

УДК 620.9:644

К ВОПРОСУ ЛОКАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ИМПУЛЬСНО-КОЛЕБЛЮЩЕЙСЯ ЦИРКУЛЯЦИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В СИСТЕМЕ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

TO THE QUESTION OF THE LOCAL ORGANIZATION OF THE PULSE-VIBRATION CIRCULATION OF THE HEAT-SUPPLYER IN THE HEAT SUPPLY SYSTEM

©*Makeev A. H.*,

канд. техн. наук, ORCID: 0000-0001-5356-2144;

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, г. Саранск, Россия, tggi@rambler.ru

©*Makeev A.*,

Ph.D., ORCID: 0000-0001-5356-2144;

Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia, tggi@rambler.ru

Аннотация. В статье рассматривается вопрос организации импульсно–колеблющейся циркуляции теплоносителя на отдельных участках системы теплоснабжения. Актуальность тематики обусловлена целесообразностью использования потенциала импульса количества движения теплоносителя только на ее конкретных элементах. Практическая значимость решения обозначенного вопроса определена необходимостью повышения надежности и энергетической эффективности систем теплоснабжения в условиях перехода на импульсную циркуляцию теплоносителя.

Abstract. The article deals with the organization of pulse–oscillating circulation of coolant in some parts of the heating system. The relevance of the subject is due to the expediency of using the momentum potential of the amount of motion of the coolant only on its specific elements. The practical significance of the solution of the problem is determined by the need to improve the reliability and energy efficiency of heat supply systems in the conditions of transition to the impulse circulation of the coolant.

Ключевые слова: интенсификация теплообмена, импульсная циркуляция теплоносителя, гидравлический удар, гидравлический аккумулятор, обратный клапан.

Keywords: intensification of heat transfer, pulsed circulation of the coolant, hydraulic shock, hydraulic accumulator, non-return valve.

Введение

Исследование влияния колеблющихся потоков на интенсивность теплообменных процессов [1, 2] и эффективность работы отдельных теплоэнергетических устройств является одним из актуальных направлений развития современной науки [3, 4]. На фоне научных изысканий в этой области обновленную тенденцию к развитию получила и система теплоснабжения [5], где потенциал колебательной циркуляции теплоносителя раскрывается еще в большей степени [6]. Попутно с интенсификацией теплообмена в ней делается возможным перераспределение располагаемого напора из одного гидравлического контура в

другой [7], а также обеспечение эффекта самоочищения теплообменного оборудования от накипи [8].

Однако, в условиях перехода к импульсной циркуляции теплоносителя в системе теплоснабжения [9] часто возникает вопрос о необходимости создания импульсно-колеблющейся циркуляции теплоносителя только на отдельных ее участках. Например, целесообразно интенсифицировать теплообменные процессы в тепловом пункте независимой системы теплоснабжения, в то время как в самой тепловой сети, напротив, следует стремиться к уменьшению тепловых потерь, которые может увеличить та же импульсно-колеблющаяся циркуляция теплоносителя. Кроме того, колебания давления и расхода теплоносителя негативно сказываются на надежности многих элементов самой системы теплоснабжения.

Цель и задачи исследования. Цель исследования — показать возможность организации импульсно-колеблющейся циркуляции теплоносителя на участке системы теплоснабжения, где необходимо обеспечить интенсификацию теплообмена и(или) использовать энергию импульса количества движения теплоносителя для трансформации располагаемого напора из одного гидравлического контура в другой. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- выработка технического решения для создания импульсно-колеблющейся циркуляции рабочей среды на локальном участке замкнутого гидравлического контура;
- монтаж экспериментальной установки;
- проведение экспериментальных исследований;
- выработка рекомендаций по использованию полученного технического решения на практике.

Метод исследования

Работа выполнена на базе учебно-научной лаборатории «Импульсные системы тепло- и водоснабжения» ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарева» и представляет собственное научное исследование, содержащее обобщение и разъяснение теоретических данных по теме эффективного использования технологий и средств организации импульсной циркуляции теплоносителя в системе теплоснабжения.

Результаты исследования

Для создания импульсно-колеблющейся циркуляции рабочей среды на локальном участке замкнутого гидравлического контура предлагается использовать техническое решение, приведенное на Рисунке 1.

Схема, представленная на Рисунке 1, работает следующим образом. Насос 1 осуществляет циркуляцию жидкости по замкнутому гидравлическому контуру, в котором установлен пульсатор потока 3 на основе самоподдерживающегося ударного узла [10]. В момент остановки движущегося потока пульсатором 3 циркуляция жидкости в замкнутом гидравлическом контуре прекращается. При этом на участке трубопровода до пульсатора потока 3 возникает положительная волна гидравлического удара, а на участке трубопровода после него – отрицательная волна. В момент открытия проходного сечения пульсатора потока 3 циркуляция жидкости по замкнутому контуру возобновляется и осуществляется до последующего цикла ее прекращения. Таким образом, в условиях самоподдерживающейся работы пульсатора потока 3 в замкнутой гидравлической системе осуществляется импульсно-колеблющаяся циркуляция жидкости.

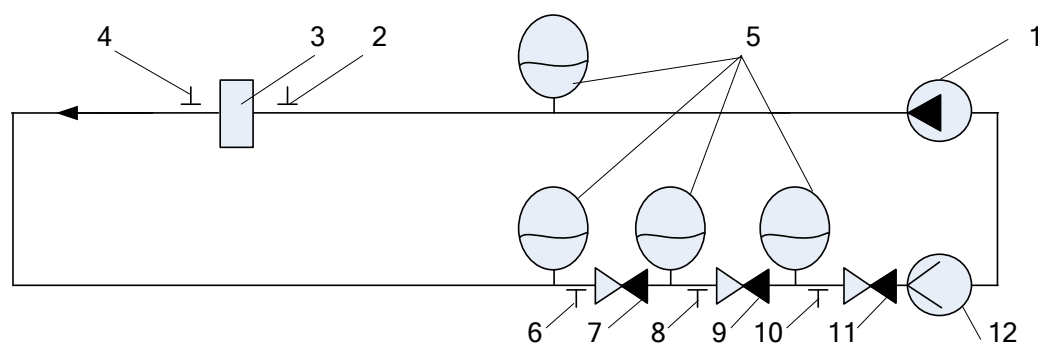


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: 1 – насос; 2 – первый преобразователь давления; 3 – пульсатор потока; 4 – второй преобразователь давления; 5 – гидравлические аккумуляторы; 6 – третий преобразователь давления; 7 – первый обратный клапан; 8 – четвертый преобразователь давления; 9 – второй обратный клапан; 10 – пятый преобразователь давления; 11 – третий обратный клапан; 12 – преобразователь расхода

На входе насоса 1 установлен преобразователь расхода 12, перед которым последовательно через обратные клапаны 7, 9, 11 установлены три гидравлических аккумулятора 5. Четвертый гидравлический аккумулятор 5 установлен на выходе насоса 1. При этом первый преобразователь давления 2 установлен перед пульсатором потока 3, второй преобразователь давления 4 установлен на его выходе. Третий преобразователь давления 6 установлен перед первым обратным клапаном 7, четвертый преобразователь давления 8 установлен перед вторым обратным клапаном 9, а пятый преобразователь давления 10 установлен перед третьим обратным клапаном 11.

Внешний вид фрагмента экспериментальной установки с гидравлическими аккумуляторами и преобразователями давления, последовательно установленными через обратные клапаны, на входе электромагнитного преобразователя расхода, представлен на Рисунке 2.



Рисунок 2 Фрагмент экспериментальной установки

Данная экспериментальная установка собрана из полипропиленовых труб PP-R 25мм с использованием трубопроводных фитингов G1/2 на основе самоподдерживающегося пульсатора потока (на Рисунке 2 не представлен) оппозитной конструкции [11]. Гидравлические аккумуляторы объемом 12 литров каждый, подключены к гидравлической системе через шаровые краны G3/4.

Для исследования пульсаций давлений использованы программно-аппаратный комплекс L-Card и преобразователи давления фирмы ОВЕН с токовым выходом. Оценка расхода жидкости осуществлялась визуально при помощи преобразователя расхода «Мастер Флоу» с цифровой индикацией.

В условиях организации импульсно-колеблющейся циркуляции жидкости с расходом $0,262 \text{ м}^3 / \text{ч}$ при выключенных гидравлических аккумуляторах характер распространения пульсаций в замкнутом гидравлическом контуре имеет вид, представленный на Рисунке **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

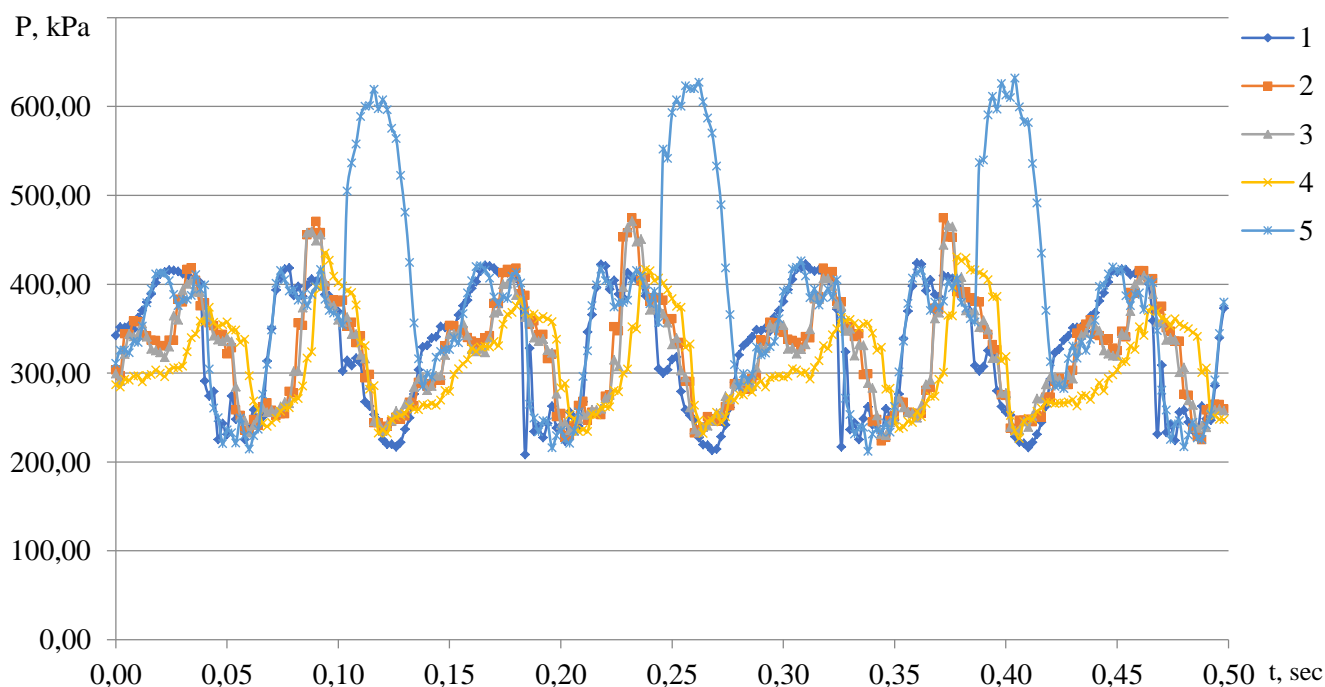


Рисунок 3. Пульсаций давления: 1 – непосредственно за пульсатором потока; 2 – после первого гидравлического аккумулятора; 3 – после второго гидравлического аккумулятора; 4 – после третьего гидравлического аккумулятора; 5 – перед пульсатором потока

Из данного рисунка видно, что пульсации давления присутствуют во всех точках съема экспериментальных данных. По замкнутому гидравлическому контуру эти возмущения передаются со скоростью распространения ударной волны [12, с. 24–26].

Результат исследования распространения пульсаций давлений при включенных гидравлических аккумуляторах, представлен на Рисунке **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

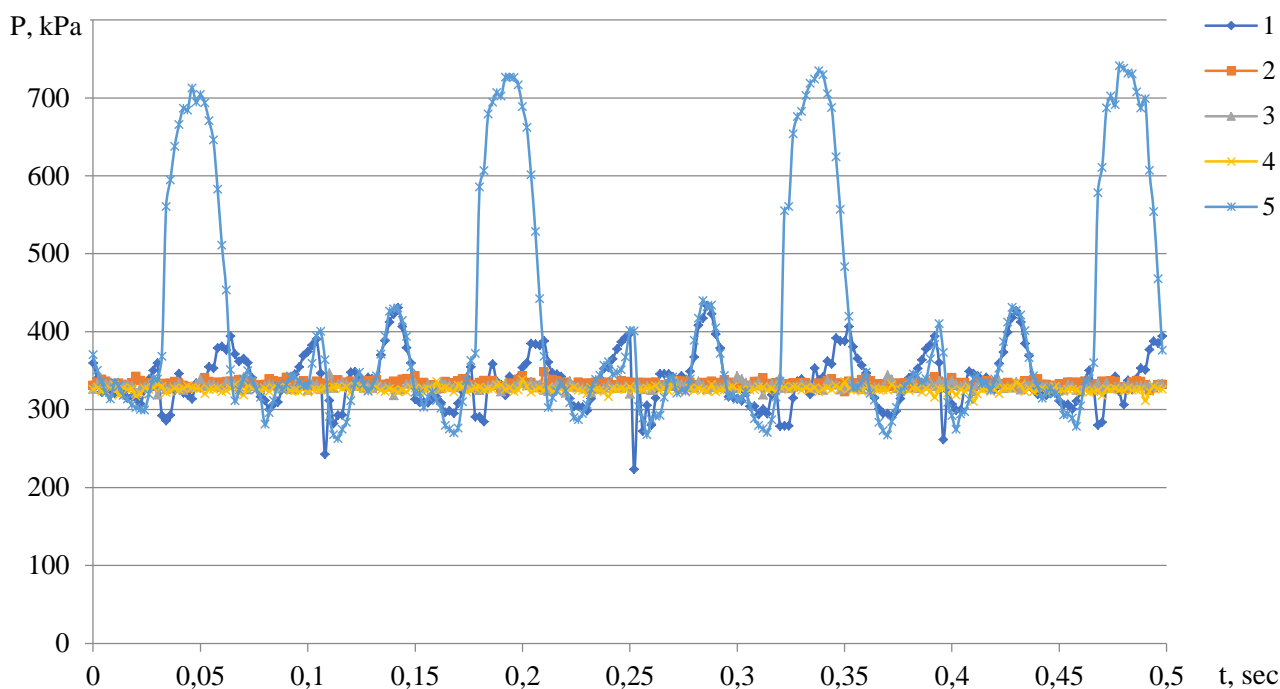


Рисунок 4. Исследование сглаживания пульсаций давления при помощи гидравлических аккумуляторов: 1 – непосредственно за пульсатором потока; 2 – после первого гидравлического аккумулятора; 3 – после второго гидравлического аккумулятора; 4 – после третьего гидравлического аккумулятора; 5 – перед пульсатором потока

Из данного рисунка видно, что периодические пульсации давления жидкости присутствуют перед пульсатором потока (график 5 — положительная волна гидравлического удара) и непосредственно за ним (график 1 — отрицательная волна гидравлического удара). После первого гидравлического аккумулятора, который встречается ударной волне на пути ее движения, пульсации давления сглаживаются (графики 2, 3, 4) практически до стабильного значения.

Выводы

Результаты эксперимента, приведенные на Рисунке 4, показывают, что при выключенных гидравлических аккумуляторах пульсации давления в условиях осуществления импульсно-колеблющейся циркуляции жидкости распространяются от пульсатора потока (источника гидравлического удара) по всему замкнутому гидравлическому контуру. При этом положительная волна гидравлического удара распространяется от входа жидкости в пульсатор к выходу жидкости из насоса, а отрицательная волна — от выхода жидкости из пульсатора к входу насоса.

В том случае, когда гидравлические аккумуляторы сообщены с замкнутым гидравлическим контуром, пульсации давления далее первого гидравлического аккумулятора, который встречается волне гидравлического удара на пути ее распространения от пульсатора, практически не передаются (Рисунок 4). Последующий гидравлический аккумулятор на пути распространения волны гидравлического удара сглаживает остаточные колебания давления и стабилизирует истечение жидкости в трубопроводе. Данное обстоятельство является практическим подтверждением возможности организации импульсно-колеблющейся циркуляции жидкости на выделенном участке замкнутой

гидравлической системы. При этом насос работает при стабильных параметрах давления и расхода жидкости.

Учитывая тот факт, что импульсно-колеблющаяся циркуляция теплоносителя при определенных частотах и амплитудах колебаний способствует интенсификации теплообмена [13], появляется возможность для оптимизации работы отдельных звеньев системы теплоснабжения. Например, интенсификации теплообмена может быть обеспечена в теплогенерирующих установках источника теплоты [14], на тепловых пунктах [15] при независимом подключении абонентов и (или) непосредственно в системе теплопотребления [16] при ее зависимом присоединении к тепловым сетям. Практическая оценка возможности такой локальной интенсификации теплообмена представлена в работах [17, 18].

Что касается возможности трансформации располагаемого напора из одного гидравлического контура в другой, то установка гидравлических аккумуляторов на заданном расстоянии от пульсатора потока позволит получать периодические импульсы количества движения теплоносителя с требуемой энергией. Они могут быть использованы непосредственно для нагнетания самого теплоносителя в зависимую систему теплопотребления под большим располагаемым давлением, чем в тепловой сети [19] или для создания пульсирующей циркуляции нагреваемого теплоносителя в независимой системе теплопотребления [20].

Настоящая статья подготовлена в рамках выполнения Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук МК-1408.2018.8.

This article was prepared as part of the Grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists – candidates of Sciences МК-1408.2018.8.

Список литературы:

1. Пурдин М. С. Исследование особенностей гидродинамики и теплообмена при ламинарном пульсирующем течении в прямоугольных каналах: дис. ... канд. техн. наук. Москва, 2016. 155 с.
2. Ali S., Nabchi C., Menanteau S., Lemenand T., Harion J. L. Heat transfer and mixing enhancement by free elastic flaps oscillation // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2015. Т. 85. С. 250-264. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.01.122.
3. Хайбуллина А. И. Повышение эффективности теплообменных аппаратов наложением на поток в межтрубном пространстве низкочастотных пульсаций: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Казань, 2017. 16 с.
4. Su Y. et al. A study of the enhanced heat transfer of flow-induced vibration of a new type of heat transfer tube bundle – The planar bending elastic tube bundle // Nuclear Engineering and Design. 2016. Т. 309. С. 294-302. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2016.09.012.
5. Макеев А. Н. Импульсная система теплоснабжения общественного здания: дис. ... канд. техн. наук. Саранск, 2010. 153 с.
6. Пат. на изобретение 2423650 Российская Федерация, МПК F24D 3/00. Способ теплоснабжения / А. Н. Макеев, А. П. Левцев; заявители и патентообладатели А. Н. Макеев, А. П. Левцев. №2010112729/03; заявл. 01.04.2010; опубл. 10.07.2011, Бюл. №19.
7. Пат. на полезную модель 88104 Российская Федерация, МПК F24D 3/02. Система отопления (варианты) / А. Н. Макеев, А. П. Левцев, А. А. Лазарев; заявители и

патентообладатели А. Н. Макеев, А. П. Левцев, А. А. Лазарев. №2009126711/22; заявл. 13.07.2009; опубл. 27.10.2009, Бюл. №30.

8. Погребняк А.П., Кокорев В. Л., Кокорев А. Л., Моисеинко И. О., Гультияев А. В., Ефимова Н. Н. О внедрении систем импульсной очистки поверхностей нагрева // Новости теплоснабжения. 2014. №1(161). С. 22–24.

9. Левцев А. П., Макеев А. Н. Импульсные системы тепло- и водоснабжения.. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2015. 172 с.

10. Пат. на полезную модель 128263 Российская Федерация, МПК F15B 21/12. Ударный узел / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Н. Макеев, С. Ф. Кудашев; заявитель и патентообладатель федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева». №2012153602/06; заявл. 11.12.2012; опубл. 20.05.2013, Бюл. №14.

11. Пат. на изобретение 2558740 Российская Федерация, МПК F15B 21/12. Ударный узел / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Н. Макеев, С. И. Храмов, С. Ф. Кудашев, А. М. Зюзин, Я. А. Нарватов; заявитель и патентообладатель НОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИОО». №2014107201/06; заявл. 25.02.2014; опубл. 10.08.2015, Бюл. №22.

12. Овсепян В. М. Гидравлический таран и таранные установки. М.: Машиностроение, 1968. 124 с.

13. Галицейский Б. М., Рыжов Ю. А., Якуш Е. В. Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках. М.: Машиностроение, 1977. 256 с.

14. Патент на изобретение 2647254 Российская Федерация, МПК F24D 3/00. Теплогенерирующая установка / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, А. М. Зюзин, И. Р. Дашкин; заявитель и патентообладатель ЧОУ ДПО «Саранский Дом науки и техники РСНИИОО». №2017104343, заявл. 09.02.2017; опубл. 14.03.2018, Бюл. №8.

15. Макеев А. Н. Тепловые пункты систем теплоснабжения с импульсной циркуляцией теплоносителя // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017. №1 (44). С. 26–47. DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-1-37-47.

16. Макеев А. Н. Теплопотребляющие устройства для систем теплоснабжения с импульсной циркуляцией теплоносителя // Механизация строительства. 2017. №9. С. 11–16.

17. Левцев А. П., Кудашев С. Ф., Макеев А. Н., Лысяков А. И. Влияние импульсного режима течения теплоносителя на коэффициент теплопередачи в пластинчатом теплообменнике системы горячего водоснабжения // Современные проблемы науки и образования. 2014. №2; Режим доступа: <http://www.science-education.ru/116-12664> (дата обращения: 17.03.2018).

18. Левцев А. П., Макеев А. Н., Широков М. С. Оценка влияния импульсного движения теплоносителя на тепловую мощность жидкостного охладителя // Промышленная энергетика. 2017. №9. С. 25–30.

19. Пат. на полезную модель 102760 Российская Федерация, МПК F24D 3/00. Тепловой пункт / С. Ф. Кудашев, А. П. Левцев, А. Н. Макеев; заявитель и патентообладатель гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева». №2010143635/03; заявл. 25.10.2010; опубл. 10.03.2011, Бюл. №7.

20. Пат. на изобретение 2543465 Российская Федерация, МПК F24D 3/00. Тепловой пункт / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Н. Макеев, С. И. Храмов, Я. А. Нарватов; заявитель и патентообладатель А. П. Левцев, А. Н. Макеев, С. Н. Макеев. №2013137717/12; заявл. 12.08.2013; опубл. 27.02.2015, Бюл. №6.

References:

1. Pourdin, M. S. (2016). Investigation of the features of hydrodynamics and heat transfer during laminar pulsating flow in rectangular channels: dis. ... cand. tech. sciences. Moscow, 155.
2. Ali, S., Habchi, C., Menanteau, S., Lemenand, T., & Harion, J. L. (2015). Heat transfer and mixing enhancement by free elastic flaps oscillation. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 85, 250-264.
3. Khaibullina, A. I. (2017). Increasing the efficiency of heat exchangers by superimposing low-frequency pulsations on the flow in the intertube space: dis. ... cand. tech. sciences. Kazan, 16.
4. Su, Y., Li, M., Liu, M., & Ma, G. (2016). A study of the enhanced heat transfer of flow-induced vibration of a new type of heat transfer tube bundle - The planar bending elastic tube bundle. *Nuclear Engineering and Design*, 309, 294-302.
5. Makeev, A. N. (2010). Impulse system of heat supply of a public building: dis. ... cand. tech. sciences. Saransk, 153.
6. Pat. for the invention 2423650 Russian Federation, IPC F24D 3/00. Method of heat supply. A. N. Makeev, A. P. Levitsev; applicants and patent owners A. N. Makeev, A. P. Levitsev. No. 2010112729/03; claimed. 01/04/2010; publ. 07/10/2011, Bul. 19.
7. Pat. for utility model 88104 Russian Federation, IPC F24D 3/02. Heating system (variants). A. N. Makeev, A. P. Levitsev, A. A. Lazarev; applicants and patent owners A. N. Makeev, A. P. Levitsev, A. A. Lazarev. No. 2009126711/22; claimed. 13.07.2009; publ. 27.10.2009, Bul. 30.
8. Pogrebnyak, A. P., Kokorev, V. L., Kokorev, A. L., Moiseenko, I. O., Gulyaev, A. V., & Efimova, N. N. (2014). On the introduction of impulse cleaning systems for heating surfaces. *Heat supply news*, 1 (161). 22-24.
9. Levitsev, A. P., & Makeev A. N. (2015). Pulse systems of heat and water supply. Saransk: Mordov Publishing House. Univ., 172.
10. Pat. for utility model 128263 Russian Federation, IPC F15B 21/12. Percussion knot. A. P. Levitsev, A. N. Makeev, S. N. Makeev, S. F. Kudashev; the applicant and the patent owner of the feder. state. budget. educated. institution of higher education. prof. Education "Mordovian State University. N. P. Ogarev." №2012153602/06; claimed. 11/12/2012; publ. 05/20/2013, Byul. 14.
11. Pat. on invention 2558740 Russian Federation, IPC F15B 21/12. Percussion knot. A. P. Levitsev, A. N. Makeev, S. N. Makeev, S. I. Khramov, S. F. Kudashev, A. M. Zyuzin, Ya. A. Narvatov; the applicant and the patent holder of the NOU "Saransk House of Science and Technology of the RSNIIP". No. 2014107201/06; claimed. 25.02.2014; publ. August 10, 2015, Bul. 22.
12. Hovsepyan, V. M. (1968). Hydraulic ram and ramming installations. Moscow: Mashinostroenie, 124.
13. Galitsky, B. M., Ryzhov, Yu. A., & Yakush, E. V. (1977). Thermal and hydrodynamic processes in oscillating flows. Moscow: Mechanical Engineering, 256.
14. Patent for invention 2647254 Russian Federation, IPC F24D 3/00. Heat generating installation. A. P. Levitsev, A. N. Makeev, A. M. Zyuzin, I. R. Dashkin; the applicant and the patent holder of the Private Educational Institution "Saransk House of Science and Technology of the RSNIIP". No. 2017104343, filed. 09/02/2017; publ. 03/14/2018, Byul. 8.
15. Makeev, A. N. (2017). Thermal points of heat supply systems with pulsed circulation of heat carrier. *Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical science*, 1 (44). 26-47. DOI:10.21822 / 2073-6185-2017-44-1-37-47.
16. Makeev, A. N. (2017). Heat-consuming devices for heat supply systems with impulse coolant circulation. *Mechanization of construction*, 9. 11-16.

17. Levitsev, A. P., Kudashev, S. F., Makeev, A. N., & Lysyakov, A. I. (2014). Influence of pulsed flow of coolant flow on heat transfer coefficient in plate heat exchanger of hot water supply system. *Modern problems of science and education*, 2; Access mode: <http://www.science-education.ru/116-12664> (date of circulation: 17.03.2018).

18. Levitsev, A. P., Makeev, A. N., & Shirov, M. S. (2017). Estimation of Impulse Motion of a Heat Transfer Medium on the Thermal Capacity of a Liquid Cooler. *Industrial Power Engineering*, 9. 25-30.

19. Pat. for utility model 102760 Russian Federation, IPC F24D 3/00. Thermal station / SF Kudashev, AP Levitsev, AN Makeev; the applicant and the patent owner of the state. educated. institution of higher education. prof. Education "Mordovian State University. N. P. Ogarev. " No. 2010143635/03; claimed. 25.10.2010; publ. 10.03.2011, Bul. 7.

20. Pat. for invention 2543465 Russian Federation, IPC F24D 3/00. Thermal station / A. P. Levitsev, A. N. Makeev, S. N. Makeev, S. I. Khramov, J. A. Narvatov; the applicant and the patent holder AP Levitsev, AN Makeev, SN Makeev. No. 2013137717/12; claimed. 08/12/2013; publ. February 27, 2015, Bul. 6.

*Работа поступила
в редакцию 11.04.2018 г.*

*Принята к публикации
17.04.2018 г.*

Ссылка для цитирования:

Makeev A. N. К вопросу локальной организации импульсно-колеблющейся циркуляции теплоносителя в системе теплоснабжения // Бюллетень науки и практики. 2018. Т. 4. №5. С. 254-262. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/makeev> (дата обращения 15.05.2018).

Cite as (APA):

Makeev, A. (2018). To the question of the local organization of the pulse-vibration circulation of the heat-supplier in the heat supply system. *Bulletin of Science and Practice*, 4(5), 254-262.