

Методика оценки качества режимно-наладочных работ для промышленных тепловых энергоустановок

Введение

Тепловые энергоустановки обеспечивают выработку и распределение тепловой энергии для нужд отопления и вентиляции промышленных предприятий.

Режимно-наладочные работы на тепловых энергоустановках проводятся сторонними подрядными организациями. Контроль и проверка качества выполненных ими режимно-наладочных работ требует наличия квалифицированного эксплуатационного персонала, разбирающегося в результатах и методике проведения наладочных работ. На промышленных площадках такого персонала, как правило, нет. Качество проведённых режимно-наладочных работ тепловых энергоустановок коррелирует с потреблением энергоресурсов и отражается на энергоэффективности промплощадки в целом.

Поэтому настоящая работа посвящена рассмотрению типовых ошибок отчётов по режимной наладке тепловых энергоустановок и разработке упрощённой методики проверочного расчёта, позволяющего эксплуатационному персоналу оценить качество проведённых работ на оборудовании теплоисточника.

Объекты режимной наладки представлены на рис. 1. Наладка источника тепла: газоиспользующее оборудование (паровые и водогрейные котлы), средства автоматизации (системы безопасности и регулирования котлов) выполняется один раз в три года для агрегатов, работающих на газообразном топливе и один раз в пять лет для котлов, работающих на твёрдом или жидком топливе, система химводоподготовки (ХВП) состоящая из оборудования химводоочистки (ХВО) и водно-химического режима котлов (ВХР) наладывается не реже одного раза в три года. Наладка распределительных (тепловых) сетей и систем теплопотребления выполняется один раз в пять лет совместно [1].

Статья посвящена рассмотрению типовых ошибок отчётов по режимной наладке тепловых энергоустановок и разработке упрощённой методики проверочного расчёта, позволяющего эксплуатационному персоналу оценить качество проведённых работ на оборудовании теплоисточника

Проблема и её актуальность

Отсутствие или некачественная режимная наладка теплоэнергетического оборудования влечёт за собой:

- перерасход топлива на теплоисточнике, который может составлять до 30 % от нормативного;
- перерасходу тепла («перетопу») у одних потребителей и недостаточному количеству тепла («недогреву») у других;
- рост нагрузки на окружающую среду за счёт перерасхода топлива;
- снижение эксплуатационного ресурса оборудования тепловых энергоустановок, например, за счёт кислородной коррозии.

Режимная наладка тепловых энергоустановок

Режимная наладка тепловых энергоустановок проводится с целью обеспечения надёжного и энергоэффективного режима их функционирования.

В соответствии с целью сформированы задачи режимной наладки:

1. Обеспечение заданного качества и необходимой надёжности теплоснабжения потребителей.
2. Увеличение срока службы оборудования тепловых энергоустановок.
3. Оптимизация режима работы тепловых энергоустановок.
4. Снижение расхода топлива на теплоисточнике.

Рецензия эксперта на статью получена 28.04.2021 [The expert review on the article received on April 28, 2021].

УДК 519.816; 620.9.004.18. Научная специальность: 05.23.03.

Методика оценки качества режимно-наладочных работ для промышленных тепловых энергоустановок

М. В. Посашков, к.т.н., доцент, кафедры теплогазоснабжения и вентиляции;
В. И. Немченко, к.т.н., доцент, кафедры управления и системного анализа теплоэнергетических и социотехнических комплексов, Самарский государственный технический университет (СамГТУ, г. Самара)

Представлены результаты оценки качества проведения режимно-наладочных работ на теплоустановках промышленных площадок по анализу соответствия отчётных материалов нормативно-техническим документам. Выявлены фактические недочёты при проведении режимных испытаний и обработке их результатов, а также разработана методика экспресс-оценки качества выполненных работ.

Ключевые слова: промышленная площадка, тепловая энергоустановка, КПД котлоагрегата, оборудование, распределительные сети, режимно-наладочные работы, режимная карта, нормативно-техническая документация, качество наладки.

UDC 519.816; 620.9.004.18. Scientific specialty number: 05.23.03.

Methodology for assessing the quality of regulation and adjustment works for industrial thermal power plants

M. V. Posashkov, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **V. I. Nemchenko**, PhD, Associate Professor, the Department of Management and System Analysis of Thermal Power and Social Engineering Complexes (MSA of TPSEC), Samara State Technical University (Samara Polytech Flagship University, Samara city)

The paper presents the results of assessing the quality of performance and adjustment work at heat installations of field sites by analyzing the compliance of reporting materials with regulatory and technical documents. The actual shortcomings in the performance of the regime tests and the processing of their results were revealed, and a method for express assessment of the quality of the work performed was developed.

Key words: field site, thermal power plant, boiler unit efficiency coefficient, equipment, distribution networks, regime adjustment works, regime map, normative and technical documentation, quality of adjustment.



Рис. 1. Классификация режимно-наладочных работ

В качестве объекта режимной наладки рассмотрены 11 промышленных промышленных площадок, на которой в 2020 году была выполнена наладка 24 котлов марок: «ЗиОСаб-3000», «Турботерм-2000», «Турботерм-3150», «Турботерм-250», «Турботерм-500», «Турботерм-800», NWT-3,5-1,0-115, ТТКВ-3 Vapor, с системами автоматизации (из 67 установленных), девять систем химической водоподготовки (из 31 установленных) и 14,1 км распределительных сетей и систем теплоснабжения (из 48,4 км).

Объём режимно-наладочных работ оборудования источника тепла регламентирован [2]. При проведении наладки оборудования источника тепла проводится проверка системы автоматизации:

- определение соответствия порядка отработки устройств и элементов систем сигнализации, защиты и управления алгоритмам рабочей документации с выявлением причин отказа или «ложного» их срабатывания, установка необходимых значений срабатывания позиционных устройств;
- определение соответствия пропускной способности запорно-регулирующей арматуры требованиям технологического процесса, правильности отработки выключателей;
- определение расходных характеристик регулирующих органов и приведение их к требуемой норме с помощью имеющихся в конструкции элементов настройки;
- подготовка к включению и включение в работу систем автоматизации для обеспечения комплексного опробования технологического оборудования;
- уточнение статических и динамических характеристик объекта, корректировка значений параметров настройки систем с учётом их взаимного влияния в процессе работы;

- испытание и определение пригодности систем автоматизации для обеспечения эксплуатации оборудования с производительностью, соответствующей нормам освоения проектных мощностей в начальный период;
- анализ работы систем автоматизации в режиме эксплуатации;
- оформление производственной документации.

По результатам проведения наладки автоматики безопасности котлов, составляется карта параметров срабатывания автоматики безопасности.

При наладке оборудования источника тепла проводится проверка системы автоматизации: определение соответствия порядка отработки устройств и элементов систем; определение соответствия пропускной способности запорно-регулирующей арматуры и др.



Режимная наладка системы химводоподготовки

Режимная наладка системы химводоподготовки производится для проверки и настройки оборудования ХВО и ВХР. По результатам наладки системы химводоподготовки составляется следующая отчетная документация [5]:

- технический отчет;
- режимная карта водоподготовительной установки;
- режимная карта комплекса пропорционального дозирования или деаэратора;
- режимная карта водно-химического режима котлов;
- график химического контроля качества воды при ведении водно-химического режима котельной;
- инструкция по правилам безопасности для аппаратчиков ХВО при работе на установках химводоподготовки и в химической лаборатории.

Режимная наладка распределительных и систем теплоснабжения

Требования к режимной наладке распределительных (тепловых) сетей и последовательность работ изложены в [3]. Наибольшую сложность в режимной наладке тепловых сетей представляет определение тепловых нагрузок потребителей. Последние могут быть проектными или расчетными. Проектные нагрузки принимаются из проектной или исполнительной документации на объект, подключенный к тепловой сети.

При отсутствии проектных данных о нагрузках потребителей расчет производится по укрупненным показателям согласно [3]. Полученные по укрупненным показателям нагрузки на 30–50 % превышают фактические, что приводит к значительным ошибкам в расчетах и подборе дроссельных шайб или балансировочных клапанов.

Оценка качества наладочных работ

Проведённый анализ отчётов по режимно-наладочным работам тепловых энергоустановок выявил ряд систематически повторяющихся недочётов.

Анализ отчётов по режимной наладке котлов и оборудования химводоподготовки позволил сформулировать следующие недочёты:

- отсутствует тепловая схема теплоисточника и схема ХВП (30 %);
- отсутствует перечень и описание приборов и средств автоматического регулирования котельной (25 %);
- ведомость измерительных приборов не содержит: требуемый набор приборов, данных о штатных, стационарно установленных в котельной в соответствии с требованиями [1], и переносных приборах, используемых наладчиками, наименование прибора, тип, место установки, предел измерения, класс точности, дата следующей поверки;

Наиболее значимыми замечаниями к отчётам по режимной наладке оборудования теплоисточника являются ошибки в расчётах режимной карты

- отсутствует акт наладки / проверки приборов и средств автоматического регулирования (50 %);
- единицы измерения технологических параметров не соответствуют системе СИ (35 %);
- отсутствуют ссылки на используемую НТД, а также имеются ссылки на НТД, утратившую юридическую силу (80 %);
- нет графиков зависимости, полученных в результате наладки показателей от производительности и других (35 %);
- содержащая часть отчёта по режимной наладке не соответствует требованиям [4] (65 %);
- не разрабатываются нормы расхода условного топлива на единицу годной готовой продукции, отпускаемой котельной тепловой энергии [2] (80 %);
- не разрабатываются рекомендации и перспективные мероприятия по улучшению использования топлива и условий эксплуатации оборудования (60 %).

Наиболее значимыми замечаниями к отчётам по режимной наладке оборудования теплоисточника являются ошибки в расчётах режимной карты. Для выявления ошибок в расчёте режимной карты теплоисточника предложена методика проверочного расчёта.

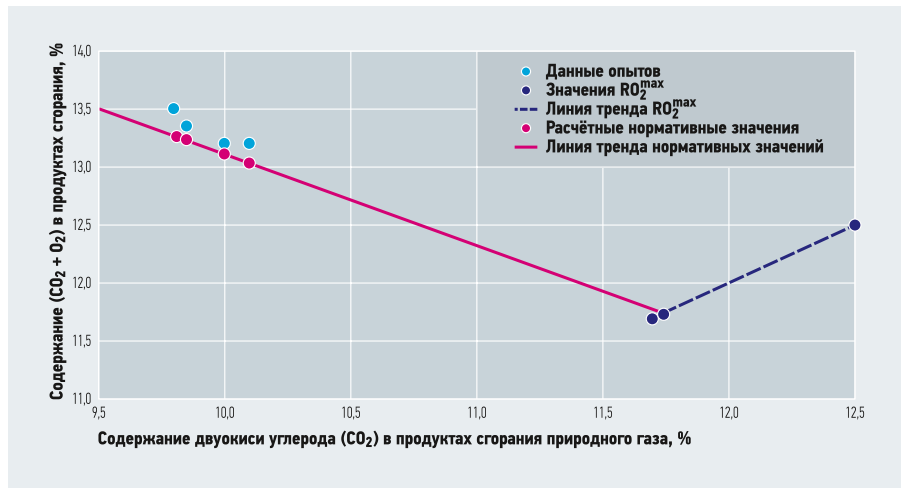


Рис. 2. Лучевая диаграмма для проверки газового анализа

Методика проверочного расчёта

На первом этапе производят обработку результатов измерений наладочных организаций и проверяют значение $RO_2^{\max}$, рассчитываемое по формуле:

$$RO_2^{\max} = \frac{100 (RO_2 + CO + CH_4)}{100 - 4,76 (O_2 - 0,5 CO - 0,5 H_2 - 2 CH_4)}, \quad (1)$$

где $RO_2^{\max}$ — максимальное содержание двухатомных газов в продуктах сгорания, %; CO , CO_2 , CH_4 , O_2 , H_2 — содержание

оксида углерода, двуокиси углерода, метана, кислорода и водорода в продуктах сгорания природного газа, %.

Обработка результатов измерений и проверка значения $RO_2^{\max}$ производится исходя из содержания CO_2 , O_2 и CO в продуктах сгорания. В большинстве случаев принято считать, что усреднённое значение $RO_2^{\max}$, для которого приведены все коэффициенты, используемые наладчиками в расчётных формулах, равно величине 11,8 %.

Режимная карта котла NWT-3,5-1,0-115

табл. 1

№	Параметр / нагрузка	30 %	42 %	54 %	70 %
1	Теплопроизводительность, (Гкал/ч) / МВт	0,72 / 0,83	1,09 / 1,26	1,40 / 1,62	1,80 / 2,1
2	Температура воды перед / после котла, °С	65 / 72	65 / 75	65 / 79	65 / 85
3	Расход воды через котёл, м³/ч	100	100	100	100
4–5	Давление воды перед / после котла, МПа	0,54 / 0,52	0,54 / 0,52	0,54 / 0,52	0,54 / 0,52
6	Давление газа после регулятора котла, мбар	99	97	96	95
7–8	Положение угла открытия газовой / воздушной заслонки, град.	11 / 1,7	16 / 2,9	21 / 4,3	29 / 6,6
9	Давление газа на горелке, кПа	0,1	0,4	0,6	0,7
10	Давление воздуха на горелке, кПа	0,55	1,20	1,43	1,50
11	Разрежение за котлом, Па	15,00	27,00	43,00	60,00
12	Число работающих горелок, шт.	1	1	1	1
13	Приведённый расход газа, нм³/ч	93	142	183	236
14–18	Состав уходящих газов за котлом: CO_2 [%] / O_2 [%] / CO [ppm] / NO_x [ppm]	9,8 / 3,7 / 0 / 74	9,85 / 3,5 / 0 / 71	10 / 3,2 / 0 / 66	10,1 / 3,1 / 0 / 63
19	Коэффициент избытка воздуха за котлом α	1,19	1,18	1,17	1,16
20	Температура уходящих газов за котлом, °С	85,00	104,00	115,00	132,00
21–22	Потери тепла с уходящими газами q_2 / в окружающую среду q_3 , %	3,20 / 3,60	4,00 / 2,30	4,50 / 1,80	5,30 / 1,40
23	Суммарные потери тепла, %	6,70	6,40	6,30	6,70
24	КПД котлоагрегата брутто $\eta_{бр}$, %	93,28	93,64	93,69	93,32
25	Удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал тепла, кг у.т./Гкал	153,15	152,56	152,49	153,09

Проверка расчётной части режимной карты котла

табл. 2

№	Параметр / нагрузка	30 %	42 %	54 %	70 %
19	Коэффициент избытка воздуха за котлом α	1,18	1,17	1,16	1,15
21–22	Потери тепла с уходящими газами q_2 / в окружающую среду q_3 , %	4,19 / 4,34	5,06 / 2,86	5,51 / 2,22	6,25 / 1,71
23	Суммарные потери тепла, %	8,53	7,92	7,73	7,97
24	КПД котлоагрегата брутто $\eta_{бр}$, %	91,47	92,08	92,27	92,03
25	Удельный расход условного топлива на выработку 1 Гкал тепла, кг у.т./Гкал	151,16	152,46	152,97	153,44

В действительности $RO_2^{\max}$ может принимать значения в диапазоне 11,7–12,4 % (для природного газа), зависит от химического состава сжигаемого топлива и должен оставаться постоянной величиной для всех опытов [7, 8].

Среди технических отчётов по режимной наладке оборудования котельных, использующих в качестве основного топлива природный газ, был выбран отчёт с минимальным количеством замечаний и выполнен анализ режимной карты водогрейного котла NWT-3,5-1,0-115. В приведённой в табл. 1 режимной карте значения $RO_2^{\max}$ составили: в первом опыте 11,895 %, во втором — 11,819 %, третьем — 11,797 % и четвёртом — 11,848 %.

Видно, что значения значительно отличаются друг от друга, что свидетельствует об ошибке в замерах при проведении опытов и соответственно неверном определении коэффициента избытка воздуха α и потерь теплоты с уходящими газами q_2 .

$RO_2^{\max}$ исходя из элементного состава природного газа имеет значение 11,74 % и принимается за постоянную величину [8]. Данные опытов и расчётных значений CO_2 , O_2 и CO , полученные исходя из значения $RO_2^{\max} = 11,74\%$, отражены на рис. 2. Исходя из полученных значений, выполним проверку и пересчёт расчётной части режимной карты, представленной в табл. 2. Далее определяем характеристику топлива по зависимости [7]:

$$\beta = \frac{21}{RO_2^{\max}} - 1. \quad (2)$$

Характеристика топлива, так же, как и $RO_2^{\max}$, является постоянной величиной и принимает значение, равное $\beta = 0,788$. Затем по зависимости (3) вычисляем коэффициент избытка воздуха:

$$\alpha = \frac{A}{A_{\max}}, \text{ где } A = \frac{79}{RO_2} + \beta, A_{\max} = \frac{79}{RO_2^{\max}} + \beta. \quad (3)$$

Результат расчёта коэффициента избытка воздуха представлен в табл. 2. Видно, что полученные в табл. 2 значения коэффициента избытка воздуха во всех опытах незначительно отличаются (на 0,01 %) от значений в табл. 1.

Наладочные организации принимают усреднённые характеристики топлива по методике [6] и при этом не учитывается реальный состав природного газа, что ведёт к неверному расчёту потерь тепла с уходящими газами q_2 .

При составлении рассматриваемой режимной карты были приняты значения согласно [6]: жаропроизводительность — $t_{\max} = 2010^\circ\text{C}$; соотношение объёмов сухих продуктов горения и суммарного объёма продуктов горения — $B = 0,8$; соотношение средней теплоёмкости не разбавленных воздухом продуктов горения к их теплоёмкости — $c' = 0,82$; отношение средней объёмной теплоёмкости воздуха к объёмной теплоёмкости разбавленных воздухом продуктов горения — $K = 0,7$. Значения коэффициентов, рассчитанные с учётом фактического состава природного газа: $t_{\max} = 2157^\circ\text{C}$; $B = 0,8$; $K = 0,754$; $c' = 0,89$.

С учётом значений коэффициентов получены величины q_2 , которые приведены в табл. 2. Из табл. 1 и 2 видно отличие полученных значений коэффициентов полезного действия котла на 1,3–1,8 %. В приведённой в табл. 2 режимной карте расчётное значение во всех испытаниях выше установленного заводом-изготовителем (92 %). Анализ показал, что наладочная организация некорректно выполнила обработку результатов опытов и составила режимную карту с существенными ошибками.

На втором этапе Методики проверяется достоверность выполненных наладочной организацией замеров, приведённых в режимной карте.

Отчёт по режимно-наладочным работам завершается составлением режимной карты. Качество работы оборудования теплоисточника определяется коэффициентом полезного действия котла. В режимной карте рассчитывается КПД брутто [6]. В некоторых отчётах по режимной наладке этот показатель превышает значения, установленные заводом изготовителем котельного оборудования, что подтвердил первый этап Методики.

Для проверки правильности выполненных расчётов наладочной организацией используется следующий алгоритм: анализ данных режимной карты; проверка соответствия конкретного набора показателей каждому режиму работы; проверка соответствия значения величины избытка воздуха диапазону 1,05–1,2; оценка значения тепловых потерь; проверочный расчёт.

В порядке сокращённой проверки качества режимной наладки газоиспользующего оборудования используется принцип прямого баланса расчёта коэффициента полезного действия $\eta_{бр}^{пр}$ %. По величине отклонения полученных значений и можно судить о качестве монтажных или ремонтных работ, выполненных по данному котлу и степени правильности и точности произведённых измерений.

В проверочном расчёте необходимо:

1. Рассчитать по прямому балансу для каждого режима согласно режимной карте:

$$\eta_{бр}^{пр} = \frac{G_B \rho_B c_B (t_{вых} - t_{вх})}{B Q_H^P} 100\%, \quad (4)$$

где G_B — расход теплоносителя через котёл (из режимной карты), м³/ч; ρ_B — плотность теплоносителя (справочные данные), кг/м³; c_B — удельная теплоёмкость теплоносителя (справочные данные), ккал/(кг·°C); $t_{вых}$ и $t_{вх}$ — температуры, соответственно, на выходе и входе в котёл (из режимной карты), °C; B — расход топлива (из режимной карты), м³/ч; Q_H^P — низшая теплота сгорания топлива (из режимной карты), ккал/м³.

2. Сравнить расчётные значения $\eta_{бр}^{пр}$ и данные $\eta_{бр}$, указанные в режимной карте. По величине невязки, которая должна быть минимальной, можно судить о качестве монтажных, ремонтных работ, выполненных по данному котлу и степени правильности и точности произведённых измерений.

Проверочный расчёт показал, что данные опытов сняты некорректно, так как в проверочном расчёте в первом опыте

Качество работы оборудования теплоисточника определяется коэффициентом полезного действия котла. В режимной карте рассчитывается КПД брутто

получилось 89,72 %, во втором — 83,79 %, в третьем — 91,02 %, в четвёртом — 100,18 %. Согласно анализу, в четвёртом опыте тепловой энергии выработано котлом больше, чем было затрачено топлива. Во втором опыте значение значительно ниже представленного в режимной карте.

Итак, наладочная организация некорректно выполнила замеры температур и расходов теплоносителя и топлива.

Качество наладки распределительных (тепловых) сетей

Отсутствие производства наладочных работ на тепловых сетях является причиной «перетопов» у одних потребителей и недогрева у других, при этом на источниках тепловой энергии наблюдается значительный перерасход топлива — до 30 %. Грамотно проведённая наладка тепловой сети позволяет распределить теплоноситель среди потребителей независимо от их удалённости от источника тепла, увеличить располагаемые напоры на тепловых вводах и обеспечить устойчивое теплоснабжение абонентов.

Недочёты отчётов по режимной наладке распределительных сетей:

- расчётные тепловые нагрузки, рассчитанные по укрупнённым показателям [3], требуют уточнения;
- в расчётах учитывается преимущественно нагрузка отопления;
- не соответствуют фактические характеристики сети расчётным (завышен рас-

ход сетевой воды или изменён диаметр трубопровода участка сети);

- расчёт выполнен только для одного режима работы сети при наличии нескольких теплоисточников.

Выводы

1. Методика проверочного расчёта позволяет провести комплексную экспресс-оценку качества режимно-наладочных работ и выявить ошибки. Методика представляет собой комбинацию углублённого анализа процесса сгорания топлива на первом этапе и упрощённого расчёта КПД котлоагрегата — используя измеренные данные — на втором этапе.
2. Применение методики проверочного расчёта позволит улучшить эксплуатационные характеристики оборудования теплоисточника, продлить срок службы, повысить энергоэффективность промплощадки в целом и снизить экологическую нагрузку на окружающую среду.
3. Режимно-наладочные испытания тепловых энергоустановок промышленных промплощадок должен проводиться квалифицированным персоналом с контролем качества выполненных им работ эксплуатационным персоналом на каждом этапе с использованием методики проверочного расчёта.
4. Режимно-наладочные испытания тепловых сетей и систем теплоснабжения нужно проводить в два этапа: весной — анализ гидравлического режима системы и подбор диафрагм или балансировочных клапанов; осенью — проверка правильности подбора диаметра диафрагм или настройки балансировочного клапана. ●

1. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок: Утв. приказом Министерства энергетики Российской Федерации от 24.03.2003 №115.
2. Требования органов системы Госэнергонадзора в Российской Федерации к проведению наладочных работ на газоиспользующем оборудовании: Распоряжение руководителя Департамента государственного энергетического надзора Минэнерго России, Главного государственного инспектора по энергетическому надзору РФ от 12.02.2003 №8-р.
3. Манюк В.И., Каплинский Я.И., Хижа Э.Б. и др. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: Справочник. Изд. 3-е. — М.: Стройиздат, 1988. 432 с.
4. Об утверждении нормативных актов, необходимых для реализации Правил пользования газом и предоставления услуг по газоснабжению в Российской Федерации: Утв. приказом Министерства энергетики РФ от 16.12.2002 №448.
5. Методические указания по разработке инструкций и режимных карт по эксплуатации установок докотовой обработки воды и по ведению водно-химического режима паровых и водогрейных котлов (РД 10-179-98). — М.: Ростехнадзор; ОАО «НТЦ по безопасности в промышленности», 2007. 32 с.
6. Равич М.Б. Эффективность использования топлива. — М.: Наука, 1977. 344 с.
7. Янкевич В.И. Наладка газомазутных промышленных котельных. — М.: Энергоатомиздат, 1988. 216 с.
8. Куликов А.А. Горение органического топлива: Учебное пособие. — М.: Инфра-М, 2019. 390 с.

References — see page 80.



Methodology for assessing the quality of regulation and adjustment works for industrial thermal power plants. Pp. 52–56.

Mikhail V. Posashkov, PhD, Associate Professor, the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Vladimir I. Nemchenko**, PhD, Associate Professor, the Department of Management and System Analysis of Thermal Power and Social Engineering Complexes, Samara State Technical University (Samara Polytech Flagship University, Samara city)

1. *Pravila tehnikeskoj jekspluatacii teplovyh jenerougustanovok* [Rules for the technical operation of thermal power plants]. *Utv. prikazom Ministerstva jenergetiki Rossijskoj Federacii ot 24.03.2003 №115* [Approved by order of the Ministry of Energy of the Russian Federation No. 115 of March 24, 2003]. [In Russian]
2. *Trebovanija organov sistemy Gosjenergonadzora v Rossijskoj Federacii k provedeniju naladochnykh rabot na gazoispol'zujushhem oborudovanii* [Requirements of the bodies of the state energy supervision system in the Russian Federation to the commissioning of gas-using equipment]. *Rasporjazhenie rukovoditelja Departamenta gosudarstvennogo jenergeticheskogo nadzora Minjenergo Rossii, Glavnogo gosudarstvennogo inspektora po jenergeticheskomu nadzoru Rossijskoj Federacii ot 12.02.2003 №8-r* [Order of the Head of the Department of State Energy Supervision of the Ministry of Energy of Russia, Chief State Inspector for Energy Supervision of the Russian Federation No. 8-r of February 12, 2003]. [In Russian]
3. V.I. Manjuk, Ja.I. Kaplinskij, Je.B. Hizh et al. *Naladka i jekspluatacija vodjanyh teplovyh setej: Spravochnik*. [Adjustment and operation of water heating networks: A handbook]. 3rd edition, exp. and rev. Moscow. *Strojizdat* [Publishing House of Literature on the Construction and Architecture ("Stroiizdat" Publishers)]. 1988. 432 p. [In Russian]
4. *Ob utverzhenii normativnykh aktov, neobhodimyh dlja realizacii Pravil pol'zovanija gazom i predstavlenija uslug po gazosnabzheniju v Rossijskoj Federacii* [On approval of regulations required for the implementation of the Rules for the use of gas and the provision of gas supply services in the Russian Federation]. *Utv. prikazom Ministerstva jenergetiki RF ot 16.12.2002 №448* [Approved by order of the Ministry of Energy of the Russian Federation No. 448 of December 16, 2002]. [In Russian]
5. *Metodicheskie ukazaniya po razrabotke instrukcij i rezhimnykh kart po jekspluatacii ustanovok dokotlovoj obrabotki vody i po vedeniju vodno-himicheskogo rezhima parovyh i vodo-grejnnyh kotlov (RD 10-179-98). Dokumenty po bezopasnosti, nadzornoj i razreshitel'noj dejatel'nosti v oblasti nadzora za pod'emnymi sooruzhenijami* [Guidelines for the development of instructions and regime maps for the operation of pre-boiler water treatment plants and for the maintenance of the water-chemical regime of steam and hot water boilers (Guidelines No. 10-179-98). Work documentation on safety, supervisory and licensing activities in the field of supervision of lifting structures]. Series 10. Issue 39. Moscow. *Rostehnadzor* [Federal Environmental, Technological and Nuclear Supervision Service of Russia]; *OAO "NTC po bezopasnosti v promyshlennosti"* ["Scientific and Technical Center for Industrial Safety", JSC]. 2007. 32 p. [In Russian]
6. M.B. Ravich. *Jefferktivnost' ispol'zovanija topliva* [Fuel efficiency]. Moscow. *Nauka* ["The Science" Publishers]. 1977. 344 p. [In Russian]
7. V.I. Jankelevich. *Naladka gazomazutnyh promyshlennyh kotel'nyh* [Adjustment of gas-oil industrial boilers]. Moscow. *Jenergoatomizdat* [Publishing House of Energy and Nuclear Industry of the USSR ("Energoatomizdat" Publishers)]. 1988. 216 p. [In Russian]
8. A.A. Kudinov. *Gorenie organicheskogo topliva: Uchebnoe posobie* [Combustion of fossil fuels: A textbook]. Moscow. *NITs "Infra-M"* ["Infra-M" Scientific Publishing Center]. 2019. 390 p. [In Russian]