

УДК 66.045.122

**Фаизов Азат Ильясович**

аспирант

E-mail: [azatazatka@mail.ru](mailto:azatazatka@mail.ru)

**Садыков Ренат Ахатович**

доктор технических наук, профессор

E-mail: [sadykov\\_r\\_a@mail.ru](mailto:sadykov_r_a@mail.ru)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

**Антропов Дмитрий Натанович**

кандидат технических наук

E-mail: [antropov@mesys.ru](mailto:antropov@mesys.ru)

**АО «Эталон ТКС»**

Адрес организации: 420095, Россия, г. Казань, ул. Восстания, д. 100 (Химгад)

### **Проектирование и расчет блочного подогревателя нефти с термомасленным котельным агрегатом**

#### **Аннотация**

*Постановка задачи.* Проектирование блочного подогревателя нефти, производительностью 40 т/ч при ее нагреве от 10 до 60 °С. В качестве исходного топлива использован природный или попутный нефтяной газ, а рабочее тело – термальное масло.

*Результаты.* По результатам тепло-технических расчетов спроектирован блочный подогреватель нефти с термомасленным котельным агрегатом, состоящий из двух модулей: модуль теплогенерации (с котельным агрегатом и блоком подготовки топлива) и модуль теплообмена (с кожухотрубчатый теплообменным аппаратом и блоком автоматики). Представлено описание и работа подогревателя с термомасленным котельным агрегатом.

*Выводы.* Значимость полученных результатов для строительной отрасли заключается в том, что данный подогреватель способен работать в режиме отопления или ГВС, при переключении системы автоматики на соответствующие установки. Разработанный блочный подогреватель нефти в сравнении с существующими аналогами обладает следующими преимуществами: имеет компактные габариты и высокую удельную мощность, блок управления оснащен автоматизированным микропроцессорным комплексом (АМК-1), а модульность конструкции позволяет осуществлять его перевозку любым видом грузового транспорта или воздушным путем.

**Ключевые слова:** теплогенерация, подогрев нефти, котельная установка, теплоноситель, термальное масло, мобильный, автоматизация.

#### **Введение**

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) является одной из базовых отраслей экономики России. Между добычей и переработкой нефти и газа находится важное звено ТЭК – магистральные трубопроводы. Работа трубопроводной системы увязывается и согласовывается с другими различными транспортными системами.

При больших объемах транспортируемых нефтепродуктов их хранение обусловлено неравномерностью потребления и рядом других причин, поэтому только разветвленная сеть трубопроводов в четкой согласованности с другими системами транспорта позволяет снизить объемы хранения необходимого количества нефтепродуктов [1].

Физические свойства высоковязкой нефти, транспортируемой по трубопроводам, в высокой степени зависят от температуры. А это значит, что температура является одним из основных параметров, технологических режимов транспортировки нефти [2]. С целью улучшения реологических свойств и снижения вязкости нефти при транспортировке к нефтеперерабатывающим предприятиям, осуществляется предварительный подогрев нефти. Блочные подогреватели нефти (БПН) устанавливаются у устья скважины, предупреждают парафинизацию труб, снижают потери энергии, связанные с ее перекачкой по

трубопроводам. С целью повышения энергоэффективности БПН проанализированы следующие часто используемые теплоносители: пресная вода, 45 % водный раствор пропиленгликоля, водяной пар, термальное масло ТЛВ-330 [3]. Подсчитано, что на нагрев нефти от 10 до 60 °С при расходе в 40 т/ч необходимо 1,5 МВт энергии. Результаты расчетов, сравнительный анализ и подбор теплообменных аппаратов по требуемой поверхности теплообмена с вышеуказанными теплоносителями (ТН) представлены в табл. [4].

Таблица

**Сравнительный анализ теплоносителей**

Теплоноситель	Пресная вода	45 % водный раствор пропиленгликоля	Водяной пар	Термальное масло ТЛВ-330
Коэффициент теплопередачи, $Вт/(м^2 \cdot К)$	336	291,4	474	392,4
Требуемая площадь теплообмена, $м^2$	98	113	19,95	12,38
Действительная площадь теплообмена, $м^2$	100,8	125,9	20,9	12,8
Габариты теплообменного аппарата, мм	600×6000	800×3000	400×2000	273×300

Теплотехнические расчеты показали, что термомасленный ТН ТЛВ-330 имеет наилучшие совокупные показатели (табл.). Кроме того высокотемпературные органические теплоносители эффективнее предотвращают процесс парафинизации труб вследствие высокой температуры ТН, при отсутствии необходимости поддержания высокого давления, как это происходит в паровых котлах. Для этого вида ТН был подобран горизонтальный газовый термомасленный котел фирмы ЯроМакс типоразряда ВОТ 1500-30-1 ПГ мощностью от 300 до 1500 кВт и расходом термального масла до 90 м<sup>3</sup>/ч [5].

Множество разнообразных производственных процессов, связанных с водными ТН (пресная вода, пар) требуют предварительной его обработки (деаэрация, деминерализация и др.), что связано со значительными эксплуатационными и др. расходами. Применение же органических теплоносителей является альтернативой водным ТН и весьма удобным решением достижения повышенных температур (при умеренно низких рабочих давлениях) в производственных процессах. Кроме того термомасленные нагревательные системы имеют много других преимуществ [4]. Необходимо отметить, что за счет высокой теплоносущей способности термального масла, уменьшается необходимый объем ТН и соответственно уменьшаются габариты и масса БПН. При соблюдении правил эксплуатации – гарантийный срок использования ТН (ТЛВ-330) не ограничен [3], благодаря чему уменьшаются эксплуатационные расходы всей термомасленной системы [6].

**Значимость для строительной отрасли**

В России в связи с широко развёрнутым строительством жилых строений в районах, где не имеется центральное теплоснабжение, мобильные теплогенерирующие установки являются относительно не дорогим выходом из положения без необходимости прокладки дорогостоящих теплотрасс, где дополнительно теряется тепловая энергия.

БПН может применяться для отопления и горячего водоснабжения жилых домов, общественных зданий, производственных и складских помещений и сельскохозяйственных комплексов, удаленных на значительное расстояние от источников традиционных способов теплоснабжения. БПН может подключаться как к новой, так и к уже существующей системе отопления или ГВС. При отсутствии газоснабжения БПН может использовать в качестве топлива СПГ.

БПН можно использовать в качестве аварийной системы теплоснабжения при возникновении чрезвычайных ситуаций на ТЭЦ или котельных. БПН в силу своей мобильности и компактности может быть в короткие сроки доставлена в населенный пункт. Температура кристаллизации термального масла ТЛВ-330 не выше -40 °С [3], т.е.

нет опасности замерзания ТН даже при длительных остановках в зимний период или при транспортировке в отдаленные районы с низкой температурой окружающей среды.

### Описание тепловой схемы БПН

Нефть с температурой  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  поступает в кожухотрубчатый теплообменный аппарат 11, где происходит ее нагрев до расчетной температуры в  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На рис. 1 представлена тепловая схема БПН с термомасленным котлом 1 (ВОТ 1500-30-1 ПГ), который оборудован предохранительным клапаном 6 и системой слива теплоносителя. Для предварительного нагрева ТН в системе предусмотрен узел 1, который при помощи шаровых кранов 12 и исполнительных механизмов 13 позволяет ему циркулировать по малому гидравлическому контуру (узел 1).

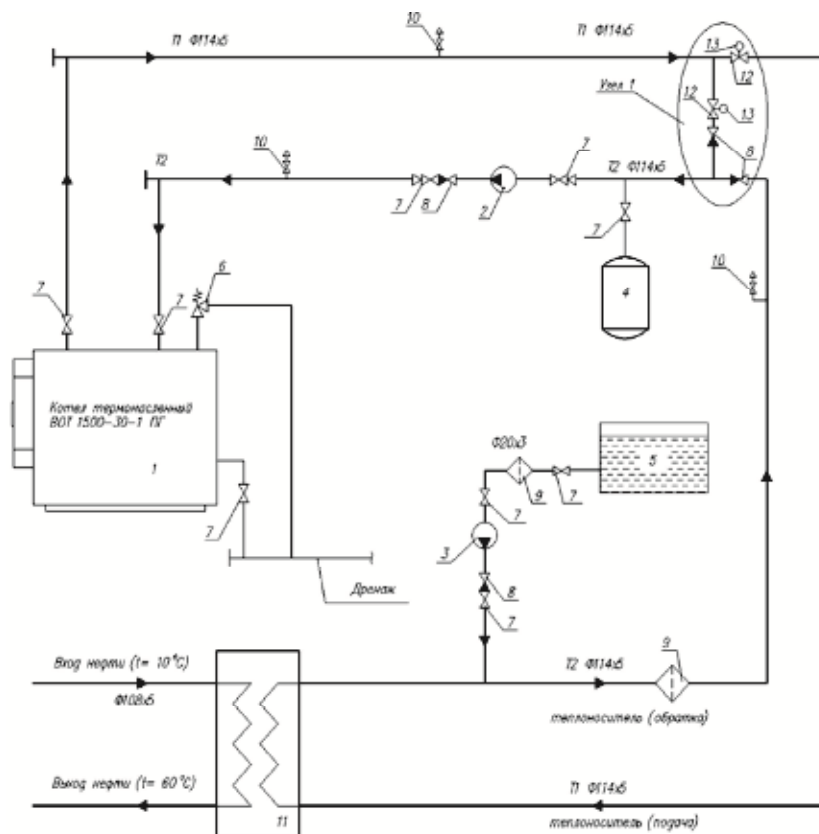


Рис. 1. Аппаратурно-технологическая схема подогревателя нефти:

- 1 – котел термомасленный; 2 – сетевой насос; 3 – насос подпитки теплоносителя;
- 4 – бак расширительный; 5 – бак запаса теплоносителя; 6 – клапан предохранительный;
- 7 – шаровые краны; 8 – клапан обратный; 9 – фильтр магнитный сетчатый; 10 – автоматический воздухоотводчик; 11 – теплообменник кожухотрубчатый; 12 – шаровые краны без рукоятки;
- 13 – исполнительный механизм

При достижении заданной температуры ТН автоматика выводит подогреватель на рабочий режим изменением положения запорной арматуры 12 исполнительными механизмами 13. Циркуляцию органического теплоносителя (ТН) обеспечивает высокотемпературный сетевой насос 2 (ТОЕ-М) с рабочей температурой термального масла до  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$  [7]. Подпитка осуществляется из бака запаса теплоносителя 5 при помощи подпиточного насоса 3. Бак запаса теплоносителя 5 оборудован подушкой из инертного газа-азота, которая предотвращает его окисление. Вспомогательная арматура (поз. 6÷10) подобрана для работы в условиях достаточно высоких температурах (до  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

После монтажа оборудования и соединения всех трубопроводов, подогреватель представляет собой единый блок (рис. 2), состоящий из двух основных модулей: модуля теплогенерации и модуля теплообмена.

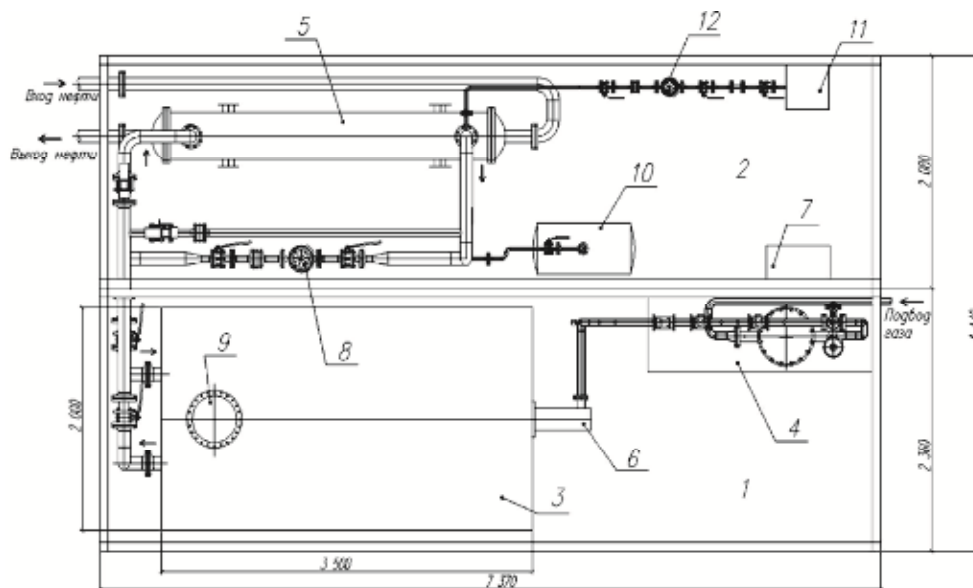


Рис. 2. Чертеж БПН (вид сверху):

- 1 – модуль теплогенерации; 2 – модуль теплообмена; 3 – термомасленный котел;  
 4 – блок подготовки топлива; 5 – кожухотрубчатый теплообменник; 6 – горелочное устройство;  
 7 – блок системы автоматики и безопасности; 8 – сетевой насос; 9 – дымовая труба;  
 10 – расширительный бак; 11 – емкость для подпитки теплоносителя; 12 – насос подпитки

В модуле теплогенерации 1 с габаритами 7370 на 2360 мм, присутствует блок подготовки топлива 4, который подает очищенное газовое топливо в горелочное устройство 6 термомасленного котла 3, удаление отработанных газов обеспечивается при помощи дымовой трубы 9, которая при транспортировке помещается, в модуль теплообмена 2. В модуле теплообмена 2, при габаритах 7370 на 2080 мм, установлен кожухотрубчатый теплообменник 5 и блок управления автоматикой 7.

#### Автоматика блочного подогревателя нефти

Для поддержания оптимальных режимов работы и контроля основных параметров в БПН используется автоматизированный микропроцессорный комплекс АМК-1, который полностью обеспечивает автоматическое управление процессом и оборудованием (по команде с верхнего уровня – по команде диспетчера) (рис. 3); аварийную защиту и сигнализацию; автоматическое регулирование контрольных параметров; представление на дисплее комплекса значений технологических параметров, регулирование исполнительными механизмами (ИМ) с клавиатуры комплекса (включительно в ручном режиме); связь с внешними устройствами – компьютером, модемом, радиомодемом; защиту от некорректных действий оператора; несанкционированного доступа к управлению техпроцессом и ИМ; архивирование событий (пуск, останов и т.п.), измеряемых рабочих параметров; нештатных ситуаций; предыстории аварии; автоматическую самодиагностику и диагностику технологического оборудования.

Исходя из специфики объекта, автоматическая система управления (АСУ) БПН строится как многоуровневая иерархическая децентрализованная система (рис. 3).

Первый – нижний уровень включает в себя измерительные датчики, исполнительных устройств, нормирующие преобразователи и др.

Второй – уровень управления включает в себя программируемые логические контроллеры с модулями ввода/вывода, решающие задачи контроля и управления оборудованием технологических участков.

Третий – верхний уровень включает в себя автоматическое рабочее место (АРМ) оператора. Комплекс АМК-1 имеет возможность дистанционной передачи данных о работе подогревателя на АРМ-оператор. При необходимости контроль за несколькими БПН можно объединить в одну систему [8].

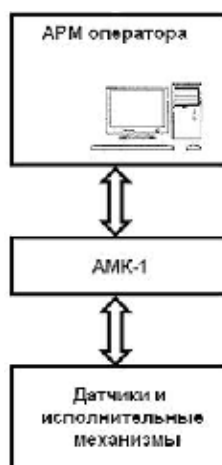


Рис. 3. Структура АСУ подогревателя

### Характеристика проектируемой системы автоматизации

Одной из основных целей автоматизации технологического процесса является повышение надёжности, эффективности и безопасности работы всего оборудования. Система автоматизации предназначена для автоматического управления процессами подготовки к работе, розжига, останова, с дистанционной передачей информации о протекании технологического процесса.

Целевым критерием разработки системы является минимум материальных и энергетических затрат при заданной производительности технологического процесса и достижение полной аварийной безопасности при различных режимах технологического процесса. Информационная вычислительная машина системы автоматизации получает данные о текущем состоянии контролируемого термомасленного котла благодаря различным датчикам. Процедура их обработки предусматривает запоминание, хранение и сопоставление с обобщенными показателями, характеризующие режим работы БПН. Оператор получает на экране указания прошедшие обработку по принципу необходимости в конкретном режиме. Этим ускоряется анализ состояния БПН и в действительности повышается надежность оперативного управления, которая крайне важна при аварийных ситуациях [9].

Структура и состав комплекса технических средств выбиралась с учетом следующих требований: стабильное поддержание выходной температуры нефти (или воды для системы отопления и ГВС); увеличение производительности подогревателя; выбора рациональных режимов в условиях многосвязанного регулирования с учетом показаний промышленных датчиков и анализаторов, установленных на оборудовании и оперативной корректировки управления; получение в реальном времени информации о ходе технологических процессов; диагностика и предупреждение возникновения аварийных ситуаций [10].

К основным параметрам контроля и индикации относятся: температуры подачи и обратки термомасла, уходящих газов; давления термомасла, воздуха, топлива перед горелкой; уровня жидкости в баке подпитки; достижения температуры подачи термомасла и давления газа за основным запорным органом предельно-допустимых значений; наличия факела запальника и факела горелки; положения запорной арматуры. Так же АМК-1 поддерживает оптимальное соотношение воздуха и газообразного топлива [11], подаваемого к горелке термомасленного котла, в зависимости от выбранного режима и других параметров системы.

### Заключение

1. Спроектирован компактный блочный подогреватель нефти, транспортировка которого возможна любым видом грузового транспорта.

2. Использование термального масла ТЛВ-330 в качестве высокотемпературного теплоносителя является альтернативой и весьма удобным решением для достижения повышенных температур при достаточно низком рабочем давлении в сравнении с водными ТН.

3. Органический теплоноситель циркулирует в замкнутом контуре и сохраняя свои свойства в течение длительного времени, что приводит к снижению эксплуатационных расходов всей системы и себестоимости обслуживания.

4. Термальное масло (ТЛВ-330) имеет достаточно широкий диапазон рабочих температур (от  $-45$  до  $350$  °С), и пригоден для использования в северных широтах с низкой температурой окружающей среды.

5. БПН, при необходимости, может применяться для отопления помещений или для ГВС как стационарная котельная или при ЧС на централизованных системах теплоснабжения.

6. АСУ БПН на базе АМК-1 существенно повышает надежность обслуживания, обеспечивает сокращение простоев, улучшает условия труда персонала.

### Список библиографических ссылок

1. Коннова Г. В. Оборудование транспорта и хранения нефти и газа. Ростов н/Д. : Феникс, 2006, 128 с.
2. Махмотов Е. С. Нефтесмеси, транспортируемые по магистральным нефтепроводам АО «КазТрансОйл». Алматы : Жибек Жолы, 2009. 530 с.
3. Теплоноситель ТЛВ-330 // [tlv-330.ru](http://tlv-330.ru) : официальный сайт. URL: <http://tlv-330.ru/tlv-330> (дата обращения: 09.10.2017).
4. Фаизов А. И., Садыков Р. А. Анализ габаритов теплообменного аппарата при использовании различных теплоносителей для подогрева нефти : сб. тр. XVI Международного симпозиума «Энергоресурсоэффективность и энергосбережение» / ИП Шайхутдинов А.И., Казань, 2016. С. 481–483.
5. Газовые термомасляные котлы ЯроМакс на 1000-2750 кВт // [yaromax.com](http://yaromax.com) официальный сайт. URL: <http://yaromax.com/default.aspx?page=12> (дата обращения: 15.09.2017).
6. Костылев И. И., Петухов В. А. Особенности применения термомасел в судовых системах обогрева // Судовые системы / ГМА им. адм. С.О. Макарова. СПб. 2010. 63 с.
7. Малый центробежный насос серии ТОЕ-М1 // [speck-pump.ru](http://speck-pump.ru) : официальный сайт. URL: <http://speck-pump.ru/18-malye-tsentrobeznyye-nasosy/68-tsentrobeznyj-nasos-toe-m1> (дата обращения: 15.09.2017).
8. Ключев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х., Ключев А. А., Проектирование систем автоматизации технологических процессов. М. : Энергоатомиздат, 1990. 464 р.
9. Zentrales management dezentraler KWK-Anlagen // Euroheat and : Fernwärme Int. 202. 31, Spec. С. 8–10.
10. Nicholson Ph. Reduce power plant control system costs without comprising plant reliability: Conf. Proc. Vol. 2. 7<sup>th</sup> Annu. Power Gen Asia 1999 incorp. Distribu Tech Asia'99, Singapore. 455 с.
11. Автоматизированный микропроцессорный комплекс АМК-1 // [mcsys.ru](http://mcsys.ru) : официальный сайт. URL: <http://www.mcsys.ru/prod/amk/#1> (дата обращения: 09.10.2017).
12. Таймаров М. А., Ахметова Р. В., Лавирко Ю. В. Исследование излучательной способности конструкционных материалов и рабочих сред, применяемых в энергетике. Казань : ООО «ИПК «Бриг», 2016. 180 с.

**Faizov Azat Ilyasovich**

post-graduate student

E-mail: [azatazatka@mail.ru](mailto:azatazatka@mail.ru)**Sadykov Renat Akhatovich**

doctor of technical sciences, professor

E-mail: [sadykov\\_r\\_a@mail.ru](mailto:sadykov_r_a@mail.ru)**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

**Antropov Dmitry Natanovich**

candidate of technical sciences

E-mail: [antropov@mesys.ru](mailto:antropov@mesys.ru)**JSC «Etalon TKS»**

The organization address: 420095, Russia, Kazan, Vosstania st., 100

**Design and calculation of block heater oil with thermal oil boiler unit****Abstract**

*Problem statement.* Design of a block oil heater with a capacity of 40 t/h at its heating from 10 to 60 ° C. As a source fuel, natural or associated petroleum gas is used, and the working fluid is thermal oil.

*Results.* Based on the results of heat and technical calculations, a block oil heater with a thermo-oil boiler unit was designed, consisting of two modules: a heat generation module (with a boiler unit and a fuel preparation unit) and a heat exchange module (with shell-and-tube heat exchanger and automation unit). The description and operation of a heater with a thermo-oil boiler unit is presented.

*Conclusions.* The significance of the results obtained for the construction industry is that this heater is capable of operating in the heating or DHW mode, when switching the automation system to the corresponding installations. The developed block heater of oil in comparison with existing analogues has the following advantages: it has compact dimensions and high specific power, the control unit is equipped with an automated microprocessor complex (AMK-1), and the modularity of the structure allows it to be transported by any kind of freight transport or by air.

**Keywords:** heat generation, heating of oil products, boiler plant, coolant, thermal oil, mobile, automation.

**References**

1. Konnova G. V. Equipment for transport and storage of oil and gas. Rostov on/D. : Phenix, 2006. 128 p.
2. Makhmotov E. S. Oil mixtures, transported along main oil pipelines of JSC «KazTransOil». Almaty : Zhibek Zholy, 2009. 530 p.
3. Heat carrier TLV-330 // [tlv-330.ru](http://tlv-330.ru): official site. URL: <http://tlv-330.ru/tlv-330> (reference date: 09.10.2017).
4. Faizov A. I., Sadykov R. A. Analysis of the dimensions of the heat exchanger using various heat carriers for heating oil : proceedings of the XVI International symposium «Energy Resource Efficiency and Energy Saving» / IP Shaikhutdinov A.I., Kazan, 2016. P. 481–483.
5. Gas heat-oil boilers YaroMax for 1000-2750 kW // [yaromax.com](http://yaromax.com) official site. URL: <http://yaromax.com/default.aspx?page=12> (reference date: 15.09.2017).
6. Kostylev I. I., Petukhov V. A. Features of application of thermal oils in ship heating systems // Sudovyye sistemy / GMA after adm. S.O. Makarova. SPb. 2010. 63 p.

7. Small centrifugal pump series TOE-MI // speck-pump.ru: official site. URL: <http://speck-pump.ru/18-malye-tsentrobezlhnye-nasosy/68-tsentrobezlhnyj-nasos-toe-mi> (reference date: 15.09.2017).
8. Klyuev A. S., Glazov B. V., Dubrovsky A. Kh., Klyuyev A. A. Designing of systems of automation of technological processes. M. : Energoatomizdat, 1990. 464 p.
9. Zentrales management dezentraler KWK-Anlagen // Euroheat and : Fernwarme Int. 202.31, Spec. P. 8–10.
10. Nicholson Ph., Reduce power plant control system costs without comprising plant reliability: Conf. Proc. Vol. 2. 7<sup>th</sup> Annu. Power Gen Asia 1999 incorp. Distribu Tech Asia'99, Singapore. 455 p.
11. Automated microprocessor complex AMK-1 // mcsys.ru: official site. URL: <http://www.mcsys.ru/prod/amk/#1> (reference date: 09.10.2017).
12. Taimarov M. A., Akhmetova R. V., Lavirko Yu. V. Investigation of the emissivity of structural materials and working media used in power engineering. Kazan : IPC «Brig», 2016. 180 p.