

ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОНОМНОЙ ТЕПЛОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ УСТАНОВКИ С ЖИДКОСТНО-ГАЗОВЫМ СМЕСИТЕЛЕМ В РЕЖИМЕ НАГРЕВА

Кирилл Валерьевич Гармонов¹, Егор Сергеевич Аралов², Анастасия Сергеевна Волох³

^{1,2,3} Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, Россия, ¹kgarmonov@cchgeu.ru, ²vgtu.aralov@yandex.ru, ³voloh.a@mail.ru

Аннотация. В современных условиях повышение энергетической эффективности систем теплоснабжения имеет первостепенное значение. Одним из эффективных способов улучшения таких показателей является разработка и внедрение усовершенствованных теплогенерирующих установок (ТГУ), способных обеспечить стабильное теплоснабжение при минимальных энергетических затратах. В данной статье рассматривается принцип работы и экспериментальные параметры ТГУ, которые могут быть использованы как для общественных, так и для бытовых нужд. Применение таких установок актуально, так как, по проведенному анализу, около 72 % тепловой энергии в России производится централизованными источниками, а 28 % – децентрализованными, из которых 18 % приходится на автономные и индивидуальные системы. Разработка новых автономных установок позволяет повысить эффективность локального теплоснабжения, снижая нагрузку на центральные сети и обеспечивая гибкость системы.

Ключевые слова: энергетика, теплоэнергетика, отопление, теплотехника, теплоснабжение, энергетика

Для цитирования: Гармонов К. В., Аралов Е. С., Волох А. С. Исследование автономной теплогенерирующей установки с жидкостно-газовым смесителем в режиме нагрева // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2024. Выпуск 2024-5(169) Инженерные системы и техногенная безопасность. С. 15–22. doi: 10.71536/vd.2024.5c169.2. edn: lqaofv.

Original article

STUDY OF AN AUTONOMOUS HEAT GENERATING INSTALLATION WITH A LIQUID-GAS MIXER IN HEATING MODE

Kirill V. Garmonov¹, Egor S. Aralov², Anastasia S. Voloch³

^{1,2,3} Voronezh State Technical University,
Voronezh, Russia, ¹kgarmonov@cchgeu.ru, ²vgtu.aralov@yandex.ru, ³voloh.a@mail.ru

Abstract. In current realities, increasing energy efficiency is of paramount importance for any heating system. One way to improve the efficiency of various heating systems is to look for alternatives to advanced heat generation plants. This work examines the operating principle and quantitative indicators of a heat-generating installation, which in turn is applicable for public and domestic needs. The use of such TGUs is quite relevant, since according to the analysis of various systems, about 72 % of all thermal energy is produced by centralized sources, 28 % by decentralized sources, of which 18 % by autonomous and individual systems. The development of new autonomous units allows for increased efficiency of local heat supply, reducing the load on central networks and ensuring system flexibility.

Keywords: power energy, thermal power engineering, heating, heating engineering, heat supply, energy



For citation: Garmonov K. V., Aralov E. S., Voloch A. S. Study of an autonomous heat generating installation with a liquid-gas mixer in heating mode. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Engineering systems and technological safety.* 2024;5(169):15–22. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2024.5c169.2. edn: lqaofv.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема исследования заключается в отсутствии методики испытания, которая бы позволяла корректно оценить его рабочие характеристики в режиме нагрева и определить предельные возможности данного оборудования. Для решения рассматриваемой задачи необходимо определить следующие параметры [1, 2]:

- время нагрева жидкости до максимально допустимой температуры;
- количество потребляемой электроэнергии при выбранном режиме работы;
- изменение давления в различных экспериментальных точках установки.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Автономная теплогенерирующая установка применяется для производства тепловой энергии, которая может быть направлена на подогрев воды для бытовых и технологических нужд производств, а также для теплоснабжения жилых помещений и общественных зданий. В России теплоснабжение играет большую социальную значимость, которая обусловлена протяжённостью и географическим положением страны, поэтому данное исследование необходимо подтвердить экспериментально [3–7].

Испытания проводились на автономной теплогенерирующей установке, представленной на рисунке 1 (левая часть). Данная установка была собрана на основании принципиальной схемы, представленной на рисунке 1 (правая часть).

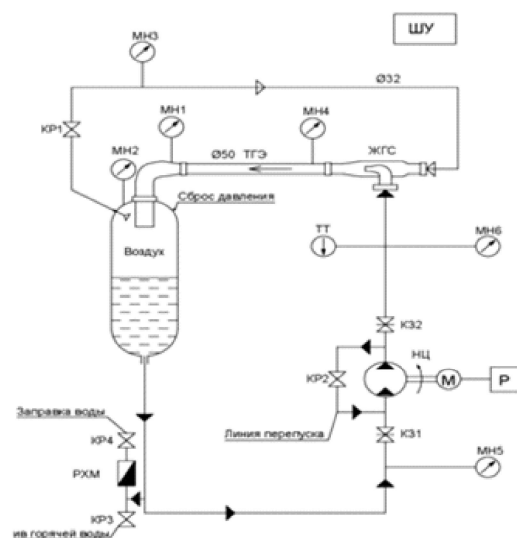


Рисунок 1 – Автономная теплогенерирующая установка и ее принципиальная схема: ЖГС – жидкостно-газовый смеситель; ТГЭ – теплогенерирующий элемент; НЦ – агрегат электронасосный; ШУ – шкаф управления; КР1-КР4 – кран шаровой; К31, К32 – задвижка; МН1-МН4, МН-6 – манометр; МН5 – мановакууметр; ТТ – термометр цифровой; РХМ – водосчетчик; Р – электрический счетчик.

Целью статьи является разработка методики испытания автономной теплогенерирующей установки с жидкостно-газовым смесителем и оценка её энергетической эффективности для повышения показателей теплоснабжения.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Перед началом испытания, открыв шаровой кран КР4, необходимо заполнить полость установки водой, отмерив нужное количество при помощи расходомера РХМ. Во время испытания жидкость с помощью

агрегата электронасосного (АЦ), минуя задвижки КЗ1 и КЗ2, а также манометры МН5 и МН6 поступает в жидкостно-газовый смеситель (ЖГС). В ЖГС жидкость проходит через суживающее сопло, а на выходе из него захватывает воздух, показания давления фиксируются манометром МН4. Проходя через камеру смешения и диффузор теплогенерирующего элемента (ТГЭ) отмечается повышение давления жидкости, которое фиксируется манометром МН1. Далее жидкость направляется в сепаратор, где происходит разделение водовоздушной эмульсии, вода направляется на повторный круг испытания, а воздух по трубопроводу проходя через шаровой кран КР1 и манометр МН3 поступает в ЖГС для очередного смешения с водой. Испытание останавливается при достижении водовоздушной эмульсии определенной температуры, нагретая вода из полостей установки сливается через шаровой кран КР3.

Основным элементом автономной теплогенерирующей установки является жидкостно-газовый смеситель (рис. 2). В жидкостно-газовом смесителе в качестве рабочей среды выступает жидкость. Электронасосным агрегатом К-80-50-200 жидкость подается к суживающемуся соплу 1. На выходе из суживающегося сопла скорость течения рабочей среды резко возрастает. Суживающееся сопло находится внутри приемной камеры 2, в которую через патрубок 3 подается воздух или паровоздушная смесь. Преодолевая сужающееся сопло, жидкость начинает затягивать за собой вспомогательную среду, после чего полученная смесь поступает в камеру смешения 4 и диффузор 5, где происходит повышение давления [8–12].

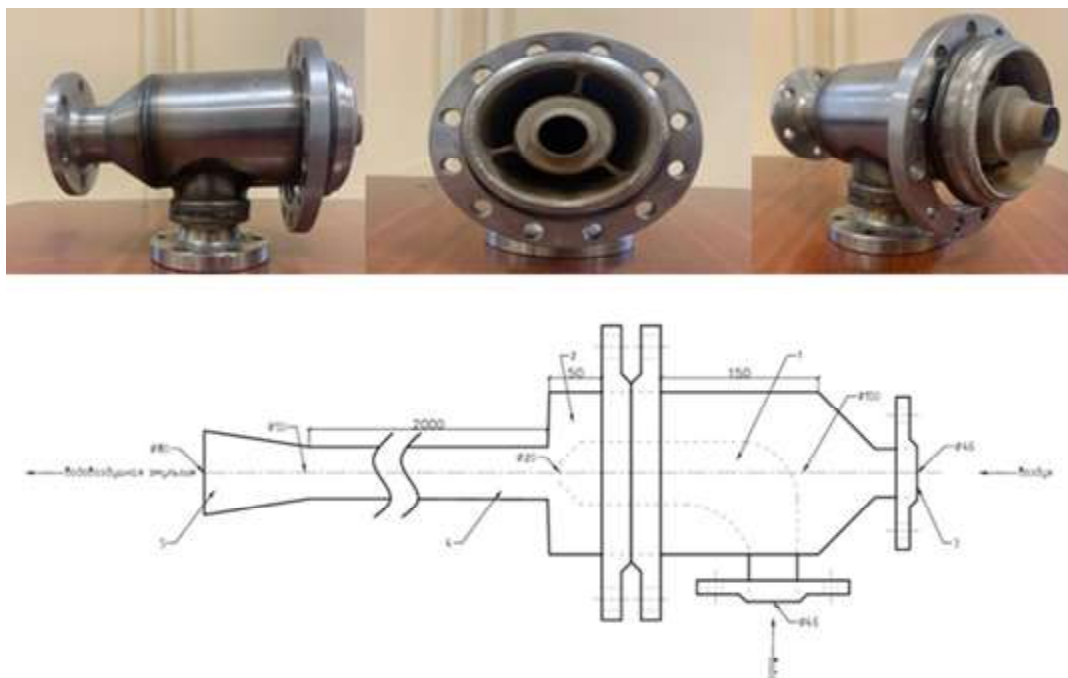


Рисунок 2 – Жидкостно-газовый смеситель: 1 – сопло; 2 – приемная камера; 3 – патрубок; 4 – камера смешения; 5 – диффузор.

Исходя из конструкции ТГУ, а также с целью определения тематики статьи разработана методика испытания:

1. Подключаем теплогенерирующую установку к водопроводной сети.
2. Подключаем систему электропитания к шкафу управления установкой.
3. Открываем ручной кран КР-4 и ручные задвижки КЗ1 и КЗ2.
4. Заполняем водой полость установки, отмеряя с помощью расходомера 60 литров.
5. Закрываем ручной кран КР-4.
6. Открываем ручной кран КР-1 на линии воздуха.
7. Фиксируем начальные показания электрического счетчика.
8. Включаем электронасосный агрегат с помощью кнопки «пуск» на пульте шкафа управления.
9. Фиксируем каждые две минуты показания манометром МН1-МН6 и термометра ТТ.
10. При достижении паровоздушной эмульсией температуры 95 °С отключаем электронасосный агрегат с помощью кнопки «останов» на пульте шкафа управления.

11. Фиксируем конечные показания электрического счетчика.
 12. Открываем ручной кран КР-3 и сливаем всю воду из полостей установки.
- Результаты испытания автономной теплогенерирующей установки в режиме нагрева.
 Масса жидкости (вода), – 60 л.
 Начальная температура жидкости – 24 °С.
 Конечная температура жидкости – 95 °С.
 Показания электрического счетчика до начала испытания – 13,4 кВт час.
 Показания электрического счетчика по окончании испытания – 18,48 кВт час.
 Результаты экспериментального исследования представлены в таблице.

Таблица – Результаты экспериментального исследования

№ п/п	Прод. исп., мин	Темп. воды, °С	Давление, Па					
			После ТГЭ	В сепараторе	На входе в ТГЭ	За краном № 1	До насоса	После насоса
1.	2	28	39 226,6	39 226,6	-19 613,3	-19 613,3	-19 613,3	400 000
2.	4	32,4	58 839,9	58 839,9	-9 806,7	-9 806,7	0	420 000
3.	6	36,1	58 839,9	58 839,9	-9 806,7	-9 806,7	0	440 000
4.	8	41,3	58 839,9	58 839,9	-9 806,7	-9 806,7	0	440 000
5.	10	46,1	58 839,9	58 839,9	-9 806,7	-9 806,7	0	440 000
6.	12	50,8	58 839,9	58 839,9	0	0	9 806,7	450 000
7.	14	54,2	68 646,6	68 646,6	0	0	9 806,7	460 000
8.	16	58,1	78 453,2	78 453,2	0	0	19 613,3	460 000
9.	18	61,4	78 453,2	78 453,2	0	0	29 420	470 000
10.	20	65,2	78 453,2	78 453,2	9 806,7	9 806,7	29 420	470 000
11.	22	69	88 259,9	88 259,9	19 613,3	19 613,3	29 420	470 000
12.	24	72,3	88 259,9	88 259,9	19 613,3	19 613,3	29 420	470 000
13.	26	76	98 066,5	98 066,5	39 226,6	39 226,6	39 226,6	480 000
14.	28	79,3	98 066,5	98 066,5	39 226,6	39 226,6	39 226,6	480 000
15.	30	82,8	98 066,5	98 066,5	39 226,6	39 226,6	39 226,6	480 000
16.	32	86,2	98 066,5	98 066,5	39 226,6	39 226,6	49 033,3	480 000
17.	34	89,2	107 873	107 873	49 033,3	49 033,3	58 839,9	500 000
18.	36	92	117 680	117 680	58 839,9	58 839,9	58 839,9	510 000
19.	38	95	117 680	117 680	78 453,2	78 453,2	78 453,2	510 000

Изменение температуры от времени представлены на графике рисунка 3.

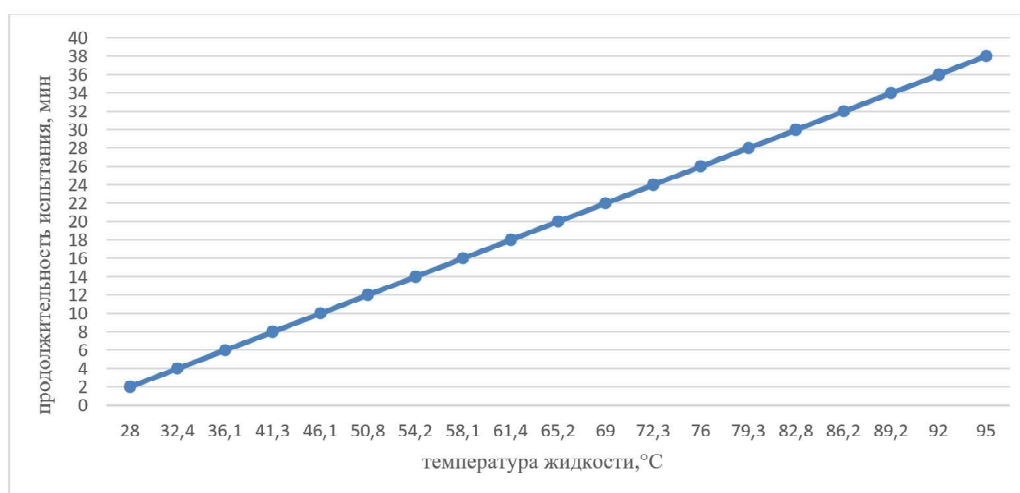


Рисунок 3 – Зависимость температуры жидкости от продолжительности испытания.

В ходе испытания процесс нагрева жидкости до максимально допустимой температуры 95 °С проходил равномерно, о чём свидетельствует график прямой (рис. 3). Опытным путем установили, что для нагрева жидкости до 95 °С в испытываемой автономной теплогенерирующей установке, потребуется 38 минут.

При нагреве жидкости от 28 до 95 °С (рис. 4) давление после теплогенерирующего элемента увеличилось с 39 226,6 до 117 680 Па. Зависимость давления в сепараторе от температуры жидкости аналогична зависимости давления после теплогенерирующего элемента от температуры жидкости.

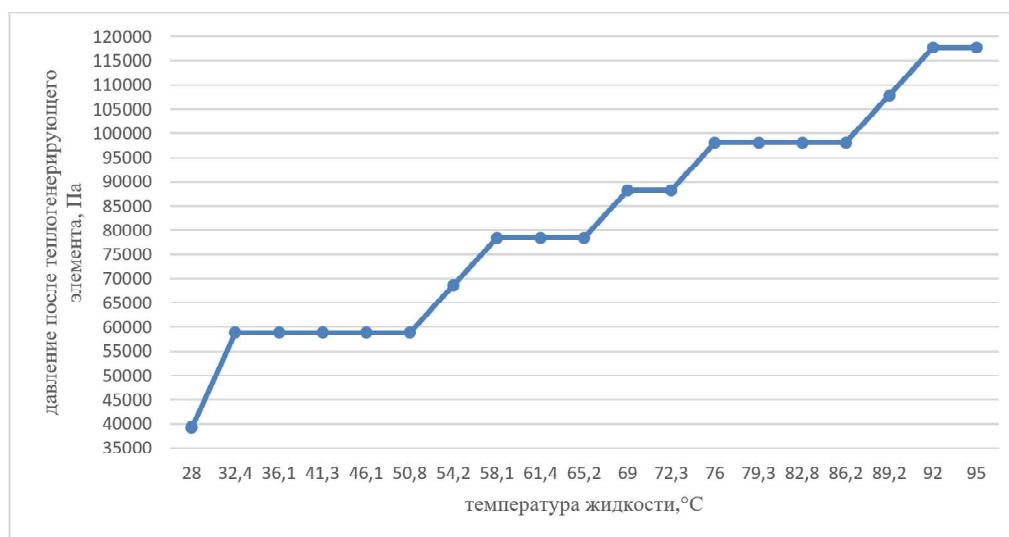


Рисунок 4 – Зависимость давления после теплогенерирующего элемента от температуры жидкости.

При нагреве жидкости от 28 до 50,8 °С (рис. 5) наблюдается отрицательное значение давления на входе в теплогенерирующий элемент, при нагреве от 50,8 до 61,4 °С давление равно нулю, а при нагреве жидкости от 61,4 до 95 °С давление на входе в теплогенерирующий элемент возрастает до 78 453,2 Па.

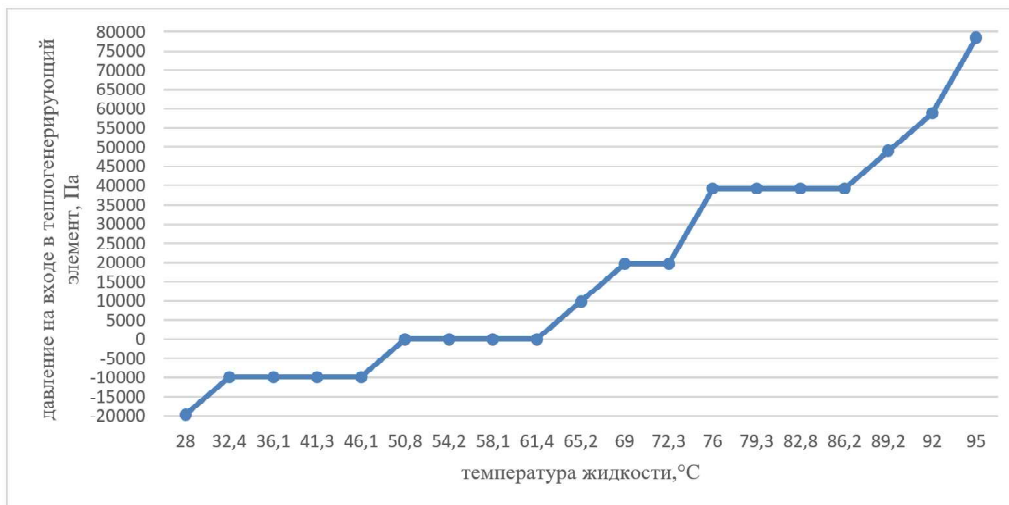


Рисунок 5 – Зависимость давления на входе в теплогенерирующий элемент от температуры жидкости.

Давление за краном № 1 при нагреве жидкости от 28 до 50,8 °С (рис. 6) возрастает от –19 613,3 Па до 0 Па, при нагреве от 50,8 до 61,4 °С давление за краном № 1 равно нулю, а при нагреве жидкости от 61,4 до 95 °С давление увеличивается от 0 Па до 78 453,2 Па.

При нагреве жидкости от 28 до 32,4 °С (рис. 7) наблюдается отрицательное значение давления до насоса, при нагреве от 32,4 до 46,1 °С давление равно нулю, а при нагреве жидкости от 46,1 до 95 °С давление до насоса возрастает до 78 453,2 Па.

При нагреве жидкости от 28 до 95 °С (рис. 8) наблюдается постоянное увеличение давления после насоса, так за время нагрева давление увеличилось с 400 000 до 510 000 Па.

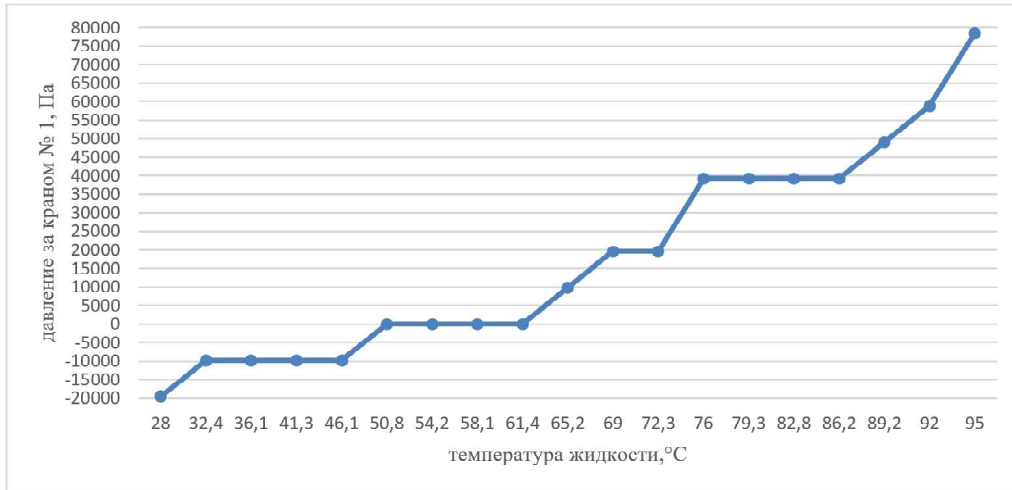


Рисунок 6 – Зависимость давления за краном № 1 от температуры жидкости.

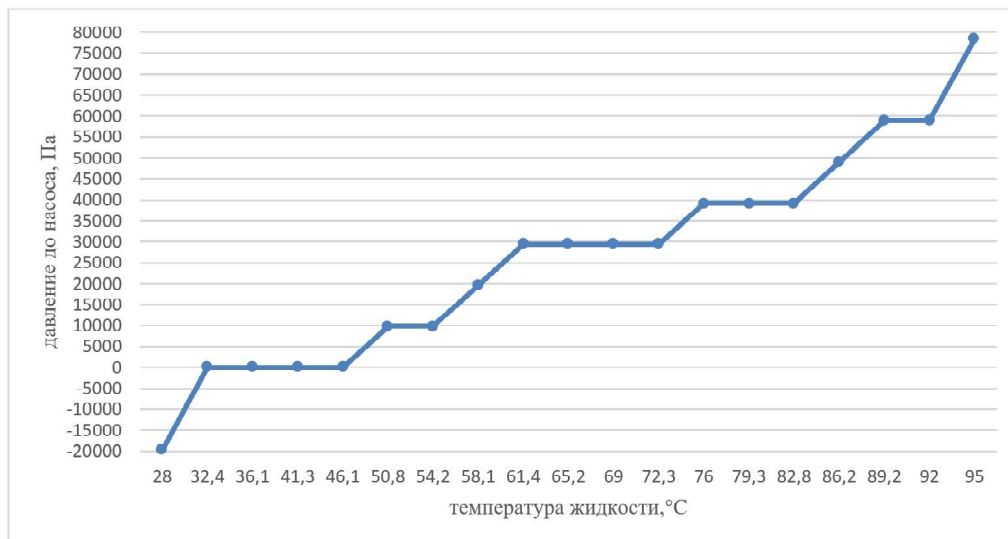


Рисунок 7 – Зависимость давления после насоса от температуры жидкости.

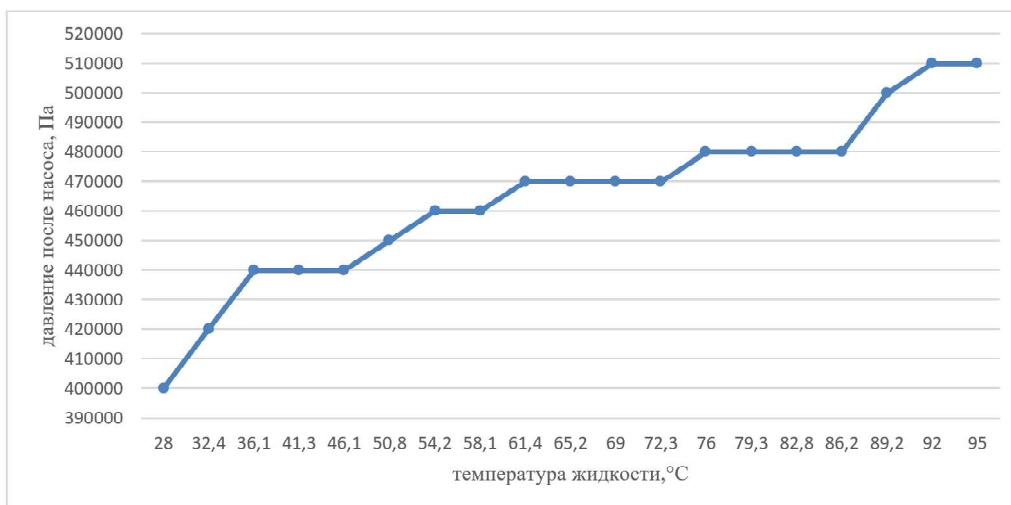


Рисунок 8 – Зависимость давления после насоса от температуры жидкости.

Положительные результаты экспериментов позволяют предположить, что дальнейший анализ и исследования в области технологии генерации тепла могут привести к появлению еще более эффективных систем, причем потенциальные применения выходят за рамки отопления и включают различные промышленные и технологические процессы, требующие тепловой энергии.

ВЫВОДЫ

Исходя из вышеописанного эксперимента можно сказать, что данная теплогенерирующая установка, которая оснащена жидкостно-газовым смесителем, представляет огромный потенциал для повышения энергоэффективности систем отопления.

Рассматриваемая ТГУ экспериментально осуществила подогрев 60 литров воды с 24 до 95 °С за 38 минут, что свидетельствует о высокой эффективности производства тепловой энергии. В свою очередь потребление электрической энергии находится в рамках допустимых показателей, поэтому можно сказать, что система способна работать в пределах разумных параметров энергопотребления для количества произведенной тепловой энергии.

Эксперимент показал последовательное увеличение давления после теплогенерирующего элемента по мере повышения температуры жидкости, подтверждая эффективное управление системой термическими и механическими напряжениями.

Применение данной установки может привести к значительным снижениям зависимости от централизованных источников отопления, на которые в настоящее время приходится значительная часть производства тепловой энергии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Симонов, Н. А. Исследование путей глубокой утилизации тепла теплогенерирующих установок / Н. А. Симонов, Д. В. Выборнов. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2021. – Выпуск 2021-4(150) Научно-технические достижения студентов строительной отрасли. – С. 71–76. – URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/2021-4\(150\)/st_14_simonov_vybornov.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/2021-4(150)/st_14_simonov_vybornov.pdf) (дата обращения: 01.09.2024).
2. Иноземцева, В. Р. Выбор газовых горелок для теплогенерирующих установок и агрегатов / В. Р. Иноземцева. – Текст : непосредственный // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газоснабжения. – 2022. – Том 1, № 1(9). – С. 69–75.
3. Еремин, С. А. Энергоаудит теплогенерирующих установок / С. А. Еремин, Р. А. Садыков. – Текст : непосредственный // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2006. – № 2(6). – С. 92–93.
4. Ряшенцева, Д. И. Нечеткая модель управления параметрами теплогенерирующей установки / Д. И. Ряшенцева, С. В. Кирильчик. – Текст : непосредственный // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2011. – № 2(115). – С. 186–192.
5. Сырых, И. С. Методика технико-экономического обоснования схем теплогенерирующих установок с напорными теплоутилизаторами / И. С. Сырых, С. А. Евсеев. – Текст : непосредственный // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2012. – № 1(6). – С. 22–26.
6. Новгородский, Е. Е. Повышение эффективности теплогенерирующих установок / Е. Е. Новгородский. – Текст : непосредственный // Известия Ростовского государственного строительного университета. – 2011. – № 15. – С. 132–135.
7. Лукьянченко, Д. М. Экспериментальные исследования процессов горения в теплогенерирующих установках малой мощности / Д. М. Лукьянченко, С. С. Топорен, О. Н. Зайцев. – Текст : непосредственный // Строительство и техногенная безопасность. – 2014. – № 50. – С. 104–110.
8. Черноногова, И. В. Утилизация теплоты теплогенерирующих установок малой мощности / И. В. Черноногова, О. Г. Несиоловский. – Текст : непосредственный // История и перспективы развития транспорта на севере России. – 2016. – № 1. – С. 119–121.
9. Промтов, М. А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества / М. А. Промтов. – Москва : Машиностроение-1, 2004. – 136 с. – Текст : непосредственный.
10. Григорьев, С. В. Анализ конструктивных исполнений гидродинамических теплогенерирующих устройств и возможности разработки конструкции со струйным кавитационным взаимодействием потоков / С. В. Григорьев, Р. Н. Поляков. – Текст : непосредственный // Гидравлические машины и системы транспортировки нефти и газа. – 2018. – Выпуск 6. – С. 32–41.
11. Применение струйного гидродинамического насоса в кавитационном реакторе теплогенерирующей установки и моделирование течения жидкости в нем / А. Р. Макаров, С. В. Григорьев, А. С. Волох [и др.]. – Текст : непосредственный // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 1(20). – С. 59–71.
12. Modeling the work of a steam-water injector in a heat supply system / D. Kitaev, E. Aralov, D. Bugaevsky [et al.]. – Текст : электронный // E3S Web of Conferences : Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019, Khabarovsk,

24–26 октября 2019 года. – 2020. – Volume 157. – Khabarovsk : EDP Sciences, 2020. – P. 06037. – <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015706037>.

Информация об авторе

Гармонов Кирилл Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры жилищно-коммунального хозяйства Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Россия. Научные интересы: строительство, инженерные системы и сооружения, теплогазоснабжение и вентиляция, экологическая безопасность строительства и городского хозяйства.

Аралов Егор Сергеевич – старший преподаватель кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Россия. Научные интересы: газоснабжение и трубопроводные системы, системы отопления и теплотехника, теплоизоляционные материалы и ограждающие конструкции, математическое и экспериментальное моделирование, безопасность и вредные факторы в нефтегазовой отрасли, энергоснабжение и градостроительная инфраструктура, цифровизация и инновационные технологии в нефтегазовой отрасли, экологическая безопасность.

Волох Анастасия Сергеевна – ассистент кафедры теплогазоснабжения и нефтегазового дела Воронежского государственного технического университета, Воронеж, Россия. Научные интересы: причины аварий и их предупреждение на магистральных трубопроводах, надежность объектов трубопроводного транспорта, алгоритмы взаимодействия организаций при эксплуатации магистральных трубопроводов, оценка технического состояния линейной части и объектов трубопроводного транспорта, методики и алгоритмы сбора данных при техническом освидетельствовании магистральных трубопроводов и их объектов.

Information about the author

Garmonov Kirill V. – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Department of Housing and Public Utilities, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia. Scientific interests: construction, engineering systems and structures, heat and gas supply and ventilation, environmental safety of construction and urban management.

Aralov Egor S. – Senior Lecturer, Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia. Scientific interests: gas supply and pipeline systems, heating systems and heat engineering, thermal insulation materials and enclosing structures, mathematical and experimental modeling, safety and harmful factors in the oil and gas industry, energy supply and urban development infrastructure, digitalization and innovative technologies in the oil and gas industry, environmental safety.

Volokh Anastasia S. – Assistant of the Department of Heat and Gas Supply and Oil and Gas Engineering, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia. Scientific interests: causes of accidents and their prevention on main pipelines, reliability of pipeline transport facilities, algorithms for interaction between organizations during operation of main pipelines, assessment of the technical condition of the linear part and pipeline transport facilities, methods and algorithms for collecting data during technical inspection of main pipelines and their facilities.

Статья поступила в редакцию 19.09.2024; одобрена после рецензирования 18.10.2024; принята к публикации 25.10.2024.

The article was submitted 19.09.2024; approved after reviewing 18.10.2024; accepted for publication 25.10.2024.