

УДК 621.18

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОТЛОАГРЕГАТОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА НА НЕПРОЕКТНЫХ УГЛЯХ

Хвостиков А.С., Агарков О.В.

ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный университет»,
Комсомольск-на-Амуре, e-mail: knastu@list.ru

Аннотация. В настоящее время на электростанции и котельные Дальнего Востока поставляется уголь Переясловского, Ургальского и Тугнуйского месторождений. По результатам опытного сжигания можно сделать следующие выводы. Непроектные бурые угли Переясловского и Ургальского угольных разрезов имеют склонность к самовозгоранию на штабеле топлива угольного склада и в бункерах сырого угля котлов. Непроектный бурый уголь Переясловского угольного разреза не рекомендуется сжигать в чистом виде ввиду интенсивного заноса мокрых золоуловителей твердыми отложениями сульфита кальция, по причине высокого содержания оксида кальция в золе топлива. Непроектный Тугнуйский и Ургальский каменный уголь возможно сжигать в чистом виде в котлах с низкой экономичностью их работы ввиду высоких потерь с механическим недожогом. По уточненным параметрам энергетической эффективности работы котла был выполнен тепловой расчет парового котла. Расчет и материалы опытного сжигания показывают, что при общем снижении расхода топлива общая экономичность КПД брутто снижается, повышаются температуры горения, что не дает возможности при данной конструкции котельного агрегата полноценно использовать котельные агрегаты. Недостаток работы котельного агрегата связан с высоким коэффициентом механического недожога. Работа на непроектных топливах снижает эффективность работы котельного агрегата из-за возникающего механического недожога.

Ключевые слова: непроектный каменный уголь, опытное сжигание, экономичность, потери с механическим недожогом, котельный агрегат

EVALUATION OF THE EFFICIENCY OF THE BOILERS OF THE FAR EAST ON NON-PROJECT COALS

Khvostikov A.S., Agarkov O.V.

Stavropol state university, Stavropol, e-mail: eha007@bk.ru

Annotation. Currently, coal from the Pereyaslovsky, Urgalsky and Tugnuysky fields is supplied to power plants and boiler houses in the Far East. Based on the results of experimental combustion, the following conclusions can be drawn. Non-project brown coals from the Pereyaslovsky and Urgalsky coal mines tend to self-ignite on the fuel stack of the coal warehouse and in the bunkers of raw coal boilers. Non-project brown coal from the Pereyaslovsky coal mine is not recommended to be burned in its pure form due to the intensive drift of wet ash collectors by solid deposits of calcium sulfite, due to the high content of calcium oxide in the ash of the fuel. Non-project Tugnui and Urgali coal can be burned in pure form in boilers with low efficiency of their operation, due to high losses with mechanical underburning. According to the specified parameters of the energy efficiency of the boiler, the thermal calculation of the steam boiler was performed. The calculation and materials of experimental combustion show that with a general decrease in fuel consumption, the overall efficiency of gross efficiency decreases, gorenje temperatures increase, which makes it impossible for this design of the boiler unit to fully use boiler units. The lack of operation of the boiler unit is associated with a high coefficient of mechanical underburning. Working on non-project fuels reduces the efficiency of the boiler unit due to the resulting mechanical underburning.

Keywords: non-project coal, pilot combustion, efficiency, losses with mechanical underburning, boiler unit

В энергетике России в последнее время изменилась политика обеспечения топливом электрических станций. Во-первых, интенсивно растет доля использования угля в топливном балансе электрических станций. При этом использование проектного топлива для отдела закупок электростанции не является приоритетом. Топливо для питания энергетических котлов используется по принципу минимальной цены закупок с учетом доставки. Показатели эффективности, экономичности и надежности работы котельных установок снижаются в зависимости от того, на-

сколько сильно отличаются характеристики проектного топлива от используемого.

Первоначально основным топливом, поставляемым на Дальний Восток, был уголь Райчихинского месторождения, расположенного в Амурской области. В настоящее время на электростанции и котельные поставляется уголь Переясловского, Ургальского и Тугнуйского месторождений. Даже новые введенные электростанции Дальнего Востока, рассчитанные на уголь Ургальского месторождения [1], вынуждены работать на различных углях.

Таблица 1

Характеристики углей, поставляемых на дальневосточные электростанции

| Показатели | Райчихинский | Ургальский | Переясловский | Тугнуйский |
|------------------------------------|--------------|------------|---------------|------------|
| Низшая теплота сгорания, ккал/кг | 3070 | 4700 | 4180 | 5650 |
| Влажность рабочая, % | 37 | 9,0 | 30 | 9,1 |
| Зольность на рабочую массу, % | 9,5 | 32,2 | 9,1 | 14,4 |
| Содержание летучих, % | 43 | 42 | 48 | 45,7 |
| Углерод, % | 37,8 | 46,6 | 46 | 53,7 |
| Водород, % | 2,3 | 3,4 | 3,15 | 3,8 |
| Кислород, % | 12,7 | 7,7 | 12,9 | 10,6 |
| Азот, % | 0,5 | 0,8 | 0,6 | 1,04 |
| Сера, % | 0,2 | 0,4 | 0,39 | 0,44 |
| Температурная характеристика золы: | | | | |
| начало деформации, °С | 1050 | 1200 | 1150 | 1200 |
| размягчение, °С | 1150 | 1500 | 1210 | 1400 |
| жидкоплавленное состояние, °С | 1160 | 1500 | 1230 | 1500 |

Проведя анализ характеристик поставляемых углей (табл. 1), можно выявить, что поставляемые угли Переясловского, Ургальского и Тугнуйского месторождений имеют большую теплотворную способность по сравнению с проектным углем Райчихинского месторождения.

Основными условиями замещения проектного топлива непроектным является обеспечение надёжной, эффективной и экологически безопасной работы котельной установки с номинальными параметрами пара в рабочем диапазоне нагрузок при минимальной модернизации котла.

Целью работы является определение возможности использования на электрических станциях каменного угля, поставляе-

мого в настоящее время на электрические станции и котельные Дальнего Востока из Переясловского, Ургальского и Тугнуйского месторождений. Для выяснения возможности замены проектного топлива Райчихинского месторождения непроектными топливами проведен анализ опытного сжигания и выполнен нормативный поверочный расчет парового котла.

Материалы и методы исследования

Компоновка котла – П-образная. Расположение топки – восходящий газоход. В горизонтальном газоходе находится пароперегреватель. В нисходящем газоходе расположены воздухоподогреватель и водяной экономайзер.

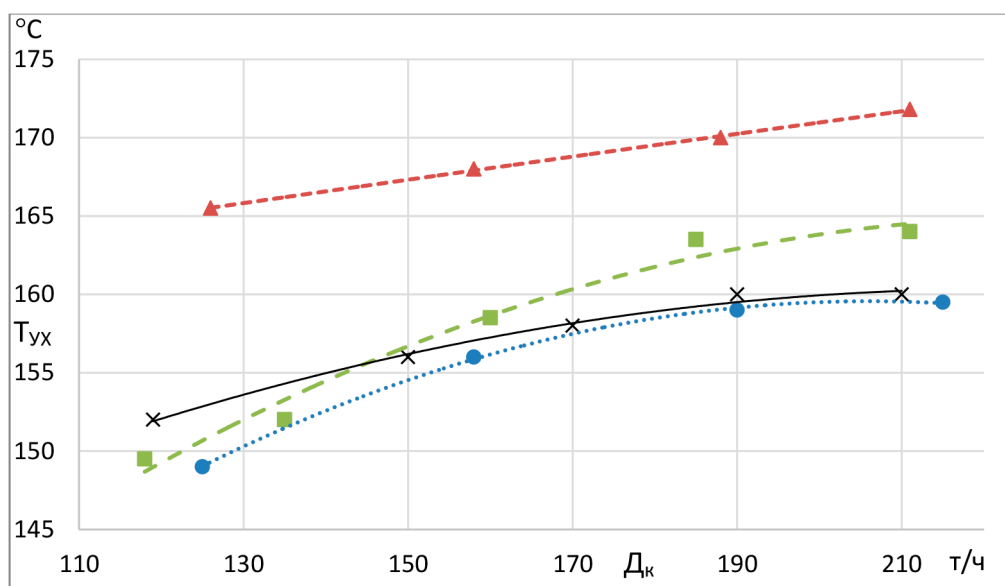


Рис. 1. Температура уходящих газов в диапазоне паровой нагрузки:

●●● Переясловский, ---▲--- Ургальский, ---■--- Тугнуйский, -x- нормативные ограничения

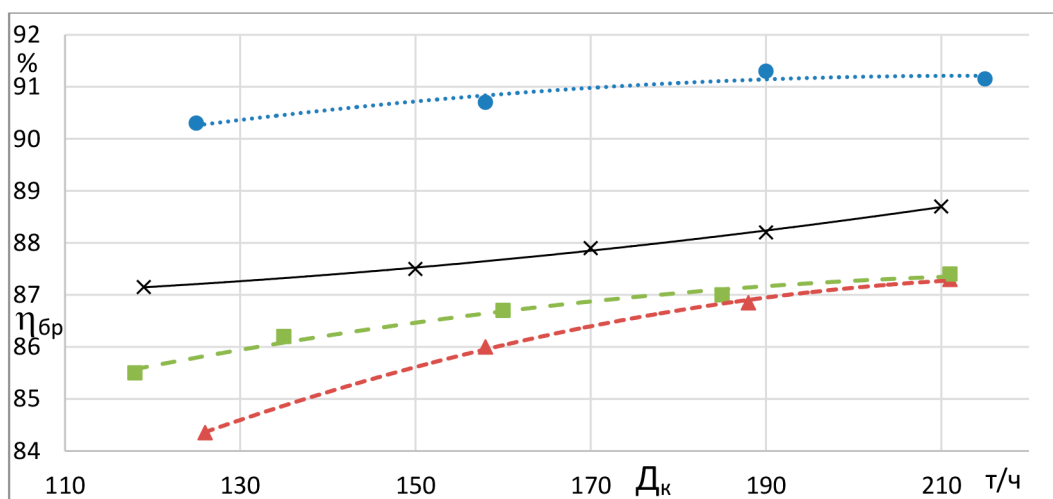
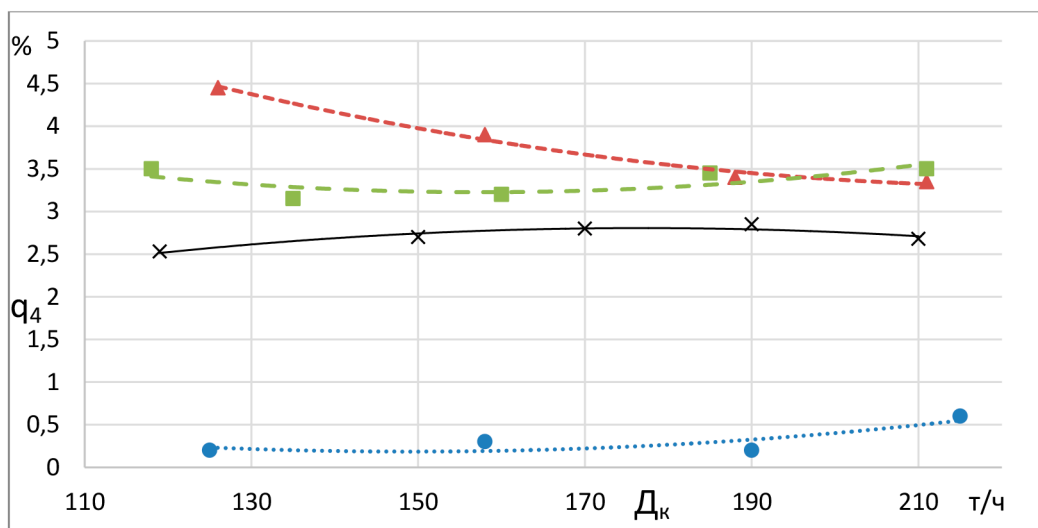
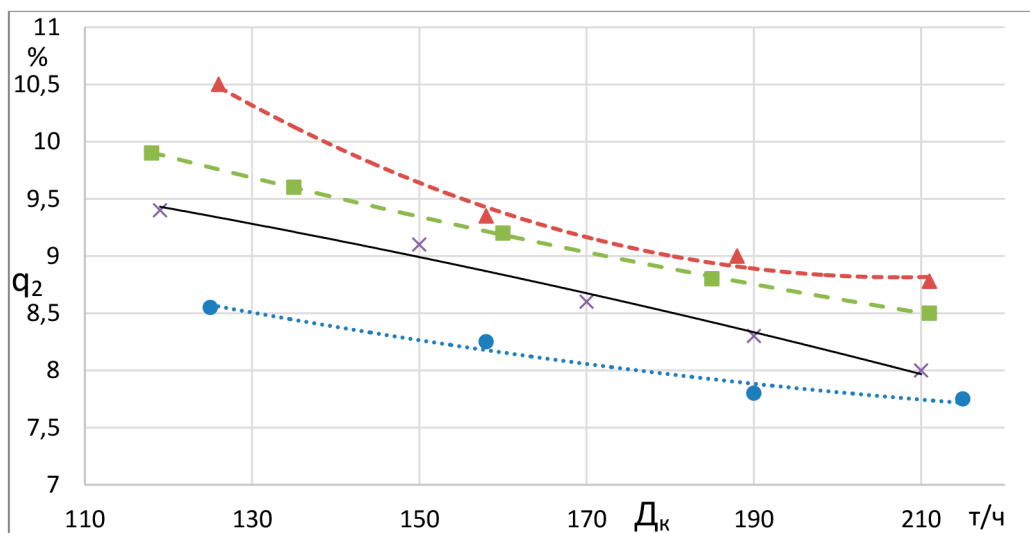


Рис. 2. Энергетические потери тепла в диапазоне паровой нагрузки:
 ●●● Переясловский, ---▲--- Ургальский, ---■--- Тугнуйский, -x- нормативные ограничения

Котёл вертикально-водотрубный, одно-барабанный, радиационного типа, с естественной циркуляцией, П-образной компоновки, крупноблочной конструкции. Водяной объём котла составляет 64 м³, паровой объём – 34 м³. Топка расположена в первом восходящем газоходе.

Во втором нисходящем газоходе установлены водяной экономайзер и воздухоподогреватель, которые расположены в расщелку. В верхнем горизонтальном газоходе расположен пароперегреватель.

Перед принятием решения о возможности использования в работе непроектного топлива выполняют испытания с опытным

сжиганием. Во время испытаний появляется возможность проверить принятые решения, разработать мероприятия, улучшающие экономичность и надёжность работы оборудования, выявить дефекты в устройстве отдельных узлов, выбрать наиболее эффективные режимы эксплуатации котлоагрегатов [2]. На рисунке 1 показана зависимость температуры уходящих газов от паровой нагрузки котла.

В результате исследований по температуре уходящих газов рассчитываются потери тепла в котельном агрегате (рис. 2).

Потери тепла с уходящими газами рассчитываются по формуле:

$$q_2 = (K \times \alpha_{yx} + C) \times (v_{yx} - \alpha_{yx} \times t_{xb} / (\alpha_{yx} + b)) \times A_t \times (1 - 0.01 \times q_4) \times 10^{-2} \times K_Q, \%$$

где K, C и b – коэффициенты, зависящие от сорта и приведенной влажности топлива;

α_{yx} – коэффициент избытка воздуха в уходящих газах;

v_{yx} – температура уходящих газов, °C;

t_{xb} – температура холодного воздуха, °C;

$A_t = 1 + 0.013 \times (v_{yx} - 150) / 100$ – поправочный коэффициент, учитывающий влияние температуры на теплоёмкость продуктов сгорания;

K_Q – коэффициент, учитывающий тепло, внесенное в топку с подогретым вне котла топливом.

Потери тепла от механического недожога определяются по формуле [3]:

$$q_4 = (0,95 \times \frac{\Gamma_{ун}}{100 - \Gamma_{ун}} + 0,05 \times \frac{\Gamma_{шл}}{100 - \Gamma_{шл}}) \times \frac{7830 \times A^P}{Q_n^P}, \%$$

где $\Gamma_{ун}$, $\Gamma_{шл}$ – содержание горючих в уносе, шлаке, %.

Тепловой и конструктивный расчет выполняется для определения эффективности работы котлоагрегата на различных видах топлива по методике, изложенной в [4]. В расчете определяют параметры горения топлива, воздуха и продуктов сгорания в различных элементах котла. Водопаровой тракт представлен следующими элементами: экономайзер первой ступени – экономайзер второй ступени – экранные трубы – потолочный пароперегреватель – холодный пакет – ширмовый пароперегреватель – конвективный пароперегреватель. Воздушно-газовый тракт: воздухоподогреватель первой ступени – воздухоподогреватель второй ступени – топка – ширмовый пароперегреватель – фестон – конвективный пароперегреватель – холодный пакет – экономайзер второй ступени – воздухоподогреватель второй ступени – экономайзер первой ступени – воздухоподогреватель первой ступени.

Результаты исследования и их обсуждение

Непроектный бурый уголь Переясловского угольного разреза имеет склонность к самовозгоранию на штабеле топлива

угольного склада и в бункерах сырого угля котлов. Отмечен интенсивный занос мокрых золоуловителей твердыми отложениями сульфата кальция. Продолжительность работы котла при сжигании Переясловского угля составляет не более 14 суток. При увеличении расхода воды продолжительность работы котла увеличивается до 20 суток. Однако при увеличении расхода воды на орошение скрубберов снижается температура дымовых газов ниже серноокислотной точки росы. Отключение воды на форсунки Вентури не увеличивает продолжительности работы котлоагрегатов и объясняется тем, что зона активных отложений смещается в нижнюю часть каплеуловителя и приводит к забитию входного сечения и гидрозатвора скруббера. Непроектный бурый уголь Переясловского угольного разреза не рекомендуется сжигать в чистом виде ввиду интенсивного заноса мокрых золоуловителей твердыми отложениями сульфата кальция, по причине высокого содержания оксида кальция в золе топлива.

При существующей схеме пылеприготовления с транспортировкой горячим воздухом угольной пыли высокорекреакционного

Тугнуйского каменного угля от мельницы к горелке, при определённых условиях (низкая влажность топлива и повышенная температура сушильного агента) существует высокая вероятность воспламенения аэросмеси в шахте гравитационного сепаратора до выхода пыли из устья горелки. При этом шахта сепаратора может раскалиться докрасна, что вызывает необратимые негативные изменения свойств металла шахты, а также риск её повреждения из-за температурной деформации. Повышение температуры обслуживаемых материалов связано с опасностью выхода оборудования из строя [5]. Присосы холодного воздуха в газовый тракт котла, приведенные к номинальной тепловой нагрузке, составили: в топку и пароперегреватель – 15% (норма – 8%); в конвективную шахту – 16% (норма – 10%); в ЗУУ и дымососы – 11% (норма ПТЭ – 5%). Непроектный Тугнуйский каменный уголь возможно сжигать в чистом виде в котлах с низкой экономичностью их работы, ввиду высоких потерь с мехнедожогом.

При испытаниях работы котлоагрегата присосы холодного воздуха, приведенные к номинальной паропроизводительности, превышают нормативные значения и составляют: в топку и пароперегреватель – 18% (норма ПТЭ – 8%); в конвективную шахту – 15% (норма ПТЭ – 10%); в ЗУУ и дымососы – 13% (норма ПТЭ – 5%). Высокое содержание горючих веществ в шлаке и уносе обусловлено низкой эффективностью орга-

низации подготовки аэросмеси каменного угля в существующих пылесистемах и её дальнейшего сжигания в горелках. Непроектный Ургальский каменный уголь возможно сжигать в чистом виде в котлах с низкой экономичностью их работы, ввиду высоких потерь с мехнедожогом.

По уточненным параметрам энергетической эффективности работы котла был выполнен тепловой расчет парового котла. Основные результаты расчета представлены в таблице 1. Расчет и материалы опытного сжигания показывают, что при общем снижении расхода топлива общая экономичность КПД брутто снижается, повышаются температуры горения, что не дает возможности при данной конструкции котельного агрегата полноценно использовать котельные агрегаты. Недостаток работы котельного агрегата связан с высоким коэффициентом механического недожога. Борьба с механическим недожогом возможна с помощью регулировки системы подачи угля, описанной в [6].

Для безопасного сжигания угля Переясловского и Тугнуйского месторождений необходимо организовать безопасную подготовку топлива к сжиганию с помощью сушки уходящими газами.

Наиболее сложный в обеспечении безопасного сжигания – непроективный бурый уголь Переясловского угольного разреза из-за высокого содержания сульфата кальция, вследствие чего наблюдается занос золоуловителей и постепенное забивание системы гидрозолоудаления.

Таблица 2

Результаты расчета работы котельных агрегатов на непроективных топливах

| Параметр | Размерность | Обозначение | Райчинский | Переясловский | Ургальский | Тугнуйский |
|--|--------------------|------------------------------|------------|---------------|------------|------------|
| Теоретический объем воздуха для полного сгорания | м ³ /кг | V ⁰ | 3,56 | 3,74 | 4,80 | 4,9 |
| КПД брутто | % | η _к | 92 | 91,44 | 87,22 | 87,3 |
| Расчетный часовой расход топлива | В | кг/ч | 44600 | 37914 | 31368 | 22560 |
| Температура газов на выходе | | | | | | |
| из топки | °С | v _т ^{''} | 1118 | 1092 | 1169 | 1185 |
| -* - за 2-й ст. п/перегревателя | °С | | 1047 | 1085 | 1101 | 1103 |
| -* - за фестонными трубами | °С | | 1037 | 960 | 955 | 1035 |
| -* - за 3-й ст. п/перегревателя | °С | | 822 | 857 | 782 | 833 |
| -* - на входе в 4-ю ст. п/перегревателя | °С | | 754 | 762 | 748 | 786 |
| -* - за п/перегревателем | °С | | 678 | 695 | 685 | 725 |
| за 2-й ст. водяного экономайзера | °С | | 461 | 455 | 423 | 480 |
| за 2-й ст. воздухоподогревателя | °С | | 370 | 380 | 349 | 411 |
| за 1-й ст. водяного экономайзера | °С | | 284 | 280 | 310 | 325 |
| за 1-й ст. воздухоподогревателя | °С | | 146 | 140 | 165 | 155 |

Для безопасной работы котла необходимо осуществить переход к сухому золоудалению, что требует значительной модернизации электростанций. Возможность работы на данном непроектном угле при минимальных вложениях осуществима только с добавлением его в качестве доли к другим поставляемым топливам.

Заключение

Проведя анализ опытного сжигания непроектных топлив Переясловского, Ургальского и Тугнуйского месторождений, можно сделать вывод о повышении температуры горения из-за более высокой низшей теплоты сгорания топлива. Температура остается более высокой в топке и в пароперегревателе. Работа на непроектных топливах снижает эффективность работы котельного агрегата из-за возникающего механического недожога.

Уголь Переясловского и Тугнуйского месторождений имеет склонность к самовозгоранию, вследствие чего для сжигания угля Переясловского и Тугнуйского месторождений необходимо организовать безопасную подготовку топлива к сжиганию с помощью сушки уходящими газами. Уголь Переясловского месторождения имеет повышенное содержание сульфата кальция, из-за чего наблюдается занос золоуловителей и постепенное забивание системы гидрозолоудаления. Непроектный бурый уголь Переясловского угольного разреза

не рекомендуется сжигать в чистом виде ввиду интенсивного заноса мокрых золоуловителей твердыми отложениями сульфата кальция, по причине высокого содержания оксида кальция в золе топлива.

Список литературы

1. Шаломов В.И. Предварительный анализ эксплуатационных показателей паротурбинных установок новой Советско-Гаванской теплоэлектроцентрали // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2023. № 3(67). С. 28-34.
2. Шаломов В.И. Численное исследование эффективности замещающей турбины с повышенной температурой свежего пара для технического перевооружения турбоустановок семейства т-100 // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2021. № 5(53). С. 11-18.
3. Шаломов В.И. Оценка эффективности применения повышенных докритических начальных параметров пара для теплофикационного энергоблока мощностью 200-250 МВт // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. № 5(45). С. 4-11.
4. Леонтьев В.И., Хвостиков А.С. Тепловой расчет барабанного парового котла с естественной циркуляцией: учебное пособие. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2018. 164 с.
5. Андрианов И.К. Построение обобщенного критерия оптимизации конкурирующих параметров тепловой защиты оболочечных элементов в условиях теплового и силового нагружения // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2021. № 1(49). С. 4-9.
6. Гордин С.А., Гринкруг М.С., Зайченко И.В. К вопросу повышения эффективности систем управления дутьём твердотопливных котлов // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. 2020. № 5(45). С. 25-30.