

Для цитирования: Макеев А.Н. Оценка надежности и эффективности работы основных конструкций импульсных нагнетателей для использования энергии гидравлического удара. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018; 45 (1): 73-87. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-1-73-87

For citation: Makeev A.N. Evaluation of operational reliability and efficiency of primary designs of pulse superchargers using hydraulic shock energy. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (1): 73-87. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-1-73-87

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК: 621.43.031.3:621.838.4

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-1-73-87

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИМПУЛЬСНЫХ НАГНЕТАТЕЛЕЙ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО УДАРА

Макеев А.Н.

Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва,
430000, Республика Мордовия, г. Саранск, ул. Большевистская, 68, Россия,
e-mail: tggi@rambler.ru

Резюме: Цель. Совершенствование технологии организации и использования импульсной циркуляции теплоносителя, а также изыскание принципиально новых технических решений импульсных нагнетателей для использования энергии локальных гидравлических ударов являются основными задачами в условиях перехода к импульсной циркуляции рабочей среды в эффективных системах тепло- и водоснабжения. Целью исследования являлась оценка известных конструкций импульсных нагнетателей водоподъемных устройств на предмет надежности и эффективности работы в гидравлических системах тепло- и водоснабжения. **Метод.** Аналитически обобщены особенности конструкций импульсных нагнетателей для использования энергии гидравлического удара. Применены методы анализа надежности, эффективности и условий выбора импульсных нагнетателей, применяемых в системах водоснабжения; осуществлен обзор и анализ технических решений конструкций импульсных нагнетателей, применяемых в системах теплоснабжения. **Результат.** На основе результатов теоретического анализа конструкций, а также опыта практического применения отдельных технических решений импульсных нагнетателей, определены условия, влияющие на эффективность и надежность их работы в условиях эксплуатации с различными типами систем тепло- и водоснабжения. Результаты анализа конструкций импульсных нагнетателей на основе использования энергии гидравлического удара, применяемых в системах водоснабжения, определили два основных варианта их технического исполнения – с диафрагмой и поршнем. Значимыми техническими решениями импульсных нагнетателей для систем теплоснабжения является конструкция, в которой процесс нагнетания может быть реализован совместно с процессом теплообмена. Осуществлена патентная защита полученных результатов интеллектуальной деятельности. **Вывод.** Сформулированы рекомендации по использованию отдельных конструкций импульсных нагнетателей для решения конкретных задач в системах тепло- и водоснабжения. Предложены материалы для изготовления некоторых элементов конструкции импульсных нагнетателей, которые позволят повысить их надежность и энергетическую эффективность.

Статья подготовлена в рамках выполнения договора № 14.Z56.18.1408-МК от 17 января 2018 г. об условиях использования Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-1408.2018.8.

Ключевые слова: система теплоснабжения, тепловая сеть, система теплопотребления, тепловой пункт, независимая схема присоединения тепловой нагрузки, пульсирующая циркуляция теплоносителя

TECHNICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

EVALUATION OF OPERATIONAL RELIABILITY AND EFFICIENCY OF PRIMARY
DESIGNS OF PULSE SUPERCHARGERS USING HYDRAULIC SHOCK ENERGY

Andrey N. Makeev

Ogarev Mordovia State University,
68 I. Bolshevistskaya Str., Saransk 430000, Russia,
e-mail: tggi@rambler.ru

Abstract Objectives. The transition to pulse circulation of the working medium in effective systems of heat and water supply result in a need to improve the technology used to organise pulse coolant circulation, as well as to develop fundamentally new technical solutions for pulse superchargers that use the energy of local hydraulic shocks. The aim of the present study was to evaluate the known designs of pulse superchargers of water-lifting devices in terms of operational reliability and efficiency in hydraulic heat and water supply systems. **Methods.** The design features of pulse superchargers using hydraulic shock energy are analytically generalised. Methods for analysing the reliability, efficiency and conditions for selecting the pulse superchargers used in water supply systems are applied; a review and analysis of technical solutions for pulse supercharger designs used in heat supply systems is carried out. **Results.** Based on the results of the theoretical construction analysis, as well as on the experience in the practical application of individual technical solutions for pulse superchargers, provisions are determined that affect the efficiency and reliability of their operation under the working conditions with various types of heat and water supply systems. The analytical results of the pulse supercharger designs using the hydraulic shock energy applied in water supply systems reveal two main options for their technical execution, namely, a diaphragm or a piston. The significant technical solution for pulse superchargers in heat supply systems is a design in which the injection process can be implemented in conjunction with the heat exchange process. The obtained results of the conducted intellectual activity are provided with patent protection. **Conclusion.** Recommendations on the use of individual pulse supercharger designs for solving specific problems in heat and water supply systems are formulated. Materials are proposed for the manufacture of some elements of the design of pulse superchargers in order to increase their reliability and energy efficiency.

Acknowledgment. The article was prepared as part of the implementation of the contract No. 14.Z56.18.1408-MK dated January 17, 2018 on the conditions for the use of the Grant of the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists MK-1408.2018.8.

Keywords: heat supply system, heat network, heat consumption system, heat supply unit, independent scheme of heat load connection, pulse coolant circulation

Введение. В теории гидротаранных водоподъемных устройств [1-2] понятие импульсного нагнетателя практически не фигурирует. Однако, исследуя техническую сущность работы двухжидкостных гидравлических таранов можно отметить, что без данного устройства процесс обеспечения ими водоснабжения был бы в принципе невозможен.

Дифференцируя импульсный нагнетатель из конструкции двухжидкостного водоподъемного устройства получаем, что данное техническое устройство представляет собой насос диафрагменного, поршневого или иного типа, который используется для обеспечения нагнетания жидкости одного вида за счет использования импульса количества движения жидкости второго вида. Данный узел нашел применение и в системах теплоснабжения с импульсной циркуляцией теплоносителя [3]. Являясь составной частью теплового пункта [4], импульсный нагнетатель успешно применяется для трансформации энергии локальных гидравлических ударов теплоносителя из тепловой сети в напор и циркуляцию теплоносителя в местной системе теплоснабжения [5].

В условиях развития технологии по организации и использованию импульсной циркуляции теплоносителя оптимизация существующих конструкций, а также изыскание принципиально новых технических решений импульсных нагнетателей для использования энергии локальных гидравлических ударов [6], становятся ключевыми задачами в условиях перехода к импульсной циркуляции рабочей среды в системах тепло- и водоснабжения для повышения их энергетической эффективности [7]. Качественное решение обозначенных задач практически невозможно без проведения обзора и анализа существующих конструкций импульсных нагнетателей. Именно это обстоятельство и легло в основу настоящей статьи.

Постановка задачи. Цель – провести оценку известных конструкций импульсных нагнетателей водоподъемных устройств на предмет надежности и устойчивости работы для различных условий применения в гидравлических системах тепло- и водоснабжения. При достижении поставленной цели были решены следующие задачи:

- анализ информационных источников по теме научного исследования;
- анализ надежности, эффективности и условий выбора импульсных нагнетателей для применения в системах водоснабжения;
- обзор и анализ технических решений конструкций импульсных нагнетателей для применения в системах теплоснабжения;
- патентная защита полученных результатов интеллектуальной деятельности;
- подведение итогов научного исследования.

Методы исследования. Настоящая статья подготовлена в рамках выполнения договора № 14.Z56.18.1408-МК от 17 января 2018 г. об условиях использования Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-1408.2018.8. Тема научного исследования: «Разработка и исследование теплоэнергетических устройств с колеблющейся поверхностью теплообмена для использования потенциала импульсной циркуляции теплоносителя применительно к интенсификации теплообменных процессов».

Научно-исследовательская работа выполнена на базе учебно-научной лаборатории «Импульсные системы тепло- и водоснабжения» ФГБОУ ВО «МГУ им. Н. П. Огарёва» и представляет собственное научное исследование, содержащее разъяснение теоретических и практических данных по теме эффективного использования технологий и средств организации импульсного движения теплоносителя в системах тепло- и водоснабжения применительно к повышению их энергетической эффективности.

Для конкретизации рассматриваемых вопросов приводятся принципиальные схемы устройств, дается описание их работы. Отдельные технические решения подкреплены патентами Российской Федерации на изобретения и полезные модели.

Обсуждение результатов. Сведения об использовании импульсного нагнетателя диафрагменного типа в составе двухжидкостного водоподъемного устройства приводятся в работе В. Н. Ростовцева [8, с. 26–28]. Там же дается схема данного устройства (рис. 1,а) и краткое описание ее работы. Эскиз подобного импульсного нагнетателя обнаруживается в работе В. М. Овсепяна [9, с. 64] (рис. 1,б). Синтезируя информацию из выше указанных информационных источников можно отметить, что диафрагменный импульсный нагнетатель в составе водоподъемного устройства на основе двухжидкостного гидравлического тарана работает следующим образом (рис. 1).

По питательной трубе 1 поступает рабочая среда, которая истекает через открытый ударный клапан 2. Благодаря тому, что на этой же трубе 1 установлена эластичная диафрагма 3, то при закрытии и последующем открытии ударного клапана 2 она движется вверх и вниз соответственно. В результате этого обратные клапаны входа 4 и выхода 5 нагнетаемой среды обеспечивают ее подачу из всасывающего трубопровода 6 в воздушный колпак 7, а оттуда по нагнетательному трубопроводу 8 к потребителю (на рис. 1 не приведен).

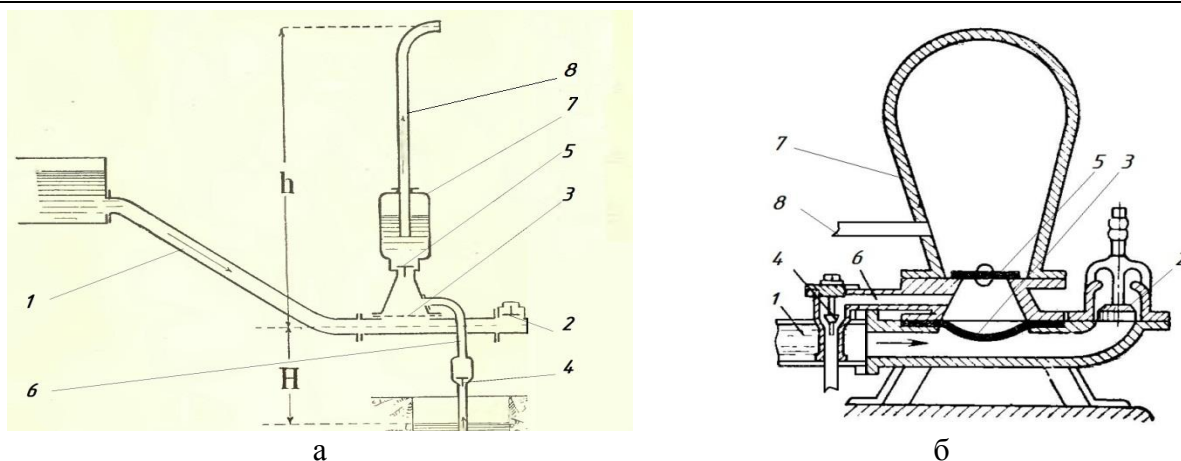


Рис.1. Импульсный нагнетатель с диафрагмой в составе двухжидкостного гидравлического тарана: а – схема; б – эскиз; 1 – питательная труба; 2 – ударный клапан; 3 – эластичная диафрагма; 4 – обратный клапан входа; 5 – обратный клапан выхода; 6 – всасывающий трубопровод; 7 – воздушный колпак; 8 – нагнетательный трубопровод

Fig.1. Pulse supercharger with a diaphragm in the two-fluid hydraulic ram: a - circuit; b - sketch; 1 - feeding tube; 2 - the shock valve; 3 - flexible diaphragm; 4 - check valve of the inlet; 5 - check valve outlet; 6 - suction pipe; 7 - an air cap; 8 - delivery pipeline

В. М. Овсепян отмечает, что диафрагменный нагнетатель при значительных напорах и расходах нагнетаемой среды малоэффективен. Им же дается рекомендация применения данного технического решения для нагнетательного напора до 20 м с расходом не более 0,3 л/сек. Что касается высоких нагнетательных напоров и высоких нагнетательных расходов, то целесообразно использовать конструкцию импульсного нагнетателя, в котором диафрагма заменена поршнем.

В. Н. Ростовцев также указывает на относительную сложность эксплуатации диафрагменного импульсного нагнетателя, отмечает его небольшую высоту всасывания 20–23 фута (6,1–7 м) и предлагает к использованию импульсный нагнетатель с поршнем.

Эскиз дифференциального гидравлического тарана Дюрозуа в импульсном нагнетателе которого, вместо эластичной диафрагмы используется поршень [8, с. 28], приведен на рис. 2.

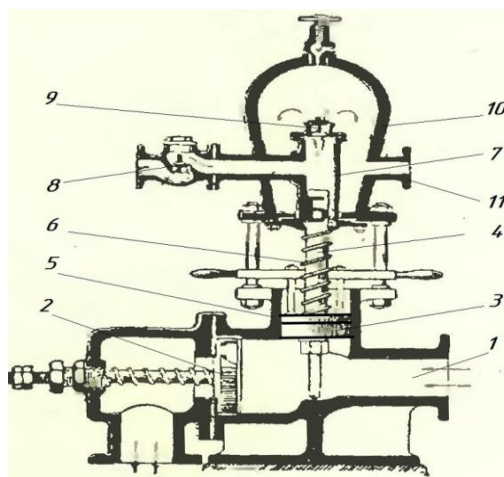


Рис. 2. Импульсный нагнетатель с поршнем в гидравлическом таране Дюрозуа: 1 – питательная труба; 2 – ударный клапан; 3 – поршень; 4 – шток-плунжер; 5 – направляющий цилиндр; 6 – пружина; 7 – стакан; 8 – обратный клапан входа; 9 – обратный клапан выхода; 10 – воздушный колпак; 11 – нагнетательный трубопровод

Fig. 2. Pulse supercharger with a piston in the hydraulic ram Durozua: 1 - feeding tube; 2 - the shock valve; 3 - the piston; 4 - rod-plunger; 5 - the directing cylinder; 6 - a spring; 7 - a glass; 8 - check valve of the inlet; 9 - non-return valve; 10 - an air cap; 11 - delivery pipeline

Поршневой импульсный нагнетатель в составе двухжидкостного гидравлического тарана работает следующим образом. По питательной трубе 1 поступает рабочая среда, которая истекает через открытый ударный клапан 2. При закрытии ударного клапана 2 возникает гидравлический удар, положительная волна распространения которого обеспечивает перемещение поршня 3 и связанного с ним штока-плунжера 4 вверх вдоль направляющего цилиндра 5. При этом пружина 6, установленная на плунжер 4 между поршнем 3 и стаканом 7 сжимается, а сам плунжер 4, перемещаясь внутрь стакана 7, обеспечивает подачу нагнетаемой среды из стакана 7 через обратный клапан выхода 9 в воздушный колпак 10. Далее нагнетаемая среда поступает по нагнетательному трубопроводу 11 к потребителю (на рис. 2 не указан).

При отрицательной волне гидравлического удара ударный клапан 2 открывается, пружина 6 растягивается, поршень 3 перемещается относительно направляющего цилиндра 5 вниз, шток-плунжер 4 обеспечивает всасывание новой порции нагнетаемой среды через обратный клапан входа 8 в стакан 7. Далее процесс повторяется в описанной выше последовательности при каждом закрытии ударного клапана 2.

Такой импульсный нагнетатель с поршнем в составе гидравлического тарана позволяет осуществлять подачу нагнетаемой среды на высоту до 250 раз больше, чем располагаемый напор рабочей среды, истекающей через ударный клапан тарана. Высота всасывания может достигать до 27 футов (8,2 м). Однако, низкая работоспособность рассматриваемого устройства обусловила отсутствие его массового распространения в системах водоснабжения.

Что касается систем теплоснабжения с импульсной циркуляцией теплоносителя, то предпочтительным вариантом конструкции импульсного нагнетателя оказалось его техническое исполнение с диафрагмой (рис. 3). Во многом это связано с относительной простотой изготовления и последующей эксплуатацией устройства [10].

На рис. 3а приведена конструкция такого импульсного нагнетателя с диафрагмой «Тип 30» от пневматической тормозной системы грузовых автомобилей, двумя обратными клапанами на Ду 25 мм, регулировочным штоком и возвратной пружиной. Производительность данного устройства составляет 0,5 л за один полный ход диафрагмы снизу-вверх. При этом, высота нагнетания может достигать 90 м, а высота всасывания за счет установки возвратной пружины – более 10м.



а



б

Рис.3. Опытные образцы импульсных нагнетателей: а– верхняя крышка прототипа устройства; б – заводское исполнение узла

Fig. 3. Experimental samples of impulse blowers: a- the upper cover of the prototype device; b - factory execution of the unit

На рисунке 3б представлена серийная партия импульсных нагнетателей Н50-25, которая была изготовлена ОАО «Рухиммаш» для практического применения в системах тепло- и водоснабжения с импульсной циркуляцией теплоносителя.

Данные устройства были использованы в тепловой схеме источника теплоты Ковылкинского филиала ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва» для организации импульсной циркуляции теплоносителя через водогрейные котлы и пульсирующей циркуляцией нагреваемого теплоносителя через пластинчатые теплообменники системы горячего водоснабжения (рис.4).



Рис.4. Водогрейные котлы с импульсной циркуляцией теплоносителя
Fig. 4. Hot-water boilers with impulse coolant circulation

Практика использования данных устройств показала, что из-за инерционности самой диафрагмы, нагнетательных обратных клапанов входа и выхода, а также из-за присутствующего сопротивления возвратной пружины, возникающая в момент гидравлического удара энергия рабочей среды используется не достаточно полно.

С учетом данного обстоятельства, техническое решение импульсного нагнетателя с диафрагмой, приведенное на рис. 3, претерпело некоторые изменения в части повышения надежности и эффективности работы.

На рис. 5 приведена схема импульсного нагнетателя с диафрагмой, в котором импульс количества движения рабочей среды, движущейся в питательной трубе, используется наиболее полно [11].

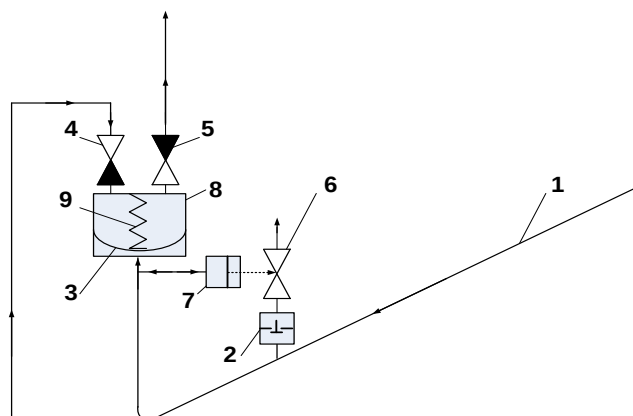


Рис. 5. Импульсный нагнетатель с диафрагмой и возвратной пружиной: 1 – питательная труба; 2 – ударный клапан; 3 – эластичная диафрагма; 4 – обратный клапан входа; 5 – обратный клапан выхода; 6 – вентиль; 7 – сильфон; 8 – нагнетатель; 9 – пружина

Fig. 5. Pulse supercharger with diaphragm and return spring: 1 - feeding tube; 2 - the shock valve; 3 - flexible diaphragm; 4 - check valve of the inlet; 5 - check valve outlet; 6 - the valve; 7 - bellows; 8 - supercharger; 9 - spring

Указанный импульсный нагнетатель в составе водоподъемного устройства на основе гидравлического тарана работает следующим образом. Изначально система заполняется жидкостью до полного удаления воздуха, затем подбирается вес ударного клапана 2 таким образом, чтобы динамическое давление в питательной трубе 1 при установившейся скорости истечения жидкости автоматически закрывало бы его, а под статическим давлением в питательной трубе ударный клапан 2 должен автоматически открываться. Пружина 9 нагнетателя 8 подбирается на статическое давление в питательной трубе из условия, чтобы эластичная диафрагма 3 находилась в своем крайнем нижнем положении.

Сильфон 7 при статическом давлении в питательной трубе 1 должен находиться в положении, при котором клапан 6 полностью открыт, причем жесткость сильфона 7 должна быть не более жесткости пружины 9 нагнетателя 8 для обеспечения приоритета его срабатывания на положительную волну распространения гидравлического удара по отношению к нагнетателю 8.

После настройки водоподъемного устройства осуществляют его запуск путем принудительного (разового) открытия ударного клапана 2, который до начала запуска должен удерживаться закрытым. После этого жидкость в питательной трубе 1 начинает вытекать через ударный узел 1 с нарастающей скоростью в соединенный с ним клапан 6 до тех пор, пока ударный клапан 2 автоматически, под действием динамического давления движущейся жидкости, полностью не закроется. При резкой остановке движущегося потока жидкости возникает гидравлический удар с положительной волной распространения ко входу питательной трубы 1.

Приобретенный в момент разгона импульс количества движения жидкости устремляется одновременно в сильфон 7, который, расширяясь, закрывает клапан 6 и в нагнетатель 8, где, перемещая эластичную диафрагму 3, осуществляет вытеснение нагнетаемой жидкости из нагнетателя 8 через обратный клапан выхода 5 до тех пор, пока энергии импульса будет достаточно для преодоления жесткости пружины 9 и нагнетательного напора. После этого пружина 9, возвращаясь в свое исходное положение, перемещает эластичную диафрагму 3 назад, благодаря чему происходит всасывание нагнетаемой жидкости в нагнетатель 8 через обратный клапан входа 4 и высвобождение рабочего объема нагнетателя 8 для новой порции жидкости из питательной трубы 1. Затем сильфон 7, возвращаясь в исходное положение и вытесняя при этом свой рабочий объем назад в питательную трубу 1, открывает клапан 6 и, тем самым, обеспечивает последующее истечение жидкости через ударный клапан 2. Последний к тому времени, благодаря отрицательной волне гидравлического удара, возникающей с того момента, как положительная волна отразится от входа питательной трубы 1, автоматически оказывается открытым. После этого процесс работы импульсного нагнетателя повторится в описанной выше последовательности.

В том случае, когда присутствует начальный напор нагнетаемой жидкости, больший статического напора жидкости в питательной трубе и требуется лишь усилить его до требуемой величины, то наличие пружины 9 в нагнетателе 8 не обязательно.

В результате использования данного технического решения увеличивается подача нагнетаемой жидкости при сокращении расхода рабочей среды. А за счет того, что ударный клапан совершает меньшее число колебаний в единицу времени при той же подаче нагнетаемой среды, то эластичная диафрагма работает в более мягких условиях и менее склонна к разрыву, поскольку пружина в данном случае выступает в роли демпфера. Таким образом, повышается общая надежность работы всего водоподъемного устройства.

На рис. 6 представлено техническое решение импульсного нагнетателя, в котором реализована возможность автоматической подстройки положения диафрагмы под параметры рабочей среды [12]. Устройство работает следующим образом. Изначально обратный клапан входа 5 нагнетаемой среды и обратный клапан выхода 6 нагнетаемой среды связываются, соответственно с источником и приемником нагнетаемой среды (на рис. 6 не указаны), в качестве которой может выступать жидкость или газ.

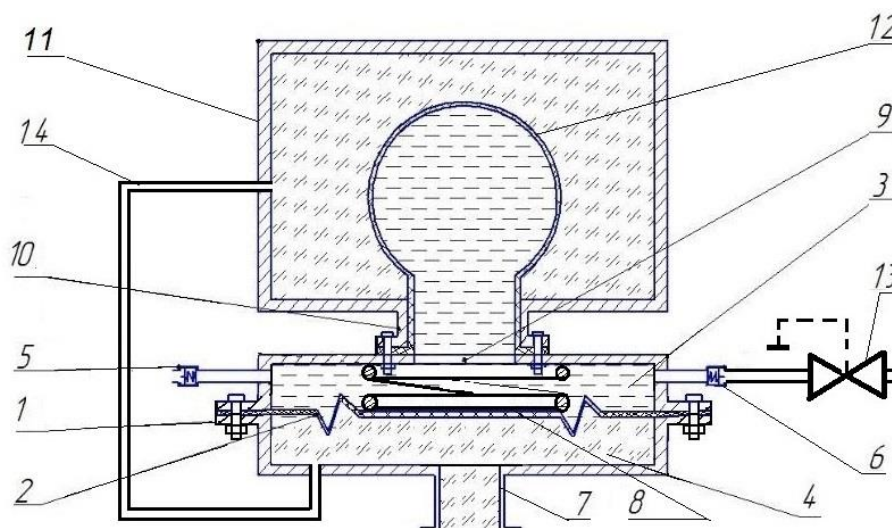


Рис.6. Импульсный нагнетатель с возможностью подстройки положения диафрагм под параметры рабочей среды

Fig. 6. Pulse supercharger with the possibility of adjusting the position of the diaphragms for the parameters of the working medium

Через отверстие для подключения к внешнему трубопроводу 7 вторая полость 4 корпуса 1 импульсного нагнетателя сообщается с трубопроводом импульсно-поперемного давления рабочей среды (на рис. 6 не указан). При этом, за счет капиллярной трубки 14 рабочая среда поступает в полый корпус 11 гидравлического аккумулятора 10, сжимая растянутую давлением нагнетаемой среды эластичную мембрану 12 и вытесняя попавший в систему воздух через автоматический воздухоотводчик, закрепленный в полом корпусе 11 гидравлического аккумулятора 10 (на рис. 6 не указан). При этом, нагнетаемая жидкость (газ), находящаяся внутри эластичной мембраны 12, через добавочное отверстие 9 будет истекать в первую полость 3 корпуса 1, обеспечивая, тем самым, совместно с возвратной пружиной 8, перемещение эластичной диафрагмы 2 в сторону второй полости 4 корпуса 1. Регулятор давления 13 настраивают на поддержание давления нагнетания в первой полости 3 корпуса 1 импульсного нагнетателя не менее статического давления рабочей среды, присутствующего во второй полости 4.

После того, как предварительная настройка устройства закончена, осуществляют подачу импульсно-поперемного давления через отверстие для подключения к внешнему трубопроводу 7. В результате этого эластичная диафрагма 2, гидравлически изолирующая первую 3 и вторую 4 полости корпуса 1 импульсного нагнетателя начинает совершать возвратно-поступательные движения, обеспечивая перекачку нагнетаемой среды через обратные клапаны входа 5 и выхода 6.

Это будет происходить благодаря тому, что под избыточным импульсным давлением рабочей среды во второй полости 4 корпуса 1 импульсного нагнетателя будет происходить ее смещение в первую полость 3 при одновременном вытеснении нагнетаемой жидкости (или газа) через обратный клапан выхода 5 нагнетаемой среды и регулятор давления 13 и, частично, через добавочное отверстие 9 в полость гидравлического аккумулятора 10.

В момент времени, когда избыточное давление во второй полости 4 корпуса 1 импульсного нагнетателя иссякнет, эластичная диафрагма 2, под действием возвратной пружины 8 и избыточного давления, поддерживаемого регулятором давления 13, вернется в исходное нижнее положение, обеспечивая, при этом, всасывание новой порции нагнетаемой жидкости через обратный клапан входа нагнетаемой среды 5. Регулятор давления 13, сохраняя постоянство давления жидкости в первой полости 3 корпуса 1 импульсного нагнетателя, обеспечивает полную цикличность процесса нагнетания путем создания благоприятных

условий для возврата эластичной диафрагмы 2 в исходное нижнее положение возвратной пружиной 8 при относительно большем давлении в первой полости 3, чем давление во второй полости 4. Эта разница давлений возникает при отрицательной волне гидравлического удара в трубопроводе импульсно-попеременного давления (на рис. 6 не указан).

Таким образом, регулируя величину поддерживаемого давления нагнетаемой жидкости в первой полости 3 корпуса 1 импульсного нагнетателя регулятором давления 13, обеспечивается автоматическая настройка работы устройства под различные параметры рабочей и нагнетаемой среды (величина расхода и давления). При этом, максимальная производительность устройства будет обеспечиваться каждый раз при возвращении эластичной диафрагмы 2 в крайнее нижнее положение корпуса 1.

В результате использования данной конструкции импульсного нагнетателя потенциал его назначения в различных областях применения реализуется наиболее полно:

- обеспечивается эргономичная возможность настройки работы устройства под различные параметры нагнетаемой и рабочей среды без его разбора;
- исключается необходимость использования воздуха внутри полого корпуса;
- энергетическая эффективность устройства, определяемая производительностью по нагнетаемой среде, повышается за счет реализации возможности автоматического возврата эластичной диафрагмы в исходное положение, что позволяет наиболее полно каждый раз использовать энергию импульса количества движения рабочей среды.

В некоторых гидравлических системах разрыв диафрагмы не допустим во избежание смешивания жидкостей из контура рабочей среды и контура нагнетаемой среды. Для таких случаев рекомендуется использовать техническое решение импульсного нагнетателя с двумя диафрагмами (рис. 7).

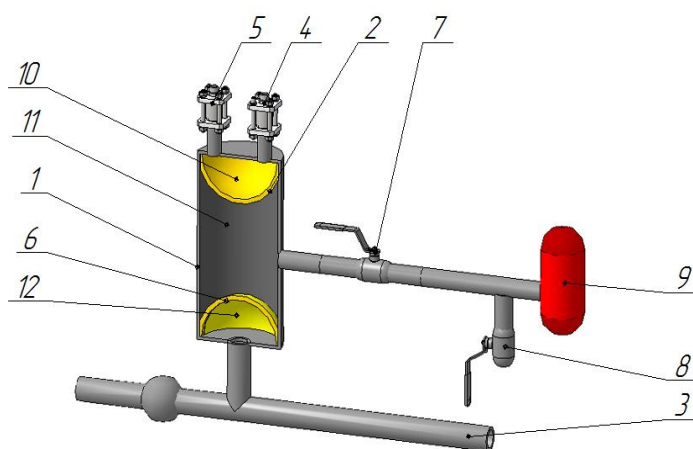


Рис. 7. Импульсный нагнетатель с двойной диафрагмой: 1 – полый корпус; 2 – первая диафрагма; 3 – трубопровод рабочей среды; 4 – обратный клапан входа; 5 – обратный клапан выхода; 6 – вторая диафрагма; 7 – регулировочный вентиль; 8 – кран; 9 – гидравлический аккумулятор; 10 – первая полость; 11 – вторая полость; 12 – третья полость

Fig. 7. Pulse supercharger with double diaphragm: 1 - hollow body; 2 - the first diaphragm; 3 - pipeline of the working medium; 4 - check valve of the inlet; 5 - check valve outlet; 6 - second aperture; 7 - the adjusting valve; 8 - the crane; 9 - the hydraulic accumulator; 10 - the first cavity; 11 - the second cavity; 12 - third cavity

Данный импульсный нагнетатель работает следующим образом [13]. Сначала через кран 8 вторая полость 11 полого корпуса 1 импульсного нагнетателя заполняется некоторой промежуточной жидкостью (например, маслом). Затем в гидроаккумулятор 9 закачивается некоторое количество воздуха. Обратные клапаны входа 4 и выхода 5 связываются с источником и приемником нагнетаемой среды (на рисунке 6 источник и приемник нагнетаемой среды не указаны). Затем по трубопроводу 3 осуществляют подачу рабочей среды (в жидкой

или газообразной фазе), характеризующейся импульсным или пульсирующим изменением в ней давления.

В момент повышения давления в трубопроводе 3 рабочей среды она поступает в третью зону 12 полого корпуса 1 импульсного нагнетателя, растягивая, при этом, диафрагму 6. В результате этого во второй зоне 11 происходит сжатие промежуточной жидкости, которая, демпфируя часть давления в гидроаккумуляторе 9, сжимает диафрагму 2. При этом через обратный клапан выхода 5 происходит вытеснение нагнетаемой среды из первой зоны 10 полого корпуса 1 импульсного нагнетателя.

В момент понижения давления в трубопроводе рабочей среды 3 она покидает третью зону 12 полого корпуса 1 изначально под действием избыточного давления воздуха в гидроаккумуляторе 9, а затем под действием давления высоты всасывания в первой зоне 10 полого корпуса 1, которое обеспечивается возвратной пружиной (на рисунке 7 не указана), установленной в полом корпусе 1 или достаточным входным давлением нагнетаемой среды, поступающей через обратный клапан входа 4 в первую зону 10 полого корпуса 1. Таким образом, нагнетаемая среда через обратный клапан входа 4 поступает в первую зону 10 полого корпуса 1 импульсного нагнетателя.

При последующем повышении и понижении давления в трубопроводе 3 рабочей среды процесс работы импульсного нагнетателя повторится в описанной выше последовательности.

Регулирование производительности импульсного нагнетателя осуществляется за счёт изменения соотношения объема промежуточной жидкости во второй зоне 11 полого корпуса 1 и давления воздуха в гидроаккумуляторе 9, а также посредством регулировочного вентиля 7, при изменении проходного сечения которого изменяется демпфирующая способность гидроаккумулятора 9. Для слива промежуточной жидкости из второй зоны 11 полого корпуса 1 и гидроаккумулятора 9 используется кран 8.

Среди потребительских качеств и конкурентных преимуществ, характеризующих настоящую конструкцию импульсного нагнетателя, следует отметить следующее:

- применение двух диафрагм исключает возможность аварийного смешивания рабочей и нагнетаемой среды, что позволяет применять конструкцию в ответственных схемных решениях, в том числе и в системах с гальванической развязкой контуров;
- относительная простота конструкции определяет низкую себестоимость и незначительные эксплуатационные затраты на обслуживание устройства;
- техническое решение применимо при любых параметрах рабочей и нагнетаемой среды;
- эргономичное регулирование производительности устройства достигается путем изменения давления воздуха в гидроаккумуляторе и/или положением регулировочного вентиля;
- работа устройства возможна как в режиме обеспечения наибольшей производительности по параметру нагнетаемой среды, так и в режиме с наиболее возможным КПД.

Для систем теплоснабжения с импульсной циркуляцией теплоносителя особый интерес могут представлять технические решения импульсных нагнетателей, в которых при перекачке жидкости может быть реализован процесс интенсифицированного теплообмена от пульсирующей циркуляции теплоносителя [14]. Одно из таких схемных решений представлено на рис. 8 [15].

Импульсный нагнетатель сильфонного типа работает следующим образом. Сначала осуществляют настройку жесткости пружины 4 на обеспечение необходимой высоты всасывания нагнетаемой среды, поступающей через обратный клапан 5 входа нагнетаемой среды. При этом сильфон 7 из высокотеплопроводного материала (например, 3-х слойный материал из нержавеющей стали) находится в сжатом состоянии и занимает минимум пространства внутри полого корпуса 3.

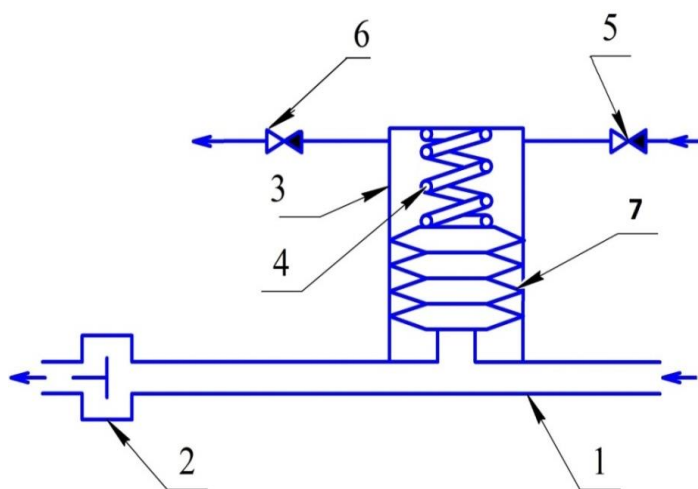


Рис. 8. Импульсный нагнетатель сифонного типа: 1 – трубопровод рабочей среды; 2 – ударный клапан; 3 – пружина; 5– обратный клапан входа; 6 – обратный клапан выхода; 7 – сиффон
Fig. 8. Pulsed supercharger bellows type: 1 - pipeline working medium; 2 - the shock valve; 3 - a spring; 5- Inlet check valve; 6 - check valve outlet; 7 – bellows

Затем осуществляют подачу рабочей среды (например, технической воды) по трубопроводу рабочей среды 1, которая при определенной скорости истечения из ударного клапана 2 автоматически закрывает его [16-17]. В результате этого возникает гидравлический удар.

Положительная волна (избыточное давление) гидравлического удара преодолевает силу сжатия пружины 4, сжимает ее и растягивает сиффон 7, наполняя его рабочей средой. Нагнетаемая жидкость, находящаяся над сиффоном 7 в полном корпусе 3, в результате этого вытесняется через обратный клапан выхода 6.

Открытие ударного клапана 2 происходит автоматически при смене положительной волны гидравлического удара отрицательной и сопровождается исходным сжатием сиффона 7 пружины 4 в полном корпусе 3. После чего процесс повторится в описанной выше последовательности.

С учетом того, что сиффон 7 выполнен из высокотеплопроводного материала, то между рабочей средой и нагнетаемой осуществляется процесс теплопередачи, дополнительно интенсифицируемый импульсным движением поверхности теплообмена.

В результате использования данной конструкции импульсного нагнетателя обеспечивается возможность подачи нагнетаемой среды за счет использования кинетической энергии рабочей среды при попутном осуществлении процесса их теплообмена в интенсифицированном режиме, что позволяет совместить в одной конструкции и нагнетатель и теплообменник. С учетом того, что процесс теплообмена между рабочей и нагнетаемой средами осуществляется в импульсном режиме их движения, то интенсификация теплообмена и самоочищение поверхности теплопередачи [18], достигаемые в этих условиях, определяют преимущества технического решения над конкурентами.

На рис. 9 представлена конструкция импульсного нагнетателя, в которой интенсификация теплообмена реализуется посредством закручивания потока рабочей (греющей) среды относительно поверхности теплообмена. Импульсный нагнетатель-теплообменник работает следующим образом [19]. Рабочая (греющая) среда поступает в первую полость 3 полого корпуса 1 через входной патрубок 5 рабочей среды и покидает его через выходной патрубок 9 рабочей среды, на выходе которого устанавливается ударный узел [20], необходимый для осуществления импульсной подачи нагнетаемой среды (на рис. 9 не указан). Обратные клапаны входа 6 и выхода 7 нагнетаемой среды связываются с источником и приемником нагнетаемой (нагреваемой) среды (на рисунке 9 источник и приемник нагнетаемой (нагреваемой) среды не указаны).

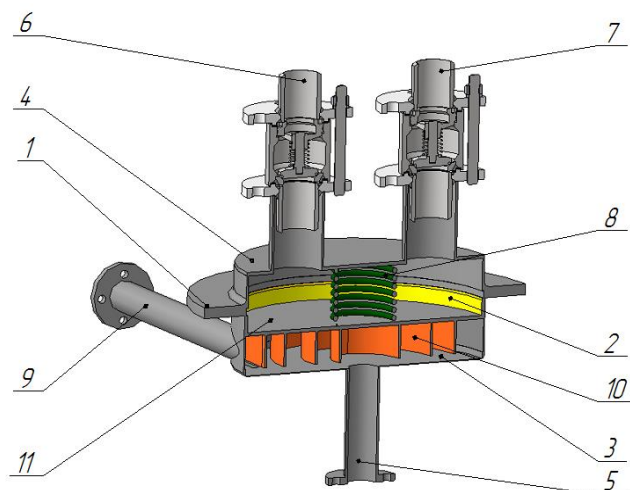


Рис.9. Импульсный нагнетатель с завихрителем потока рабочей среды: 1 – полый корпус; 2 – диафрагма; 3 – первая полость; 4 – вторая полость; 5 – входной патрубок рабочей среды; 6 – обратный клапан входа; 7 – обратный клапан выхода; 8 – пружина; 9 – выходной патрубок рабочей среды; 10 – профилированный канал; 11 – пластина

Fig. 9. Pump supercharger with flow medium swirler: 1 – hollow body; 2 – diaphragm; 3 – the first cavity; 4 – the second cavity; 5 – inlet connection of the working medium; 6 – check valve of the inlet; 7 – check valve outlet; 8 – a spring; 9 – outlet nozzle of the working medium; 10 - profiled channel; 11 – plate

В момент положительной волны гидравлического удара, генерируемого ударным узлом [21], диафрагма 2, преодолевая сопротивление пружины 8, поднимается вверх и вытесняет из второй полости 4 полого корпуса 1 нагнетаемую (нагреваемую) среду через обратный клапан выхода 7. При этом профилированный канал 10 оказывается вскрытым, поскольку пластина 11 из высокотеплопроводного материала поднимается вверх вместе с диафрагмой 2 и рабочая (греющая) среда омывает ее закрученным по спирали потоком. Таким образом, реализуется цикл нагнетания нагреваемой среды при положительной волне гидравлического удара с попутным осуществлением процесса теплопередачи от рабочей (греющей) среды.

В момент отрицательной волны гидравлического удара диафрагма 2 под действием пружины 8 опускается вниз, нагнетаемая (нагреваемая) среда всасывается во вторую полость 3 полого корпуса 1 через обратный клапан входа 6, а дно диафрагмы, выполненное из пластины 11, вновь образует профилированный канал 10 и движение рабочей среды в полом корпусе 1 импульсного нагнетателя-теплообменника формируется по спирали. В этот момент рабочая среда по-прежнему омывает пластину 11 закрученным по спирали потоком.

Таким образом, реализуется цикл нагнетания нагреваемой среды при отрицательной волне гидравлического удара с попутным осуществлением процесса теплопередачи от рабочей (греющей) среды.

При последующем повышении и понижении давления рабочей среды процесс работы импульсного нагнетателя-теплообменника повторится в описанной выше последовательности.

В результате применения данного импульсного нагнетателя-теплообменника обеспечивается интенсифицированный процесс теплообмена между греющей и нагреваемой средами при осуществлении пульсирующей циркуляции нагнетаемой среды. Данное техническое решение включает в себя такие звенья импульсной системы тепло- и водоснабжения как питательная труба, импульсный нагнетатель и теплообменник, поэтому его использование позволит не только повысить энергетическую эффективность звеньев системы теплоснабжения, но и снизить их металлоемкость.

Вывод. Анализ конструкций импульсных нагнетателей на основе использования энергии гидравлического удара, применяемых в системах водоснабжения, позволил

определить два основных варианта их технического исполнения – с диафрагмой и поршнем. Конструкция нагнетательного устройства с диафрагмой получила преимущественное распространение, что во многом связано с относительно низкой надежностью поршневого нагнетателя и сложностью его конструкции.

Для систем теплоснабжения с возможностью организации импульсной и пульсирующей циркуляции теплоносителя на ее отдельных участках предпочтительным вариантом конструкции также оказался импульсный нагнетатель с диафрагмой. Это объясняется относительно простотой конструкции при унификации комплектующих его частей из различных областей техники.

Особо ценными техническими решениями импульсных нагнетателей для систем теплоснабжения является такая их конструкция, в которой процесс нагнетания может быть реализован совместно с процессом теплообмена. Данное обстоятельство позволяет сократить металлоемкость и габаритные размеры теплоэнергетического оборудования, работа которого предусмотрена в импульсном режиме циркуляции теплоносителя [22].

Что касается использования материалов для изготовления импульсных нагнетателей, то необходимо стремиться не только к унификации применяемых деталей, но и обеспечивать высокую энергетическую эффективность устройств. Например, для импульсных нагнетателей-теплообменников, целесообразно использовать в качестве диафрагмы материалы с высокой теплопроводностью и коррозионной стойкостью (металлы или полимеры). Для импульсных нагнетателей, используемых только в качестве перекачивающего устройства, достаточно резины, армированной тканью. При этом, в любом случае следует стремиться к максимальному облегчению веса используемого в качестве диафрагмы материала при повышении его прочности на разрыв.

Это позволит наиболее использовать импульс количества движения рабочей среды применительно к организации максимальной подачи нагнетаемой среды наиболее полно.

Библиографический список:

1. Нефедов Ю.И. О перспективах гидроударной энергетики / Ю.И. Нефедов // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2015, – № 12 (143). – С. 20–25.
2. Саплин Л.А. Сравнительный обзор и оценка российских и зарубежных гидротаранных установок / Л.А. Саплин, О.С. Пташкина-Гирин, О.С. Волкова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2015, – № 3. – С. 40–44.
3. Макеев, А. Н. Импульсная система теплоснабжения общественного здания : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Макеев. – Пенза, 2010. – 20 с.
4. 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. – № 201313717/12 ; заявл. 12.08.2013 ; опубл. 27.02.2015, Бюл. № 6.
5. 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.
6. Levtzev, A. P. Pulsating heat transfer enhancement in the liquid cooling system of power semiconductor converter / A. P. Levtzev, A. N. Makeev, S. F. Kudashv // Indian Journal of Science and Technology. – March 2016. Vol. 9 (11) – P. 1 – 5. DOI : 10.17485/ijst/2016/v9i11/89420 ; URL: [http : // www.indjst.org / index.php / indjst / article / view / 89420 / 68096](http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/89420/68096) (дата обращения: 17.01.2018).
7. Левцев А.П. Импульсные системы тепло- и водоснабжения: монография / А. П. Левцев, А. Н. Макеев; под

- общ.ред. д-ра техн. наук проф. А. П. Левцева. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2015. – 172 с.
8. Утилизация малых падений воды для целей осушения и орошения земель / инженер-технолог В. Н. Ростовцев. – Пг., 1916. – 48 с. : с 23 чертежами в тексте.
9. Овсеян В. М. Гидравлический таран и таранные установки / В. М. Овсеян. – М. : Машиностроение, 1968. – 124 с.
10. Макеев А. Н. Импульсная система теплоснабжения общественного здания : дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Макеев. – Саранск, 2010. – 153 с.
11. Пат. на полезную модель 99553 Российская Федерация, МПК F04F 7/00. Водоподъемное устройство / А. П. Левцев, А. Н. Макеев ; заявитель и патентообладатель гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – № 2010125580/06 ; заявл. 22.06.2010 ; опубл. 20.11.2010, Бюл. № 32.
12. Пат. на полезную модель 159837 Российская Федерация, МПК F04F 7/00, F04B 43/02. Импульсный нагнетатель / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, Я. А. Нарватов, Г. Б. Кенчадзе ; заявитель и патентообладатель федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – № 2015137314/06 ; заявл. 01.09.2015 ; опубл. 20.02.2016, Бюл. № 5.
13. Пат. на полезную модель 168152 Российская Федерация, МПК F24D 3/00, F04B 43/00, F04F 1/00, F04F 7/00. Импульсный нагнетатель / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, А. А. Голянин ; заявитель и патентообладатель федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им.

Н. П. Огарёва». – № 2016115435 ; заявл. 20.04.2016 ; опубл. 19.01.2017, Бюл. № 2.
14. Valueva, E.P. Hydrodynamics and heat transfer in pulsating turbulent pipe flow of a liquid of variable properties / E. P. Valueva // High Temperature. – 2005.– Т. 43. – № 6. С.– 890–899.
15. Пат.на полезную модель 171325 Российская Федерация, МПК F24D 3/00. Импульсный нагнетатель / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, М. С. Широков ; заявитель и патентообладатель федер. гос. бюджет.образоват. учреждение высш. образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – № 2016109486 ; заявл. 16.03.2016 ; опубл. 29.05.2017, Бюл. № 16.
16. 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. Огарёва». – № 2012153602/06 ; заявл. 11.12.2012 ; опубл. 20.05.2013, Бюл. № 14.
17. Пат.на полезную модель 113546 Российская Федерация, МПК F15B 21/12. Ударный узел для газогидравлического устройства (варианты) / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, А. М. Зюзин ; заявитель и патентообладатель НОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИОО». – № 2011141604/06 ; заявл. 13.10.2011 ; опубл. 20.02.2012, Бюл. № 5.
18. Погребняк, А.П. О внедрении систем импульсной очистки поверхностей нагрева / А. П. Погребняк, В. Л.

Кокорев, А. Л. Кокорев, И. О. Моисеинко, А. В. Гультяев, Н. Н. Ефимова // Новости теплоснабжения. – 2014. – №1 (январь). – С. 22–24.
19. Пат.на полезную модель 167942 Российская Федерация, МПК F24D 3/00, F28D 9/04, F04F 7/00. Импульсный нагнетатель – теплообменник / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, А. А. Голянин ; заявитель и патентообладатель федер. гос. бюджет.образоват. учреждение высш. образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – № 2016130474 ; заявл. 25.07.2016 ; опубл. 12.01.2017, Бюл. № 2.
20. Пат.на полезную модель 106329 Российская Федерация, МПК F16K 1/00. Ударный узел для газогидравлического устройства / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, А. М. Зюзин ; заявитель и патентообладатель НОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИОО». – № 2011107008/28 ; заявл. 24.02.2011 ; опубл. 10.07.2011, Бюл. № 19.
21. 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.
22. Макеев, А. Н. Тепловые пункты систем теплоснабжения с импульсной циркуляцией теплоносителя / А. Н. Макеев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2017.– № 1 (44). – С. 26–47. DOI : 10.21822 / 2073 – 6185 – 2017 – 44 – 1 – 37 – 47.

References:

1. Nefedov Yu.I. O perspektivakh gidroudarnoi energetiki. Energoberezhenie. Energetika. Energoaudit. 2015;12(143):20–25. [Nefedov Yu.I. On the prospects of hydroelectric power. Energy saving. Power engineering. Energy audit. 2015;12(143):20–25. (In Russ.)]
2. Saplin L.A., Ptashkina-Girina O.S., Volkova O.S. Sravnitel'nyi obzor i otsenka rossiiskikh i zarubezhnykh gidrotarannykh ustanovok. Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015;3:40–44. [Saplin L.A., Ptashkina-Girina O.S., Volkova O.S. Comparative survey and evaluation of Russian and foreign Hydraulic ram units. Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University. 2015;3:40–44. (In Russ.)]
3. Makeev A.N. Impul'snaya sistema teplosnabzheniya obshchestvennogo zdaniya. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni cand. tekhn. nauk. Saransk; 2010. 20 s.[Makeev A.N. Impulse heating system of a public building. Published summary of PhD of Technical Sciences thesis. Saransk; 2010. 20 p.(In Russ.)]
4. Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev S.N., Khramov S.I., Narvatov Ya.A. Patent RU № 2543465. MPK F24D 3/00. Teplovoy punkt. Opubl. 27.02.2015. Byul. № 6. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev S.N., Khramov S.I., Narvatov Ya.A. Patent RU № 2543465. MPK F24D 3/00. Heat point. Publ. 27.02.2015. Bull. № 6. (In Russ.)]
5. Makeev A.N., Levtshev A.P. Patent RU № 2423650. MPK F24D 3/00. Sposob teplosnabzheniya. Opubl. 10.07.2011. Byul. № 19. [Makeev A.N., Levtshev A.P. Patent RU № 2423650. MPK F24D 3/00. The way of heat supply. Publ. 10.07.2011. Bull. № 19. (In Russ.)]
6. Levtshev A.P., Makeev A.N., Kudashev S.F. Pulsating heat transfer enhancement in the liquid cooling system of power semiconductor converter. Indian Journal of Science and Technology. 2016;9(11):1-5. DOI: 10.17485/ijst/2016/v9i11/89420; URL:

www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/89420/68096 (access date: 17.01.2018)
7. Levtshev A.P., Makeev A.N. Impul'snye sistemy teplo- i vodosnabzheniya. Pod red. Levtsheva A.P. Saransk: Mordovia State University; 2015. 172 s. [Levtshev A.P., Makeev A.N. Pulse systems of heat and water supply. Levtshev A.P. (Ed). Saransk: Mordovia State University; 2015. 172 p. (In Russ.)]
8. Utilizatsiya malykh padenii vody dlya tselei osusheniya i orosheniya zemel'. Inzhener-tekhnolog V. N. Rostovtsev. Pg.: 1916. 48 s. s 23 chertezhami v tekste. [Disposal of small fall water for drainage and irrigation purposes. Engineer-technologist V.N. Rostovtsev. Pg.: 1916. 48 p. with 23 illustrations (In Russ.)]
9. Ovsepyan V. M. Gidravlicheskie taran i tarannye ustanovki. M.: Mashinostroenie; 1968. 124 s. [Ovsepyan V. M. Hydraulic ram and ramming units. M.: Mashinostroenie; 1968. 124 p. (In Russ.)]
10. Makeev A.N. Impul'snaya sistema teplosnabzheniya obshchestvennogo zdaniya. Dissertatsiya na soiskanie uchenoy stepeni cand. tekhn. nauk. Saransk; 2010. 153 s. [Makeev A.N. Impulse heating system of a public building. PhD of Technical Sciences thesis. Saransk; 2010. 153 p. (In Russ.)]
11. Levtshev A.P., Makeev A.N. Patent RU № 99553, MPK F04F 7/00. Vodopod'emnoe ustroystvo. Opubl. 20.11.2010. Byul. № 32 [Levtshev A.P., Makeev A.N. Patent RU № 99553, MPK F04F 7/00. Water lifting device. Publ. 20.11.2010. Bull. № 32 (In Russ.)]
12. Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Kenchadze G.B. Patent RU № 159837, MPK F04F 7/00, F04B 43/02. Impul'sny nagnetatel'. Opubl. 20.02.2016. Byul. № 5. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Kenchadze G.B. Patent RU № 159837, MPK F04F 7/00, F04B 43/02. Pulse supercharger. Publ. 20.02.2016. Bull. № 5. (In Russ.)]
13. Levtshev A.P., Makeev A.N., Golyanin A.A. Patent RU № 168152, MPK F24D 3/00, F04B 43/00, F04F 7/00. Impul'sny nagnetatel'. Opubl. 19.01.2017. Byul. № 2. [Levtshev A.P.,

Makeev A.N., Golyanin A.A. Patent RU № 168152, MPK F24D 3/00, F04B 43/00, F04F 7/00. Pulse supercharger. Publ. 19.01.2017. Bull. № 2. (In Russ.)]

14. Valueva E.P. Hydrodynamics and heat transfer in pulsating turbulent pipe flow of a liquid of variable properties. High Temperature. 2005;43(6):890–899.

15. Levtshev A.P., Makeev A.N., Shirov M.S. Patent RU № 171325, MPK F24D 3/00. Impul'sny magnetatel' . Opubl. 29.05.2017. Byul. № 16. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Shirov M.S. Patent RU № 171325, MPK F24D 3/00. Pulse supercharger. Opubl. 29.05.2017. Byul. № 16. (In Russ.)]

16. Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev S.N., Kudashev S.F. Patent RU № 128263, MPK F15B 21/12. Udarnyi uzel. Opubl. 20.05.2013. Byul. № 14. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev S.N., Kudashev S.F. Patent RU № 128263, MPK F15B 21/12. Impact knot. Publ. 20.05.2013. Bull. № 14. (In Russ.)]

17. Levtshev A.P., Makeev A.N., Zyuzin A.M. Patent RU № 113546, MPK F15B 21/12. Udarnyi uzel dlya gazogidravlicheskogo ustroystva (varianty). Opubl. 20.02.2012. Byul. № 5. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Zyuzin A.M. Patent RU № 113546, MPK F15B 21/12. Impact knot for gas-hydraulic device (variants). Publ. 20.02.2012. Bull. № 5. (In Russ.)]

18. Pogrebnyak A.P., Kokorev V.L., Kokorev A.L., Moiseenko I.O., Gul'tyaev A.V., Efimova N.N. O vnedrenii sistem impul'snoi ochistki poverykhnostei nagreva. Novosti teplosnabzheniya. 2014; 1:22–24. [Pogrebnyak A.P., Kokorev V.L., Kokorev A.L., Moiseenko I.O., Gul'tyaev A.V., Efimova N.N. On the introduction of impulse heating systems for heating surfaces. Novosti teplosnabzheniya. 2014; 1:22–24. (In Russ.)]

19. Levtshev A.P., Makeev A.N., Golyanin A.A. Patent RU № 167942, MPK F24D 3/00, F28D 9/04, F04F 7/00. Impul'sny magnetatel' - teploobmennik . Opubl. 12.01.2017. Byul. № 2. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Golyanin A.A. Patent RU № 167942, MPK F24D 3/00, F28D 9/04, F04F 7/00. Pulse supercharger – heat exchanger. Publ. 12.01.2017. Bull. № 2. (In Russ.)]

20. Levtshev A.P., Makeev A.N., Zyuzin A.M. Patent RU № 106329, MPK F16K 1/00. Udarnyi uzel dlya gazogidravlicheskogo ustroystva. Opubl. 10.07.2011. Byul. № 19. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Zyuzin A.M. Patent RU № 106329, MPK F16K 1/00. Shock unit for a gas-hydraulic device. Publ. 10.07.2011. Bull. № 19. (In Russ.)]

21. Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev S.N., Khramov S.I., Kudashev S.F., Zyuzin A.M., Narvatov Ya.A. Patent RU № 2558740, MPK F15B 21/12. Udarnyi uzel. Opubl. 10.08.2015. Byul. № 22. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev S.N., Khramov S.I., Kudashev S.F., Zyuzin A.M., Narvatov Ya.A. Patent RU № 2558740, MPK F15B 21/12. Impact knot. Publ. 10.08.2015. Bull. № 22. (In Russ.)]

22. Makeev A.N. Teplovye punkty sistem teplosnabzheniya s impul'snoi tsirkulyatsiei teplonositelya. Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. 2017;1(44):26–47. DOI: 10.21822 / 2073 – 6185 – 2017 – 44 – 1 – 37 – 47. [Makeev A.N. Substations of district heating systems with pulse coolant circulation. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017;1(44):26–47. DOI: 10.21822 / 2073 – 6185 – 2017 – 44 – 1 – 37 – 47. (In Russ.)]

Сведения об авторе.

Макеев Андрей Николаевич – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры теплоэнергетических систем, руководитель учебно-научной лаборатории «Импульсные системы тепло- и водоснабжения»

Information about the author.

Andrey N. Makeev – Cand. Sc. (Technical), Assoc. Prof., Doctoral candidate, Department of heat and power systems, Director of Teaching and Research laboratory «Pulsed the system heating and water supply.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 21.01.2018.

Принята в печать 01.03.2018.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 21.01.2018.

Accepted for publication 01.03.2018.