

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ СБОРА НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ ГРУНТОВОГО МАССИВА

EXPERIMENTAL EVALUATION OF PARAMETERS OF THE SYSTEM FOR COLLECTION OF LOW-POTENTIAL HEAT OF THE SOIL BODY

Ключевые слова: низкопотенциальное тепло поверхностных слоев Земли, термоскважина, тепловой режим почвы, тепловой насос, система сбора низкопотенциального тепла, потенциал замещения отопительной нагрузки.

Одним из перспективных путей решения проблемы повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения зданий является применение новых технологий, использующих нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Объектом исследования является геотермальный потенциал термоскважины в системе теплоснабжения на основе тепловых насосов. Цель работы – оценка возможности повышения экономической и энергетической эффективности проекта перевода объекта теплоснабжения на теплонасосную систему отопления, использующую низкопотенциальное тепло поверхностных слоев Земли. Использование грунта как источника низкопотенциальной теплоты с применением технологии тепловых насосов для отопления зданий многократно изучено, однако на практике при создании геотермальных теплонасосных систем (ГТНС) теплоснабжения сформировалась ситуация, при которой на этапе предпроектной проработки используют усредненные теплофизические характеристики грунтового массива и расчетную среднюю температуру воздуха за отопительный период, что приводит к завышению размеров геотермального контура и, следовательно, к удорожанию инвестиций на создание геотермального теплонасосного теплового пункта. Для оценки потенциала тепла грунта в планируемом месте расположения грунтовых теплообменников разработан и создан автоматизированный испытательный стенд. На основании экспериментальных данных, позволяющих оценить возможности получения низкопотенциального возобновляемого тепла, определены основные параметры элементов грунтовых теплообменников. Предлагается при проектировании ГТНС принимать бивалентный режим работы теплового насоса (ТН) как наиболее обоснованный с точки зрения технико-экономических показателей создания ГТНС и эксплуатационных затрат. И наоборот, при создании ГТНС по

принципу «полного замещения» производить исключительно в случаях организации системы теплонасосного теплоснабжения без участия прямого электрообогрева.

Keywords: low-potential heat of the Earth's surface layers, thermal well, soil thermal regime, heat pump, low-potential heat collection system, heating load substitution potential.

One of the promising ways to solve the problem of improving the energy efficiency of building heating systems is the use of new technologies using non-traditional renewable energy sources. The research target is the geothermal potential of a thermal well in a heat supply system based on heat pumps. The research goal is to assess the possibility of increasing the economic and energy efficiency of the project for the transfer of a heat supply facility to a heat pump heating system using low-grade heat from the surface layers of the Earth. The use of soil as a source of low-grade heat using the technology of heat pumps for heating buildings has been repeatedly studied, however, in practice, when creating geothermal heat pump systems for heat supply, a situation has arisen when at the stage of pre-design study, the average thermophysical characteristics of the soil body and the estimated average air temperature for the heating period are used which leads to an overestimation of the size of the geothermal circuit. To assess the heat potential of the soil at the planned location of the ground heat exchangers, an automated test bench was developed. On the basis of experimental data which make it possible to assess the possibilities of obtaining low-grade renewable heat, the main parameters of the elements of ground heat exchangers are determined. It is proposed to take the bivalent mode of operation of the heat pump as the most justified from the point of view of technical and economic indices of the geothermal heat pump system development and operating costs. And vice versa, the creation of a geothermal heat pump system on the principle of "full replacement" should be carried out only in cases of creating a heat pump heat supply system without the participation of direct electric heating.

Федянин Виктор Яковлевич, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: fedyanin054@mail.ru.

Fedyanin Viktor Yakovlevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: fedyanin054@mail.ru.

Родт Сергей Александрович, аспирант, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: sarodt@mail.ru.

Неймарк Ирина Борисовна, инженер, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: irinak5126@mail.ru.

Rodt Sergey Aleksandrovich, post-graduate student, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: sarodt@mail.ru.

Neimark Irina Borisovna, Engineer, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: irinak5126@mail.ru.

Введение

Низкопотенциальная тепловая энергия поверхностных слоев Земли, извлекаемая с помощью тепловых насосов, может использоваться для отопления, горячего водоснабжения, кондиционирования в зданиях и сооружениях любого назначения. Тем не менее широкий круг потребителей, а также потребители, финансируемые из бюджетов разных уровней (бюджетники), часто не могут получить качественную услугу по проектированию и исполнению проекта по созданию геотермального теплоснабжения [1, 2]. Обычной практикой стало устройство системы теплоснабжения без достаточного технико-экономического обоснования, что приводит к значительному завышению сметы затрат на создание объекта и снижению стимулов использования технологии тепловых насосов для частных потребителей, а для бюджетников делает использование этой технологии практически невозможным [3, 4]. Необходимо найти способ обеспечить реальную доступность технологии тепловых насосов для широкого круга лиц, выбор должен быть обоснован конкуренцией технологий и энергетической эффективностью производства тепла [5-7].

Для создания оптимальной теплонасосной системы, использующей низкопотенциальное тепло грунта, уже на этапе проектирования нужны надежные данные о теплофизических параметрах тепловых режимов работы грунтовых теплообменников в месте расположения объекта теплоснабжения.

Обоснование объемов работ по созданию системы сбора низкопотенциальной теплоты, расчёт оптимальных параметров теплового насоса и сопутствующего оборудования, а как итог – работа по проекту и максимально точной смете актуальны для любой категории потенциальных заказчиков, что является целью проводимых исследований.

Объекты и методы

Для решения поставленной задачи нами создан испытательный стенд для проведения по-

левых испытаний. Стенд позволяет регистрировать температуры теплоносителя на входе и выходе экспериментального грунтового теплообменника, расходы теплоносителя и электрической энергии. Теплоноситель, поступающий в грунтовый теплообменник, охлаждается до заданной температуры с помощью холодильного агрегата. Система контроля и измерения параметров (СКИП) обеспечивает непрерывное наблюдение за процессами теплового обмена, оперативное информирование об изменениях температурных показателей и режимах работы испытательного стенда, сбор, накопление и обработку первичных данных проведенных исследований грунтового теплообменника.

Принципиальная схема СКИП – это система из трёх уровней. Первый уровень системы представлен элементами, которые являются устройствами, реагирующими на изменения внешних воздействий.

Таковыми устройствами являются датчики температуры, датчик расхода теплоносителя и прибор учета потребленной электрической энергии. Устройства первого уровня являются ведомыми в системе. Второй уровень состоит из единственного элемента – контроллера. Он обеспечивает управление элементами первого уровня, сбор и обработку первичных данных с устройств и передачу информации на третий уровень, включающий удаленный сервер сбора, накопления и хранения первичных данных, а также обработки, анализа и представления информации для конечных пользователей.

Контроллер в соответствии с заданным пользователем алгоритмом осуществляет опрос датчиков, сбор и обработку электрических сигналов от датчиков, передачу обработанных данных на удаленный сервер. Сервер по запросу пользователя осуществляет обработку, анализ и представление данных.

Элементами первого уровня системы являются датчики температуры, датчик расхода теплоносителя, прибор учета электрической энергии.

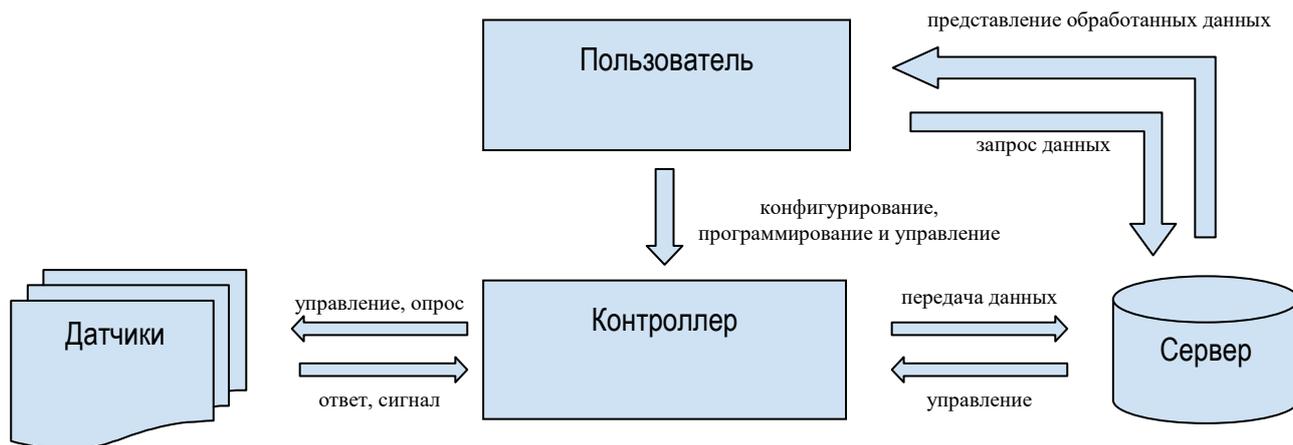


Рис. 1. Схема взаимодействия элементов СКИП

Стенд для исследования параметров циркуляции теплоносителя грунтового теплообменника оснащен двумя датчиками температуры.

В соответствии с гидравлической схемой стенда первый датчик помещен в гильзу на входе (по ходу движения теплоносителя) в грунтовой теплообменник и определяет температуру теплоносителя после внешнего воздействия. Второй датчик помещен в гильзу на выходе из грунтового теплообменника и определяет температуру теплоносителя после теплового обмена с грунтом. Кроме этого датчики температуры установлены в охлаждающем контуре теплоносителя за пределами здания (измерение температуры окружающей среды).

Для учета расхода теплоносителя в грунтовом теплообменнике на стенд установлен расходомер турбинного типа с импульсным выходом.

Для учета потребления электрической энергии циркуляционным насосом на стенд установлен однофазный счетчик электрической энергии Меркурий 206.PRNO. Счетчик имеет интерфейс RS-485 с внешним питанием, что позволяет считывать данные о потреблении электрической энергии, накопленные и хранящиеся на счетчике, на контроллер.

Для обработки сигналов, поступающих с датчиков и счетчика, и последующей отправки на сервер на стенд установлен навигационный терминал (контроллер) GalileoSky 7x ext, производства НПО «ГалилеоСкай», г. Пермь. Данный терминал получил широкое применение в сфере мониторинга и навигации подвижных объектов (транспортные средства), но также используется как устройство контроля и управления для ста-

ционарных объектов производственного назначения.

GSM модем передает данные на сервер для мониторинга и обработки. Режим опроса датчиков и счетчика, а также передачи информации на сервер настраивается через конфигуратор контроллера. С целью решения задач исследования параметров грунтового теплообменника были написаны алгоритмы и программный код для взаимодействия с подключенными устройствами и сервером сбора и хранения информации.

Результаты исследований и их обсуждение

Для организации наблюдений, получения и обработки данных о параметрах циркуляции теплоносителя в грунтовом теплообменнике конечному пользователю СКИП предоставлен доступ к пользовательскому программному обеспечению в режиме WEB-интерфейса. Из-за высокой степени готовности к реализации задач выбран сервис Wialon Hosting.

Первичные результаты исследований параметров грунтового теплообменника выгружались с сервера мониторинга по окончании каждого эксперимента. Формат выгрузки – файл Excel (рис. 2).

Экспериментальная проверка предложенной методики проведена на примере здания учебно-методического центра КГКУ «Алтайавтодор», расположенного в городе Барнауле. Для предварительной оценки экономической и энергетической эффективности перевода этого объекта на геотермальное отопление с использованием технологии тепловых насосов установили испытательный стенд и смонтировали экспериментальную термоскважину.

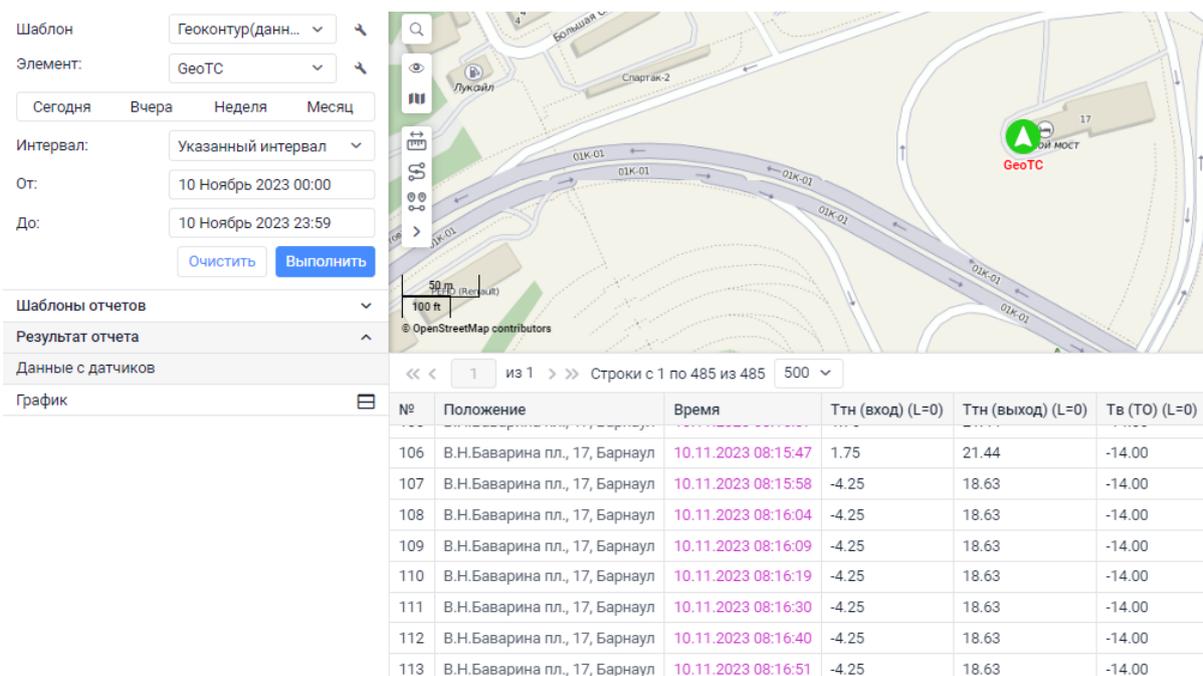


Рис. 2. Пример отчета по проведенному эксперименту

На этапе выбора объекта для геотермально-го отопления были учтены следующие обстоятельства:

- земельный участок, прилегающий к объекту, находится вблизи реки Обь, должен быть максимально пригодным для геотермального отопления (наличие грунтовых вод, обводненные грунты);
- место расположения объекта и наличие площадки для размещения вертикальных грунтовых теплообменников.

На выбранном участке смонтированы вертикальный грунтовый теплообменник U-образного типа, расположенный в вертикальной скважине, и гидравлическая система, соединяющая теплообменник с испытательным стендом.

После запуска системы полученный массив значений температур на входе и выходе грунтового теплообменника при различных расходах теплоносителя обрабатывался с учетом мгновенных значений, определяемых в разные моменты времени (т.е. с учетом времени прохождения теплоносителем расстояния, равного удвоенной длине U-образного теплообменника). Примеры зависимости приращения температуры от температуры теплоносителя, поступающего на вход в теплообменник, приведены на рисунках 3-5.

В диапазоне расходов теплоносителя от 100 до 300 л/ч полученные зависимости хорошо описываются уравнением прямой (1):

$$\Delta T = T_{\text{вх}} - T_{\text{вх}} = 4,825 - 0,972 \cdot T_{\text{вх}} \quad (1)$$

Полученные результаты позволяют оценить показатель энергетической эффективности U-образного грунтового теплообменника, смонтированного на данном участке (мощность поступающего на вход системы отопления потока низкопотенциального тепла, отнесенная к длине теплообменника):

$$DQ_i = \frac{Q}{l} \quad (2)$$

Зависимость DQ_i от температуры теплоносителя, поступающего в грунтовый теплообменник при расходе 300 л/ч, представлена в таблице.

Заклучение

Проведение тепловых тестов скважин меняет технологию проектирования теплонасосных систем теплоснабжения с грунтовыми теплообменниками за счет возможности учета влияния локальных особенностей состава грунтов, в том числе процессов миграции влаги.

Предложен метод, предполагающий использовать автоматизацию процессов измерения, передачи и первичной математической обработки экспериментальных данных, позволяющих провести модельный тепловой тест грунтового теплообменника и получить при этом его характеристики, необходимые при рабочем проектировании.

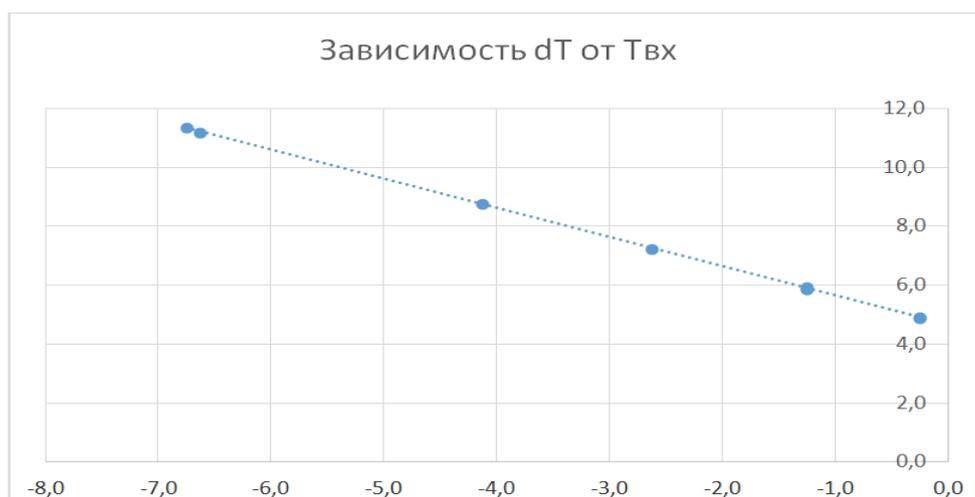


Рис. 3. Расход теплоносителя 128 л/ч

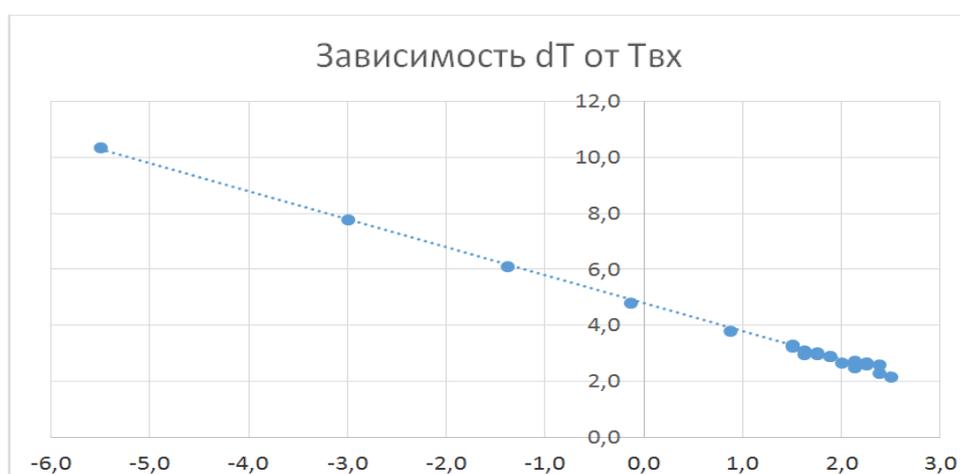


Рис. 4. Расход теплоносителя 175 л/ч

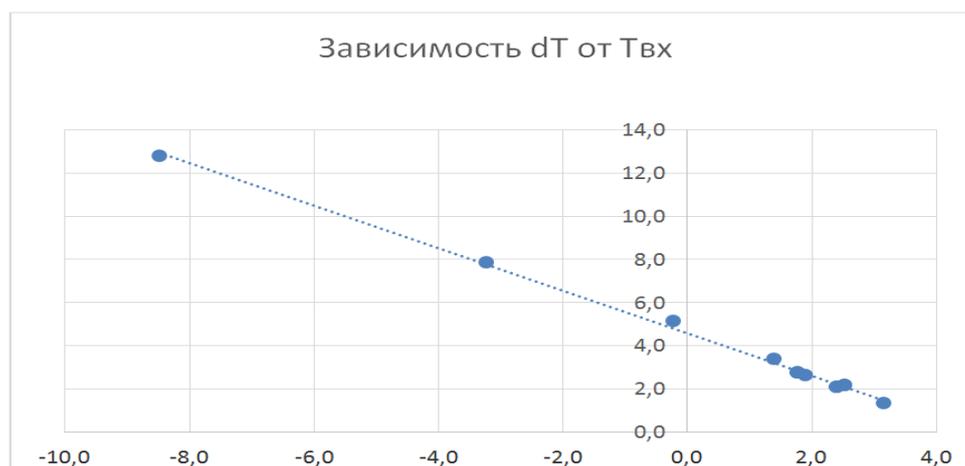


Рис. 5. Расход теплоносителя 298 л/ч

Таблица

Зависимость DQ_1 от температуры поступающего теплоносителя

| $T_{вх}$, град. С | DQ_1, Вт/м |
|-------------------------------------|--------------------------------|
| 2 | 30,2 |
| 1 | 40,3 |
| 0 | 50,5 |
| -1 | 60,7 |
| -2 | 70,9 |
| -3 | 81,0 |
| -4 | 91,2 |

Библиографический список

1. Накоряков, В. Е. Энергетическая эффективность комбинированных отопительных установок на базе тепловых насосов с электроприводом / В. Е. Накоряков, С. Л. Елистратов. – Текст: непосредственный // Промышленная энергетика. – 2008. – № 3. – С. 28-33.
2. К проблеме экологически чистого теплоснабжения на территории рекреационных зон Сибири / В. Е. Накоряков, С. Л. Елистратов, М. В. Засимов, В. А. Фиалков. – Текст: непосредственный // Известия вузов. Серия: Проблемы энергетики. – 2007. – № 9-10. – С. 81-86.
3. Федянин, В. Я. Потенциал замещения отопительной нагрузки при использовании низкопотенциального тепла поверхности земли / В. Я. Федянин, И. Б. Неймарк, Н. Б. Шарипов. – Текст: непосредственный // Наука и образование большого Алтая. – Барнаул, 2015. – № 2. – С. 90-96.
4. Федянин, В. Я. Решение энергетических и экологических проблем региона с большой долей сельского населения путем использования возобновляемых топливно-энергетических ресурсов / В. Я. Федянин. – Текст: непосредственный // Энергетическая политика. – 2011. – № 1. – С. 25-29.
5. Федянин, В. Я. Создание эффективных систем энергоснабжения сельских потребителей в условиях юга Западной Сибири / В. Я. Федянин, Д. Н. Крюков. – Текст: непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31, № 3. – С. 65-68.
6. Федянин, В. Я. Исследование эффективности извлечения возобновляемого тепла с помощью вертикального грунтового теплообменника / В. Я. Федянин, Н. Б. Шарипов. – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2015. – № 3. – С. 151-155.
7. Федянин, В. Я. Повышение эффективности систем теплоснабжения зданий за счет исполь-

зования возобновляемых источников энергии / В. Я. Федянин, Н. Б. Шарипов. – Текст: непосредственный // Вестник энергоэффективности. – 2016. – № 4 (02). – С. 31-38.

References

1. Nakoriakov V.E., Elistratov S.L. Energeticheskaja effektivnost kombinirovannykh otopitelnykh ustanovok na baze teplovykh nasosov s elektroprivodom // Promyshlennaja energetika. 2008. No. 3. S. 28-33.
2. Nakoriakov V.E., Elistratov S.L., M.V. Zasi-mov, V.A. Fialkov // Izvestia Vuzov. Seria: Prob-lemy energetiki. 2007. No. 9-10. S. 81-86.
3. Fedianin V.Ia., Neimark I.B., Sharipov N.B. Potentsial zameshcheniia otopitelnoi nagruzki pri ispolzovanii nizkopotentsialnogo tepla poverkhnosti zemli // Nauka i obrazovanie bolshogo Altaia. – 2015. No. 2. S. 90-96.
4. Fedianin V.Ia. Reshenie energeticheskikh i ekologicheskikh problem regiona s bolshoi dolei selskogo naseleniia putem ispolzovaniia vozobnovliaemykh toplivno-energeticheskikh resur-sov // Energeticheskaja politika. – 2011. No. 1. S. 25-29.
5. Fedianin V.Ia., Kriukov D.N. Sozdanie effek-tivnykh sistem energosnabzheniia selskikh po-trebitelei v usloviakh iuga Zapadnoi Sibiri // Dosti-zheniia nauki i tekhniki APK. – 2017. – T. 31. No. 3. – S. 65–68.
6. Fedianin V.Ia., Sharipov N.B. Issledovanie effektivnosti izvlecheniia vozobnovliaemogo tepla s pomoshchiu vertikalnogo gruntovogo teploobmen-nika // Polzunovskii vestnik. – 2015. – No. 3. – S. 151–155.
7. Fedianin V.Ia., Sharipov N.B. Povyshenie effektivnosti sistem teplosnabzheniia zdanii za schet ispolzovaniia vozobnovliaemykh istochnikov energii // Vestnik energoeffektivnosti. Minobrnauki Rossii. – 2016. – No. 4 (2). – S. 31–38.

