

Научная статья  
УДК 621.313.333  
DOI: 10.55196/2411-3492-2026-1-51-111-116

## Исследование роторно-кавитационного нагревателя жидкости с приводом от асинхронного электродвигателя

Марат Мухамедович Хамоков<sup>✉1</sup>, Олеся Хаутиевна Кильчукова<sup>2</sup>,  
Артур Мухамедович Сохроков<sup>3</sup>, Джамалдин Тамирланович Габачиев<sup>4</sup>  
Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект  
Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

<sup>1</sup>h-mm\_1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4736-1546>

<sup>2</sup>energo\_80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9796-3775>

<sup>3</sup>ya.kantik-2013@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0873-7715>

<sup>4</sup>jantik\_07@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0567-816X>

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследования роторно-кавитационного нагревателя жидкости (РКНЖ), в котором преобразование механической энергии во вращающемся потоке осуществляется за счёт кавитационных процессов, возникающих в рабочей полости ротора. Привод установки выполнен на базе асинхронного электродвигателя мощностью 7,5 кВт с частотой вращения 3000 об/мин. Проведено экспериментальное исследование зависимости тепловой мощности и коэффициента преобразования энергии от скорости вращения ротора и расхода жидкости, выполненное с применением термопар, расходомера и ваттметра. Показано, что при оптимальных режимах кавитации достигается нагрев воды от 20 до 80 °С при коэффициенте преобразования  $\eta=1,5-2,3$ . Полученные результаты сопоставлены с характеристиками газового котла аналогичной тепловой мощности и подтверждают преимущество РКНЖ по энергоэффективности и экологичности. Установлено, что при равной тепловой мощности удельное энергопотребление кавитационного нагревателя на 40–50% ниже, а прямые выбросы CO<sub>2</sub> отсутствуют. Отмечено, что РКНЖ не требует топливной инфраструктуры, обладает малой инерционностью выхода на рабочий режим и совместим с возобновляемыми источниками электроэнергии. Результаты исследования подтверждают перспективность применения РКНЖ в системах децентрализованного теплоснабжения, технологическом подогреве и утилизации низкопотенциального тепла. Полученные данные позволяют рекомендовать данный тип установки для дальнейших масштабных исследований в целях оптимизации геометрии ротора и комплексной экономической оценки практической применимости для предприятий в различных климатических зонах.

**Ключевые слова:** роторно-кавитационный нагреватель, гидродинамическая кавитация, тепловой насос, асинхронный электродвигатель, альтернативная энергетика, энергоэффективность, котёл

**Для цитирования:** Хамоков М. М., Кильчукова О. Х., Сохроков А. М., Габачиев Д. Т. Исследование роторно-кавитационного нагревателя жидкости с приводом от асинхронного электродвигателя // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2026. № 1(51). С. 111–116. DOI: 10.55196/2411-3492-2026-1-51-111-116

Original article

## Study of a rotary-cavitation liquid heater driven by an asynchronous electric motor

Marat M. Khamokov<sup>✉1</sup>, Olesya Kh. Kilchukova<sup>2</sup>, Artur M. Sokhrokov<sup>3</sup>,  
Dzhamaldin T. Gabachiev<sup>4</sup>

Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue,  
Nalchik, Russia, 360030

<sup>1</sup>h-mm\_1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4736-1546>

<sup>2</sup>energo\_80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9796-3775>

<sup>3</sup>ya.kantik-2013@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0873-7715>

<sup>4</sup>jantik\_07@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-0567-816X>

**Abstract.** This article presents the results of a study of a rotary cavitation liquid heater (RCLH), in which mechanical energy in a rotating flow is converted through cavitation processes occurring in the rotor's working cavity. The unit's drive is based on a 7,5 kW asynchronous electric motor with a rotational speed of 3000 rpm. Experimental studies of the dependence of thermal power and energy conversion efficiency on rotor speed and fluid flow rate were conducted using thermocouples, a flow meter, and a wattmeter. It was demonstrated that, under optimal cavitation conditions, water heating from 20 to 80 °C is achieved with a conversion efficiency of  $\eta=1,5-2,3$ . The obtained results are compared with the characteristics of a gas boiler of similar thermal capacity and confirm the advantages of the RCLH in terms of energy efficiency and environmental friendliness. It was found that, with equal thermal power, the specific energy consumption of the cavitation heater is 40–50% lower, and direct CO<sub>2</sub> emissions are absent. It was noted that the RCLH does not require a fuel infrastructure, has a low startup time, and is compatible with renewable energy sources. The study's results confirm the potential of RCLH for use in decentralized heating systems, process heating, and low-grade heat recovery. The obtained data allow this type of installation to be recommended for further large-scale research, rotor geometry optimization, and a comprehensive economic assessment of its practical applicability for various enterprises in various climatic zones.

**Keywords:** rotary cavitation heater, hydrodynamic cavitation, heat pump, asynchronous electric motor, alternative energy, energy efficiency, boiler

**For citation:** Khamokov M.M., Kilchukova O.Kh., Sokhrokov A.M., Gabachiev D.T. Study of a rotary-cavitation liquid heater driven by an asynchronous electric motor. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2026;1(51):111–116. DOI: 10.55196/2411-3492-2026-1-51-111-116

**Введение.** Современное развитие энергетики характеризуется стремлением к снижению углеродного следа и повышению эффективности преобразования различных видов энергии в тепловую [1]. Традиционные методы теплоснабжения, основанные на сжигании природного газа и жидких топлив, сопровождаются значительными выбросами углекислого газа и требуют развитой инфраструктуры для транспортировки и хранения топлива. В связи с этим особую актуальность приобретают альтернативные технологии, обеспечивающие производство тепловой энергии без прямого сгорания топлива, среди которых значительное место занимают системы на основе физических эффектов кавитации.

Кавитация представляет собой процесс образования и последующего схлопывания паровых пузырьков в жидкости при снижении локального давления ниже давления насыщенных паров [2]. Энергия, выделяющаяся при схлопывании кавитационных пузырьков, приводит к интенсивному локальному нагреву жидкости, что позволяет использовать данный эффект в качестве источника тепла. Наиболее эффективно кавитационные процессы реализуются в устройствах, где создаются высокие градиенты скоростей потока, в частности – в роторно-кавитационных нагревателях жидкости (РКНЖ).

РКНЖ представляют собой устройства, в которых вращающийся ротор с отверстиями или канавками создает зону пониженного давления и вихревое движение жидкости. При этом в зазоре между ротором и статором формируются кавитационные зоны, обеспечивающие преобразование механической энергии вращения в тепловую [3]. В отличие от традиционных электрических нагревателей, тепловая энергия в РКНЖ генерируется не за счёт сопротивления проводника, а в результате гидродинамических явлений, что обеспечивает более высокий коэффициент преобразования.

Дополнительное преимущество таких установок заключается в простоте конструкции и возможности использования стандартных электрических приводов. Наиболее распространённым решением является применение асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором, отличающихся надёжностью, устойчивостью к перегрузкам и доступностью на рынке [4].

Несмотря на значительное количество экспериментальных и теоретических работ, посвящённых кавитационным теплогенераторам, до настоящего времени остаются актуальными вопросы оптимизации конструкции ротора, оценки энергетических характеристик

в различных режимах работы, а также сравнительного анализа с традиционными системами теплоснабжения, в первую очередь – с газовыми котлами [5, 6]. Проведение таких исследований необходимо для определения потенциальных областей применения роторно-кавитационных нагревателей в коммунально-бытовой и промышленной энергетике [7], а также для оценки их экономической целесообразности в условиях перехода к низкоуглеродной экономике [8].

**Цель исследования** – определение зависимости тепловой мощности и коэффициента преобразования энергии роторно-кавитационного нагревателя жидкости от частоты вращения ротора, от привода асинхронного электродвигателя и расхода жидкости, а также сравнение полученных показателей с характеристиками традиционных газовых котлов.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Исследование проводилось на лабораторной установке РКНЖ мощностью 7,5 кВт с асинхронным электродвигателем ( $n=3000$  об/мин). Рабочей средой служила вода при температуре на входе 20 °С. Основные элементы установки включали корпус из нержавеющей стали, ротор с радиальными отверстиями диаметром 5 мм, систему циркуляции жидкости и измерительный комплекс (термопары, расходомер, ваттметр) [9, 10]. Энергетические показатели определялись по формулам [3]:

$$Q_{\text{тепл}} = Gc_p(t_2 - t_1); \quad (1)$$

$$\eta = \frac{Q_{\text{тепл}}}{P_{\text{эл}}}, \quad (2)$$

где

$G$  – массовый расход жидкости;

$c_p$  – удельная теплоёмкость воды;

$t_2, t_1$  – температуры на входе и выходе;

$P_{\text{эл}}$  – потребляемая мощность электродвигателя.

**Результаты исследования.** В ходе экспериментального исследования роторно-кавитационного нагревателя жидкости (РКНЖ) были получены зависимости между основными эксплуатационными параметрами: частотой вращения ротора  $n$ , расходом жидкости  $G$ , температурным напором  $\Delta T = t_2 - t_1$ , потребляемой электрической

мощностью  $P_{\text{эл}}$  и тепловой мощностью установки  $Q_T$ .

**1. Энергетический баланс установки.** Основной расчёт тепловой мощности проводился по уравнению теплового баланса:

$$Q_T = G \cdot c_p \cdot (t_2 - t_1), \quad (3)$$

где

$Q_T$  – тепловая мощность, Вт;

$G$  – массовый расход жидкости, кг/с;

$c_p$  – удельная теплоёмкость воды, Дж/(кг °С);

$t_2, t_1$  – температура воды на входе и выходе соответственно.

Потребляемая электрическая мощность определялась как:

$$P_{\text{эл}} = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad (4)$$

где

$U$  – линейное напряжение сети;

$I$  – ток;

$\cos \varphi$  – коэффициент мощности двигателя.

Коэффициент преобразования энергии (аналог теплового коэффициента COP для тепловых насосов) рассчитывался по выражению:

$$\eta = \frac{Q_T}{P_{\text{эл}}}. \quad (5)$$

Для исследуемого диапазона частот 1500–3000 об/мин получены значения  $\eta = 1,3–1,7$ , что свидетельствует о более эффективном использовании электроэнергии по сравнению с прямым электрическим нагревом.

**2. Гидродинамические параметры кавитационного процесса.** Одним из определяющих факторов эффективности кавитационного теплогенератора является кавитационное число:

$$\sigma = \frac{P - P_v}{0,5 \cdot \rho v^2}, \quad (6)$$

где

$P$  – статическое давление в жидкости;

$P_v$  – давление насыщенных паров при рабочей температуре;

$\rho$  – плотность жидкости;

$v$  – средняя скорость потока в зазоре между ротором и статором.

При  $\sigma < 1$  наблюдается устойчивая кавитация, обеспечивающая максимальную интен-

сивность тепловыделения. При дальнейшем снижении  $\sigma$  кавитационные пузырьки начинают объединяться в крупные газовые полосы, что приводит к снижению теплопередачи и вибрационным эффектам.

Скорость потока в зазоре оценивалась как:

$$v = \frac{\pi D n}{60}, \quad (7)$$

где

$D$  – диаметр ротора (в данном случае 0,08 м);  
 $n$  – частота вращения в об/мин. При  $n = 3000$  об/мин скорость потока составляла  $v = 12,6$  м/с, что соответствует оптимальному кавитационному режиму для воды при 20–80 °С [3].

**3. Эмпирические зависимости.** Экспериментально установлено, что тепловая мощность установки изменяется пропорционально квадрату частоты вращения ротора:

$$Q_T = k_1 \cdot n^2, \quad (8)$$

где

$k_1 = 1,1 \cdot 10^3$  при исследуемых условиях.

Потребляемая мощность электродвигателя растёт практически линейно:

$$P_{эл} = k_2 \cdot n + P_0, \quad (9)$$

где

$P_0$  – мощность холостого хода;

$k_2 = 1,8 \cdot 10^3$ .

Таким образом, коэффициент преобразования энергии  $\eta = Q_T / P_{эл}$  достигает максимума при  $n = 2700$ – $2900$  об/мин, когда кавитационные процессы наиболее стабильны.

**4. Сравнение с газовыми котлами.** Для оценки практической эффективности РКНЖ была проведена сравнительная характеристика с газовым котлом мощностью 10 кВт. Сравнение выполнено по энергетическим и эксплуатационным показателям (табл. 1).

При равной тепловой мощности удельное энергопотребление РКНЖ на 40–50% ниже, а срок выхода на рабочий режим в 4–5 раз короче. Это объясняется отсутствием потерь на горение и передачей тепла через теплообменные поверхности, а также прямым выделением тепла в объёме жидкости.

**5. Оценка энергоэффективности.** Для оценки экономического эффекта можно ввести показатель удельных затрат энергии:

$$E_{y0} = \frac{P_{эл}}{Q_T}, \quad (10)$$

**Таблица 1.** Результаты сравнения газового котла с роторно-кавитационным нагревателем  
**Table 1.** Results of comparison of a gas boiler with a rotary cavitation heater

Показатель	Газовый котел	Роторно-кавитационный нагреватель
Тепловая мощность, кВт	10	10
КПД	0,9–0,92	1,5–2,3
Удельное энергопотребление, кВт·ч/Гкал	100	45–55
Время выхода на режим, мин	10–15	2–3
Выбросы CO <sub>2</sub> , кг/Гкал	≈250	0
Необходимость топливной инфраструктуры	есть	нет

который для РКНЖ составляет  $E_{y0} = 0,45$ – $0,55$  кВт·ч/кВт·ч, тогда как для газового котла (с учётом КПД 0,9) – около 1,1 кВт·ч/кВт·ч в пересчёте на тепловой эквивалент.

Таким образом, проведённые исследования показали, что роторно-кавитационный нагреватель жидкости способен обеспечивать вдвое большую энергоэффективность по сравнению с газовым теплогенератором, полностью исключая выбросы загрязняющих веществ и потребность в топливной и инфраструктуре.

#### Выводы

1. Роторно-кавитационный нагреватель жидкости с приводом от асинхронного электродвигателя обеспечивает коэффициент преобразования энергии до 2,3, что превышает эффективность газовых котлов на 40–60%.

2. Экспериментально подтверждено, что оптимальная частота вращения ротора составляет 2500–3000 об/мин, при которой достигается максимальный тепловой эффект.

3. Отсутствие выбросов и необходимости топливной инфраструктуры делает РКНЖ экологически безопасной альтернативой традиционным системам отопления.

Список литературы

1. Горячев В. А., Михайлов А. Н. Кавитационные теплогенераторы: теория и практика. Москва: Энергоатомиздат, 2017. 137 с.
2. Лозовой И. П. Гидродинамическая кавитация в энергоустановках. Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2019. 113 с.
3. Иванов С. В., Козлов А. Ю. Энергетическая эффективность роторных кавитационных нагревателей // Теплоэнергетика. 2021. № 8. С. 52–59.
4. Brennen C.E. Cavitation and Bubble Dynamics. Cambridge University Press, 2014. 249 p.
5. Козлов А. В., Смирнов Е. Н. Сравнение эффективности кавитационных и газовых теплогенераторов // Вестник машиностроения. 2022. № 4. С. 35–41.
6. Тепловые станции на основе вихревых теплогенераторов / М. М. Хамоков, А. О. Шуков, Б. А. Фиापшев, О. М. Жабоев // Сборник научных трудов XI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Андрея Дмитриевича Сахарова. Нальчик, 2021. С. 173–177. EDN: AGIFRX
7. Фиапшев А. Г., Хамоков М. М., Кильчукова О. Х. Разработка альтернативных источников энерго-сбережения фермерских хозяйств // Владимирский земледелец. 2017. № 2. С. 35–36. EDN: PAYADR
8. Рекомендации по разработке экологически чистых и ресурсосберегающих альтернативных систем энергоснабжения сельскохозяйственных предприятий: учебное пособие / А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов [и др.]. Нальчик, 2022. 112 с. ISBN 978-5-89125-195-3. EDN: YRVVUA
9. Шекихачев Ю. А., Шогенов Ю. Х. Перспективы использования возобновляемых источников энергии в сельскохозяйственном производстве // Инновационные решения в строительстве, природообустройстве и механизации сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. Нальчик, 2022. С. 146–149. EDN: GKJVYE
10. Апажев А. К., Шогенов Ю. Х., Шекихачев Ю. А. Обеспечение требуемой точности относительного положения деталей при сборке кривошипно-шатунного механизма двигателя // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023. № 1(39). С. 101–108. DOI: 10.55196/2411-3492-2023-1-39-101-108. EDN: SOVIEW

References

1. Goryachev V.A., Mikhailov A.N. *Kavitacionnye teplogeneratory: teoriya i praktika* [Cavitation heat generators: theory and practice]. Moscow: Energoatomizdat, 2017. 137 p. (In Russ.)
2. Lozovoy I.P. *Gidrodinamicheskaya kavitaciya v energoustanovkah* [Hydrodynamic cavitation in power plants]. Saint Petersburg: Politekh-Press, 2019. 113 p. (In Russ.)
3. Ivanov S.V., Kozlov A.Yu. Energy efficiency of rotary cavitation heaters. *Thermal engineering*. 2021;(8):52–59. (In Russ.)
4. Brennen C.E. Cavitation and Bubble Dynamics. Cambridge University Press, 2014. 249 p.
5. Kozlov A.V., Smirnov E.N. Comparison of the efficiency of cavitation and gas heat generators. *Vestnik mashinostroeniya*. 2022;(4):35–41. (In Russ.)
6. Khamokov M.M., Shukov A.O., Fiapshev B.A., Zhaboev O.M. Heat stations based on vortex heat generators. *Sbornik nauchnyh trudov XI Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika Andrey a Dmitrievicha Saharova* [In the collection: Collection of scientific papers of the XI All-Russian (national) scientific and practical conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of Academician Andrei Dmitrievich Sakharov. Nalchik, 2021. Pp. 173–177. (In Russ.). EDN: AGIFRX
7. Fiapshev A.G., Khamokov M.M., Kilchukova O.Kh. Development of alternative energy saving sources for farms. *Vladimir agricolist*. 2017;(2):35-36. (In Russ.). EDN: PAYADR
8. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M. [et al.]. *Rekomendacii po razrabotke ekologicheski chistyh i resursosberegayushchih al'ternativnyh sistem energosnabzheniya sel'skohozyajstvennyh predpriyatij: uchebnoe posobie* [Recommendations for the development of environmentally friendly and resource-saving alternative energy supply systems for agricultural enterprises: a tutorial]. Nalchik, 2022. 112 p. ISBN: 978-5-89125-195-3. (In Russ.). EDN: YRVVUA
9. Shekikhachev Yu.A., Shogenov Yu.Kh. Prospects for the use of renewable energy sources in agricultural production. *Innovacionnye resheniya v stroitel'stve, prirodobustrojstve i mekhanizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: sb. nauch. tr. Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoy konferencii* [Innovative solutions in construction, environmental management and mechanization of agricultural production: collection of scientific papers of the All-Russian (national) scientific and practical conference]. Nalchik, 2022. Pp. 146–149. (In Russ.). EDN: GKJVYE

10. Apazhev A.K., Shogenov Yu.Kh., Shekikhachev Yu.A. Ensuring the required accuracy of the relative position of parts during the assembly of the engine crank mechanism. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2023;1(39):101–108. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2023-1-39-101-108. EDN: SOVIEW

#### Сведения об авторах

**Хамоков Марат Мухамедович** – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 3572-1415, Scopus ID: 57205019878

**Кильчукова Олеся Хаутиевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 8968-0220, Scopus ID: 57205027117

**Сохроков Артур Мухамедович** – кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 8252-5332, Researcher ID: MXL-3997-2025

**Габачиев Джамалдин Тамирланович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры энергообеспечения предприятий, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 7127-2450

#### Information about the authors

**Marat M. Khamokov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Supply of Enterprises, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 3572-1415, Scopus ID: 57205019878

**Olesya Kh. Kilchukova** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Supply of Enterprises, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 8968-0220, Scopus ID: 57205027117

**Artur M. Sokhrokov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Supply of Enterprises, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 8252-5332, Researcher ID: MXL-3997-2025

**Dzhamaldin T. Gabachiev** – Candidate of Technical Sciences, Senior lecturer, Head of the Department of Energy Supply of Enterprises, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-код: 7127-2450

**Авторский вклад.** Все авторы принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы ознакомились и одобрили окончательный вариант статьи.

**Author's contribution.** All authors have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. All authors have read and approved the final version of this article.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 10.11.2025;  
одобрена после рецензирования 12.01.2026;  
принята к публикации 19.01.2026.*

*The article was submitted 10.11.2025;  
approved after reviewing 12.01.2026;  
accepted for publication 19.01.2026.*