

Kovaleva G.E., Demenev A.V., Solonicin M.V.

ENERGY SAVING DISTRICT HEATING SYSTEMS TECHNOLOGY

**Kovaleva G. E., Russian Federation, Russian State University of
Tourism and Service (RSUTS)**

**Demenev A. V., Russian Federation, Russian State University of
Tourism and Service (RSUTS)**

**Solonicin M. V., Russian Federation, Russian State University
of Tourism and Service (RSUTS)**

Abstract

This article gives an analysis of the effectiveness of constructive solutions for reengineering the reconstruction of heating system in the town of Novoshakhtinsk, in the Rostov region, consuming the least possible amount of fuel (natural gas) and maximum uses the warmth of mine water as a renewable source of energy. The decision marked the objectives of the study the authors see in improving environmental and socio-economic situation in the town of Novoshakhtinsk due to heat utilization mine water. Reengineering of worn and complicated operated heat networks is an urgent task. The article proposes an integrated approach to the reconstruction of the city's supply of thermal energy, covering all elements of the production process: preparation of fuel and water generation with the measurement of actual release, transfer of thermal energy, measurement and regulation at the entrance to the building.

Keywords: heat pump, reengineering, underground water from the mine, transfer of thermal energy

Introduction/Введение.

В последнее время использованию альтернативных источников электроэнергии и тепла уделяется все больше внимания. Это связано с удобством использования, безопасностью, энергоэффективностью, оптимизацией затрат на эксплуатацию. В Европейском Союзе принимаются различными законодательными органами директивы и

распоряжения, направленные на достижение к 2020 году сокращения на 20 %, по сравнению 1990 годом, выбросов парниковых газов, на 20 % общего потребления энергии, и получения 20 % энергии из возобновляемых источников.

В западных странах вопросы энергосбережения уже давно решаются на государственном уровне, и этому служат многочисленные программы. Поэтому во многих странах тепловые насосы являются основой энергосберегающей политики. Так, например, в Швеции 22% домов обогреваются с их помощью. В мире используется около 40 млн. тепловых насосов, в то время как в России около 140. Предполагается, что в развитых странах доля теплоснабжения от тепловых насосов достигнет 75% к 2020 г. Тем более, что на каждый затраченный 1 кВт ч электроэнергии тепловой насос может вырабатывать от 3-5 кВт тепловой.[12]

Проблема заключается в том, что во многих городах РФ существующая система централизованного теплоснабжения недостаточно хорошего качества, при высоких и быстро растущих тарифах, частых авариях и неполадках. Кроме того, рост цен на газ и другие виды топлива может сделать тарифы недоступными для многих категорий потребителей. Изношенность тепловых сетей высока, и их необходимо модернизировать.

Целью данной статьи является исследование возможных решений по реконструкции системы теплоснабжения в городе Новошахтинске, Ростовской области на основе, вновь построенной генерации, потребляющей минимально возможные количества топлива (природного газа) и максимально использующей тепло шахтных вод, как возобновляемого источника энергии.

Данная цель предполагает анализ эффективности решения задач по реинжинирингу эксплуатируемой системы теплоснабжения в городе Новошахтинске за счет применения технологии теплопереноса теплоты от шахтных вод.

Поставщиками тепловой энергии в городе являются два предприятия, представленные в Таблице 1. Это муниципальное предприятие «Коммунальные котельные и тепловые сети» (далее МП «ККТС»), и ООО «Теплонасосные системы - Новошахтинск» (далее ООО «ТНС-Н»).

Из представленных в таблице 1 данных видно, что из многочисленных объектов теплоснабжения (105 ед. котельных разных форм собственности), МП «ККТС» является наиболее социально-значимым объектом жизнеобеспечения города. Во-первых, как гарантирующий поставщик (речь идет о составляющей тарифа для

населения, и как следствие, важна эффективная генерация тепловой энергии), и во-вторых, исследование возможно в едином комплексе (имеется в виду - один объект (предприятие) при производстве тепла 60,83% от общей генерации).

Таблица 1. Поставщики тепловой энергии г. Новошахтинска

| № п/п | Форма собственности | Кол-во Ед. | Производство тепла | |
|-------|--------------------------|------------|--------------------|--------|
| | | | Гкал/год | % |
| 1 | Муниципальная (без ККТС) | 52 | 20 202 | 12,33 |
| 2 | Муниципальная (ККТС) | 20 | 99 669 | 60,83 |
| 3 | Областная | 14 | 8 637 | 05,27 |
| 4 | Федеральная | 7 | 4 539 | 02,77 |
| 5 | Частная в т.ч. ТНС-1 | 10 | 27 901 | 17,03 |
| 6 | | 1 | 11 367 | 06,95 |
| 7 | Общественная организация | 1 | 2 890 | 01,76 |
| | ВСЕГО: | 105 | 163 838 | 100,00 |

Следует отметить, что МП «ККТС» производит и поставляет тепловую энергию населению, проживающему в многоквартирных жилых домах, бюджетным и прочим организациям, расположенных в городе Новошахтинске. МП «ККТС» эксплуатирует 20 котельных: 12 котельных мощностью до 3 Гкал/час и 8 котельных мощностью от 3 до 20 Гкал/час. Общая их мощность на 2016 год составляла 103.15 Гкал/час. В котельных установлено 84 котла. 14 котельных в качестве топлива потребляют природный газ, 6 - уголь. Система теплоснабжения - закрытая. Горячее водоснабжение осуществляется двумя газифицированными котельными для бюджетных потребителей с подключенной нагрузкой 0,35 Гкал/час.

Объекты индивидуального строительства обеспечиваются тепловой энергией автономными источниками теплоснабжения.

Недостатками существующей системы теплоснабжения являются:

- Низкая топливная и энергетическая эффективность теплогенерации. С учетом угольных котельных реальная среднегодовая энергетическая эффективность составляет в среднем по всем котельным не более 60%, в то время как современная система с использованием тепловых насосов может довести этот показатель до 200% и выше.

- Излишние производственные мощности. Теплоснабжение потребителей в городе осуществляется за счет автономных систем теплоснабжения, состоящих из котельных с подключенными к ним сетями или индивидуальными зданиями. Такая структура теплоснабжения

приводит к неоптимальному использованию как установленной, так и подключённой мощности и отсутствию резервных источников снабжения тепловой энергией на случай отказа котельной. А все эти мощности, как используемые, так и лишние, требуют трудовых и финансовых затрат на содержание и ремонт.

- Перетопы потребителей. Как правило, регулирование тепловой нагрузки в системе с помощью изменения температуры теплоносителя («качественное регулирование») и связанная с ним более медленная (по сравнению с «количественным регулированием») реакция системы на изменения режимов работы генерирующих мощностей приводит к поставкам избыточного количества тепловой энергии потребителю, следовательно, к непроизводительным затратам. Количественное регулирование позволило бы намного более точно поставлять объёмы тепловой энергии в зависимости от погодных условий и режимов использования зданий.

- Низкая энергоэффективность сетей. По предварительным оценкам специалистов, если бы и производство, и отпуск тепла фиксировалось приборами учёта, то уровень потерь был бы на 1 - 2 % выше установленного среднего норматива в 13%. Это неприемлемо высокий показатель потерь для 20-ти котельных с 42,5 Гкал/ч подключенной мощностью, длиной существующих сетей всего 41 км в 2-х трубном исчислении и средней температурой отопительного сезона – 0,6°.

- Расходы на электроэнергию для передачи тепла говорят о недостаточном уровне оборудования приводами с частотным регулированием и относительном перерасходе электрической энергии.

- Изношенность угольных котельных и некоторых участков сетей ведет к низкому качеству услуг, а иногда и к перебоям в теплоснабжении.

- Затраты на оплату труда. Несмотря на то, что при данной структуре теплоснабжения потребителей фактическая производительность труда находится на уровне среднеотраслевых показателей, потенциально существует возможность вполнину (на 140 человек) сократить численность персонала, многие процессы можно автоматизировать (т.е. все процессы управления котельными возможно вынести одному (двум) оператору центральной диспетчерской службы).

Высокие операционные затраты приводят к росту тарифов на услуги и, как следствие, потребители стараются покинуть централизованную систему и перейти на индивидуальные системы теплоснабжения. К счастью для теплоснабжающих организаций, Закон «О теплоснабжении» в последнее время запрещает такой уход потребителей в

зонах, предусмотренных для централизованного теплоснабжения. Но в долгосрочном плане, не административные запреты, а только конкурентоспособность централизованных систем по отношению к их альтернативам будет мотивировать потребителя оставаться в зонах обслуживания действующих систем.

Основным направлением исследования является использование теплых вод угольных шахт в качестве первичного низко потенциального источника энергии для работы тепловых насосов.

Большое количество воды в гидравлически связанных затопленных шахтах г. Новошахтинска (последняя из 16-ти, шахта была закрыта в 2003г.), которое нагревается теплом земли на больших глубинах, обладает огромными запасами тепловой энергии. Вызванная гравитацией вертикальная циркуляция выносит нагретую воду ближе к поверхности, где доступ к ней осуществляется через неглубокие скважины (50 - 150 метров).

Таким образом, обеспечивается надежный и недорогой источник первичной энергии для тепловых насосов. Вода из группы шахт с температурой 12-13°C, подается в первичный контур теплового насоса из нагнетательной скважины с помощью погружного насоса (Рисунок 1) и после передачи тепловой энергии, возвращается в шахты охлажденной на несколько градусов через сбросную скважину, расположенную в другом горизонте горных выработок. В результате водоносная целостность шахт и температура забираемой воды сохраняются практически неизменными. Последствия использования такого источника энергии для окружающей среды минимальны.

Применение тепловых насосов позволяет существенно уменьшить расход дорогостоящего органического топлива, многократно снизить вредные выбросы в атмосферу, возникающие при сжигании топлива, и, соответственно, повысить коммерческую и экологическую эффективность систем теплоснабжения, значительно облегчить условия труда обслуживающего персонала в сравнении с использованием существующих угольных котельных, практически полностью автоматизировать работу системы теплоснабжения и повысить культуру и надежность производства тепловой энергии.

В некоторых развитых странах теплонасосное теплоснабжение является главным конкурентом традиционной теплоэнергетики, основанной на сжигании органического топлива. В соответствии с прогнозами Мирового энергетического комитета (МИРЭК) к 2020 г. в развитых странах 75% тепла для отопления и горячего водоснабжения будет поступать от тепловых насосов. Хотя Россия сильно отстает от

развитых стран в этой области (с 1992 было запущено в эксплуатацию всего около 150 ТН).

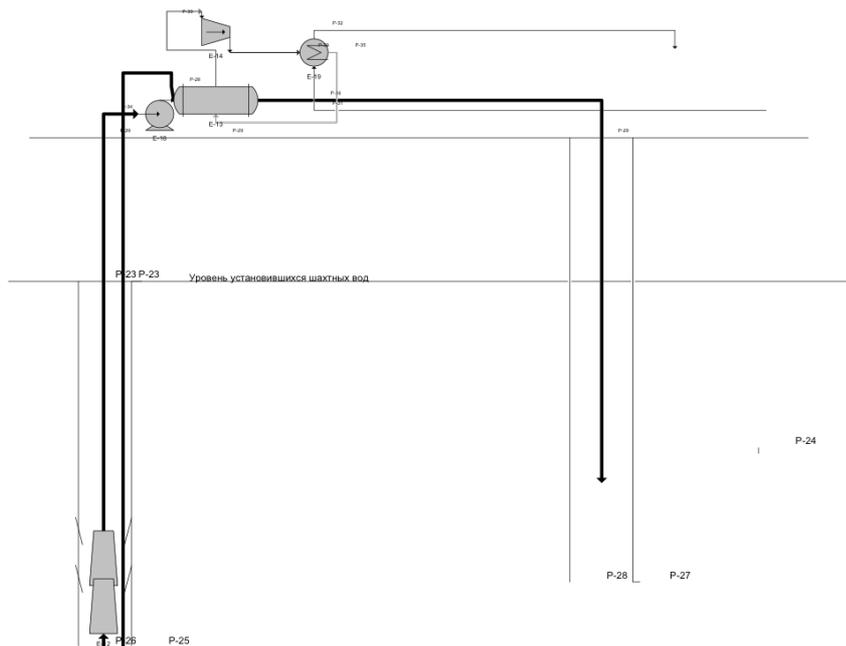


Рисунок 1. Технологическая схема потока шахтной воды, как источника низкотемпературного тепла

Приведем примеры использования теплонасосных установок за рубежом. Клайпедская геотермальная станция была построена в 2000 г. за 19,5 млн USD. Было пробурено 4 скважины — каждая глубиной около 1100 м. Температура геотермальной воды составляет 38°C. Мощность станции — 41 МВт (что достаточно для обеспечения жителей в летнее время теплой водой), из них 18 МВт — мощность теплонасосов на геотермальной энергии, а 23 МВт — мощность 3-х газовых котлов. Особенность проекта в том, что скважины были пробурены не в штреки шахт, а просто в слои водоносных песчаников.[13]

Шахтная вода в Херлене (Нидерланды) извлекается из скважин различной глубины и разным уровнем температур (30 °C на глубине 700-800 и 16-18°C на глубине 250м). Теплом обеспечиваются порядка 350 зданий, из которых более 200 составляют жилые дома. В результате

запуска проекта и, соответственно, значительного снижения потребления топлива, по предварительным оценкам сокращение выбросов CO₂ составило 50%. В перспективе планируется использовать тепло шахтных вод для кондиционирования зданий в теплое время года. [14]

В Спрингхилле (Канада) вода извлекается из штрека шахты №2 с глубины 140 метров температурой 18°C и возвращается температурой 13°C зимой (для отопления) и 23°C летом (для кондиционирования). Вода сбрасывается на меньшей глубине в шахте №3. Общая годовая экономия энергии 600 тыс. кВтч. [15]

В Гётеборге (Швеция) в качестве источника энергии вместо тепла шахтных вод используются тепло стоков ТЭЦ, тепло выхлопных газов ТЭЦ и котельных на биомассе, а также очищенные сточные воды, но в данном случае нам интересен сам пример использования теплонасоса большой мощности (около 50 МВт). Производство за 2008 год составляет 145 тыс. МВт ч. [16]

В статье предлагается комплексный подход к реконструкции системы снабжения города тепловой энергией, охватывающий все элементы производственного процесса: подготовка топлива и воды, генерация с измерением фактического отпуска, передача тепловой энергии, измерение и регулировка на входе в здание.

Технологический подход состоит в создании единой, полностью интегрированной системы теплоснабжения, которая генерирует все тепло на одной мини-ТЭЦ, использующей комбинацию газо-поршневых установок (далее ГПУ) и тепловых насосов, управляемую в режиме реального времени из единого центра. Существенные, но социально и экономически оправданные капитальные вложения, окупаемые за счет использования энергии шахтных вод, помогут резко снизить себестоимость тепловой энергии (расход топлива, приобретаемой электроэнергии и других статей текущих затрат). Достигается это за счет следующих факторов:

- Намного более эффективного, чем в настоящее время, использования установленных мощностей.

- Перехода с качественного (за счет температуры теплоносителя) на количественное (за счет скорости движения теплоносителя) регулирование теплоотдачи системы, что позволит очень гибко подстраивать расход теплоэнергии как под погодные внутрисуточные колебания (температура и ветер), так и под режимы использования зданий (многие здания муниципальных и коммерческих организаций не используются ночью, в выходные и праздники). В сочетании с использованием АСКУЭ (автоматизированная система

коммерческого учета электроэнергии) автоматизированная система на основе SCADA-системы количественное регулирование системы позволит кардинально сократить расход использованного для производства тепла топлива при улучшении качества услуг теплоснабжения и повышении комфорта потребителей.

- Замещения подавляющей части природного газа и электроэнергии на бесплатную энергию тепла земли, что позволяет значительно сократить текущие производственные затраты.

Комплексный подход к реконструкции системы теплоснабжения охватывает следующие компоненты:

Генерация тепловой энергии теплосети, а именно, ремонт существующих внутриквартальных теплосетей и строительство новых магистральных участков, которые объединяют все теплоснабжение города в единую интегрированную систему и питают его.

Реконструкция предполагает постепенное выведение из эксплуатации существующих мощностей по генерации тепловой энергии и переключение нагрузок на вновь построенную мини-ТЭЦ, в состав которой будут входить 2 идентичные производственные линии в следующей комплектации (на каждую линию): газопоршневой установки (далее ГПУ), приводящей в движение электрогенератор, питающий в свою очередь компрессор теплового насоса и все электрооборудование системы теплоснабжения, кроме насосов внутриквартальных сетей; а также газовый водогрейный котел. Сгенерированное тепло подается в сеть и накопитель тепла.

Такая структура производственных мощностей позволит производить до 85 - 95% тепловой энергии на тепловых насосах, догревая теплоноситель до температуры 95°C выхлопными газами и «рубашкой» корпуса ГПД. Тепловые насосы и ГПУ должны работать в базовой нагрузке, используя в качестве топлива немного газа и в основном бесплатную энергию шахтных вод, покрывая почти все производство всего отопительного сезона и ГВС круглогодично. Газовые водогрейные котлы должны включаться только на пиках, используя дорогой природный газ для производства только 5 – 15% годового объема производимой тепловой энергии.

Рассмотрим более подробно схему генерации и передачи энергии и технологическую схему потока тепловой и электрической энергии (Рисунок 2.). ГПУ (1) потребляет природный газ из газопровода давлением. В качестве аварийного топлива для газового двигателя будет использоваться дизельное топливо. Двигатель должен быть оснащен системой пневмозапуска (с помощью сжатого воздуха). ГПУ (1) запускает

электрогенератор (2), поставляющий электроэнергию на системы шин (3). Энергия распределяется на компрессор теплового насоса (4), насос циркуляции шахтной воды (7), насосы теплоаккумулятора (9 и 10), а также центральным циркуляционным насосам, качающим теплоноситель по магистралям (8).

Шахтная вода подается насосом с переменным скоростным режимом (7) к испарителю теплового насоса (5) с температурой грунтовой воды - около 31-34°C с небольшими колебаниями. Чем выше температура воды, тем более высокий коэффициент преобразования энергии (далее «COP» Coefficient of Performance) достигает тепловой насос. $COP = Q_{\text{тепло}}/N_{\text{потр.}}$

Тепловой насос обеспечивает подъем температуры в конденсаторе (6), нагревая теплоноситель (циркуляционную воду) до 70°C. Теплоноситель после этой стадии направляется на низкотемпературный котёл-рекуператор (12), чтобы затем на высокотемпературном газовом котле/утилизаторе (13) поднять нагрев до необходимой температуры 95°C.

После этого теплоноситель подается в магистральную сеть, где он проходит по магистральным изолированным трубам и нагревает теплоноситель вторичных сетей через пластинчатые теплообменники (14). Необходимого размера теплообменники устанавливаются в каждой котельной (в стороне от существующих котлов), нагрузка которой переключается на новые генерирующие мощности. Насос с приводом, с частотным регулятором и мягким стартом (16) устанавливается и подключается к местной электросети. Центральное управление насосом, осуществляется с помощью низковольтного кабеля установленного вдоль магистральных труб.

Теплоноситель (передающий тепло в теплообменнике (14)) магистральных сетей и теплоноситель вторичных сетей для снабжения теплом и ГВС конечного потребителя (15) не смешиваются друг с другом. Температурный режим вторичных сетей (14 - 15 - 16) составляет 80/60°C или 95/65°C и поддерживается переменной скоростью движения теплоносителя. Тепло должно поставляться непрерывно в круглосуточном режиме с переменным коэффициентом нагрузки (определяемым скоростью потока). Тонкая регулировка нагрузки должна осуществляться с помощью компьютерной модели управления (АСКУЭ) и SCADA-системы.

Резервуар для воды с температурой 95°C и атмосферным давлением (11) служит тепловым аккумулятором и обеспечивает запас химически обработанного теплоносителя, подготовленного станцией химводоочистки (17).

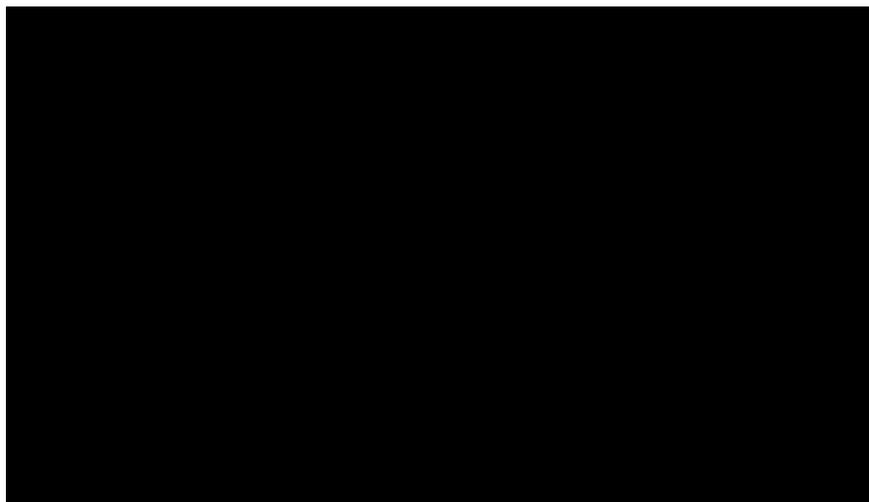


Рисунок 2. Схема генерации и передачи энергии и технологическая схема потока тепловой и электрической энергии

Данная технология генерации и передачи тепла позволит обеспечить по меньшей мере 200% эффективности между энергетическим содержанием топлива на входе в систему и полезной тепловой энергией на выходе. При этом почти вся электроэнергия, потребляемая внутри систем теплоснабжения, также производится на собственных генерирующих мощностях, работающих на том же объеме топлива, что и теплосистемы. Мини-ТЭЦ не потребляют дополнительной электроэнергии, и не будут подключаться к электросети. Только циркуляционные насосы вторичных сетей будут включены во внешнюю электросеть. Генерирующие мощности мини-ТЭЦ будут подключены к сети 10 кВ лишь на случай аварии.

В зависимости от окончательного выбора теплового насоса и газового двигателя конденсационный теплообменник будет установлен между насосом подачи шахтной воды (7) и входным устройством теплового насоса (5) для обновления входящей температуры воды наиболее оптимальной для производительности теплового насоса (31 - 34°C или более) и, следовательно, увеличения COP теплового насоса более $COP = 5$ (вероятнее всего около 5,74). Такой теплообменник будет использовать низкотемпературное тепло машинного отделения, двигатель охлаждения и выхлопы отработанного газа (выходящих из (13)). Как

следствие, общая тепловая эффективность газового двигателя и газового котла будет превышать 100%, а COP теплового насоса будет превышать 5 (вероятнее всего около 5,74).

Эта мини-ТЭЦ должна иметь уровень эффективности практически такой же, как указан выше, даже для частичной нагрузки с 12% до 100% - без аккумулирования тепла или от 1% до 150% с использованием теплонакопителя.

Для сравнения – существующая система теплоснабжения в реальных условиях (в том числе из-за частых изменений нагрузки и работа котлов в режимах старт-стоп) имеет топливную эффективность существующих водогрейных котлов около 60%, а потребление электроэнергии - достаточно высокое из-за отсутствия мягкого старта и регулируемых приводов на электрических двигателях / циркуляционных насосах.

Снижение выбросов CO₂ вероятнее всего (в соответствии с Киотским протоколом) может дать доход от продажи углеродных кредитов, произойдет сокращение выбросов оксидов серы, сажи и твердых выбросов в 20-25 раз.

Подведем итоги:

1. Модернизацию котельного хозяйства города Новошахтинска с переводом теплоснабжения на ВИЭ, с использованием ТН, осуществить возможно.

2. Оптимальным вариантом модернизации является использование тепловых насосов в сочетании с газопоршневыми установками и газовыми котлами с соотношением выработки тепловой энергии 70% ТН – 30% газ.

References:

- [1] The housing code of the Russian Federation of 29.12.2004 N 188-FZ (red. of 28.12.2016) [Elektronnyi resurs]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_51057/
- [2] The Civil Code of the Russian Federation (CCRF) of 30 noiabria 1994 goda N 51-FZ [Elektronnyi resurs]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5142/
- [3] Federal law "on heat" of 27.07.2010 N 190-FZ (deistvuiushchaia redaktsiia, 2016) [Elektronnyi resurs]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_102975/
- [4] Federal law on energy saving and energy efficiency and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation" of 23.11.2009 N 261-FZ (deistvuiushchaia redaktsiia, 2016) [Elektronnyi

- resurs]. – URL:
http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_93978/
- [5] Energeticheskaja strategija Rossii na period do 2030 goda, utverzhdenaja rasporjazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federatsii ot 13 noiabria 2009 goda № 1715-r. [Elektronnyj resurs]. – URL:
http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_94054/
- [6] Russian Federation Government Decree of 08.01.2009 N 1-r (red. ot 05.05.2016) «on main directions of the State policy in the field of energy efficiency of electric power through the use of renewable energy for the period until the year 2024» [Elektronnyj resurs]. – URL:
http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_83805/
- [7] Standart organizatsii «Ustrojstvo teplonasosnykh sistem teplosnabzhenija zdanii» [Elektronnyj resurs]. – URL:
http://nostroy.ru/department/departament_tehnicoskogo_regulir/sto/ST_O%20149_k%20Sovetu.pdf
- [8] Vasil'ev G.P. Teplokhodosnabzhenie zdanii i sooruzhenii s ispol'zovaniem nizepotentsial'noj teplovoj energii poverkhnostnykh sloev zemli, M.: Granitsa, 2006. — 173 s. - ISBN: 5-94691-202-Kh
- [9] Kalnin' I. M. Razrabotka i vnedrenie energosberegajushchikh tekhnologii s primeneniem teplovykh nasosov [Elektronnyj resurs]. – URL: http://esco.co.ua/journal/2011_8/art197.pdf
- [10] Gorshkov V. G. Teplovyje nasosy. Analiticheskij obzor // Spravochnik promyshlennogo oborudovaniia. – 2004. – № 2. [Elektronnyj resurs]. – URL: <https://www.allbeton.ru/upload/iblock/10e/teplovie-nasosi-analiticheskij-obzor-qgorshkovt.pdf>
- [11] Shuravina D.M., Fokina N.B., Parokompressionnye teplovyje nasosy kak energoeffektivnye ustrojstva preobrazovaniia teploty [Elektronnyj resurs]. – URL:
http://unistroy.spbstu.ru/index_2013_15/6_shuravina_15.pdf
- [12] Informatsionnyj biulleten' «Energosovet» vypusk 02(7) 2010g.
<http://www.energsovet.ru>
- [13] Geotermicheskoe razvitie v Litve
<http://pangea.stanford.edu/ERE/pdf/IGAstandard/EGC/szeged/O-4-07.pdf> (data 15.12.2016)
- [14] Clean EnergySistems in the Subsurfase http://www.promoscene-database.eu/fileadmin/promoscene/downloads/Others/Minewater_Good_Practice_Guide.pdf (data 15.12.2016)
- [15] Overview of Geothermal Energy Resources in Québec (Canada) Mining Enviroments

- <http://oee.nrcan.gc.ca/publications/infosource/pub/ici/caddet/english/pdf/R122.pdf> (data 15.12.2016)
- [16] District Cooling Showcases in Europe – URL: <http://www.copenhagenenergysummit.org/applications/Gothenburg,%20Sweden%20I-District%20Energy%20Climate%20Award.pdf> (data 15.12.2016)