



Модернизация тепловой системы железнодорожных станций



Артур ДМИТРЕНКО
Artur V. DMITRENKO

Максим ГАЙТРОВ
Maxim Yu. GAITROV



*Дмитренко Артур Владимирович – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.
Гайтров Максим Юрьевич – магистрант МИИТ, Москва, Россия.*

Modernization of Heat Supply System of Railway Stations (текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 99)

Авторами рассмотрен вопрос о необходимости модернизации системы теплоснабжения железнодорожных станций в рамках основных ориентиров энергетической стратегии Российской Федерации до 2030 года. Основной парк котельных оборудован техникой прежних лет выпуска, которая по некоторым параметрам не соответствует стандартам экологичности, безопасности и эффективности. В статье представлены основные показатели котельных нового типа. Приведен сравнительный анализ характеристик новой и прежней котельной как энергетического комплекса, определено соответствие достигаемых показателей ориентирам энергетической стратегии РФ.

Ключевые слова: железнодорожная станция, тепловая система, модернизация, энергетическая эффективность, паровые котлы, блочно-модульные котельные, КПД, реорганизация системы.

Современные объекты стационарной энергетики транспортной системы (как энергетического комплекса) испытывают на себе те же трудности, что и перестраиваемая под рыночные требования российская экономика. Железнодорожные станции и их тепловые сети должны удовлетворять основным требованиям энергетической стратегии Российской Федерации до 2030 года [1–3]. Главные ориентиры стратегии: энергетическая безопасность, энергетическая эффективность экономики, бюджетная эффективность энергетики, экологическая безопасность энергетики. В этой связи, любой пример реальной модернизации – повод проверить и оценить правильность её основных направлений, эффективность достигаемых технических, экологических и экономических результатов.

1. КОТЕЛЬНЫЕ, ПОДЛЕЖАЩИЕ МОДЕРНИЗАЦИИ

Типичные котельные отапливают производственные и административные помещения, подают пар и горячее водоснабжение для комплекса производственно-технических зданий железнодорожных потре-

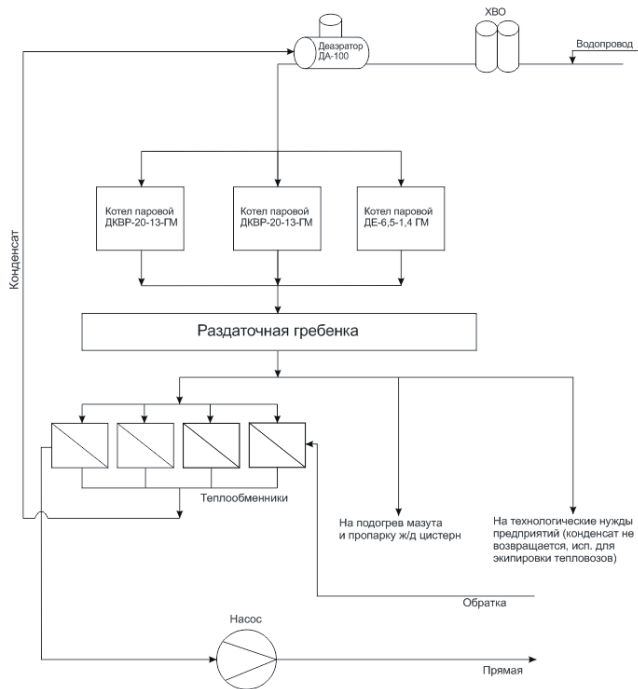


Рис. 1. Тепломеханическая схема мазутной котельной.

бителей. Обычно в стандартной котельной установлены паровые котлы типа ДКВР-20–13 1975 года выпуска – 2 шт. и Е-6,5–1,4 ГМ 1992 года – 1 шт. В качестве топлива ими используется мазут. Резервное топливо не предусмотрено. Вспомогательное оборудование котельных имеет высокий процент износа.

Система теплоснабжения потребителей предприятия двух/трехтрубная (две трубы – подача/обратка теплофикационной воды на отопление, вентиляцию; третья труба – передача пара на технологические нужды без возврата конденсата). Передача пара и теплофикационной воды осуществляется по трубопроводам с надземным (около 95 %) и подземным типом прокладки, футерованных тепловой изоляцией из минеральной ваты (60 %), асбестовой крошки и пенополимерной изоляции (10 %). Общая протяженность таких тепловых сетей 9085 метров, общая протяженность паропроводов 7105 метров.

Мазутное хозяйство – комплекс устройств, обеспечивающих приемку, хранение и подачу необходимого количества мазута в котельную и подготовку его для сжигания в топках котлов. Мазут может быть основным топливом, резервным (например, в зимнее время), аварийным, растопочным, когда основным является

сжигаемое в пылевидном состоянии твердое топливо. Для подачи мазута к котлам применяют три схемы: циркуляционную (при использовании высоковязких мазутов, когда котельная работает постоянно на мазуте и кратковременно на газе); тупиковую (при сжигании маловязких мазутов, когда котельная работает на стабильных нагрузках, превышающих средние); комбинированную (при работе котельной на переменных нагрузках и частых переходах с газового топлива на мазут). Регулирование подачи мазута (давления) осуществляется с помощью клапана с импульсом по производительности котлов или давлению пара в котле.

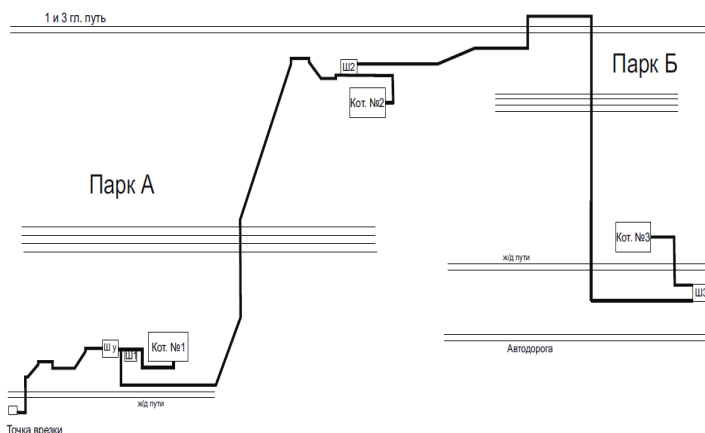
Как видно из таблицы 1, в стандартной котельной установлено три котла общей тепловой мощностью 46,5 т/ч. Как написано выше, резервное топливо не предусмотрено. Большая протяженность и изношенность сетей влекут за собой большие затраты на энергоресурсы и обслуживание. Котел ДКВР для удобства обслуживания оснащён лестницами и площадками. Паровой котел ДКВР-20–13 ГМ – вертикально-водотрубный котёл с экранированной топочной камерой и кипящим пучком, которые выполнены по конструктивной схеме «Д». Отличительной чертой данной схемы является боковое расположение



Основное оборудование стандартной котельной

№ п/п	Тип котла	Тип горелок (топок)	Вид топлива	Год ввода в эксплуатацию	Проектная мощность т/час	Давление кг/см ²	Температура пр/обр °С	КПД
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ДКВР-20–13 ГМ	форсун.	мазут	1972	20	13	130	89 %
2	ДКВР-20–13 ГМ	форсун.	мазут	1973	20	13	130	89 %
3	Е-6,5–1,4 ГМ	форсун.	мазут	1992	6,5	10	130	89 %

Рис. 2. Новая модульная схема теплоснабжения железнодорожных станций.



конвективной части котла относительно топочной камеры.

Таким образом, анализ существующей схемы теплоснабжения показал, что большая протяженность, изношенность оборудования и сетей делают неизбежными большие затраты на энергоресурсы и обслуживание. И значит, модернизация требует не только замены оборудования, но и существенной перестройки всей тепловой системы станции.

2. РЕОРГАНИЗАЦИЯ ТЕПЛОВОЙ СИСТЕМЫ ТИПИЧНОЙ СТАНЦИИ

Эффективность модернизации достигается по-разному [4–6]. В столичном регионе пошли на закрытие мазутных котельных для уменьшения потерь на транспортировке тепловой энергии, повышения эффективности теплогенерации и снижения себестоимости выработки тепловой энергии. В рамках реализации мероприятий ресурсосбережения предусмотрено строительство трех газовых блочно-модульных котельных (рис. 2): котельную № 1 «Десна-1900» тепловой мощностью 1,9 МВт предлагается установить в районе парка «А»; котельная № 2 (Центральная котельная) тепловой мощностью 9,0 МВт будет находиться рядом

со складом топлива станции; котельная № 3 мощностью 1,0 МВт рассчитана на зону «В». Новая система теплоснабжения предназначена для производства тепловой энергии в виде горячей воды на отопительно-вентиляционные, технологические нужды и горячее водоснабжение и обеспечения ими объектов железнодорожной инфраструктуры станции.

Внедряемые блочно-модульные котельные работают в автоматическом режиме без обслуживающего персонала. Сигнализация об аварийной ситуации передается посредством SMS-сообщений на сотовые телефоны аварийно-диспетчерского персонала. Модули № 1 и № 3 работают только в зимнее время (сезонные) на отопление. Модуль № 1 отводит тепло к 12 зданиям, модуль № 2 – к 32 зданиям, модуль № 3 – к 14 зданиям. Периодический осмотр и обслуживание котельной производится аварийно-диспетчерским персоналом из штата ликвидируемой котельной, размещение которого предусматривается в существующих производственно-бытовых помещениях действующего предприятия. Основные характеристики модульных котельных даны в таблице 2.

Как видно, принимаемый вариант модернизации обеспечивает рост технической

Основные технические характеристики новых модульных котельных

№ п/п	Наименование параметра	Ед. изм.	Котельные		
			№ 1	№ 2	№ 3
1	Марка блочно-модульной установки	–	БКУ-1900	БКУ-9000	БКУ-1000
2	Категория котельной по надёжности теплоснабжения	–	вторая	вторая	вторая
3	Номинальная тепловая мощность	–	1900	9000	1000
4	Основной вид топлива	–	природный газ	природный газ	природный газ
5	Тепловая схема котельных	–	двухконтурная	двухконтурная	двухконтурная
6	Тип котлов	–	водогрейные	водогрейные	водогрейные
7	Котловой контур	–	закрытый	закрытый	закрытый
8	Давление исходной воды	Мпа	0,2	0,2	0,2
9	Коэффициент полезного действия, не менее	%	92	92	92

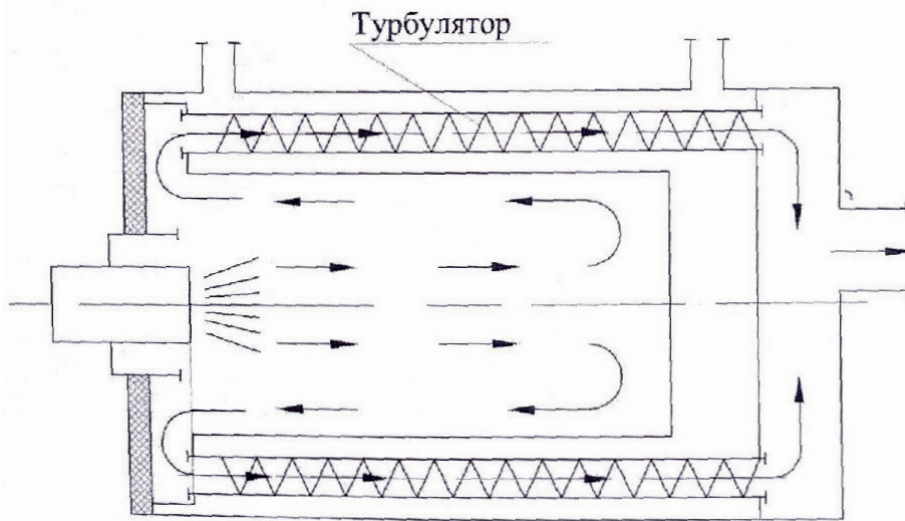


Рис. 3. Схема движения газов в котле.

эффективности путем увеличения КПД до 92 %. Основная причина увеличения КПД котлов заключается в новом их устройстве. Котел Polykraft Duotherm [7], водогрейный жаротрубно-дымогарный с реверсивной топкой, выполнен в блочном варианте. Эффективность котельной увеличивается и за счёт новой системы распыла топлива – форсунки, обеспечивающей лучшее смесеобразование при работе на газовом топливе. Данная форсунка в случае работы на резервном горючем даёт необходимую тонкость распыла дизельного топлива перед его поджигом, создавая тем самым лучшую полноту сгорания смеси и более экологичный выхлоп по сравнению с прежним мазутным оборудованием. Эффективность котла увеличивается за счёт искусственной интенсификации теплопередачи

путем установки турбулятора (рис. 3). Кроме того, новые котельные оборудованы датчиками аварий технологического оборудования и контроля содержания СН и СО, а также перекрытия трубопровода подачи газа клапаном при аварийной ситуации, что существенно повышает безопасность котельных. Обмуровка котла облегченная, с использованием минераловатных матов. Обшивка металлическая. Котёл работает на природном газе или лёгком жидком топливе (в зависимости от типа горелочного устройства). Конструкция выполнена в газоплотном исполнении и работает под наддувом.

Экономическая эффективность модернизации обусловлена снижением эксплуатационных расходов котельных, результаты даны в таблице 3.



Результаты снижения эксплуатационных расходов

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Величина показателя до внедрения (базовая система отопления)	Величина показателя после внедрения (новая система отопления)	Изменение показателя, (-снижение) (+увеличение)
1	Годовые затраты на оплату труда с учётом отчислений на социальные нужды	руб.	8 115 448,39	–	-8 115 448,39
1.1.	Годовые затраты на оплату труда котельной	руб.	6 242 652,61	–	-6242652,61
1.1.1.	Годовой фонд рабочего времени котельной за отчётный период	часы	31 536,00	–	-31 536,00
1.2.	Годовые расходы на отчисления на социальные нужды котельной	руб.	1 872 795,78	–	-1 872 795,78
2	Топливо	руб.	36 904 692,00	16 609 313,99	-20 295 378,01
2.1.	на прочие нужды	руб. без НДС	36 904 692,00	16 609 313,99	-20 295 378,01
2.1.1.	мазут	руб. без НДС	36 904 692,00	–	-36 904 692,00
2.1.1.1.	мазут	тонны	6 150,78	–	-6 150,78
2.1.1.2.	природный газ	руб. без НДС	–	16 609 313,99	16 609 313,99
2.1.1.3.	природный газ	м ³	–	3 194 098,84	3 194 098,84
3	Прочие материальные затраты	руб. без НДС	2 030 000,00	1 000 000,00	-1 030 000,00
3.1.	Годовые затраты на содержание склада мазута	руб. без НДС	700 000,00	–	-700 000,00
3.2.	Годовые затраты на ремонт и техническое обслуживание котельной	руб. без НДС	1 330 000,00	1 000 000,00	-330 000,00
4	ИТОГО снижение расходов	руб. без НДС	47 050 140,39	17 609 313,99	-29 440 826,40

ВЫВОДЫ

В результате рассмотрения вопроса о модернизации тепловой системы (котельной) железнодорожной станции определено, что требуется не только замена изношенного оборудования, но и реорганизация всей тепловой системы станции. Кроме того, эффективность источника тепла модернизированной котельной, определяется изменением рода топлива, на котором работают котлы. КПД новых котельных на дизельном топливе на 3 % (92 %) выше, чем у котельных, работающих на мазуте (89 %).

То есть предполагаемая модернизация котельной железнодорожной станции соответствует основным ориентирам энергетической системы, которая должна удовлетворять требованиям энергетической стратегии Российской Федерации до 2030 года: энергетическая безопасность, энергетическая эффективность экономики, бюджетная эффективность энергетики, экологическая безопасность энергетики.

Следует, однако, отметить возможные пути дополнительных инноваций в виде утилизации энергии выхлопных газов котельной с последующим образованием замкнутого энергетического цикла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года. Распоряжение правительства Российской Федерации от 13 ноября 2009 года № 1715-р. – М., 2009. – 144 с.
2. Энергетическая стратегия России до 2035 года. Корректировка. – М., 2014. – 25 с.
3. Вода К. Р., Квашнин Ю. Д. Энергетическая безопасность: национальные, региональные и международные аспекты. Сборник статей. – М.: ИМЭМО РАН, 2013. – 121 с.
4. Васильев А. В., Антропов Г. В., Баженов А. И. и др. Повышение надежности жаротрубных водогрейных котлов // Промышленная энергетика. – 1998. – № 7. – С. 45–54.
5. Колесников А. И. Энергоаудит котельных: сопоставим результаты // Энергосбережение. – 2001. – № 4. – С. 65–67.
6. Андрущенко А. И., Аминов Р. З., Хлебалин Ю. М. Теплофикационные установки и их использование. – М.: Высшая школа, 1989. – 255 с.
7. Котел Polykraft Duotherm. [Электронный ресурс]: http://prom-kotel.ru/equipment/spare_boilers/polykraft/duotherm/. Доступ 26.06.2017. ●

Координаты авторов: **Дмитренко А. В.** – ammsv@yandex.ru, **Гайтров М. Ю.** – gmdoss@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 26.04.2017, принята к публикации 26.06.2017.

MODERNIZATION OF HEAT SUPPLY SYSTEM OF RAILWAY STATIONS

Dmitrenko, Artur V., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

Gaitrov, Maxim Yu., Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

ABSTRACT

The article considers the need to modernize the heat supply system of railway stations within the framework of the main guidelines of the energy strategy of the Russian Federation until 2030. The main park of boiler rooms is equipped with the aged machinery that by some features does not meet the standards of environmental friendliness, safety and efficiency. The article presents the main indicators of boiler rooms of a

new type. The comparative analysis of the characteristics of the new and former boiler rooms as of an energy complex is suggested. The conformity of the proposed indicators to the guidelines of the energy strategy of the Russian Federation and subsequent innovations is determined. One of the conclusions of the authors is that in addition to replacing the equipment, it is necessary to conduct decentralization of the station's heat supply system.

Keywords: energy efficiency, operating costs, steam boilers, reserve fuel, fuel oil, diesel, block-modular boiler rooms, efficiency.

Background. Modern problems of stationary power engineering of transport system of railways (as an energy complex) pose the task of the evolutionary process of its modernization in general and of boiler equipment in particular, not only as a source of thermal energy, but also as of a particular energy system. Railway stations must meet the basic requirements of the energy strategy of the Russian Federation until 2030 [1–3]. The main targets of the strategy are: energy security; energy efficiency of the economy; budgetary efficiency of energy consumption; ecological safety of power engineering. In this regard, it becomes urgent to review the ongoing modernization with definition of its main directions and technical, environmental and economic indicators to be achieved.

Objective. The objective of the authors is to consider modernization of heat supply system of railway stations.

Methods. The authors use general scientific and engineering methods, comparative analysis, evaluation approach, mathematical methods, scientific description.

Results.

1. Boiler rooms subject to modernization.

Typical boiler rooms heat industrial and administrative premises, supply steam and hot water for a complex of production and technical buildings of railway consumers. Typically, in a standard boiler room, steam boilers of the type DKVR-20–13 of 1975 year of production – 2 pcs and E-6,5–1,4 GM of 1992 year of production – 1 pcs are installed. They use fuel oil. Reserve power source is not provided. The auxiliary equipment of the boiler rooms has a high percentage of wear.

The heat supply system for consumers of the enterprise is two / three-tube (two pipes – supply/return of heating water for heating, ventilation, the third pipe – transfer of steam for technological needs without return of condensate). The transfer of steam and heating water is carried out through pipelines with overground (about 95 %) and underground type of gasket lined with thermal insulation of mineral wool (60 %), asbestos crumb and foam polymer insulation (10 %). The total length of such heat networks is 9085 meters, the total length of the pipelines is 7105 meters. Fuel oil facilities is a complex of devices that ensure acceptance, storage and supply of the necessary amount of fuel oil in the boiler room, and its preparation for combustion in boiler furnaces. Fuel oil can be main fuel, reserve (for example, in winter), emergency, ignition, when the main one is a solid fuel burnt in a pulverized state. To supply fuel oil to the boilers, three schemes are used: circulating (using high-viscosity fuel oil, when the boiler room works constantly on fuel oil and for a short time on gas); dead-end (when burning low-viscosity fuel oil, when the boiler room works on stable loads exceeding the average); combined (when the boiler room works on variable loads and frequent transitions from gas to fuel oil). The regulation of the supply of fuel oil (pressure) is carried out by means of a valve with a pulse through the capacity of the boilers or the vapor pressure in the boiler.

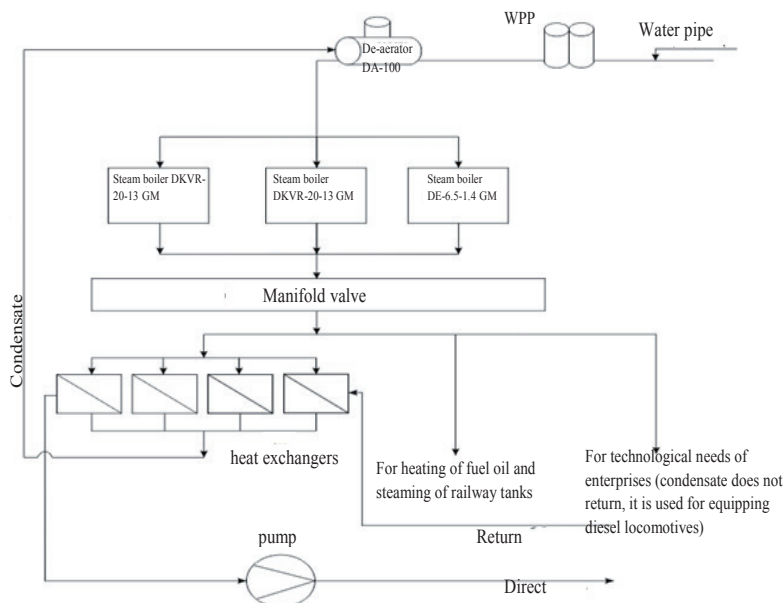
As can be seen from the table above, three boilers with a total thermal output of 46,5 t/h are installed in the boiler room. As it is written above, there is no reserve fuel. The large extent and deterioration of the networks entail large expenditures on energy resources and maintenance. The DKVR boiler is

Table 1

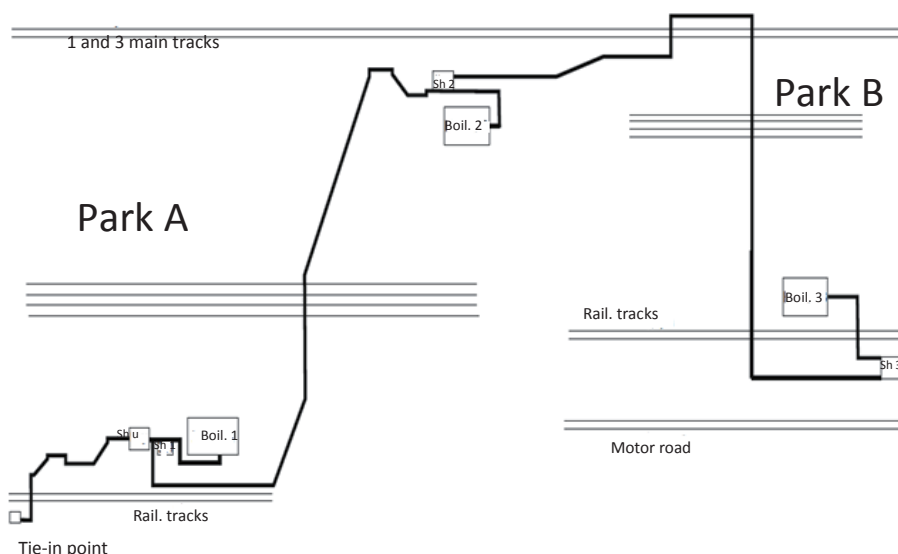
Main equipment

№	Type of a boiler	Type of burners (furnaces)	Type of fuel	Year of commissioning	Design capacity t/h	Pressure kg/cm ²	Temperature dir/ret °C	Efficiency
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	DKVR-20–13 GM	Spray burner	Fuel oil	1972	20	13	130	89 %
2	DKVR-20–13 GM	Spray burner	Fuel oil	1973	20	13	130	89 %
3	E-6,5–1,4 GM	Spray burner	Fuel oil	1992	6,5	10	130	89 %





Pic. 1. Thermomechanical scheme of fuel oil boiler room.



Pic. 2. A new modular heat supply scheme for railway stations.

equipped with stairs and platforms for convenient maintenance. Steam boiler DKVR-20–13 GM is a vertical water tube boiler with a shielded combustion chamber and a boiling beam, which are made according to the design scheme «D». A distinctive feature of this scheme is lateral location of the convective part of the boiler relative to the combustion chamber

Thus, an analysis of the existing heat supply scheme has shown that a large length, deterioration of equipment and networks entail large expenditures on energy resources and maintenance. Therefore, modernization requires not only the replacement of equipment, but the need for decentralization of the station's heat supply system.

2. Modernization of heat supply system of a typical station

The technological and ecological efficiency of modernization [4–6] could be achieved through different approaches. In the city of Moscow it was decided to proceed with the closure of fuel oil boiler rooms to reduce losses in transportation of thermal energy, improve the efficiency of heat generation and reduce the cost of generating heat. In the framework of the resource saving actions it is envisaged to build three gas block-modular boiler rooms, shown in Pic. 2: Boiler room No. 1 «Desna-1900» with a heat capacity of 1,9 MW is proposed to be installed in the area of the park «A»; Boiler room No. 2 (Central boiler room) with a heat capacity of 9,0 MW is proposed to be

Main technical characteristics of new boiler rooms

№	Name of a parameter	Meas. units	Boiler rooms		
			№ 1	№ 2	№ 3
1	Brand of block-model installation	–	BKU-1900	BKU-9000	BKU-1000
2	Boiler room category according to reliability of heat supply	–	second	second	second
3	Nominal heat output	–	1900	9000	1000
4	Main type of fuel	–	natural gas	natural gas	natural gas
5	Thermal scheme of boiler rooms	–	two-circuit	two-circuit	two-circuit
6	Type of boilers	–	hot water	hot water	hot water
7	Boiler circuit	–	closed	closed	closed
8	Initial water pressure	MPa	0,2	0,2	0,2
9	Coefficient of efficiency, not less than	%	92	92	92

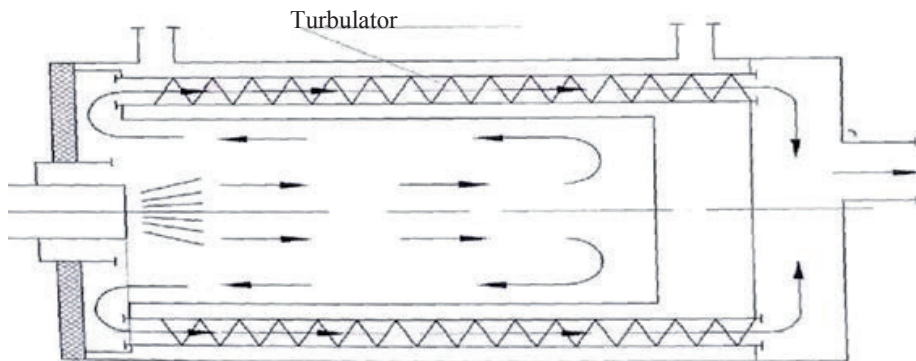


Fig. 3. Scheme of movement of gases in the boiler.

installed next to the fuel depot of the Desna-9000 station; Boiler room No.3 with a rated capacity of 1,0 MW is proposed to install for steam consumers «B». The new heat supply system is designed to produce heat energy in the form of hot water for heating and ventilation, technological needs and hot water supply to provide the railway infrastructure of the station with them.

The implemented block-modular boiler rooms operate in an automatic mode without maintenance personnel. The alarm signaling about the emergency situation is transmitted via SMS messages to the cellular phones of emergency dispatch personnel. Module № 1 and № 3 work only in winter (seasonal) for heating. Module No. 1 removes heat to 12 buildings, module No. 2 removes heat to 32 buildings, Module No. 3 removes heat to 14 buildings. Periodic inspection and maintenance of the boiler room is carried out by emergency dispatch personnel from the staff of the liquidated boiler room, the location of which is envisaged in the existing production and service premises of the operating enterprise. The main characteristics of modular boiler rooms are given in Table 2.

Apparently, the adopted modernization option provides an increase in technical efficiency, by increasing the efficiency to 92 %. The main reason for increasing the efficiency of the boilers is the new boiler

arrangement. Boiler Polykraft Duotherm [7] water-heating fire-fumigation with reversible furnace is made in block design. The efficiency of the boiler room is increased due to the new fuel atomization system – spray burner, which provides the best mixture formation when working on gas fuel. This spray burner, in the case of operation on reserve fuel, provides the necessary fineness of the spraying of diesel fuel before its ignition, thus ensuring a better combustion completeness of the mixture and a more eco-friendly exhaust, in comparison with the previous fuel oil equipment. Also, the efficiency of the boiler increases due to the use of artificial intensification of heat transfer by installing a turbulator in the boiler. In addition, the new boiler rooms are equipped with alarms for technological equipment and monitoring the content of CH and CO, closing the pipeline gas supply with a valve in an emergency situation, which significantly increases the safety of boiler rooms. The lining of the boiler is lightweight, using mineral wool mats. The shell of the boiler is metallic. The boiler operates on natural gas or light fuel oil (depending on the type of a burner). The design of the boiler is made in a gas-tight design and operates under supercharging.

The economic efficiency of modernization is explained by a decrease in the operating costs of the boiler rooms, the results are given in the table.



Results of reduction of operating costs

№	Indicators	Measurement unit	Value of the indicator before introduction (basic heating system)	Value of the indicator after introduction (new heating system)	Change of the indicator, (-decrease) (+increase)
1	Annual labor costs, including social contributions	rub.	8 115 448,39	–	–8 115 448,39
1.1.	Annual expenses for labor payment of the boiler room	rub.	6 242 652,61	–	–6 242 652,61
1.1.1.	Annual fund of working hours of the boiler room for a reporting period	hours	31 536,00	–	–31 536,00
1.2.	Annual expenses for allocations for social needs of the boiler room	rub.	1 872 795,78	–	–1 872 795,78
2	Fuel	rub.	36 904 692,00	16 609 313,99	–20 295 378,01
2.1.	for other needs	rub.without VAT	36 904 692,00	16 609 313,99	–20 295 378,01
2.1.1.	fuel oil	rub.without VAT	36 904 692,00	–	–36 904 692,00
2.1.1.1.	fuel oil	tons	6 150,78	–	–6 150,78
2.1.1.2.	natural gas	rub.without VAT	–	16 609 313,99	16 609 313,99
2.1.1.3.	natural gas	m ³	–	3 194 098,84	3 194 098,84
3	Other material costs	rub.without VAT	2 030 000,00	1 000 000,00	–1 030 000,00
3.1.	Annual expenses for maintenance of a fuel oil warehouse	rub.without VAT	700 000,00	–	–700 000,00
3.2.	Annual costs for repair and maintenance of the boiler room	rub.without VAT	1 330 000,00	1 000 000,00	–330 000,00
4	TOTAL reduction of costs	rub.without VAT	47 050 140,39	17 609 313,99	–29 440 826,40

Conclusion. As a result of consideration of the issue of modernization of the heat supply system (boiler room) of the railway station, it is determined that not only replacement of worn equipment is required, but also decentralization of the thermal system of the entire station. In addition, the efficiency of the heat source of the modernized boiler room is determined by the change in the type of fuel on which boilers operate. The efficiency of new boiler rooms with diesel fuel is 3 % (92 %) higher than that of boiler rooms operating on fuel oil (89 %). That is, the proposed modernization of the boiler room of the railway station corresponds to the main provisions of the energy system, which must meet the requirements of the energy strategy of the Russian Federation until 2030: energy security; energy efficiency of the economy; budgetary efficiency of energy consumption; ecological safety of power engineering. It should be noted, however, that there are ways of additional innovations in the form of utilization of the exhaust energy of the boiler room with subsequent formation of a closed energy cycle.

REFERENCES

1. Energy strategy of Russia for the period until 2030. Order of the Government of the Russian Federation of

November 13, 2009 No. 1715-r [Energeticheskaja strategija Rossii na period do 2030 goda. Rasporjazhenie Pravitel'siva Rossijskoj Federacii ot 13 nojabrja 2009 goda № 1715-r]. Moscow, 2009, 144 p.

2. Energy strategy of Russia until 2035. Adjustment [Energeticheskaja strategija Rossii do 2035 goda. Korrektirovka]. Moscow, 2014, 25 p.

3. Voda, K. R., Kvashnin, Yu. D. Energy Security: National, Regional and International Aspects. Digest of articles [Energeticheskaja bezopasnost': nacional'nye, regional'nye i mezhdunarodnye aspekty. Sbornik statej]. Moscow, IMEMO RAS publ., 2013, 121 p.

4. Vasiliev, A. V., Antropov, G. V., Bazhenov, A. I. [et al]. Increase of reliability of fire-tube water-heating boilers [Povyshenie nadezhnosti zharotrubnyh vodogrejnnyh kotlov]. Promyshlennaja energetika, 1998, Iss. 7, pp. 45–54.

5. Kolesnikov, A. I. Energy audit of boiler rooms: let's compare the results [Energoaudit kotel'nyh: sopostavim rezul'taty]. Energoberezenie, 2001, Iss. 4, pp. 65–67.

6. Andryushchenko, A. I., Aminov, R. Z., Khlebalin, Yu. M. Heating plants and their use [Teplofikacionnye ustanovki i ih ispol'zovanie]. Moscow, Vysshaya shkola publ., 1989, 255 p.

7. Boiler Polykraft Duotherm. [Electronic resource]: http://prom-kotel.ru/equipment/spare_boilers/polykraft/duootherm/. Last accessed 26.06.2017.

Information about the authors:

Dmitrenko, Artur V. – D.Sc. (Eng), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, ammsv@yandex.ru.

Gaitrov, Maxim Yu. – Master's student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia, gmdoss@yandex.ru.

Article received 26.04.2017, accepted 26.06.2017.