметр в *мм*				Высота в *мм*				Полная высота газгольдера $H_г$ в *мм*	$\frac{D_р}{H_г}$	Расход стали	
			телескопов				телескопов						
номинальная	фактическая	резервуара	1-го	2-го	колокола	резервуара	1-го	2-го	колокола			в *т*	в *кг/м³* номинальной емкости
1 000	1 040	16 450	—	—	15 350	5 820	—	—	5 670	10 990	1,5	61,37	61,17
3 000	3 088	24 550	—	—	23 450	7 400	—	—	7 200	14 050	1,75	117,8	39,3
6 000	6 110	25 650	24 550	—	23 450	7 400	7 200	—	7 200	20 440	1,25	169,24	28
10 000	10 222	31 700	30 600	—	29 500	7 850	7 650	—	7 650	21 790	1,45	259,04	25,9
15 000	15 127	38 200	37 100	—	36 000	7 850	7 650	—	7 650	21 790	1,74	322,74	21,5
20 000	20 258	39 300	37 100	38 200	36 000	7 080	6 800	6 800	6 800	25 280	1,55	388,57	19,4
30 000	30 495	44 900	42 700	43 800	41 600	7 850	7 650	7 650	7 650	28 680	1,56	509,46	16,9

Вследствие возрастания горизонтальных сил количество винтовых направляющих на стенке каждого из расположенных ниже звеньев увеличивается. Наибольшее количество винтовых направляющих располагается на стенке нижнего телескопа, наименьшее количество направляющих имеет колокол (рис. 36).

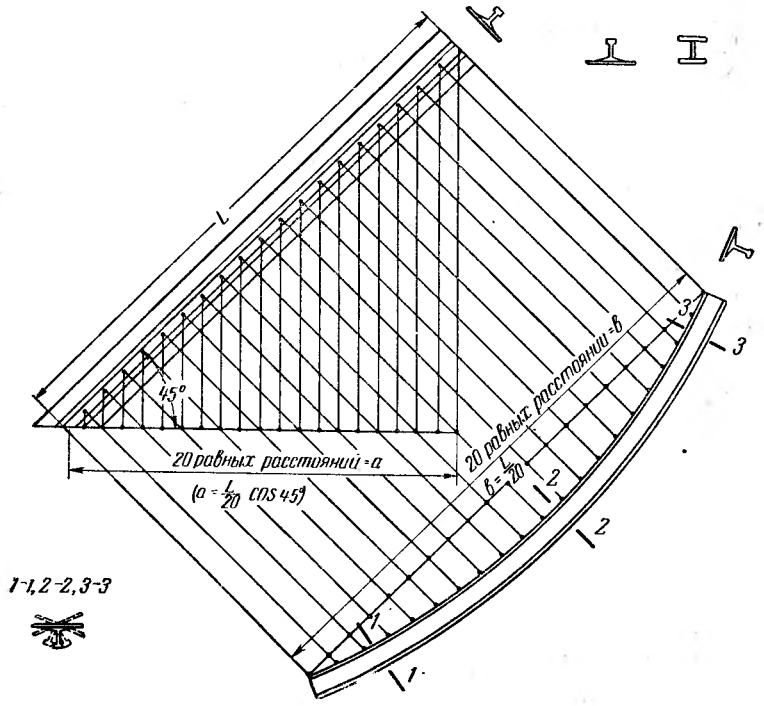


Рис. 36. Конструкция винтовой направляющей

Таблица 9

Количество винтовых направляющих и стоек в винтовых мокрых газгольдерах (по материалам типовых проектов 7-07-30 до 7-07-36)

Емкость газгольдера в $м^3$	Резервуар стойки жесткости	Колокол		1-й телескоп		2-й телескоп	
		винтовые направляющие	стойки	винтовые направляющие	стойки	винтовые направляющие	стойки
1 000	4	4	8	—	—	—	—
3 000	6	6	12	—	—	—	—
6 000	9	6	12	9	18	—	—
10 000	12	8	24	12	24	—	—
15 000	12	8	24	12	24	—	—
20 000	16	8	24	12	24	16	36
30 000	24	12	24	18	36	24	36

Генеральные размеры мокрых газгольдеров с винтовыми направляющими и количество винтовых направляющих и стоек приведены в табл. 8 и 9.

Винтовая направляющая может изготовляться из различных прокатных и составных профилей:

а) из железнодорожного рельса с усилением из приваренного к нему листа или без усиления;

б) из составного сварного двутавра;

в) из специально прокатываемого профиля.

Количество винтовых направляющих определяется расчетом, исходя из величины горизонтальных и вертикальных сил, приходящихся на одну винтовую направляющую от ролика при различных количествах винтовых направляющих на данном подвижном звене. При этом необходима увязка количества винтовых направляющих (и, следовательно, роликов для каждой из направляющих) с количеством стоек в лежащем ниже звене, так как стойка должна являться опорой для ролика. Количество винтовых направляющих должно быть определено заранее для всех подвижных звеньев (по предварительным статическим расчетам).

Винтовая направляющая в газгольдерах, строительство которых осуществляют за рубежом английские фирмы, длительное время охранялась патентом фирм. Даже если в какой-либо стране стальные конструкции изготовлялись на местных заводах-изготовителях, комплекты винтовых направляющих поставлялись английскими фирмами. Видимо, эти фирмы имели специальные гибочные станы и специальные профили для винтовых направляющих.

В нашей стране винтовые направляющие изготовляются различными способами:

а) гибкой направляющих в листогибочных вальцах; для этого прямую заготовку винтовой направляющей пропускают между валками вальцов, поставив ее под углом 45° к оси валков (рис. 37 и 38);

б) гибкой винтовых направляющих на прессах, что является очень трудоемким;

в) гибкой в листогибочных вальцах одновременно нескольких направляющих, профили для которых закладываются между стальными листами;

г) гибкой на специальном гибочном станке.

Винтовая направляющая представляет собой отрезок винтовой линии (см. рис. 36). Она изогнута по овалу, ординатами которого являются ординаты сегмента круга в плане; кроме того, сечение направляющей должно быть закручено на угол, равный центральному углу в плане, причем дугой окружности является проекция всей протяженности винтовой направляющей.

Винтовые направляющие для мокрых газгольдеров по отечественным типовым проектам, разработанным институтом Про-

ектстальконструкция, состоят из рельса узкоколейной железной дороги № 24 с различными сечениями листов, приваренных к рельсу.

При строительстве винтовых мокрых газгольдеров в районах, расположенных далеко от заводов-изготовителей, винто-

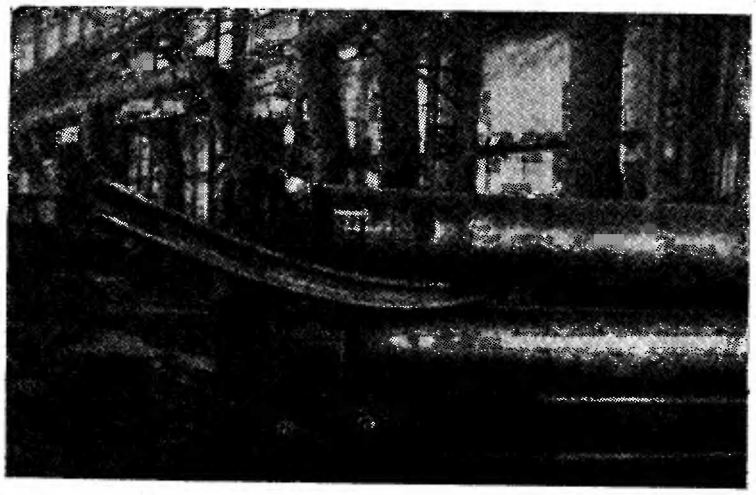


Рис. 37. Гибка винтовой направляющей на листогибочных вальцах (под углом 45°)

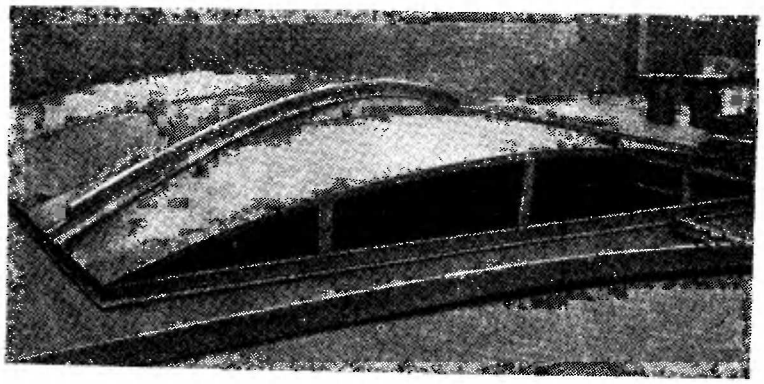


Рис. 38. Шаблон для проверки формы винтовой направляющей

вые направляющие можно изготовлять в виде конструкции, составленной из отдельных элементов, например, в виде составного симметричного двутавра. В условиях строительной площадки для этого используют специальный шаблон-кондуктор, в

котором производится сборка, а затем сварка отдельных элементов винтовой направляющей. В таком шаблоне-кондукторе элементы винтовой направляющей лишены возможности деформироваться при сварке, что дает возможность получить готовую винтовую направляющую, представляющую собой отрезок винтовой линии (рис. 39).

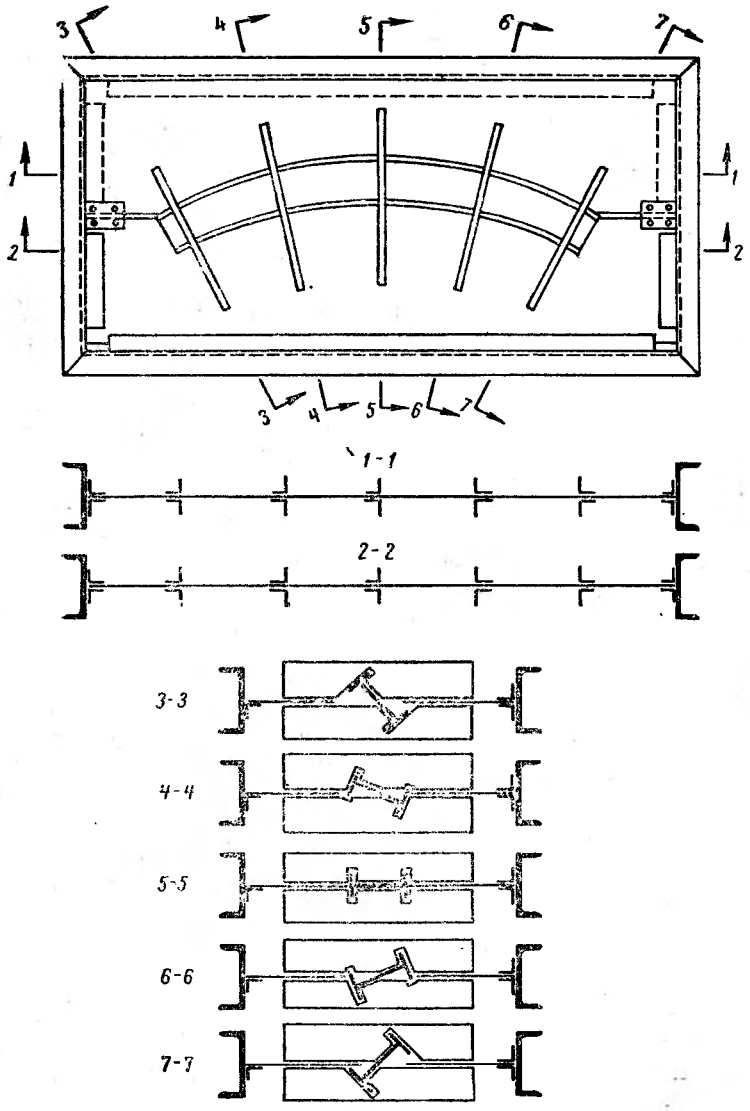


Рис. 39. Приспособление для сварки винтовой направляющей из отдельных элементов

При любом из принятых способов изготовления винтовой направляющей необходим строгий контроль за ее очертанием, что достигается применением специальных шаблонов или стендов, имитирующих участок стенки подвижного звена.

Допуски при изготовлении направляющей должны быть минимальными, а отклонение от оси винтовой линии не должно превышать ±2 *мм* на каждые 3 *м*.

При установке винтовой направляющей на стенке подвижного звена необходимо внимательно следить за плотным примыканием направляющей к оболочке, устанавливая прокладки в тех местах, где они предусмотрены проектом. Направляющая приваривается к оболочке на всю длину сплошными швами толщиной 3—4 *мм*.

Винтовые направляющие должны быть строго параллельны друг другу, так как отклонение, превышающее допуск, может вызвать задержку (заедание) винтовой направляющей в роликах.

Чтобы правильно установить винтовую направляющую, на стенке звена должна быть сделана разметка-наметка (с керненим) оси винтовой направляющей. Такую разметку рекомендуется делать в заводских условиях при изготовлении рулонного полотнища, когда линию оси можно накернить с наружной стороны стенки, на горизонтально расположенном полотнище. Разметка в условиях строительной площадки является очень трудоемкой и менее точной, так как необходимо применять шаблоны (из картона или фанеры) длиной во всю высоту стенки и работать в стесненном пространстве — коридоре в 550 *мм* между стенками подвижных звеньев.

Назначать расположение осей винтовых направляющих следует с учетом ряда обстоятельств.

Резервуар разбивают на основные фундаментные оси (рис. 40), количество которых соответствует количеству стоек колокола. Когда газгольдер полностью заполнен газом и подвижные звенья подняты вверх до предела, положение стоек колокола в плане совпадает с основными фундаментными осями.

При наполнении газгольдера газом или опорожнении его подвижные звенья поднимаются или опускаются. При этом происходит взаимное перемещение точек подвижных звеньев от крайнего верхнего до крайнего нижнего положения или наоборот.

Взаимное перемещение точек определяют в градусах и геометрических единицах и учитывают при проектировании стенок подвижных звеньев и расположении осей винтовых направляющих, стоек и роликов.

Наклон направляющих должен быть равен 45°, причем допуск не должен превышать 5″. Перед разметкой осей винтовых направляющих полотнища рулона разбивают на участки в 20—25 *м*. Размеры этих прямоугольников должны быть проверены

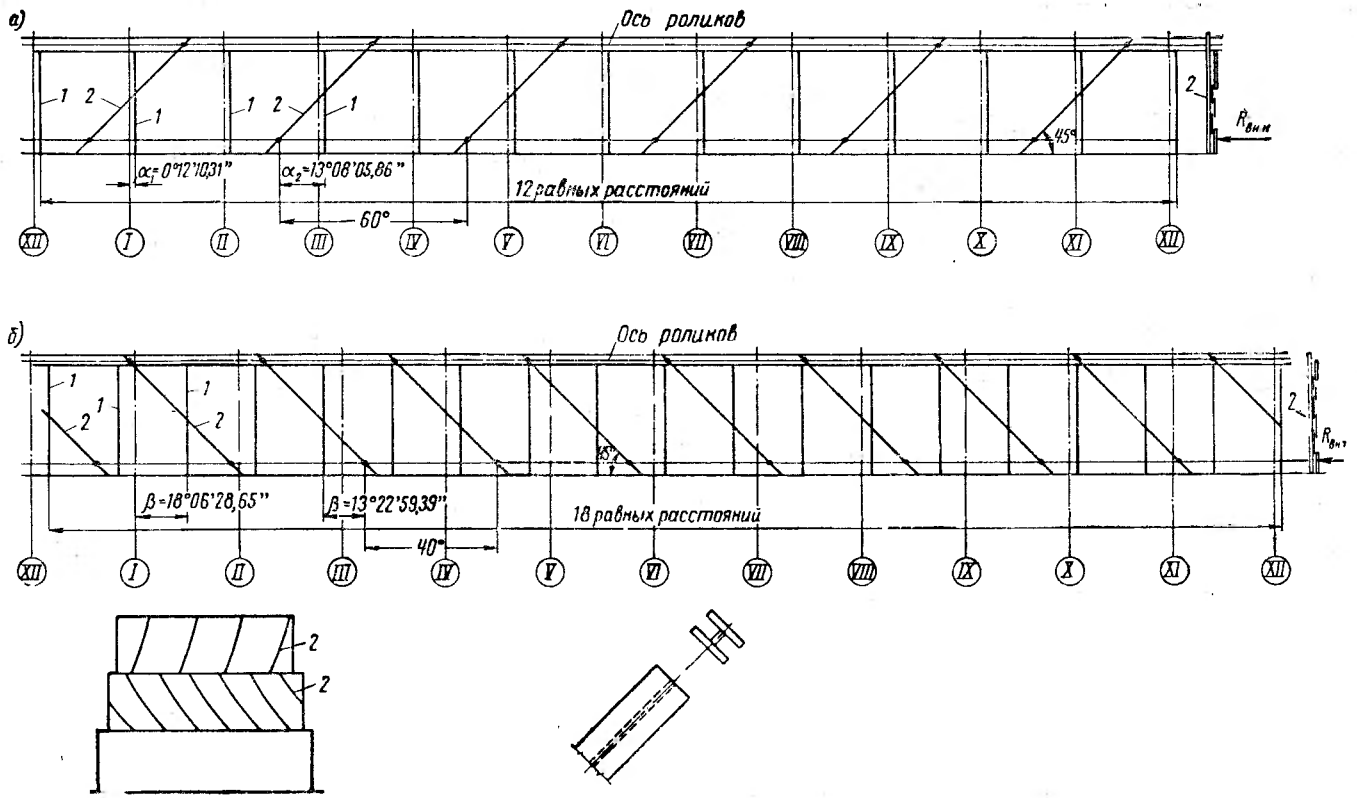


Рис. 40. Разбивка осей винтовых направляющих (газгольдер емкостью 6000 м³)

а — стенка колокола в низшем положении; *б* — стенка телескопа в низшем положении; *1* — стойки; *2* — винтовые направляющие; *3* — ось роликов

по диагоналям, а затем в пределах проверенного участка накернивают оси винтовых направляющих.

Кернами и краской наносят на полотнища по три оси для каждой направляющей (рис. 41):

а) ось винтовой направляющей;

б) боковые габариты оси на расстоянии 400—500 *мм* от оси винтовой направляющей.

При разработке проектов винтовых мокрых газгольдеров необходимо рассматривать два положения подвижных звеньев:

а) крайнее верхнее положение подвижных звеньев;

б) крайнее нижнее положение звеньев при пустом газгольдере; для последнего положения разрабатываются чертежи, служащие для составления деталировочных чертежей КМД и проекта организации работ на монтаже.

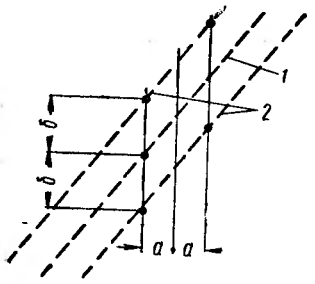


Рис. 41. Разметка осей на стенках звеньев

1 — ось винтовой направляющей; *2* — боковой габарит

Как уже отмечалось, положение фундаментных осей совпадает с осями стоек колокола при его высшем положении (при полностью наполненном газгольдере). Это положение принято потому, что облегчает проектирование технологического оборудования.

Разбивку на монтаже осей стоек телескопов и колокола, а также осей винтовых направляющих производят при низшем положении подвижных звеньев привязкой к основным фундаментным осям (см. рис. 40).

Намеченные оси направляющих рекомендуется закрепить на монтаже фиксаторами, которые должны допускать удобное прикрепление направляющих к оболочке.

Устанавливать и прикреплять винтовую направляющую следует при нижнем положении звеньев; в заграничной практике, однако, есть примеры монтажа направляющей при поднятых звеньях.

При выверке положения направляющих следует иметь в виду, что отдельные направляющие могут смещаться относительно других в пределах 50 *мм*, оставаясь параллельными друг другу. При этом необходимо только обеспечить соответствующее смещение комплекта парных роликов; стойки и жесткости могут не смещаться.

3. Парные ролики

Защемления подвижного звена винтового мокрого газгольдера при действующих на подвижные звенья горизонтальных силах (ветер, эксцентрично расположенный снег на кровле и т. д.)

осуществляются роликами зажатием винтовой направляющей. Система роликов, расположенная по периметру нижерасположенного подвижного звена, осуществляет заделку расположенного выше подвижного звена, как телескопически выдвинутую консоль.

Роликовый комплект состоит из опорной плиты, которая приваривается к верхней плоскости верхнего гидрозатвора (или к консольной площадке резервуара), и из роликовой станины, на которой располагаются свободно вращающиеся в опорных втулках ролики.

На роликовой станине располагаются два ролика. Из двух роликов в зависимости от направления внешней силы работает только один. Роликовая станина прикрепляется к опорной плите на болтах, что делает возможной последующую рихтовку (рис. 42).

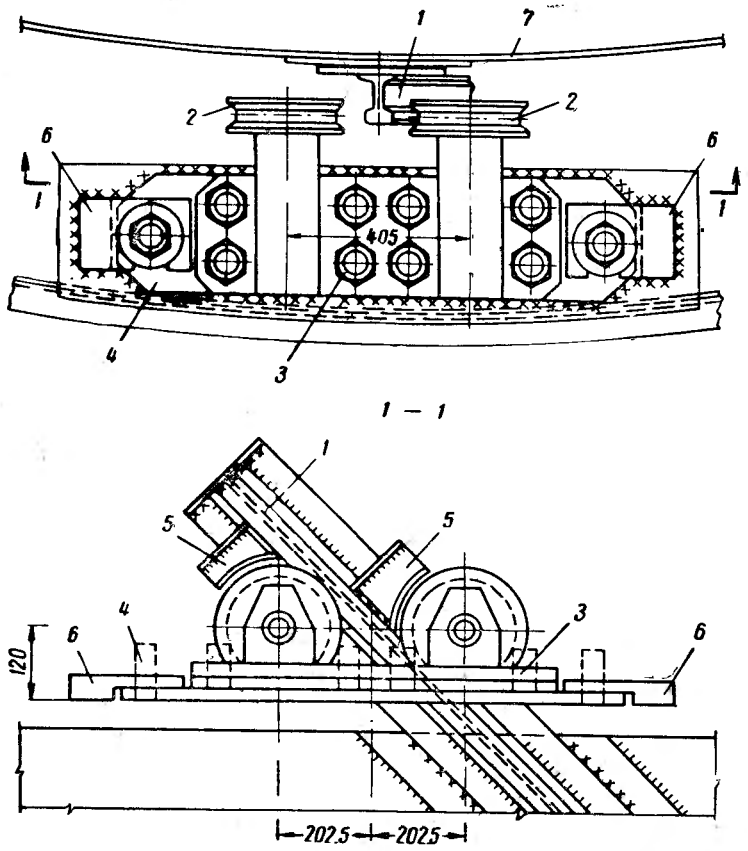


Рис. 42. Ролик винтовой направляющей

1 — винтовая направляющая; *2* — ролик винтовой направляющей; *3* — станина ролнкового комплекта; *4* — опорная плнта; *5* — ограничитель хода ролнков; *6* — монтажные установочные планки; *7* — стенка телескопа

Конструкция ролика допускает перемещение валика вдоль оси в радиальном направлении на ±30 *мм*, что способствует выравниванию движения телескопа и колокола (рис. 43). В тангенциальном направлении имеется зазор между направляющей и поверхностью качения одного из роликов в пределах 5 *мм*.

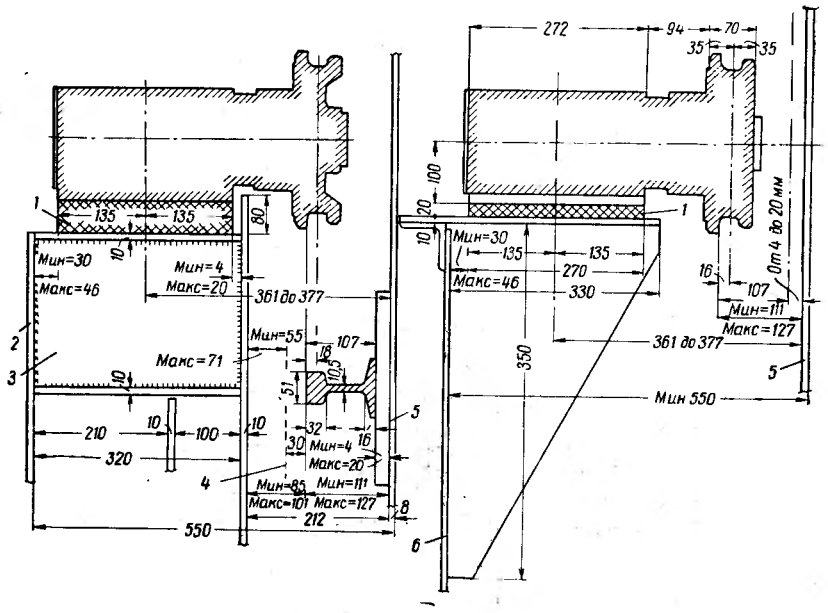


Рис. 43. Посадка роликов

узлы крепления роликов: *а* — к телескопам; *б* — к резервуарам; *1* — опорная конструкция; *2* — телескоп; *3* — верхний гидрозатвор; *4* — возможный ход подвижного звена; *5* — колокол или телескоп; *6* — резервуар

Монтаж роликов ведут в следующем порядке:

а) перед установкой роликов проверяют шаблонами правильность установки всех винтовых направляющих, после окончательной проверки винтовые направляющие приваривают к стенкам;

б) опорную плиту (или подставку) устанавливают на место согласно проекту.

Положение этих опорных конструкций определяют специальным шаблоном, который следует правильно ориентировать по отношению к уклону винтовой направляющей (рис. 44). Прорезь шаблона должна охватывать головку рельса винтовой направляющей, затем по шаблону на нужное место устанавливают опорную конструкцию.

Опорную конструкцию после проверки положения привари-вают к площадке резервуара или к горизонтальному листу верх-

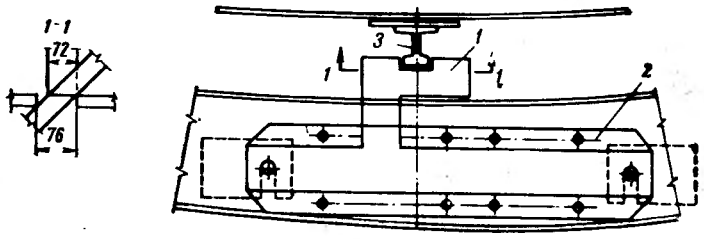


Рис. 44. Шаблон для ориентировки положения опорной плиты парных роликов в отношении винтовой направляющей
1 — шаблон; *2* — опорная плита; *3* — винтовая направляющая

него гидрозатвора телескопа, а затем на опорную конструкцию устанавливают и закрепляют станину с роликами.

4. Расчет винтового газгольдера

Статический расчет стальных конструкций винтового мокрого газгольдера в основном производится аналогично расчету стальных конструкций мокрого газгольдера с вертикальными направляющими. Исключение составляет расчет стоек телескопов и колокола, где необходимо учитывать силы другого направления, а также винтовых направляющих и роликов винтовых направляющих.

При расчете стальных конструкций винтового мокрого газгольдера необходимо учитывать особенности его работы (рис. 45).

Если действуют только вертикальные круглосимметричные нагрузки (собственный вес поднятых звеньев газгольдеров, пригрузка, вес воды в затворах, равномерная снеговая нагрузка на кровле), то они уравновешиваются давлением газа на кровле колокола, а ролики и направляющие не испытывают сосредоточенных нагрузок.

Однако при воздействии на поднятые подвижные звенья горизонтальной ветровой нагрузки или неравномерной снеговой нагрузки на кровлю, кроме равнодействующей, возникает пара сил, которая не уравновешивается внутренним давлением газа.

При действии горизонтальных сил (или вертикальных с эксцентрицитетом) система парных роликов выполняет роль заделки цилиндрической оболочки звена, расположенного выше ролика.

Горизонтальная сила (ветер) воспринимается радиальными усилиями R (вдоль осей роликов) через реборды роликов и равна (рис. 46)

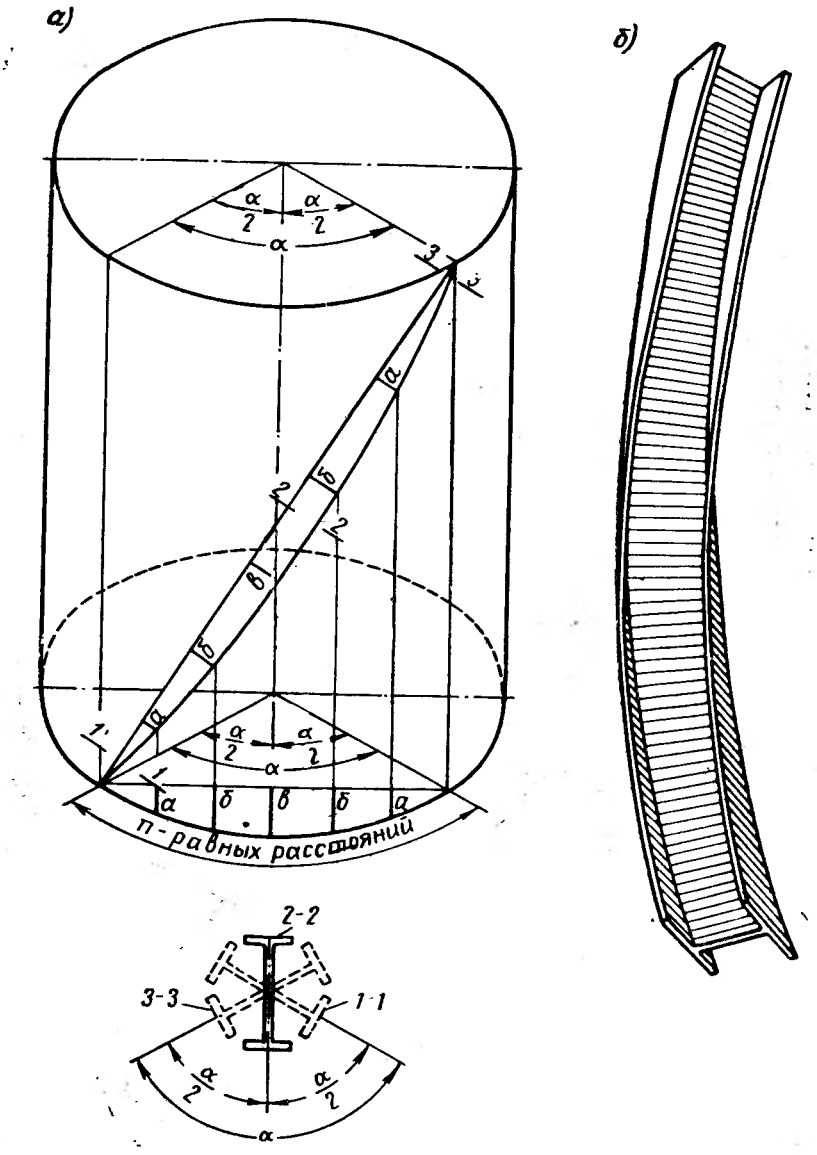


Рис. 45. Винтовая направляющая

а — определение угла закручивания и ординат гиба сечения винтовой направляющей; *б* — вид винтовой направляющей

$$R_\varphi = \frac{Q}{2a} \cos \varphi,$$

где Q — равнодействующая поперечных сил;
a — общее число направляющих;
φ — угол, образованный осью роликов с направлением силы Q.

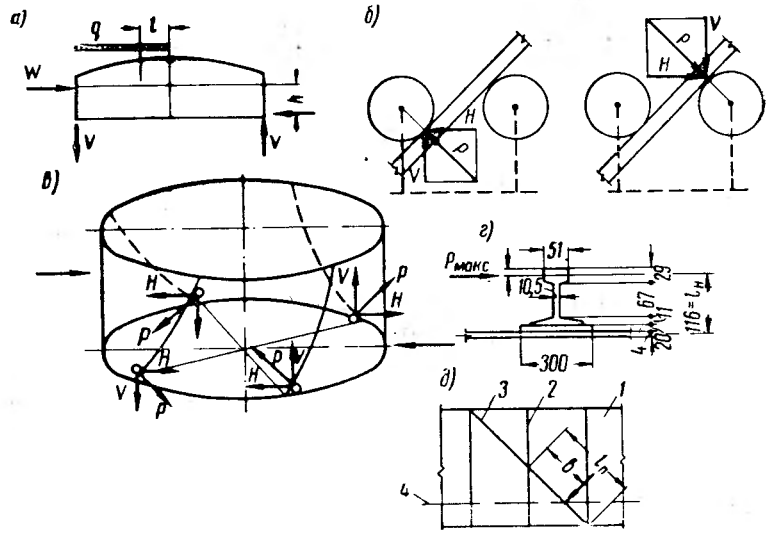


Рис. 46. Схема усилий в роликах и направляющих при горизонтальных нагрузках

а — общая схема нагрузок; *б* — определение величины сил (работает только один ролик); *в* — схема расположения усилий на ролики; *г* — геометрические размеры сечения винтовой направляющей колокола газгольдера емкостью 20 000 *м*3 (по типовому проекту); *д* — схема расположения винтовой направляющей на стенке звена: *1* — стенка звена; *2* — стойка звена; *3* — винтовая направляющая; *4* — ось ролнков

Момент горизонтальной нагрузки относительно рассматриваемого ряда роликов, а также момент от эксцентрицитета равнодействующей и односторонней временной вертикальной нагрузки (снега) воспринимается вертикальными реакциями роликов, равными:

$$V_\varphi = \frac{M}{r \frac{a}{2}} \cos \varphi,$$

где M — суммарный момент горизонтальных и вертикальных сил относительно центра сечения, совпадающего с опорной плоскостью роликов;
r — радиус подвижного звена с максимальным значением

$$V_{\varphi=0} = \frac{M}{r\frac{a}{2}}.$$

Горизонтальные усилия роликов при этом взаимно уравновешиваются.

Давление ролика на направляющую воздействует нормально направляющей, и равно:

$$P = V_{\varphi} \sin 45^\circ = 1{,}414 \frac{M}{r\frac{a}{2}} \cos\varphi;$$

с максимальным значением при $\varphi=0$;

$$P_{\text{макс}} = 2{,}828 \frac{M}{ra}.$$

Из этой формулы видно, что при расчете винтовой направляющей в винтовом мокром газгольдере основным параметром является поперечник звена, а не высота его, как в обычном мокром газгольдере с внешними направляющими. Желательно членение больших емкостей винтовых мокрых газгольдеров на несколько звеньев с бо́льшим отношением $\frac{D}{H}$, чем в обычных мокрых газгольдерах. Это позволяет уменьшить давление на ролик и облегчить конструкцию как ролика, так и направляющей.

При расчете сечения винтовой направляющей в первую очередь необходимо определить давление на ролик, получающееся при выдвижении подвижного звена (на котором располагается винтовая направляющая) на половину высоты. При таком расположении звена значение расчетного крутящего момента для винтовой направляющей максимально.

Определение местного крутящего момента в сечении направляющей

$$M_{\text{н}} = P_{\text{макс}}\, e.$$

Крутящий момент для пролета винтовой направляющей

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{н}} \frac{b}{l_{\text{н}}},$$

где $l_{\text{н}}$ — расчетный пролет направляющей между опорами;
b — расстояние до средней опоры.

Далее определяется момент инерции $I_{\text{кр}}$.

Затем проверяют скалывающие напряжения:

у головки рельса

$$\tau_{\text{г}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot 2{,}9}{I_{\text{кр}}} \leqslant mR,$$

у подошвы

$$\tau_{\text{п}} = \frac{M_{\text{кр}} \cdot 3{,}5}{I_{\text{кр}}} \leqslant mR,$$

где 2,9 — высота головки железнодорожного рельса узкой колеи Р-24 (частный случай);

3,5 — общая толщина оболочки накладки у нижней полки;

m — коэффициент условий работы, равный 0,8;

R — расчетное напряжение для стали принятой марки.

Если винтовой мокрый газгольдер сооружается в сейсмическом районе, необходимо проверить конструкции его на сейсмические нагрузки. Схему приложения сейсмических нагрузок см. на рис. 29, методику расчета и определение сейсмических усилий — главу II, п. 11 «Расчет мокрых газгольдеров на действие сейсмических нагрузок».

§ 3. ДАВЛЕНИЕ ГАЗА И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ПРИГРУЗКИ

Мокрые газгольдеры (с вертикальными и винтовыми направляющими) являются наиболее распространенными типами газгольдеров низкого давления, предназначенных для хранения искусственных промышленных газов.

Собственный вес подвижных звеньев газгольдера обычно создает давление газа от 130 до 240 *мм вод. ст.*, что вызывает необходимость в специальной пригрузке, при которой давление газа достигает заданной технологами величины 380—400 *мм вод. ст.* (рис. 47).

Давление газа зависит также от разности удельных весов воздуха и заключенного в газгольдер газа. Если газ имеет меньший удельный вес, чем воздух, то он будет разгружать вес подвижных звеньев и нужна большая пригрузка. Если удельный вес газа больше, чем воздуха, то груз следует уменьшить. Это необходимо иметь в виду при эксплуатации газгольдера, так как в типовых проектах газгольдеров удельный вес газа принимается равным удельному весу воздуха. Практически это влечет к корректировке указателей объема газа и количества пригрузки.

Плотность газа может изменяться в зависимости от времени суток, солнечной радиации и других причин, но эти колебания малы и практически могут не учитываться.

Чтобы определить необходимую величину пригрузки, в первую очередь находят величину давления газа, возникающего под влиянием собственного веса и веса оборудования подвижных звеньев. Вычисленное давление газа является минимальным.

Минимальную величину давления газа определяют последовательно для каждого подвижного звена, достигшего своего наивысшего положения (см. схему на рис. 9).

Минимальную величину давления газа под колоколом (при поднятии одного колокола) определяют по формуле

$$P_{\text{мин}} = \frac{4}{\pi D_{\text{к}}^2}\left[Q_{\text{к}} - \frac{Q'_{\text{к}}}{7{,}85} - v_{\text{к}}(\gamma - \gamma_1)\right].$$

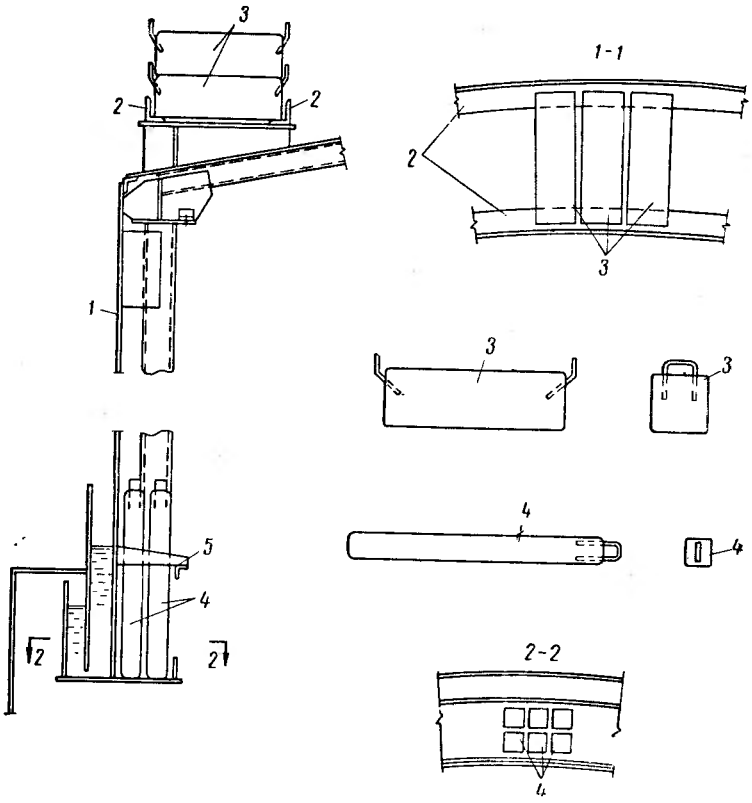


Рис. 47. Расположение специальных грузов (пригрузки) на колоколе мокрых газгольдеров

1 — корпус колокола; *2* — кольцевая площадка для бетонных грузов; *3* — бетонные грузы; *4* — чугунные грузы; *5* — кольцевое ограждение (из уголка), удерживающее чугунные грузы от падения

Когда вслед за колоколом поднялся первый телескоп (т. е. поднялись два подвижных звена), минимальное давление будет

$$P_{\text{мин}} = \frac{4}{\pi D_{\text{т}_1}^2}\left[Q_{\text{к}} + Q_{\text{т}_1} + q_{\text{к}} - \frac{Q_{\text{т}_1}}{7{,}85} - (v_{\text{к}} + v_{\text{т}})(\gamma - \gamma_1)\right].$$

Когда поднят второй телескоп (поднялись три подвижных звена)

$$P_{мин} = \frac{4}{\pi D_{т_2}^2}\left[Q_к + Q_{т_1} + Q_{т_1} + q_к + \right.$$

$$\left. + q_т - \frac{Q'_{т_2}}{7{,}85} + (v_к + v_{т_1} + v_{т_2})(\gamma - \gamma_1)\right],$$

где

$P_{мин}$ — минимальное давление газа, получающееся в газгольдере в *кГ/м²* или в *мм вод. ст.* (100 *кГ/м²* = = 100 *мм вод. ст.*);

$D_к$; $D_{т_1}$; $D_{т_2}$ — внутренние диаметры колокола, первого и второго телескопов;

$Q_к$; $Q_{т_1}$; $Q_{т_2}$ — общий вес стальных конструкций и оборудования колокола и обоих телескопов;

$Q'_к$; $Q'_{т_1}$; $Q'_{т_2}$ — вес конструкций колокола и обоих телескопов, погруженных в воду;

$v_к$; $v_{т_1}$; $v_{т_2}$ — объемы колокола и телескопов в *м³*;

$q_к$; $q_{т_1}$ — вес воды в гидрозатворах колокола и первого телескопа;

7,85 — объемный вес стали равен 7,85 *т/м³*;

γ — объемный вес воздуха в *кг/м³* при 0°С и давлении 760 *мм рт. ст.*, т. е. 1,2928 *кг/м³*;

γ_1 — объемный вес газа в *кг/м³* при 0°С и давлении 760 *мм рт. ст.*

Величина минимального давления газа (от собственного веса конструкций и оборудования подвижных звеньев без специальной пригрузки) в *мм вод. ст.* (газ принят с удельным весом 1,2928 *кг/м³*, равным удельному весу воздуха, при t=0°С и давлении 760 *мм рт. ст.*) для типовых мокрых газгольдеров с вер-

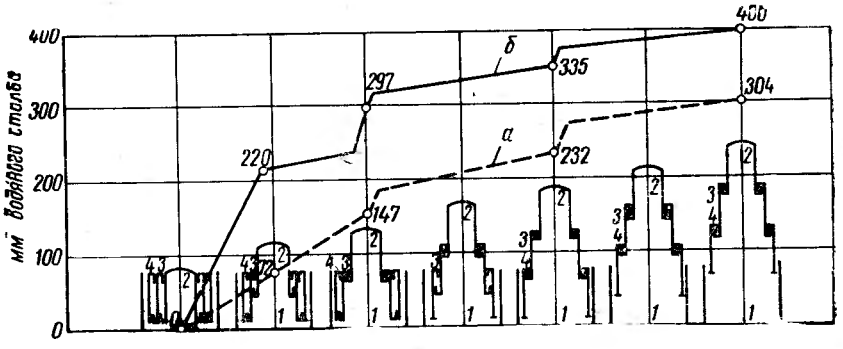


Рис. 48. Изменение давления газа в мокром газгольдере емкостью 20 000 м³ в зависимости от положения подвижных звеньев

а — кривая давления газа в газгольдере без специальной пригрузки; *б* — давление газа в газгольдере со спецнальной пригрузкой; *1* — резервуар; *2* — колокол; *3* — телескоп 1-й; *4* — телескоп 2-й

тикальными направляющими емкостью от 100 до 30 000 $м^3$ (№ 7-07-01 до 7-07-11) и для мокрых газгольдеров с винтовыми направляющими емкостью от 1000 до 30 000 $м^3$ (№ 7-07-30 до 7-07-36) приведена в табл. 10 (рис. 48).

Таблица 10

Минимальное давление газа от собственного веса конструкций и оборудования

Объем газгольдера в $м^3$	Мокрые газгольдеры с вертикальными направляющими			Мокрые газгольдеры с винтовыми направляющими			
	поднялся колокол	поднялись колокол и телескоп	требуемая пригрузка для достижения давления в 400 *мм вод. ст.* в т	поднялся колокол	поднялись колокол и телескоп	поднялись колокол и оба телескопа	требуется пригрузка для достижения давления 400 *мм вод. ст.* в т
	давление в *мм вод. ст.*						
100	205	—	6,7	—	—	—	—
300	212	—	10,7	—	—	—	—
600	204	—	17,6	—	—	—	—
1 000	179	—	32,5	157	—	—	45
3 000	177	—	72,4	132	—	—	116
6 000	178	—	118,7	156	293	—	79,2
10 000	181	280	69,1	166	237	—	119,6
15 000	182	283	83,1	148	205	—	210,8
20 000	157	245	146,8	144	215	266	153,7
30 000	152	230	240,8	137	204	256	216,8

Требуемая специальная пригрузка обычно состоит из верхних бетонных грузов, вес которых составляет $^1/_3$ веса пригрузки, и нижних чугунных грузов, составляющих $^2/_3$ веса пригрузки. Верхние грузы располагаются на крыше колокола, а нижние на выступе горизонтального кольцевого листа (см. рис. 47). Вес (в *т*) чугунных грузов в мокрых газгольдерах с вертикальными и винтовыми направляющими приведен в табл. 11.

Нижние грузы делаются из чугуна потому, что при погружении в воду чугун теряет в воде пропорционально меньше веса, чем если бы грузы были изготовлены из другого материала. Так, например, грузы, сделанные из бетона, при погружении в воду теряют почти половину своего веса (табл. 12).

Следствием уменьшения веса грузов является перепад внутреннего давления газа в зависимости от того, вышли грузы из воды или нет. Так, например, когда чугунные грузы мокрых газгольдеров (однозвенных), в которых пригрузка рассчитана на внутреннее давление газа 400 *мм вод. ст.*, находятся в воде, общее внутреннее давление газа снижается до 363 *мм*, или на 9% (емкость газгольдера 1000 и 3000 $м^3$).

Если сделать нижние грузы из бетона, то при их погружении в воду снижение давления газа достигает 28%.

Таблица 11

Вес чугунных грузов в мокрых газгольдерах с вертикальными и винтовыми направляющими по типовым проектам

Наименование	Емкость газгольдера в $м^3$									
	100	300	600	1000	3000	6000	10 000	15 000	20 000	30 000
Мокрые газгольдеры с вертикальными направляющими (типовые проекты № 7-07-01 до 7-07-11)										
	Однозвенный						Двухзвенный			
Вес стальных конструкций	15,7	26,72	40,49	56,91	121,35	209,25	291,3	369,38	430,41	642,71
Вес чугунных грузов	4,43	6,98	11,76	20,81	47,95	77,04	48,02	58,75	97,86	171,36
% от общего веса стальных конструкций	28	26	29	37	40	37	16	16	23	27
Мокрые газгольдеры с винтовыми направляющими (типовые проекты № 7-07-30 до 7-07-36)										
				Однозвенный		Двухзвенный			Трехзвенный	
Вес стальных конструкций	—	—	—	61,37	117,8	169,24	259,04	322,74	388,57	509,46
Вес чугунных грузов	—	—	—	30,8	77,4	49,8	80,51	141,43	104,1	147,1
% от общего веса стальных конструкций	—	—	—	50	66	29	31	44	27	29

Таблица 12

Потери веса при погружении в воду

Материал грузов	Вес груза в $т/м^3$		% потери веса
	на воздухе	в воде	
Чугун	7,25	6,25	14
Бетон	2,4	1,4	42

Применение чугунных грузов нередко создает известные трудности, так как отливки нужно заказывать на чугунолитейном заводе задолго до начала строительства газгольдера, а заказ является мелким для этого завода и с выполнением заказа обычно не торопятся Естественно, что замена чугуна каким-либо другим материалом является весьма целесообразной. Закладывать в бетонные грузы металлолом нерационально, так как грузы должны иметь стабильный вес, что позволяет регулировать давление газа снятием или добавлением определенного количества грузов.

В типовых мокрых газгольдерах соотношение веса верхних и нижних грузов принимается 1 : 2. Для многозвенных газгольдеров веса верхних и нижних грузов можно сделать одинаковыми, так как по мере заполнения газгольдера газом и поднятия подвижных звеньев (колокола и телескопов) собственный вес конструкций, сдавливающих газ, будет возрастать, а нижние грузы, расположенные в нижней части колокола, почти всегда будут находиться вне воды.

В таком случае нижнюю часть пригрузки можно выполнить в виде бетонных грузов; часть этой нижней пригрузки (до 50%) можно выполнить из монолитного бетона, как постоянную пригрузку, а остальную часть — в виде отдельных съемных бетонных грузов.

Такое решение вполне целесообразно, так как стоимость бетонных грузов почти в 5 раз ниже, чем стоимость чугунных.

Бетонные грузы весом около 70 *кг* изготовляют из вибрированного бетона. Габарит грузов должен допускать транспортирование их через лазы в стенке корпуса. Необходимое количество грузов определяют в зависимости от заданного давления газа.

Стойки колокола газгольдера в типовых проектах мокрых газгольдеров делают трубчатого сечения.

Для уменьшения веса пригрузки внутренняя полость труб заполняется вибрированным бетоном, так как в противном случае труба будет работать как понтон, уменьшая, благодаря своей плавучести, собственный вес конструкций подвижных звеньев и давление газа (см. рис. 48).

Таблица 13

Необходимое количество пригрузок для получения под колоколом заданного внутреннего давления газа (по материалам типового проекта мокрых газгольдеров с вертикальными направляющими)

Емкость газгольдера	Наименование показателей	Площадь в $м^2$		Подъемная сила в $кГ$ при давлении водяного столба 400 $мм$		Собственный вес без пригрузок (с округлениями) в $т$					
						колокола			телескопа		
		колокола $F_1 = \frac{\pi D_к^2}{4}$	телескопа $F_2 = \frac{\pi D_т^2}{4}$	колокола $P_1 = F_1 \cdot 0{,}4$	телескопа $P_2 = F_2 \cdot 0{,}4$	стенок, стоек и кровли	верхних и нижних роликов	бетона в стойках	стенок телескопа и направляющих	верхних и нижних роликов	воды в затворе при поднятом телескопе
600	С бетоном в стойках колокола	$\frac{3{,}14 \cdot 1068^2}{4}$		$\frac{89{,}58 \cdot 0{,}4}{4}$		15,03	1,89	1,37	—	—	—
	Без бетона в стойках колокола	89,58		35,83	—	15,03	1,89	—	—	—	—
20 000	С бетоном в стойках колокола	$\frac{3{,}14 \cdot 33{,}7^2}{4}$	$\frac{3{,}14 \cdot 34{,}79^2}{4}$	$892 \cdot 0{,}4$	$950 \cdot 0{,}4$	115,45	8,78	15,6	78,02	6,91	8,5
	Без бетона в стойках колокола	892	950	356,8	380	115,45	8,78		78,02	6,91	8,5

Продолжение табл. 13

Емкость газгольдера	Наименование показателей	Минимальное давление газов: величина при уравновешенном грузе: полный вес в *т*: поднят колокол без пригрузки	Минимальное давление газов: величина при уравновешенном грузе: полный вес в *т*: подняты колокол без пригрузки и телескоп с водой в затворе	Минимальное давление газов: величина при уравновешенном грузе: давление в *мм вод. ст.*: поднят только колокол	Минимальное давление газов: величина при уравновешенном грузе: давление в *мм вод. ст.*: подняты телескоп и колокол	Максимальное давление газов: пригрузки: $^1/_3$ всей пригрузки (бетонные грузы) в *т* (вес груза 79,5 *кг*): количество	Максимальное давление газов: пригрузки: $^1/_3$ всей пригрузки (бетонные грузы) в *т* (вес груза 79,5 *кг*): общий вес	Максимальное давление газов: пригрузки: $^2/_3$ всей пригрузки (чугунные грузы) в *т* (вес груза 72,6 *кг*): количество	Максимальное давление газов: пригрузки: $^2/_3$ всей пригрузки (чугунные грузы) в *т* (вес груза 72,6 *кг*): общий вес	Полный максимальный уравновешивающий (без специальной пригрузки) вес в *т*: поднят колокол с полной пригрузкой	Полный максимальный уравновешивающий (без специальной пригрузки) вес в *т*: подняты колокол и телескоп с полной пригрузкой	Максимальные величины давления газов в *мм вод. ст.* (с пригрузкой): поднят колокол с пригрузкой	Максимальные величины давления газов в *мм вод. ст.* (с пригрузкой): подняты колокол и телескоп с пригрузкой
600	С бетоном в стойках колокола	18,29		204	—	73	5,8	162	11,76	35,85	—	400	—
	Без бетона в стойках колокола	16,92		189	—	79	6,28	174	12,63	35,85	—	400	—
20 000	С бетоном в стойках колокола	139,83	233,26	157	245	615	48,89	1348	97,88	286,58	380,01	322	400
	Без бетона в стойках колокола	124,23	217,66	139	229	681	54,1	1491	108,25	286,58	380,01	322	400

Расчет пригрузки в мокрых газгольдерах с вертикальными направляющими делается в табличной форме (табл. 13).

Давление газа в мокром газгольдере возрастает ступенями по мере поднятия подвижных звеньев. При погружении в воду конструкции и чугунные грузы теряют часть своего веса, равную объему воды, который вытесняется объемом конструкций.

§ 4. ОБОРУДОВАНИЕ МОКРЫХ ГАЗГОЛЬДЕРОВ

1. Технологическое оборудование

В зависимости от назначения в технологической схеме предприятия газгольдер может быть построен с различным количеством газовых вводов. Если газгольдер работает как буферный, то он имеет газоввод (присоединяется к газовой сети «на тупик»), по которому газ входит в газгольдер, когда его выработка превосходит потребление, и выходит обратно через этот же газовый ввод, когда выработка газа меньше его потребления. Если газгольдер подсоединяется на проход газа, то он имеет два или более газовводов и газ входит в газгольдер через один газовый ввод, а выходит через другой. Газгольдер, работающий как смеситель различных газов, может иметь несколько газовводов.

Диаметр газоввода принимается из условия минимальных потерь давления газа в газовом вводе, которое не должно превышать 30—50 *мм вод. ст.* Для газов, имеющих удельный вес 1 *кг/м*^{3}, такие потери получаются при скоростях прохождения газа в газопроводе 8—11 *м/сек* (рис. 49).

Газопровод вводят в газгольдер через утепленное помещение — камеру газового ввода (кирпичная будка и бетонный приямок).

В камеру газового ввода газопровод опускают с эстакады через крышку будки в приямок к гидравлическому затвору, от которого в горизонтальном положении проводят во внутреннем приямке, и вводят снизу в виде газового стояка сквозь днище в резервуар и затем под колокол. Верхний конец стояка должен быть на 50 *мм* выше верхнего края резервуара.

В камерах газового ввода (рис. 50) сосредоточено все хозяйство, связанное с обслуживанием газгольдера:

а) гидравлический затвор, предназначенный для отключения газгольдера от межцеховых газопроводов (наливом в него воды до определенного уровня) при ремонте газгольдера и для отвода газового конденсата при работе газгольдера;

б) запорная арматура на напорных и сливных трубопроводах воды;

в) узлы управления системой отопления газгольдера;

г) сливной бак для сбора конденсата от увлажненного газа или воды из гидрозатвора при вводе газгольдера в работу;

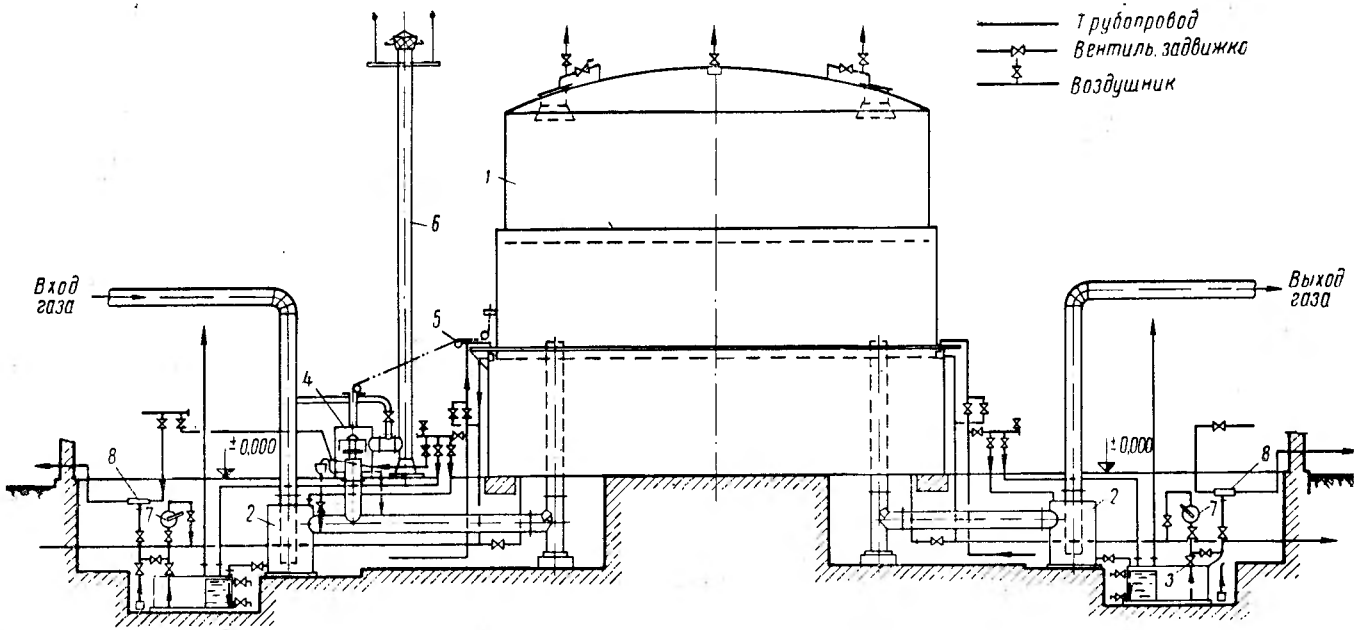


Рис. 49. Технологическое оборудование мокрого газгольдера, работающего на проход газа

1 — газгольдер; *2* — гидравлический затвор; *3* — сливной бак; *4* — клапанная коробка; *5* — подъемно-клапанное устройство; *6* — газосбросная труба; *7* — ручной насос; *8* — элеватор

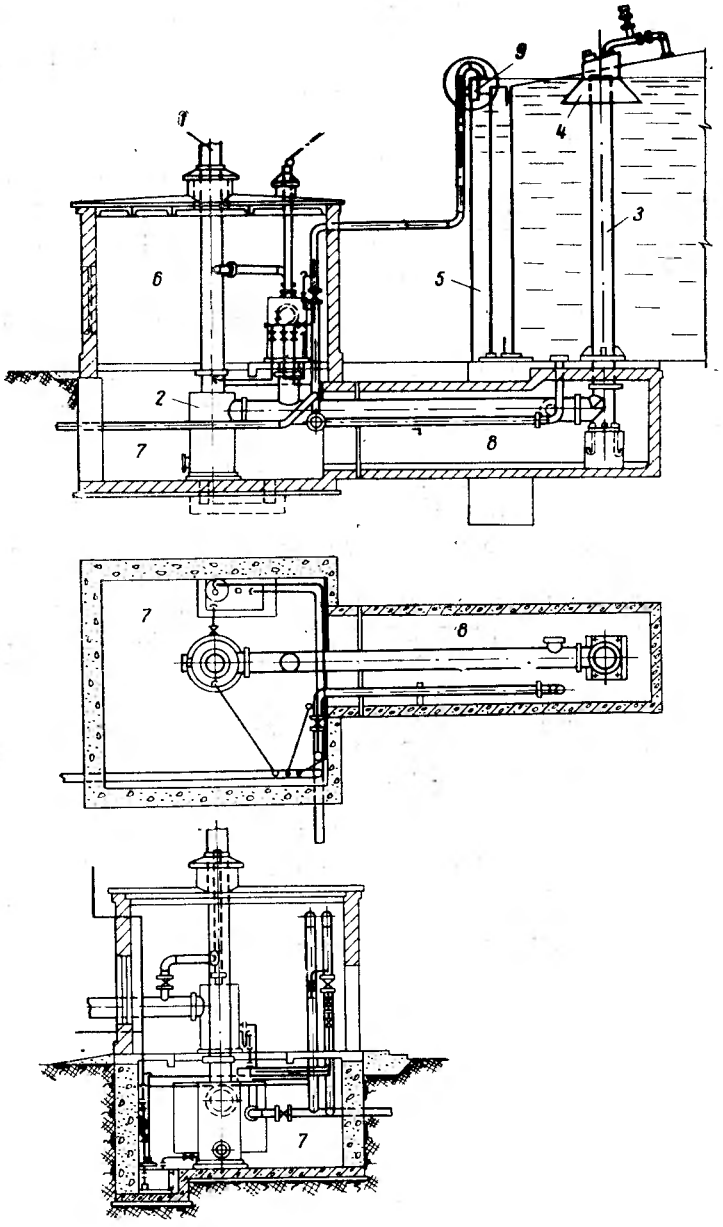


Рис. 50. Будка управления газовводом

1 — ввод газа от магистрали; *2* — гидрозатвор; *3* — газовый стояк; *4* — колпак над газовводом; *5* — резервуар газгольдера; *6* — будка управления вводом газа; *7* — наружный приямок будки управления; *8* — внутренний приямок (туниель); *9* — переливной карман

д) ручной поршневой насос и пароструйный элеватор для от качки воды из внутреннего приямка и сливного бака.

Кроме этого, в камере основного газового ввода газгольдер с газосбросной трубой устанавливаются:

а) клапанная коробка автоматического сброса газа из газ гольдера в атмосферу при переполнении его газом;

б) задвижка с ручным управлением для сброса газа из газ гольдера в атмосферу.

К камерам газовых вводов газгольдера для залива гидравлического затвора и резервуара водой, подводится промышленный водопровод.

Слив воды из резервуара производят через нижнюю выводную трубу, врезанную в днище резервуара вблизи газовводного стояка, а уровень воды в резервуаре регулируют через верхний переливной карман. Трубопроводы для слива воды присоединяют к заводской канализации.

Диаметры подводящей водопроводной трубы и водоотводящей трубы рассчитываются с учетом времени наполнения резервуара водой или его опорожнения.

Перед входом в камеру газового ввода на газопроводе в соответствии с проектом межцеховых коммуникаций, обязательно устанавливается задвижка с ручным или электрическим приводом. В месте установки задвижки размещается также узел установки арматуры на трубопроводе азота, подводимого для продувки газгольдера и газовых вводов.

В газгольдерах предусматривается установка газосбросной трубы, клапанной коробки и подъемного устройства для автоматического сброса избыточного газа в атмосферу при переполнении газгольдера.

Газы, выброс которых в атмосферу запрещен, сжигаются на свечах сжигания газа, установленных у цеха, производящего газ. Сброс газа на свечи обеспечивается автоматическими устройствами.

К предохранительным устройствам относятся:

а) колпак над газовводом и перепускное устройство на нем;

б) газосбросная трубка на центральном люке крыши колокола;

в) гидравлический затвор в камере газового ввода;

г) автоматические приспособления, обеспечивающие замер объема содержащегося в газгольдере газа, а также для сигнализации и своевременного отключения входа газа и переключения на свечи сжигания.

В пустом газгольдере, когда колокол находится в крайнем нижнем положении и стоит на подкладных балках днища, колпак, закрепленный на кровле колокола, закрывает верхний конец газовводного стояка и отключает его от воздушного пространства сферической кровли, так как его край уходит на 500 *мм* ниже уровня воды. Колпак над гозовводом предохраняет конст-

рукцию кровли от вакуума, который может образоваться при принудительной откачке газа из газгольдера сверх минимума или от растворения газа в воде при продолжительном отключении газа от сети. В верхней части колпака расположен люк, через который возможен осмотр не только верхней части газового ввода, но и всего стояка.

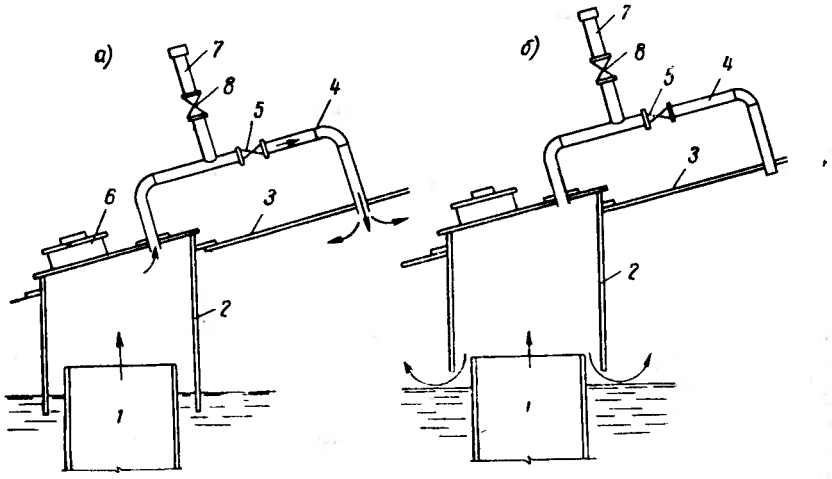


Рис. 51. Перепускное устройство

а — из газоввода газ поступает в пустой газгольдер через перепускную трубу: вентиль *5* открыт; *б* — колпак вышел из воды, газ идет помимо колпака; вентиль *5* закрыт; *1* — газоввод; *2* — колпак; *3* — крышка колокола; *4* — перепускная труба; *5* — вентиль перепускной трубы; *6* — люк колпака; *7* — продувочная свеча; *8* — вентиль продувочной свечи

На верху колпака (рис. 51) устанавливается перепускная труба, соединяющая пространство сферической кровли с помещением под колпаком. На перепускной трубе предусмотрен постоянно закрытый вентиль, который открывают при начале запуска газа для того, чтобы направить газ из газового стояка в сферическое пространство колокола.

Вентиль закрывают, когда колпак вышел своими краями из воды и наполнение газгольдера идет помимо колпака.

На перепускной трубе предусматривают еще одну вертикальную продувочную свечу с вентилем, используемую для продувки газопровода (и газового стояка) при кратковременных неполадках в газопроводе.

На центральном люке крыши колокола установлена труба, имеющая задвижку. Труба предназначена для выпуска газа при продувке газгольдера или для соединения газового пространства с атмосферой при опорожнении газгольдера.

Задвижка должна быть открыта, когда газгольдер отключен от сети. Когда воду из резервуара выпускают, необходимо от-

крывать центральный люк, так как при закрытой задвижке и з
крытом люке в газгольдере возникает вакуум, на который ко
струкция газгольдера не рассчитана. Выпуск воды из резерву
ра с закрытым люком неизбежно приведет к аварии.

Для ремонта и осмотра чугунных грузов, а также транспо
тирования их в колокол или из него в стенках резервуара
подвижных звеньев должны быть предусмотрены лазы, распол
женные на одной высоте и по одной оси. Лазы представляк
собой патрубки, врезанные и вваренные в стенку резервуара
подвижных звеньев. В местах врезки патрубков необходимо у
танавливать усилительные воротники, компенсирующие ослабл
ние стенки вырезанным отверстием для лаза. К патрубкам пр
варивают фланцы, к которым через уплотняющие прокладк
крепят на болтах крышки лазов.

Камеру газового ввода строят из кирпича и рассчитываю
на сохранение температуры в помещении не ниже 5°С.

Приямок камеры ввода (бетонный или бутобетонный) дол
жен быть соединен с внутренним приямком, расположенны
под днищем резервуара. Этот приямок должен иметь достаточ
ное сечение для размещения одного или двух газовводов (ес
ли они делаются спаренными) и для прохода людей, осматри
вающих газовводы. Туннель выполняют из железобетонны
конструкций. Так как туннель и приямок значительно заглубле
ны в землю, необходима тщательная гидроизоляция.

2. Утепление газгольдера и подогрев воды

В зависимости от климатических условий может быть преду
смотрено строительство вокруг резервуара утепляющей кирпич
ной стенки на всю высоту резервуара (до его кольцевой площад
ки). Стенка толщиной 380 *мм* должна отстоять от наружной по
верхности резервуара на 1 *м*, образуя вокруг резервуара высо
кий коридор, используемый для наблюдения за аппаратурой и
трубопроводами.

Утепляющая стенка способствует сохранению тепла в воде
резервуара и сокращает расходы на отопление.

В типовых проектах мокрых газгольдеров утепляющая стен
ка предусматривается только при расчетной зимней температу
ре ниже —20°С; при более высокой расчетной температуре
утепляющую стенку можно не делать.

Кроме того, вопрос об устройстве утепляющей стенки решает
ся в зависимости от стоимости теплоносителя, продолжительно
сти отопительного сезона и данных технико-экономических рас
четов.

Вода в резервуаре и гидрозатворах при любой температуре
окружающего воздуха должна сохранять температуру не ниже
5°С, что требует устройства отопления. В качестве теплоноси
теля для отопления принимают пар ($P_{абс} = 3$ *кГ/см*^{2}).

От внешней сети пар вводится в камеру газового ввода, где размещается узел управления системой отопления. При давлении вводимого пара более 3 *кГ/см²* в камере газового ввода предусматривают редукционное устройство.

Система отопления состоит из подводящей сети и кольцевых (теплоизолированных) паропроводов (для резервуара и для

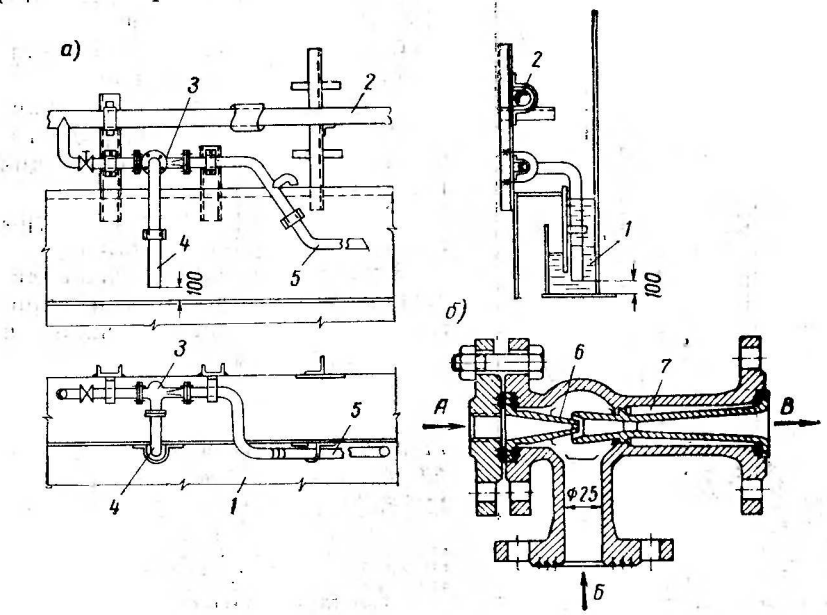


Рис. 52. Отопительный прибор для воды гидрозатвора

а — общий вид пароструйного элеватора; *б* — деталь муфты пароструйного элеватора; *1* — гидрозатвор; *2* — кольцевой паропровод (с теплоизоляцией); *3* — муфта пароструйного элеватора; *4* — труба для забора воды; *5* — выводная труба; *6* — паровое сопло; *7* — выходное сопло; *А* — вход пара; *Б* — вход воды; *В* — выход горячей воды

каждого телескопа), от которых к отводящим трубкам равномерно по периметру телескопов подключены пароструйные элеваторы, нагревающие воду в резервуаре и в гидрозатворах.

В пароструйном элеваторе (рис. 52) холодная вода забирается в нижней части резервуара, смешивается с паром и выталкивается из парового сопла по горизонтальному направлению в отводную трубу, имеющую уклон. Горячая вода из отводной трубы поступает в воду гидрозатворов, нагревая окружающую массу воды.

Кольцевые паропроводы подвижных звеньев гибкими шлангами подключаются к распределительной системе паропроводов, идущих из камеры управления газовым вводом. В винтовых мокрых газгольдерах подключение кольцевых паропроводов к распределительной сети из-за винтового движения звеньев

сложнее, чем у мокрых газгольдеров с вертикальными направляющими (рис. 53).

Мокрые газгольдеры оснащают оборудованием для контроля и автоматики:

а) для измерения и дистанционного непрерывного указания объема газа в газгольдере;

б) для ступенчатой сигнализации положения колокола;

в) для аварийной автоблокировки (отключение электродвигателей аппаратов, забирающих газ из газгольдера);

г) для контроля температуры воды в резервуаре газгольдера.

Для оборудования узлов дистанционной сигнализации применяются сельсины-датчики и сельсины-приемники.

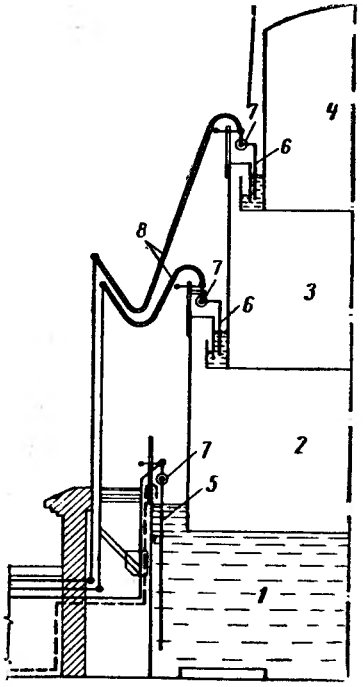


Рис. 53. Вертикальная схема отопительных приборов
1 — резервуар; *2* — второй телескоп; *3* — первый телескоп; *4* — колокол; *5* — стояк и пароструйный элеватор; *6* — пароструйный элеватор; *7* — кольцевой паропровод; *8* — гибкие шланги паропровода

Ступенчатая сигнализация положения колокола осуществляется командоаппаратом с пятью ступенями:

1-я ступень «минимум»	0—10%	полезного объема газгольдера
2-я ступень «предминимум» . .	10—20%	» » »
3-я ступень «нормально» . . .	20—80%	» » »
4-я ступень «предмаксимум» .	80—90%	» » »
5-я ступень «максимум» . . .	90—100%	» » »

§ 5. АНТИКОРРОЗИЙНАЯ ЗАЩИТА МОКРЫХ ГАЗГОЛЬДЕРОВ

В СССР по типовым проектам строят мокрые газгольдеры емкостью от 100 до 30 000 $м^3$, на сооружение каждого из которых расходуется от 14 до 620 *т* металла. Внутренние поверхности рабочей части газгольдеров под влиянием хранящихся в них агрессивных газов корродируют, особенно при увлажнении. Как правило, на корпусе газгольдера образуются сквозные свищи и язвы. Наряду с коррозией внутренних поверхностей газгольдеров наружные их поверхности подвержены атмосферной электрохимической коррозии, действие которой усугубляется наличием в атмосфере влажных агрессивных газов. Основным агрес-

сивным газом является сернистый ангидрид, образующийся при сжигании угля. Сернистый ангидрид, растворяясь в атмосферной влаге, образует на стальной поверхности газгольдера раствор электролита, способствующий электрохимическому процессу разрушения металла.

Практика показала, что большинство остановок газгольдеров на ремонт происходит вследствие коррозийных разрушений металла. Большие расходы, вызываемые этими разрушениями, увеличиваются из-за неизбежных потерь хранимого в газгольдере продукта, простоя оборудования и нарушения производственного процесса.

Антикоррозийная защита может заключаться в создании надежных антикоррозийных покрытий или в увеличении толщины стальных элементов, что удлиняет сроки полного разрушения металла.

Материал, выбранный для покрытия, должен иметь хорошую адгезию с металлом и между своими слоями, а также быть стойким и долговечным в эксплуатационных условиях. Покрытие должно быть достаточно экономичным по затратам труда и средств.

Наиболее распространенным способом антикоррозийной защиты являются лакокрасочные покрытия. Однако это дорогой и трудоемкий вид защиты. Анализ показывает, что стоимость материалов составляет 30%, а стоимость рабочей силы и оборудования — остальные 70%.

Стоимость лакокрасочных покрытий, как это видно из табл. 14, составляет значительную часть общей сметной стоимости строительства газгольдеров и доходит до 29,5%, а по отношению к стоимости стальных конструкций — до 60%.

Существует несколько вариантов покрытий.

Вариант I. Внутренняя поверхность крыши-колокола автоматически покрывается защитной жидкостью (распылением). Внутренние и наружные поверхности резервуара покрыты лаком № 177 в два слоя и краской АЛ-177 в два слоя.

Защитная жидкость может применяться при хранении любых газов, кроме кислорода.

Вариант II. Внутренние поверхности колокола и телескопов покрываются свинцовым суриком на натуральной олифе в два слоя; внутренняя поверхность резервуара — лаком этиноль на свинцовом сурике; наружная поверхность резервуара — перхлорвиниловым лакокрасочным покрытием (грунт—эмаль—лак) — всего восемь слоев.

Вариант III. Внутренние поверхности покрываются свинцовым суриком на натуральной олифе; наружные поверхности — железным суриком на натуральной олифе в два слоя.

Вариант IV. Все внутренние и наружные поверхности газгольдера окрашиваются восемью слоями перхлорвиниловых лакокрасочных покрытий (грунт—эмаль—лак).

Таблица 14

Стоимость антикоррозийной защиты, рекомендованной по типовым проектам мокрых газгольдеров (с вертикальными направляющими проектов 7-07-01—7-07-11 и с винтовыми направляющими проектов 7-07-30—7-07-36. Усредненные данные)

Емкость газгольдеров в $м^3$	Полная сметная стоимость строительства газгольдера без антикоррозийной защиты	Сметная стоимость стальных конструкций от полной сметной стоимости	Сметная стоимость антикоррозийной защиты в %							
			I вариант		II вариант		III вариант		IV вариант	
			к полной сметной стоимости	к стоимости стальных конструкций	к полной сметной стоимости	к стоимости стальных конструкций	к полной сметной стоимости	к стоимости стальных конструкций	к полной сметной стоимости	к стоимости стальных конструкций
От 1000 до 30 000	Принята за 100%	Около 50%	5,5	11	13,3	26,6	7,8	15,6	29,5	60

Примечание. В стоимость стальных конструкций входит стоимость стали, изготовление и монтаж стальных конструкций.

Наиболее эффективен и экономичен вариант I, в котором применена защитная жидкость. Эффективность этого рода защиты подтверждена многолетними наблюдениями за состоянием мокрых газгольдеров. Вариант IV является наиболее дорогим и не оправдавшим себя, хотя прежде был наиболее употребительным.

Срок службы лакокрасочных покрытий нередко снижается вследствие низкого качества лаков, красок и растворителей (зачастую допускаются большие отклонения от ГОСТа), некачественной очистки металлической поверхности перед грунтовкой, а также в результате нарушения требований технологии при окраске.

Опыт эксплуатации мокрых газгольдеров (по данным Гипронефтемаша), где в качестве антикоррозийного покрытия применены лакокрасочные покрытия, показал, что с 1938 по 1955 г. (за 17 лет) газгольдеры ежегодно ремонтировались, причем за этот период было заменено стальных листов в колоколе — около 70%, в верхнем телескопе — около 33%, в нижнем — около 70%.

Кроме того, лакокрасочные покрытия восстанавливались как на отдельных участках, так и по всей поверхности газгольдеров.

На предприятиях нефтяной и газовой промышленности отказываются от лакокрасочных покрытий и в качестве антикоррозийной защиты применяют защитную жидкость.

Защитная жидкость представляет собой раствор полиизобутилена в индустриальном масле, компаундированном битумными материалами. По внешнему виду — это блестящая темная, черная или бесцветная (в зависимости от пигментов) жидкость с характерным запахом минерального масла. Защитная жидкость безвредна, обладает высокой адгезией с металлом, небольшой упругостью паров, не смешивается с водой и морозостойка.

В СССР применяют защитную жидкость восьми марок, из которых наиболее распространенной является жидкость с удельным весом 0,95. Испаряемость ее при температуре 50°С не превышает 0,2—0,3%, температура застывания — не выше —25°С, вязкость при 50° — не менее 8,1° Энглера. Обладая меньшим, чем вода, удельным весом, защитная жидкость плавает на поверхности воды резервуара — бассейна, препятствуя проникновению в воду воздуха (и, следовательно, кислорода), а также испарению воды, что снижает увлажнение хранящихся в газгольдерах газов.

Защитную жидкость можно употреблять как для вновь построенных газгольдеров, так и для находящихся в эксплуатации и имеющих другие покрытия. Для защиты 1 $м^2$ поверхности металл расходуется 0,7 *кг* защитной жидкости; 1 *т* жидкости стоит 135 р. 30 к. Перед заливкой защитной жидкости поверхность газгольдеров очищают от ржавчины, окалины и осыпающейся старой краски. Жидкость наливают в резервуар поверх воды. По мере наполнения резервуара водой слой защитной жидкости то-

же поднимается и при этом смачивает поверхности стенок резервуара, телескопов и колокола, покрывая их тонкой пленкой.

Сначала звенья газгольдера 2—3 раза поднимают и опускают. На воздухе защитная жидкость на поверхности стенок подсыхает, образуя плотную эластичную пленку. Во время эксплуатации газгольдера для восстановления защитного слоя пленки звенья необходимо поднимать и опускать не реже 6—10 раз в год. Обратная сторона кровли покрывается защитной жидкостью разбрызгиванием под давлением (до 5 *атм*) различными поворотными и катучими приспособлениями (рис. 54).

В верхних гидрозатворах, когда в резервуар наливают воду, образуется воздушный пузырь, и потому защитная жидкость не достигает поверхности стальных листов. Воздух из этих

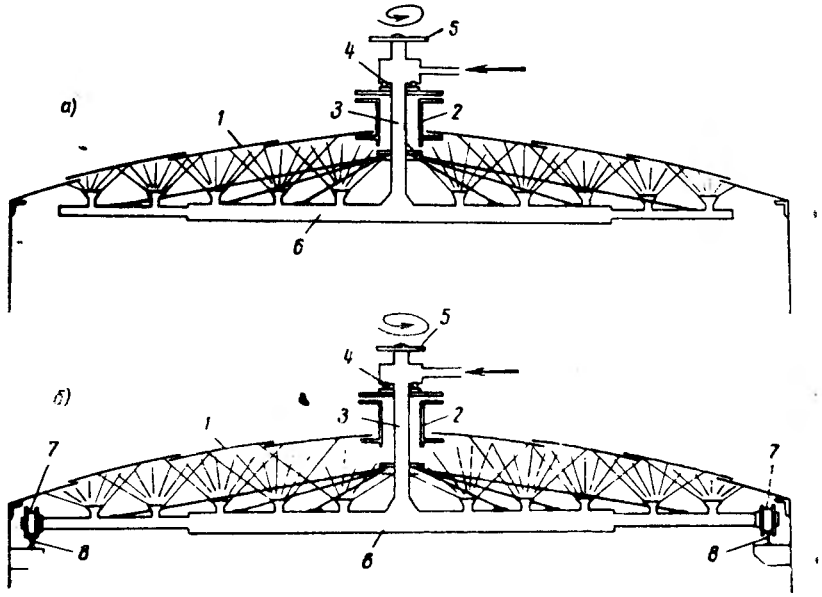


Рис. 54. Приспособление для разбрызгивания защитной жидкости на обратную сторону кровли

а — поворотная двухконсольная труба; *б* — поворотная труба, катящаяся по кольцевому пути; *1* — кровля; *2* — центральный люк кровли; *3* — центральная труба и подшипник; *5* — рычаг для поворота трубы разбрызгивания; *6* — труба с форсунками для разбрызгивания; *7* — катки с ребордами; *8* — кольцевая балка (подкрановый путь)

замкнутых зон можно выпустить, если предусмотреть спускные клапаны (рис. 55) и открывать их, когда газгольдер пуст и верхние гидрозатворы погружены в воду. При выпуске из этих замкнутых зон газа, задержавшегося в верхнем затворе, необходимо принимать все меры предосторожности.

Результаты исследования эффективности защитной жидкости, проведенные институтом Гипронефтемаш на четырех группах об-

разцов из стальных пластин, подвешенных в разных местах в действующем газгольдере, приведены в табл. 15.

Образцы, обработанные защитной жидкостью, имели 10-кратную стойкость по сравнению с необработанными пластинами, находившимися в одинаковых условиях.

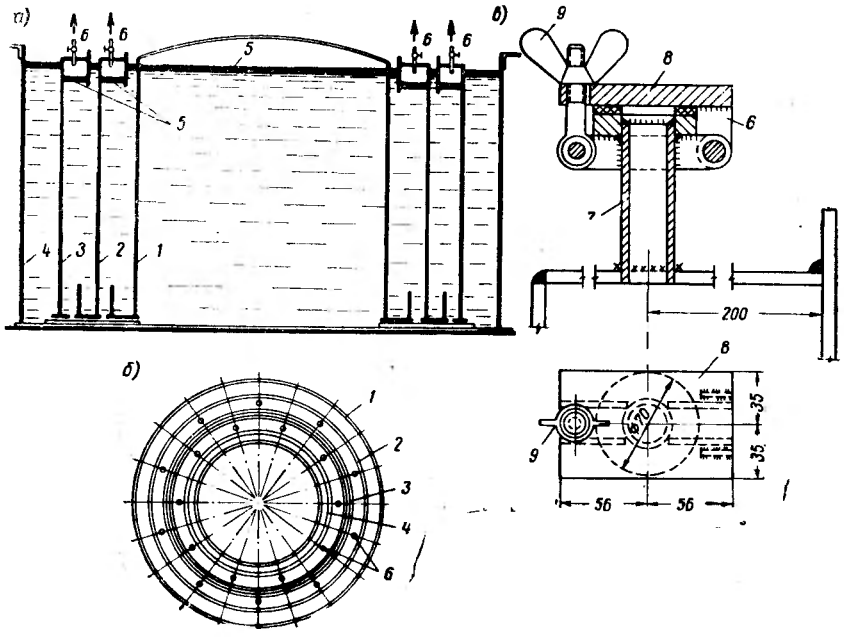


Рис. 55. Спусковые клапаны для выпуска воздуха из верхних гидрозатворов

а — поперечный вид газгольдера; *б* — план расположения спусковых клапанов; *в* — деталь спускового клапана; *1* — колокол; *2* — первый телескоп; *3* — второй телескоп; *4* — резервуар; *5* — защитная жидкость; *6* — спусковой клапан; *7* — штуцер; *8* — крышка; *9* — прижимной барашек

Наблюдения, проводившиеся на ряде нефтехимических заводов с 1954 по 1961 г., за состоянием мокрых газгольдеров, обработанных защитной жидкостью, дали достаточно удовлетворительные результаты.

При обследовании поверхности этих газгольдеров, эксплуатируемых с 1952 г., не было обнаружено видимых следов коррозии ни в колоколе, ни в телескопах, ни в резервуаре. Только в кровле, в верхних поясах колокола и на внешней поверхности резервуара, т. е. в местах, не обработанных защитной жидкостью, появилась точечная коррозия.

Опыт эксплуатации большого числа мокрых газгольдеров показал, что защитная жидкость стойка, антикоррозийна, проста в применении и более экономична, чем все известные антикоррозийные покрытия.

Таблица 15

Результаты исследования эффективности защитной жидкости

Среда, в которую были помещены образцы, и замечания по их обработке	Средняя скорость коррозии за 8614 *ч* в *г/м²·ч*	Средняя скорость коррозии
В водной среде резервуара с притоком речной воды (защитной жидкостью не смачивалась)	0,2580	0,222 (1 *мм* в 4,5 года)
В водной среде гидрозатвора с речной водой (защитной жидкостью не смачивалась)	0,1129	0,0982 (1 *мм* в 10,2 года)
В газовой среде внутри газгольдера (защитной жидкостью не смачивалась) . . .	0,0078	0,068 (1 *мм* в 15 лет)
В газовой среде внутри газгольдера с периодической обработкой защитной жидкостью (как и поверхность колокола газгольдера)	0,0007	0,00606 (1 *мм* в 165 лет)

Надо отметить необходимость централизованного наблюдения за эксплуатацией мокрых газгольдеров, за их антикоррозийной защитой, а также необходимость сравнения стойкости лакокрасочных и других покрытий в действующих газгольдерах. В Англии, например, существует Национальный комитет по газгольдерам, который дает рекомендации по эксплуатации их и защитным покрытиям.

Подготовка поверхности металла для покрытия лакокрасками является одной из наиболее ответственных операций, обеспечивающих долговечность антикоррозийной защиты.

Если поверхность рулонной заготовки не загрунтована на заводе, то очистка ведется в условиях строительной площадки пескоструйными аппаратами (стальным песком) или гидропескоструйными аппаратами (смесь кварцевого песка с водой) при давлении 5—7 *ати*. С поверхности металла необходимо снять ржавчину, окалину, грязь, жировые отложения и т. д. Следует иметь в виду крайнюю трудоемкость этой операции, так как работа происходит в узкой щели (между стенками звеньев) шириной 550 *мм* и высотой 7—10 *м*. Рабочие работают в скафандрах.

Способ очистки поверхности мокрых газгольдеров ингибированной пастой (смесь соляной кислоты, бумажной массы, формалина и воды, с последующей добавкой жидкого стекла и целлюлозы) нерационален из-за трудоемкости и высокой стоимости.

Картина меняется при грунтовке рулонных заготовок в заводских условиях. Перед укладкой на рулонный стенд стальные ли-

сты должны быть очищены. В заводских условиях удобна и гораздо менее трудоемка очистка одним из налаженных способов: пескоструйным аппаратом (со стальным песком), электромолотковыми устройствами (встроенными на листоправильных станках), дробеметными установками, химическими средствами, протравливанием и нанесением фосфатирующих слоев.

После очистки поверхности стальных листов накладывают грунтовочные слои.

Отечественная промышленность выпускает универсальные грунты, например грунт № 138 по ГОСТ 4056—48 или глифталевые грунты ФЛ-03-к или ФЛ-03-кк (ГОСТ 9109—59). Заводская грунтовка рулонной заготовки производится с двух сторон; незакрашенными оставляют полосы шириной 40 *мм* около сварных швов для последующего контроля их на монтаже.

Улучшению качества покрытий содействует промышленное производство эпоксидного лака, эпоксидных смол, кремнийорганических и других полимеров, на основе которых можно получить прочные антикоррозийные покрытия. Изучаются также ингибиторы—вещества, замедляющие или предотвращающие возникновение химической реакции окисления и коррозии.

Следует изыскать пути уменьшения трудоемкости нанесения лакокрасочных покрытий. В Америке практикуется флотационный (способ плавающего слоя) способ нанесения краски, при котором на поверхность воды в бассейне наливается слой краски с меньшим удельным весом, чем удельный вес воды. По мере повышения уровня воды поднимается и краска, смачивая поверхность стенок газгольдеров. Этот способ аналогичен смазке защитной жидкостью, но при смачивании жидкостью металл покрывается пленкой, которую надо восстанавливать, в то время как при флотационном способе на поверхность металла наносится надежное и долговечное покрытие из красок или эмалей. Флотационный способ существенно снижает трудоемкость окраски газгольдеров и других крупногабаритных емкостей

Заслуживает внимания протекторный способ антикоррозийной защиты металла, который основан на торможении электролитических процессов коррозии, происходящих на поверхности металлических конструкций мокрых газгольдеров.

В отечественной промышленности (завод «Запорожсталь») освоен новый способ производства стальных листов — металлопластов из малоуглеродистой стали с нанесением во время проката (с одной или двух сторон листа) слоя пластмассы.

Для покрытия стального листа применяют пленку полиэтилена, поливинилхлорида, полиамида и др. Листы металлопласта можно вальцовать, штамповать, гнуть, сверлить и строгать. Они значительно дешевле и долговечнее листов нержавеющей стали. Способ соединения листов металлопласта сваркой еще недостаточно разработан, так как при сварке пластмасса в околошовной зоне повреждается и ее нужно восстанавливать дополнительной

окраской. Но даже при существующем способе сварки листы металлопласта, соединяя в себе прочность стали и высокую химическую стойкость пластмассы, являются перспективным материалом для газгольдеров, предназначенных для хранения агрессивных газов. Обычно антикоррозийная защита мокрого газгольдера производится в следующем порядке: на заводе-изготовителе стальных конструкций рулонные заготовки грунтуются с двух сторон, причем полосы вдоль сварных швов оставляют незакрашенными. После монтажа газгольдера производится первый этап испытания плотности всех сварных швов и соединений: в резервуаре — промазкой швов керосином (противоположная сторона обмазывается мелом), в колоколе и телескопе — наливом в резервуар воды и нагнетанием воздуха с промазкой сварных швов мыльной эмульсией (с наружной стороны подвижных звеньев во время выхода их из воды). В этот период выправляются дефекты сварных швов, соединений и отдельные дефекты стальных листов, после чего наносятся антикоррозийные покрытия.

Когда покрытия и слои краски затвердевают, начинают генеральные испытания мокрого газгольдера наливая в него воду и нагнетая воздух.

§ 6. МОКРЫЕ ГАЗГОЛЬДЕРЫ С ДАВЛЕНИЕМ ГАЗА МЕНЕЕ 100 *мм вод. ст.*

Газгольдеры низкого давления, к которым относятся широко распространенные мокрые газгольдеры, используют для хранения промышленных газов.

Для ряда специальных производств необходимо обеспечить весьма низкое давление газа под колоколом (от 0 до 50 *мм вод. ст.*). В таком случае предельно облегчают вес колокола, выполняя его из легких материалов, или создают внешнюю силу, уравновешивающую собственный вес колокола.

В инженерной практике известно решение мокрого газгольдера с контргрузами. Суммарный вес контргруза и является разгружающей внешней силой (рис. 56).

Система с контргрузами применяется только для однозвенных мокрых газгольдеров с вертикальными направляющими. Колокол такого газгольдера поднимается вертикально вверх, удерживаясь в горизонтальном положении системой роликов, катящихся по вертикальным направляющим, на которых вверху закрепляются блоки. Через эти блоки перекидывают канаты с навешенными на них контргрузами.

Система с контргрузами не применима для мокрых газгольдеров с винтовыми направляющими, колокол которых при наполнении газом не только поднимается вверх, но и поворачивается вокруг вертикальной оси, как бы вывинчиваясь из резервуара.

При наличии двух типов мокрых газгольдеров (с вертикаль-

ными и с винтовыми направляющими) необходимо разработать унифицированное решение, при котором возможно создать внешнюю разгружающую силу в мокром газгольдере сверх низкого давления.

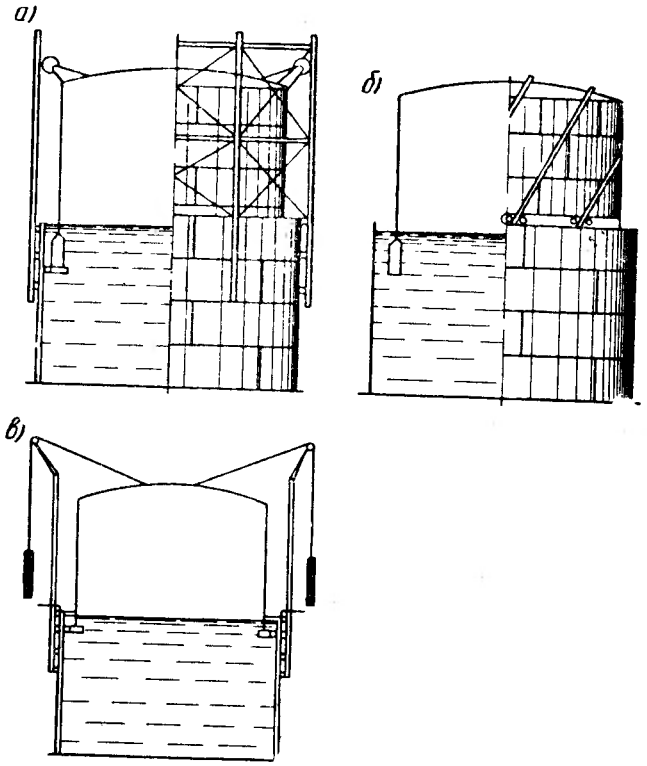


Рис. 56. Мокрые газгольдеры сверхнизкого давления с колоколом на понтоне

а — с вертикальными направляющими; *б* — с винтовыми направляющими; *в* — мокрый газгольдер сверхнизкого давления с системой контргрузов

К системам, в которых собственный вес колокола уравновешен, можно отнести системы мокрых газгольдеров с колоколом на воздушном понтоне[1]. Система с контргрузами не обеспечивает абсолютной надежности эксплуатации из-за возможного застревания стальных канатов в блоках или обрыва канатов; система с воздушным понтоном не имеет этого недостатка. Колокол

[1] Предложение В. А. Корчагина и В. Я. Миллера. Авторское свидетельство № 127376 за 1960 г.

плавает на этом воздушном понтоне, выталкивающая сила которого почти равна весу колокола.

Система мокрого газгольдера с плавающим на понтоне колоколом является универсальной, пригодной как для мокрых газгольдеров с вертикальными направляющими, так и для мокрых газгольдеров с винтовыми направляющими (рис. 57).

Кроме того, система с понтоном является экономичной. Система с контргрузами требует применения механических деталей: роликов, блоков, чугунных отливок контргрузов и др., а также наладки оборудования и смазки во время эксплуатации. Мокрый газгольдер с понтоном требует некоторой дополнительной затраты листовой стали для устройства понтона.

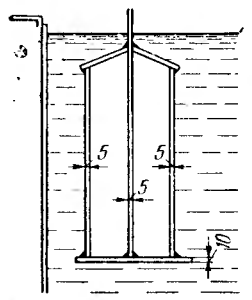


Рис. 57. Поперечный разрез воздушного понтона

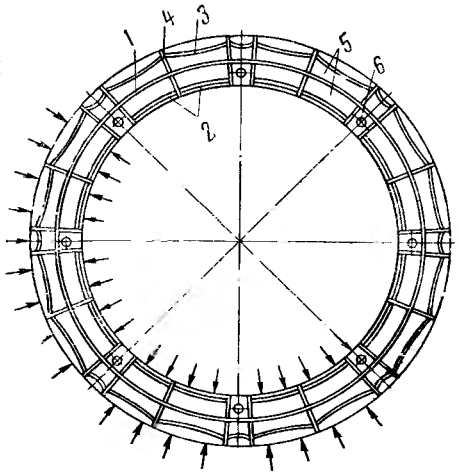


Рис. 58. Воздушный понтон в плане

1 — стенка колокола; *2* — внутренняя оболочка понтона; *3* — наружная оболочка понтона (арочкн); *4* — диафрагма; *5* — воздушная полость понтоиа; *6* — стойки колокола (стрелками показаио иаправление гидростатического давления воды)

Колокол плавает на понтоне и находится почти во взвешенном состоянии, причем давление под колоколом отсутствует. Когда газгольдер заполняется газом, колокол поднимается. По мере освобождения из воды участков стенок и конструкций колокол теряет некоторую часть плавучести. В результате давление под колоколом поднимается, доходя при полном поднятии колокола (при заполнении колокола газом) до 50 *мм вод. ст.*

Понтон представляет собой кольцевую конструкцию. В поперечнике он имеет прямоугольное или трубчатое сечение. В полостях понтона (отсеках) находится воздух, который создает подъемную силу (рис. 58). Объем воздуха в отсеках определяется расчетом, в зависимости от параметров газгольдера, собственного веса колокола и понтона и заданного давления.

Понтон изготовляется из стальных листов толщиной 5 *мм*, соединенных электросваркой (понтон прямоугольного сечения), из стандартных труб или из вальцованных труб.

Оболочку понтона рассчитывают на гидростатическое давление воды. Понтон прямоугольного сечения имеет внутреннюю цилиндрическую оболочку, работающую, как обычная стенка цилиндрического сосуда, на растяжение. Наружная оболочка обычной, цилиндрической формы работает на сжатие; по расчету наружная оболочка должна быть толще, чем внутренняя, или иметь ребра, делающие ее более устойчивой на сжатие. Наружной оболочке можно придать другую конструктивную форму, при которой она работает, так же как и внутренняя, на растяжение. Для этого наружная оболочка может быть разбита на участки между диафрагмами понтона и представлять собой вогнутые арочки, работающие при гидростатическом давлении воды на растяжение. Опорами для этих арочек служат диафрагмы, образующие отсеки понтона. При больших емкостях мокрых газгольдеров сверхминимального давления конструкция внешней оболочки в виде арочек позволяет получить значительную экономию стали.

Конструкции прямоугольного понтона собирают и сваривают на заводе в виде нескольких взаимозаменяемых монтажных марок. На монтажной площадке заваривают монтажные стыки. Плотность сварных швов в отсеках понтона проверяют дважды: один раз на заводе при изготовлении конструкций, второй раз на монтаже, после окончательной сварки и сборки. Проверку качества швов производят нагнетанием в отсеки понтона аммиака. Тщательное испытание плотности швов и качественная окраска делают маловероятной возможность затопления понтона, но даже затопление одного отсека незначительно повышает давление газа под колоколом.

Пример расчета мокрого газгольдера емкостью 300 $м^3$ с минимальным давлением газа с заданным максимальным давлением в 56 *мм вод. ст.* с воздушным понтоном прямоугольного сечения:

Собственный вес понтона (стенки, крышка, нижний горизонтальный лист, диафрагмы)	5,75 *т*
Объем понтона:	
наружные отсеки	7,7 $м^3$
внутренние »	5,85 »
	13,55 »

это соответствует весу вытесненной воды 13,55 *т*.

Выталкивающая сила понтона равна $P = 13{,}55 - 5{,}75 = 7{,}8$ *т*.

При пустом газгольдере колокол, опущенный в воду, весит 10,39 *т* (табл. 16).

Таблица 16

Собственный вес колокола

Наименование элементов	Вес в *т*		Примечание
	в воздухе	в воде	
Люк крыши	0,08	0,8	Не погружается
Вертикальная стенка (верхний лист)	0,65	0,65	То же
Обшивка стенки из листов, $\delta = 3$ *мм*	2,83	2,47	Погружается
Уторный уголок	0,18	0,18	Не погружается
Кровля:			
несущий каркас и обшивка . .	3,7	3,7	То же
стойки колокола	1,67	1,45	Погружаются
ролики нижние	0,38	0,33	»
« верхние	1,53	1,53	Не погружаются
	11,02	10,39	

Выталкивающая сила равна 7,8 *т*. Площадь колокола составляет 570 000 *см*^{2}. Следовательно, минимальное давление газа в колоколе

$$P = \frac{10\,390\,000 - 7\,800\,000}{570\,000} = 4{,}55\ г/см^2 = 45{,}5\ мм\ вод.\ ст.$$

Когда колокол заполнен газом и поднялся в крайнее верхнее положение,

$$P = \frac{11\,020\,000 - 7\,800\,000}{570\,000} = 5{,}65\ г/см^2 = 56{,}5\ мм\ вод.\ ст.$$

(понтон из воды не появляется).

Мокрые газгольдеры с понтоном, обеспечивающие сверхминимальное давление газа, находят применение в лабораториях, на коммунальных станциях очистки, на специальных производствах, химзаводах, в учебных заведениях и т. д.

§ 7. ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ МОКРЫХ ГАЗГОЛЬДЕРОВ

Широкое внедрение мокрых газгольдеров в химическую и газовую промышленность в нашей стране и за рубежом объясняется их конструктивной простотой и надежностью при эксплуатации.

Со временем конструкции стальных мокрых газгольдеров совершенствовались. Благодаря внедрению электросварки, особенно качественной, при которой прочность сварного шва равна прочности основного металла, и применению высокопрочных сталей расход металла на изготовление мокрых газгольдеров был доведен до минимума. Дальнейшая борьба за экономию стали

может идти по пути прямой замены стали железобетоном или пластмассами.

Замену стальных конструкций железобетонными целесообразно начинать со стационарной части мокрого газгольдера — резервуара (бассейна) для воды, а колокол и все подвижные звенья должны оставаться стальными.

Эта замена выгодна по следующим причинам:

а) железобетонный резервуар долговечнее стального, требует меньших эксплуатационных затрат и меньшего времени на профилактические осмотры и ремонты;

б) применение предварительно напряженного железобетонного резервуара уменьшает затраты стали;

в) железобетонный резервуар можно заглублять в землю (при отсутствии подпора грунтовых вод) и обваловывать железобетонные стенки грунтом, что исключает устройство утепляющих стенок и снижает расходы на подогрев воды в резервуаре зимой.

Строительная практика прошлых лет знает примеры сооружения железобетонных резервуаров из монолитного или даже сборного железобетона. Эти железобетонные конструкции имели большой процент армирования стенок и днища, что, однако, не предотвращает возникновения трещин (особенно в месте сопряжения днища со стенками). Водонепроницаемость резервуаров обеспечивалась многослойной оклеечной гидроизоляцией или стальными рубашками.

Железобетонный резервуар с арматурой из обычной стали оказался невыгодным, так как и сметная стоимость строительства и расход стали были равными или даже бóльшими, чем для стального резервуара.

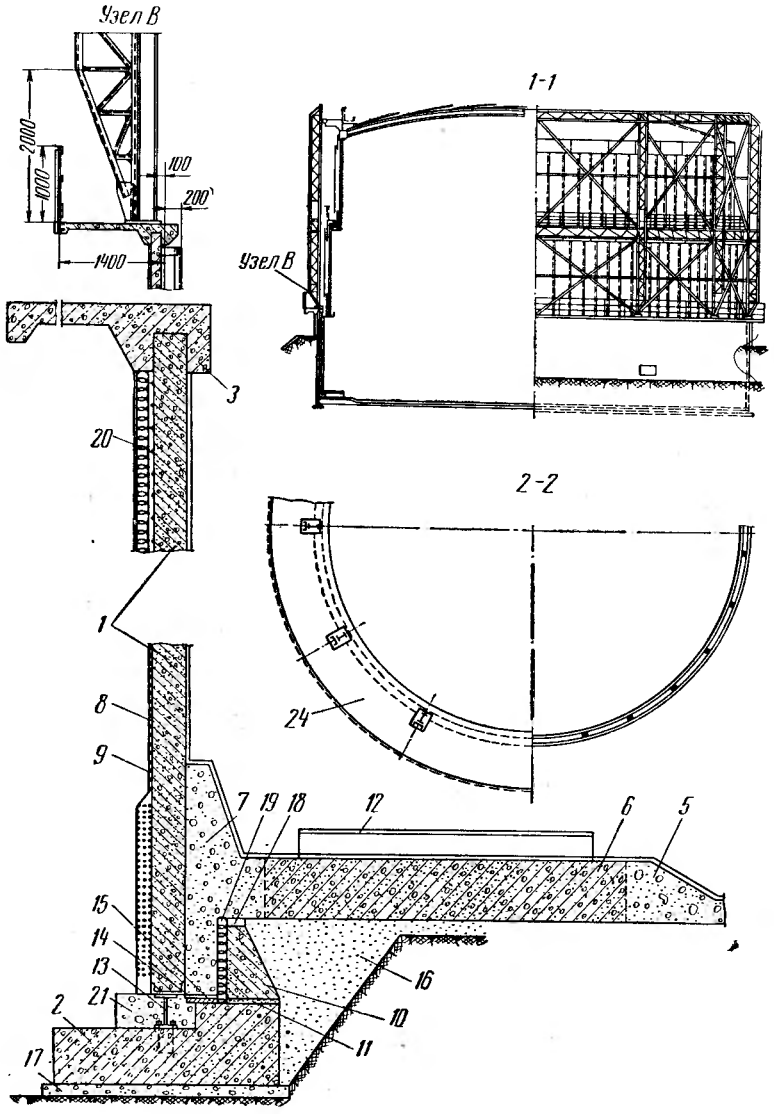
Идея создания рациональной конструкции предварительно напряженного железобетонного цилиндрического резервуара появилась давно. Прообразом такого резервуара была простая деревянная бочка, в которой благодаря натяжению обручей создается герметическое уплотнение между отдельными клепками и особенно между досками плоского днища.

Сооружение предварительно напряженного железобетонного резервуара затруднялось отсутствием:

а) дешевого высокопрочного материала для армирования стен, так как сталь марки Ст.3 не могла дать экономического эффекта;

б) навивочных машин, предназначенных для создания предварительного напряжения кольцевой арматуры.

Первые попытки возвести предварительно напряженные железобетонные резервуары относятся к 20-м годам нашего столетия. Стержневая арматура натягивалась стяжными муфтами, однако потери на трение стержней, усадка и ползучесть бетона приводили к потерям значительной части предварительного натяжения.



Использовать достаточно прочную семафорную проволоку и другие виды проволоки повышенной прочности в качестве кольцевой предварительно напряженной арматуры не удавалось из-за отсутствия машин для навивки арматуры и из-за дефицитности такой проволоки.

Широкое применение предварительно напряженных железобетонных резервуаров относится к 40-м годам, когда в Швейца-

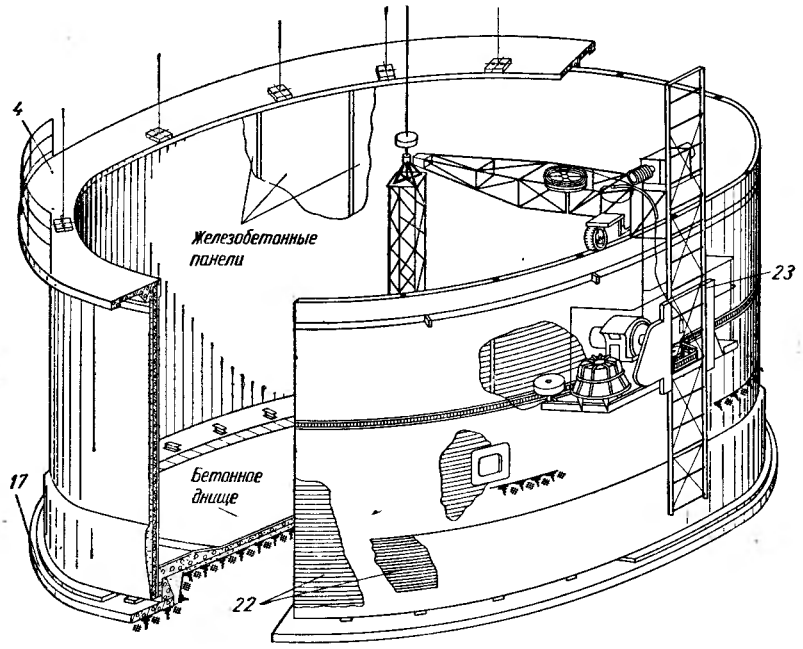


Рис. 59. Детали предварительно напряженного железобетонного резервуара мокрого газгольдера

1 — стенки из сборных панелей; *2* — железобетонная фундаментная кольцевая плита; *3* — железобетоиный оголовок; *4* — кольцевая площадка; *5* — монолнтное бетонное днище; *6* — кольцевой армнрованный участок днища; *7* — бетонный прилнв; *8* — кольцевая напряженная арматура из высокопрочной проволокн; *9* — торкрет-бетои слоем 20 *мм*; *10* — бетонные блоки: *11* — цементный раствор; *12* — подкладки под колокол и телескоп; *13* — сварные упруго-податлнвые подставки; *14* — асфальт толщнной 15 *мм*; *15* — доски толщиной 15 *мм*; *16* — трамбованный песок; *17* — подготовка из бетона; *18* — асфальт толщиной 30 *мм*; *19* — войлок, обернутый двумя слоями пергамина; *20* — утепление — шлаковата; *21* — подливка из бетоиа, осуществляемая после навивки арматуры; *22* — кольцевая арматура из высокопрочной проволокн; *23* — арматурио-навивочная машина АНМ-5; *24* — железобетонная площадка

рии удалось создать машину для навивки высокопрочной проволоки (фирма ББВР).

В СССР работа по созданию предварительно напряженных резервуаров и машин для навивки арматуры была свернута во время войны и только в послевоенный период были достигнуты положительные результаты.

Однако возможна конструкция резервуаров, в которых предварительное натяжение осуществляется без навивочных машин. Примером может служить резервуар для хранения нефтепродуктов конструкции Гипроспецпромстроя, имеющий форму усеченного конуса.

Натяжение арматуры, предварительно намотанной на резервуар, осуществлялось ручным осаживанием проволоки вниз на уширяющуюся часть резервуара.

Существуют и другие способы обжатия резервуаров, заслуживающие упоминания. По способу Фрейсине предварительное натяжение стержней небольшой длины, располагаемых в шахматном порядке, осуществляется домкратами; стержни заанкериваются в часто расположенных пилястрах. По способу Маутнера (Англия) навитая арматура натягивается домкратами, располагаемыми между сборными железобетонными панелями. После замоноличивания зазоров между панелями домкраты снимают и гнезда для домкратов заделывают.

Оригинальный способ натяжения арматуры был применен в Дублине (Ирландия): кольца навитой арматуры стягивались между собой ручными инструментами и связывались проволокой. На поверхности резервуаров или силосов получались зигзагообразные ряды натянутой проволоки, скрепленной между собой в вертикальном направлении.

Натянутую кольцевую арматуру защищают слоем торкретбетона толщиной не менее 20 *мм*.

В Советском Союзе массовое производство высокопрочной углеродистой холоднотянутой проволоки с временным сопротивлением 17 000—19 000 *кГ/см*^{2} позволило вплотную подойти к созданию рациональной конструкции железобетонного предварительно напряженного цилиндрического резервуара.

В последние годы появились новые конструкции железобетонных цилиндрических резервуаров, в которых удачно решается узел примыкания днища к стенкам, что повышает водонепроницаемость резервуара.

В резервуарах, проектируемых в СССР, обычно применяют кольцевую арматуру из высокопрочной углеродистой холоднотянутой проволоки ∅ 5 *мм* (по ГОСТ 7348—55) с временным сопротивлением 17 000 *кГ/см*^{2}, подвергаемой во время навивки предварительному натяжению, благодаря чему удается использовать до 55—65% ее несущей способности.

Из отечественных наиболее удачными следует признать резервуары, разработанные ЭКБ ВНИИСТ Главгаза СССР (рис. 59). В этой конструкции хорошо решено сопряжение панелей стенки между собой и сборных стенок с монолитным днищем.

Проведенные на экспериментальной базе близ ст. Хлебниково испытания железобетонных предварительно напряженных резервуаров подтвердили рациональность принятой конструкции, простоту сборки железобетонных панелей стен и эксплуатационную надежность резервуара. На этой же экспериментальной базе успешно испытаны арматурно-навивочные машины АНМ-2 и АНМ-5 (конструкции ЭКБ ВНИИСТ) для навивки предварительно напряженной высокопрочной арматуры на цилиндрические резервуары диаметром от 8 до 40—45 *мм*.

Институт Проектстальконструкция, исследуя существующие типы железобетонных резервуаров, пригодных для использования в качестве резервуаров мокрых газгольдеров, остановился

на резервуарах ЭКБ ВНИИСТ, как обеспечивающих водонепроницаемость, простоту сборки стенок и относительную легкость выполнения работ по устройству днища при наименьшем расходе арматуры и бетона (рис. 60).

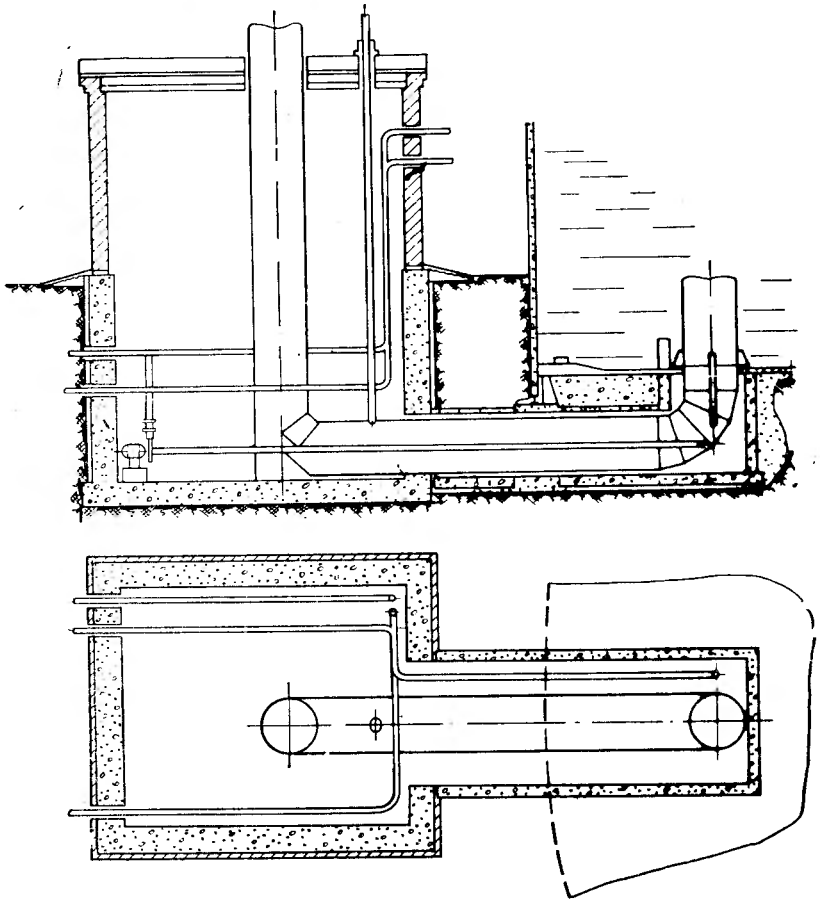


Рис. 60. Газоввод в предварительно напряженный железобетонный резервуар

Эффективность замены стального резервуара железобетонным видна из данных табл. 17.

Стенки железобетонных резервуаров можно выполнять из монолитного или сборного железобетона. Монолитный железобетон позволяет получить дополнительную экономию стали, но его применение повышает трудоемкость работ. Поэтому выполнять стенки резервуара рациональнее из сборных железобетонных панелей.

Таблица 17

Экономия стали в мокрых газгольдерах с винтовыми направляющими емкостью 1000—30 000 $м^3$ (по данным технического проекта института Проектсталькоиструкция)

Емкость в $м^3$	Затраты стали в $т$		Экономия в %
	газгольдеры со стальными резервуарами, вес стальных конструкций	газгольдеры с железобетонными резервуарами, вес стальных коиструкций	
1 000	61,9	44,7	28,5
3 000	127,6	83,9	34,5
6 000	212,7	136,5	36
10 000	268,7	193,1	28
15 000	331,4	247,2	25
20 000	416,9	310,3	25
30 000	532,6	409,7	23

Средний % экономии по всему ряду газгольдеров пропорционально емкости газгольдеров (удельная экономия) —25%.

Основанием стенок железобетонного резервуара служит узкая фундаментная кольцевая плита, на которой устанавливаются (на короткие стальные подставки двутаврового профиля, сваренные из тонких листов) сборные железобетонные панели с зазором 100—200 *мм*. Зазоры между панелями заполняются монолитным бетоном, после чего укладывается монолитное бетонное днище.

С внутренней стороны стенки на фундаментной плите устанавливаются бетонные блоки, ограждающие грунтовую засыпку под днищем резервуара.

Монолитный бетон днища, имеющего утолщение у стенки резервуара, укладывается по слою гидрофобного грунта. Кольцевая арматура из высокопрочной углеродистой проволоки диаметром 5 *мм* навивается по спирали, причем в проволоке создается напряжение около 9000—11 000 $кГ/см^2$.

Расстояние между нитками определяют расчетом. В уровне днища количество арматуры увеличивают для обжатия днища.

До намотки напряженной кольцевой арматуры резервуар торкретируют изнутри, после навивки проволоки заполняют водой и торкретируют снаружи.

Панели стен изготовляют на стендах заводов железобетонных изделий или на приспостроечной базе.

В панелях предусмотрены монтажные петли и закладные детали для крепления соответствующих элементов газгольдера и для соединения панелей с кольцевой обслуживающей площадкой.

Сооружение железобетонных резервуаров хотя и сложно, но технология их возведения разработана достаточно подробно.

Наибольший интерес в практике возведения таких резервуаров представляет применение арматурнонавивочных машин.

Из отечественных машин наиболее удачна АНМ-5 конструкции ЭКБ ВНИИСТа, создающая усилие натяжения от 500 до 2200 *кГ*.

Для установки навивочной машины применяется центральная опора, вокруг которой вращается машина.

Для стыкования проволоки применяется простое приспособление (сварка проволоки исключается). Стыки делают внахлестку с обмоткой проволокой диаметром 2 *мм*.

Чтобы предохранить кольцевую арматуру от развивки (при случайном обрыве), проволоку через каждые 4—5 витков соединяют предохранительной скобой, таким образом в случае обрыва проволоки развивка не превышает 4 витков арматуры. Торкрет-бетон слоем 20 *мм* по наружной поверхности стенок надежно заанкеривает арматурную проволоку и защищает ее от коррозии.

Напряжения в бетонном днище достигают 30—35 $кГ/см^2$ у стенки и до 24—28 $кГ/см^2$ в центре, что предохраняет от появления трещин.

Рассчитывают резервуар на два основных варианта: а) засыпки нет, вода налита; б) резервуар без воды, присыпан грунтом.

Днище резервуара имеет кольцевую армированную полосу вдоль стенки, которая служит для восприятия веса колокола и телескопа, опирающихся на подкладки из кусков двутавров.

На восприятие подпора грунтовой воды днище не рассчитано, и в этом случае заглубление резервуара недопустимо.

Железобетонный резервуар может применяться для мокрых газгольдеров как с вертикальными, так и с винтовыми направляющими.

Железобетонные конструкции могут быть применены только для резервуаров мокрых газгольдеров, а все остальные их части: подвижные звенья (колокол и телескопы), направляющие (винтовые или вертикальные), связи, ролики и площадки (кроме кольцевой площадки около резервуара) должны быть стальными.

Строительство железобетонных предварительно напряженных резервуаров не дает заметного снижения стоимости строительства. В ряде случаев стоимость железобетонных резервуаров даже превосходит стоимость стальных.

Несомненно, в недалеком будущем по мере накопления опыта строительства и улучшения технологии изготовления сборные железобетонные резервуары будут более экономичными.

Зарубежный опыт строительства железобетонных резервуаров мокрых газгольдеров свидетельствует, что замена металла

железобетоном оказывается выгодной. Так, например, в Западном Берлине в 1962 г. построен винтовой мокрый газгольдер емкостью 200 000 $м^3$, резервуар которого выполнен из монолитного железобетона.

Глава III

Сухие газгольдеры

§ 1. СУХИЕ ГАЗГОЛЬДЕРЫ ПОРШНЕВОГО ТИПА

1. Общие сведения

Сухие газгольдеры поршневого типа впервые появились в Германии в 1915 г. и вскоре завоевали большую популярность.

На первый взгляд сухие газгольдеры имеют много преимуществ по сравнению с мокрыми. Они не требуют устройства водяного резервуара и устройств для подогрева воды в зимнее время, в результате малого веса конструкции значительно облегчается выполнение фундамента. Сухие газгольдеры оказываются более экономичными по расходу стали на 1 $м^3$ хранимого газа, кроме того, хранимые газы не увлажняются, как в мокрых газгольдерах.

Первоначально сухие газгольдеры изготовлялись и монтировались немецкой фирмой МАН, а затем конкурирующая фирма «Клённе» упростила конструкцию сухих газгольдеров, которые также получили широкое распространение.

Сухие газгольдеры обеих немецких фирм были созданы на основе использования аналогичного принципа работы поршня паровой машины.

Газ под давлением 200—400 *мм вод. ст.*, подаваемый под поршень, поднимает его вверх до предельного высшего положения; наоборот, при выпуске газа поршень своим весом вытесняет газ в трубопровод.

Практикой принято считать положение поршня сухого газгольдера в пределах наполнения от 20 до 80% нормальным, в пределах от 10 до 20% и от 80 до 90% угрожающим и в пределах от 0 до 10 и от 90 до 100% аварийным.

Вес конструкций поршня вместе с догрузкой (железобетонными грузами) создает необходимое давление газа в газгольдере, равное весу поршня с догрузкой, деленному на площадь сечения корпуса газгольдера.

У фирмы МАН (рис. 61) в отличие от фирмы «Клённе» корпуса газгольдеров имели форму правильного в плане многоугольника и поршень был также многогранного очертания. Корпуса газгольдеров фирмы «Клённе» имели цилиндрическую форму.

Кроме того, уплотнение зазора между наружным краем поршня и корпусом, предотвращающее проникание газа в надпоршневое пространство, фирма МАН решила в виде уплотняющего

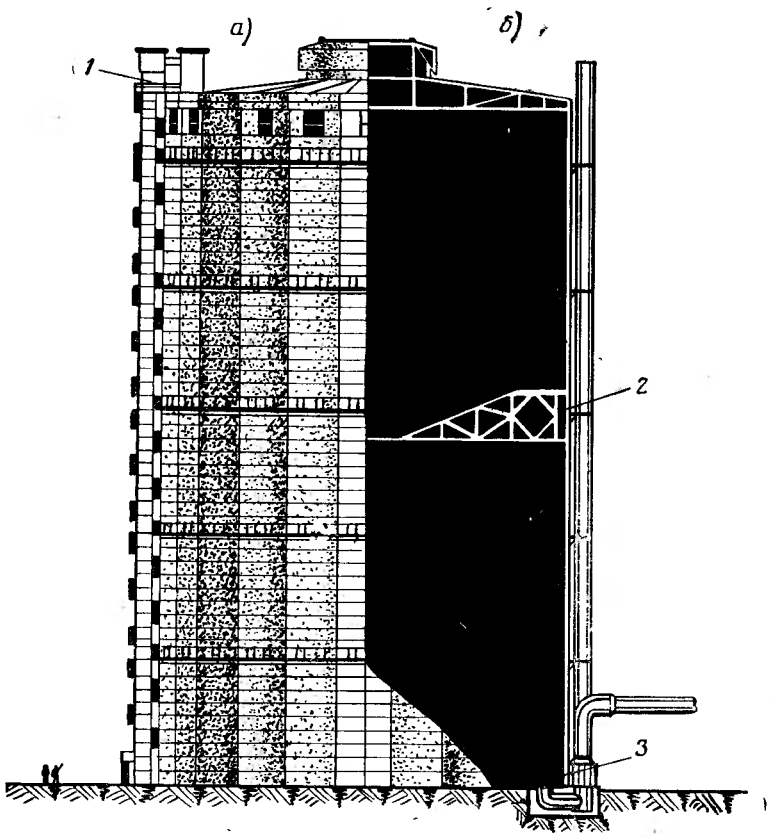


Рис. 61. Сухой многогранный газгольдер типа МАН емкостью 180 000 м³

а — фасад; *б* — разрез; *1* — верхняя площадка наружных лестницы и подъемника; *2* — многогранная шайба; *3* — насосная перекачки смазки

жидкостного затвора, а фирма «Клённе» сконструировала уплотнение в виде затвора, работающего на консистентной смазке.

Чтобы избежать повреждения корпуса газгольдера или конструкции поршня при подъеме его в наивысшее положение, предусматриваются отверстия в корпусе газгольдера, через которые весь избыточный газ может беспрепятственно выходить в трубы, если только поршень поднимется выше уровня этих отверстий. Трубы эти (сбросные свечи) выведены над крышей газгольдера на 1,5—2 *м* (рис. 62). Поршень, однако, не может подняться выше этих отверстий, площадь которых позволяет выпустить весь излишний газ, поступающий в газгольдер. После прекращения подачи избыточного газа и начала расхода имеющегося газа поршень опускается, закрывая отверстия, и выпуск газа в атмосферу прекращается.

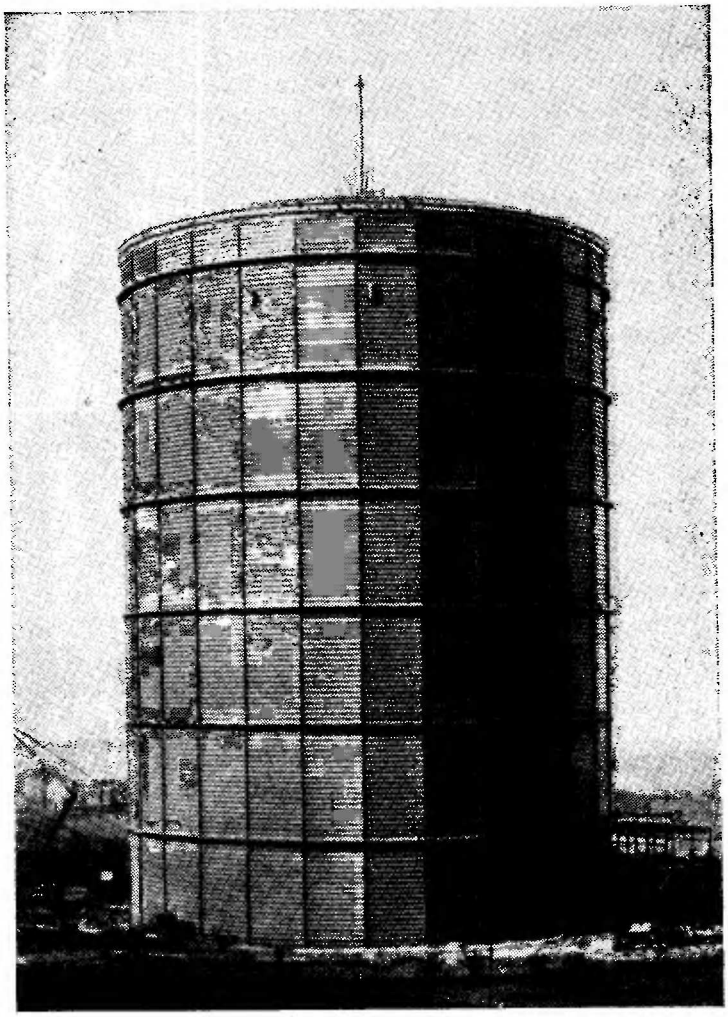


Рис. 62. Общий вид сухого многогранного газгольдера типа МАН емкостью 566 000 м³

Положение, когда газ уходит в атмосферу, считается аварийным, так как выходящий газ:

а) отравляет окружающую атмосферу;

б) может загореться от удара молнии или разряда статического электричества. Поэтому при эксплуатации газгольдера принимаются все меры, чтобы не допустить выхода газа в атмосферу.

В сухих газгольдерах емкостью 50—100 тыс. $м^3$ вес поршня с догрузкой составляет несколько сот тонн, а при большей емкости (например, 200 тыс. $м^3$ и более) может превышать тысячу *т*. При столь большом весе малейший перекос поршня может повлечь за собой заклинивание и аварию.

Для предупреждения таких аварий поршень снабжен двумя рядами роликов, один из которых расположен несколько выше уплотняющего затвора, а другой — по верхней площадке конструкции поршня.

В газгольдерах с многогранным корпусом стальные ролики катятся по колоннам из двутавровых балок, расположенным в углах многогранника.

В газгольдерах с цилиндрическим корпусом ролики расположены по окружности через несколько метров, причем ролики эти представляют собой склеенные диски из букового дерева с разным направлением слоев древесины. Ролики катятся по корпусу газгольдера.

Отношение расстояния между рядами роликов по высоте и диаметру газгольдера не должно превышать 0,1. В отечественной практике строительства сухих газгольдеров это отношение принято равным 0,125. При таком соотношении заклинивания поршня не наблюдается.

Уплотнение между краем поршня и корпусом газгольдера (затвор) является важнейшим конструктивным узлом сухих газгольдеров, обеспечивающим взрывобезопасность и нормальную эксплуатацию агрегата.

Конструкция затвора немецкой фирмой МАН решена в виде мягкой стальной полосы, расположенной по нижнему краю поршня вдоль каждой грани корпуса.

Полоса подвешена на концах рычагов и прижимается к корпусу контргрузами из чугунных дисков, подвешенных на других концах рычагов.

К нижнему краю полосы прикреплена специальная хлопчатобумажная ткань; другой край этой ткани, образуя фартук, прикреплен к краю герметичного ящика, приклепанного к нижнему борту поршня и залитого газгольдерным маслом, которое не смешивается с водой. Благодаря большему удельному весу масла, вода, попадающая в затвор, скапливается на поверхности его и при морозе замерзает. Примерзание затвора исключено, так как при движении поршня ледяная корка ломается

Во время движения поршня высота залива масла в затворе такова, что даже при образовании неплотности между полосой и корпусом газгольдера масло проливается в пространство под поршнем газгольдера и газ не может проникнуть сквозь слой масла.

Специальные автоматические перекачивающие устройства пополняют объем масла в затворе, поддерживая уровень его на заданной высоте.

Фирма «Клённе» проще решила конструкцию затвора. По нижнему краю поршня расположены два кольца из большого количества спрессованных слоев прорезиненной хлопчатобумажной ткани, образующих два манжета, в промежуток между которыми набивается из штауфера консистентная смазка, не застывающая при морозе до 40°С.

Это двойное кольцо подвешено на рычагах и прижато контргрузами, расположенными на противоположных концах рычагов.

Во избежание просачивания газа между уплотняющим кольцом (по всему нижнему контуру его) и поршнем герметично прикреплен один край фартука, другой край его прикреплен к нижнему краю поршня.

Фартук состоит из двух слоев резины, между которыми для полной непроницаемости хранимых газов заложена гофрированная свинцовая прокладка.

Перед сдачей газгольдера в эксплуатацию всю внутреннюю поверхность корпуса газгольдера жирно покрывают консистентной смазкой, а во время эксплуатации ежедневно следят за набивкой штауферов смазкой и в местах, где наблюдаются прорывы газа, увеличивают давление на манжет, передвигая контргрузы.

Консистентная смазка состоит:

а) из 80% трансформаторного масла с вязкостью от 1,5—1,8° Энглера при 50°С и температуре застывания не выше —45°С;

б) из 18% чистого желтого или белого церезина с температурой плавления не ниже +71°С;

в) из 2% свечного или спичечного парафина.

Опыт эксплуатации сухих газгольдеров фирмы «Клённе» показал, что в условиях сурового климата затвор часто пропускает газ и заклинивается, а смазка свертывается, теряя свои смазывающие свойства (например, при хранении коксового газа) под действием серы.

Этот тип газгольдера в Советском Союзе используется только для хранения нейтрального газа — азота.

Бурный рост отечественной промышленности, особенно черной металлургии, потребовал сооружения значительного числа сухих газгольдеров большой емкости.

Приобретенные у фирмы «Клённе» конструкции ряда сухих газгольдеров были смонтированы фирмой некачественно, и первые газгольдеры, сданные в эксплуатацию, не оправдали возлагавшихся на них надежд.

Для создания отечественной конструкции сухого газгольдера с цилиндрическим корпусом, как наиболее простого по изготовлению и допускающего применение сварки, был разработан новый тип затвора ВДК с жидкостным уплотнением.

Так же, как и в конструкции затворов фирмы МАН и фирмы «Клённе», при затворе ВДК по нижнему краю поршня преду-

смотрен фартук. Один край фартука герметично прикреплен к краю поршня, а другой — к собственно затвору. Сам затвор состоит из гибкого кольцевого элемента в виде полосы из коротких обрезков швеллеров, обтянутых хлопчатобумажной тканью с просветом между ними в 10—20 *мм*. Ткань уложена в 10—14 слоев с расчетом, что манжет, истираясь о корпус газгольдера при движении поршня, образует тонкие волокна длиной не более 1—2 *см*, которые исключают образование пробок в маслотрубопроводах.

Все швеллерки обращены стенкой к корпусу резервуара, а в каждой их полке предусмотрены отверстия для прикрепления хлопчатобумажной ткани.

К середине каждого швеллера с внутренней стороны приварены две планки, через которые проходит болт, укрепляющий нижний конец рычага. На верхнем горизонтальном конце рычага расположены чугунные грузы, плотно прижимающие уплотнение к корпусу газгольдера.

Затвор заливается газгольдерным маслом до уровня, обеспечивающего невозможность просачивания газа в пространство над поршнем газгольдера через какую-либо неплотность манжета.

Этот отечественный тип затвора оправдал себя при эксплуатации сухих газгольдеров емкостью 50 000 $м^3$ и меньше.

Особо важным преимуществом этого типа затвора по сравнению с немецким является то, что он позволяет сооружать корпус газгольдера сварным, а не клепаным, так как возможное колебание рычага этого затвора без нарушения плотности достигает 150 *мм*, тогда как затворы зарубежных фирм обеспечивают колебания рычагов, не превышающие 10—15 *мм*. При столь значительной величине допустимого колебания рычага отечественного затвора технические условия изготовления корпуса в части цилиндричности, местных хлопунов и отклонения величины радиуса корпуса упрощаются, что значительно снижает трудоемкость и стоимость сооружения газгольдера.

Этот тип затвора исключает применение специальных гибочных машин и кондукторного сверления отверстий под клепку, что необходимо при изготовлении корпусов газгольдеров зарубежных конструкций.

2. Конструкции сухих газгольдеров поршневого типа

Конструкции сухих газгольдеров различаются между собой в основном формой корпуса и типом уплотняющего затвора.

Газгольдеры типа МАН имеют многогранный корпус типа «Клённе» — цилиндрический. Цилиндрический корпус применяется в газгольдерах, разработанных в Советском Союзе.

Для сопоставления качественных показателей конструкций

газгольдеров всех типов рассмотрим газгольдер емкостью 100 000 $м^3$ типа МАН.

Он представляет собой правильный двадцатигранник высотой 71,725 *м* с диаметром $D_1=44{,}196$ *м* и $D_2=44{,}747$ *м* (в углах) при длине каждой грани 7 *м*.

Конструкции газгольдера обычно выполняют клепаными. Газовое пространство ограничено: с нижней стороны — днищем, лежащим на покрытой песчаным слоем бетонной плите, с боковых сторон — обшивкой, удерживаемой вертикальными колоннами, и сверху — поршнем, могущим передвигаться по высоте газгольдера параллельно днищу.

Для защиты от атмосферных влияний газгольдер имеет крышу, опирающуюся на колонны корпуса.

Днище газгольдера выполнено из листов толщиной 3 *мм* с окрайками толщиной 6 *мм*.

В некоторых листах предусмотрены накладки с закрепленными в них гайками для опускных винтов. После окончания клепки днище при помощи этих винтов опускается на фундамент, затем винты удаляют и в отверстия завинчивают пробки.

Между колоннами расположены входные трубопроводы для газа диаметром 1000 *мм*.

Внутри газгольдера по краю днища на расстоянии 1200 *мм* от стенок корпуса газгольдера установлена вертикальная стенка высотой 300 *мм*, образующая чашу для сбора газгольдерного масла, просачивающегося между обшивкой корпуса и уплотняющим затвором поршня при эксплуатации.

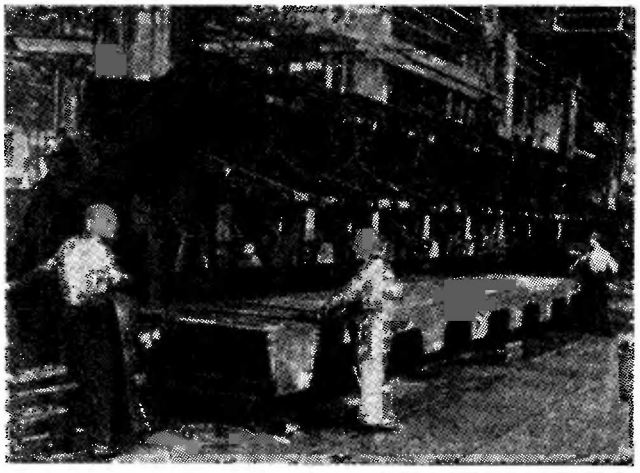


Рис. 63. *Машина для отбортовки листов оболочки многогранного сухого газгольдера*

На днище против каждой колонны установлены стойки, служащие для восприятия давления от поршня при опускании его в самое нижнее положение.

Чтобы предохранить днище от коррозии, его покрывают слоем в 35 *мм* каменноугольной смолы (антраценовая фракция).

Вся обшивка корпуса газгольдера выполнена из стандартных листов длиной 7 *м*, шириной 810 *мм* и толщиной 4,5 *мм*. Всем листам обшивки для придания жесткости и возможности соединения ее листов друг с другом придан особый профиль (рис. 63) отбортовкой на специальной машине. Листы обшивки крепятся к стойкам из двутавра № 22.

Листы обшивки склепывают между собой горизонтальными швами с прокладкой из брезента, пропитанного свинцовым суриком на натуральной олифе, и прикрепляют вертикальными швами к накладкам. Колонны, как элемент обшивки, из работы исключены.

Заклепки, связывающие двутавр с накладкой, так же как и заклепки, которыми крепятся листы боковой обшивки, с внутренней стороны делают потайными и гладко зашлифовывают. Внутренняя поверхность корпуса оказывается совершенно гладкой.

Ввиду того что отбортованные листы обшивки (хотя и с небольшим радиусом загиба) создают в месте стыка незначительную впадину, через которую в месте крепления и накладки возможен выход газа и уплотняющей жидкости, концы листов на изгибах отштампованы под прямым углом. Это обеспечивает необходимую плотность стыков у колонн.

В первом поясе корпуса предусмотрены отверстия для отвода газгольдерного масла из чаши в отстойники, для продувки газгольдера и для трубопроводов отопления.

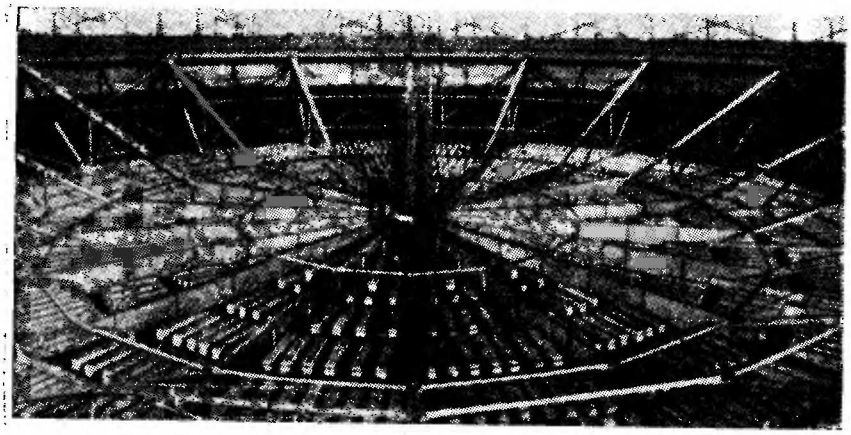


Рис. 64. Расположение догрузки на поршне многогранного сухого газгольдера

Всего по высоте газгольдера расположены 84 пояса. Под верхним поясом находится 20 окон размером 2600×2600 *мм*.

Чтобы предупредить перемещение поршня выше установленного предела, которым в данном случае является 81 пояс, на уровне этого пояса расположено 6 предохранительных свечей для остановки поршня выбросом избытка газа в атмосферу. Расположение догрузки на поршне многогранного сухого газгольдера показано на рис. 64.

Несколько выше отверстий для выброса газа предусмотрено 10 вырезов, через которые поступает газгольдерное масло, стекающее по внутренней поверхности корпуса и пополняющее его количество в затворе.

Для увеличения жесткости корпуса газгольдера с наружной стороны предусмотрены кольцевые ребра, одновременно служащие площадками для осмотра конструкции.

Чтобы корпус не опрокинулся от сильного ветра, каждая стойка закреплена двумя анкерными болтами диаметром 70 *мм*.

Для осмотра поршня предусмотрена маршевая лестница, соединяющая между собой все наружные кольцевые площадки и выходящая на крышу газгольдера. Кроме того, рядом с корпусом газгольдера установлена цилиндрическая стальная шахта, в центре которой расположен подъемник для перемещения персонала и материалов с площадки на крышу газгольдера, а вокруг подъемника (внутри шахты), кроме того, есть винтовая лестница. В газгольдерах типа МАН применяют нередко вместо цилиндрической глухой шахты прямоугольный каркас, внутри которого расположена шахта, а по наружному контуру ее — открытая маршевая лестница.

Глухая цилиндрическая шахта для наружной лестницы газгольдера была применена с учетом сурового климата в Советском Союзе (ветер, снег, обледенение и т. д.). При значительной высоте сухих газгольдеров такое решение вполне оправдано.

Крыша газгольдера запроектирована из 20 радиально расположенных ферм. Одним концом эти фермы приклепаны к стойкам корпуса, а другим вклепаны в верхнее и нижнее замыкающие кольца.

Над кольцом крепят замыкающую часть вентиляционного фонаря, выполненного в виде цилиндра диаметром 6,4 *м* и имеющего металлическую обшивку.

Фермы крыши связаны между собой металлическими решетчатыми рамками по верхнему и нижнему поясам.

Отечественные технические условия предусматривают применение для настила крыши стального листа толщиной 3 *мм*, в отличие от существующей у немцев практики настил крыши выполнять деревянным и покрывать толем.

В центре крыши расположен цилиндрический фонарь, через дверь которого можно попасть на внутреннюю площадку, а с нее по короткой лестнице — в кабину внутреннего подъемника или

опуститься на поршень независимо от высоты его расположения. Кроме того, предусмотрена шарнирная подвесная лестница, один конец которой прикреплен к центру поршня, а другой, перекинутый через блок под площадкой центрального фонаря и блок в верхнем уторе корпуса, имеет противовес, двигающийся в специальных направляющих, которые расположены снаружи корпуса газгольдера (рис. 65).

Длина шарнирной лестницы такова, что при низшем положении поршня груз стремянки находится в высшем положении и,

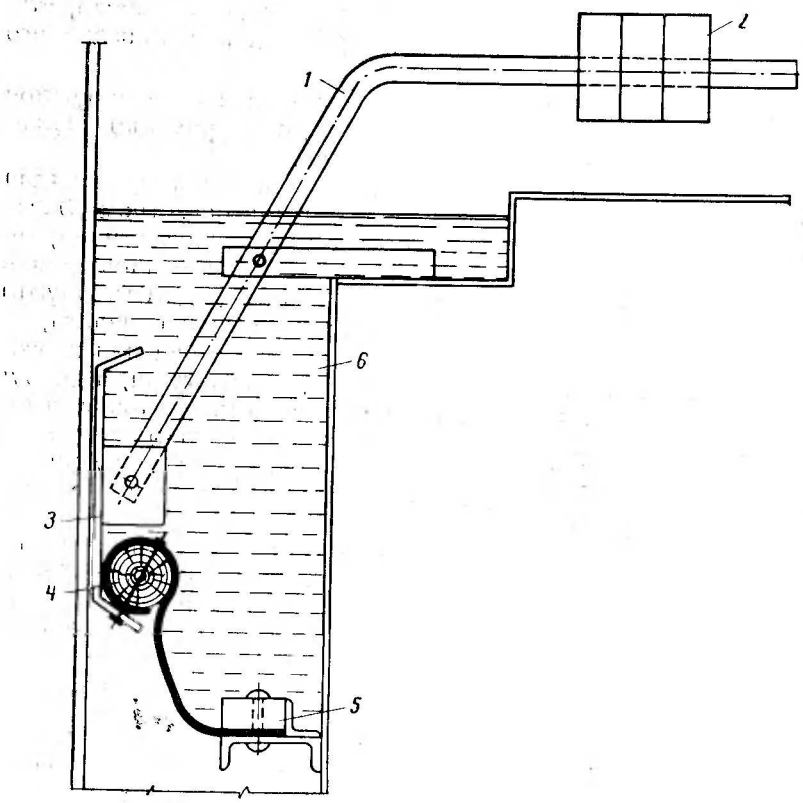


Рис. 65. Поперечный разрез затвора специального уплотнения многогранного сухого газгольдера типа МАН

1 — рычаг; *2* — противовес; *3* — прижимной лист; *4* — прижимной брус; *5* — крепление фартука; *6* — газгольдерное масло

наоборот, при положении поршня в высшем положении — наружный конец стремянки с грузом опускается на уровень второго пояса корпуса.

В немецких конструкциях сухих газгольдеров с многогранным корпусом внутренний подъемник расположен около стенки

корпуса, а вместо шарнирной стремянки в центре газгольдера предусмотрена маршевая складная лестница с перилами, по мере подъема поршня лестница складывается, так как верхний ее конец неподвижно прикреплен к верхней площадке под центральным фонарем крыши газгольдера.

Для вентиляции надпоршневого пространства, кроме центрального фонаря, под навесом крыши газгольдера расположено 100 отверстий (по пять на каждую грань), смещенных по отношению друг к другу. Это делается для того, чтобы пыль не попадала в газгольдер.

На крыше газгольдера установлены молниеприемники.

Поршень представляет собой стальной диск, усиленный сверху стропильными фермами. В частности, в многогранном газгольдере имеется 20 балок жесткости и на каждой из них сверху треугольная ферма. По краю поршня расположено решетчатое пространственное раскосного типа кольцо жесткости. В нижней части, т. е. по краю диска, расположен уплотняющий жидкостной затвор (рис. 66), а несколько выше — нижний ряд стальных роликов. На верхней площадке кольца жесткости также расположен ряд стальных роликов. Во время движения поршня ролики катятся по внутренней поверхности накладок, приклепанных к вертикальным стойкам и корпусу газгольдера.

Ввиду того что вес стальных конструкций поршня недостаточен для создания необходимого давления газа, поршень догружается бетонными грузами, располагаемыми строго симметрично между радиальными балками — ребрами жесткости поршня. К нижним поясам этих балок и прогонам между балками приклепана обшивка поршня из листа толщиной 3 *мм*.

Во избежание перекоса и заклинивания поршня во время движения догрузка должна быть расположена равномерно. Правильность распределения общего веса поршня проверяется экспериментальными перемещениями поршня на всю высоту корпуса, причем одновременно проверяют отклонения стенки корпуса от проектных размеров и влияние этих отклонений на нормальную работу газгольдера.

Для герметичности затвора между нижним краем поршня и корпусом газгольдера предусмотрена двухступенчатая чаша, над которой радиально укреплены рычаги. На других концах рычагов установлены чугунные контргрузы, обеспечивающие необходимый прижим всех точек полосы к корпусу газгольдера. На каждой грани корпуса расположено 16 рычагов.

К полосе прикреплена верхняя грань гибкого фартука из прорезиненной материи, нижняя грань которого крепится к наружной грани самого поршня. Чаша затвора всегда залита газгольдерным маслом, что обеспечивает гидравлическое уплотнение (см. рис. 66).

При местном неплотном прилегании планки масло под давлением лежащего выше слоя, превышающим давление газа,

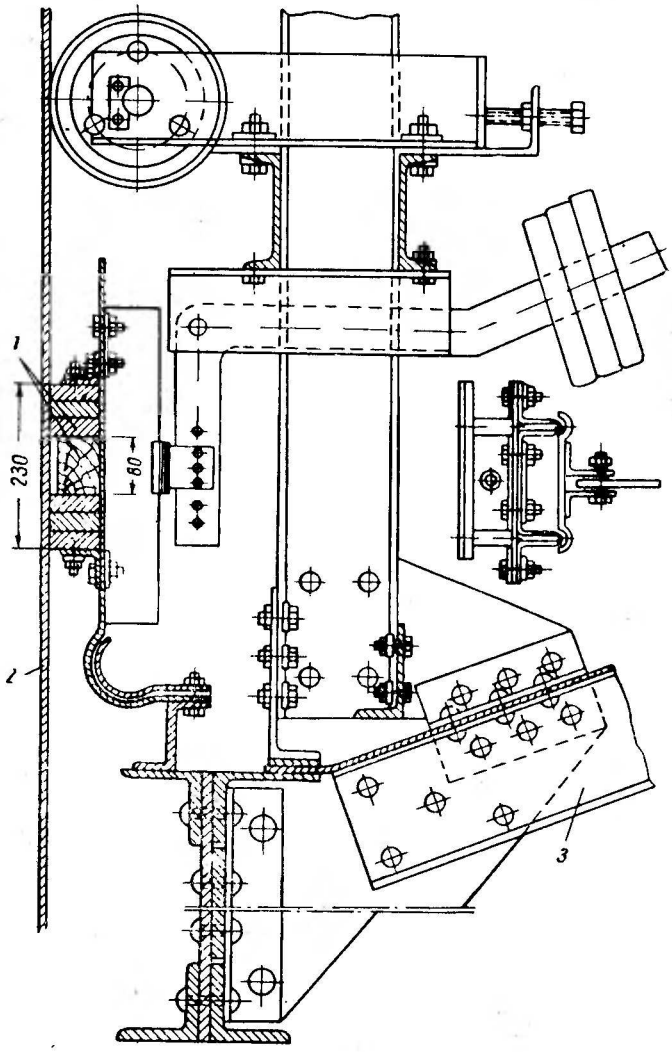


Рис. 66. Поперечный разрез затвора сухого газгольдера типа «Клённе» (размеры в мм)

1 — кольцо уплотнения; *2* — стенка корпуса газгольдера; *3* — купол поршня

просачивается в образовавшийся зазор и не дает возможности прорваться газу в надпоршневое пространство.

Перемещение полосы этого затвора возможно только в пределах 1—2 *см*, что вызывает необходимость изготовления и монтажа корпуса этого типа газгольдера с высокой точностью, а это

может быть достигнуто благодаря применению специальных машин для отбортовки листов и кондукторного сверления отверстий для заклепок.

В многогранных газгольдерах типа МАН почти все заклепочные швы выполняются на брезентовой прокладке, пропитанной свинцовым суриком на натуральной олифе.

Газгольдер имеет механический указатель объема газа, который размещен на наружной поверхности корпуса и виден с далекого расстояния. Кроме того, это приспособление снабжено устройством, при помощи которого объем газа, находящийся в газгольдере, регистрируется в диспетчерской, где есть звуковая сигнализация аварийных верхнего и нижнего положений поршня газгольдера.

Опыт сооружения сухих газгольдеров типа «Клённе» в суровых климатических условиях ряда районов Советского Союза показал непригодность конструкции уплотняющего устройства — затвора на консистентной смазке (рис. 67).

При эксплуатации газгольдера с таким затвором нередко возникают перекосы и заедания поршня, просачивание газа и т. д., что создает опасность для расположенных вблизи предприятий и населенных пунктов, а также для обслуживающего персонала. Газгольдеры этого типа могут быть использованы только для хранения инертных газов (азот и др.).

Стальные конструкции сухих газгольдеров с жидкостным затвором, разработанные в Советском Союзе, так же как и конструкции сухих газгольдеров типа «Клённе», имеют цилиндрический корпус, состоящий из вертикальных стоек, перекрывающих вертикальные швы листов обшивки корпуса, и горизонтальных колец, перекрывающих горизонтальные швы листов той же обшивки.

Количество стоек и листов в одном горизонтальном поясе одинаково, как и количество горизонтальных колец и поясов корпуса. Днище выполняется клепаным из листов толщиной 4 *мм*.

Обшивка корпуса, выполненная из листов толщиной 5 *мм*, приклепана потайными заклепками с внутренней стороны каркаса. Во избежание заедания и сильного истирания затвора все швы и головки потайных заклепок должны быть зашлифованы. Кроме того, зазоры между листами должны быть расчеканены свинцом. Горизонтальные кольца выполняют из уголков 100×100×10 или из швеллеров № 10, а стойки — из двутавров № 18—22. Корпус имеет наружные кольцевые площадки. Крыша принимается сферической, состоящей из стропильных ног (швеллеры № 12—18) и листового настила толщиной 3 *мм*.

Конструкция поршня выполнена в виде сферы, законструированной из стропил (швеллеры № 14—18), связей и листового настила толщиной 4—8 *мм*.

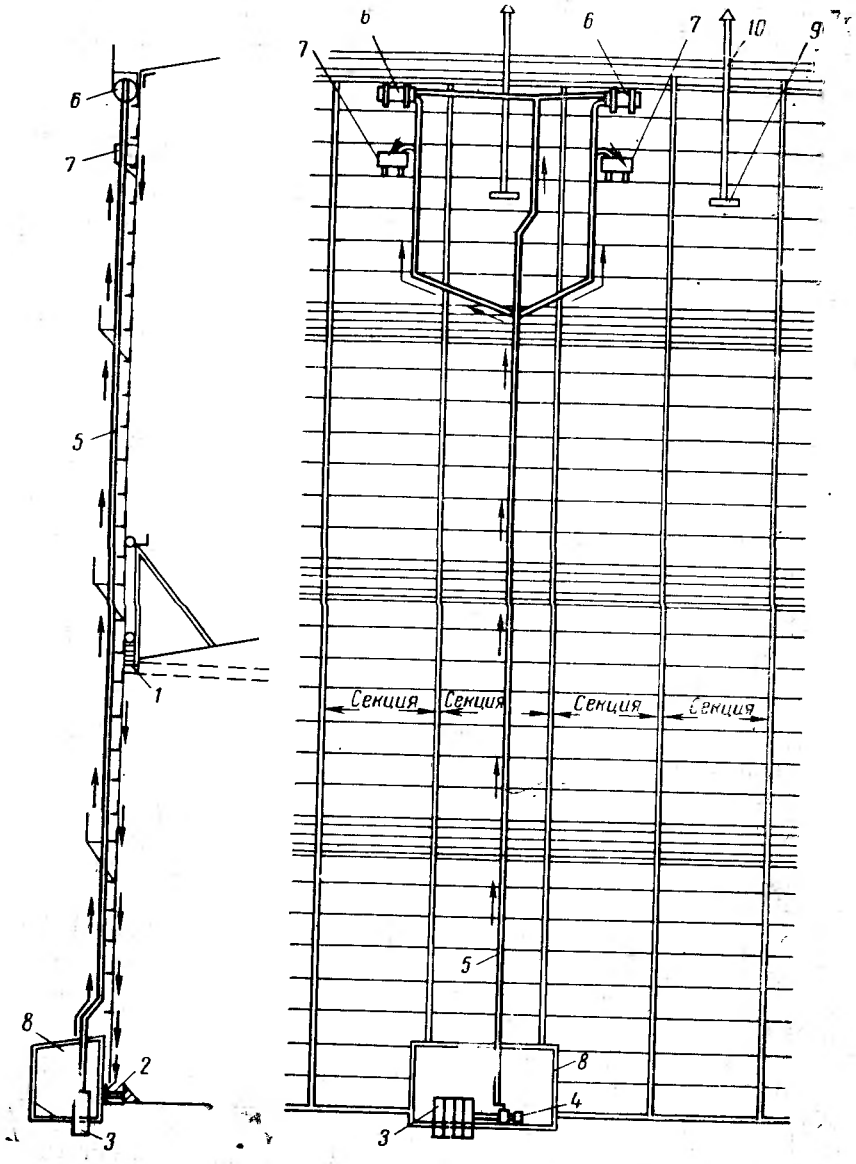


Рис. 67. Схема перекачивающего устройства для уплотняющей жидкости

1 — затвор; *2* — чаша на днище; *3* — отстойный бак; *4* — насос; *5* — маслопровод; *6* — резервные баки; *7* — переливной бак; *8* — помещение перекачивающего устройства; *9* — камера сброса газа; *10* — свеча для выпуска газа

По краю сферы предусмотрена решетчатая конструкция, повышающая жесткость края поршня и служащая для обеспечения устойчивости поршня в целом и для установки затвора по нижнему краю сферы, а также двух ярусов деревянных роликов из дисков крепких пород дерева.

Газгольдер с цилиндрическим корпусом снабжен подъемником и цепной стремянкой с противовесом, расположенным по центру поршня.

Для обеспечения работы жидкостного затвора предусмотрены перекачивающие устройства (отстойники и насосы), маслопроводы и чаша на днище газгольдера (рис. 68—70).

Плотность и герметичность затвора с жидкостной смазкой создаются столбом газгольдерного масла, ограниченным с одной стороны упругим матерчатым кольцом с фартуком и с другой — неподвижной металлической стенкой.

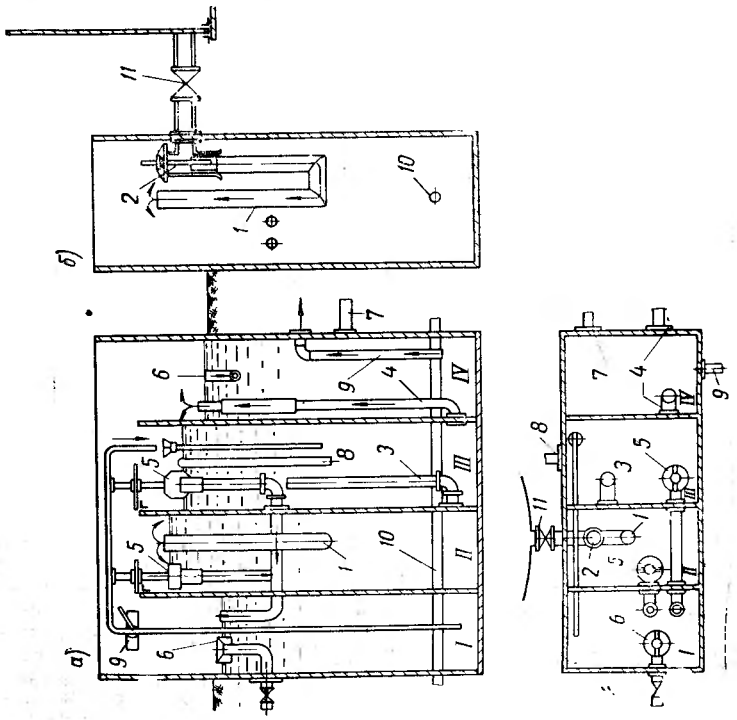


Рис. 68. Маслоприемная камера и отстойники перекачивающего устройства для уплотняющей жидкости

а — отстойный бак; *б* — приемная камера; *I* — сливная; *II* — приемная; *III* — промежуточная; *IV* — поплавковая; *1* — сифон для выхода жидкости; *2* — регулировочный поршень; *3* — труба для уплотняющей жидкости; *4* — труба для жидкости; *5* — перепуск воды; *6* — отвод воды; *7* — труба для спуска при аварийном состоянии затвора; *8* — труба для спуска при аварийном состоянии затвора (из вертикального маслопровода); *9* — труба к насосу; *10* — труба для отопления; *11* — задвижка лудло

Конструкция сухих газгольдеров поршневого типа отечественной конструкции выгодно отличается от газгольдеров типов МАН и Клённе».

Сухой газгольдер советской конструкции имеет цилиндрический корпус, цилиндрический поршень и стальную кровлю. Основное отличие отечественных сухих газгольдеров от немецких состоит в конструкции уплотняющей системы.

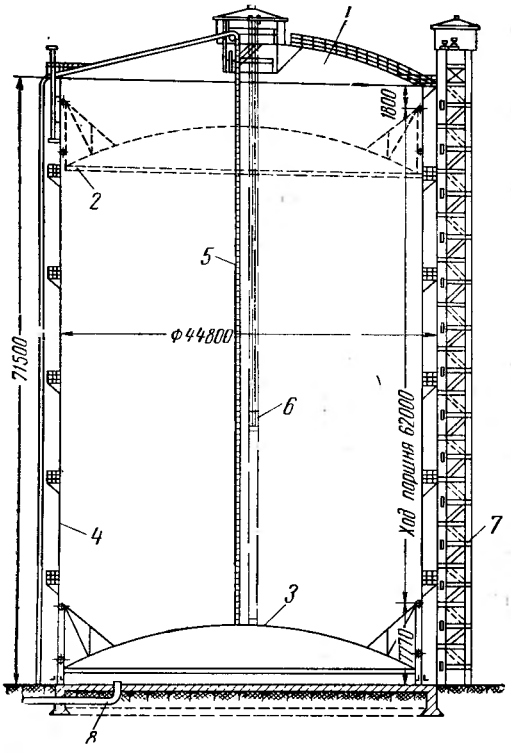


Рис. 69. Схема сухого цилиндрического газгольдера емкостью 100 000 м³ (размеры в мм)

1 — площадка фонаря; *2* — шайба в верхнем положении; *3* — шайба на опорах; *4* — обшивка δ = =5 *мм*; *5* — цепная лестница; *6* — подъемная клеть; *7* — наружный подъемник; *8* — подвод газа

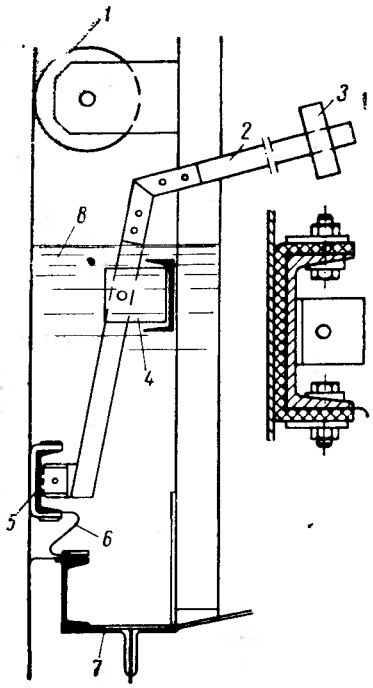


Рис. 70. Поперечный разрез затвора с жидкостным уплотнением отечественной конструкции системы ВДК для сухих газгольдеров с цилиндрическим корпусом

1 — выравнивающий ролик; *2* — рычаг; *3* — противовес; *4* — опора рычага; *5* — прижимное эластичное кольцо; *6* — фартук; *7* — днище поршня; *8* — газгольдерное масло

Уплотняющее устройство сухого газгольдера отечественной конструкции представляет собой прижимное кольцо, составленное из отрезков швеллеров с прикрепленным к нему мягким уплотнением из 10—14 слоев хлопчатобумажной ткани. Это уплот-

нение контактирует со стенкой корпуса. Снизу к уплотняющему кольцу крепится фартук, другой конец которого прикреплен к конструкции поршня.

Для создания более надежной газонепроницаемости затвор, образованный цилиндрическим кольцом, фартуком и стенками корпуса и поршня, заливается газгольдерным маслом, замерзающим при довольно низкой температуре.

Использование жидкостного затвора в сухом газгольдере с цилиндрическим корпусом было решено в Советском Союзе впервые и осуществлено в ряде эксплуатирующихся ныне газгольдеров. Приоритет конструкции этого типа затвора защищен авторским свидетельством № 56705 от 31 марта 1940 г. (авторы С. И. Веревкин, Н. П. Духовенский и др.).

Газгольдерное масло, находящееся в затворе, просачивается сквозь неплотности между стенкой упругого кольца и стенкой корпуса и стекает вниз, попадая в кольцевую чашу на днище газгольдера. Из чаши масло попадает в отстойники для отделения воды и после этого насосами подается по наружному маслопроводу наверх, откуда через отверстия в стенке корпуса газгольдера стекает по внутренней поверхности стенки в затвор поршня (см. схему движения масла на рис. 67 и 68).

Устройства, перекачивающие масло, снабжены счетчиками включений моторов и длительности их работы. Это дает возможность контролировать работу любого участка уплотняющего кольца, так как каждое перекачивающее устройство обслуживает отдельный участок уплотняющего кольца.

Конструкции газгольдера, разработанные в Советском Союзе, предусматривают соединение стальных деталей между собой клепкой и электросваркой, чем выгодно отличаются от конструкций, поставляемых фирмой «Клённе» только в клепаном варианте.

Отдельные сухие газгольдеры выполнялись цельносварными.

Замена клепки сваркой оказалась возможной в результате большей подвижности конструкции советского затвора, обеспечивающего перекрытие зазоров от +100 до —50 *мм*, тогда как затворы иностранных фирм могут перекрывать зазоры в 3—5 раз меньших размеров.

Большой диапазон колебания рычагов затвора советской конструкции ВДК (рис. 71) делает возможным значительное снижение допусков на изготовление и монтаж конструкций, что уменьшает стоимость сооружения сухих газгольдеров в целом.

Состав и способ получения газгольдерного масла долгое время являлся секретом немецкой фирмы МАН.

Однако в Советском Союзе разработан способ получения газгольдерного масла, которое по некоторым показателям лучше поставляемого фирмой МАН.

Основные показатели газгольдерного масла, поставляемого отечественной промышленностью:

удельный вес при 20°С . . .	от 1,128 до 1,422
вязкость при 50°С	2,08—2,25° Энглера
содержание воды	0,06—0,21%
температура застывания . . .	—27—28°С
начало выпадения кристаллов	—10°С
начало кипения при разгонке .	260—270°С
содержание асфальта	0,61%
свободный углерод и пыль . .	отсутствуют

При добавке некоторого количества сольвент-нафта температура застывания масла может быть понижена до —40°С.

Газгольдерное масло не смешивается с водой.

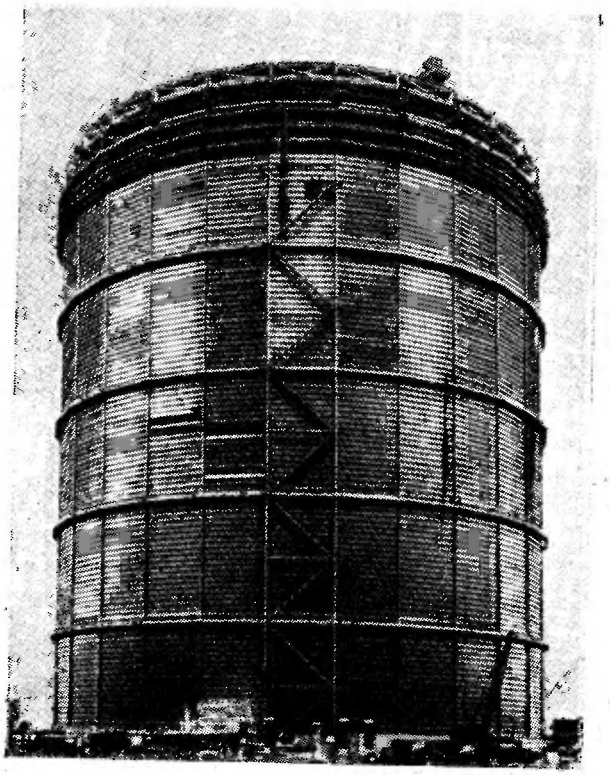


Рис. 71. Общий вид сухого многогранного газгольдера емкостью 566 000 м³ во время монтажа (в верхней части — видна кровля газгольдера, с которой ведется монтаж корпуса газгольдера)

3. Монтаж сухих газгольдеров поршневого типа

Монтаж стальных конструкций сухих газгольдеров производится в определенной последовательности.

Работы начинают с монтажа днища, затем собирают первый нижний пояс корпуса и выставляют стойки. После этого навешивают несколько поясов обшивки корпуса. Одновременно монтируют конструкции поршня газгольдера, а над ним — конструкции крыши газгольдера.

На крыше устанавливают два небольших деррик-крана, двигающихся по кольцевому рельсу, уложенному по краю смонтированной крыши газгольдера. Для равновесия всей системы деррики должны передвигаться, располагаясь все время на противоположных концах диаметра.

Сборку и клепку обшивки корпуса газгольдера производят на несколько поясов выше затвора поршня.

Из-за невозможности заливать в затвор газгольдерную смазку затвор обматывают мешковиной, а внутреннюю поверхность корпуса смазывают тавотом.

Под поршень подают воздух, поднимают его до высоты, при которой уровень обшивки будет несколько выше затвора поршня (см. рис. 72). Дерриками поднимают с земли новые элементы стоек и обшивки и производят монтаж новой секции корпуса газгольдера. По окончании монтажа секции вновь производят подъем поршня и монтаж следующей секции корпуса газгольдера. Монтаж корпуса газгольдера заканчивают установкой верхнего пояса. Затем крышу, смонтированную на поршне, устанавливают на кольце жесткости верхнего пояса корпуса и отсоединяют от поршня, который опускают в нижнее положение на опоры.

Этот способ монтажа конструкций сухих газгольдеров позволяет с минимальными затратами и без применения подмостей и мощных кранов монтировать с большой точностью газгольдеры диаметром до 80 *м* и высотой до 120 *м*.

4. Выбор типа газгольдера большой емкости

При выборе типа газгольдера большой емкости необходимо руководствоваться следующими основными показателями: безопасностью эксплуатации, надежностью в работе, расходом металла и стоимостью газгольдера.

Требования в части безопасности эксплуатации сухих газгольдеров, предъявляемые в СССР, значительно выше зарубежных требований, что, в частности, нашло отражение в регламентируемой величине разрывов между газгольдерами и ближайшими промышленными и гражданскими строениями.

В табл. 18 приведены основные веса и размеры сухих газгольдеров по проектам, разработанным в СССР.

Надежность эксплуатации и взрывобезопасность мокрых газгольдеров значительно выше аналогичных сухих газгольдеров.

Однако сооружение сухих газгольдеров обходится значительно дешевле, и металла на их изготовление расходуется меньше.

Таблица 18

Основные размеры и вес сухих газгольдеров поршневого типа с цилиндрическим корпусом (по проектам, разработаииым в СССР)

Номинальная емкость газгольдера в $м^3$	Корпус газгольдера		Ход поршня в *мм*	Расстояние в *мм* от оси верхиего ролика поршня до обушка		Давление газа в *мм вод. ст.*		Диаметр газоввода в *мм*	Общий вес газгольдера	
	высота *H* в *мм*	диаметр *D* в *мм*		верхиего уголка (верхнее положеиие поршня)	иижиего уголка (иижнее положение поршня)	без догрузки поршня	с догрузкой поршня		всего в *т*	иа 1 $м^3$ емкости (иоминальной) в *кг*
10 000	31 185	22 842	25 200	1235	4750	233	400	600	314	31,4
20 000	35 640	28 552	28 516	1549	5575	208	400	800	421	21
30 000	47 090	30 420	39 668	1558	5864	187	400	900	528	17,6
50 000	60 885	34 260	52 969	1566	6275	168	400	1120	738	14,4
100 000	71 500	44 800	62 000	1800	7700	159	400	1120	1122	11,22

В табл. 19 сопоставляются расходы металла на сооружение сухих и мокрых газгольдеров емкостью 100 000 $м^3$.

Как следует из этой таблицы, расход металла на 1 $м^3$ емкости мокрого газгольдера на 50% выше по сравнению с расходом металла на 1 $м^3$ емкости сухого газгольдера.

Несмотря на значительно больший расход металла, мокрые газгольдеры, благодаря их безопасности, устойчивости и надежности в работе, получили широкое распространение в Советском Союзе.

Основным недостатком сухих газгольдеров поршневого типа являются сложность, трудоемкость и высокая стоимость эксплуатации, значительно превосходящая стоимость эксплуатации других типов газгольдеров низкого давления.

Таблица 19

Расход металла на сооружение газгольдеров разных типов емкостью 100 000 $м^3$

Наименование конструкций мокрого газгольдера с вертикальными направляющими	Вес в *кг*	Наименование конструкций сухого газгольдера поршневого типа	Вес в *кг*	
			с призматическим корпусом (МАН)	с цилиндрическим корпусом
Днище резервуара	207,713	Днище корпуса	56,583	63,155
Стенка резервуара (с балконом)	467,622	Каркас корпуса (с балконами)	184,895	350,045
Нижний телескоп (с роликами)	249,543	Оболочка корпуса	565,52	423,098
Средний телескоп (с роликами)	243,17	Перекрытие корпуса (с фонарем)	132,34	99,294
Колокол (боковая стенка с роликами)	226,406	Конструкция поршня	150,006	289,808
Сферическое перекрытие колокола	261,81	Затвор поршня	23,493	47,723
Внешние направляющие (со связями)	448,625	Конструкции газового приямка	21,35	—
Наружная лестница и стремянка	30,961	Грозовая защита	2,63	2,63
Грозовая защита	2,556	Наружное освещение	7,464	7,464
Наружное освещение	8,105	Подвесная лестница	3,51	7,373
Конструкции газового приямка	41,225	Перекачивающее устройство	57,215	57,215
Объемоуказатель	748	Пожарный водопровод	14,455	14,455
		Шахта наружного подъемника	48,474	39,604
		Объемоуказатель	762	813
Итого	2188,514	Итого	1268,697	1402,677
Всего с учетом сварных швов и головок заклепок	2254,169	Всего с учетом сварных швов и головок заклепок	1306,758	1444,757

§ 2. СУХИЕ ГАЗГОЛЬДЕРЫ С ГИБКОЙ СЕКЦИЕЙ

1. Общие сведения

Для хранения, смешивания и регулирования расхода искусственных газов на предприятиях химической промышленности употребляются газгольдеры, главным образом низкого давления (200—400 *мм вод. ст.*). При выборе нужного типа газгольдера для хранения промышленного газа, наряду с оценкой по затратам стали, капиталовложениям и стоимости эксплуатации газгольдера, необходимо учитывать специфические особенности газов, подлежащих хранению.

Описанные выше мокрые газгольдеры и сухие газгольдеры поршневого типа не могут быть использованы для хранения обезвоженных газов и газов высокой концентрации (например, этиленовых газов и других газов с концентрацией 99,9% и выше).

Мокрые газгольдеры не пригодны для хранения обезвоженных газов потому, что влажность хранимого в них газа неизбежно повышается вследствие испарения воды в резервуаре; при этом часть газа растворяется в воде.

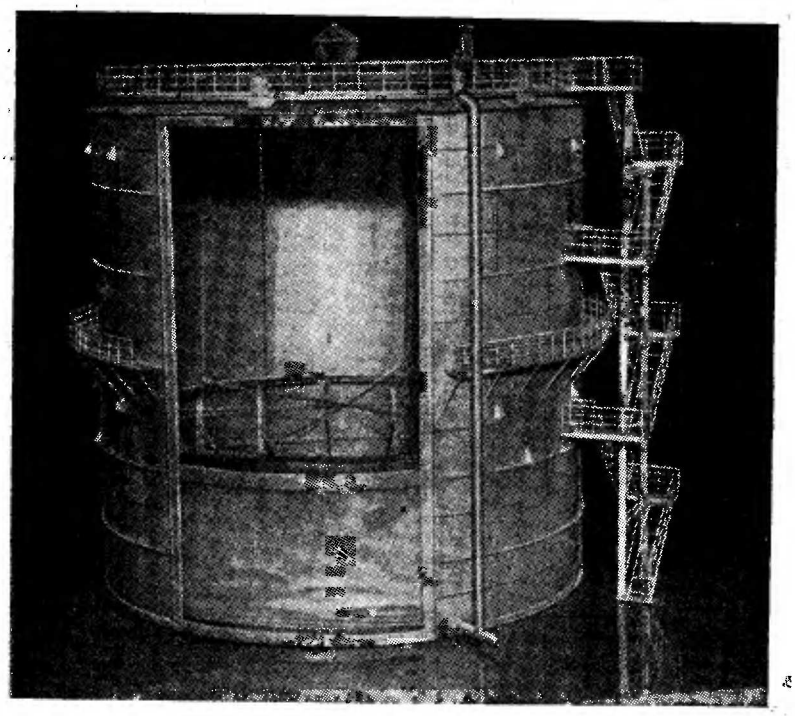


Рис. 72. Модель сухого газгольдера с гибкой секцией

В сухих газгольдерах поршневого типа невозможно хранить газы высокой концентрации, так как они загрязняются в результате соприкосновения с газгольдерным маслом или консистентной смазкой, покрывающей внутренние стенки резервуара; в этом случае нарушаются кондиционные качества газа.

Сухие газгольдеры поршневого типа недостаточно безопасны при эксплуатации и трудоемки при изготовлении и монтаже. Они требуют проведения частых ремонтов и замены части или всего уплотняющего кольца, а также применения непрерывно действующих насосов нагревательных и фильтровальных установок. Однако потребность в сухих газгольдерах ощущается в химической промышленности очень остро, особенно в связи с развитием полиэтиленовых производств, где при хранении чистого этилена высокой чистоты требуется обеспечить такие условия хранения, при которых совершенно исключается сопрокосновение газа с водой, маслом и другими смазочными жидкостями. В то же время должна обеспечиваться полная и надежная герметичность газгольдера. По существу, газгольдеров, отвечающих всем этим требованиям, в СССР не существовало.

В 1956 г. институтом Проектстальконструкция в поисках рациональных и экономичных конструкций сухих газгольдеров переменного объема и постоянного (низкого) давления была начата разработка новых систем сухих газгольдеров; выпущен ряд индивидуальных проектов сухих газгольдеров специального типа емкостью 300, 1470, 1500, 5000 $м^3$ (рис. 72).

В 1963 г. были созданы типовые проекты сухих газгольдеров емкостью 100, 300, 600, 1000, 3000, 6000 и 10 000 $м^3$ с давлением газа 400 *мм вод. ст.* (рис. 73).

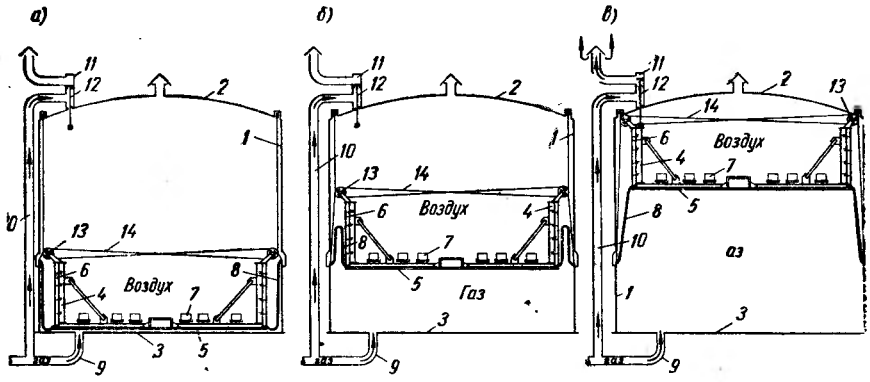


Рис. 73. Схема работы газгольдера с гибкой секцией

а — газгольдер пустой; *б* — газгольдер наполнен газом наполовину; *в* — газгольдер наполнен газом; *1* — стенка резервуара; *2* — кровля резервуара; *3* — днище резервуара; *4* — каркас шайбы; *5* — днище шайбы; *6* — защитная стенка шайбы; *7* — пригрузка из бетонных грузов; *8* — гибкая секция из прорезиненной ткани; *9* — газоввод; *10* — стояк газосброса; *11* — коробка газосброса; *12*—шток газосброса; *13*—ролики выравнивающей системы; *14* — канаты выравнивающей системы

Примерно в то же время в зарубежной технической литературе появились отрывочные сведения о сухих газгольдерах с гибкой секцией типа Уиджинса.

Новый сухой газгольдер является радикальным улучшением существующих немецких поршневых сухих газгольдеров.

В стальном цилиндрическом вертикальном корпусе нового сухого газгольдера, имеющем днище и кровлю, помещается шайба, перемещающаяся по высоте. Как поршень в сухих газгольдерах обычного типа, шайба под давлением газов поднимается вверх или при выпуске газа опускается вниз, выдавливая своим весом газ из газгольдера (рис. 74). Принципиальное отличие газгольдеров нового типа заключается в решении уплотнения между корпусом резервуара и шайбой.

Вместо жидкостных контактных затворов в сухом газгольдере нового типа между корпусом и шайбой располагается гибкая секция (мембрана) из прорезиненной ткани, герметически прикрепленная как к резервуару, так и к подвижной шайбе.

При подъеме шайбы оболочка мембраны распрямляется, создавая емкость для хранения газа, при опускании гибкая оболочка укладывается в зазоры между стенкой корпуса и шайбой, позволяя ей доходить до верха подкладных балок, на которые шайба опирается в нижнем положении.

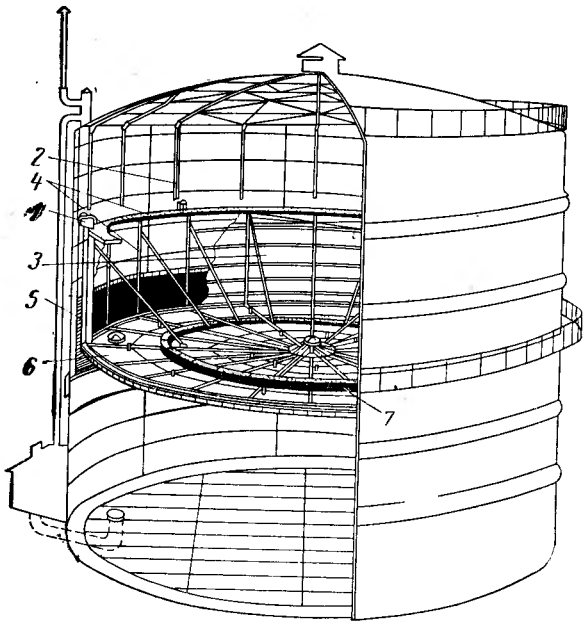


Рис. 74. Конструктивная схема сухого газгольдера с гибкой секцией

1 — ролики выравнивающей системы; *2* — тросы; *3* — защитная стенка шайбы; *4* — каркас шайбы; *5* — гибкая секция из прорезиненной ткани; *6* — нижний листовой настил; *7* — пригрузка из бетонных грузов

Таким образом, в новом типе сухого газгольдера газовое пространство герметически изолировано от окружающей атмосферы.

Преимущества сухих газгольдеров с гибкой секцией перед всеми видами газгольдеров низкого давления значительны: достигается максимальная герметичность, создается возможность хранения обезвоженных газов; газ не соприкасается с воздухом, водой и маслами, сохраняя высокую чистоту; упрощается обслуживание и уменьшаются расходы при эксплуатации.

Шайба при своем движении должна сохранять горизонтальное положение, для чего на ней предусматривается выравнивающее устройство, состоящее из системы роликов, по которым во встречных направлениях проходят два каната. Принцип такого выравнивания широко применяется при черчении, когда рейсшина перемещается параллельно самой себе при помощи несложного приспособления из роликов и ниток (рис. 75).

Чтобы при подъеме шайбы выравнивающие ролики не касались резиновой мембраны, которую они могут порвать, ролики отнесены вверх над днищем шайбы (на верх несущего каркаса шайбы).

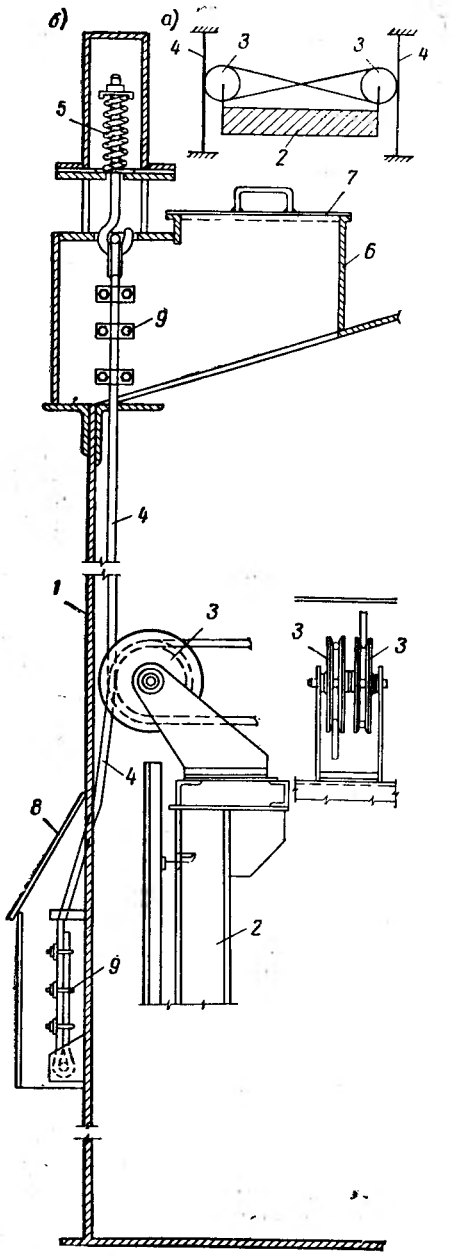


Рис. 75. Выравнивающая система шайбы

а — принципиальная схема выравнивающего устройства; *б* — узел выравнивающего устройства; *1* — корпус резервуара; *2* — шайба; *3* — ролики; *4* — канат; *5* — верхний узел натяжного устройства пружины; *6* — коробка натяжного устройства; *7* — крышка коробки; *8* — козырек над нижним узлом закрепления каната; *9* — сжимы для канатов

Каждый газгольдер имеет 6—8 парных комплектов роликов.

Шайба имеет несущий каркас из прокатных профилей и наружную обшивку из тонколистовой стали, представляя собой цилиндр с днищем (рис. 76). Диаметр шайбы меньше диаметра резервуара, и в образовавшемся зазоре (обычно равном 200 *мм*) располагается гибкая секция (мембрана).

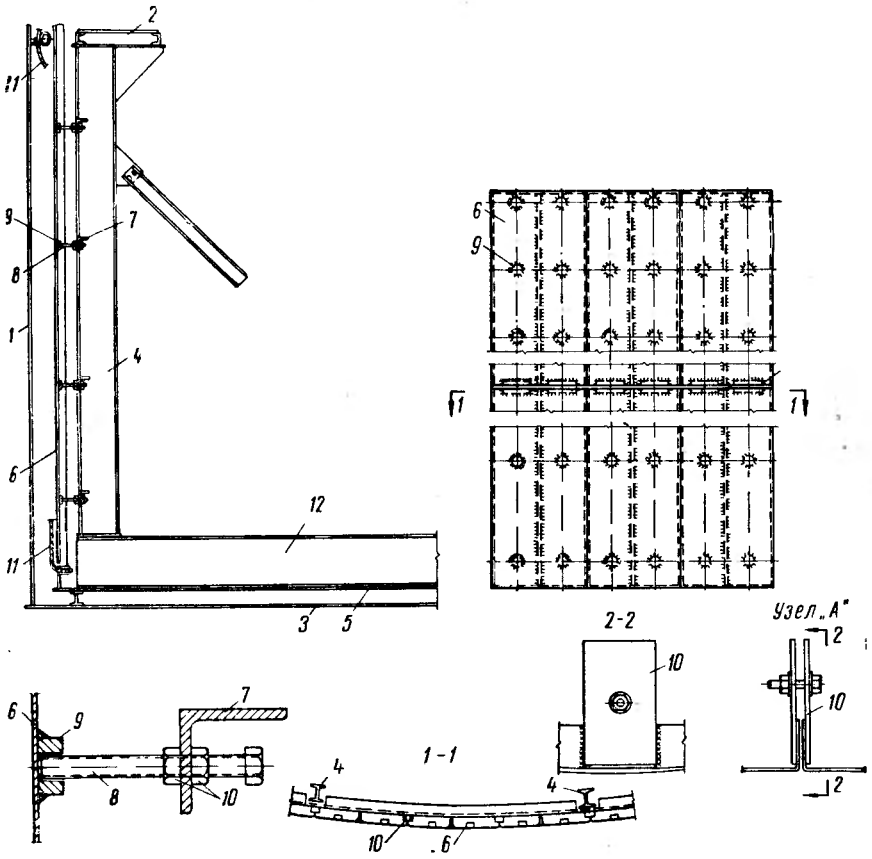


Рис. 76. Конструкция шайбы

1 — стенка резервуара; *2* — кольцевая площадка; *3* — днище резервуара; *4* — стойки каркаса шайбы; *5* — днище шайбы; *6* — защитная стенка шайбы; *7* — кольцевой опорный уголок защитной стенки; *8* — опорный болт защитной стенки; *9* — гайка, приваренная к защитной стенке; *10* — планка для болтов, соединяющих листы защитной стенки; *11* — гибкая секция; *12* — раднальиая балка шайбы

Для создания необходимого по технологическим требованиям внутреннего давления газа (обычно до 400 *мм вод. ст.*) собственный вес шайбы оказывается недостаточным и внутри шайбы на специальную кольцевую площадку укладывают бетонные грузы.

Для непрерывного проветривания надшайбенного пространства, во избежание застоя случайно просочившихся газов, в корпусе сделано несколько ярусов вентиляционных окон, а вверху на кровле — вытяжной люк.

Сухой газгольдер специального типа не имеет фундамента и покоится на песчаном основании. Общий вид сухого газгольдера во время монтажа показан на рис. 77.

Основные размеры сухих газгольдеров специального типа (по типовым проектам) приведены в табл. 20.

Преимуществом сухих газгольдеров перед мокрыми является также постоянство внутреннего давления газа.

В мокром газгольдере внутреннее давление газа не может быть всегда постоянным. Оно нарастает уступа-

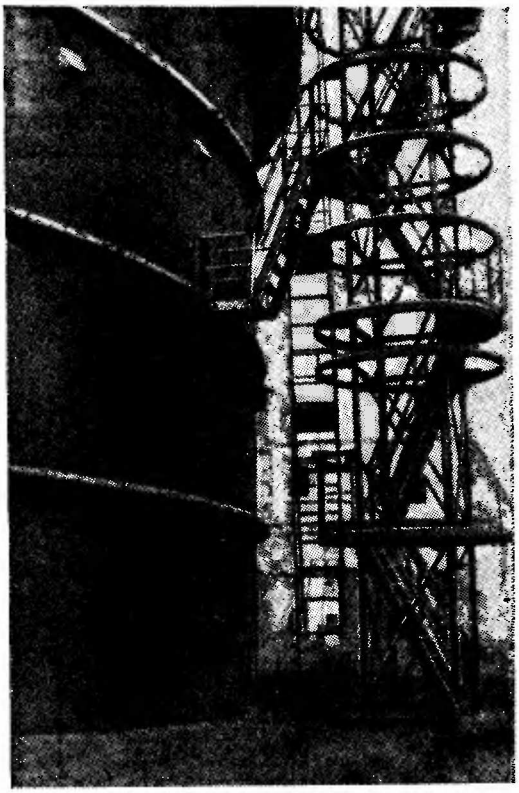


Рис. 77. Сухой газгольдер с гибкой секцией емкостью 5000 м³ во время монтажа

Таблица 20

Основные размеры сухих газгольдеров специального типа емкостью от 100 до 10 000 м³ (типовой проект), разработанных институтом Проектстальконструкция

Емкость газгольдера в м³	Резервуар		Шайба		Высота газового пространства $H_{г.п}$ в мм	Высота подкладных балок в мм	Вес стальных конструкций в т	Вес стали в кг/м³	Диаметр газоввода в мм
	внутренний диаметр $Д_{р.вн}$ в мм	высота $H_р$ в мм	диаметр $Д_ш$ в мм	высота $H_ш$ в мм					
100	6 200	5 970	5 800	1 850	3 300	100	18,7	187	200
300	8 680	8 550	8 280	2 700	5 000	100	33,7	112	200
600	10 300	11 930	9 900	3 800	7 200	100	46,5	77,5	400
1 000	13 300	11 930	12 900	3 800	7 200	100	61.1	61,1	400
3 000	18 500	17 900	18 000	5 780	11 160	200	118,1	39,5	600
6 000	26 200	17 900	25 800	5 780	11 160	200	204,2	34,2	600
10 000	33 800	17 900	33 400	5 780	11 160	200	288,6	28,8	600

ми по мере наполнения газгольдера и включения веса промежуточных звеньев газгольдера (телескопов) при их поднятии и, следовательно, зависит от положения звеньев (колокола и телескопов), сжимающих газ своим весом. Даже то, что некоторая часть звена находится в воде, влияет на величину давления газа, потому что звено теряет в воде часть своего веса.

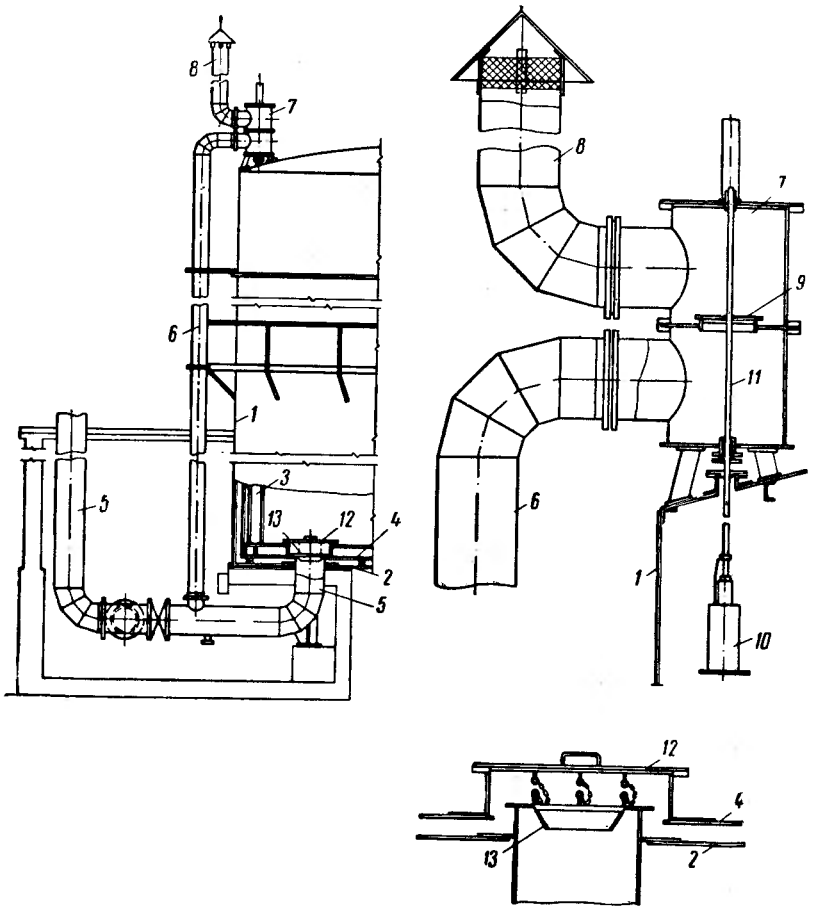


Рис. 78. Газосбросная система сухого газгольдера

1 — резервуар; *2* — днище резервуара; *3* — шайба; *4* — днище шайбы; *5* — газоввод; *6* — газосбросный стояк; *7* — газосбросная коробка; *8* — свеча газосброса; *9* — клапан газосброса; *10* — контргруз клапана; *11* — шток клапана; *12* — люк шайбы над газовводом; *13* — крышка газоввода, не допускающая возникновения вакуума в газовой зоне газгольдера

Максимальное давление газа возникает при полном поднятии подвижных звеньев, а до этого давление газа может изменяться в значительных пределах (около 100 *мм вод. ст.*). В сухих

газгольдерах специального типа вес шайбы (с пригрузками или без них) является постоянной величиной и сжимание газа, производимое весом шайбы, оказывается также постоянным при любом положении шайбы по высоте.

Наполнение газгольдера регулируется автоматически. Когда газгольдер заполнен газом, шайба поднята вверх. Если в газгольдер подан излишний объем газа, то шайба, поднимаясь выше своего предельного положения, толкает шток, открывающий выпускное отверстие, и излишний газ выходит в атмосферу через систему газосбросного стояка (рис. 78).

При отборе газа из газгольдера шайба доходит до опорных балок и происходит дополнительное отсечение газового ввода, причем на выступающий над днищем резервуара патрубок ложится крышка, подвешенная на цепях к шайбе.

При неисправности автоматических механизмов, отключающих газ, такое устройство исключает возможность образования

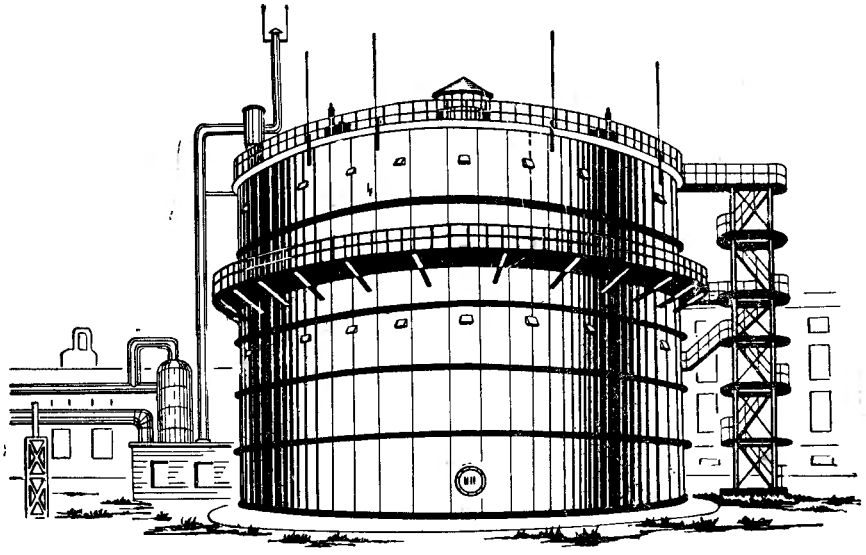


Рис. 79. Общий вид сухого газгольдера емкостью 5000 м³

вакуума в корпусе газгольдера, на который оболочка резервуара не рассчитана.

Для повышения пожарной безопасности газгольдера предусмотрен запуск инертных газов в надшайбенное пространство; газгольдер оборудован молниеотводами.

Общий вид сухого газгольдера емкостью 5000 $м^3$ показан на рис. 79.

2. Корпус резервуара сухого газгольдера

Стенка резервуара сухого газгольдера выполняется в виде рулонной заготовки, составленной из листов толщиной 5 *мм*, которые сварены в стык по коротким и длинным сторонам. Листы проходят предварительную простройку на кромкострогальных станках. Листы сваривают на рулонном стенде автоматом под слоем флюса. Первый основной шов накладывают с наружной стороны стенки, второй, подварочный, с внутренней стороны. Внутренняя сторона стенки должна быть гладкой без сильно выступающих сварных швов, так как она соприкасается с гибкой секцией из прорезиненной ткани. Максимальная высота стенки типовых сухих газгольдеров емкостью 100—10 000 $м^3$ принята равной 17 900 *мм* с учетом изготовления из полотнища на рулонном стенде с расстоянием между планшайбами 18 000 *мм*.

Разворачивают рулон так же, как и в мокрых газгольдерах. Для повышения устойчивости к цилиндрической стенке резервуара с наружной стороны прикрепляют несколько ярусов горизонтальных колец жесткости из швеллеров, гнутых в плоскости максимальной жесткости. На высоте, равной примерно половине высоты корпуса резервуара, расположена кольцевая площадка для обслуживания газгольдера, соединенная с землей шахтной лестницей, вмонтированной в барабан, на который наворачивалось рулонное полотнище. С верхней части шахтной лестницы есть переход на кольцевую площадку на кровле, предназначенную для обслуживания смотровых и транспортных люков. На высоте, равной приблизительно $^1/_3$ высоты корпуса, в стенке предусмотрена дверь для входа внутрь корпуса, на верхнюю площадку шайбы, находящейся в нижнем положении (при пустом газгольдере). При наполнении газгольдера газом шайба поднимается и выталкивает воздух, находящийся над ней. При опускании шайбы необходимо обеспечить приток воздуха в надшайбенную зону извне. Для этого в стенке резервуара предусмотрены один-два яруса прямоугольных вентиляционных окон, прикрытых козырьками; в центральной части купола кровли устроен вытяжной люк. Вентиляционные окна и вытяжной люк играют роль вентиляционной системы, благодаря которой уменьшается загазованность надшайбенной зоны.

Стенки корпуса приваривают к стальному днищу угловыми швами без какого-либо усиления. Стальное днище также изготовляется в виде рулонной заготовки и состоит из двух половин с монтажным швом посредине. Все листы сваривают в стык как по коротким, так и по длинным сторонам. Толщина листов днища обычно равна 6 *мм*.

Днище укладывают на заранее подготовленное песчаное (искусственное) основание с гидрофобным слоем вверху, имеющее коническое возвышение к центру днища; фундамент для сухого газгольдера не нужен.

Две половинки, из которых составляется днище, сваривают монтажным стыком на подкладке так, что зазор между половинками ближе к середине днища оказывается больше, а ближе к краю днища — меньше. Благодаря этому днище получает конусное очертание с подъемом к центру.

Кровля сухого газгольдера состоит из несущего каркаса в виде гнутых по радиусу стропил (двутавры или швеллеры), между которыми ставят распорки из швеллеров. На несущий каркас укладывают настил из тонколистовой стали толщиной 3 *мм*, приваренный местами к стропилам проплавным швом. По периметру кровли располагают кольцевую окрайку из листов толщиной 6 *мм*, работающую как уторная система. При воздействии на кровлю снега, собственного веса и ветра распор от стропильных арок передается на уторную систему.

Конструктивно кровля может быть выполнена в нескольких вариантах: как сферическая кровля с листовым настилом из полотнищ, как сферическая кровля, составленная из отдельных готовых щитов (щитовая, сферического очертания кровля), или как кровля конусного очертания, составленная также из щитов. При щитовой кровле расход стали несколько повышается и увеличивается общая протяженность сварных швов (заводских и монтажных), но общая трудоемкость монтажа кровли уменьшается.

Каркасная сферическая кровля с настилом из полотнищ обычно монтируется внизу на верху шайбы. После сборки несущего каркаса, каркас сферической кровли поднимают, приваривают фасонками к корпусу резервуара, а затем укладывают и приваривают окрайки кровли. После этого на уже смонтированный каркас кровли укладывают полотнища кровельного настила, предварительно укрупненного внизу. Монтаж кровли производят краном, стоящим вне газгольдера, или при помощи системы лебедок.

На кровле расположены смотровые, световые и транспортные люки, центральный вытяжной люк и коробки натяжных приспособлений для канатов выравнивающей системы, цилиндрическая коробка газосбросного устройства, штуцера пропуска канатов для монтажного вывешивания гибкой секции, а также молниеотводы.

Вентиляционные окна и отверстия центрального вентиляционного люка снабжены защитной решеткой в виде сеток из нержавеющей стали, используемых как пламягасящее приспособление и препятствующих попаданию в резервуар посторонних предметов.

На днище резервуара располагают подкладные опорные балки для опирания шайбы, находящейся в нижнем положении при пустом газгольдере. Газовый ввод можно осуществлять сбоку через промежуточную камеру (рис. 80).

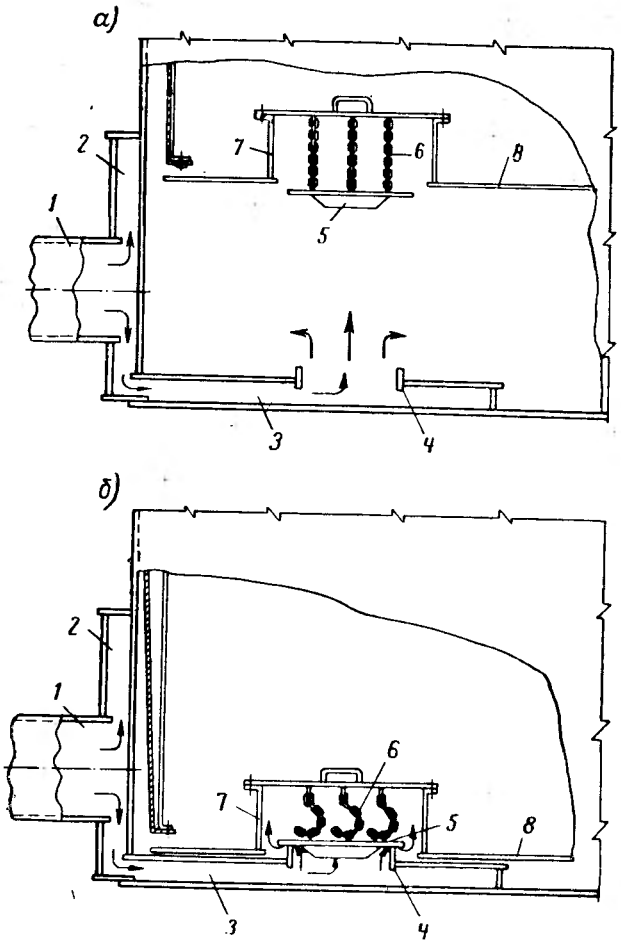


Рис. 80. Газовый ввод сбоку через промежуточную камеру (стрелками показан путь газа)

а — шайба в верхнем положении; *б* — шайба в нижнем положении; *1* — газоввод; *2* — наружная промежуточная камера; *3* — внутренняя промежуточная камера; *4* — патрубок газоввода; *5* — крышка-отсекатель; *6* — цепи для подвески крышки-отсекателя; *7* — люк шайбы; *8*—шайба

3. Шайба газгольдера

Шайба представляет собой подвижной элемент сухого газгольдера, имеющий вид стакана. Она состоит из днища, несущего каркаса днища, несущего каркаса стенки и защитной (или предохранительной) стенки.

Стальное днище шайбы изготовляют из рулонной заготовки, состоящей из двух половинок. Толщина листов днища равна 5 *мм*. Листы сварены в стык как по коротким, так и по длинным сторонам. Перед составлением полотнища листы строгают на кромкострогальных станках. Качество сварных швов днища должно быть тщательно проверено, так как днище шайбы является особо ответственным элементом газгольдера и должно быть герметичным.

Несущий каркас днища шайбы состоит из радиально расположенных прокатных двутавровых балок, приваренных к листам днища. Балки сходятся в середине днища на специальном опорном барабане, используемом в качестве люка при осмотре конструкций под шайбой во время ремонтов. В тангенциальном направлении балки связывают распорками из уголков.

На радиальных балках располагают кольцевые площадки из двух гнутых уголков, на которых устанавливают бетонные грузы. В зависимости от емкости газгольдера и необходимого количества грузов кольцевых площадок может быть от одной до трех. Они располагаются концентрически на заданных расстояниях как одна от другой, так и от центра днища шайбы.

По периметру днища шайбы приварен кольцевой уголок, к которому крепят на болтах, проклейках и прокладках нижнюю часть гибкой секции из прорезиненной ткани (рис. 81).

Цилиндрическая защитная стенка шайбы служит опорной плоскостью, на которую опирается гибкая секция при наполнении газгольдера газом. Давление от защитной стенки передается на стойки вертикального несущего каркаса шайбы. На верху стоек предусматривается кольцевая площадка, работающая как сжатое кольцо. На кольцевой площадке размещают ролики выравнивающей системы, обеспечивающие вместе со стальными канатами постоянное горизонтальное положение шайбы.

Вертикальный несущий каркас шайбы включает стойки из прокатных двутавров и горизонтальные кольца из гнутых уголков, на которые через специальные болты опирается защитная стенка шайбы. Эту стенку выполняют из листов толщиной 3 *мм*; она служит опорной плоскостью для гибкой секции из прорезиненной ткани, прижатой к ней давлением газа. Таким образом прорезиненная ткань предохраняется от разрывов и повреждений, которые могут возникнуть при соприкосновении с острыми гранями прокатных профилей несущего каркаса шайбы.

Предохранительная защитная стенка состоит из отдельных щитов. Каждый щит представляет собой плоскость, состоящую из двух листов толщиной 3 *мм*, сваренных между собой. Щиты крепят на уголках несущего каркаса шайбы специальными болтами, регулируя которые при установке щитов вертикальной защитной стенке придают цилиндрическое очертание.

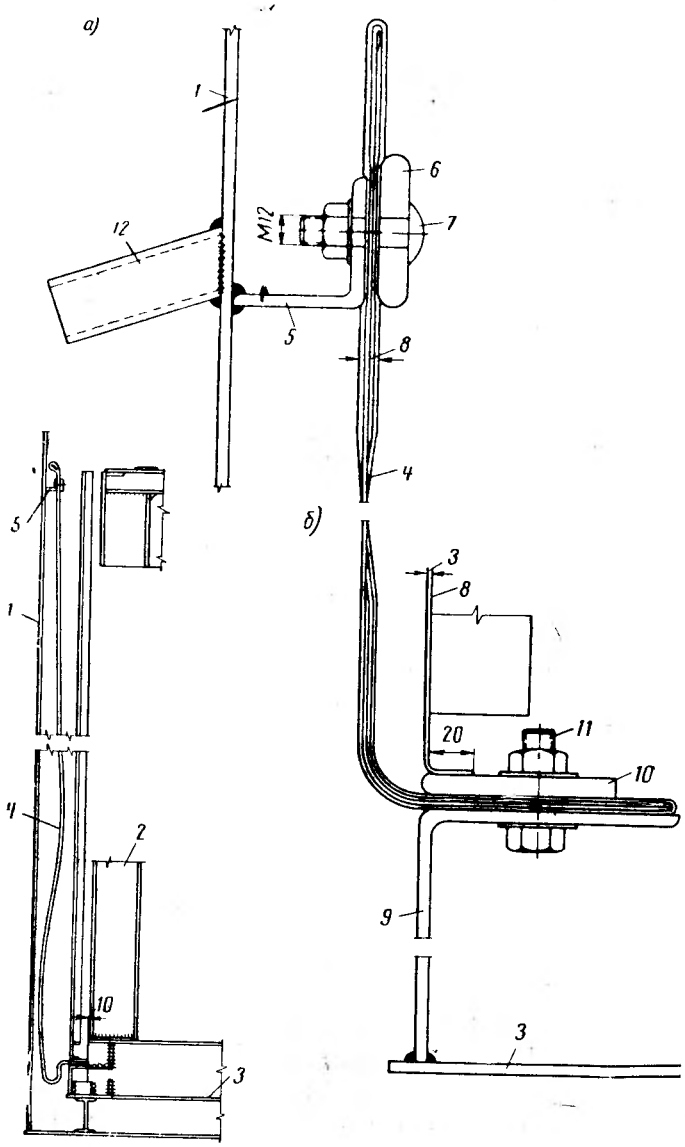


Рис. 81. Узлы крепления гибкой секции

а — узел *1*; *б* — узел *2*; *1* — резервуар; *2* — шайба; *3* — днище шайбы; *4* — гибкая секция из прорезиненной ткани; *5* — уголок крепления к стенке резервуара; *6* — прижимная планка; *7* — стяжной болт верхнего крепления; *8* — защитная стенка; *9* — уголок крепления к шайбе; *10* — прижимная планка; *11* — стяжной болт нижнего крепления; *12* — штуцер для спуска конденсата

Выравнивающее устройство шайбы состоит из 6—8 парных роликов (рис. 82) (для сухих газгольдеров до 10 000 $м^3$) и 6—8 канатов. Система выравнивания включает 3—4 отдельные самостоятельные системы, в каждую из которых входят 2 комплек-

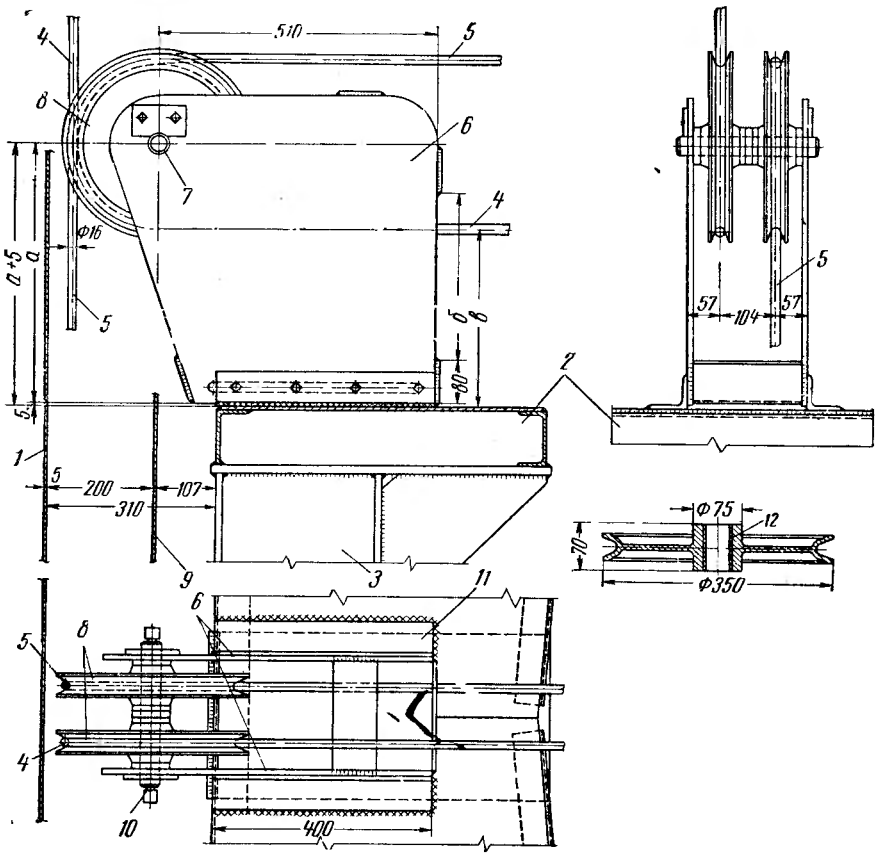


Рис. 82. Комплект роликов выравнивающей системы

1 — стенка резервуара; *2* — верхняя площадка шайбы; *3* — шайба; *4* — трос одного направления; *5* — трос другого направления; *6* — опорные щеки комплекта; *7* — вал; *8*—ролик; *9* — защитная оболочка поршня; *10* — масленка; *11* — уголок; *12* — бронзовая втулка

та парных роликов и 2 стальных каната. Канаты имеют два закрепления: верхнее и нижнее — снаружи резервуара. Для верхнего закрепления на крыше устроена специальная коробка с люком, в которой помещены натяжная пружина, опорная плита и сжимы. Нижнее закрепление каната производится снаружи резервуара, для чего канат выводят наружу через специальное отверстие в стенке резервуара и закрепляют к специальному устройству, состоящему из неподвижной оси и сжимов.

Натяжение канатов считается достаточным, если прогиб их между роликами не превышает 75 *мм*. Регулируют натяжение на нижнем закреплении.

Во время эксплуатации газгольдера необходимо следить, чтобы канаты были постоянно густо смазаны тавотом (во избежание искрения при трении о ролики).

4. Гибкая секция из прорезиненной ткани

Гибкую секцию сухого газгольдера специального типа изготовляют из специальной прорезиненной ткани на специализированном заводе, она имеет вид готовой цилиндрической оболочки-манжеты. Тщательно упакованную в ящики готовую оболочку-манжету доставляют на монтажную площадку (рис. 83).

К прорезиненной ткани, из которой изготовляют гибкую секцию (мембрану), предъявляется ряд требований:

газонепроницаемость не свыше 0,01 $см^3/см^2$ при давлении 400 *мм вод. ст.* в течение суток;

водонепроницаемость (допустимый пропуск влаги снаружи при разности давления 100 *мм вод. ст.* не свыше 0,002 $см^3/см^2$ в течение суток);

стойкость против чистого этилена (C_2H_4) при $t = \pm 50°C$;

гибкость при морозе до —50°С;

возможность соединения отдельных полотнищ холодной склейкой;

сворачивание и разворачивание без образования трещин (20 перемен в сутки в течение 5 лет, радиус гиба —100 *мм*);

стойкость против истирания;

толщина материала не должна превышать 6 *мм*;

ткань должна иметь кордную или капроновую основу;

прочность ткани на разрыв не должна быть меньше 100 *кГ/пог : см*.

Для изготовления прорезиненной ткани обычно применяется ткань из капроновых ниток со слоями бутила или наирит-каучука с обеих сторон ткани. Слои каучука впрессовывают в ткань способом горячей прокатки ткани сквозь валы каландра. Обычно с увеличением толщины ткани ухудшается ее эластичность и появляется опасность расслоения при многократных перегибах. Наиболее употребительна прорезиненная ткань толщиной около 2—2,5 *мм*. Торговая ширина полотнища прорезиненной ткани обычно не превышает 1000 *мм*, и для получения целой манжеты отдельные полотнища необходимо соединять между собой четырьмя-пятью машинными швами; прошивать надо капроновыми нитками, смоченными мыльным раствором. Перед прошивкой на соприкасающихся участках ткани создают шероховатую поверхность, после чего производят предварительную склейку стыка ткани специальным клеем. Стыки полотнищ обклеивают снаружи тонкими резиновыми лентами, прессуют и вулканизируют.

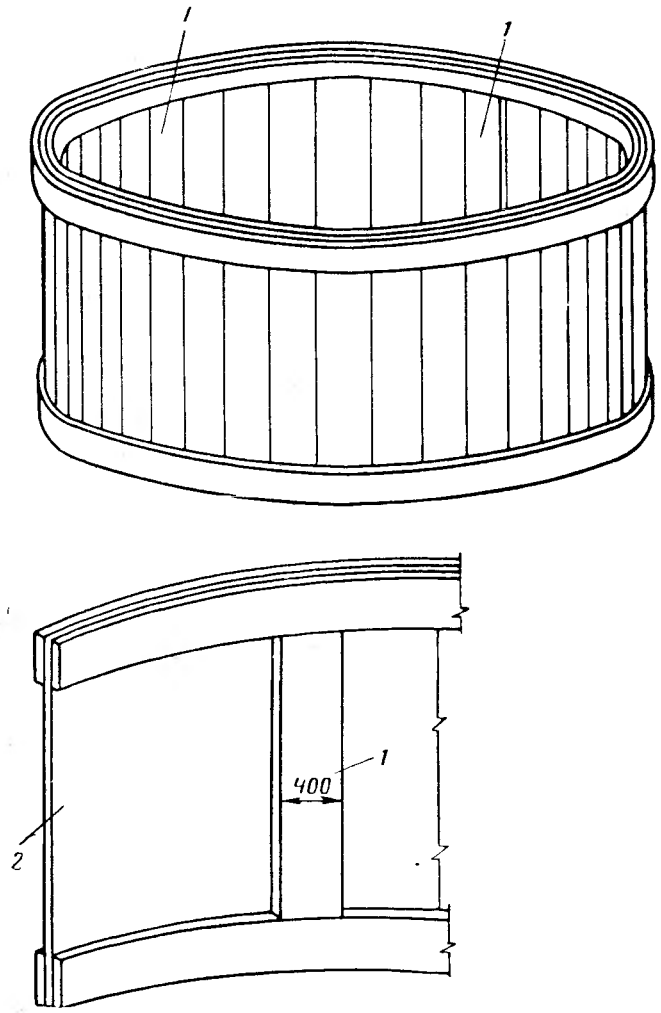


Рис. 83. Общий вид готовой секции из прорезиненной ткани

1 — предохранительная полоса; *2* — внутренняя сторона цилиндрической заготовки; предохранительная полоса приклеивается с внутренней стороны заводской цилиндрической заготовки

Цилиндрическая оболочка имеет по верхнему и нижнему периметру отбортовку, которая делается сгибом полотнищ, накладкой дополнительной полосы склейки и последующей прессовкой и вулканизацией. Полученная утолщенная часть, присоединяясь к стальным конструкциям газгольдера на болтах, сжимается соединительными накладками и создает нужное уплотнение.

При монтаже цилиндрическую оболочку-манжету вывешивают по всему периметру внутренней стенки резервуара на стальных канатах, пропущенных с крыши через специальные отверстия. После этого подгоняют верхнюю часть оболочки к кольцевому крепежному уголку резервуара и закрепляют, прижимая специальной планкой и болтами.

Закрепив верхнюю часть цилиндрической оболочки гибкой секции, производят закрепление нижней части оболочки к нижнему кольцевому уголку на днище шайбы, подгонку соединения ткани к стальным конструкциям, пробивку дыр в резиновой оболочке и закрепление ее на болты через прижимную планку. Соприкасающиеся участки оболочки и стальных конструкций промазывают клеем и прокладывают для уплотнения полосками сырой резины.

Заполнение газгольдера газом регулируется газосбросной системой, которая представляет собой стояк, проходящий снаружи газгольдера и соединенный внизу с трубопроводом газового ввода, а вверху — с камерой газового сброса. Выходное отверстие камеры газового сброса постоянно закрыто клапаном, который прижимает контргруз, помещенный на конце газосбросного штока. Если в газгольдер вводится лишний объем газа, то шайба, поднимаясь выше предельного положения, толкает газосбросный шток, который открывает клапан в газосбросной коробке и излишний газ выбрасывается в атмосферу. Длина штока газосброса регулируется исходя из условий принятой системы управления газовым вводом (автоматическое, полуавтоматическое или ручное управление).

5. Определение геометрических размеров сухого газгольдера

Определять параметры сухого газгольдера как в части размеров отдельных элементов, так и всего газгольдера в целом необходимо в определенной последовательности.

Высоту резервуара назначают с учетом опыта проектирования типовых газгольдеров путем изменения соотношений высоты и диаметра сооружения. Для газгольдеров больших емкостей необходимо учитывать возможность изготовления полотнища стенки резервуара предполагаемой высоты на рулонной установке, а также возможную максимальную высоту гибкой секции, которая может быть изготовлена на заводе (рис. 84).

Расположение мест закрепления гибкой секции по отношению к низу и верху шайбы определяют конструктивным путем. Необходимо определить высоту закрепления гибкой секции над днищем шайбы a и высоту закрепления гибкой секции к стенке резервуара b (по отношению к верху шайбы), а также положение верха шайбы от верха стенки корпуса $h_б$.

Далее определяют составную часть высоты шайбы x:

$$x = \frac{H - h_6 - l_1 - a - b}{3},$$

где l_1 — высота подкладных опорных балок под шайбой.

Высота шайбы

$$h_ш = x + a + b.$$

Расстояние между верхним и нижним положениями шайбы

$$h_1 = x - a - b.$$

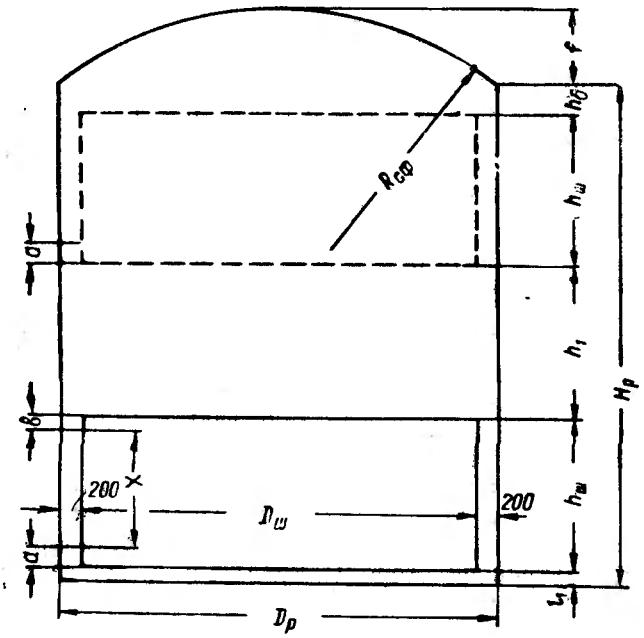


Рис. 84. Геометрическая схема сухого газгольдера с гибкой секцией

Высота газового пространства

$$H_{г.п} = h_ш + h_1.$$

Диаметр резервуара газгольдера

$$D = \sqrt{\frac{4V}{\pi H_{г.п}}},$$

где V — заданный номинальный объем газгольдера в $м^3$.

6. Статический расчет оболочки корпуса и элементов конструкций сухого газгольдера специального типа

Оболочка резервуара работает на 3 вида нагрузок:

а) в зоне газового пространства, составляющего приблизительно 70% всей высоты стенки снизу, оболочка работает на растяжение от давления газа на внутреннюю стенку резервуара;

б) стенка работает на вертикальные нагрузки (реакции от опирающихся на стенку стропил, передающих давление от снега, от веса оборудования, расположенного на кровле, от полезной нагрузки на кольцевой площадке на крыше и площадке обслуживания и от ветра на кровлю);

в) стенка работает на горизонтальные нагрузки от давления ветра на стенку резервуара.

Усилия в оболочке от внутреннего давления газа проверяются по формуле

$$R\varphi \geqslant \frac{npr}{\delta m}; \quad \delta = \frac{pr}{R\varphi m},$$

где p — рабочее давление газа в $кГ/см^2$;
r — радиус резервуара в $см$;
δ — толщина листов стенки в $см$;
R — расчетное сопротивление в $кГ/см^2$;
φ — коэффициент прочности шва;
m — коэффициент условия работы ($m=0{,}9$);
n — коэффициент перегрузки (для газа $n=1{,}2$).

В типовых сухих газгольдерах емкостью до 10 000 $м^3$ толщина оболочки принята постоянной и равна 5 $мм$. На кровлю сухого газгольдера воздействуют нагрузки: от собственного веса кровли, от снега, от давления ветра и от веса оборудования. Давление с внутренней стороны кровли в сухих газгольдерах отсутствует. Кровлю рассчитывают аналогично кровле мокрых газгольдеров в части вертикальных нагрузок сверху; аналогично рассчитывают и уторную систему кровли, состоящую из уторного уголка и толстолистовой окрайки кровли, работающих на усилия распора от арок (двутавров, гнутых по радиусу круга).

7. Расчет конструкций шайбы сухого газгольдера

Шайба имеет несущий каркас вертикальной цилиндрической стенки и несущий каркас днища.

Основной нагрузкой на несущий каркас стенки и днища шайбы является давление газа и собственный вес, а для днища также вес грузов (рис. 85). Несущая конструкция защитной стенки представляет собой цилиндрическую стенку из отдельных вертикальных щитов, прикрепленных к несущим уголкам каркаса стенки специальными опорными болтами. Болты располагают

в горизонтальной плоскости на расстоянии около 500 *мм*, а в вертикальной плоскости — на расстоянии 700—1 000 *мм* один от другого (что соответствует шагу кольцевых ригелей-уголков по вертикали).

На защитную стенку давление газа передает гибкая секция, которая прижимается к поверхности защитной стенки.

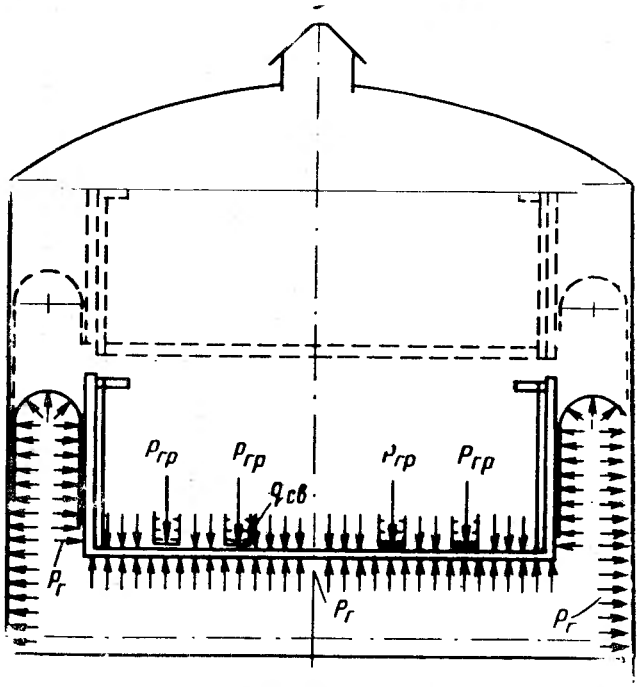


Рис. 85. Схема нагрузок на шайбу сухого газгольдера с гибкой секцией

Часть нагрузки от давления газа воспринимается как сжимающее усилие в цилиндрической стенке, составленной из отдельных соединенных между собой болтами щитов, а часть нагрузки передается на специальные опорные болты, которые передают их на уголки несущего каркаса стенки, прикрепленные к стойкам несущего каркаса шайбы (см. рис. 76). Практически форма защитной стенки может оказаться не цилиндрической и, следовательно, давление газа на стенку будет передаваться на радиальные опорные болты полностью со всей грузовой площадки, приходящейся на каждый болт. Ввиду равномерного расположения опорных болтов нагрузки на кольцевой ригель из уголка, гнутого по радиусу шайбы и представляющего собой двухшарнирную арку, можно принимать в виде равномерно распределенной нагрузки (рис. 86).

Распор арки

$$H = \frac{M_б}{f} = \frac{ql^2}{8f};$$

$$M_k = M_{kб} - Hy;$$

$$H_k = Q_{kб} \sin\varphi + H\cos\varphi;$$

$$Q_k = Q_{kб} \cos\varphi - H\sin\varphi,$$

где M_k, N_k, Q_k — момент, нормальная сила и перерезывающая сила в точке k арки;

$M_{kб}$ и $Q_{kб}$ — момент, нормальная сила и перерезывающая сила в точке k простой балки;

q — давление газа в *кГ/пог. м* арки.

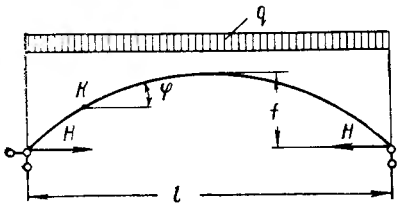


Рис. 86. Расчетная схема кольцевого ригеля каркаса шайбы сухого газгольдера с гибкой секцией

Несущий каркас днища шайбы рассчитывают в предположении, что весь диск шайбы опирается по периметру на несущий каркас вертикальной стенки, и рассчитывают балку, имеющую равный диаметру шайбы пролет. Нагрузкой снизу является давление газа, сверху — нагрузка от собственного веса (вес радиальных балок, тангенциальных распорок и листа днища шайбы) и нагрузка от грузов специальной пригрузки, расположенной внутри шайбы (общий вес пригрузки должен быть определен заранее приближенным способом, с последующей корректировкой). Положение грузов (они лежат по концентрическим окружностям) необходимо варьировать, так как, при некоторых положениях грузов (сдвигая их к середине в пределах возможной высоты штабеля из грузов), можно добиться уменьшения изгибающего момента в радиальных балках шайбы.

Пример расчетной схемы и эпюры моментов для радиальной балки шайбы сухого газгольдера емкостью 5000 $м^3$ — на рис. 87.

При определении сечения радиальной балки из двутавра необходимо включить в состав сечения балки лист днища шириной 15δ по обе стороны от края нижних полок двутавра.

8. Расчет гибкой секции

Гибкая секция является наиболее ответственным элементом сухого газгольдера (рис. 88). На прочность гибкой секции из прорезиненной ткани влияет много факторов: неоднородность материала ткани, ослабление в монтажных стыках, местное

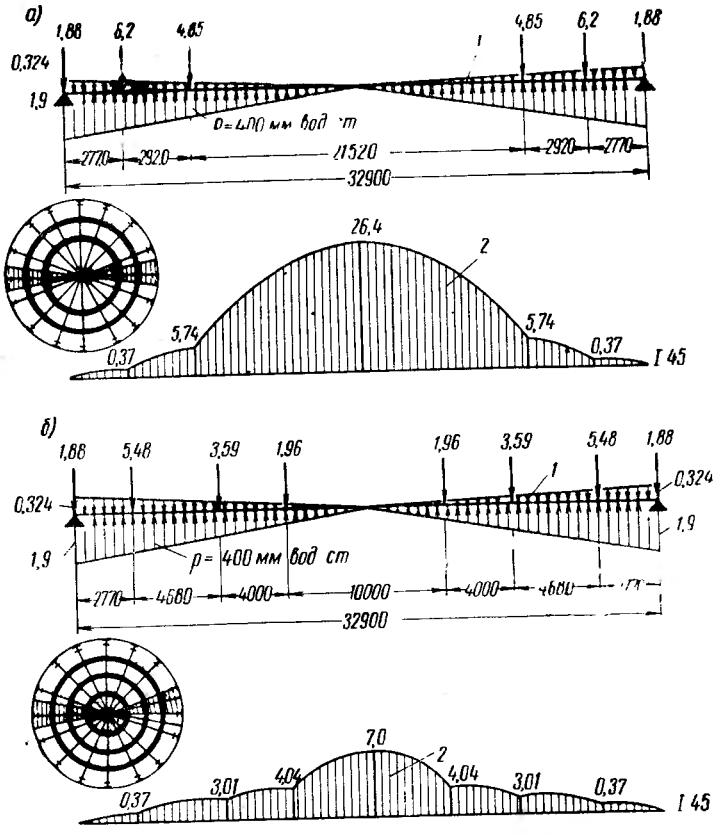


Рис. 87. Расчетная схема балок днища сухого газгольдера с гибкой секцией

а — при двух грузовых кольцах; *б* — при трех грузовых кольцах; *1* — расположение грузов (*т*); *2* — эпюра моментов (*т/м*)

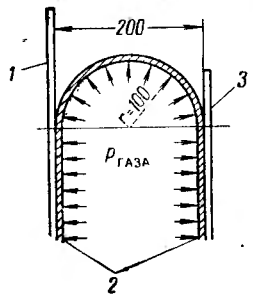


Рис. 88. Схема нагрузок на гибкую секцию сухого газгольдера

1 — резервуар; *2* — гибкая секция; *3* — стенка шайбы

истирание ткани, разная толщина по всей площади полотнища, влияние низких температур окружающего воздуха и др. Это делает необходимым принимать большие запасы прочности ткани на растяжения. Расчет ткани производится по формуле

$$\sigma = \frac{pr}{\delta} \cdot \frac{n}{m},$$

где δ — толщина ткани (для конкретного примера 2 *мм*=0,2 *см*);
p — давление газа (400 *мм вод. ст.*=0,04 *кГ/см*^{2});
r — радиус гиба ткани (10 *см*);
n — коэффициент перегрузки (5);
m — коэффициент условия работы (0,1).

При этих численных значениях

$$\sigma = \frac{0{,}04 \cdot 10}{0{,}2} \cdot \frac{5}{0{,}1} = 100 \text{ кГ/см}^2.$$

При заказе прорезиненной ткани для гибкой секции оговаривают прочность ткани на разрыв до 100 *кГ/см*^{2}.

9. Оборудование сухого газгольдера с гибкой секцией

Сухие газгольдеры с гибкой секцией, в зависимости от назначения в технологической цепи предприятия, могут иметь различные назначения.

Если газгольдер подключен на тупик газа, он имеет один газоввод и тогда через газгольдер проходит такое количество газа, которое лишь компенсирует разность между выработкой и потреблением в данный момент.

Газгольдер может быть подключен на проход газа; в таком случае делаются два газоввода. Газгольдер может выполнять роль смесителя и тогда количество газовых вводов тоже не менее двух (рис. 89).

Диаметры газовых вводов принимаются из условия минимальных потерь давления газа в газовом вводе, которое не должно превышать 30—50 *мм вод. ст.* При определении величины диаметра трубопровода учитывается время, за которое может быть наполнен или опорожнен газгольдер, при максимальной скорости движения шайбы 1 *м/мин*. В зависимости от этого определяется скорость движения газов, достигающая при средней пропускной способности сухих газгольдеров емкостью от 100 до 10 000 *м*^{3} от 3,6 до 21,5 *м/сек*, а при предельной пропускной способности газгольдера — от 16,7 до 28,9 *м/сек*.

Существуют два варианта ввода газа в сухой газгольдер.

Вариант 1. Газовый ввод снизу через днище резервуара. В этом случае газ вводится по газопроводу с эстакады, через крышу кирпичной будки, затем опускается в бетонный приямок и по внутреннему (подземному) приямку входит снизу, через днище резервуара, в газовое пространство газгольдера.

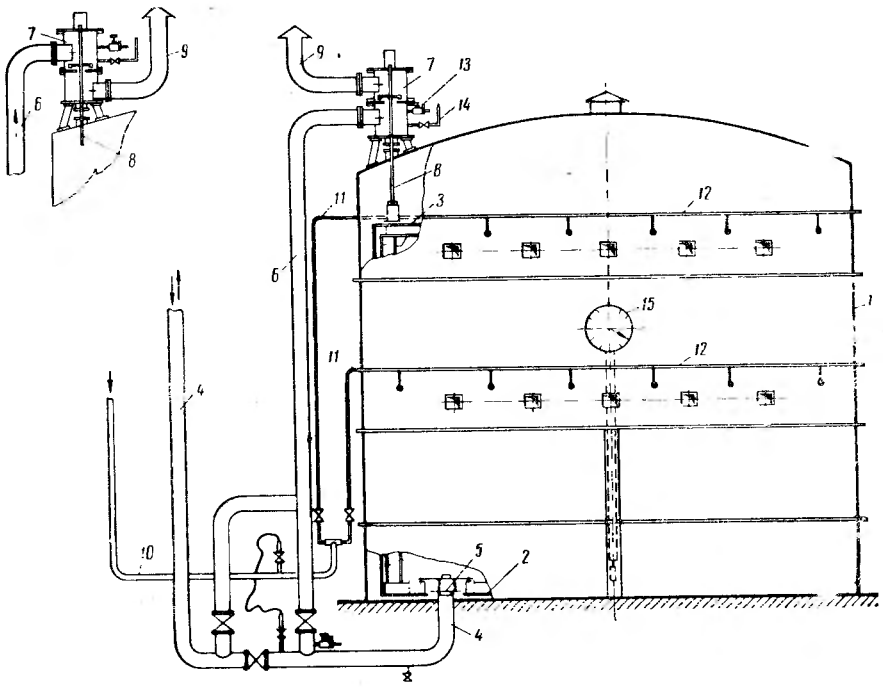


Рис. 89. Схема оборудования сухого газгольдера

1 — резервуар; *2* — низ шайбы (в нижнем положении); *3* — верх шайбы (в верхнем положении); *4* — газоввод; *5* — отсекающая крышка газоввода; *6* — стояк газосброса; *7* — клапанная коробка газосброса; *8* — шток газосброса; *9* — свеча газосброса; *10* — трубопровод инертного газа; *11* — разводные трубы инертного газа; *12* — кольцевой трубопровод инертного газа; *13* — труба отбора проб; *14* — труба для продувки; *15* — указатель объема

Вариант 2. Газопровод вводится сбоку через стенку корпуса резервуара, через две промежуточные камеры: наружную и внутреннюю. При данном варианте нет надобности в сооружении будки и приямков; строится лишь обслуживающая площадка.

Вариант 2 является наиболее экономичным, однако выбор варианта газового ввода решается технологами в зависимости от физических особенностей газа и местных условий.

В камерах газового ввода (при газовводе снизу) или на площадке обслуживания (при газовводе сбоку) сосредоточивается все хозяйство по управлению газгольдером (располагаются задвижки газоввода и системы управления предохранительными устройствами).

К предохранительным устройствам в сухом газгольдере относятся:

а) автоматическое устройство для выброса газа в атмосферу при переполнении газгольдера;

б) автоматическое устройство для отключения газгольдера от сети отбора газа;

в) объемоуказатель и сигнализация положения шайбы газгольдера, блокировка компрессорных машин и отключение газгольдера от сети отбора газа при предкрайнем нижнем положении;

г) подвод инертного газа в надшайбенное пространство, в случае загазованности зоны сверх допустимой нормы;

д) пожарная сигнализация и телефонная связь;

е) грозозащита и огнепредохранительные сетки на трубах выброса газа в атмосферу;

ж) наружное освещение и ограждение.

Инертный газ (азот, углекислота и др.) подводится через кольцевой газопровод, расположенный снаружи в верхней части корпуса и имеющий радиальные вводы в виде патрубков, пропускающих газ внутрь корпуса в надшайбенную зону.

При управлении газовыми вводами устанавливается 5 ступеней наполнения сухого газгольдера газом:

1-я ступень «минимум»	0—10%	полезного	объема
2-я ступень «предминимум» . .	10—20%	»	»
3-я ступень «нормально» . . .	20—80%	»	»
4-я ступень «предмаксимум» .	80—90%	»	»
5-я ступень «максимум» . . .	90—100%	»	»

Газ нагнетается в газгольдер компрессорами. В случае когда газ (например, этиленовый) имеет высокую концентрацию чистоты, смазка компрессоров обычными машинными маслами заменяется смазкой глицерином.

10. Перспективы развития сухих газгольдеров с гибкой секцией

Существующая конструкция сухих газгольдеров с гибкой секцией может быть значительно улучшена и приспособлена к требованиям химической промышленности.

В сухих газгольдерах специального типа рабочее давление газа можно поднять значительно выше, чем принимаемое сейчас (400 *мм вод. ст.*). Чтобы увеличить давление до 1000 *мм вод. ст.*, необходимо увеличить вес пригрузок на шайбе, что легко выполнить, уложив нужное количество бетонных грузов внутри шайбы и увеличив сечение радиальных балок днища шайбы. Можно идти и по пути снижения количества грузов; в этом случае необходимо уменьшить диаметр резервуара и, следовательно, площадь днища шайбы, на которую воздействует давление газа. Уменьшение диаметра резервуара приводит к увеличению его высоты.

Другой путь — выполнение днища шайбы в виде железобетонного диска (принимая для каркаса и защитной оболочки вертикальной цилиндрической стенки стальные конструкции).

Наибольшая емкость типового сухого газгольдера специального типа принята равной 10 000 $м^3$, в то время как можно строить газгольдеры этого типа значительно большей емкости.

Увеличение емкости газгольдера ограничивается высотой стенки резервуара. На рулонных установках может быть изготовлено полотнище стенки высотой до 18 000 *мм*, в недалеком будущем будут рулонироваться стенки высотой до 24 000 *мм*, так как для емкостей, превышающих 20 000 $м^3$, потребуется значительно бо́льшая высота.

Конструкция сухих газгольдеров также может быть улучшена в результате увеличения газовой зоны газгольдера. Так, например, возможно сделать не одну шайбу, а предусмотреть дополнительную выдвижную телескопическую шайбу.

Вместо шайбы возможно применить мягкую оболочку, способную легко изменять свою форму и тем самым емкость газгольдера.

Сухой газгольдер и его новые формы — большое поле для изобретательской мысли. Несомненно, будущие конструкции сухого газгольдера окажутся более совершенными.

Глава IV

Материал стальных конструкций газгольдеров низкого давления

§ 1. ВЫБОР МАРОК СТАЛЕЙ И УСЛОВИЙ ИХ ПОСТАВКИ

При выборе марок сталей и назначении условий их поставки следует учитывать ряд факторов, в известной мере предопределяющих требования, которым должен удовлетворять материал конструкций газгольдеров.

Газы, хранимые в газгольдерах, нередко агрессивны по отношению к стали; они вызывают коррозию металла, особенно при некоторой влажности, что неизбежно в мокрых газгольдерах. Необходимо также обеспечивать герметичность газгольдера, так как просачивание газа сквозь соединения листов оболочки, помимо утечки нередко дорогого газа, может повлечь за собой его воспламенение и взрыв. Кроме того, газгольдеры могут строиться в районах с суровым климатом, причем расчетная температура может опускаться ниже —40°С*.

Оболочки газгольдеров являются ответственными листовыми конструкциями и должны изготовляться из стали, которая должна иметь:

достаточно высокие прочностные характеристики (временное сопротивление, предел текучести, относительное удлинение и др.);

химический состав, обеспечивающий надежную свариваемость (табл. 21);

хорошую сопротивляемость хрупкому разрушению при низких температурах (низкое значение температуры порога хладноломкости).

Этим требованиям вполне удовлетворяет малоуглеродистая мартеновская сталь ВСт. 3 для сварных конструкций, поставляемая по подгруппе В ГОСТ 380—60. В зависимости от степени раскисления эта сталь может быть спокойной, полуспокойной или кипящей.

Выбор степени раскисления стали зависит в основном от толщины листов применяемой стали. Установлено, что порог

---

* В строительных нормах и правилах СНиП II-А.6-62 «Строительная климатология и геофизика» приведены климатические характеристики различных районов страны. Для газгольдеров расчетной принимается средняя температура наиболее холодных суток в месте строительства газгольдера или ближайшего к нему пункта метеорологических наблюдений.

хладноломкости толстолистовой кипящей стали может лежать в пределах относительно высоких температур, тогда как спокойная сталь той же толщины имеет порог хладноломкости, расположенный в зоне значительно более низких температур. В то же время листовая сталь толщиной до 4—5 *мм* даже кипящей выплавки имеет удовлетворительные показатели хладноломкости.

Таблица 21

Влияние химических элементов на свойства стали

Элемент	Временное сопротивление	Предел текучести	Относительное удлинение	Ударная вязкость	Свариваемость	Коррозийная стойкость	Хладноломкость
Углерод	++	+	— —	—	—	0	0
Кремний	+	+	—	— —	—	—	0
Сера	—	—	0	—	0	0	0
Фосфор	++	+	— —	— —	—	+	++
Марганец	+	+	—	+	0	+	0
Никель	+	+	0	+	0	+	0
Хром	+	+	0	+	0	+	0
Ванадий	+	+	—	0	+	+	0
Молибден	+	+	—	0	+	+	0
Титан	+	+	0	—	+	0	0
Алюминий	0	0	0	—	0	0	0
Медь	0	0	0	0	0	++	0

Обозначения: ++ сильно увеличивает;
+ увеличивает;
— — сильно уменьшает;
— уменьшает;
0 не оказывает заметного влияния.

На основе этих соображений можно рекомендовать назначение следующих условий поставки листовой стали, предназначенной для изготовления конструкций газгольдеров:

а) кипящая сталь — «Сталь ВСт. 3кп для сварных конструкций по ГОСТ 380—60 с дополнительными гарантиями загиба в холодном состоянии, согласно п. 19*д*, и предельного содержания химических элементов, согласно пп. 15 и 16 ГОСТ 380—60» — для газгольдеров емкостью не более 700 $м^3$, эксплуатируемых при температуре —30°С и выше;

б) спокойная сталь — «Сталь ВСт.3 для сварных конструкций по ГОСТ 380—60 с дополнительными гарантиями загиба в холодном состоянии, согласно п. 19*д*, и предельного содержания химических элементов, согласно пп. 15 и 16 ГОСТ 380—60»— для газгольдеров емкостью более 700 $м^3$, эксплуатируемых при температуре до —40°С и для газгольдеров емкостью не более 700 $м^3$, эксплуатируемых при температуре от —30 до —40°С.

В тех случаях когда толщина листовой стали не превышает 12 *мм*, следует рекомендовать сталь: «Ст. 3 по ЧМТУ 5232—55

Таблица 22

Характеристики марок стали, используемых для конструкций газгольдеров, по химическому составу и механическим свойствам

Наименование марок и стали	Химический состав					Предел текучести в *кГ/мм²*	Временное сопротивление в *кГ/мм²*	Относительное удлинение в %		Примечания
	углерод	кремний	марганец	фосфор	сера			δ_{10}	δ_5	
Мартеновская Ст. 0	0,23	Сталь по ГОСТ 380—60 —	—	0,07	0,06	—	32	18	22	
Мартеновская Ст. 3 кипящая	0,14—0,22	Не более 0,07	0,3—0,6	0,045	0,055	24	38—40	23	27	Сортовая сталь толщиной до 40 *мм*
Мартеновская Ст. 3 полуспокойная	0,14—0,22	0,17	0,3—0,6	0,045	0,055	22	41—43	22	26	Фасонная сталь до 15 *мм*
						21	44—47	21	25	Листовая сталь от 4 до 20 *мм*
Мартеновская Ст. 3 спокойная	0,14—0,22	0,12—0,3	0,4—0,65	0,045	0,055	24	38—40	23	27	Сортовая сталь толщиной до 40 *мм*
						23	41—43	22	26	Фасонная сталь до 15 *мм*
						22	44—47	21	25	Листовая сталь от 4 до 20 *мм*

Продолжение табл. 22

Наименование марок и стали	Химический состав					Предел текучести в *кГ/мм²*	Временное сопротивление в *кГ/мм²*	Относительное удлинение в %		Примечания
	углерод	кремний	марганец	фосфор	сера			δ_{10}	δ_5	
		Сталь по ГОСТ 5520—62								
09Г2С	⩽0,12	0,5—0,8	1,3—1,7	0,04	0,04	35	50	22	18	При толщине 4—10
						33	48	22	18	« « 11—18
						32	48	22	18	« « 19—24
		Сталь по ЧМТУ 5232—55								
Для вертикальных резервуаров	0,20	0,12—0,25	—0,4 —0,7	0,04	0,045	23	—	22	26	При толщиие до 12 *мм*

Материал конструкций газгольдеров

Емкость газгольдера в $м^3$	При расчетной температуре до —30°С				При расчетной
	стенки резервуаров, телескопов, колокола, днище резервуаров, люки	настил кровли и обшивка стенок из тонких листов	несущие конструкции кровли, стойки, вертикальные направляющие (шайбы)	лестницы и ограждения	стенки резервуаров, телескопов, колокола, днище резервуаров, люки
До 100 $м^3$	ГОСТ 380—60 ВСт. 3 кп	ГОСТ 380—60 ВСт. 3кп	ГОСТ 380—60 ВСт. 3кп	ГОСТ 380—60 ВСт. 3кп	ГОСТ 380—60 ВСт. 3спок. или по ЧМТУ 5232—55
От 100 до 600 $м^3$	ВСт. 3кп или ВСт. 3пс	МСт. 3кп	ВСт. 3кп	ВСт. 3кп	То же
От 1 000 до 6 000 $м^3$	ВСт. 3 (спокойная) или по ЧМТУ 5232—55	То же	ВСт. 3кп или ВСт.3пс	То же	»
Свыше 6 000 $м^3$	То же	»	То же	»	ВСт. 3спок. или по ЧМТУ 5232—55, или низколегированная

улучшенная, раскисленная», которая может успешно применяться в районах с расчетной температурой до —40°С.

Листовую сталь толщиной менее 4 *мм* следует заказывать с гарантированными характеристиками по химическому составу (по группе Б): «МСт3кп для сварных конструкций по группе Б ГОСТ 380—60».

При строительстве газгольдеров в районах с расчетной температурой ниже —40°С оказывается целесообразным применение для листовых конструкций низколегированной стали.

Возможно также применение низколегированных сталей и по конструктивным соображениям, причем в этом случае необходимо обосновать решение технико-экономическим подсчетом. Так, например, низколегированная сталь может быть применена в тех случаях, когда толщина листов малоуглеродистой ста-

Таблица 23

низкого давления

температуре ниже 30—до—40°С			При расчетной температуре ниже —40°С			
настил кровли и обшивка стенок из тонких листов	несущие конструкции кровли, вертикальные направляющие (шайбы)	лестницы и ограждения	стенки резервуаров, телескопов, колокола, днище резервуаров	настил кровли и обшивка стенок из тонких листов (шайбы)	несущие конструкции кровли, стойки вертикальные направляющие	лестницы и ограждения
ГОСТ 3860—60 МСт. 3кп.	ГОСТ 380—60 ВСт. 3пс.	ГОСТ 380—60 ВСт. 3кп	Сталь по ЧМТУ 5232—55 или низколегированная	ГОСТ 380—60 ВСт. 3сп	Низколегированная сталь	ГОСТ 380—60 ВСт. 3пс
То же	ВСт. 3пс	То же	То же	То же	То же	То же
МСт. 3кп	То же	»	»	»	»	»
МСт. 3кп или МСт. 3пс	ВСт. 3пс или ВСт. 3 (спокойная)	»	»	»	»	»

ли оказывается по расчету большей, чем может быть допущена при рулонировании (16 *мм*).

Среди марок низколегированной стали, выплавляемой отечественной металлургией, в газгольдеростроении находят применение: 10Г2С1 по ЧМТУ/ЦНИИЧМ 546—61, 10Г2С1 (МК) по ГОСТ 5520—62, 10Г2СД(МК) по ГОСТ 5058—57 и 09Г2С(М) по ГОСТ 5520—62.

Эти стали обладают повышенными характеристиками и, как правило, низким значением порога хладноломкости, что позволяет применять их при эксплуатационных температурах ниже —40°С. Особо низкий порог хладноломкости (около —70°С) характерен для сталей марок 09Г2С(М) по ГОСТ 5520—62 и 10Г2С1(МК) по ГОСТ 5520—62. При заказе низколегированной стали для изготовления газгольдеров, предназначенных для

эксплуатации при низких температурах, необходимо предусматривать дополнительные гарантии ударной вязкости при отрицательной температуре (—40 или —70°С).

Для элементов несущих конструкций газгольдеров, выполняемых из сортового или фасонного проката, обычно применяется: «ВСт.3пс для сварных конструкций по ГОСТ 380—60 с дополнительными гарантиями загиба в холодном состоянии, согласно п. 19*д*, и предельного содержания химических элементов, согласно пп. 15 и 16 ГОСТ 380—60».

Для изготовления вспомогательных конструкций (лестницы, площадки, ограждения и др.) целесообразно применять: «ВСт.3кп для сварных конструкций по ГОСТ 380—60 с дополнительными гарантиями загиба в холодном состоянии, согласно п. 19*д*, и предельного содержания химических элементов, согласно пп. 15 и 16 ГОСТ 380—60».

Характеристики различных марок малоуглеродистой и низколегированной стали, применяемой в газгольдеростроении, приведены в табл. 22. В табл. 23 даны рекомендации по применению марок стали для различных элементов газгольдеров низкого давления.

Ролики газгольдеров изготовляют из чугуна АСЧ1 по ГОСТ 1585—57, отдельные механические детали роликов — из стали 35, 45, 65 по ГОСТ 1050—60; пригрузка — бетонная из бетона марки М110; чугунные грузы — из чугуна с объемным весом 7,2 *т/м*^{3}.

§ 2. СВАРКА ЛИСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГАЗГОЛЬДЕРОВ

В настоящее время листовые конструкции газгольдеров изготовляются, как правило, рулонированными, из горячекатаной или холоднокатаной стали. Почти всем требованиям отвечает рулонная сталь.

Сталь рулонная горячекатаная поставляется по ГОСТ 8597—57 шириной 200—2300 *мм* и толщиной 1,2—10 *мм*; сталь рулонная холоднокатаная — по ГОСТ 8596—57 шириной 200—2300 *мм* и толщиной 0,2—4 *мм*. Вес рулона не превышает: горячекатаной — 10 *т* и холоднокатаной — 15 *т*.

При применении рулонной стали отпадает забота об обеспечении прочности основных вертикальных сварных швов, так как на рулонной полосе их делать не нужно. Несмотря на это, рулонная сталь все еще мало применяется при изготовлении газгольдеров и резервуаров. Причина этого заключается в том, что края листа имеют гофры и закаливаются в результате неравномерного остывания листа после проката; средняя часть рулона остывает медленнее, чем наружная часть листа. При прокладке нередко возникает саблевидность (отклонения по ширине листа).

Для изготовления заготовок из рулонной стали заводы металлических конструкций должны иметь специальное оборудование: приспособления для размотки рулонов, специальные правильные станки и др. Необходимо также применять специально разработанную технологию сварки горизонтальных стыков в полотнищах, составленных из рулонных листов, так как при непрерывной сварке длинного стыка неизбежно появляются хлопуны, вызываемые непрерывным накоплением усадочных деформаций при сварке.

Сварка листовых конструкций согласно СНиП II.В.3-62 (табл. 6) выполняется двух видов:

а) с повышенным методом контроля сварных швов, причем сварные швы равнопрочны основному металлу ($K=1$) (вертикальные стыки оболочки);

б) с нормальными методами контроля сварных швов, без повышения расчетных характеристик сварных швов (горизонтальные стыки оболочки и все остальные конструкции).

Наиболее ответственными сварными швами в оболочке газгольдера являются вертикальные стыки листов оболочки.

При заводской автоматической сварке вертикальных стыков листовых конструкций из стали марки Ст.3 (спокойной) применяется проволока и флюсы, обеспечивающие механические свойства сварных швов не ниже аналогичных показателей швов при электродах Э-42А (по ГОСТ 9467—60). Контроль за качеством швов должен быть повышенным. Сварные швы принимаются равнопрочными основному металлу конструкции.

При ручной сварке (на заводе и на монтаже) вертикальных стыков листовых конструкций из стали марки Ст.3 (спокойная) применяют электроды Э-42А (по ГОСТ 9467—60); контроль за качеством сварных швов также повышенный, причем сварные швы должны быть равнопрочными основному металлу конструкции.

Для сварки конструкций из стали марки Ст.3 (полуспокойная или кипящая) и из стали марки Ст.3 применяют электроды Э-42 (по ГОСТ 9467—60).

Вертикальные стыки листовых конструкций из низколегированной стали повышенной прочности сваривают автоматической сваркой с применением проволоки и флюсов, обеспечивающих механические показатели сварных швов не ниже показателей для электродов Э-50А (по ГОСТ 9467—60).

При сварке горизонтальных стыков оболочки газгольдеров необходимы плотно-прочные сварные швы, причем контроль за качеством сварных швов может быть нормальным, а расчетные сопротивления сварных швов не повышаются. Для листовых конструкций из стали марки Ст.3 (спокойная) механические свойства сварных горизонтальных швов должны быть не ниже

аналогичных показателей швов при электродах Э-42 (по ГОСТ 9467—60).

Механические свойства наплавленного металла сварных швов приведены в табл. 24.

Таблица 24

Механические свойства наплавленного металла сварных швов (при электродах диаметром более 2,5 *мм*)

Электрод	Временное сопротивление в *кГ/мм²*	Относительное удлинение в %	Ударная вязкость в *кГ/см²*	Примечание
Э-42	42	18	8	Для сварки малоуглеродистых и низколегированных сталей
Э-42А	42	22	14	
Э-50	50	16	6	Для сварки среднеуглеродистых и низколегированных сталей
Э-50А	50	20	13	
Э-55	55	20	12	

Глава V

Основания и фундаменты мокрых газгольдеров

Основным в строительстве мокрых газгольдеров является сооружение оснований и фундаментов.

При проектировании фундаментов мокрых газгольдеров или при привязке типовых проектов необходимо в первую очередь знать геологические особенности грунтов, на которых будет сооружаться газгольдер.

Газгольдеры можно возводить на скальных, полускальных, крупнообломочных, песчаных, глинистых и макропористых грунтах.

Если несущая способность грунтов ниже, чем принято в типовых проектах, необходимо проектировать фундамент или усиливать слабый грунт, устраивая грунтовые подушки, уплотняя грунт, возводя свайные основания и т. д.

Особое внимание следует уделить сооружению фундаментов в районах с просадочными грунтами, особенностью которых является их относительно высокая несущая способность до тех пор, пока они остаются сухими. При увлажнении грунты дают дополнительную деформацию (просадку), теряя часть своей несущей способности.

Проектирование фундаментов на просадочных грунтах регламентируется нормами и правилами СНиП II.Б.2-62* «Основания и фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах. Нормы проектирования» и СНиП III-Б.10-62 «Строительство на просадочных грунтах. Правила организации производства работ».

Просадочные грунты подразделяют на два основных типа:

I тип — грунты, у которых просадка от собственного веса (при увлажнении) отсутствует или не превышает 5 *см* (ширина наблюдаемого участка равна его глубине);

II тип — грунты, в которых просадка от собственного веса при увлажнении превышает 5 *см*.

В зависимости от типа просадочности грунта определяют величину просадки от заданных нагрузок и веса сооружения и разрабатывают способы устранения просадки полностью или частично:

а) уплотнение грунтов (под подошвой будущих фундаментов);

б) устройство грунтовой подушки из местных глинистых грунтов;

в) глубинное уплотнение грунтовыми сваями;

г) свайное основание;

д) силикатизация грунта;

е) прорезка слоя просадочных грунтов до более прочных слоев, на которые возможно опереть фундаменты;

ж) исключение возможности увлажнения грунта.

При проектировании мокрых газгольдеров, строящихся в районах просадочных грунтов, необходимо обеспечить естественный сток ливневых вод в сторону от газгольдера. Необходимо также устроить дренажные пути, обеспечивающие пропуск максимального объема ливневых вод. Газгольдер следует размещать в отдалении от производственных цехов с мокрыми процессами.

При сооружении фундаментов под газгольдер работа должна происходить по специальному плану в сжатые сроки, что уменьшает увлажнение грунта атмосферными осадками в открытых котлованах. Когда фундамент возведен, котлованы должны быть тщательно засыпаны землей, а вокруг газгольдера сделана отмостка, на 0,5 *м* превышающая ширину закопанного котлована. Отмостку необходимо делать немедленно, по окончании обратной засыпки котлована, до монтажа металлических конструкций.

Резервуар мокрого газгольдера опирается на кольцевой железобетонный фундамент, расположенный по периметру его стенки. Внутри кольца устраивают грунтово-песчаное основание, на которое опирается гибкое днище резервуара газгольдера (рис. 90).

Железобетонный кольцевой фундамент и грунтово-песчаное основание работают на вертикальные нагрузки, передаваемые от собственного веса конструкций отдельных элементов газгольдера, а также от веса воды, залитой в резервуар.

Нагрузки, передаваемые на кольцевой фундамент и грунтово-песчаное основание, в разной стадии работы газгольдера различны.

Первая комбинация нагрузок возникает в случае, когда газгольдер пуст (не наполнен газом), резервуар наполнен водой и подвижные звенья стоят на днище резервуара на подкладных опорных балках.

В этом случае кольцевой железобетонный фундамент воспринимает нагрузки от веса воды (в пределах ширины фундамента), от собственного веса стальных конструкций стенки резервуара (вместе с кольцевой площадкой и системой вертикальных направляющих), от веса конструкций телескопов и от ве-

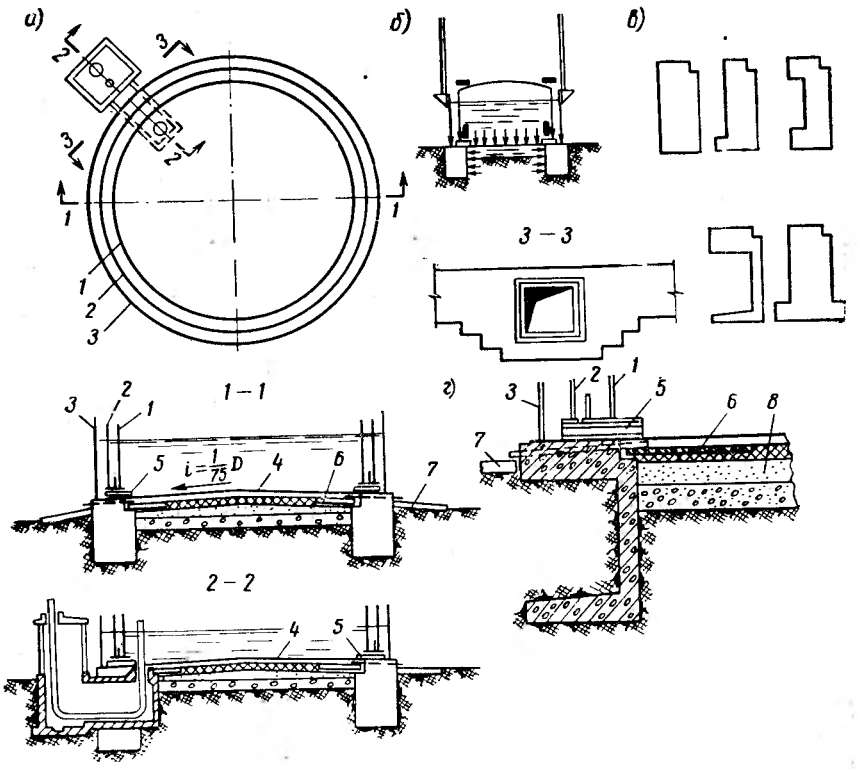


Рис. 90. Основания и фундаменты мокрых газгольдеров

а — план и разрезы основания и фундаментов; *б* — схема нагрузок на основание и фундаменты; *в* — сечение фундаментов; *г* — разрез кольцевого фундамента типового мокрого газгольдера; *1* — стенка колокола; *2* — стенка телескопа; *3* — стенка резервуара; *4* — днище резервуара; *5* — опорная балка; *6* — фундаментная плита; *7* — отмостка; *8* — песок 30—100 *м*, изоляционный слой 100 *мм*, песчаная подушка 300—600 *мм*, грунтовая подсыпка 500—700 *мм*

са конструкций колокола (вместе с крышей, пригрузками из бетонных и чугунных грузов, веса снега на кровле); нагрузки распределяются равномерно по всему периметру кольцевого фундамента.

Грунтово-песчаное основание испытывает вертикальное гидростатическое давление воды и стремится расшириться, но этому препятствует кольцевой фундамент, который окружает основание со всех сторон. Таким образом, на внутренней грани кольцевого фундамента появляются горизонтальные нагрузки, растягивающие фундаментное кольцо и требующие укладки в фундамент кольцевой арматуры, работающей на растяжение.

Вторая комбинация нагрузок, когда газгольдер наполнен газом, а подвижные звенья подняты. В этом случае кольцевой

фундамент испытывает вертикальную нагрузку от веса воды (в пределах ширины фундамента) и нагрузку от веса стенки резервуара (вместе с кольцевой площадкой и системой вертикальных направляющих). Подвижные звенья, поднятые давлением газа в верхнее положение, передают нагрузку на воду резервуара. Для определения этой нагрузки необходимо вычислить полный собственный вес телескопов и колокола (собственный вес, пригрузка и вес от снега) и полученную сумму разделить на площадь днища резервуара; таким образом получается удельное давление, приходящееся на днище резервуара. Давление на грунтово-песчаное основание равно удельному давлению воды (собственный вес воды, ее гидростатическое давление, а также вес всех плавающих конструкций подвижных звеньев, включая вес пригрузки, снега на кровле колокола, а также вес газа, хранящегося в газгольдере).

При второй комбинации нагрузок уменьшается вертикальная нагрузка на фундаментное кольцо и увеличивается нагрузка на основание и, как следствие увеличения вертикальной нагрузки, увеличивается горизонтальная нагрузка на внутреннюю грань кольцевого фундамента.

Кольцевой фундамент в большинстве случаев выполняется из железобетонных сборных или монолитных конструкций. Днище резервуара по очертанию должно иметь коническую форму с подъемом, равным $^1/_{75}$ диаметра в центре резервуара. Этот уклон делается для удобства очистки днища резервуара от грязи. Грунтово-песчаное основание устраивается в котловане, из которого выбран почвенный и верхний слабый грунт на глубину, определяемую при пробном шурфовании. Взамен выбранного грунта укладывается с тщательным послойным трамбованием грунтовая подушка (толщиной не менее 500 *мм*), затем песчаное основание (толщиной от 300—700 *мм*, с подъемом к центру основания), затем гидроизоляционный или гидрофобный слой, состоящий из супесчаного грунта, смешанного с минеральным вяжущим (жидкие битумы, дорожные каменноугольные дегти, полугудроны и др.). Слоем в 30—100 *мм* насыпается верхний слой песка (по гидрофобному слою). Гидрофобный слой препятствует доступу грунтовых вод, которые могли бы доходить снизу до днища резервуара(в силу закона капиллярности жидкости), а также направляет сток воды, если она просачивается сквозь днище, имеющее повреждения. В таком случае вода проходит через дренажные трубы, уложенные на гидрофобном слое и проходящие сквозь фундаментное кольцо наружу. Появление влаги или капели сигнализирует о повреждении днища резервуара и, следовательно, о срочном исправлении повреждения.

Сооружению дренажных труб должно быть уделено особое внимание.

Поперечное сечение кольцевого фундамента может быть различным: прямоугольным, заглубленным на глубину промерзания в данном районе, или прямоугольным с уширением внизу. Объем бетона, затрачиваемого на фундаментное кольцо прямоугольной формы, увеличивается; поэтому в типовых проектах мокрых газгольдеров сечение кольцевого фундамента принято в виде швеллера из сборно-монолитных железобетонных конструкций. Железобетонное фундаментное кольцо выполняют из отдельных блоков, которые состоят (каждый) из нижней полки и вертикальной стенки (швеллер без верхней полки). В плане блок имеет переломы, что облегчает сборку кольцевых фундаментов для газгольдеров разных емкостей. Когда из отдельных блоков собрано фундаментное кольцо, заваривают арматуру, выпущенную из блоков в месте стыков, и производят кладку монолитного железобетона в верхнюю полку швеллера. Одновременно с этим замоноличивают стыки между блоками.

Так как грунтовые условия кольцевого фундамента, опирающегося на грунты с высокой несущей способностью, более благоприятны, а грунтово-песчаное основание является более податливой по деформации массой, осадка песчаного основания происходит в большей степени, чем кольцевого фундамента.

Оседание основания влечет за собой оседание стального днища резервуара. Особенно ощутимо оседание на том участке, где стальной лист, опиравшийся на верхнюю плоскость железобетонного кольцевого фундамента, начинает опираться на песчаное основание. В месте этого перехода обязательно укладывают железобетонные плиты. Одним концом они опираются на выемку по верху внутренней грани фундаментного кольца, а всей остальной площадью — на грунтово-песчаное основание. Эти плиты являются ответственными элементами фундамента, создающими в случае просадки основания условия для плавного, а не резкого прогиба стальных листов днища, предохраняя этим их от разрывов.

При расчете кольцевого фундамента необходимо учитывать дополнительное давление воды на участке фундаментных плит, описанных выше. Сложным узлом фундаментного кольца является место пропуска через фундамент тоннеля-приямка, в котором размещены трубы газоввода. Трубопровод газового ввода входит с эстакады в будку управления газгольдером, затем опускается в приямок, проходит по туннелю (внутреннему приямку) из железобетонных конструкций через фундаментное кольцо и входит в газгольдер через днище резервуара в виде трубы-стояка.

В месте прохода туннеля через кольцевой фундамент происходит ослабление сечения фундамента, и потому снизу фундамента в этом месте делается соответствующее (по расчету) усиление.

Так как внутренний приямок является более нагруженным, чем наружный, и оседание каждого из них может быть различным, между ними устраивают осадочный шов, в котором необходима тщательная гидроизоляция.

На расстоянии 1 *м* от стенки резервуара может быть сделана утепляющая кирпичная стенка толщиной 380 *мм*. Кирпичная утепляющая стенка опирается на ранд-балки, а последние — на отдельно стоящие бетонные фундаменты.

Глава VI

Неисправности и причины аварий газгольдеров низкого давления

При нормальных условиях эксплуатации газ находится под давлением. Поскольку наружный воздух не может преодолеть давление газа, внутри газгольдера не может образоваться взрывчатая смесь (соединение газа с воздухом). Воздух может проникать в газгольдер, если в нем возникнет вакуум.

Следует иметь в виду, что конструкции газгольдеров низкого давления не рассчитаны на воздействие вакуума, для исключения такой возможности предусматривается ряд приспособлений и даются соответствующие указания в инструкциях по эксплуатации газгольдеров.

Однако вследствие частых нарушений элементарных правил эксплуатации и управления газгольдером наиболее часты аварии из-за образования вакуума.

Примером может служить разрушение сразу двух газгольдеров емкостью по 600 $м^3$ на одной из коммунальных станций очистки города на Урале. Газгольдеры прошли испытания и были сданы в эксплуатацию. Резервуары были наполнены водой, а люки на крышке колокола — задраены. Заполнение газгольдера газом было отложено до утра. По мнению ночного сторожа, вода в резервуарах должна была замерзнуть, и он решил ночью спустить воду. Под колоколами был создан вакуум около 5000 *мм вод. ст.* Внутрь колоколов втянулась оболочка их стенок, сломались стойки и сильно деформировалась кровля. Колокола газгольдеров пришлось разбирать и монтировать заново. Вакуум не мог бы возникнуть при открытых верхних люках на крыше колокола, что позволило бы воздуху поступать внутрь газгольдера.

Под колоколом может возникнуть вакуум и при пустом газгольдере в случае, если резервуар наполнен водой, а верхние люки на крыше закрыты. При понижении температуры наружного воздуха объем газа (или воздуха) в газовом пространстве под куполом уменьшается и, следовательно, возникнет вакуум.

Верхние люки пустого газгольдера должны быть обязательно открыты.

Мокрый газгольдер может выйти из строя при возникновении больших перекосов подвижных звеньев. Такой перекос может явиться следствием неравномерной осадки или просадки фундаментов. Подобные аварии могут происходить из-за слабого контроля при возведении железобетонных кольцевых фундаментов или в результате ошибки проектной организации (мокрый газгольдер сооружен в зоне просадочного грунта без применения специальных мероприятий).

Исправление последствий таких просадок может обойтись значительно выше, чем стоит все смонтированное сооружение.

Следует обратить внимание на искусственное основание, устраиваемое внутри кольцевого железобетонного фундамента в мокрых газгольдерах. Днище мокрого газгольдера является ограждающей конструкцией и не рассчитывается на воздействия растягивающих и сжимающих сил, которые и не могут возникнуть при нормальной работе. Недостаточный контроль за выполнением искусственного основания, небрежное отношение к послойному трамбованию, слабое уплотнение слоев катком, который по своим габаритам не может производить уплотнение около стенок железобетонного кольцевого фундамента, небрежная укладка фундаментных плит и др. влекут за собой оседание основания под воздействием гидростатической нагрузки от воды на стальное днище. Вслед за основанием оседают и листы днища. Неравномерное оседание вызывает перегибы и даже разрывы листов, а проникающая под стальное днище вода может размыть основание. Вода смачивает просадочные грунты и вызывает катастрофическую неравномерную просадку фундаментов, в результате чего мокрый газгольдер выходит из строя.

При приемке и испытаниях мокрых газгольдеров следует тщательно контролировать качество заводских и особенно монтажных сварных швов. Особое внимание должно быть уделено качеству сварных швов, выполненных при заварке заплат и отверстий, надобность в которых выявилась при монтаже.

При сооружении искусственных оснований для сухих газгольдеров специального типа необходимо хорошее трамбование слоев насыпки. Монтировать сухой газгольдер специального типа можно только после полной засыпки всех котлованов вокруг основания (например, засыпки котлованов под фундаменты лестницы), так как нагрузки от конструкций на грунт основания выдавливают его в открытые котлованы вокруг основания, создавая неравномерную осадку корпуса резервуара.

В современной отечественной практике эксплуатации газгольдеров случаев тяжелых катастроф не зарегистрировано. Безопасность эксплуатации современных газгольдеров явилась следствием более совершенной автоматики управления, возросшей технической грамотности обслуживающего персонала и вследствие того, что современные газгольдеры (за исключением

сухих поршневых газгольдеров в холодных районах страны) строятся открытыми (а не в закрытых помещениях).

Данные об авариях, происходивших ранее, представляют интерес и в настоящее время, позволяя предупредить возможность создания аналогичной ситуации. Большинство описанных аварий происходило во время ремонтов газгольдеров.

В монографии К. С. Заремба «Газгольдеры» сообщается ряд случаев тяжелых аварий из зарубежной практики:

а) взрыв сухого газгольдера поршневого типа емкостью 5000 $м^3$ в Польше (1926 г.), происшедший вследствие скопления газа в надшайбенном пространстве в результате перекоса шайбы;

б) взрыв мокрого газгольдера в Питсбурге, США (1927 г.), во время ремонта колокола, в который через неплотности газовводного шибера проникал газ;

в) взрыв мокрого газгольдера емкостью 36 000 $м^3$ в Берлине (1929 г.) из-за замерзания воды в гидрозатворах, хотя газгольдер находился в закрытом помещении;

г) взрыв мокрого газгольдера емкостью 2820 $м^3$ в Копенгагене (1931 г.) во время разборки газгольдера на слом; взрыв явился следствием накопления газа под колоколом в результате неплотностей в отключающем шибере;

д) взрыв мокрого газгольдера емкостью 14 154 $м^3$ в Стретфорте (1931 г.) во время ремонта в результате просачивания газа через неплотности задвижки.

Описанные взрывы происходили в результате создания в газгольдере или трубопроводах взрывоопасной смеси из воздуха и газа. Хранимые в газгольдере газы образуют взрывоопасные смеси при различном процентном содержании воздуха (табл. 25). В нормальных условиях эксплуатации горючий газ является только способным к горению веществом.

Из анализа случаев аварий газгольдеров можно сделать выводы:

а) газгольдер при изготовлении и монтаже должен иметь минимальные отклонения от проектных размеров (в пределах регламентированных допусков);

б) надшайбенное пространство в сухих газгольдерах специального типа с гибкой секцией должно хорошо вентилироваться; кроме того, необходимо предусматривать, как противопожарное и противовзрывное мероприятие, возможность подводки инертного газа в надшайбенное пространство при загазованности выше допускаемой нормы;

в) готовые газгольдеры должны тщательно приниматься и испытываться перед эксплуатацией;

г) за устройством искусственных оснований должен быть тщательный контроль; обязательны правильные решения при

строительстве железобетонных кольцевых фундаментов мокрых газгольдеров на просадочных грунтах;

Таблица 25

Взрывоопасность газов при смешивании с воздухом

Газ	Пределы воспламенения (взрываемости) объемных % газа в смеси с воздухом		Разница между пределами
	нижний	верхний	
Метан	5,3	15	9,7
Этан	3,2	12,5	9,3
Этилен	2,8	16	13,2
Пропан	2,4	9,5	7,1
Пропилен	2	11,1	9,1
Н-бутан	1,9	8,4	6,5
Изобутан	1,8	8,4	6,6
Н-пентан	1,4	8	6,6
Изопентан	1,3	8	6,7
Водород	4,1	75	71,9
Окись углерода	12,5	75	62,5
Сероводород	4,3	45	41,2
Коксовый	5,6	31	25,4
Водяной	6,2	72	65,8
Генераторный	20,7	73,7	53

д) система отопления мокрых газгольдеров в зимнее время должна быть надежной;

е) необходим регулярный осмотр газгольдеров и наблюдение за состоянием листовых конструкций (коррозия металла);

ж) электрооборудование должно быть вынесено в зону, безопасную в отношении образования взрывоопасной смеси;

з) газгольдеры должны быть удалены друг от друга на безопасное расстояние.

Чтобы обезопасить эксплуатацию газгольдеров, между ними устанавливались различной величины разрывы; разрывы делались и между газгольдерами и окружающими зданиями и сооружениями.

В 1932 г. институтом Гипрококс была разработана инструкция по величине противопожарных разрывов. В настоящее время инструкция потеряла силу как официальный документ, и строго установленных норм разрывов не существует. Исключением является обязательное минимальное расстояние (согласно СНиП III-В.3-62) между строящимися газгольдерами, равное двум диаметрам наибольшего газгольдера (между центрами мокрых газгольдеров).

Инструкция Гипрококса предусматривала разрывы, приве-

денные в табл. 26, которыми можно пользоваться при составлении генеральных планов предприятий.

Таблица 26

Противопожарные разрывы по инструкции Гипрококса (в *м*)

Разрывы от газгольдера до следующих объектов	Мокрый газгольдер		Сухой газгольдер
	однозвенный	многозвенный	
Взрывоопасные цеха, здания и склады	100	150	150
Огнеопасные цеха, здания и сооружения	50	75	75
Прочие производственные здания, сооружения и цеха	30	75	75
Жилые дома	150	150	150
Железнодорожные пути общего назначения	100	100	100
Железнодорожные пути заводские	8	20	15
Линии высоковольтной передачи	50	50	50
Газгольдеры	30	1,5 диаметра от стенки бассейна или 2,5 диаметра между центрами газгольдера	

Глава VII

Ремонт газгольдеров

Ремонт мокрых газгольдеров подразделяют на послеаварийный, текущий и капитальный.

Причинами аварий мокрых газгольдеров могут быть:

а) осадка фундамента и основания под днищем газгольдера;

б) значительное превышение расчетных временных нагрузок;

в) недостаточный учет местных условий;

г) недоброкачественное выполнение земляных работ;

д) недоброкачественная сварка вертикальных стыков корпуса резервуара и швов днища.

1. Восстановление мокрого газгольдера после аварии

Ремонтные работы по ликвидации последствий осадки фундамента и основания под мокрым газгольдером должны производиться в определенном порядке:

а) установление причин осадки фундамента и основания под днищем газгольдера и вероятность дальнейшей осадки;

б) определение целесообразности проведения ремонта в зависимости от состояния стальных конструкций газгольдера;

в) разработка проекта производства работ и его осуществление.

Все ремонтные работы должны производиться по заранее разработанному проекту с учетом указаний по технике безопасности и охране труда.

Проект производства работ должен быть согласован с предприятием, эксплуатирующим газгольдер.

Если анализ причин просадки основания под газгольдером и его состояния покажет возможность восстановления газгольдера, то основными методами прекращения дальнейшей просадки фундамента является закрепление грунта под фундаментом (силикатизация и другие методы), а под днищем — подсыпка подушки.

Для ликвидации местных просадок днища в соответствующих местах вырезают «окна» размером 300 × 300 *мм*, через

которые забивают тощий бетон или сухой песок. Затем эти окна закрывают накладками толщиной не менее толщины листов днища, после чего накладки обваривают кругом. Герметичность шва проверяют вакуум-камерой.

Эти работы целесообразно производить только в том случае, если неравномерность осадки резервуара невелика и позволяет полностью восстановить стальные конструкции газгольдера.

Так как при неравномерной осадке резервуар обычно не удается привести в горизонтальное положение, то исправлению подлежат звенья газгольдера; их поднимают, а под ними размещают наращенные подкладные балки.

Чтобы избежать заедания подвижных звеньев газгольдера в перекошенных и часто располагающихся (в плане) в виде эллипса наружных направляющих, каждую из них в отдельности рихтуют, строго соблюдая геометрию и вертикальность.

В случае значительной, но довольно равномерной осадки основания под днищем газгольдера, ремонт ведется в такой последовательности:

а) нивелируют просевшее днище;

б) устанавливают порядок и объем подсыпки под днище газгольдера;

в) устанавливают порядок разрезки и заварки полотнища днища и испытания его на плотность.

По данным нивелировки определяют объем подсыпки, причем отметку центра днища устанавливают с превышением против отметок кольцевого фундамента с обязательным учетом величины подъема подушки от кольцевого фундамента к центру днища не менее чем в 2%.

Если есть предположение, что осадка подушки возможна и после ремонта днища, рекомендуется увеличить подъем подушки с 2 до 3%.

Чтобы подсыпка и утрамбовка подушки были доброкачественными, днище обрезают по окружности примерно на расстоянии 1,5—2 *м* от внутреннего обреза кольцевого фундамента (и от внутреннего обреза приямка), затем разрезают на несколько секторов, количество которых определяется в зависимости от емкости газгольдера в проекте производства работ.

Последовательно сдвигая сектор днища на соседний и утрамбовывая подсыпку по заданным отметкам, секторы вначале рихтуют, стыки подгоняют друг к другу и прихватывают между собой к кольцевому многоугольному обрезу. После этого на кольцевой (многоугольный) шов укладывают накладки шириной 100—120 *мм*, толщиной не менее толщины листов днища и максимальной длины, прихватывают их и затем приваривают по всему контуру к днищу. Стыки накладок выполняют с нахлесткой в 50—100 *мм* с обваркой по всему контуру.

Затем прихватки на радиальных разрезах срубают, секторы освобождают и вновь прихватывают между собой, укладывают накладки с прихваткой и также приваривают к листам днища. После окончания укладки и приварки накладок на всех разрезах сварные швы проверяют на герметичность вакуум-аппаратом. Такая последовательность ремонта днища проверена на ряде газгольдеров емкостью до 20 000 $м^3$ включительно и вполне оправдала себя.

Последствиями аварий от превышения временных нагрузок (снеговой и ветровой) или возникновения вакуума в колоколе являются: полное или частичное разрушение стальных конструкций газгольдера, выражающееся в обрушении купола, а при вакууме и в смятии стенок колокола.

Ремонт купола колокола, потерявшего общую устойчивость и превратившегося в чашу с полной деформацией несущего стропильного перекрытия, производят, соблюдая определенную последовательность:

а) продувка газгольдера;

б) заделка всех имеющихся трещин и разрывов листов купола;

в) подача воздуха под купол и постепенное изменение формы настила;

г) наварка на наружной поверхности принявшего форму сферы настила купола ребер жесткости, обеспечивающих устойчивость купола при временных нагрузках и в условиях эксплуатации газгольдера;

д) слив воды из резервуара;

е) обрезка и удаление деформированных стропил купола;

ж) антикоррозийная защита внутренней и наружной поверхностей купола колокола.

Все работы по ремонту купола «надувкой» должны производиться при закрытых лазах, световых люках и задвижках на куполе. Уровень воды в резервуаре должен быть не менее 3 *м*, а низ колокола должен отстоять от днища на расстоянии не меньшем чем 1,5 *м*.

Предлагаемый метод ремонта просевшего купола был проверен не только на мокрых газгольдерах малой емкости, но и на мокром газгольдере емкостью в 50 000 $м^3$.

При одновременной деформации купола и стенки (при воздействии вакуума) после продувки газгольдера и слива воды обследуют состояние конструкций колокола, а также устанавливают, надо ли ремонтировать стойки колокола и удалять стропильное перекрытие купола колокола.

Форму настила купола и стенки колокола (после заделки всех пробоин, трещин и разрывов) исправляют, наливая воду на высоту не менее 2 *м* при открытом верхнем световом люке, затем все отверстия на куполе закрывают и, если стенки и на-

стил купола газгольдера герметичны, уровень воды в резервуаре поднимают еще на 1—1,5 *м*. Во время долива воды в колоколе поднимается давление, благодаря которому колокол всплывает и выправляются его стенки и настил. После ремонта купола и приварки ребер жесткости снаружи к выправленному настилу купола (согласно заранее разработанному проекту) воду из резервуара сливают, а оставшиеся не выправленными внутренним давлением отдельные смятые места стенки колокола выправляют «вытяжкой» и, в случае необходимости, установкой с внутренней стороны местных ребер жесткости.

Недостаточное изучение местных условий на площадке сооружения газгольдера иногда приводит к аварии. При сооружении подушки и кольцевого фундамента не всегда тщательно обследуют качество основания. Были случаи, когда хорошо выполненная по наружному виду подушка под днищем газгольдера внезапно проседала, плотность днища газгольдера нарушалась и газгольдер останавливали на ремонт. При вскрытии днища в промоине подушки обнаруживали строительный мусор (доски, бревна, остатки железобетонных плит и т. д.).

В таком случае производится капитальный ремонт подушки с временным удалением стального днища резервуара и переборкой грунта основания с трамбованием его, после чего стальное днище восстанавливается.

На одном строительстве площадка под газгольдер емкостью 22 000 *м*³ была обследована неглубокими шурфами. Данные шурфов показали хорошее качество грунтов. Кольцевой фундамент был запроектирован с заложением всего на 2 *м*. При вскрытии грунтов в одном месте на глубине около 2 *м* был обнаружен грунт, близкий к плывуну. Результаты обследования основания на бо́льшую глубину показали необходимость заложения кольцевого фундамента не менее чем на 4,5 *м*. Это заставляет с особым вниманием относиться к исследованию грунтов под основания газгольдеров.

Хорошее выполнение земляных работ является гарантией долговечности газгольдера.

Весьма часто для утрамбовки подушки под днище газгольдера используют гусеничные тракторы. К сожалению, эти машины не могут производить уплотнение грунта непосредственно у внутреннего обреза кольцевого фундамента и вдоль границ внутреннего приямка.

Грунт подушки, не утрамбованный в «пазухе» кольцевого фундамента, сильно садится при увлажнении и не выдерживает давления листов днища под нагрузкой разворачиваемого рулона и гидравлического давления воды.

В результате недостаточного уплотнения грунта подушки днище под нагрузкой проседает, плотность его нарушается и вода, проникшая из резервуара через образовавшуюся неплот-

ность, еще более увеличивает просадку днища и вызывает иногда большие промоины и вынос грунта из-под резервуара или подмывает кольцевой фундамент.

Обычно разрабатываются индивидуальные способы ремонта основания газгольдера, так как типовое решение для всех случаев вряд ли может быть найдено.

Необходимо помнить, что большую роль играет профилактический ремонт, предотвращающий возникновение аварии. Целесообразно поэтому заранее укладывать железобетонные плиты шириной около 0,8—1 *м* и длиной до 1,5 *м* в радиальном направлении; один торец должен лежать на краю кольцевого фундамента (на выбранную «четверть» шириной 150—200 *мм* и высотой, равной толщине плиты), а другой торец — непосредственно на грунте подушки. Плитам придается подъем к центру резервуара не менее 5%, что учитывает обжатие грунта.

Обследования нескольких газгольдеров показали, что в отдельных случаях под плитами, непосредственно вдоль внутренней поверхности кольцевого фундамента, возникают пустоты. На отдельных участках зазор между низом плиты и поверхностью подушки доходил до 0,5 *м*, однако аварии не происходило, так как уложенные железобетонные плиты были рассчитаны на гидростатическое давление воды.

Сварка резервуаров должна быть высококачественной (особенно сварка вертикальных стыков).

В настоящее время, при широком внедрении способа рулонирования стенки и днища резервуара, все вертикальные стыки поясов как заводские, так и монтажные расположены в одну линию. Это повышает ответственность сварки вертикального шва и требует тщательного контроля.

Наиболее надежным способом проверки качества сварных швов является просвечивание рентгеновским аппаратом. К сожалению, не всегда пользуются этим надежным способом проверки сварных швов.

В некоторых случаях недостаточно тщательная проверка сварных швов приводит к авариям.

Так, например, один из вертикальных стыков второго пояса стенки резервуара газгольдера емкостью 2400 $м^3$ был сварен весьма некачественно. Стыки не подвергались тщательному контролю. При первом заливе резервуара водой (на высоту около трех поясов) этот шов раскрылся, причем образовавшаяся трещина не распространилась на ниже и выше расположенные пояса, так как гидростатическое давление было еще недостаточным и резервуар поэтому не вышел из строя. Некачественный шов был вырублен, сварен с вырубкой корня с внутренней стороны и подваркой его. После рентгеновского снимка сварного шва резервуар был полностью залит водой и газгольдер сдан в эксплуатацию.

Во время ремонта одного мокрого газгольдера емкостью 20 000 $м^3$ для удобства производства монтажных работ на высоту трех нижних поясов резервуара и в ширину около 3 *м* было вырезано «окно». После окончания ремонта колокола и телескопа окно было закрыто вырезанной частью стенки резервуара, а сварка, видимо, была выполнена недоброкачественно и, когда резервуар залили водой, произошла авария.

2. Текущий и капитальный ремонт мокрых газгольдеров

Текущий ремонт имеет целью ликвидировать мелкие дефекты конструкций газгольдера без остановки его и слива воды из резервуара или качественной продувки для возможности производства огневых работ. В основном текущий ремонт проводится для выполнения работ по защите газгольдера от коррозии и ее последствий.

К текущему ремонту относятся заделка свищей в стенках колокола и телескопов, закладка в них «ласточкиных хвостов» на резиновой прокладке, представляющих собой круглые стальные стержни длиной в несколько *см*, которые имеют с одного конца нарезку, а с другого — или мертвый, раздвоенный в виде ласточкиного хвоста расплющенный конец, или пропил с отверстием в конце стержня. В пропил вставляется другой стержень, имеющий посередине отверстие, несколько меньшего диаметра, чем в первом стержне. Второй стержень вставляется в пропил и закрепляется болтиком.

Свищ разделывают инструментом, смазанным во избежание искрения тавотом, и в полученное отверстие заводят «ласточкин хвост», после чего на стержень надевают резиновую накладку и широкую стальную шайбу. Притянув накладку с шайбой к стенке подвижного звена, удается ликвидировать свищ.

Такой способ заделки образовавшихся отверстий в стенках колокола или телескопа практикуется часто. Иногда поставленные накладки стоят на газгольдерах, хранящих агрессивные газы, по нескольку десятков штук.

Свищи и трещины в настиле купола колокола заделывают весьма простым способом; на свищ или трещину в настиле укладывают жирно смазанный жидким битумом «ковер» из мешковины, а на него плоский мешок, наполненный песком. Толщина слоя песка в мешке должна быть такова, чтобы вес его значительно превышал давление газа в газгольдере и тем самым препятствовал выходу газа. Эффективен метод заделки свищей и трещин в металле накладкой на них плотной ткани на эпоксидной смоле. При производстве этого вида работ должны строго соблюдаться правила техники безопасности и охраны труда, а сами работы — вестись в присутствии представителя газоспасательной станции.

При производстве ремонтных работ персонал должен пользоваться инструментом, не вызывающим искр, а в случае необходимости разделки отверстия или сверления его надо густо смазывать инструмент маслом.

Иногда во время текущего ремонта газгольдер отключают, но воду из резервуара не сливают. Ремонт может потребовать применения огневых работ, что вызывает необходимость принятия надлежащих мер для обеспечения взрывобезопасности.

Основными видами ремонтных работ являются: окраска газгольдера, проверка устройств для отопления резервуара и гидрозатворов, сетей водо- и пароснабжения, указателя объема газа и приборов КИП.

На время производства работ газгольдер должен отключаться от газовой сети перекрытием не только входных задвижек, но и установкой заглушек во всех присоединенных газопроводах.

Во время капитального ремонта газгольдер тоже полностью отключают от присоединенных к нему газопроводов заглушками. Оставшееся мертвое пространство под куполом колокола, заполненное газом, тщательно продувают воздухом или паром, а воду из резервуаров сливают. Внутренний объем газгольдера тщательно проветривают. Перед каждым производством огневых или иных работ необходимо производить анализ воздуха и проверять отсутствие газа в газгольдере.

Остановку газгольдера на капитальный ремонт производят в основном для ликвидации прокорродировавших элементов.

До ремонта все звенья газгольдера осматривают, определяют объем необходимых работ и разрабатывают проект производства капитального ремонта. В двухзвенном газгольдере для удобства смены отдельных листов стенок телескопа или колокола, а также для ремонта и окраски стенки резервуара телескоп вытаскивают наверх и подвешивают на внешних направляющих; при этом верхние ролики с обоймами снимают.

Проект производства монтажных работ по подъему телескопа и подвешиванию его разрабатывают заблаговременно. Проектом должно предусматриваться необходимое усиление жесткости каждой внешней направляющей, припасовкой к ней бревен, значительно повышающих жесткость в тангенциальном направлении, а крепления к телескопу и направляющим необходимых талей или полиспастов производят в соответствии со специальным расчетом и конструктивными решениями соответствующих узлов. Тросы обычно отводят к лебедкам, расположенным на некотором расстоянии от газгольдера.

Практикой установлено правило, что каждое крепление к направляющей и к телескопу рассчитывается на двойное усилие; этим учитывается возможное динамическое воздействие

во время подъема, а также неравномерность распределения усилий на подвески.

Подъем телескопа может производиться двумя способами. При первом из них используются лебедки и полиспасты, подвешенные на внешних направляющих, а затем производят закрепление полиспастов на время ремонта. Подъем лебедками должен производиться при строго синхронной их работе; по длине трос должен быть одинаковым на всех лебедках. Иногда поднятый телескоп страхуют, опирая его частично на балочки, укладываемые на борт резервуара и на верхний борт колокола. Второй способ подъема колокола заключается в наливе воды в резервуар, подъеме его и подвеске к внешним направляющим. При этом способе подъема ремонт стенки резервуара сопряжен с большими затруднениями из-за стесненности в зазоре между стенкой резервуара и телескопом.

Смену отдельных участков стенки резервуара производят вырезая их автогеном с соблюдением плавных переходов в углах и затем тщательно подгоняя и приваривая листы с необходимой разделкой кромок. Основную сварку производят с внешней стороны, а с внутренней вырубают корень шва и подваривают его.

Сварные швы должны выполняться в стык и просвечиваться рентгеном. Ремонт тонких листов оболочки стенок колокола и телескопа, а также настила купола колокола должен производиться со сварными внахлестку швами.

До производства работ по смене отдельных участков стропил купол должен быть «вывешен», для чего под его центр должна быть подведена трубчатая стойка, а сам купол слегка приподнят и закреплен на этой стойке так, чтобы стропила работали как простые балочные фермы.

3. Ремонт сухих газгольдеров специального типа

При ремонте сухих газгольдеров специального типа с гибкой секцией внешние открытые конструкции ремонтируются так же, как и конструкции мокрых газгольдеров (кровля, крыша, корпус резервуара и др.).

При необходимости осмотра или ремонта зоны газового пространства (днища резервуара, внутренней стороны днища шайбы, входных деталей газового ввода и других мест, которые закрыты гибкой секцией и днищем шайбы) необходимо поднимать шайбу на нужную высоту (рис. 91). Шайбу стропуют за радиальные балки каркаса днища. Для установки и пропуска стоек, на которых закрепляют тали, в днище шайбы предусмотрены люки с задраенными крышками. К стойкам и радиальным балкам приваривают фасонки с проушинами, за которые крепят тали и при их помощи постепенно синхронно поднимают шайбу.

Одни из стоек выполняют парными П-образной формы; они служат для закрепления приспособлений подъема (талей, полиспастов и др.). Другие короткие стойки имеют высоту, которая необходима для подъема шайбы, и играют роль дополни-

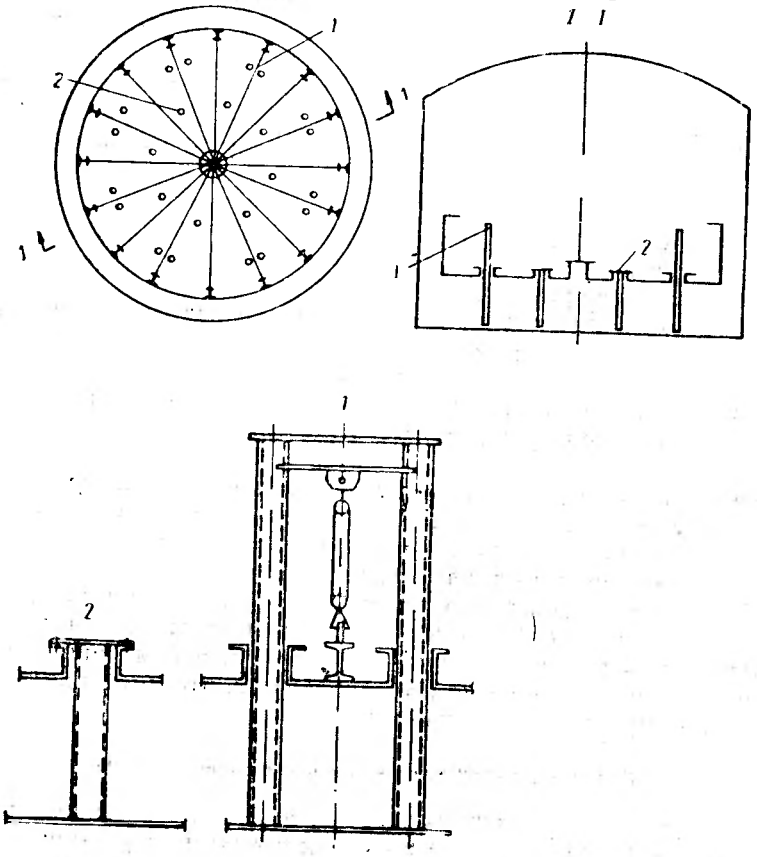


Рис. 91. Механические приспособления для подъема шайбы
1 — П-образные парные стойки; *2* — дополнительные опоры

тельных опор. Эти стойки пропускают через люки, которые предусмотрены в днище шайбы; после того как подъемными приспособлениями шайба поднята на нужную высоту, люки закрывают крышками и закрепляют болтами. При этом шайба опирается на короткие стойки.

В это время можно проникнуть через центральный люк днища шайбы в пространство под шайбу для осмотра или ремонта.

Стойки после использования остаются внутри шайбы, и их вес учитывается в общем весе пригрузки.

Глава VIII

Газгольдеры высокого давления

§ 1. ГАЗГОЛЬДЕРЫ ПОСТОЯННОГО ОБЪЕМА И ПЕРЕМЕННОГО ДАВЛЕНИЯ

1. Общие сведения

Газгольдеры постоянного объема и высокого давления отличаются от мокрых и сухих газгольдеров неизменяемостью геометрического объема и значительным давлением газа. Увеличение объема хранимого газа в газгольдерах постоянного объема происходит в результате возрастания давления газа при неизменном объеме сосуда. Так, например, если в газгольдер объемом 100 $м^3$ подавать газ под давлением, равным атмосферному, то объем газа в газгольдере будет равняться только геометрическому объему сосуда, т. е. 100 $м^3$. Если же газ, запускаемый в газгольдер, подается под давлением 400 *мм вод. ст.* (0,04 *ати*), то объем хранимого газа увеличивается лишь на 4% и фактический объем газа будет равен 104 $м^3$. При подаче газа под давлением 20 *атм* объем газа, хранимого в газгольдере, увеличивается в 20 раз и составляет 2000 $м^3$. Следовательно, при малой геометрической емкости и малых габаритах сосуда, но при высоком давлении можно хранить большое количество газа.

Газгольдеры постоянного объема и высокого давления широко применяются в химической и металлургической промышленности, но особенно распространены на газгольдерных станциях городов, на которые подведены магистрали природного газа. Несколько сотен газгольдеров постоянного объема, собранных на ограниченной территории газгольдерной станции, в состоянии (в часы малого расхода) хранить резерв газа, исчисляемый сотнями тысяч кубометров, и отдавать его в часы пик (рис. 92).

Газ, подлежащий хранению, необходимо компремировать для эффективного использования газгольдеров постоянного объема в химической и металлургической промышленности; для этого нужно иметь компрессорное хозяйство, а между тем газ, подаваемый по магистральным газопроводам, уже имеет давление до 8 *ати* и не нуждается в дополнительном увеличении давления. Это значительно повышает экономические показатели хранения природного газа в газгольдерах постоянного объема.

Распространенные в промышленности СССР газгольдеры

постоянного объема имеют обычно цилиндрическую форму с полусферическими днищами (рис. 93). Геометрические размеры, давление газа и конструкции таких газгольдеров унифицированы ГОСТ 5172—63, которым предусмотрены следующие емкости газгольдеров: 50, 100, 175 и 270 $м^3$. Внутренний диаметр всех газгольдеров, независимо от объема, равен 3200 *мм*;

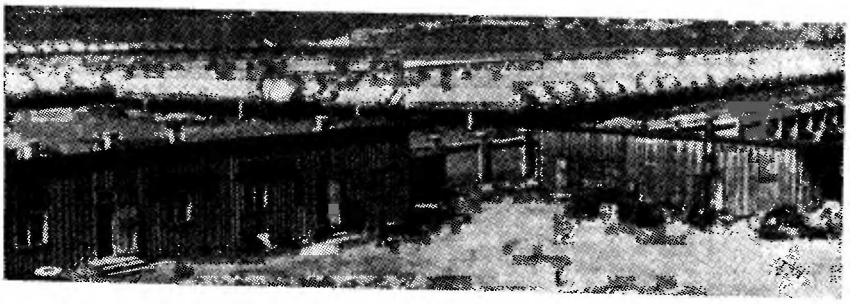


Рис. 92. Общий вид газгольдерной станции

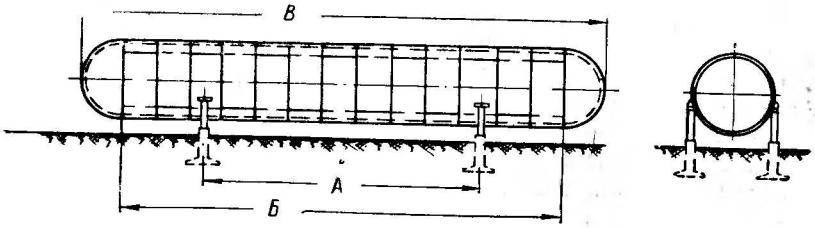


Рис. 93. Общий вид горизонтального газгольдера постоянного объема

длина цилиндрической части различна для каждой емкости, но кратна ширине листов 2000 или 2400 *мм*, применяемых для корпусов газгольдеров. Такие газгольдеры являются габаритными и могут быть перевезены железнодорожным транспортом в законченном виде. Давление газа в газгольдерах принято равным 2,5; 4; 6; 8; 10; 12,5; 16 и 20 *ати*.

Газгольдеры могут быть расположены в горизонтальном или вертикальном положении на специальных стойках и фундаментах (рис. 94).

Геометрические размеры, емкости и предельные давления газгольдеров постоянного объема приведены в табл. 27.

Листы газгольдера сваривают в стык, причем они должны иметь строганые кромки.

Сосуды поставляют на монтажную площадку полностью законченными и испытанными пробным давлением, равным 1,25 рабочего давления (гидравлическим способом).

Таблица 27

Геометрические размеры, емкости и предельные давления в газгольдерах постоянного объема (по ГОСТ 5172—63)

Емкость в $м^3$	Размер в *мм*			
	$Д_{вн}$	*А*	*Б*	*В*
Горизонтальные газгольдеры				
Цилиндрическая часть (при давлении газа 2,5; 4; 6; 8; 10; 12,5 и 16 *ати*) из листов шириной 2000 *мм*				
50	3200	3 400	4 000	7 200
100	3200	7 800	10 000	13 200
175	3200	11 400	20 000	23 200
270	3200	18 000	32 000	35 200
Цилиндрическая часть (при давлении газа 16; 18 и 20 *ати*) из листов шириной 2400 *мм*				
50	3200	3 400	4 800	8 000
100	3200	7 800	12 000	15 200
175	3200	11 400	19 200	22 400
270	3200	18 000	31 200	34 400
Вертикальные газгольдеры				
Цилиндрическая часть (при давлении газа 2,5; 4; 6; 8; 10; 12,5 и 16 *ати*) из листов шириной 2000 *мм*				
50	3200	—	4 000	7 200
100	3200	—	10 000	13 200
175	3200	—	20 000	23 200
Цилиндрическая часть (при давлении газа 16; 18 и 20 *ати*) из листов шириной 2400 *мм*				
50	3200	—	4 800	8 000
100	3200	—	12 000	15 200
175	3200	—	19 200	22 400

Так как рабочее давление газа превышает 0,7 *ати*, конструкции газгольдера должны удовлетворять «Правилам устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением», утвержденным Госгортехнадзором СССР и обязательным для всех министерств и ведомств.

Оболочки газгольдеров должны изготовляться из следующих марок стали:

а) «В Ст.3 по ГОСТ 380—60, мартеновская (спокойная, по подгруппе В) для сварных конструкций с дополнительными гарантиями загиба в холодном состоянии, согласно п. 19,*д*, и ударной вязкости при температуре —20°С, согласно п. 19*и*, а

также предельного содержания химических элементов, согласно пп. 15 и 16 ГОСТ 380—60;

б) сталь низколегированная 15ХСНД (НЛ-2) по ГОСТ 5058—57*; 09Г2С(М); 10Г2СI(МК); 16ГС(ЗН) по ГОСТ 5520—62 для сварных конструкций с дополнительными гарантиями загиба в холодном состоянии и ударной вязкости при отрицательной температуре (в зависимости от технологических требований и места установки газгольдера).

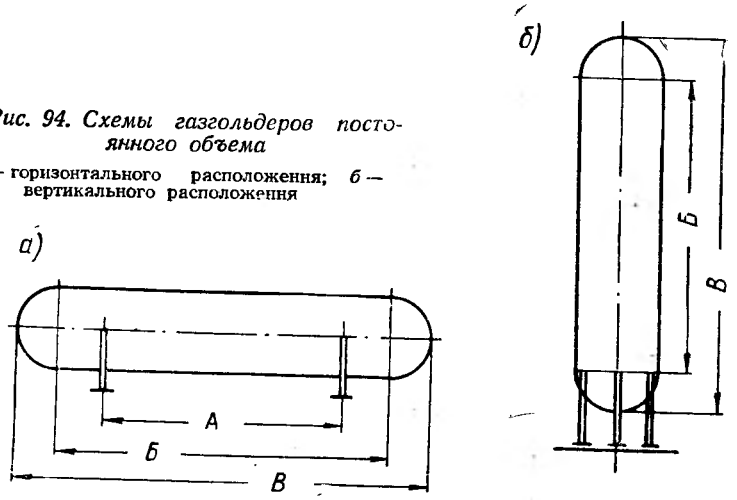


Рис. 94. Схемы газгольдеров постоянного объема

а — горизонтального расположения; *б* — вертикального расположения

Если применяется малоуглеродистая сталь ВСт. 3, толщина листа не должна быть выше 12 *мм*. При толщинах свыше 12 *мм*, необходимых по статическому расчету, следует переходить на низколегированную сталь. При строительстве газгольдеров в районах с расчетной температурой ниже —30°С применять следует только низколегированную сталь.

Следует иметь в виду, что с увеличением толщины листов фактический запас прочности в оболочке уменьшается вследствие ухудшения качества металла. В газгольдерах постоянного объема листы оболочек не должны быть толщиной более 30 *мм*, а при необходимости большей толщины следует переходить на специальные высокопрочные стали.

Для сварки оболочек газгольдера должны применяться материалы, обеспечивающие механические свойства наплавленного металла сварного шва по ГОСТ 9467—60 (при сварке стальных конструкций из стали марки ВСт.3 (спокойная) не ниже механических показателей электродов Э-42, при сварке стальных конструкций из низколегированных сталей — электродов Э-50 и Э-55).

Изготовление газгольдеров постоянного объема производится на заводах металлических конструкций по определенной технологии.

Для цилиндрической части вальцуют из отдельных листов царги, сваривая их автоматами на специальных установках (вращателях), употребляемых при сварке трубопроводов. Лепестки сферических днищ обычно изготовляют штамповкой или вальцовкой на специальных вальцах. Из лепестков собираются две отдельные полусферы для одного газгольдера. Их соединяют временными прихватками; образованный таким путем шар устанавливают на манипуляторе. При вращении шара на манипуляторе производят автоматическую сварку стыков (за исключением стыка, временно соединяющего две полусферы). Затем полусферы разъединяют, каждую из них устанавливают по концам цилиндрической части газгольдера и производят приварку днищ к цилиндрической части на той же установке для сварки трубопроводов (рис. 95).

Все сварные швы должны проходить повышенный контроль качества и плотности шва внешним осмотром, просвечиванием и испытанием (наливом воды).

Толщину листов оболочек цилиндрической и сферической частей определяют по РТМ 42-62 (руководящие технические материалы) «Сосуды и аппараты, нормы и методы расчета на прочность узлов и деталей» (Стандартгиз, 1964). Для цилиндрической части корпуса

$$S = \frac{p_p D}{2\sigma\eta\varphi - p_p} + c + c_0 + c \quad \text{(табл. 4, п. 1).}$$

Задавшись исполнительной толщиной листа, можно определить давление, при котором используются прочностные характеристики листа данной толщины:

$$[p] = \frac{2(S-c)\sigma\eta\varphi}{D+S-c}, \quad \text{(табл. 4, п. 2)}$$

где D — внутренний диаметр, равный в типовых проектах по ГОСТ 5172—63—320 *см*;

p_p — расчетное давление;

σ — номинальное допустимое напряжение при $t=20°C$*: для стали марки Ст.3 $\sigma = 1490$ *кГ/см²*, для стали марки 09Г2С(М) $\sigma = 1840$ *кГ/см²*;

c — прибавка к толщине на недокат 0,8, при толщине листов от 8 до 24 *мм* (по ГОСТ 5681—57);

φ — коэффициент сварного шва, равный 1;

η — поправочный коэффициент, равный 0,9 (как для необогреваемого сосуда);

S — исполнительная толщина цилиндрической оболочки.

---

* Номинальное допустимое напряжение равно временному сопротивлению, деленному на коэффициент запаса 2,6 (РТМ 42—62, п. 1.1.7).

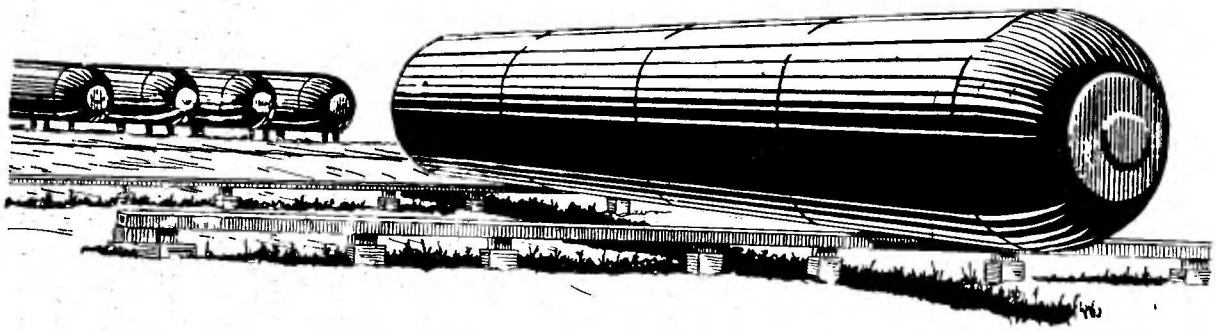


Рис. 95. Монтаж горизонтальных газгольдеров постоянного объема способом накатки по балочному пути

Толщину листа оболочки сферической части корпуса определяют по формуле

$$S = \frac{p_p D}{4\sigma\eta k\varphi z - p_p} \cdot \frac{D}{2h} + c + c_0 + c_1.$$

Задавшись исполнительной толщиной листа, можно определить давление, при котором используются прочностные характеристики листа данной толщины:

$$[p] = \frac{8(S_1 - c)\varphi k\sigma\eta z}{D + 2\frac{h}{D}(S_1 - c)} \cdot \frac{h}{D},$$

где S_1 — исполнительная толщина сферической оболочки днища;

h — высота выпуклой части (внутренняя);

k — конструктивный коэффициент для глухих днищ, при внутреннем давлении $k=1$;

z — коэффициент неукрепленного отверстия в днище; $z=1$;

c — прибавка к толщине на недокат, равная 0,8 *мм*, и на вытяжку при штамповке, равная 2,8 *мм*;

c_0 — прибавка на округление;

c — прибавка дополнительная;

η — поправочный коэффициент 0,9.

Оболочка газгольдера может работать на вакуум или на давление грунта, в который может быть заглублен корпус газгольдера.

Расчет на устойчивость гладких цилиндрических оболочек под действием наружного давления производят по РТМ 42—62.

Давление, допускаемое исполнительной толщиной оболочки, определяют по формуле

$$[p] = 6{,}49 \cdot 10^{-6} E^t \frac{D}{l}\left[\frac{100 - (S - c)}{D}\right]^2 \sqrt{\frac{100(S-c)}{D}},$$

где D — диаметр внутренний =320 *см*;

l — расчетная длина оболочки, равная расстоянию между ребрами жесткости (задается), в *см*;

c — прибавка к толщине на недокат, равная 0,08 *см*;

S — исполнительная толщина оболочки в *см*;

E^t — модуль упругости при расчетной температуре $t=50°C$: для стали марки Ст.3 — $2{,}02 : 10^6$ *кГ/см²*; для стали марки 09Г2С (М) — $1{,}93 : 10^6$ *кГ/см²*.

Формула применима при ряде параметров:

$$1)\ \beta = \frac{2(S-c)}{D} \leqslant \frac{1}{30}; \qquad 2)\ 1{,}5\sqrt{\beta} \leqslant \frac{l}{D} \leqslant \frac{1}{\sqrt{\beta}};$$

$$3)\ 0{,}3\frac{E^t}{\sigma}\sqrt{\beta^3} \leqslant \frac{l}{D}.$$

Таблица 28

Определение расчетного внутреннего давления в зависимости от толщины оболочки

Оболочка	Марка стали	Толщина листов в *мм*										
		8	9	10	11	12	14	16	18	20	22	24
Цилиндрическая	Ст. 3	5,4	6,16	6,92	7,66	8,42	9,91	11,4	12,9	14,4	15,85	17,35
	09Г2С (М)	6,94	7,9	8,87	9,84	10,8	12,7	14,62	16,55	18,5	20,18	22,12
Сферическая	Ст. 3	7,83	9,34	10,83	12,32	13,8	16,81	19,8	22,8	25,8	28,85	—
	09Г2С (М)	10,05	12	13,91	15,82	17,72	21,6	25,4	29,25	33,1	37	—

Данные для определения расчетного внутреннего давления в зависимости от толщины оболочки приведены в табл. 28.

2. Опоры газгольдеров постоянного объема

Газгольдеры постоянного объема перед тем, как заполняться газом, должны быть освобождены от находящегося в них воздуха, который, смешиваясь с газами, нарушает их кондиционные свойства. Воздух вытесняет вода, наливаемая в корпус; когда корпус наполнен водой, в газгольдер пускают газ, давление которого вытесняет воду. При необходимости освободить газгольдер от газа применяют обратный прием. Следовательно, расчетной нагрузкой для опор является вода, заполняющая газгольдер. Горизонтальные газгольдеры имеют четыре отдельные опоры-стойки. Однако нагрузку от собственного веса, веса оборудования и воды распределяют при расчете только на три опоры, являющиеся минимальным числом опорных точек для каждого сооружения. При конструировании опор необходимо стремиться к уменьшению эксцентрицитета между осью стойки и осью боковой грани оболочки.

При расчете опор необходимо учитывать горизонтальные нагрузки от ветрового давления на боковую поверхность газгольдера, а также температурное расширение корпуса между опорами.

При расчете опор газгольдера постоянного объема, расположенного в вертикальном положении, статическая схема оказывается более сложной. В этих газгольдерах опор больше, а между ними располагаются связи. Расчет опор производят на вертикальные нагрузки (от собственного веса стальных конструкций, веса фактического объема газа, заключенного в газгольдере под высоким давлением, веса воды, нагрузки от обслуживающего персонала) и на горизонтальные нагрузки (боковое давление ветра в наиневыгоднейшем для опор направлении). Вертикальные газгольдеры постоянного объема, расположенные группами (батареями), соединяют верхними или средними площадками, которые можно использовать как связи.

В местах расположения парных опор оболочку необходимо усиливать кольцевыми опорными ребрами жесткости. Размеры этих колец определяют с учетом нагрузки, возникающей при наполнении газгольдера водой как при испытании, так и во время эксплуатации.

Из общей нагрузки на одно опорное кольцо приходится половина ее. Оболочка в состоянии передать нагрузку только в направлении касательной к периметру, поэтому расчет ведется по схеме, показанной на рис. 96.

Если нагрузку, приходящуюся на одно кольцо жесткости,

обозначить через Q, то максимальное значение касательных усилий в оболочке

$$T_0 = \frac{Q}{\pi R}\ ;\quad T_\varphi = T_0 \sin\varphi = \frac{Q}{\pi R}\sin\varphi.$$

При отсутствии эксцентрицитета эпюра моментов имеет вид, указанный на рис. 96,*б*, с максимальными моментами, равными $0{,}046 \cdot T_0R^2$, возникающими при $\varphi=67$ и 113°, и минимальными моментами, равными $0{,}0355 \cdot T_0R^2$ при $\varphi=0$ и 180°.

Чтобы выравнить моменты, опоры устанавливают с эксцентрицитетом $l=0{,}0034\ R$, тогда эпюра моментов имеет вид, указанный на рис. 96,*в*.

Моменты в точках *1, 2, 1′, 2′* будут равны между собой.

Около опорных колец, вследствие разной жесткости оболочки и опорных колец, возникают местные напряжения.

Местные напряжения суммируют с осевыми, и их величина обычно не превышает допустимых.

Кольцо жесткости устанавливают в середине листовой обечайки так, чтобы соединение находилось вне зоны местных напряжений.

Чтобы предупредить местные перенапряжения в оболочке, рекомендуется всемерное сокращение сварных присоединений различных фасонок, коротышей и других вспомогательных конструкций к оболочке. Если такая приварка неизбежна, то необходимо стремиться к максимальному сокращению протяженности сварных швов. Присоединение вспомогательных конструкций на сварке может вызвать значительные перенапряжения из-за подрезов и усадочных напряжений, нарушая условия свободной работы растянутой оболочки в месте приварки и свободную деформацию оболочки.

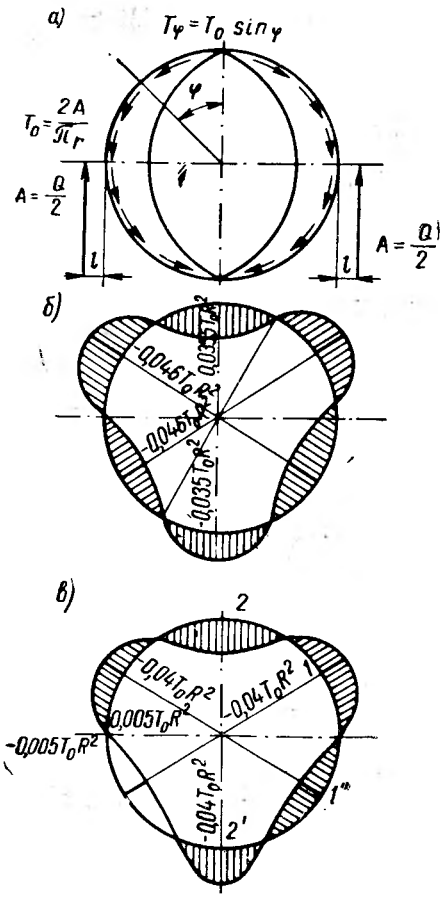


Рис. 96. Эпюры изгибающих моментов в опорном кольце газгольдера постоянного объема

а — расчетная схема опорного кольца; *б*—эпюра изгибающих моментов при установке опор без эксцентрицитета; *в* — эпюра изгибающих моментов при установке опор с эксцентрицитетом

Значения расчетных коэффициентов и коэффициентов перегрузки для газгольдеров постоянного объема приведены в табл. 29.

Таблица 29

Значения расчетных коэффициентов и коэффициентов перегрузки для газгольдеров постоянного объема

Коэффициент	Обозначение коэффициента	Для конструкций из стали	
		углеродистой	низколегированной
Перегрузки:	K		
рабочее давление газа		1,15	1,15
вес продукта		1,1	1,1
собственный вес конструкций		1,1	1,1
ветер		1,2	1,2
снег		1,4	1,4
вес оборудования		1,1	1,1
заполнение водой при испытании		1,1	1,1
нагрузка от обслуживающего персонала		1,1	1,1
Двухосного напряженного состояния	K_0	1	1
Однородности при расчетах на растяжение по временному сопротивлению стали	K_1	0,85	0,8
Однородности при расчетах по пределу текучести (при учете изгиба и на устойчивость)	K_2	0,9	0,85
Условий работы материала конструкций, когда за нормативное принято временное сопротивление разрыву	m	0,8	0,8
Условий работы шарового газгольдера для безмоментного состояния растянутой оболочки	n	0,6	0,6
Условий работы для моментного и смешанного состояния оболочки вне зон краевого эффекта	m_2	0,9	0,9
Условий работы для зон краевого эффекта	$m_2^к$	1,7	1,7
Условий работы для оболочки при расчете на устойчивость по критическим напряжениям	m_3	0,6	0,6
Неравнопрочности сварного шва при автоматической сварке оболочки на монтаже	φ	0,95	0,95

§ 2. ШАРОВЫЕ ГАЗГОЛЬДЕРЫ

1. Общие сведения

Шаровые газгольдеры также относятся к газгольдерам постоянного объема и высокого давления газа (обычно превышающего 0,7 *ати*). Они широко используются в химической и азотнотуковой отраслях промышленности для хранения искусственных газов, находящихся как в газообразном, так и в сжиженном состоянии.

По своей статической схеме шаровой газгольдер является наиболее рациональным из всех типов газгольдеров и требует минимальных затрат стали.

Шаровые газгольдеры широко распространены за рубежом. Для изготовления их оболочки за рубежом используют высокопрочные стали с высокими значениями временного сопротивления. В Америке для шаровых газгольдеров применяют сталь марки Т-1 с временным сопротивлением 73 *кГ/мм*^{2}, во Франции и ФРГ — сталь с временным сопротивлением 52 *кГ/мм*^{2}.

В некоторых зарубежных странах строят шаровые газгольдеры емкостью 5000—10 000 *м*^{3} и более; максимальная емкость шарового газгольдера, построенного во Франции (г. Шинон), равна 87 000 *м*^{3} (рис. 97).

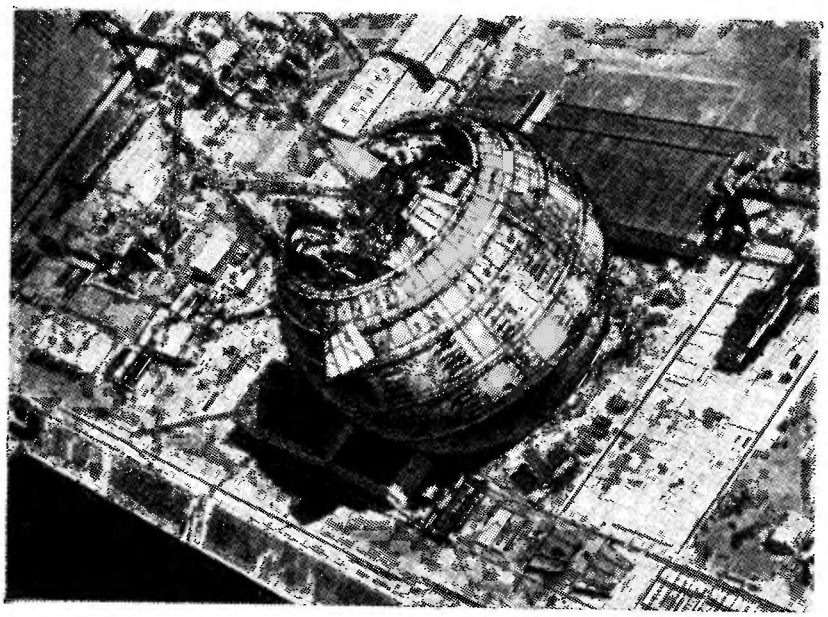


Рис. 97. Строительство шарового газгольдера емкостью 87 000 м^3 *в г. Шинон (Франция)*

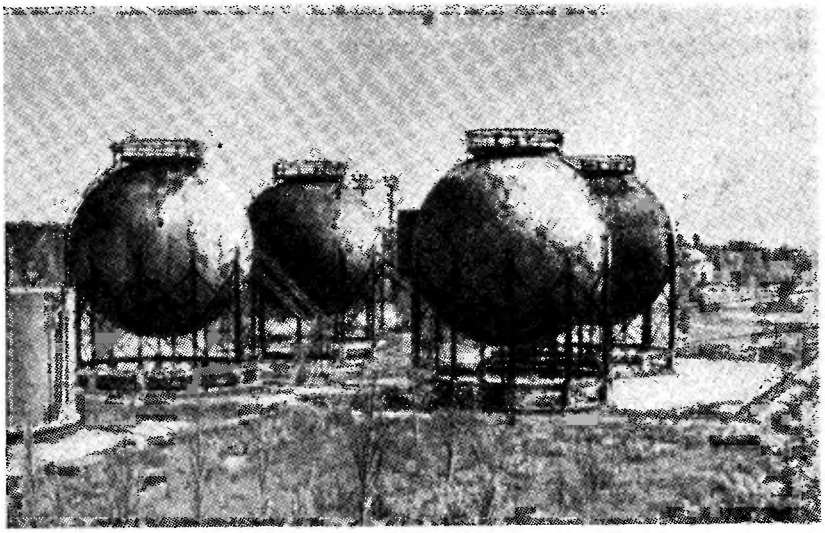


Рис. 98. Общий вид шаровых газгольдеров с опиранием на стойки, расположенные в экваториальной части сферы

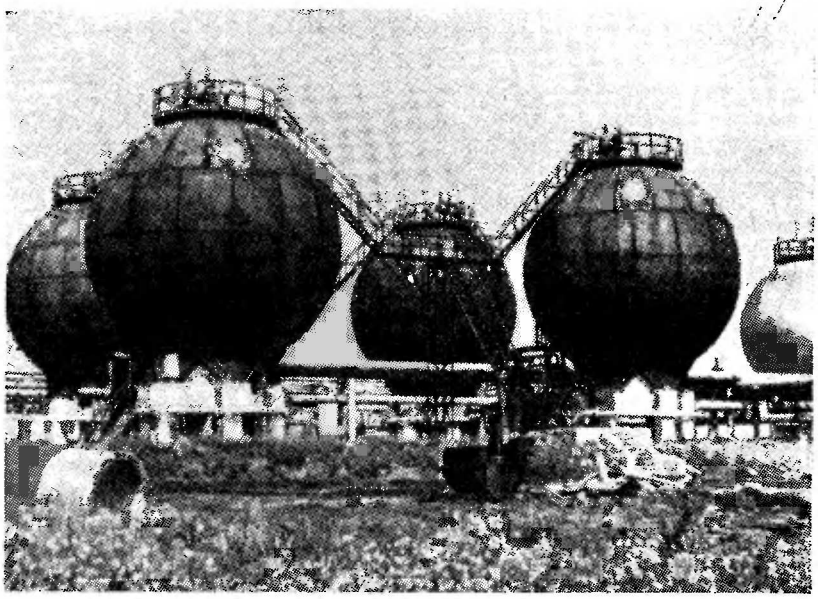


Рис. 99. Шаровые газгольдеры с цилиндрическими опорами

У нас строятся шаровые газгольдеры емкостью 600 $м^3$; в ближайшие годы будут строиться газгольдеры емкостью до 4000 $м^3$.

Сферические шаровые газгольдеры используются для хранения азота, аммиака, водорода, а также сжиженных газов (бутан, пропан и др.) и легкоиспаряющихся жидкостей, особенностью которых является способность интенсивного испарения при незначительном нагреве, в результате чего над поверхностью жидкого продукта образуется газ высокого давления.

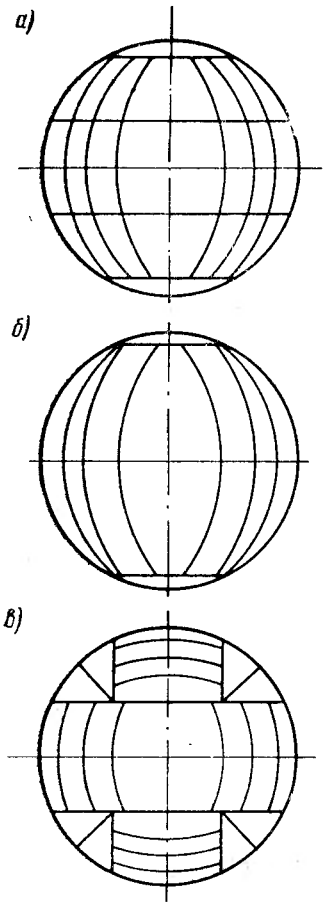


Рис. 100. Схемы раскладки листов и лепестков на шаровой поверхности

а — трехпоясная меридиональная; *б* — двухпоясная меридиональная; *в* — однопоясная смешанная

Шаровые газгольдеры включают в газовую сеть последовательно, и они работают на проход газа, имея два трубопровода, по одному из которых газ входит, по другому — выходит. При этом в газгольдере возникает аккумуляция давления газа, вызываемая разностью давлений в газовводе и газовыводе. На выводном трубопроводе обычно устанавливают редукционный клапан, понижающий давление за газгольдером и создающий необходимую разность давления.

Сжиженный газ входит в газгольдер через трубопровод, подведенный к верхней части шара и доходящий почти до самого дна. Таким образом газ фактически заливают снизу. Для выпуска жидкого газа в нижней части дна есть выпускной трубопровод.

В практике проектирования и строительства применяются разнообразные конструкции и системы опор газгольдеров. Большим распространением за рубежом пользуется система опирания, состоящая из отдельных стоек-колонн, прикрепленных к шару по экватору (рис. 98). Нередко применяют систему опор в виде цилиндрического стакана, на верх которого опирается шаровая поверхность (рис. 99).

Встречаются опоры, состоящие из отдельных наклонных стоек, сходящихся книзу в виде корзины. Отдельные стойки в

всех системах соединяют друг с другом плоскостями крестовых связей из прокатных профилей или тяжей.

Основным критерием рациональности проектирования шарового газгольдера являются затраты стали на изготовление оболочки. Оболочка состоит из отдельных лепестков, раскроенных в экваториально-меридиональном направлении (система апельсиновых долек) (рис. 100). При раскрое некоторая часть стальных листов поступает в отходы, сокращение которых является одной из важных задач. Кроме того, необходимо стремиться к наименьшей протяженности сварных швов (табл. 30).

Таблица 30

Отходы стали при раскрое лепестков и протяженность сварных швов в шаровых газгольдерах емкостью 2000 $м^3$ ($D_в = 16\,000$ мм, $F_{бок.пов} = 808{,}6$ $м^2$) при различных способах раскладки листовых лепестков на шаровой поверхности

Вариант раскладки листов (см. рис. 100)	Размеры листов, из которых изготавливается шаровая поверхность, в *мм*	Отходы стали при раскрое лепестков в %	Протяженность сварных швов в *мм*	Примечания
а	2300×6000 2600×7000	24	520	Вариант применим при расположении вертикальных стоек, примыкающих к экваториальной части шара
	2300×5500 2600×7000	20,1	531	
	2600×8300	10,9	556	
	2100×7000 2600×7000	7,4	649,6	
	1600×7000	7,7	807	
	2600×7500	8,8	616	
	2100×7000	8,6	750	
б	2000×8400	21	597,1	Вариант применим при наклонных стойках (корзинка)
в	2600×8000	14,5	488,2	

Опыт проектирования шаровых оболочек показывает экономичность применения широких и недлинных листов, что позволяет использовать до 85% площади листа (в газгольдерах емкостью 600 $м^3$), в то время как при применении листов длиной 7000 *мм* и выше используется только 50—55% площади.

Оболочка шаровых газгольдеров выполняется из низколегированной стали марки 09Г2С(М) или марки 16ГС(ЗН) по ГОСТ 5520—62 с дополнительной гарантией ударной вязкости при отрицательной температуре.

Применение низколегированной стали для оболочки, помимо обеспечения надежной работы в условиях низких температур, дает экономию стали и снижает стоимость конструкций оболочки в целом, так как повышение стоимости 1 *т* низколегированной стали перекрывается большим увеличением ее прочности и значительным уменьшением веса конструкции.

Применение низколегированной стали снижает возможность хрупкого разрушения в результате возникновения многоосного напряженного состояния. Этому содействует также уменьшение толщины оболочки примерно на 20% по сравнению с толщиной оболочки из стали марки Ст.3.

Для хранения агрессивных жидкостей и газов, вызывающих коррозию металла, может быть применена толстолистовая двухслойная стойкая против коррозии сталь по ГОСТ 10885—64, с основным слоем из углеродистой стали (марок ВСт.3, ВСт.4 и др.), или низколегированной стали (марок 12НХ, 09Г2С(М), 09Г2, 10ХСНД(СХЛ-4) и др.) и с плакирующим слоем из нержавеющей стали (например, из стали марки Х18Н9Т и др.) или из никеля (марки НП2).

Сталь по ГОСТ 10885—64 может быть поставлена горячекатаная или термически обработанная (после закалки, нормализации или стабилизирующего отжига).

Применение двухслойной стали должно быть обосновано, поскольку ее стоимость довольно высока и превышает стоимость малоуглеродистой стали (например, стали ВСт.3) примерно в 5 раз.

Трубчатые опоры выполняют из горячекатаных труб — сталь 20 мартеновская спокойная по ГОСТ 8731—58 или по ГОСТ 1050—60 с содержанием кремния в пределах 0,17—0,22%. Механические характеристики стали должны соответствовать требованиям ГОСТ 8781—58.

Стыки оболочки сваривают автоматами с применением высококачественных электродов, обеспечивающих равнопрочность швов основному металлу и пластичность соединений.

Сварка оболочки должна быть выполнена автоматами с полным проваром, причем показатели плотных сварных швов должны быть не ниже чем для электродов Э-50 по ГОСТ 9467—60.

Примерно 10% сварных швов (от общей протяженности) должно контролироваться рентгенопросвечиванием.

Ручную сварку (воротников, усилений, патрубков из низколегированной стали) производят электродами Э-50А по ГОСТ 9467—60. Опорные конструкции (стойки, связи) на заводе и при монтаже сваривают электродами Э-42А по ГОСТ 9467—60.

Оболочку резервуара рассчитывают на давление газа или на совместные нагрузки от наполняющего газгольдер продукта (сжиженного газа) и на давление газа (в газовой зоне).

В большинстве случаев основной нагрузкой является вода, которую заливают в газгольдер при испытании, чтобы вытеснить воздух при первом заполнении газгольдера газом или чтобы вытеснить из газгольдера хранившийся газ и потом заполнить его газом другого состава (вода играет роль своеобразного поршня).

При расчете фундаментов необходимо учитывать собственный вес оболочки, оборудования и вспомогательных конструкций, вес воды (в период испытаний), вес продукта, собственный вес газа (который при фактических объемах газа, исчисляемого тысячами кубометров, будет измеряться тоннами), а также ветровые и снеговые нагрузки и нагрузку от обслуживающего персонала.

Геометрические показатели газгольдеров постоянного объема приведены в табл. 31.

2. Показатели расхода стали

Чтобы сравнить рациональность запроектированной оболочки шаровых газгольдеров (без учета затрат стали на опоры и второстепенные конструкции) различных емкостей, давления газа и объемного заполнения продуктом, пользуются формулой, дающей относительный показатель расхода стали на оболочку,

$$\frac{Q}{v_r k_з p} = \frac{Q}{v_з p} \; кг/м^3,$$

где Q — абсолютный расход стали на оболочку в $кг$;

v_r — геометрическая емкость оболочки в $м^3$;

$k_з$ — коэффициент заполнения оболочки продуктом ($v_r k_з$ есть полезный объем $v_з$);

p — величина внутреннего давления в газовом пространстве, которая является в данной формуле величиной безразмерной и показывает число избыточных атмосфер.

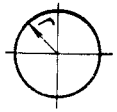
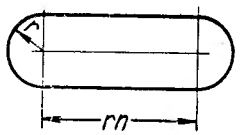
Для оболочки определенной формы (шар, цилиндр с заданным соотношением длины к диаметру и др.) без конструктивных добавок и при одинаковых методах расчета такой показатель является величиной постоянной, не зависящей ни от размеров емкости, ни от величины внутреннего давления.

3. Расчет оболочки шарового газгольдера

Оболочка шарового газгольдера рассчитывается на величину давления в зависимости от состояния хранимого материала. В одном случае газгольдер может быть хранилищем газа в газообразном состоянии и расчет его ведется на максималь-

Таблица 31

Основные геометрические показатели газгольдеров постоянного объема
(Справочник проектировщика. Металлические конструкции промышленных зданий и сооружений)

Характеристика						
геометрическая форма	схема	объем	поверхность	радиус равного по объему шара	отношение поверхности к поверхности равного по объему шара	удельный вес оболочки[1]
Шар		$\frac{4}{3}\pi r^3$	$4\pi r^2$	r	1	$\frac{3\gamma P}{2[\sigma]\varphi} = g_c$
Цилиндр со сферическим днищем		$\pi r^2\left(\frac{4}{3}r + l\right) = \pi r^3\left(\frac{4}{3} + n\right)$	$2\pi r(2r + l) = 2\pi r^2(n + 2)$	$\sqrt[3]{1+\frac{3}{4}n}$	$\frac{\frac{n}{2}+1}{\sqrt[3]{\left(1+\frac{3}{4}n\right)^2}}$	$\frac{1+n}{1+0{,}75n} = g_c$

[1] Удельный вес оболочки определяется как частное от деления веса оболочки на объем газа в сосуде.

Обозначения: P — избыточное давление в $кГ/см^2$;
γ — вес стали в $кг/см^2$;
$[\sigma]$ — допускаемое напряжение на растяжение в $кГ/см^2$;
φ — коэффициент прочности сварного шва;
g_c — удельный вес сферической оболочки в $кг/см^2$;
n — принятая ширина листа.

ное задаваемое технологами давление газа. Шаровой газгольдер может быть использован также для хранения сжиженных газов. В этом случае давление в максимально нагруженной нижней точке оболочки складывается из максимального заданного давления газа над залитым продуктом (сжиженный газ или быстроиспаряющиеся жидкости) и гидростатического давления этой жидкости с учетом высоты заполнения и удельного веса жидкости.

Оболочка рассчитывается на прочность, на давление газа или газа и жидкости по безмоментной теории; оболочка также должна быть проверена в местах крепления опорной части. Опорная часть может представлять собой цилиндр, на который опирается по всему контуру сфера газгольдера. Опорная часть может представлять собой отдельные опоры, соединенные или не соединенные между собой связями. Изгибающий момент в оболочке может быть передан на опорную часть, причем расчет на краевой эффект в месте крепления опор несколько усложнен. Изгибающий момент может и не передаваться на опоры (или опорную часть).

Расчет оболочки на прочность по безмоментной теории производится по формуле

$$\delta = \frac{pnr}{2R_1 m\varphi} + c,$$

где δ — толщина оболочки;

p — нагрузка на верхнюю или нижнюю точку оболочки в $кГ/см^2$ (определяется или как давление газа, или как суммарное давление газа и гидростатическое давление жидкости);

n — коэффициент перегрузки, равный 1,2;

m — коэффициент условия работы, равный 0,65;

r — внутренний радиус газгольдера в $см$;

φ — коэффициент прочности сварного шва, равный 0,65;

c — надбавка к толщине на недокат, равная 0,8 $мм$, и на вытяжку при штамповке, равная 2,8 $мм$ (РТН 42—62);

$$R_1 = [\sigma]_в k_1 k_2.$$

Здесь $[\sigma]_в$ — временное сопротивление стали принятой марки;

k_1 — коэффициент однородности стали;

k_2 — коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние, равный 1.

В зависимости от принятой опорной конструкции оболочка шарового газгольдера должна быть проверена на местный краевой эффект по линии опирания. При проектировании систем опирания рекомендуется шарнирное закрепление к оболочке, при котором изгибающий момент, возникающий в оболочке в месте опирания, не передается на опорную часть.

Оболочка должна быть проверена также на устойчивость при вакууме.

Расчет сводится к определению допустимого вакуума при существующих параметрах шарового газгольдера.

Критическое напряжение и критическое давление находят по формулам

$$\sigma_{кр} = k\frac{E\delta}{r}; \quad p_{кр} = 2k\frac{E\delta^2}{r^2},$$

где δ — толщина оболочки в *см*;
r — внутренний радиус в *см*;
k — коэффициент, установленный экспериментально и равный 0,1.

Допускаемый вакуум определяют по формуле

$$p_{доп} = \frac{2\sigma_{кр}\, k_2 m_з \delta}{rn},$$

где k_2 — коэффициент однородности материала;
$m_з$ — коэффициент условий работы, равный 0,65;
n — коэффициент перегрузки, равный 1,2.

4. Изготовленне и монтаж шаровых газгольдеров

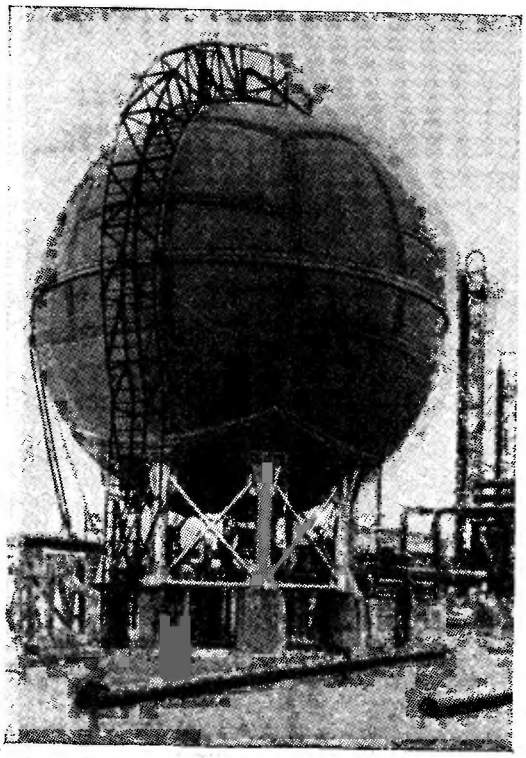


Рис. 101. Клепаный шаровой резервуар с катучей лестницей

На заводе металлических конструкций изготовляют отдельные лепестки, из которых на монтаже собирается шаровая оболочка газгольдера (рис. 101). Несколько лет назад лепестки изготовлялись горячей штамповкой и высадкой. Обычные вальцовые станки были не пригодны для изготовления лепестков, так как лепестки при значительной ширине (до 2000—2400 *мм*) имеют стрелку кривизны бо́льшую, чем расстояние в свету между верхними и нижними валками обычных листогибочных станков.

В настоящее время лепестки вальцуют холодным способом на вальцовочной установ-

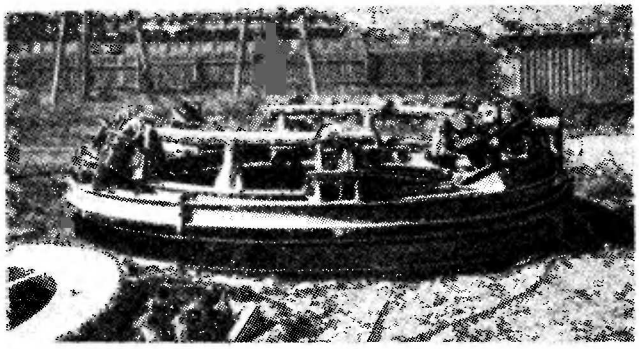


Рис. 102. Манипулятор-вращатель для монтажной сварки шарового резервуара

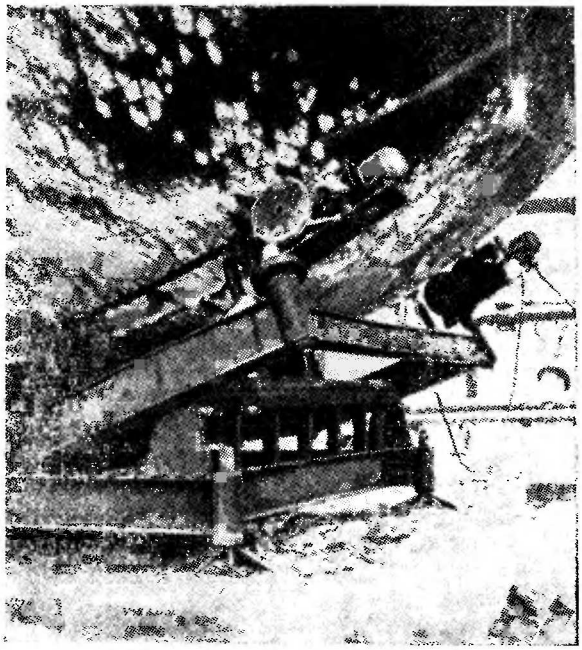


Рис. 103. Узел манипулятора-вращателя

ке Сабирова. Лепестки имеют кривизну в двух направлениях.

Готовые лепестки должны иметь габариты, удобные для железнодорожных перевозок.

Монтаж шарового газгольдера начинается подготовительными работами по нулевому циклу и фундаментам. По окончании подготовительных работ на месте шарового газгольдера устанавливают манипулятор, представляющий собой разборную конструкцию (рис. 102 и 103). Краном укладывают предварительно укрупненные лепестки на манипулятор, из которых собирается полный шар. При вращении роликов шар поворачивается в нужном направлении, а стоящие вверху манипулятора сварочные автоматы сваривают стыки между лепестками.

Одновременно с окончанием сварки монтируют опорную часть (отдельные стойки или опорную цилиндрическую опору), после закрепления оболочки к опорным частям манипулятор-вращатель демонтируют и вытаскивают отдельными частями из-под шарового газгольдера.

Глава IX

Сравнительные технико-экономические показатели газгольдеров различных типов

1. Газгольдеры низкого давления

Стальные газгольдеры применяются для длительного или кратковременного хранения газов, не вызывающих интенсивной коррозии металла. К газам, сильно агрессивным по отношению к металлу, относятся сероводород при концентрации около 0,01 и влажности свыше 75%, фтористый водород при концентрации 0,0005—0,001 и влажности около 60—75%, окись азота при концентрации 0,001—0,005 и влажности 75%, хлористый водород при концентрации свыше 0,001 и влажности более 75%, хлор при концентрации более 0,01 и влажности 75% и ряд других газов, при хранении которых необходимо применять специальные меры антикоррозийной защиты (нержавеющие стали, обкладка пластиком и др.). Остальные газы можно хранить в стальных газгольдерах, применяя обычные способы антикоррозийной защиты.

Исключение составляют обезвоженные газы и газы высокой концентрации, выбор типов газгольдеров для которых ограничен.

Каждый из описанных выше типов газгольдеров имеет свои преимущества и недостатки (как в изготовлении, монтаже, строительных и технологических обстройках, оборудовании, так и освоенности строительством, в эксплуатации, надежности, стоимости сооружения и оборудования, стоимости эксплуатации и безопасности эксплуатации).

Сравнение необходимо начать с наиболее распространенной в промышленности группы газгольдеров низкого постоянного давления и переменного объема.

Наиболее распространенный тип газгольдеров этой группы — мокрые газгольдеры с вертикальными направляющими (рис. 104).

Они хорошо освоены строительством, монтажом и удобны в эксплуатации, однако для их строительства требуется больше металла, чем для винтовых мокрых газгольдеров (рис. 105).

Распределение веса стальных конструкций мокрого газгольдера приведено в табл. 32.

Основным уплотнением, создающим газонепроницаемость в газгольдере, является вода, заливаемая в резервуар. Воду, находящуюся в резервуаре и гидрозатворах в зимнее время, необ-

ходимо подогревать до температуры не менее 5°С. Механическое оборудование — ролики — требуют наблюдения и смазки. Нижние ролики постоянно погружены в воду и доступны для осмот-

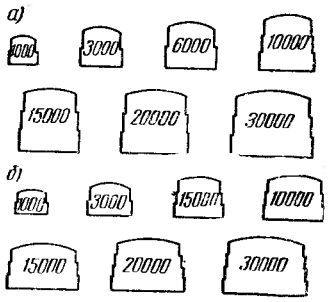


Рис. 104. Схемы мокрых газгольдеров разных емкостей, разработанные институтом Проектстальконструкция

а — с вертикальными направляющими (типовые проекты 7-07-04—7-07-11); *б* — с винтовыми направляющими (типовые проекты 7-07-30—7-07-36)

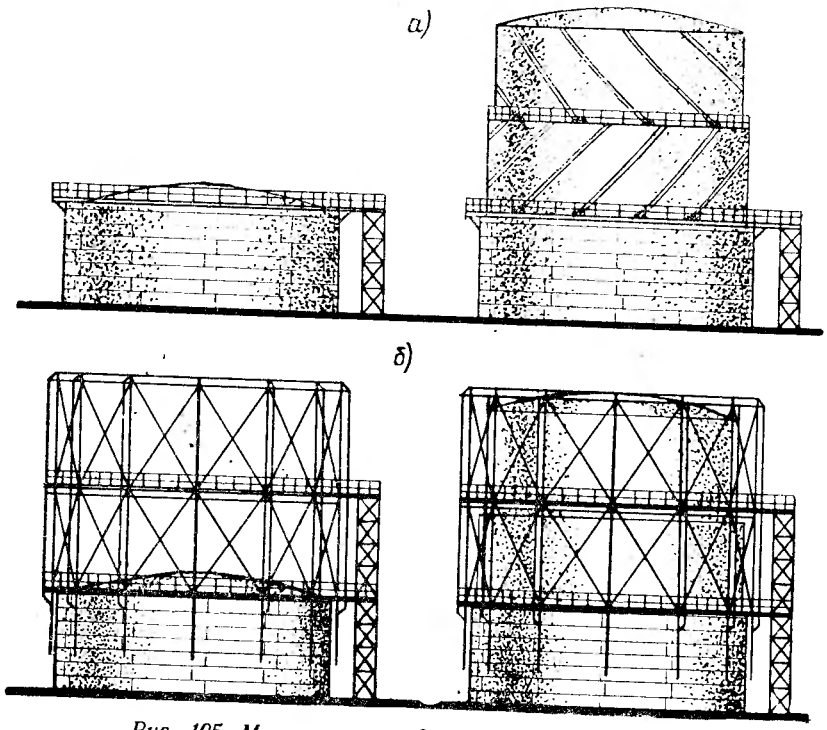


Рис. 105. Мокрые газгольдеры емкостью 15 000 м³

а — с винтовыми направляющими; *б* — с вертикальными направляющими

ра только при выпуске воды из резервуара. Постоянное увлажнение хранимых газов и особенно зимой, когда на внутренних

стенках появляется обильный конденсат, неизбежно приводит к коррозии металла и плановым (через 1,5—2 года) ремонтам, состоящим в заделке корродированных участков металла и замене листов.

Резервуар опирается на кольцевой железобетонный фундамент, трудоемкий при строительстве и дорогой по стоимости. Во внутреннем пространстве кольцевого фундамента делают искусственное основание. Газоввод устраивают через специальный железобетонный приямок снизу.

График колебаний объемов газа в тупиковом мокром газгольдере приведен на рис. 106.

Пригрузки состоят из бетонных грузов, располагаемых на крыше колокола, и из чугунных грузов, находящихся внутри колокола внизу. Чугунные грузы — это специальные чугунные отливки. Стоимость 1 *т* чугунных грузов приближается достаточно близко к стоимости 1 *т* стали, поэтому при сравнении затрат стали на 1 $м^3$ газа показан расход стали с учетом и без учета чугунных грузов (табл. 33).

В мокром газгольдере нельзя хранить газы обезвоженные и газы высокой концентрации.

Винтовые мокрые газгольдеры по затратам стали экономичнее, чем обычные мокрые газгольдеры с вертикальными направляющими, в среднем на 15% (рис. 107). Экономия стали может быть достигнута при сооружении винтовых мокрых газгольдеров емкостью от 6000 $м^3$ и выше. Винтовые газгольдеры емкостью менее 6000 $м^3$ не дают заметного преимущества в затратах стали при строительстве, но количество и вес механических деталей (роликов) уменьшается примерно в 2 раза, что в свою очередь влечет к уменьшению эксплуатационных расходов. В графиках затрат стали на 1 $м^3$ газа, хранимого в винтовых мокрых газгольдерах, показаны затраты стали с учетом и без учета веса чугунных грузов (рис. 107 и 108). Железобетонный кольцевой фундамент, приямок, искусственное основание по конструкциям и затратам средств аналогичны принимаемым для обычных мокрых газгольдеров.

Мокрые газгольдеры относительно безопасны в эксплуатации. В случае если в оболочках подвижных звеньев по каким-либо причинам образуются отверстия и разрывы стальных листов, то будет просачиваться газ, который может быть токсичен для окружающих и может воспламениться от источника открытого огня. Взрыв мокрого газгольдера может быть только результатом преступной небрежности. Наибольшее число аварий мокрых газгольдеров происходит в период испытаний их или при ремонте, когда в отдельных частях газгольдера (колокол, газопроводы) может образоваться взрывоопасная смесь воздуха с газом.

Сухие газгольдеры типа МАН и Клённе работают по принципу паровой машины. Поршень скользит в корпусе газгольде-

ра, соприкасаясь со стенкой корпуса через прижимной стальной лист или уплотняющую подушку из ткани или резины. Чтобы предотвратить просачивание газов в неплотности между порш-

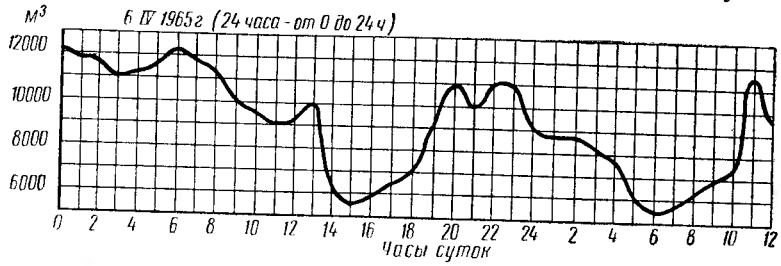


Рис. 106. График колебаний объема газа в тупиковом мокром газгольдере емкостью 15 000 м³

Таблица 32

Распределение веса стальных конструкций мокрого газгольдера в % от общего веса конструкций (усредненные данные)

Конструкция	Мокрые газгольдеры с вертикальными направляющими		Мокрые газгольдеры с винтовыми направляющими		
	однозвенные	двухзвенные	однозвенные	двухзвенные	трехзвенные
Днище резервуара	13	11	22	18	17
Стенка резервуара	24 } 43	19 } 33	21 } 50	17 } 38	14 } 34
Кольцевая площадка	6	3	7	3	3
1-й телескоп	—	15	—	20	14
2-й телескоп	—	—	—	—	15
Колокол	40	27	41	33	27
Направляющие:					
внешние вертикальные	10	16	—	—	—
внутренние вертикальные	2	5	—	—	—
винтовые	—	—	2	5	7
Лестницы и площадки	5	4	7	4	3
Итого	100	100	100	100	100
Ролики	1,4 т	17 т	1,4 т	5 т	13 т

нем и стенкой корпуса, контактные места заливают газгольдерным маслом или специальной смазкой. Смазка и масло, просачиваясь сквозь зазоры, стекают по стенке в специальные маслосборники, здесь их подогревают, профильтровывают и специальными насосами перекачивают вверх. Зимой масло замерзает,

Таблица 33

Расход стали и чугуна при строительстве газгольдеров низкого давления в *т*

Емкость в $м^3$	Мокрые газгольдеры с вертикальными направляющими (№ 7-07-01—7-07-11 включительно)					Мокрые газгольдеры с винтовыми направляющими (№ 7-07-30—7-07-36 включительно)					Сухие газгольдеры с гибкой секцией[1]		
	вес стальных конструкций	ролики	чугунные грузы	общий вес металла		вес стальных конструкций	ролики	чугунные грузы	общий вес металла		вес стальных конструкций	ролики	общий вес металла
				без чугунных грузов	с чугунными грузами				без чугунных грузов	с чугунными грузами			
100	14,29	1,42	4,43	15,71	20,14	—	—	—	—	—	22,35	0,45	22,8
300	25,27	1,45	6,98	26,72	33,7	—	—	—	—	—	37,58	0,45	38,03
600	38,6	1,89	11,25	40,49	51,74	—	—	—	—	—	54,32	0,45	54,77
1 000	54,62	2,29	30,81	56,91	77,72	60,26	1,11	30,71	61,37	92,08	69,07	0,45	69,52
3 000	117,92	3,43	47,95	121,35	169,3	116,12	1,66	77,39	117,78	195,17	132,85	0,45	133,3
6 000	203,42	5,83	77,04	209,25	286,29	164,89	4,24	49,8	169,13	218,93	219,04	0,6	219,64
10 000	275,65	15,65	48,02	291,3	339,32	253,39	5,65	80,51	259,04	339,55	307,75	0,6	308,35
15 000	353,73	15,65	58,75	369,38	428,13	317,09	5,65	141,43	322,74	464,17	—	—	—
20 000	414,76	15,65	101,95	430,41	532,36	378,31	10,26	104,04	388,57	492,61	—	—	—
30 000	621,8	20,91	171,36	642,71	814,07	494,08	15,39	147,09	509,47	656,56	—	—	—

[1] По типовым проектам института Проектстальконструкция.

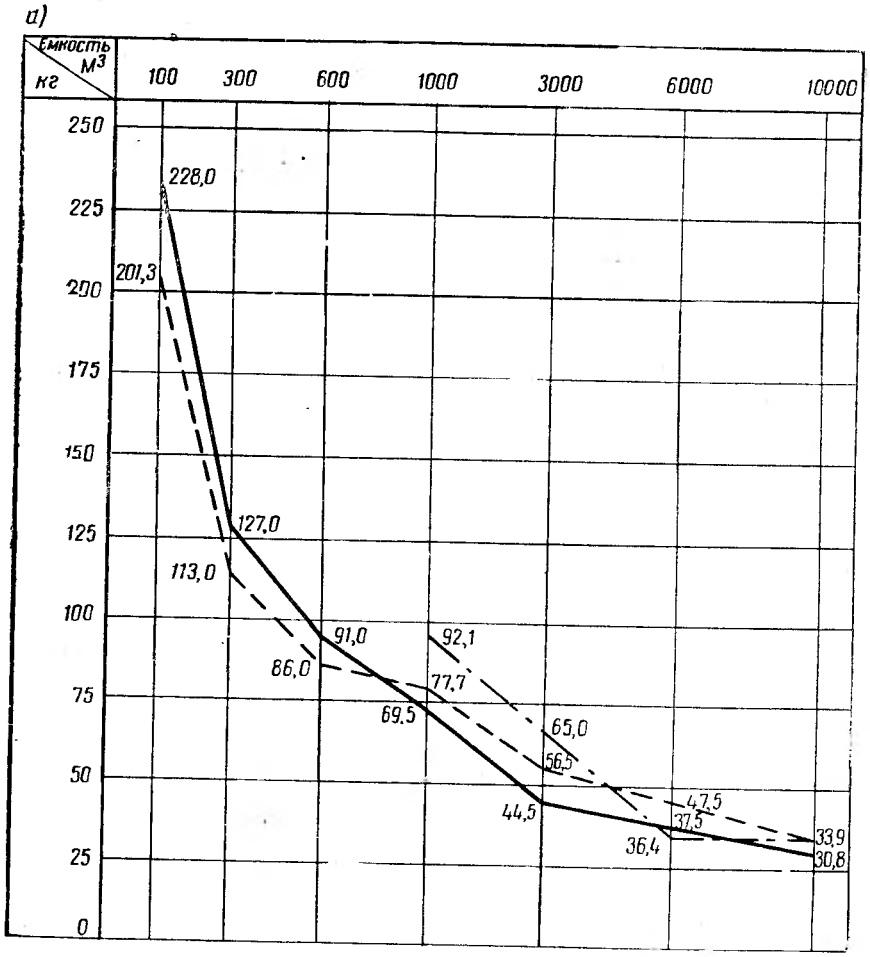
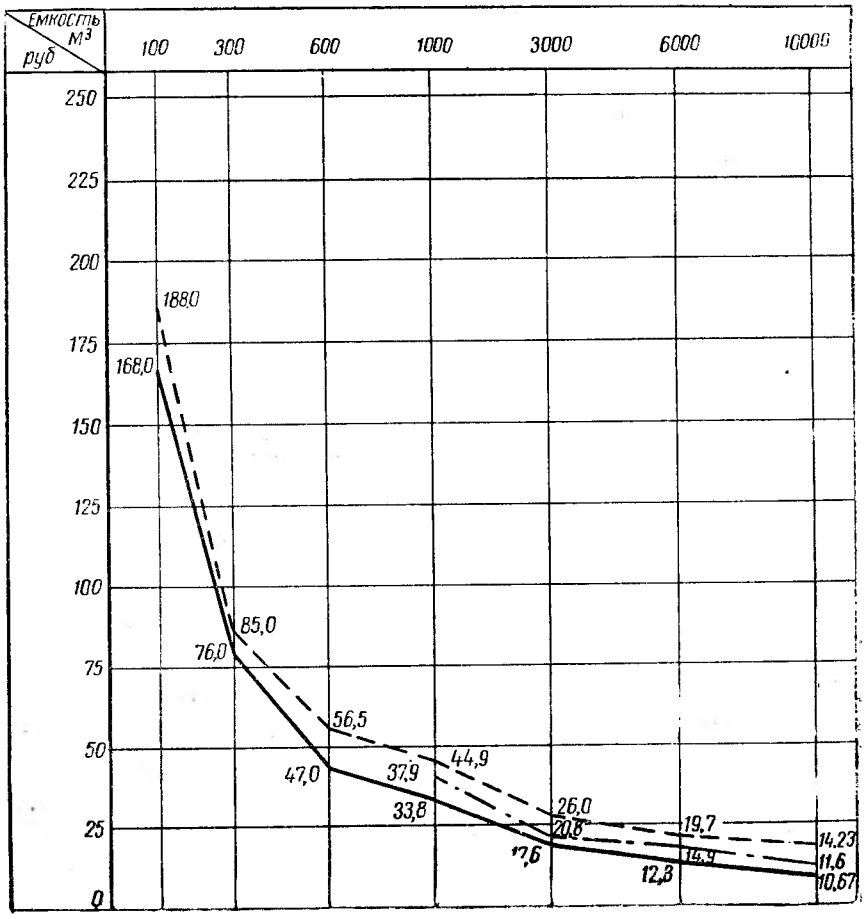


Рис. 107. Графики расхода металла и капиталовложений при строительстве
а — расход металла с учетом веса чугунных грузов; *б* — капиталовложения; ——— ными направляющими; — . — . — мокрый

образуя наледи; в районах с суровой зимой строят утепляющие кирпичные стены на всю высоту корпуса газгольдера и предусматривают отопление помещения. Чувствительный к перекосам поршня сухой газгольдер обязательно должен иметь кольцевой железобетонный фундамент. Сухие газгольдеры этих типов возводились из соображений экономии металла. В Советском Союзе сухие газгольдеры поршневого типа (типа немецких газгольдеров Клённе) проектировались Гипроспецпромстроем типовыми по ГОСТ 2907—45 и имели очень экономичные показатели по затратам стали:



газгольдеров низкого давления (на 1 м³ номинальной емкости)

сухой газгольдер с гибкой секцией; ———— мокрый газгольдер с вертикаль-
газгольдер, с винтовыми направляющими

емкостью	10 000 *м³*	31,4	*кг/м³*
»	20 000 »	21,05	»
»	30 000 »	17,5	»
»	50 000 »	14,7	»
»	100 000 »	11,22	»

Затраты стали на сухие газгольдеры поршневого типа являются самыми низкими по сравнению с затратой стали на газгольдеры низкого давления других типов. Однако ненадежность сухих газгольдеров в эксплуатации (частые ремонты уплотнений, образование наледей в зимнее время на стенках корпуса,

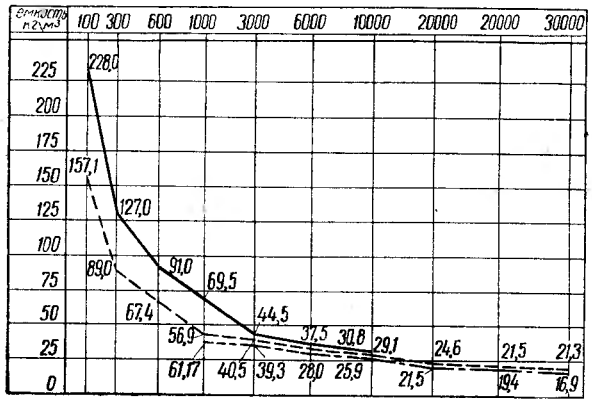


Рис. 108. График расхода металла при строительстве газгольдеров низкого давления (на 1 м³ номинальной емкости) без учета веса чугунных грузов

———— сухой газгольдер с гибкой секцией; ———— мокрый газгольдер с вертикальными направляющими; —.—.— мокрый газгольдер с винтовыми направляющими

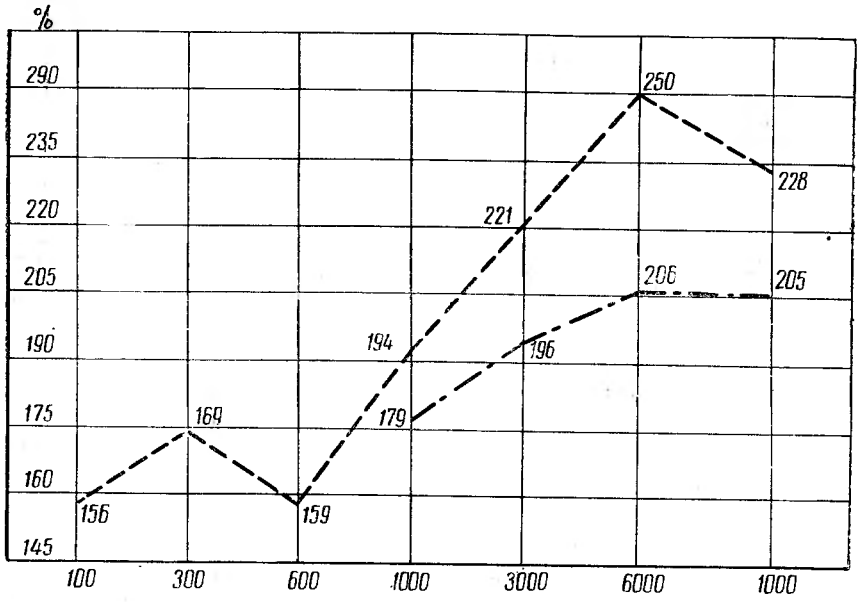


Рис. 109. График эксплуатационных расходов для газгольдеров низкого давления (по данным института Гипрогазтоппром). За 100% приняты расходы по эксплуатации сухих газгольдеров с гибкой секцией

— — — — — мокрые газгольдеры с вертикальными направляющими; —.—.— мокрые газгольдеры с винтовыми направляющими (показатели для сухих газгольдеров приняты за 100%)

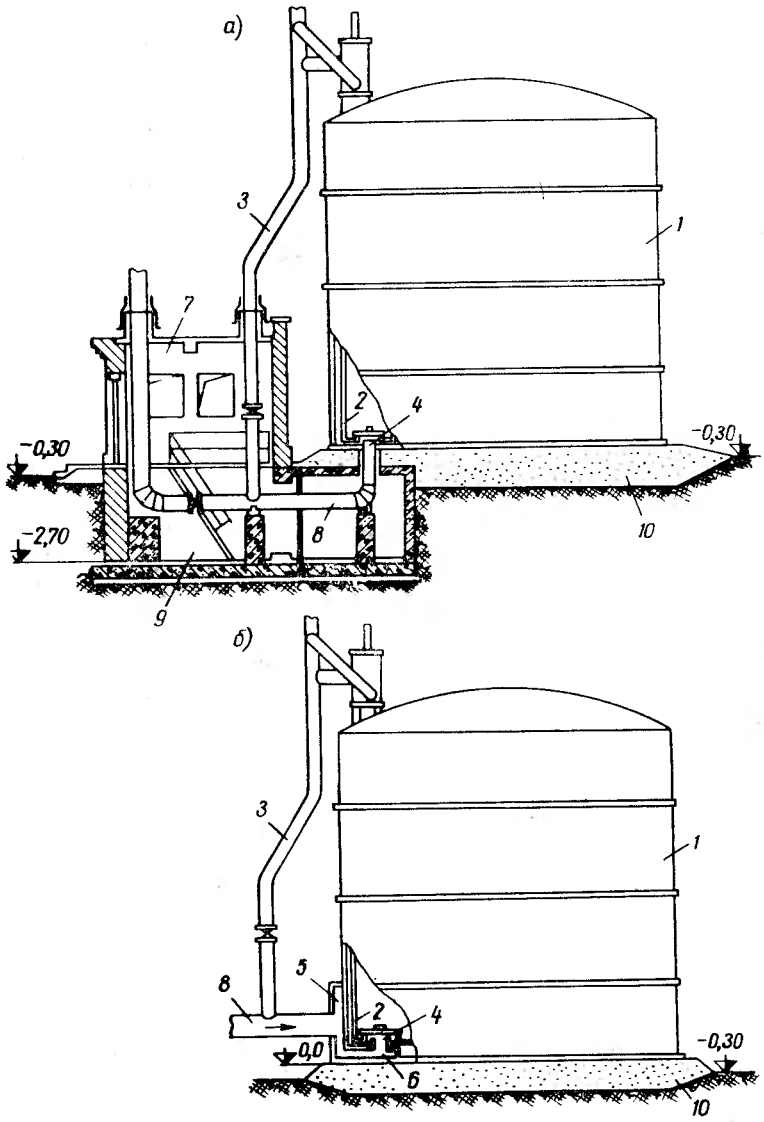


Рис. 110. Варианты газовых вводов в сухие газгольдеры с гибкой секцией

а — газовый ввод снизу; *б* — газовый ввод сбоку; *1* — резервуар; *2*—шайба; *3* — газосбросный стояк; *4* — отсекающее устройство; *5* — наружная камера бокового газоввода; *6* — внутренняя камера бокового газоввода; *7* — будка управления; *8* — газопровод; *9* — приямок; *10* — песчаное основание

проскоки газов и др.), а также высокая стоимость эксплуатации сводили на нет экономию, полученную в результате снижения металлических затрат. Самое большое количество аварий и пожаров зарегистрировано именно для этих типов газгольдеров.

В СССР есть несколько сухих газгольдеров поршневого типа, дальнейшее же строительство их прекращено.

Сухие газгольдеры поршневого типа не пригодны для хранения обезвоженных газов и газов высокой концентрации, так как соприкасаясь с маслами и их парами такие газы теряют свои кондиционные свойства.

Сухие газгольдеры нового типа, снабженные гибкой секцией из прорезиненной ткани, по многим показателям выгодно отличаются от газгольдеров, описанных выше (рис. 109). Сухие газгольдеры с гибкой секцией не имеют кольцевых железобетонных фундаментов, а опираются на искусственное песчаное основание. Уплотнение, обеспечивающее газонепроницаемость, создается гибкой секцией (мембраной) из прорезиненной ткани. Сухие газгольдеры этого типа являются единственными среди газгольдеров низкого давления, в которых можно хранить обезвоженные газы и газы высокой концентрации. Для сухих газгольдеров специального типа не нужны утепляющие стенки. При устройстве газового ввода сбоку через промежуточные камеры снижается сметная стоимость, так как исключается необходимость строительства приямка и будки управления газовым вводом (рис. 110).

Сметная стоимость газовых вводов снизу через приямок и сбоку через промежуточные камеры в сухих газгольдерах специального типа приведена в табл. 34.

Таблица 34

Сметная стоимость газовых вводов газгольдеров специального типа в тыс. руб.

Емкость	Сухие газгольдеры специального типа с газовым вводом		Экономия в %
	через приямок внизу	сбоку без приямка	
100	17,4	14,5	20
300	23,18	20,17	15
600	28,76	26,32	9
1 000	33,13	32,61	2
3 000	54,48	49,61	9
6 000	78,54	73,63	6
10 000	110,09	105,06	5

В типовых сухих газгольдерах специального типа максимальное давление газа принято равным 400 *мм вод. ст.*, но оно

может быть увеличено до 1000 *мм вод. ст.* При этом увеличиваются сечения элементов несущего каркаса шайбы и количество бетонных грузов.

2. Газгольдеры постоянного объема высокого давления

Газгольдеры постоянного объема рационально используются для хранения газов с давлением свыше 0,7 *ати.*

Наиболее широко распространены вертикальные и горизонтальные газгольдеры постоянного объема на газгольдерных станциях крупных городов.

Для газгольдеров постоянного объема рационально применять низколегированную и высокопрочную сталь, дающие значительный экономический эффект. Опоры газгольдера целесообразно выполнять в виде стальных стоек, опирающихся на отдельные фундаменты.

К эксплуатируемым газгольдерам необходимо подводить водопроводную сеть (для первого запуска газа в газгольдер или для периодического испытания его на плотность). Применять инертный газ для вытеснения воздуха или хранимого газа нерационально, так как вытесняемый из газгольдера газ смешивается с инертным газом.

По затратам стали и по стоимости строительства газгольдеры постоянного объема и высокого давления (цилиндрической формы со сферическими днищами) достаточно экономичны.

Использование газгольдеров постоянного объема и высокого давления для коммунальных станций одного из крупных городов Советского Союза при давлении от 3 до 12 *ати* показывает, что капиталовложения при строительстве комплекса станции (газгольдеры, опоры, фундаменты, здания управления, оборудование территории газопроводной станции и т. д.) составляют 13 руб. на 1 $м^3$ максимального резерва газа. Рабочий объем газгольдеров в течение суток используется от 11 до 85% (с максимумом в отдельные дни до 138%). Стоимость хранения газа составляет в среднем от 0,00115 до 0,009 коп. (за 1 $м^3$ газа, пропущенного через станцию).

Расходы по эксплуатации сухих газгольдеров с резино-тканевой уплотняющей секцией и мокрых газгольдеров (по данным института Гипрогазтоппром) приведены в табл. 35.

Таблица 35

Расходы (за год) по эксплуатации сухих газгольдеров с резино-тканевой уплотняющей секцией и мокрых газгольдеров (по даиным иистнтута Гипрогазтоппром)

Газгольдеры	Единица измерения	Емкость газгольдера в $м^3$						
		100	300	600	1000	3000	6000	10 000
Сухие с резино-тканевой уплотняю-щей секцней	руб.	3130	3830	4900	5 150	7 500	10 190	13 950
	%	100	100	100	100	100	100	100
Мокрые с верти-кальными направляю-щими	руб.	4880	6490	7780	10 000	16 570	25 480	31 780
	%	156	169	159	194	221	250	228
Мокрые с винто-вымн направляющими	руб.	—	—	—	9 160	14 670	21 000	28 600
	%	—	—	—	178	196	206	205

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица 1

Основные характеристики наиболее употребительных промышленных газов

Газ	Основные характеристики		Удельный вес в *кг/м³* сухого газа при $t=0°C$ и давлении 760 *мм рт. ст.*	Относительный вес по воздуху при $t=0°C$ и давлении 760 *мм рт. ст.*
	химическая формула	молекулярный вес		
Азот	N_2	28,016	1,2505	0,9673
Аммиак	NH_3	17,032	0,7714	0,5967
Аргон	Ar	39,944	1,7839	1,3799
Ацетилен	C_2H_2	26,036	1,1707	0,9055
Ацетон	C_3H_6O	58	2,5896	2,0025
Бензол	C_6H_6	78	3,4829	2,694
Бензольные пары	C_6H_6	78,108	3,49	2,7
Буроугольный генераторный	C_6H_6	—	1,1204	0,865
Бутан (нормальный)	C_4H_{10}	58,12	2,703	2,091
Изобутан	C_4H_{10}	58,12	2,668	2,064
Бутилен	C_4H_8	56,104	2,5	1,93
Водяной	—	—	0,6897	0,533
Водород	H_2	2,016	0,08987	0,06952
Водяной пар	H_2O	18,016	0,804	0,622
Воздух (без CO_2)	—	18,96	1,2928	1
Гелий	He	4,003	0,1785	0,1381
Генераторный	—	—	0,12—1,18	0,86—0,92
Дивинил (бутадиен)	C_4H_6	54	2,4	1,04
Двуокись углерода (углекислота)	CO_2	44,01	1,9763	1,5291
Закись азота	N_2O	44,016	1,978	1,53
Каменноугольный	—	—	0,45—0,65	0,35—0,5
Кислород	O_2	32	1,42895	1,1053
Колошниковый	—	—	1,279	0,99
Метан	CH_4	16,042	0,7168	0,5545
Неон	Ne	20,183	0,8999	0,6961
Нафталин	$C_{10}H_8$	128	5,722	4,429
Окись азота	No	20,008	1,3402	1,0367
» углерода	CO	28,01	1,25	0,9669
Пропан	C_3H_8	44,094	2,019	1,562
Пентан	C_5H_{12}	72,146	3,224	2,4924
Эфир этиловый	$C_4H_{10}O$	74,12	3,317	2,565
Пропилен	C_3H_6	42,078	1,915	1,481
Сернистый	SO_2	64,066	2,9267	2,2636
Сероводород	H_2S	34,082	1,5392	1,1906
Сероуглерод	CS_2	64,132	3,4204	2,645
Этан	C_2H_6	30,068	1,356	1,049
Этилен	C_2H_4	28,052	1,2605	0,975
Спирт этиловый	C_2H_5OH	46,068	2,0862	1,6133
Хлор	Cl_2	70,914	3,214	2,486

Таблица 2

Основные характеристики некоторых природных и искусственных горючих газов

Газ	Удельный вес в *кг/м³* при $t=0°C$ и давлении 760 *мм рт. ст.*	Относительный вес по воздуху при $t=0°C$ и давлении 760 *мм рт. ст.*
Природный чистогазовых месторождений:		
елшанский	0,783	0,605
бугурусланский	0,892	0,689
шадавский	0,737	0,57
Природный нефтяных скважин:		
бакинский	0,71—1,14	0,55—0,88
грозненский	1,06—0,46	0,82—1,13
майкопский	0,84—1,23	0,65—0,95
ишимбаевский	1,384	1,07
Искусственный горючий:		
водяной	0,6897	0,533
генераторный	1,12—1,18	0,86—0,92
доменный	1,277	0,99

Определение удельного веса газа по воздуху

$$\gamma_в = \frac{M}{22{,}41 \cdot 1{,}293} = \frac{M}{28{,}976},$$

где $\gamma_в$ — удельный вес газа по воздуху;
M — молекулярный вес (подсчитывается по таблице Менделеева);
22,41 — число Авогадро;
1,293 — вес 1 $м^3$ воздуха при давлении 760 *мм рт. ст.* и $t=0°C$

Давление газа измеряется в технических атмосферах (избыточных) — *ати*.

100 *мм вод. ст.* = 0,01 *ати* = 0,01 *кГ/см²* = 10 *Г/см²* = 100 *кГ/м²*
400 *мм вод. ст.* = 0,04 *ати* = 0,04 *кГ/см²* = 40 *Г/см²* = 400 *кГ/м²*
1000 *мм вод. ст.* = 0,1 *ати* = 0,1 *кГ/см²* = 100 *Г/см²* = 1000 *кГ/м²*
10 000 *мм вод. ст.* = 1 *ати* = 1,0 *кГ/см²* = 1000 *Г/см²* = 10 000 *кГ/м²*

ЛИТЕРАТУРА

1. Аронов А. Б. Газгольдеры. Госхимиздат, 1933.

2. Бедрицкий Н. А., Вашенкова Н. С. Защита мокрых газгольдеров от коррозии. М., Госинти, 1959.

3. Веревкин С. И. Работа треста Центроспецстальпроект в области новейших типов емкостей для хранения нефтепродуктов и газов. М., Гостопиздат, 1951.

4. Веревкин С. И. Новые типы стальных резервуаров для хранения нефтепродуктов. ЦБТИ Минстроя РСФСР, 1962.

5. Веревкин С. И. Стальные емкости для хранения газа и нефтепродуктов. Бюллетень № 1—2 ин-та Гипроспецпромстрой, 1958.

6. Веревкин С. И. Экономия металла в строительстве емкостей, трубопроводов и металлоконструкций при применении низколегированной стали СХЛ-2. ЦБТИ Минтопстроя, 1947.

7. Практическое руководство по организации монтажных работ газгольдеров. Под ред. Веревкина С. И. ОНТИ, Госмашметиздат, 1934.

8. Веревкин С. И. Проектирование и монтаж каплевидных резервуаров. Информационный сборник техуправления Главнефтегазстроя, 1947.

9. Веревкин С. И., Сафарян М. К., Чолоян Г. С. Восстановление деформированной оболочки каплевидных резервуаров. Сб. «Строительство трубопроводов». Гостоптехиздат, 1961.

10. Зелятров В. Н., Мельников Н. П. Выбор марок стали для строительных металлических конструкций. М., Стройиздат, 1964.

11. Зарембо К. С. Газгольдеры. Харьков, ОНТВУ, 1932.

12. Игнатченко Е. А. Новое в строительстве резервуаров и газгольдеров методом рулонирования. «Монтажные и специальные работы в строительстве», 1960, № 11.

13. Корниенко В. С., Поповский Б. В., Линевич Г. В. Изготовление и монтаж стальных резервуаров и газгольдеров. М., Стройиздат, 1964.

14. Кандеев В. И., Котляр Е. Ф. Газгольдеры. ОНТИ НКТП СССР, 1936.

15. Корчагин В. А. Винтовой мокрый газгольдер. «Промышленное строительство», 1960, № 12.

16. Корчагин В. А., Бердичевский Г. А. Предварительно напряженный железобетоиный резервуар мокрого газгольдера. «Промышленное строительство», 1961, № 8.

17. Корчагин В. А. Мокрые газгольдеры низкого давлеиия «Строительное проектирование промышленных предприятий», 1961, № 2.

18. Корчагин В. А. Стальной сухой газгольдер с резиновой секцией. «Промышленное строительство», 1962, № 3.

19. Корчагин В. А. Сухой газгольдер с резиновой секцией. «Строительное проектирование промышленных предприятий», 1962, № 1.

20. Корчагин В. А. Антикоррозийная защита стальных конструкций мокрых газгольдеров. «Промышленное строительство», 1963, № 2.

21. Корчагин В. А. Стальной мокрый газгольдер сверхнизкого давления. «Промышленное строительство», 1963, № 10.

22. Корчагин В. А. Об антикоррозийной защите рулонных заготовок. «Монтажные и специальные работы в строительстве», 1965. № 2.

23. Лессиг Е. Н., Лилеев А. Ф., Соколов А. Г Стальные листовые конструкции. М., Госстройиздат, 1956.

24. Рябцев Н. И. Естественные и искусственные газы. Изд-во МКХ РСФСР, 1960.

25. Справочник проектировщика. Металлические конструкции промышленных зданий и сооружений. М., Госстройиздат, 1962.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3

Глава I. **Назначение газгольдеров, их классификация и историческое развитие** 5

§ 1. Назначение и классификация газгольдеров . . —

§ 2. Краткие сведения о развитии газгольдеростроения 8

Глава II. **Мокрые газгольдеры** . . . . . .

§ 1. Мокрые газгольдеры в вертикальными направляющими 12

1. Общие сведения . . . . . —

2. Основные размеры 16

3. Резервуар газгольдера 24

4. Подвижные звенья газгольдера 31

5. Направляющие газгольдера 37

6. Крыша колокола 42

7. Определение усилий на ролики 48

8. Расчет вертикальных направляющих 51

9. Расчет мокрых газгольдеров на действие сейсмических нагрузок 54

10. Монтаж и испытание мокрых газгольдеров . . . 58

§ 2. Мокрые газгольдеры с винтовыми направляющими 64

1. Краткое описание . . . . . —

2. Винтовые направляющие 72

3. Парные ролики 80

4. Расчет винтового газгольдера 83

§ 3. Давление газа и специальные пригрузки . . . 87

§ 4. Оборудование мокрых газгольдеров 95

1. Технологическое оборудование . . . . . —

2. Утепление газгольдера и подогрев воды . . . 100

§ 5. Антикоррозийная защита мокрых газгольдеров . 102

§ 6. Мокрые газгольдеры с давлением газа менее 100 *мм вод. ст.* 110

Стр.

§ 7. Предварительно напряженные железобетонные резервуары мокрых газгольдеров 114

Глава III. **Сухие газгольдеры** 123

§ 1. Сухие газгольдеры поршневого типа . . . . —
1. Общие сведения . . . . . —
2. Конструкции сухих газгольдеров поршневого типа 128
3. Монтаж сухих газгольдеров поршневого типа . 140
4. Выбор типа газгольдера большой емкости . . 141
§ 2. Сухие газгольдеры с гибкой секцией 144
1. Общие сведения . . . . . —
2. Корпус резервуара сухого газгольдера . . . 152
3. Шайба газгольдера 154
4. Гибкая секция из прорезиненной ткани . . . 158
5. Определение геометрических размеров сухого газгольдера 160
6. Статический расчет оболочки корпуса и элементов конструкций сухого газгольдера специального типа 162
7. Расчет конструкций шайбы сухого газгольдера . —
8. Расчет гибкой секции . . . . . : 164
9. Оборудование сухого газгольдера с гибкой секцией 166
10. Перспективы развития сухих газгольдеров с гибкой секцией 168

Глава IV. **Материал стальных конструкций газгольдеров низкого давления** 170

§ 1. Выбор марок сталей и условий их поставки . —
§ 2. Сварка листовых конструкций газгольдеров . . 176

Глава V. **Основания и фундаменты мокрых газгольдеров** . 179

Глава VI. **Неисправности и причины аварий газгольдеров низкого давления** 185

Глава VII. **Ремонт газгольдеров** 190

1. Восстановление мокрого газгольдера после аварии . . . . . —
2. Текущий и капитальный ремонт мокрых газгольдеров 195
3. Ремонт сухих газгольдеров специального типа . 197

Глава VIII. **Газгольдеры высокого давления** 199

§ 1. Газгольдеры постоянного объема и переменного давления . . . . . —
1. Общие сведения . . . . . —

Стр.

2. Опоры газгольдеров постоянного объема . . . 207
§ 2. Шаровые газгольдеры 210
1. Общие сведения . . . . . —
2. Показатели расхода стали 215
3. Расчет оболочки шарового газгольдера . . . —
4. Изготовление и монтаж шаровых газгольдеров . 218

Глава IX. **Сравнительные технико-экономические показатели газгольдеров различных типов** 221

1. Газгольдеры низкого давления . . . . . , —
2. Газгольдеры постоянного объема высокого давления 231

Приложения 233

Основные характеристики наиболее употребительных промышленных газов (табл. 1) . . —
Основные характеристики некоторых природных и искусственных горючих газов (табл. 2) . . —234
Определение удельного веса газа по воздуху .

Литература 235