

## Исследование теплотехнических характеристик пластинчатых теплообменников, работающих в контуре горячего водоснабжения в условиях совместной эксплуатации с баком-аккумулятором

*К.Д. Кононенко, П.П. Кондауров, Н.М. Веселова*

*Волгоградский государственный технический университет*

Аннотация: В статье рассматриваются проблемы, связанные с приготовлением горячей воды в системах поквартирного отопления, где используется вторичный пластинчатый теплообменник котла. Отмечены недостатки такого подхода, включая задержку подачи горячей воды, необходимость слива воды из трубопровода, отсутствие возможности регулирования температуры и расхода воды, а также невозможность организации рециркуляции. В качестве альтернативы предложена система с баком-аккумулятором и пластинчатым теплообменником, которая обеспечивает стабильную температуру воды, регулируемый расход, экономию ресурсов и возможность рециркуляции. На основе экспериментальных исследований определен коэффициент теплопередачи для теплообменников с профилированными и плоскими пластинами. Приведены расчеты требуемой площади теплообменника в зависимости от типа пластин, объема бака-аккумулятора и времени его зарядки, что позволяет оптимизировать проектирование систем горячего водоснабжения.

**Ключевые слова:** пластинчатый теплообменник, бак-аккумулятор, коэффициент теплопередачи.

В современных системах поквартирного отопления основным способом приготовления горячей воды, является нагрев во вторичном пластинчатом теплообменнике котла. Однако такой подход имеет ряд существенных недостатков. К ним относятся задержка подачи горячей воды к водоразборной арматуре, необходимость слива холодной воды из трубопровода, отсутствие возможности регулирования температуры и расхода воды, а также невозможность организации рециркуляции. Эти проблемы приводят к нерациональному использованию ресурсов и снижению уровня комфорта для пользователей.

В качестве альтернативы предлагается система с баком-аккумулятором и пластинчатым теплообменником, которая позволяет устранить указанные недостатки [1,2]. В качестве бака-аккумулятора можно использования емкостный электрический нагреватель.

---

Схема поквартирной системы горячего водоснабжения представлена на рис 1.

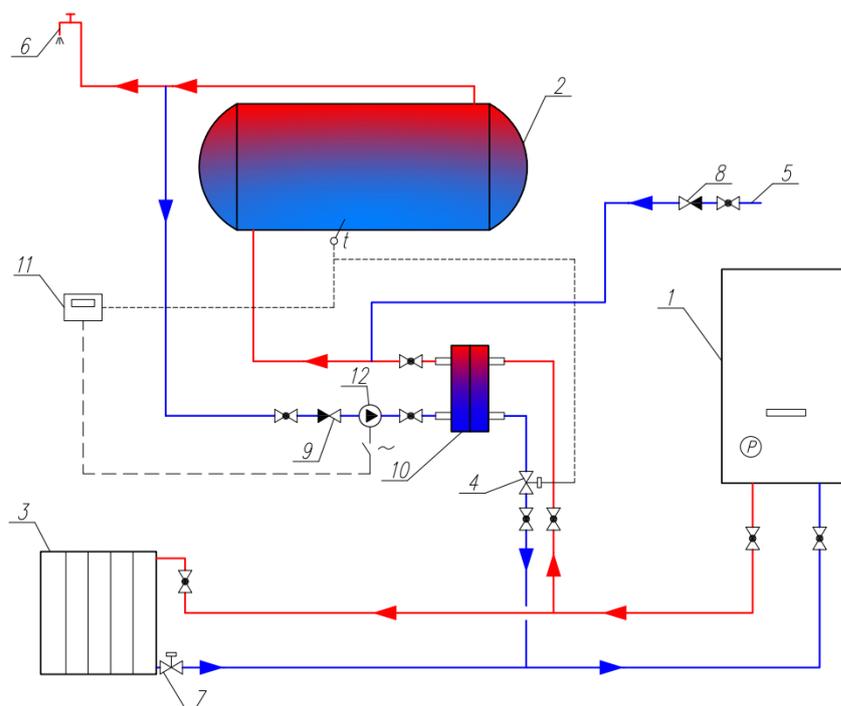


Рис. 1. – Принципиальная схема обвязки бака-аккумулятора:

- 1 – отопительный котел с закрытой камерой сгорания;
- 2 – теплоизолированный бак; 3 – система отопления; 4 – регулятор температуры; 5 – хозяйственный водопровод; 6 – потребитель горячего водоснабжения; 7 – балансировочные клапаны системы отопления;
- 8, 9 – обратный клапан; 10 – пластинчатый теплообменник;
- 11 – терморегулятор, управляющий работой насоса; 12 – насос.

При выборе теплообменника для нужд приготовления горячей воды, часто, отсутствуют теплотехнические данные, необходимые для расчёта основных параметров, таких как: тип пластин, площадь поверхности теплообмена (количество пластин), расход теплоносителя через межпластинчатый канал, коэффициент теплопередачи.

На базе лаборатории теплоснабжения кафедры ЭТиТГСВ ВолгГТУ, коллективом авторов выполнены экспериментальные исследования двух

теплообменников одного типоразмера ВЗ-12 с различными видами пластин (рис. 2).

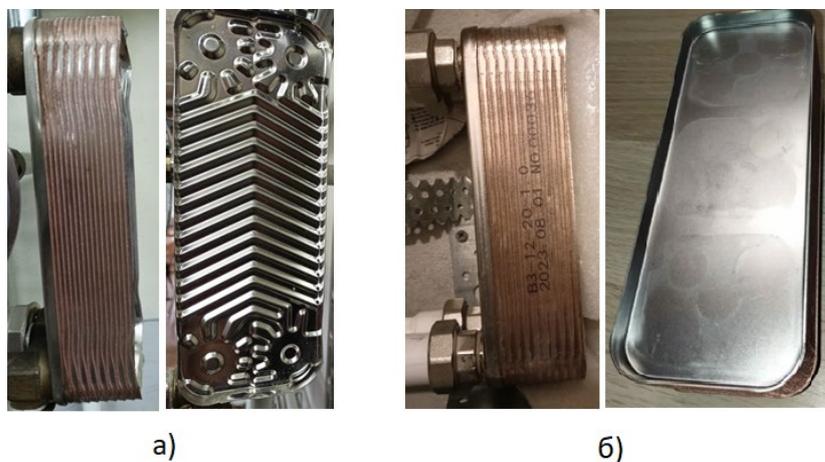


Рис. 2. – Пластинчатые теплообменники:

а) – рифлёный профиль пластины; б) плоская пластина

Испытание теплообменников проводилось на экспериментальной установке представленной на рис. 3. Хранение горячей воды осуществляется в теплоизолированном баке-аккумуляторе объемом 50 литров с тремя патрубками для подключения. К патрубку с правой стороны подведен холодный водопровод, с левой стороны расположены патрубки подачи горячей воды и рециркуляции. Нагрев воды в баке осуществляется в пластинчатом теплообменнике 1 за счет энергии поступающей от теплоносителя системы отопления квартиры (трубопровод 1,2).

Изменение расхода теплоносителя в первичном и вторичном контурах осуществлялось за счет изменения производительности насосов.

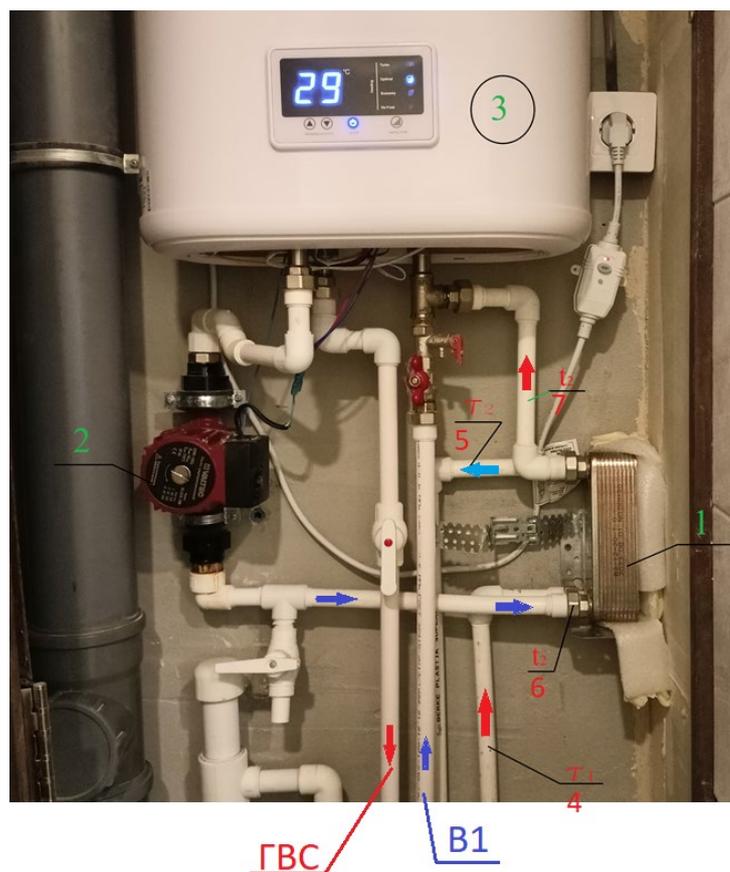


Рис. 3. –Экспериментальная установка:

- 1 – пластинчатый теплообменник; 2 – циркуляционный насос вторичного контура; 3 – бак-аккумулятор  $V=50$  л; 4 – подающий трубопровод системы отопления; 5 – обратный трубопровод системы отопления; 6 – рециркуляционный трубопровод бака аккумулятора; 7 – рециркуляционный контур после теплообменника.

Поддержание температуры в баке аккумулятора осуществляется за счет встроенного температурного реле, которое позволяет включать циркуляционный насос только в том случае, когда температура горячей воды ниже установленного значения, это позволяет соблюдать требования по максимальной температуре горячей воды ( $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в случае повышения температуры в системе отопления сверх допустимых значений [3,4].

Целью проведения эксперимента является определение фактического коэффициента теплопередачи, в зависимости от соотношения расходов греющей и нагреваемой воды и температуры теплоносителя.

Испытания теплообменников проводились с учетом условий их эксплуатации в качестве источника тепла для нагрева горячей воды в накопительном режиме. При данной схеме, горячая вода хранится и нагревается в баке аккумулятора в течении периода зарядки.

На основе экспериментальных данных по выражению (1) была получена фактическая теплопроизводительность теплообменника, кВт [5-7].

$$Q_2 = G_2 c_2 (t_2 - t_1), \quad (1)$$

где  $G_2$  – расход нагреваемого теплоносителя, кг/с;  $c_2$  – теплоемкость теплоносителей при средней температуре, кДж/(кг °С);  $t_1, t_2$  – температуры вторичного теплоносителя на входе и на выходе из подогревателя, °С.

В соответствии с уравнением теплопередачи, тепловой поток может быть определен по выражению [8-10]:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи чистой поверхности теплообмена, Вт/(м² °С);  $F$  – площадь поверхности теплообмена, м²;  $\Delta t$  – среднелогарифмический температурный напор, °С

Выразив коэффициент теплопередачи из выражения (2), получим:

$$k = \frac{Q}{F \cdot \Delta t} \quad (3)$$

На основе полученных данных были построены графики (рис. 4), которые показывают тенденцию изменение коэффициента теплопередачи теплообменника в зависимости от относительного расхода и температурного напора.

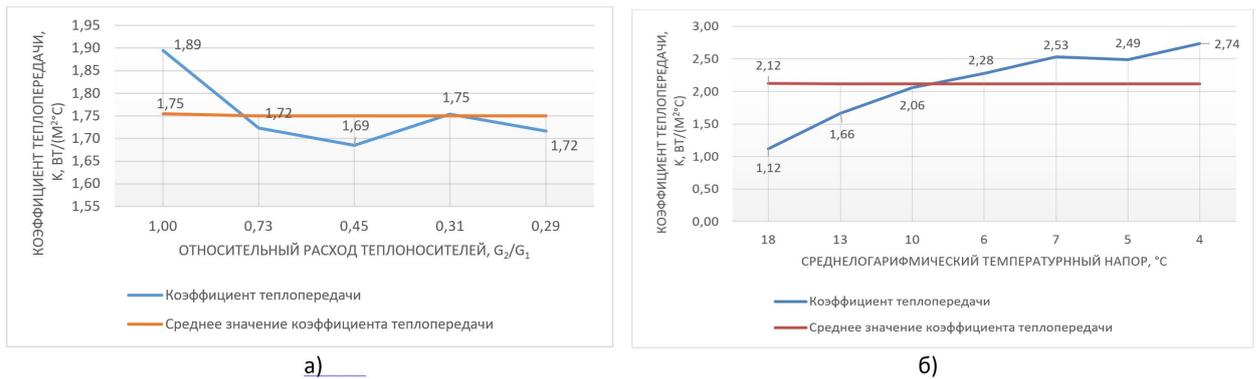


Рис. 4. – Коэффициент теплопередачи теплообменника:  
а) – рифленый профиль пластины; б) плоская пластина

Учитывая экспериментальные значения коэффициента теплопередачи и условий эксплуатации были построены графики зависимости площади пластинчатого теплообменника от объема бака-аккумулятора (рис. 5)

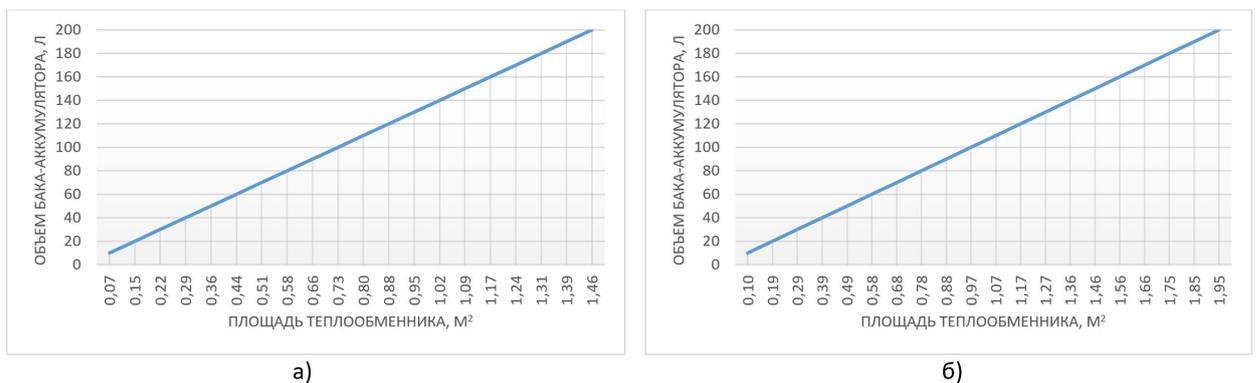


Рис. 5. – Зависимость площади пластинчатого теплообменника от объема бака-аккумулятора при времени зарядки 15 минут:

а) – рифленый профиль пластины; б) плоская пластина

Подводя итоги работы, можно сделать вывод, что в ходе эксперимента были получены практические данные, которые упрощают подбор основного оборудования для приготовления горячей воды при использовании индивидуального источника тепла. Предложенная система обеспечивает стабильную температуру горячей воды, позволяет регулировать её расход,



способствует экономии воды и даёт возможность организовать рециркуляцию в пределах квартиры.

### Литература

1. Шаров, Ю. И. Производство и передача тепловой энергии: учебник / Новосибирск: НГТУ, 2021. — 296 с. — ISBN 978-5-7782-4511-2. // Лань: электронно-библиотечная система. URL: [e.lanbook.com/book/216203](http://e.lanbook.com/book/216203).
2. Петренко В.Н., Мокрова Н.В. Разработка системы горячего водоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии // Инженерный вестник Дона, 2013, №2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_29\\_Petrenko.pdf\\_1617.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_29_Petrenko.pdf_1617.pdf)
3. Шкаровский, А. Л. Теплоснабжение: учебник для вузов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 392 с. — ISBN 978-5-507-47520-9. — Лань: электронно-библиотечная система. URL: [e.lanbook.com/book/385091](http://e.lanbook.com/book/385091).
4. Кондауров П.П., Гавришев Е.А. Применимость методов термической дезинфекции существующих систем централизованного горячего водоснабжения // Инженерный вестник Дона, 2022, №7. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_75\\_\\_6\\_Kondaurov.pdf\\_e7409e2c54.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_75__6_Kondaurov.pdf_e7409e2c54.pdf)
5. Кряклина И.В. Математическая модель и оптимизация параметров работы пластинчатого рекуператора // Инженерный вестник Дона, 2014, №1. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2269](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2269).
6. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети. – Москва. МЭИ, 2001. – 360 с.
7. Мелких А. В. Теплофизика. — Санкт-Петербург: Лань, 2023. — 216 с. — ISBN 978-5-507-45407-5. —// Лань: электронно-библиотечная система. — URL: [e.lanbook.com/book/302702](http://e.lanbook.com/book/302702)
8. Какас, S., Liu, H., & Pramuanjaroenkij, A. Heat Exchangers: Selection, Rating, and Thermal Design (3rd Edition). CRC Press, 2012. pp. 335-344.



9. Wang, L., Sundén, B., & Manglik, R. M. Plate Heat Exchangers: Design, Applications and Performance. WIT Press, 2007. pp. 51-70.
10. Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. Fundamentals of Heat and Mass Transfer (7th Edition). John Wiley & Sons, 2013. pp. 705-748.

### References

1. Sharov, Ju. I. Proizvodstvo i peredacha teplovoj jenergii [Heat energy production and distribution]: uchebnik. Novosibirsk: NGTU, 2021. 296 p. ISBN 978-5-7782-4511-2. Lan': jelektronno-bibliotechnaja sistema. URL: e.lanbook.com/book/216203.
2. Petrenko V.N., Mokrova N.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №2. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_29\_Petrenko.pdf\_1617.pdf
3. Shkarovskij, A. L. Teplosnabzhenie [District heating]: uchebnik dlja vuzov. 3-e izd., ster. Sankt-Peterburg : Lan', 2024. 392 p. Lan': jelektronno-bibliotechnaja sistema. URL: e.lanbook.com/book/385091.
4. Kondaurov P.P., Gavrishchev E.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №7. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_75\_\_6\_Kondaurov.pdf\_e7409e2c54.pdf
5. Krjaklina I.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2269.
6. Sokolov E.Ja. Teplofikacija i teplovye seti [Cogeneration and heating networks]. Moskva.: MJeI, 2001. 360 p.
7. Melkih A. V. Teplofizika [Thermophysics]. Sankt-Peterburg: Lan', 2023. 216 p. Lan': jelektronno-bibliotechnaja sistema. URL: e.lanbook.com/book/302702.

**Дата поступления: 4.01.2025**

**Дата публикации: 25.02.2025**