

*Н. Ю. БЕРДЫШЕВ, А. Ю. ЖАДИК*

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ ПРИ РЕГУЛИРОВАНИИ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКИ НА ВВОДАХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

Приведен регрессионный анализ работы трех крупных котельных г. Мариуполь в отопительном сезоне 2016–2017 года. Показано, что имеет место достаточная взаимосвязь между расходом воды и градусо-сутками, то есть регулирование на этих котельных осуществляется не только качественным способом, но и частично количественным. Предложена автоматизированная малая котельная, в которой за счет частотного регулирования параметров сетевого и подпиточного насосов поддерживается постоянное давление в сети, так что при изменении расхода теплоносителя у определенного потребителя уменьшается расход в сети почти без повышения расхода у остальных потребителей. При этом экономия отпущенной теплоты на котельной практически равна экономии теплоты у потребителя, который уменьшил расход теплоносителя. Работоспособность предложенной схемы доказана на примере работы экспериментальной установки.

**Ключевые слова:** централизованное теплоснабжение, количественное регулирование, регрессионная линия, частотный регулятор, обратный клапан, циркуляционный насос, коэффициент корреляции, гидравлический режим.

*М. Ю. БЕРДИШЕВ, А. Ю. ЖАДИК*

### **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ ПРИ РЕГУЛЮВАННІ ТЕПЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ВВОДАХ СПОЖИВАЧІВ**

Наведено регресійний аналіз роботи трьох великих котельень м Мариуполь в опалювальному сезоні 2016–2017 року. Показано, що має місце достатній взаємозв'язок між витратою води і градусо-добами, тобто регулювання на цих котельнях здійснюється не тільки якісним способом, але і частково кількісним. Запропонована автоматизована мала котельня, в якій за рахунок частотного регулювання параметрів мережевого і підживлювального насосів підтримується постійний тиск в мережі, так що при зміні витрати теплоносія у певного споживача зменшується витрата в мережі майже без підвищення витрат у інших споживачів. При цьому економія відпущеної теплоти на котельні практично дорівнює економії теплоти у споживача, який зменшив витрати теплоносія. Працездатність запропонованої схеми доведена на прикладі роботи експериментальної установки.

**Ключові слова:** централізоване теплопостачання, кількісне регулювання, регресійна лінія, частотний регулятор, зворотний клапан, циркуляційний насос, коефіцієнт кореляції, гідрравлічний режим.

*N. BERDYSHEV, A. ZHADIK*

### **IMPROVEMENT OF EFFICIENCY OF THERMAL NETWORK OPERATION UNDER THERMAL LOAD REGULATION ON THE THERMAL INPUTS OF CONSUMERS**

The regression analysis of the work of three large boiler houses in the city of Mariupol in the heating season 2016–2017 is given. It is shown that there is a sufficient relationship between water consumption and degree-times, that is, regulation at these boiler houses is carried out not only qualitatively but also partially quantitative. At all these boiler-houses in the transition period (March), the consumption of network water is approximately 15 % less than in winter. An automated small boiler house is proposed in which the constant network pressure is maintained at the expense of frequency regulation of the network and feeder pumps, so that when the heat carrier's consumption changes with a particular customer, the consumption of the network decreases almost without increasing the cost to the rest of the consumers. At the same time, the savings of the released heat at the boiler house is practically equal to the user's saving of heat, which reduced the consumption of coolant. The efficiency of the proposed scheme is proved by the example of the experimental setup. Conclusion: equipping a network pump on small boilers with frequency regulation of the speed of rotation makes it possible to virtually eliminate redistribution of the coolant between neighboring consumers with a reduction in the consumption of an individual consumer and to save not only electric energy but also fuel.

**Key words:** centralized heat supply, quantitative regulation, regression line, frequency controller, check valve, circulation pump, correlation coefficient, hydraulic mode.

#### **Введение**

Как известно, централизованное теплоснабжение в Украине применяет качественное регулирование отпуска теплоты, то есть при изменении наружной температуры изменяется температура теплоносителя при постоянстве его расхода.

Одним из направлений энергосберегающей стратегии Украины до 2035 является повышение эффективности теплоснабжения [1]. Этой проблеме в последнее время посвящено большое количество книг и статей [2–5]. Стремление к снижению теплотребления вызывает необходимость осуществлять регулирование не только на источнике

теплоты (котельная, ТЭЦ), но и у потребителя, у которого в основном используется количественное регулирование [6–8]. Такой вид регулирования на вводах в здание, хорошо зарекомендовавший себя в других странах (где и на источнике используется количественное регулирование), вызывает проблемы в случае качественного регулирования теплоты на источнике. Это привело к использованию для такого случая термина «неустойчивое регулирование» [9]. В этой же статье автор достаточно аргументировано утверждал, что количественное регулирование на вводе отдельного потребителя приводит не к экономии газа, а только к перераспределению тепла – потребление здания с систе-

мой количественного регулирования уменьшается, а потребление соседних зданий (вследствие отсутствия ограничителей расхода – регуляторов постоянства перепада давлений) соответственно увеличивается.

Такие выводы верны при использовании строго качественного регулирования на источнике, но введение элементов количественного регулирования (т.е. переход к качественно-количественному регулированию) позволяет в значительной степени снизить влияние перераспределения теплоты между соседними зданиями, то есть получить реальную экономию топлива на котельной.

В связи с тем, что уже несколько лет, даже при отсутствии систем регулирования у потребителя, подключенная нагрузка котельной не является постоянной (в переходный период некоторые здания в целях экономии подключаются к системе отопления с опозданием в ноябре или отключаются при положительных внешних температурах в марте), на некоторых котельных опытным путем увидели необходимость в уменьшении расхода теплоносителя в переходный период.

## Цель работы

В Украине начинается переход централизованного теплоснабжения от качественного способа регулирования отпуска теплоты к количественному. Это продолжительный процесс, сопровождающийся понижением эффективности работы тепловых сетей. В данной статье рассмотрен малозатратный способ повышения эффективности работы централизованного теплоснабжения с применением частотных регуляторов.

### Анализ и оценка эффективности работы трех крупных котельных г. Мариуполь в декабре 2016 года

Ниже на основе суточных данных работы трех крупных котельных г. Мариуполь в декабре 2016 года, январе и марте 2017 года, представлена динамика изменения расхода теплоносителя в подающем трубопроводе в зависимости от температуры наружного воздуха. Были определены средние значения градусо-суток и расходы сетевой воды за 6 декад зимних месяцев и 3 декады марта. Эти зависимости представлены на рис. 1.

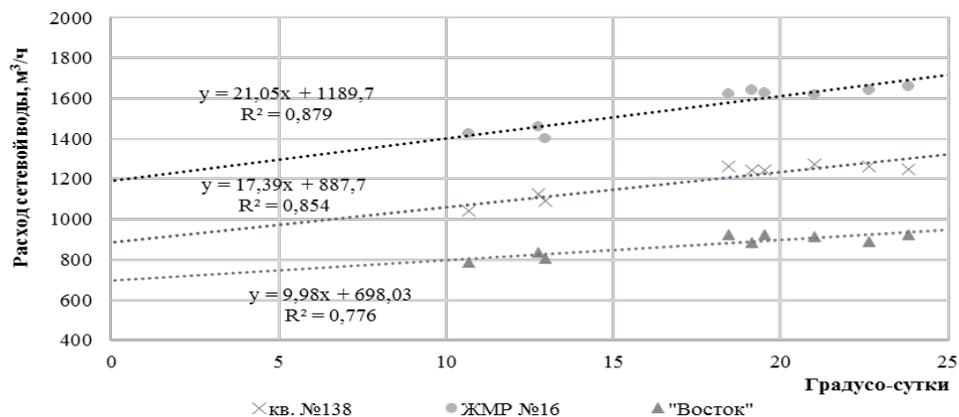


Рис. 1 – Зависимость расхода сетевой воды от градусо-суток (по декадам декабря, января, марта на котельных: кв. № 138, ЖМП № 16, «Восток»)

Анализируя полученные регрессионные линии, особенно коэффициент корреляции  $R^2$ , видим, что есть достаточная взаимосвязь между расходом воды и градусо-сутками. Таким образом, можно сделать вывод, что регулирование на этих котельных осуществляется не только качественным способом, но и частично количественным. На всех этих котельных в переходный период (март) расход сетевой воды примерно на 15 % меньше, чем зимой.

Отметим, что сетевые насосы котельных кв. 138 и ЖМП-16 оснащены устройствами частотного регулирования (ЧР), на котельной «Восток» таких устройств нет. Анализируя значения коэффициентов корреляции  $R^2$ , видим, что на тех котельных, где есть устройства частотного регулирования на сетевых насосах,  $R^2$  на 10–13 % больше, чем на

котельной, где этого устройства нет (0,854, 0,879 против 0,776). Это указывает на то, что вручную трудно осуществить адекватное регулирование расхода сетевой воды.

Понятно, что на котельных, осуществляющих теплоснабжение крупных тепловых районов (при наличии ЦТП и при их отсутствии) при значительной длине тепловых сетей, частотное регулирование сетевых насосов может лишь частично сглаживать изменение расхода у отдельного потребителя (при автоматическом или ручном регулировании на вводе в здание). Но для малых тепловых районов с небольшой протяженностью тепловых сетей частотное регулирование сетевых насосов способно своевременно реагировать на изменение расхода воды у потребителей, позволяя экономить не только электроэнергию, но и топливо.

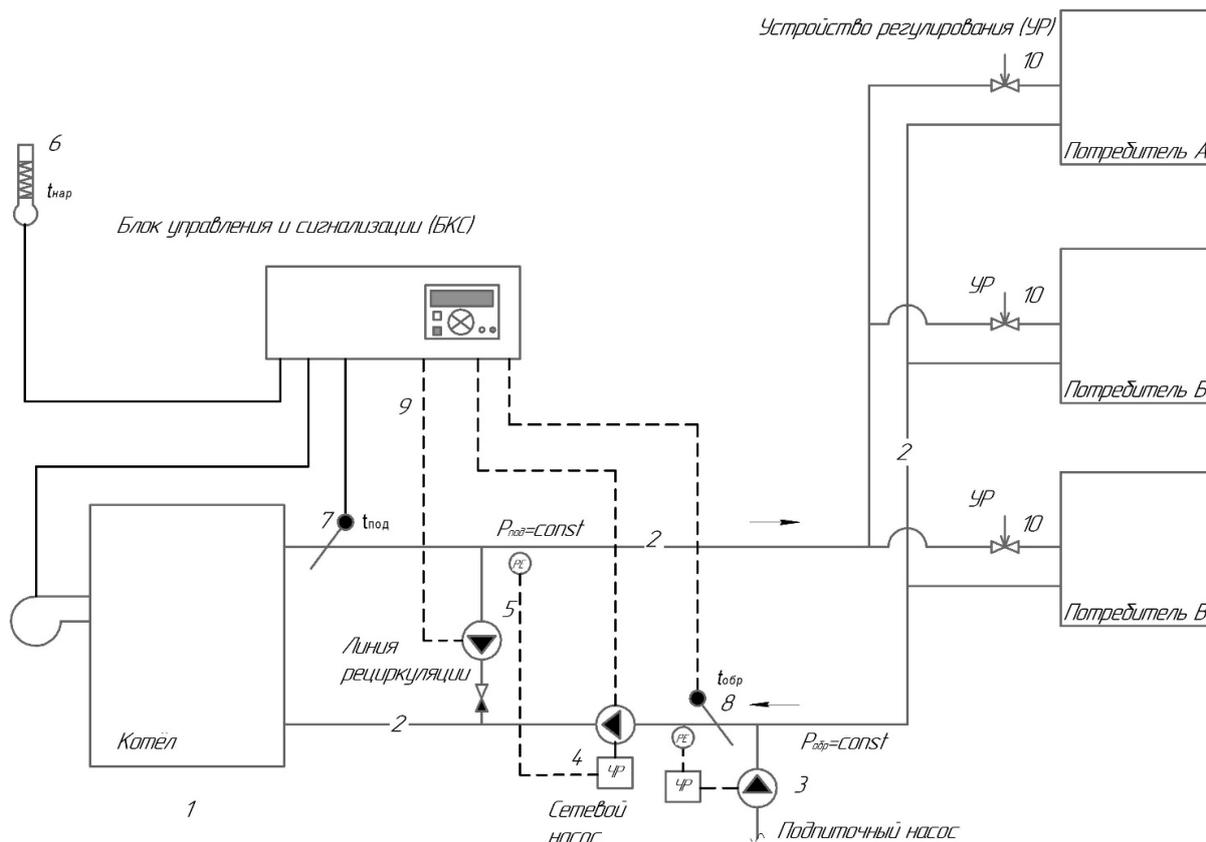


Рис. 2 – Принципиальная схема автоматизированной малой котельной:

1 – котел; 2 – трубопроводы; 3 – подпиточный насос с частотным регулятором; 4 – сетевой насос с частотным регулятором; 5 – линия рециркуляции с насосом; 6 – датчик температуры наружного воздуха; 7 – датчик температуры в подающем трубопроводе; 8 – датчик температуры в обратном трубопроводе; 9 – система автоматики и управления; 10 – устройства регулирования

#### Анализ существующих схем автоматизации малых котельных и предлагаемая схема

Схемы современных малых автоматизированных котельных в их разнообразии представлены в [10]. К недостаткам таких систем относится отсутствие регулирования (уменьшения) расхода сетевой воды с поддержанием устойчивого гидравлического режима при уменьшении расхода у потребителей. В результате происходит перерасход энергоносителей на котельной.

Нами предложена схема автоматизированной котельной [11], которая решает эту проблему и может быть использована в системах отопления жилых и промышленных зданий от малых котельных.

В этой схеме за счет частотного регулирования параметров сетевого и подпиточного насосов поддерживается постоянное давление в сети, уменьшается расход сетевой воды и количество сжигаемого газа при уменьшении расхода воды.

Предложенная схема представлена на рис. 2.

Система теплоснабжения работает следующим образом (рис. 2). Из котла 1 вода поступает в подающий трубопровод теплосети 2. При изменении расхода у потребителя (с помощью устройства ре-

гулирования 10, которым может быть управляемый электронный регулятор или балансировочный клапан) изменяется давление в подающем трубопроводе тепловой сети 2, на что реагирует сетевой насос 4 с помощью частотного регулятора, уменьшая расход теплоносителя в сети. При этом блок управления 9 поддерживает температуру теплоносителя в подающем трубопроводе, корректируя количество топлива, подаваемого на горение в соответствии с температурным графиком работы теплосети. Подпиточный насос с частотным регулятором 3 в автоматическом режиме поддерживает постоянное давление в обратном трубопроводе тепловой сети 2. Линия рециркуляции 5 предназначена для поддержания температуры воды на входе в котел 1.

В такой системе всегда есть устойчивый гидравлический режим, и при изменении расхода теплоносителя у определенного потребителя уменьшается расход в сети практически без повышения расхода у остальных потребителей. При этом экономия отпущенной теплоты (следовательно, и газа) на котельной количественно близка к экономии теплоты у потребителя, который уменьшил расход теплоносителя. К тому же установка частотного регулятора на сетевой насос при уменьшении расхода, как известно, приводит к экономии электроэнергии.

Использование такой схемы целесообразно лишь на малых котельных, так как большая протяженность и разветвленность трубопроводов может влиять на быстродействие и адекватность реагирования частотного регулятора на сетевом насосе.

Предложенная система позволяет потребителям использовать недорогие приборы регулирования, например, балансировочный клапан, что важно для малоэтажных зданий, где финансовая эффективность установки стандартных тепловых пунктов очень низкая. Еще одним преимуществом данной схемы является то, что даже при отсутствии устройств регулирования у потребителей, в случае уменьшения с их стороны расхода теплоносителя в здании с помощью запорной арматуры (что сейчас делается повсеместно), на котельной автоматически уменьшится расход топлива и будет получена реальная экономия.

### Анализ результатов испытаний

Для подтверждения основного положения, рассматриваемого в данной статье (а именно: наличие частотного регулятора на насосе при малой протяженности сети практически устраняет перераспределение теплоносителя между соседними потребителями при уменьшении расхода отдельного потребителя), были проведены эксперименты на установке, изображенной на рис. 3, 4.

Часть экспериментальной установки, задействованная в эксперименте (рис. 4). На описанной установке проведены эксперименты, в которых анализировалась работа системы при изменении расхода теплоносителя у одного потребителя при работе насоса с частотным регулятором и без него. Регулирование расхода осуществлялось путем переключения положения рукоятки балансировочного клапана.

Таким образом, в первой серии экспериментов, выставляя на насосе с частотным регулятором постоянный напор (6, 5, 4, 3 м вод. ст.), меняли положение рукоятки балансировочного клапана у потребителя № 1 со 100 % до 0 % с шагом 20 % и фиксировали показания расходомеров № 1 и № 2, а также электрическую мощность насоса. Результаты представлены на рис. 5. При этом электрическая мощность насоса уменьшается с 37 Вт до 33 Вт при напоре 6 м вод. ст., с 29 Вт до 26 Вт при напоре 5 м вод. ст., с 12 Вт до 11 Вт при напоре 4 м вод. ст., с 9 Вт до 8 Вт при напоре 3 м вод. ст.

Анализируя результаты (рис. 5), можно констатировать постоянство расхода потребителя № 2 при всех напорах, независимо от расхода у потребителя № 1. Это подтверждает основное положение, рассматриваемое в данной статье: наличие частотного регулятора на насосе (с поддержкой постоянного перепада давления) при малой протяженности сети практически устраняет перераспределение теплоносителя между соседними



Рис. 3 – Фото установки «Лабораторный стенд Herz»

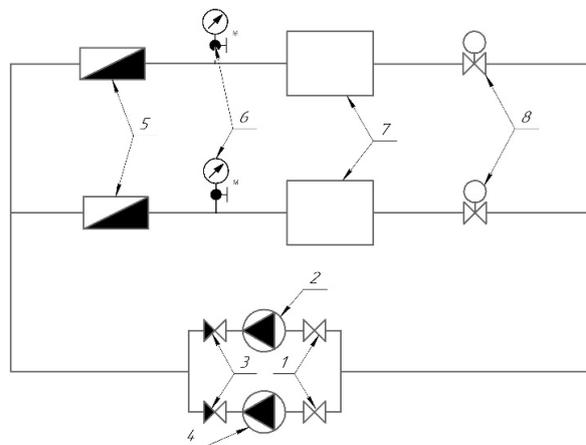


Рис. 4 – Схема установки:

1 – шаровый кран для насосов; 2 – циркуляционный насос; 3 – шаровый кран для насосов с обратным клапаном; 4 – циркуляционный насос с ЧР; 5 – расходомер; 6 – манометр; 7 – отопительный прибор; 8 – балансировочный клапан

потребителями при уменьшении расхода отдельного потребителя – расход насоса уменьшается примерно на такое же значение, то есть частотный регулятор «гасит» нежелательный рост расхода у соседних потребителей.

Для сравнения проведены аналогичные эксперименты при работе насоса без частотного регулятора. Как видно из рис. 6, при каждой из трех скоростей насоса наблюдается рост расхода у потребителя № 2 при уменьшении расхода у потребителя № 1. Это увеличение доходит до 41 %, 43 % и 10 % для 1-й, 2-й и 3-й скоростей соответственно.

Для наглядности на рис. 7 изображено изменение расхода потребителя № 2 при различных значениях расхода потребителя № 1 при работе насоса с частотным регулятором (при напоре 4 м вод. ст.) и без него (при работе на 1-й скорости). Преимущества системы, где насос оснащен частотным регулятором, очевидны.

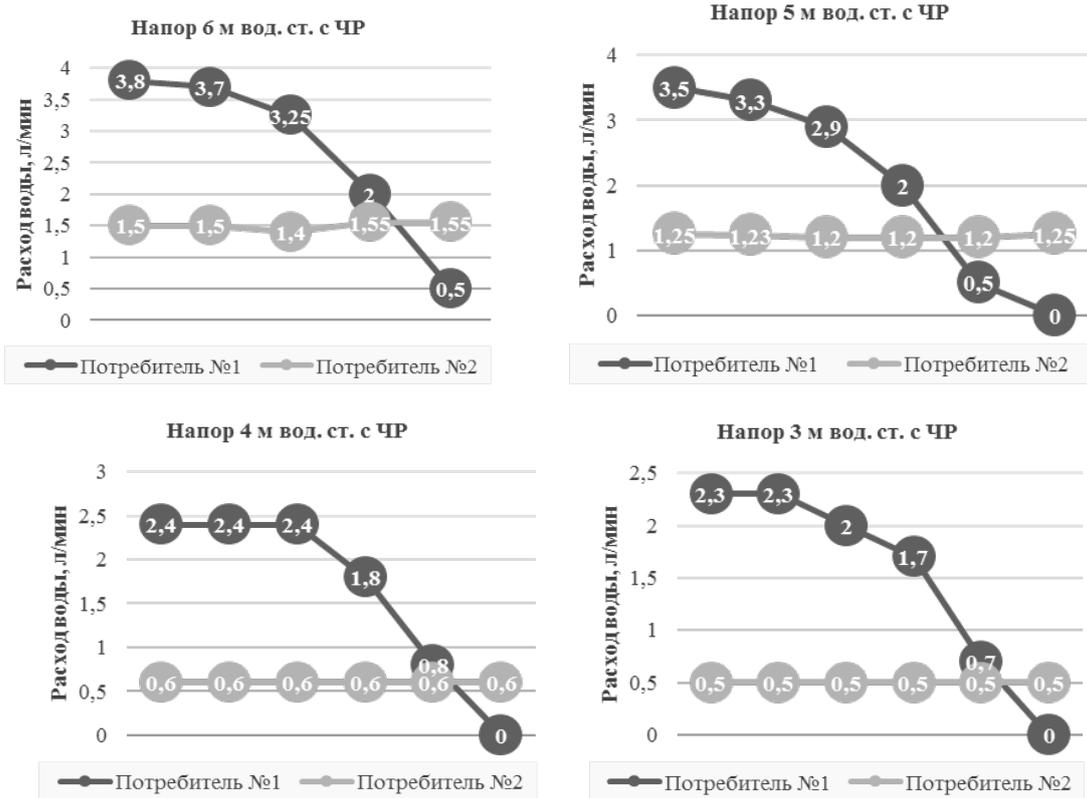


Рис. 5 – Результаты серии экспериментов на насосе с ЧР

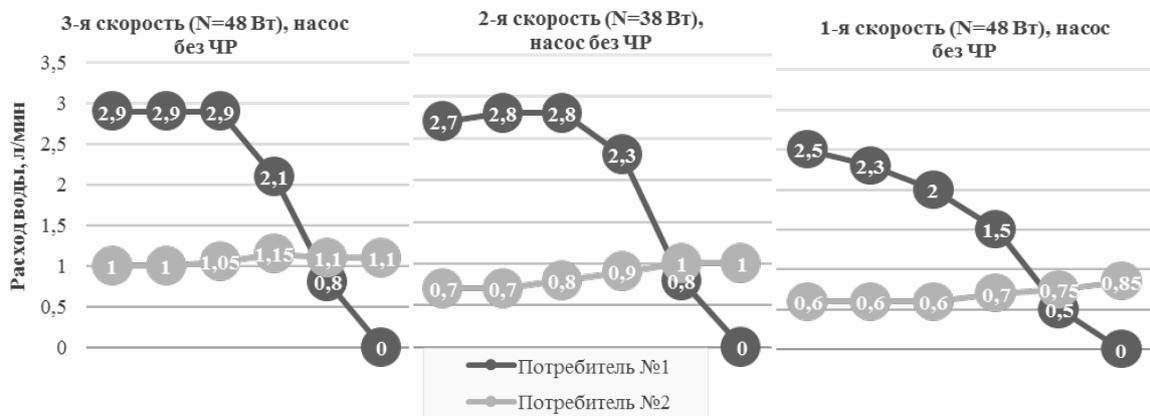


Рис. 6 – Результаты серии экспериментов с насосом без частотного регулятора

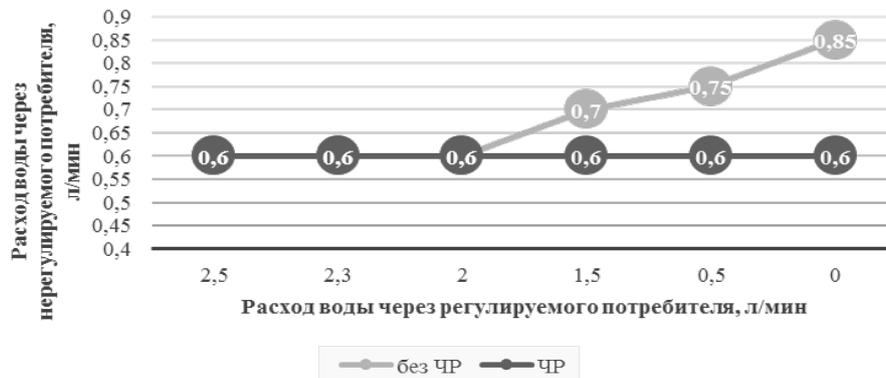


Рис. 7 – Сравнение серии экспериментов на насосе с ЧР и без ЧР (при напоре 4 м вод. ст.)

## Вывод

Оснащение сетевого насоса на малых котельных устройством частотного регулирования скорости вращения позволяет практически устранить перераспределение теплоносителя между соседними потребителями при уменьшении расхода отдельного потребителя и получить экономию не только электрической энергии, но и топлива.

## Список литературы

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. Київ: МЕН, 2017. 53 с.
2. Мальяренко В. А. *Основи теплофізики будівель та енергозбереження: підручник*. Харків: САГА, 2006. 484 с. ISBN 966-2918-04-3.
3. Мальяренко В. А., Орлова Н. А. Анализ критерия энергоэффективности здания и сооружения. *Інтегровані технології та енергозбереження*, 2004. № 2. С. 43–48. ISSN 2078-5364.
4. Дешко В. И., Шовкалюк М. М., Ленкин А. В. Моделирование теплового состояния помещений при измерении режимов параметров отопления. *Промышленная теплотехника*, 2009. Т. 31, № 6. С. 75–80. ISSN 0204-3602.
5. Ганжа А. М., Марченко Н. А., Підкопай В. М. Обгрунтування варіантів реконструкції системи тепlopостачання житлового масиву з використанням математичного моделювання теплових втрат при транспортуванні теплоносія. *Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування*. Харків: НТУ «ХПІ», 2013. № 13(987). С. 104–109. Бібліогр.: 4 назв. ISSN 2078-774X.
6. Пыркoв В. В. *Современные тепловые пункты. Автоматика и регулирование*. Киев: ІІ ДП «Такі справи», 2007. 252 с. ISBN 966-7208-35-4.
7. Покотилов В. В. *Регулирующие клапаны автоматизированных систем тепло- и холодоснабжения*. Вена: Фирма «Herz Armaturen», 2010. 176 с. ISBN 978-966-8977-46-6.
8. Бердишев М. Ю., Жадік А. Ю. Автоматизована мала котельня. *Інтегровані технології та енергозбереження*. 2018. № 2. С. 16–21. ISSN 2078-5364.
9. Гершкович В. Ф. Особенности гидравлически устойчивого регулирования теплового потока у потребителей тепловой сети. *Энергосбережение в зданиях / под ред. Н. Ф. Деминой*. Киев, 2009. №14. С. 10–16. ISSN 2078-5470.
10. Мирончук О. В. *Проектирование и применение жаротрубных стальных котлов Колви*: пособие. Киев: фирма «Eurotherm Technology», 2013. 92 с. ISBN 966-8628-02-0.
11. Пат. КМ 124467 Україна. *Автоматизированная малая котельная*. Опубл. 10.04.2018.

## References (transliterated)

- 1 (2017), *Energetychna strategiya Ukrainy na period do 2035 r* [Energy strategy of Ukraine for the period until 2035], MEV, Kiev, 53 p.
2. Malyarenko V. A. (2006), *Osnovy teplofizyky budiveli ta energozberezhennya: pidruchnyk* [Fundamentals of Thermal Physics of Buildings and Energy Saving: Pi-Writer], SAGA, Kharkov, 484 p. ISBN 966-2918-04-3.
3. Malyarenko V. A. Orlova N. A. (2004), "Analyz kryteryu y energoeffektyvnosti zdanyu y sooruzheniya [Analysis of the energy efficiency criterion of the building and construction]", *Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennya* [Integrated technologies and energy saving], no. 2, pp. 43–48. ISSN 2078-5364.
4. Deshko V. I., Shovkaljuk M. M., Len'kin A. V. (2009), "Modelirovanie teplovogo sostojaniya pomeshhenij pri izmerenii rezhimov parametrov otopleniya [Modeling of the thermal condition of premises when measuring heating parameters]", *Promyshlennaja teplotehnika* [Industrial heat engineering], vol. 31, no. 6. pp. 75–80. ISSN 0204-3602.
5. Ganzha A. N., Marchenko N. A., Pidkopay V. N. (2013), "Obruntuvannja variantiv rekonstrukcii sistemi teplopostachannja zhitlovogo masivu z vikoristannjam matematичного modeljuvannja teplovih vtrat pri transportuvanni teplonosija [Rationale Variant Reconstruction System Supplies Heating Energy Residential Joined Laminated Panels with Using Mathematical Modeling of Heating Energy Losses During Transportation at Coolant]", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 13(987), pp. 104–109, ISSN 2078-774X.
6. Pyrkov V. V. (2007), *Sovremennye teplovyje punkty. Avtomatika i regulirovanie* [Modern heat points], ІІ DP "Taki spravi", Kiev, 252 p. ISBN 966-7208-35-4.
7. Pokotilov V. V. (2010), *Regulirujushhie klapany avtomatizirovannyh sistem teplo- i holodosnabzhenija* [Regulating valves for automated systems of heat and cold supply], Firma "Herz Armaturen", Vena, 176 p. ISBN 978-966-8977-46-6.
8. Berdishev M. Ju., Zhadik A. Ju. (2018), "Avtomatizovana mala kotel'nja [Automated small boiler room]", *Integrovani tehnologiyi ta energozberezhennja* [Integrated technologies and energy saving], no. 2, pp. 16–21. ISSN 2078-5364.
9. Gershkovich V. F. (2009), "Osobennosti gidravlicheski ustojchivogo regulirovanija teplovogo potoka u potrebitelej teplovoj seti [Features of hydraulically stable regulation of heat flow at consumers of the heating network]", *Jenergoberezhzenie v zdaniyah* [Energy saving in buildings], ed. N. F. Deminoj, no. 14, pp. 10–16, ISSN 2078-5470.
10. Mironchuk, O. V. (2013), *Proektirovanie i primenenie zharotrubnyh stal'nyh kotlov Kolvi* [Design and use of fire-tube steel boiler Kolvi], Firma "Eurotherm Technology", Kiev, 92 p. ISBN 966-8628-02-0.
11. Pat. KM 124467 Ukraina. *Avtomatizirovannaja malaja kotel'naja* [Automated small boiler room], Opubl. 10.04.2018.

Поступила (received) 08.10.2018

## Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

**Бердишев Микола Юрійович (Бердышев Николай Юрьевич, Berdyshev Nikolay)** – кандидат технічних наук, Запорізька державна інженерна академія, доцент кафедри теплоенергетики та гідроенергетики; пр. Соборний 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006; e-mail: berdishev@gmail.com.

**Жадік Артем Юрійович (Жадик Артём Юрьевич, Zhadik Artyom)** – спеціаліст, Запорізька державна інженерна академія, аспірант кафедри теплоенергетики та гідроенергетики; пр. Соборний 226, м. Запоріжжя, Україна, 69006; e-mail: artemin108@gmail.com.