УДК 620.92

© Ю. Н. Казаков, д-р техн. наук, профессор

© О. А. Тимошук, канд. техн. наук, доцент

© А. А. Завальнюк, магистрант

(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)

E-mail: kazakov@spbgasu.ru, Oleg-tima@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-1-83-89

© Yu. N. Kazakov, Dr. Sci. Tech., Professor

© O. A. Timoschuk, PhD in Sci. Tech., Associate Professor

© A. A. Zavalnuk, undergraduate

(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)

E-mail: kazakov@spbgasu.ru, Oleg-tima@mail.ru

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНТАЖА ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ ДЛЯ ОБОГРЕВА ЗДАНИЙ МЕТОДОМ ВЕЕРНОГО УСТРОЙСТВА ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЗОНДОВ

IMPROVEMENT OF THE INSTALLATION TECHNOLOGY OF HEAT PUMPS FOR HEATING BUILDINGS BY THE METHOD OF FAN-TYPE ARRANGEMENT OF GEOTHERMAL PROBES

Усовершенствована существующая технология монтажа тепловых насосов. Предложена новая технология монтажа геотермальных зондов путем наклонного кластерного бурения с применением бурильной установки УНБ-3. Доказано, что преимущества и новизна данной технологии заключаются в следующем: малые габариты установки; бурение проводится из одного места на малом участке диаметром всего 1,5 метра; для производства работ необходимо 2–3 человека; данный способ устройства скважин на 40–43 % дешевле вертикальных скважин. Стоимость кластерного бурения при помощи установки УНБ-3 для индивидуального жилого дома ниже на 35–43 %, чем стоимость бурения вертикальных скважин для того же дома.

Ключевые слова: насосы, монтаж, зонды, бурение.

The article presents the results of improving the currently used technology for installing heat pumps. A new technology for geothermal probes' installation by inclined cluster drilling using the UNB-3 drilling rig is proposed. The authors prove that the advantages and novelty of this technology are as follows: small installation dimensions; drilling is carried out from one place on a small site with a diameter of only 1.5 m; only 2–3 workers are needed to complete the task; arranging wells by this method is 40–43% cheaper than arranging vertical wells. The cost of cluster drilling using the UNB-3 drilling rig for an individual residential building is 35–43% lower than the cost of drilling vertical wells for the same building.

Keywords: pumps, installation, probes, drilling.

Актуальность темы исследования. Исследования авторов, проведенные в ходе НИР на кафедре ТСП СПбГАСУ в 2018–2020 гг., показали, что при современных тенденциях энергопотребления запасы органического топлива (газ, нефть, уголь и т. д.) могут быть исчерпаны через 250–300 лет^{1,2} [1–12]. Поэтому важным на-

правлением развития строительства и энергетики является использование *возобновляемых источников энергии* (энергия солнца, ветра, биомассы, приливов, волн, течений, геотермальных источников и др.) и вторичных энергоресурсов (тепловые сбросы энергетики, промышленности, коммунального хозяйства и др.), как правило, имеющих низкий температурный потенциал и нестабильную плотность энергии.

¹ Тепловые насосы. За рубежом. URL: <http://www.heatpp.narod.ru/hist/abroad.html>

² История возникновения и развития устройства под названием «тепловой насос». URL: <http://osipovs.ru/index.php/history-tn>

В последнее время, в связи с уменьшением запасов традиционного топлива и постоянным ростом цен на энергоносители, становится все более актуальным использование альтернативных источников тепла. Во всем мире энергоносители постоянно дорожают, приобретает актуальность вопрос о снижении расходов на отопление и повышении его эффективности. *Поставленную задачу поможет решить геотермальное бурение скважин для теплового насоса.* Применяв современные технологии, уже сегодня можно эффективно использовать неисчерпаемое и доступное тепло Земли для обогрева индивидуального дома.

Целью проведенной авторами в 2019–2020 гг. научной работы на кафедре ТСП в СПбГАСУ является совершенствование технологии монтажа грунтовых тепловых насосов.

Для достижения цели работы поставлены следующие **задачи**:

- проанализировать отечественный и зарубежный рынки теплонасосных установок;
- рассмотреть существующие технологии монтажа тепловых насосов;
- выявить основные недостатки существующих технологий;
- предложить свой новый способ монтажа или улучшить существующий;
- провести сравнительный анализ предложенного способа с существующим.

Из работы авторов [13] мы знаем, что **тепловой насос** — это установка, в которой низкопотенциальная природная энергия или низкотемпературная энергия вторичных энергоресурсов (грунта) преобразуется в энергию более высокого температурного потенциала, пригодную для практического использования (отопление дома). Процессы преобразования энергии в теплонасосной установке осуществляются с высокой энергетической эффективностью. Обычно в правильно сконструированной и грамотно эксплуатируемой установке на 1 кВт · ч затраченной электрической энергии потребителю может быть передано 3–5 и более кВт · ч генерируемой тепловой энергии. Теплонасосные установки являются экологически чистыми, удобными в эксплуатации, универсальными по виду низкопотенциального источника и уровню произво-

димой мощности, полностью автоматизированными и с длительным сроком службы.

По мнению авторов [13], тепловой насос — это система, с помощью которой можно переносить тепло от менее нагретого тела к более нагретому, увеличивая температуру последнего. Тепловые насосы являются альтернативными источниками энергии, позволяющими получать дешевое тепло без вреда для окружающей среды. Принцип работы бытового теплового насоса основан на том факте, что любое тело с температурой выше абсолютного нуля обладает запасом тепловой энергии, прямо пропорциональным массе и удельной теплоемкости тела. Так как моря, океаны, подземные воды обладают огромной массой, следовательно, их грандиозные запасы тепловой энергии можно частично использовать для отопления домов без ущерба мировой экологической обстановке. Забирать тепловую энергию у какого-либо тела можно путем его охлаждения.

Как считают авторы [13], конструктивно любой тепловой насос состоит из двух частей: наружной, забирающей тепло возобновляемых источников, и внутренней, отдающей это тепло в систему отопления или кондиционирования дома. Тепловые насосы, использующие тепло Земли, являются самыми популярными: они самые эффективные, но и самые дорогие из всех типов. Температура грунта под землей в любое время года составляет +7...+8 °С. Подземные трубы насоса могут располагаться вертикально или горизонтально. В зависимости от этого «грунтовые» тепловые насосы делятся на вертикальные и горизонтальные.

Вертикальные тепловые насосы (рис. 1) требуют погружения труб с хладагентом на значительную глубину: 50–200 м. Но можно сделать не одну такую скважину, а несколько более мелких. Расстояние между такими скважинами должно быть не менее 10 м. Вертикальные тепловые насосы лучше горизонтальных тем, что на такой глубине температура больше. Если скважина очень глубокая, то теплообменнику нужна защитная обсадная труба (на небольшой глубине она не обязательна). Главный минус вертикальных теплообменников — высокая стоимость бурения на такую глубину.

При горизонтальной укладке труб (рис. 2) дорогостоящее бурение на большую глубину

не требуется: трубопроводы закладываются в грунт примерно на 1 м (в зависимости от региона установки, возможно, глубже или ближе к поверхности). Расстояние между соседними трубами с хладагентом должно быть минимум 1,5 м, иначе сбор тепла не эффективен.

Горизонтальный коллектор грунтового теплового насоса занимает достаточно большую площадь, в отличие от вертикального варианта. Как правило, горизонтальный теплообменник занимает от 25 до 50 м², а может, и больше, в зависимости от отапливаемой площади. Минус этого варианта — территорию с этим коллектором можно использовать только под газон [2].

Теплообменник можно укладывать зигзагом, петлями, змейкой и т. д. Очень важна теплопроводность грунта, в который укладывают трубы, которая зависит от качества земли. У влажной почвы высокая теплопроводность, у песчаной — теплопроводность ниже. Для теплообменника с большим числом петель необходим циркуляционный насос.

С учетом проведенного анализа авторами статьи была разработана **новая, усовершенствованная технология устройства скважин** [1, 9], (рис. 3).

Раскроем ее научную новизну. Так, предлагаемое нами новое, *кластерное (веерное) расположение геотермальных зондов в наклонных скважинах* позволяет избежать многих недостатков, присущих горизонтальной и вертикаль-

ной схемам установки зондов. Предварительно вблизи дома или в его подвале сооружается колодец диаметром 1–1,8 м и глубиной 1,6 м. Буровая установка располагается на поверхности на краю колодца, бурение ведется под углом 45–65° к горизонту через колодец на глубину до 55 м, с использованием обсадных труб. При достижении заданной глубины устанавливается зонд, обсадные трубы извлекаются. Далее установка перемещается на некоторый угол вокруг оси колодца, бурится следующая скважина. В конечном итоге получается «веер» расходящихся вниз скважин с зондами, верхние концы которых собираются в колодце. При данной схеме в одном колодце может располагаться до 15–25 зондов, практически не влияющих друг на друга. Поскольку все работы проводятся в одном месте — вокруг колодца, повреждения приусадебной территории минимальны, а буровой расстанов и выбуриваемая порода остаются в колодце и удаляются из него в специальных емкостях, не разваливаясь по участку. В связи с высокой стоимостью данных установок, бурового инструмента стоимость бурения также составляет около 1500–1850 руб./пог. м.

Развитием схемы кластерного геотермального бурения является схема, предложенная и реализованная в широкоуниверсальной малогабаритной установке УНБ-3 (рис. 4).

Рис. 1. Схема вертикального грунтового теплового насоса

Рис. 2. Схема горизонтального грунтового теплового насоса

По этой схеме легкая переносная буровая установка располагается на некотором расстоянии (3–4 м) от коллекторного колодца, что позволяет бурить из одной точки несколько веерных скважин длиной до 50 м под углом 15–22° к горизонту. При достижении заданной длины скважины в колонну бурильных труб (штанг) вставляется геотермальный зонд. Буровой наконечник раскрывается и вместе с буровыми штангами извлекается наружу. Верхние концы зондов выходят в колодец, где затем собираются в коллектор.

Предложенная схема имеет следующую научную новизну и отличия от существующих на рис. 1 и 2 методов:

- зонды располагаются веером на глубине от 1,5 до 20 м, т. е. в наиболее слабых грунтах, легко поддающихся бурению;
- скважины не достигают водоносных горизонтов. Вхождение в водоносные горизонты запрещено законодательством РФ (хотя часто это требование нарушается);
- зонды также прокладываются под имеющейся застройкой. Теплоотдача дома в грунт под подвалом достигает до 15–18 % всех теплопотерь и может быть эффективно использована;
- небольшие усилия и мощности, необходимые для бурения слабых грунтов, позволяют вести работы легкой переносной буровой установкой, легко закрепляемой на поверхности и не нарушающей почвенного и растительного покрова. Буровой шлам и промывочная жидкость

(раствор) остаются в колодце и не засоряют территорию;

- значительно сокращается время на производство буровых работ и монтажа зондов. Исключаются операции обсадки скважин обсадными трубами и их последующего извлечения, заливки полости скважин цементным раствором. Практика показала, что бурение на небольшие (до 30 м) расстояния ведется быстро и без осложнений. Для изменения направления бурения достаточно развернуть поворотную станину в горизонтальной плоскости на угол в 3–5°, не перезакрепляя анкеры станка.

Применение данной схемы авторами на ряде объектов в 2019–2020 гг. показало ее высокую экономическую эффективность. Стоимость бурения скважины с установленным зондом может быть снижена до 600–730 руб./пог. м., время выполнения всех работ на объекте по устройству скважин и монтажу геозондов бригадой из 2–3 человек в среднем на практике занимает не более 5–6 дней.

Проведем сравнительный расчет стоимости разных технологий монтажа.

От типа грунта зависит значение показателя теплоотдачи от погонного метра контура. Самыми лучшими считаются территории с высоким содержанием влаги, как правило, это земельные участки с неглубоким прохождением подземных

Рис. 3. Разработанная авторами усовершенствованная технология устройства скважин при кластерном бурении

Рис. 4. Установка для кластерного бурения УНБ-3

вод. Такой грунт обеспечивает теплоотдачу на уровне 60 Вт/м. Хуже всего показатель будет в засушливых местах и в песчаном грунте — менее 25 Вт/м. Существует и усредненное значение, которое равняется 50 Вт/м и используется при расчетах в условиях отсутствия точных данных локальной геологоразведки. Естественно, чем выше показатель теплоотдачи, тем меньшей длины нужен первичный контур и тем дешевле будет стоимость решения геотермальной системы отопления (табл. 1).

От типа грунта зависит и глубина точки промерзания, хотя для этого достаточно обратиться к соответствующей справочной информации по близлежащему крупному населенному пункту. Чем глубже находится точка промерзания, тем дороже будет стоимость установки геотермального отопления дома или производственного объекта (табл. 2).

Тепловой насос способен полностью справиться с отоплением помещений. В первую очередь нужно понимать баланс тепла в здании. Для этих расчетов можно воспользоваться формулой

$$R = kVT/860,$$

где R — потребляемая мощность помещения, кВт · ч; k — средний коэффициент потерь тепла зданием (например, $k = 1$ — отлично утепленное здание, а $k = 4$ — барак из досок); V — суммарный объем отапливаемого помещения, м³; T — максимальный перепад температуры между улицей и внутри помещения; 860 — коэффициент, необходимый для перевода получившихся ккал в кВт.

Известно, что усредненное значение теплоотдачи одного погонного метра коллектора примерно 50 Вт. Другими словами, 1 кВт мощности насоса требует 20 м труб. Зная требуемую мощность насоса, можно рассчитать, сколько необходимо труб для изготовления геотермального контура. Нужно понимать, что вышеуказанное усредненное значение теплоотдачи неприменимо в случае горизонтальной укладки контура.

Для расчета зададимся площадью индивидуального жилого дома 200 м². Для дома такой площади требуется насос мощностью не менее 15 кВт, т. е. 15 000 Вт. Таким образом, для снабжения дома площадью 200 м² тепловой энергией необходимо смонтировать геозонды суммарной длиной 300 м.

Таблица 1

Величины теплоотдачи в зависимости от грунтов

Тип грунта	Теплоотдача, Вт/м
Сухой песок	<25
Влажный песок	65–80
Нормальный твердый грунт	60
Глина	35–50
Известняк (массив)	55–70
Песчаник	65–80
Окисленные вулканические породы	65–80
Щелочные вулканические породы	40–65

Для устройства вертикального геотермального зонда не делают одну скважину требуемой длины, а устраивают несколько менее глубоких. В нашем случае запроектируем шесть скважин по 50 м. Цены на бурение вертикальных скважин в Северо-Западном регионе начинаются от 1000 руб. за 1 пог. м, таким образом, стоимость устройства одной скважины составит от 50 000 руб., всех скважин — от 300 000 руб. В то же время методом кластерного бурения целесообразно устроить 10 скважин глубиной 30 м. При этом стоимость каждой из них составит 21 000 руб., а общая стоимость — 210 000 руб.

Таким образом, можно сделать вывод, что стоимость кластерного бурения при помощи установки УНБ-3 для индивидуального жилого дома будет ниже на 35–43 %, чем стоимость бурения вертикальных скважин для того же дома.

Выводы

1. Выявлено, что установки тепловых насосов с горизонтальным типом коллектора самые дешевые по способу монтажа, но имеют ряд следующих недостатков: низкую теплоотдачу грунта на такой глубине, невозможность производить посадку деревьев и любое строительство в зоне расположения коллектора.

2. Показано, что установки с вертикальным типом коллектора являются более энергоэффективными, однако значительно превышают по стоимости работ предыдущий способ. Еще одним недостатком является то, что для производства работ по бурению необходимо достав-

Таблица 2

Средние температуры грунта на глубине 1,6 м по месяцам

Город	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Архангельск	4,0	3,5	3,1	2,7	2,5	3,0	4,5	6,0	7,1	7,0	6,1	4,9
Астрахань	7,5	6,1	5,9	7,3	11	14,6	17,4	19,1	19,1	16,7	13,6	10,2
Барнаул	2,6	1,7	1,2	1,4	4,3	8,2	11,0	12,4	11,6	9,2	6,2	3,9
Братск	0,4	-0,2	-0,6	-0,5	-0,2	0	3,0	6,8	7,2	5,4	2,9	1,4
Владивосток	3,7	2,0	1,2	1,0	1,5	5,3	9,1	12,4	13,8	12,7	9,7	6,4
Иркутск	-0,8	-2,8	-2,7	-1,1	-0,5	-0,2	1,7	5,0	6,7	5,6	3,2	1,2
Магадан	-6,5	-8,0	-8,8	-8,7	-3,9	-2,6	-0,8	0,1	0,4	0,1	-0,2	-2,0
Москва	3,8	3,2	2,7	3,0	6,2	9,6	12,1	13,4	12,5	10,1	7,3	5,0
Мурманск	0,7	0,3	0	-0,3	-0,3	0,2	4,0	6,7	6,6	4,2	2,7	1,0
Новосибирск	2,1	1,2	0,6	0,5	1,3	5,0	9,1	11,3	10,9	8,8	5,8	3,6
Оренбург	4,1	2,6	1,9	2,2	4,9	8,0	10,7	12,4	12,6	11,2	8,6	6,0
Пермь	2,9	2,3	1,9	1,6	3,4	7,2	10,5	12,1	11,5	9,0	6,0	4,0
Петропавловск-Камчатский	2,6	1,9	1,5	1,1	1,2	3,4	6,7	9,1	9,6	8,3	5,6	3,8
Ростов-на-Дону	8,0	6,6	5,9	6,8	9,9	12,9	15,5	17,3	17,5	15,8	13,0	10,0
Салехард	1,6	1,0	0,7	0,5	0,4	0,9	3,9	6,8	7,1	5,6	3,5	2,3
Сочи	11,2	9,8	9,6	11,0	13,4	16,2	18,9	20,8	21,0	19,2	16,8	13,5
Хабаровск	0,3	-1,8	-2,3	-1,1	-0,4	2,5	9,5	13,3	13,5	10,9	6,7	3,0
Якутск	-5,6	-7,4	-7,9	-7,0	-4,1	-1,8	0,3	1,5	1,1	0,1	-0,1	-2,4
Ярославль	2,8	2,2	1,9	1,7	3,9	7,8	10,7	12,4	11,5	9,5	6,3	3,9

лять бурильные установки прямо на земельный участок рядом с домом.

3. После рассмотрения двух вышеизложенных традиционных способов монтажа была предложена новая, усовершенствованная технология монтажа геотермальных зондов путем наклонного кластерного бурения с применением бурильной установки УНБ-3.

4. Доказано, что преимущества и новизна данной технологии заключаются в следующем: малые габариты установки; бурение проводится из одного места на участке диаметром 1,5 м; для производства работ необходимо всего 2–3 человека; данный способ устройства скважин на 40–43 % дешевле вертикальных скважин, стоимость кластерного бурения при помощи установки УНБ-3 для индивидуального жилого дома ниже на 35–43 %, чем стоимость бурения вертикальных скважин для того же дома.

Библиографический список

1. Казаков Ю. Н., Копанская Л. Д., Тишкин Д. Д., Захаров В. П. Основы строительного производства. СПб.: СПбГАСУ, 2016. 120 с.
2. Никольский М. С., Хренов В. И., Казаков Ю. Н. Строительство жилых домов на основе панелей типа «сэндвич». СПб.: СПбГАСУ, 2015. 110 с.
3. Казаков Ю. Н. Технологии быстрого строительства экономичных малоэтажных жилых домов на основе оптимизированных легких сэндвич-панельных систем // Academia. Архитектура и строительство. 2017. № 4. С. 95–102.
4. Казаков Ю. Н., Мороз А. М., Захаров В. П. Технология возведения зданий. 3-е изд. СПб.: Лань, 2018. 256 с.
5. Гафуров А. М. Зарубежный опыт эксплуатации установок на низкотемпературных рабочих телах // Вестник Казанского гос. энергетического университета. 2014. № 4 (24). С. 26–31.
6. Калнинь И. М., Савицкий И. К. Тепловые насосы: вчера, сегодня, завтра // Холодильная техника. 2000. № 10. С. 2–6.
7. Филиппов С. П., Дильман М. Д., Ионов М. С. Перспективы применения тепловых насосов в России // Энергосовет. 2011. № 5 (18). С. 42–45. URL: http://www.energysovet.ru/bul_stat.php?idd=215.
8. Закиров Д. Г. Будущее — за теплонасосными технологиями // Новости теплоснабжения. 2006. № 8 (72). URL: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2378

9. Завальнюк А. А. Строительство индивидуальных жилых домов с тепловыми насосами: магистерская диссертация. СПб., 2020. 97 с.

10. Родионов В. Г. Энергетика. Проблемы настоящего и возможности будущего. М.: ЭНАС, 2010. 352 с.

11. Гаравин В. Ю. Промежуточные водорастворимые хладоносители. Современное состояние. Перспективы // Холодильный бизнес. 2007. № 4. С. 12–18.

12. Шилкин Н. В. (ред.). Использование тепловых насосов в системах горячего водоснабжения зданий // Сантехника. 2003. № 3. С. 10–15. URL: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2100.

13. Завальнюк А. А. Применение грунтовых тепловых насосов в малоэтажном домостроении // Молодой ученый. 2020. № 23 (313). С. 161–164.

References

1. Kazakov Yu. N., Kopanskaya L. D., Tishkin D. D., Zakharov V. P. *Osnovy stroitel'nogo proizvodstva* [Fundamentals of construction production]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2016, 120 p.

2. Nikol'skiy M. S., Khrenov V. I., Kazakov Yu. N. *Stroitel'stvo zhilykh domov na osnove paneley tipa «sendvich»* [Construction of residential buildings based on using sandwich-type panels]. St. Petersburg, SPbGASU Publ., 2015, 110 p.

3. Kazakov Yu. N. *Tekhnologii bystrogo stroitel'stva ekonomichnykh maloetazhnykh zhilykh domov na osnove optimizirovannykh legkikh sendvich-panel'nykh sistem* [Technologies of rapid construction of economical low-rise residential buildings based on optimized light sandwich panel systems]. *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* – *Academia. Architecture and Construction*, 2017, no. 4, pp. 95–102.

4. Kazakov Yu. N., Moroz A. M., Zakharov V. P. *Tekhnologiya vozvedeniya zdaniy* [Technology of building erection]. 3-rd ed. St. Petersburg, Lan' Publ., 2018, 256 p.

5. Gafurov A. M. *Zarubezhniy opyt ekspluatatsii ustanovok na nizkokipyashchikh rabochikh telakh* [Foreign experience of operation of installations on low-boiling

working bodies]. *Vestnik Kazanskogo gos. energeticheskogo universiteta* – *Bulletin of the Kazan State Power Engineering University*, 2014, no. 4 (24), pp. 26–31.

6. Kalnin' I. M., Savitskiy I. K. *Teplovye nasosy: vchera, segodnya, zavtra* [Heat pumps: yesterday, today, tomorrow]. *Kholodil'naya tekhnika* – *Refrigeration technology*, 2000, no. 10, pp. 2–6.

7. Filippov S. P., Dil'man M. D., Ionov M. S. *Perspektivy primeneniya teplovykh nasosov v Rossii* [Prospects for the use of heat pumps in Russia]. *Energosovet* – *Energosovet*, 2011, no. 5 (18), pp. 42–45. Available at: http://www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=215.

8. Zakirov D. G. *Budushchee — za teplonasosnymi tekhnologiyami* [Heat pump technologies are the things of the future]. *Novosti teplosnabzheniya* – *Heat Supply News*, 2006, no. 8 (72). Available at: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2378

9. Zaval'nyuk A. A. *Stroitel'stvo individual'nykh zhilykh domov s teplovymi nasosami: magisterskaya dissertatsiya* [Construction of individual residential buildings with heat pumps. Master's thesis]. St. Petersburg, 2020, 97 p.

10. Rodionov V. G. *Energetika. Problemy nastoyashchego i vozmozhnosti budushchego* [Power economy. Problems of the present and possibilities of the future]. Moscow, ENAS Publ., 2010, 352 p.

11. Garavin V. Yu. *Promezhtochnye vodorastvorimye khladositeli. Sovremennoe sostoyanie. Perspektivy* [Intermediate water-soluble refrigerants. Current state. Prospects]. *Kholodil'niy biznes* – *Refrigeration Business*, 2007, no. 4, pp. 12–18.

12. Shilkin N. V. *Ispol'zovanie teplovykh nasosov v sistemakh goryachego vodosnabzheniya zdaniy* [The use of heat pumps in hot water supply systems in buildings]. *Santekhnika* – *Plumbing* 2003, no. 3, pp. 10–15. Available at: http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2100

13. Zaval'nyuk A. A. *Primenenie gruntovykh teplovykh nasosov v maloetazhnom domostroenii* [Application of ground heat pumps in low-rise housing construction]. *Molodoy ucheniy* – *Young Scientist*, 2020, no. 23 (313), pp. 161–164.