

**В. И. НЕМЧЕНКО
М. В. ПОСАШКОВ
П. А. ГУБИН**

МЕТОДИКА МОНИТОРИНГА СЕТЕЙ ОТОПИТЕЛЬНОЙ КОТЕЛЬНОЙ ПО ДАННЫМ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА

TECHNIQUE OF MONITORING OF NETWORKS OF HEATING BOILER ROOM ACCORDING TO THE COMMERCIAL ACCOUNT

Разработана методика мониторинга производства и потребления тепловой энергии по данным коммерческого и технологического учета на границе тепловых сетей отопительной котельной. Предложенный подход на основе системного анализа позволяет сопоставлять тепловую нагрузку, расход, температуру и давление теплоносителя с их договорными значениями и оценивать качественные показатели теплоснабжения. Рассмотрены результаты мониторинга эксплуатации закрытой системы теплоснабжения от автономной котельной за отопительный сезон 2014-2015 гг.

Ключевые слова: программно-технические средства, мониторинг, тепловая энергия, коммерческого учет, тепловая нагрузка, температурный график, качество тепловой энергии

Практическая реализация государственной программы энергосбережения и повышения энергоэффективности во всех отраслях народного хозяйства предполагает широкое применение приборов коммерческого учета энергоресурсов [1, 2].

Основными задачами внедрения коммерческого учета энергоресурсов являются:

- измерение и регистрация коммерческих параметров для проведения финансовых расчетов с энергоснабжающей организацией;
- измерение и регистрация технологических параметров для контроля качества поставки и потребления тепловой энергии;
- индикация технического состояния системы учета для выявления причин неисправностей и их устранения;
- использование архивированных данных учета для расчета показателей потребления энергоресурсов.

Цель данного исследования – разработка методики мониторинга производства и потребления тепловой энергии по результатам коммерческого учета основных параметров системы отопления от автономной котельной.

Сущность предлагаемой методики мониторинга заключается в следующем.

Первый этап – мониторинг тепловой нагрузки. На этом этапе анализируется среднесуточная тепло-

The technique of monitoring of production and consumption of thermal energy according to commercial and technological account on border of thermal networks of a heating boiler room is developed. The offered approach on the basis of systems analysis allows to compare thermal loading, an expense, temperature and pressure of the heat carrier with their contractual values and to estimate quality indicators of heat supply. As an example results of monitoring of operation of the closed system of heat supply from an independent boiler room for a heating season of 2014-2015 are considered.

Keywords: program technical means, monitoring, thermal energy, commercial account, thermal loading, time-temperature chart, quality of thermal energy

вая нагрузка по результатам коммерческого потребления тепловой энергии и значениям фактической среднесуточной температуры наружного воздуха.

На их основе строится регрессионная модель зависимости тепловой нагрузки от температуры наружного воздуха, по которой вычисляется максимальная фактическая нагрузка потребителя при расчетной температуре наружного воздуха. Полученное значение максимальной тепловой нагрузки сравнивается с договорным значением тепловой нагрузки и делаются выводы об их соответствии.

Второй этап – мониторинг расхода сетевой воды. На втором этапе анализируются данные коммерческого среднесуточного учета расхода воды в подающем и обратном трубопроводах на интервале наблюдения. Выявляются участки постоянного расхода, на которых котельной осуществлялся режим качественного регулирования тепловой нагрузки. Затем разность расходов воды в подающем и обратном трубопроводах сравнивается с допустимой величиной измерения расхода и оценивается величина утечек воды из трубопроводов. Если утечки меньше допустимой погрешности измерений, в дальнейшем они считаются нормативными, а если больше – то выясняется причина их появления.

Третий этап – мониторинг температуры сетевой воды. На этом этапе исследуются зависимости

фактической температуры сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах от фактической температуры наружного воздуха. Полученные результаты аппроксимируются линейными регрессионными моделями, по которым вычисляются значения максимальной температуры в подающем и обратном трубопроводах при расчетной температуре наружного воздуха. Затем анализируется соблюдение температурного графика качественного регулирования котельной. Для этого значения температур в подающем трубопроводе, вычисленные по температурным моделям при фактической температуре наружного воздуха, сравниваются с договорными (проектными) температурами. На заключительном этапе осуществляется оценка качества теплоснабжения и теплопотребления по показателям качества, рекомендованным методикой осуществления коммерческого учета тепловой энергии [2]: располагаемому напору в сети, давлению в обратном трубопроводе, температуре в подающем трубопроводе, максимальному часовому расходу, температуре в обратном трубопроводе и предлагаются мероприятия по повышению энергетической эффективности котельной.

Рассмотрим для примера методику мониторинга закрытой системы теплоснабжения промышленной котельной ОАО «Международный аэропорт «Курумоч» г. Самары за отопительный сезон 2014-2015 гг.

Организация учета тепловой энергии на магистралях

Отпуск промышленной котельной коммерческого тепла ведется по трем магистралям: №1 «Штаб», №2 «Аэровокзал», №3 «Промзона». Автоматизированные узлы учета тепловой энергии спроектированы в соответствии с методикой осуществления коммерческого учета тепловой энергии [2] для закрытой схемы теплоснабжения на базе теплосчетчика КМ5-6 с двумя электромагнитными преобразователями расхода, двумя преобразователями температуры и двумя преобразователями избыточного давления. Относительно котельной узлы учета расположены радиально на значительном удалении на границах раздела балансовой принадлежности сетей.

Применение теплосчетчиков КМ5-6 обусловлено тем, что приборы предназначены для косвенных измерений и учета тепловой энергии и других параметров теплоснабжения, представляют собой измерительные системы вида ИС-1, с отображением информации на дисплее, имеют выходной электрический сигнал в интерфейсе RS485, а также осуществляют архивирование информации в энергонезависимой памяти.

Узел учета тепловой энергии и теплоносителя относится к одноуровневым информационным системам II категории технической сложности, отлича-

ющихся тем, что в качестве компонентов комплекса программно-технических средств (КПТС) для выполнения функций сбора, переработки, отображения на дисплее и в ведомости учета тепловой энергии за отчетный период (час, сутки, месяц, год) и хранения информации используются программируемые логические контроллеры (PLC), устройства внутрисистемной связи, микропроцессорные интерфейсы оператора (панели отображения) [3, 4]. Метрологические характеристики измерительных каналов КПТС КМ5-6 соответствуют требованиям методики осуществления коммерческого учета тепловой энергии [2] и представлены в табл. 1.

Основными параметрами коммерческого учета тепловой энергии у потребителя, отображаемыми на дисплее оператора и в ведомости учета тепловой энергии за отчетный период (сутки, месяц, год), являются: количество полученной тепловой энергии; масса теплоносителя, прошедшего по подающему трубопроводу; масса теплоносителя, прошедшего по обратному трубопроводу; масса утечек или водоразбора на горячее водоснабжение (ГВС); температура сетевой воды в подающем трубопроводе; температура сетевой воды в обратном трубопроводе; разность температур в подающем и обратном трубопроводах; температура холодной воды; давление в подающем трубопроводе; давление в обратном трубопроводе; время работы; время работы в неисправном состоянии. Перечисленные параметры являются коммерческими и используются для взаиморасчетов между теплоснабжающей организацией и потребителем. В то же время современные КПТС, в том числе и на базе КМ5-6, обладают значительно большим информационным ресурсом (табл. 2).

Так, КПТС КМ5-6 содержит 124 информационных канала, которые позволяют применять его на различных типах объектов: для тепловой магистрали с открытой или закрытой схемой теплоснабжения или ввода закрытой независимой схемы теплоснабжения (см. табл. 2, тип объекта учета 1); для ввода открытой схемы теплоснабжения с тупиковой схемой ГВС (см. табл. 2, тип объекта учета 2); для ввода открытой схемы теплоснабжения с циркуляционной схемой ГВС (см. табл. 2, тип объекта учета 3), а также максимальное количество каналов КПТС (см. табл. 2, тип объекта учета 4). Количество информационных каналов КПТС КМ5-6 в зависимости от типа объекта учета показано в табл. 2. Для мониторинга тепловых сетей промышленной котельной используется КПТС КМ5-6, который содержит 86 каналов передачи информации.

Мониторинг потребления тепловой энергии закрытой зависимой схемой теплоснабжения

В соответствии в переработанной для закрытой схемы теплоснабжения методикой использования результатов коммерческого учета тепловой энергии

Таблица 1

Допускаемая относительная погрешность каналов КПТС КМ5-6

Канал	Магистраль №1 «Штаб»	Магистраль №2 «Аэровокзал»	Магистраль №3 «Промзона»	Норматив по [2]
«Тепловая энергия»	±3,96 %	±3,403 %	±3,38 %	±4,0 %
«Расход теплоносителя»	±1,2 %	±1,2 %	±1,2 %	±2,0 %
«Температура теплоносителя»	±0,757	±0,757	±0,757	±0,757
«Давление теплоносителя»	±1,0 %	±1,0 %	±1,0 %	±2,0 %
«Время»	±0,05 %	±0,05 %	±0,05 %	±0,05 %

Таблица 2

Информационные каналы КПТС КМ5-6 в зависимости от типа объекта учета

Основные группы каналов КПТС	Тип объекта учета			
	1	2	3	4
Каналы преобразования информации от технологического объекта управления к теплосчетчику КМ5-6, шт.	6	9	12	13
Каналы основного и дополнительного тепловых контуров отображения информации на дисплее прибора, шт.	22	32	39	42
Каналы основного и дополнительного тепловых контуров архивирования в энергонезависимой памяти и передачи выходного электрического сигнала в интерфейсе RS-485 в смежную информационную систему, шт.	29	45	57	69
Всего каналов, шт.	57	86	108	124

при энергетическом обследовании [5–8] существующая база данных коммерческого учета дополнена: проектными значениями параметров теплопотребления объекта; утвержденным температурным графиком зависимости температур прямой и обратной сетевой воды от температуры наружного воздуха 105/70 °С и значениями фактических среднесуточных температур наружного воздуха ($t_{нв}$) по данным метеорологической службы. Это позволило системно анализировать базы данных учета, проектные характеристики и режимные параметры магистралей тепловых сетей как функций температуры наружного воздуха.

Для регулирования тепловой нагрузки на котельной применяется способ качественного регулирования – расход теплоносителя поддерживается постоянным, а температура теплоносителя изменяется по температурному графику в зависимости от температуры наружного воздуха. Обработка в ППП «Microsoft Excel» данных по фактическим среднесуточным тепловым нагрузкам по магистральям при фактических температурах наружного воздуха позволила получить следующие регрессионные модели:

$$- \text{магистраль №1 «Штаб»} \\ Q_1 = -1,137t_{нв} + 48,34, \text{ Гкал/сут;} \quad (1)$$

$$- \text{магистраль №2 «Аэровокзал»} \\ Q_2 = -0,623t_{нв} + 13,21, \text{ Гкал/сут;} \quad (2)$$

$$- \text{магистраль №3 «Промзона»} \\ Q_3 = -0,558t_{нв} + 20,30, \text{ Гкал/сут.} \quad (3)$$

Максимальные фактические тепловые нагрузки, вычисленные по моделям (1) – (3) при $t_{нв} = -30$ °С, составили:

– магистраль №1 «Штаб»

$$Q_1 = 82,45 \text{ Гкал/сут или } Q_1 = 3,435 \text{ Гкал/ч;}$$

– магистраль №2 «Аэровокзал»

$$Q_2 = 31,9 \text{ Гкал/сут или } Q_2 = 1,391 \text{ Гкал/ч;}$$

– магистраль №3 «Промзона»

$$Q_3 = 37,04 \text{ Гкал/сут или } Q_3 = 1,543 \text{ Гкал/ч.}$$

Зависимость фактической среднесуточной тепловой нагрузки от температуры наружного воздуха магистрали №3 «Промзона» представлена на рис. 1.

Сравнение договорных и фактических тепловых нагрузок показало, что нагрузки на магистрали №1 «Штаб» в 2,1 раза превышают договорные, а нагрузки на магистрали №2 «Аэровокзал» – в 1,33 раза. Тепловая нагрузка на магистрали №3 «Промзона» практически совпадает с договорной. Результаты расчета и анализа тепловых нагрузок представлены в табл. 3. Увеличение фактических тепловых нагрузок должно сопровождаться соответствующим увеличением расхода сетевой воды по магистралям.

Результаты мониторинга фактических среднесуточных расходов сетевой воды по магистралям №1, №2, №3 и суммарный представлены в табл. 3. Фактический среднечасовой расход по магистрали №1 составил 198,95 т/ч и превысил проектное значение в 2 раза; по магистрали №2 – 92,91 т/ч и превысил проектное значение в 2,3 раза, по магистрали №3 – 157,6 т/ч и превысил проектное значение в 3,6 раза.

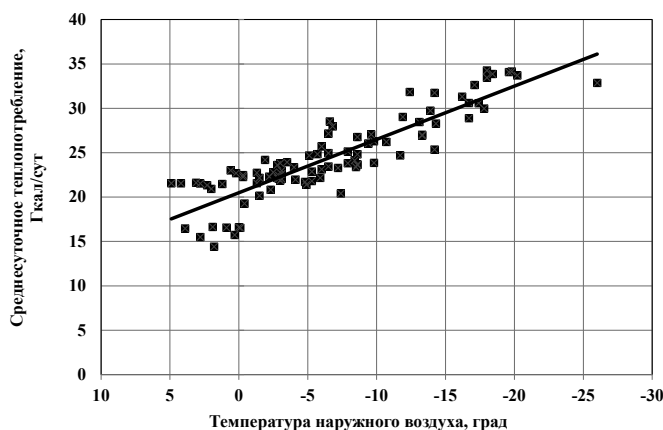


Рис. 1. Зависимость фактической среднесуточной тепловой нагрузки от температуры наружного воздуха магистралей №3 «Промзона»:
 — — модель фактической среднесуточной тепловой нагрузки;
 ■ — фактическая тепловая нагрузка по данным учета

Максимальный суммарный расход сетевой воды по всем магистралям составил 628,08 т/ч и значительно превысил проектный – 182,22 т/ч. Сравнение среднесуточных расходов в подающем и обратном трубопроводах показало, что разность расходов не превышает относительной погрешности каналов теплосчетчика «расход теплоносителя» +1,2 %.

Следовательно, расходы по подающему и обратному трубопроводам совпадают с точностью до погрешности измерений и сверхнормативные утечки сетевой воды в магистралях отсутствуют. Фактические и проектные расходы сетевой воды по магистралям и суммарные представлены в табл. 3.

Обработка в ППП «Microsoft Excel» данных по фактическим среднесуточным температурам сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах по магистралям при фактических температурах наружного воздуха позволила получить следующие регрессионные модели:

– магистраль №1 «Штаб»
 $T_{1_1} = -0,578t_{нв} + 71,73, \text{ } ^\circ\text{C}; T_{2_1} = -0,556t_{нв} + 65,33, \text{ } ^\circ\text{C};$

– магистраль №2 «Аэровокзал»
 $T_{1_2} = -0,594t_{нв} + 70,84, \text{ } ^\circ\text{C}; T_{2_2} = -0,383t_{нв} + 64,45, \text{ } ^\circ\text{C};$

– магистраль №3 «Промзона»
 $T_{1_3} = -0,589t_{нв} + 70,73, \text{ } ^\circ\text{C}; T_{2_3} = -0,444t_{нв} + 65,42, \text{ } ^\circ\text{C}.$

Максимальные фактические температуры в подающем и обратном трубопроводах по магистралям при $t_{нв} = -30 \text{ } ^\circ\text{C}$ составили:

– магистраль №1 «Штаб»
 $T_{1_1} = 88,55 \text{ } ^\circ\text{C}; T_{2_1} = 82,55, \text{ } ^\circ\text{C};$

– магистраль №2 «Аэровокзал»
 $T_{1_2} = 88,66 \text{ } ^\circ\text{C}; T_{2_2} = 75,94, \text{ } ^\circ\text{C};$

– магистраль №3 «Промзона»
 $T_{1_3} = 88,41 \text{ } ^\circ\text{C}; T_{2_3} = 78,74, \text{ } ^\circ\text{C}.$

Максимальные температуры в подающих трубопроводах магистралей совпадают с точностью до погрешности измерения $\pm 0,757 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Сравнение проектных и фактических максимальных температур в подающем и обратном трубопроводах позволяет оценить соблюдение проектного температурного графика работы котельной 105/70 $^\circ\text{C}$. Результаты сравнения представлены в табл. 4. Видно, что максимальная фактическая температура в подающем трубопроводе на 17 $^\circ\text{C}$ меньше проектной 105 $^\circ\text{C}$. Температуры в обратных трубопроводах магистралей превышают на 5 – 12 $^\circ\text{C}$ проектное значение – 70 $^\circ\text{C}$. Соответственно перепад фактических температур составляет 6 – 12,72 $^\circ\text{C}$ вместо проектных 35 $^\circ\text{C}$, что свидетельствует о низкой эффективности работы систем теплоснабжения у абонентов и необходимости проведения режимно-наладочных работ.

Мониторинг качества производства и потребления тепловой энергии

Результаты анализа показателей качества производства тепловой энергии в соответствии с Методикой осуществления коммерческого учета тепловой энергии [2] по данным табл. 3 и 4 следующие:

– располагаемый напор $\Delta P = P_1 - P_2$ должен соответствовать проектному значению 0,4 МПа. Фактический располагаемый напор меньше проектного на 36–61,2 %;

– давление в обратном трубопроводе P_2 должно соответствовать проектному значению 0,2 МПа. Фактическое давление больше проектного на 38–46 %;

– допускается отклонение температуры воды в подающем трубопроводе T_1 от проектных значений $\pm 5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Как видно из графика на рис. 2, фактические температуры значительно превышают проектные.

Результаты анализа показателей качества потребления тепловой энергии в соответствии с Методикой осуществления коммерческого учета тепловой энергии [2] по данным табл. 3 и 4 следующее:

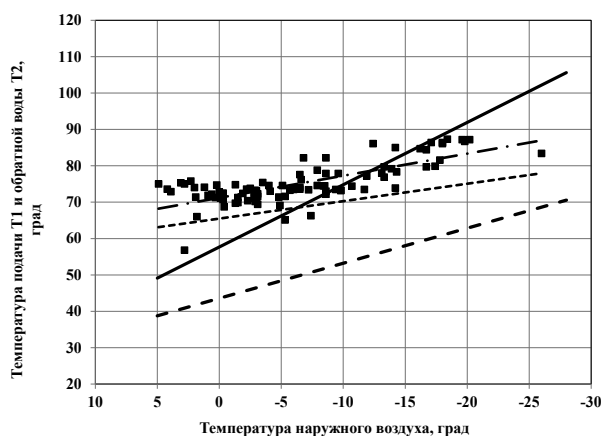


Рис. 2. Зависимость расчетных и фактических температур сетевой воды от температуры наружного воздуха по магистрали №3 «Промзона»:
 - - - модель фактической температуры в подающем трубопроводе;
 - - - модель фактической температуры в обратном трубопроводе;
 — — проектная температура в подающем трубопроводе;
 - - - проектная температура в обратном трубопроводе;
 ■ — фактическая температура в подающем трубопроводе

Таблица 3

Тепловые нагрузки, расходы и давление сетевой воды по магистралям

Параметры	Магистраль №1 «Штаб»	Магистраль №2 «Аэровокзал»	Магистраль №3 «Промзона»	Суммарный
Тепловая нагрузка договорная (-30 °С), Гкал/ч	1,623	1,041	1,554	4,218
Тепловая нагрузка фактическая (-30 °С), Гкал/ч	3,435	1,391	1,5433	6,37
Расход сетевой воды договорной, т/ч	39,9	46,6	85,75	178,62
Расход сетевой воды фактический, т/ч	198,95	92,91	157,6	628,08
Расход сетевой воды проектный при графике 105/70 °С	98,15	37,97	44,1	180,22
Давление договорное $P1/P2_{д}$, МПа	0,6/0,2	0,6/0,2	0,6/0,2	
Давление $P1/P2$, МПа	0,49/0,276	0,53/0,276	0,47/0,292	
Фактический напор $\Delta P = P1 - P2$, МПа	0,213	0,254	0,155	

Таблица 4

Температура сетевой воды магистралей №1, №2, №3

Параметры	Магистраль №1 «Штаб»	Магистраль №2 «Аэровокзал»	Магистраль №3 «Промзона»
Температура сетевой воды в подающем трубопроводе $T1$, проектная / фактическая	105/88,55	105/88,66	105/88,41
Температура сетевой воды в обратном трубопроводе $T2$, проектная / фактическая	70/82,55	70/75,94	70/78,74
Разность температур : проектная / фактическая	35/6,0	35/12,72	35/9,67

– максимальные часовые расходы $G1_{max}$ по магистралям №1, №2 и №3 значительно превышают проектные значения;

– температуры обратной воды $T2$ значительно превышают проектное значение температуры +3 °С. Факти-

ческий перепад температур по магистралям составляет всего 6,0–12,72 °С при договорном перепаде 35 °С, что свидетельствует о плохой работе отопительных приборов.

По данным мониторинга производства и потребления тепловой энергии работу котельной и тепло-

вых сетей следует оценить как неудовлетворительную. Рекомендовано провести наладку систем теплоснабжения и режимную наладку тепловых сетей.

Выводы. 1. Разработана методика мониторинга производства и потребления тепловой энергии, основанная на принципах системного анализа результатов теплоснабжения по данным коммерческого и технологического учета на границе тепловых сетей отопительной котельной.

2. Анализ зависимости основных технологических параметров: тепловой нагрузки, расходов теплоносителя, температур сетевой воды от температуры наружного воздуха позволил установить их соответствие договорным значениям.

3. По результатам мониторинга проведена оценка качества теплоснабжения и эффективности теплоснабжения на примере эксплуатации магистралей тепловой сети автономной отопительной котельной.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федер. закон Рос. Федерации от 23.11.2009 №261-ФЗ // Рос. газ. 2009. 27 ноября.

2. Методика осуществления коммерческого учета тепловой энергии, теплоносителя / Зарегистрирована в Минюсте России 12.2009.г. № 3440.

Об авторах:

НЕМЧЕНКО Владимир Иванович

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления и системного анализа теплоэнергетических и социотехнических комплексов
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,
тел. +79608287629
E-mail: nemchenko_vi@mail.ru

ПОСАШКОВ Михаил Викторович

кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции
Самарский государственный технический университет
Академия строительства и архитектуры
443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194,
тел. +79171475171
E-mail: b111ik@mail.ru

ГУБИН Павел Андреевич

магистрант второго года обучения теплоэнергетического факультета
Самарский государственный технический университет
443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244,
тел. +79171426862
E-mail: rocfor@ya.ru

3. Немченко В.И., Посашков М.В. Пусконаладочные работы при установке теплосчетчика // Надежность и безопасность в энергетике. 2015. №2(29). С. 70–73.

4. Руководство по эксплуатации РЭ 4218-010-42968951-2010. Теплосчетчик КМ-5 модификации КМ-5-1...КМ-5-7. М.: ТБНЭнергосервис, 2013. 84 с.

5. Немченко В.И. Методика использования результатов коммерческого учета тепловой энергии при энергетическом обследовании // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение в Республике Татарстан // Тр. XIII Междунар. симп. 5-7 декабря 2012 г. Казань: ООО «Скрипта», 2013. С. 207–214.

6. Губин П.А., Немченко В.И. Мониторинг производства и потребления тепловой энергии по данным коммерческого учета // Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых «Интеллектуальные системы, управление и механотроника -2016». Севастополь, 2016. С. 215–220.

7. Немченко В.И., Посашков М.В., Губин П.А. Современные проблемы организации учета тепловой энергии в Самарской области // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей. Самара: СГАСУ, 2017. С. 360–364.

8. Немченко В.И., Посашков М.В., Губин П.А. Проблемы организации коммерческого учета тепловой энергии в Самарской области // Энергосбережение в городском хозяйстве, энергетике, промышленности: Седьмая Международная научно-техническая конференция (г. Ульяновск, 21–22 апреля 2017 г.): сборник научных трудов. Т. 1. Ульяновск: УлГТУ, 2017. С. 18–22.

NEMCHENKO Vladimir I.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Management and Systems Analysis of Thermal Power and Socio-Technical Complexes Chair
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244
tel. (960) 8287629
E-mail: nemchenko_vi@mail.ru

POSASHKOV Mikhail V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Heat and Gas Supply and Ventilation Chair
Samara State Technical University
Academy of Architecture and civil Engineering
443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194,
tel. (917) 1475171
E-mail: b111ik@mail.ru

GUBIN Pavel A.

Masster's Degree Student of the Thermal Power Faculty
Samara State Technical University
443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244,
tel. (917) 1426862
E-mail: rocfor@ya.ru

Для цитирования: Немченко В.И., Посашков М.В., Губин П.А. Методика мониторинга сетей отопительной котельной по данным коммерческого учета // Градостроительство и архитектура. 2018. Т.8, №3. С. 33-38. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.8.
For citation: Nemchenko V.I., Posashkov M.V., Gubin P.A. Technique of Monitoring of Networks of Heating Boiler Room According to the Commercial Account // Urban Construction and Architecture. 2018. V. 8, 3. Pp. 33-38. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.03.8.