

Для цитирования: Макеев А.Н. Выбор схемы технологического присоединения абонентов к тепловой сети в условиях перехода к импульсной циркуляции теплоносителя в оборудовании тепловых пунктов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44(3):72-82. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-72-82

For citation: Makeev A.N. Selecting the scheme of technological connection of subscribers to the heat network under conditions of transition to pulse circulation of the heater in the equipment of heat supply units. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (3): 72-82. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-3-72-82

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 658.264:621.221

DOI: 10.21822/2073-6185-2017-44-3-72-82

ВЫБОР СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ АБОНЕНТОВ К ТЕПЛОВОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ИМПУЛЬСНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ В ОБОРУДОВАНИИ ТЕПЛОВЫХ ПУНКТОВ

Макеев А.Н.

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

Резюме: Цель – обосновать целесообразность массового перехода на независимое присоединение систем теплоснабжения в условиях организации импульсной циркуляции теплоносителя через оборудование теплового пункта для повышения общей энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения. **Метод.** Исследование основано на методах эффективного использования технологий и средств организации импульсного движения теплоносителя в системе теплоснабжения. Выявлены и обобщены достоинства и недостатки известных технических решений. В качестве устройств, предупреждающих распространение волны гидравлического удара в транспортную магистраль, могут быть использованы гидравлические аккумуляторы или любые другие устройства гашения гидравлического удара. **Результат.** Проведен анализ способов присоединения систем теплоснабжения на предмет оценки энергетической эффективности; определены наиболее действенные способы повышения эффективности работы теплоэнергетических устройств; осуществлен синтез технического решения для технологического присоединения систем теплоснабжения. Доказана целесообразность перехода к независимому присоединению систем теплоснабжения в условиях создания импульсной циркуляции теплоносителя в тепловых пунктах. Показано, что наиболее рационально использовать независимую схему присоединения абонентов к тепловой сети. Определены факторы, сдерживающие массовый переход к независимому присоединению тепловой нагрузки. На основании проведенного анализа и научных изысканий в области повышения энергетической эффективности теплоэнергетических систем выбран переход к импульсной циркуляции теплоносителя в тепловом пункте независимой системы теплоснабжения. Представленные технические решения подкреплены авторскими патентами Российской Федерации на изобретения и полезные модели. **Вывод.** Показано, что применение импульсной циркуляции теплоносителя в оборудовании тепловых пунктов для осуществления независимого подключения систем теплоснабжения позволит увеличить надежность и долгосрочность работы рекуперативного теплообменника, а также повысить общую энергетическую эффективность системы теплоснабжения.

Ключевые слова: система теплоснабжения, тепловая сеть, система теплоснабжения, тепловой пункт, зависимая и независимая схема присоединения тепловой нагрузки

TECHNICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

SELECTING THE SCHEME OF TECHNOLOGICAL CONNECTION OF SUBSCRIBERS
TO THE HEAT NETWORK UNDER CONDITIONS OF TRANSITION TO PULSE CIRCULATION OF THE HEATER IN THE EQUIPMENT OF HEAT SUPPLY UNITS

Andrey N. Makeev

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

Abstract Objectives. The aim is to justify the expediency of a transition en masse to independent connection of heat consumption systems under the conditions of pulse circulation of the coolant through the equipment of a heat supply unit in order to increase the overall energy efficiency of district heat supply systems. **Methods.** The research is based on methodologies for the effective use of technologies providing a means of effecting a pulsed motion of the coolant in the heat supply system. The advantages and disadvantages of known technical solutions are identified and summarised. Hydraulic accumulators or any other devices for damping a hydraulic shock can be used as devices for preventing the propagation of a wave of hydraulic shock into the transport mainline. **Results.** An analysis of approaches to heat consumption system connection is carried out in order to assess power efficiency; the most effective ways for improving the efficiency of heat and power devices are identified; a synthesis of the technical solution for the implementation of a technological connection of heat consumption systems is performed. The expediency of transition to independent connection of heat consumption systems under the conditions of pulse circulation of coolant in heat supply units is demonstrated. The independent scheme of connection of subscribers to the heat network is indicated as the most appropriate. The factors constraining the en masse transition to independent connection of the heat load are determined. Based on the analysis and scientific research in the field of increasing the energy efficiency of heat and power systems, the transition to pulse circulation of the coolant in the heat supply unit of the independent heat consumption system is selected. The presented technical solutions are confirmed by Russian Federation patents of inventions and utility models. **Conclusion.** It is shown that the use of pulse coolant circulation in the equipment of heat supply units for independent connection of heat consumption systems will increase the reliability and long-term operation of the recuperative heat exchanger, as well as increase the overall energy efficiency of the heat supply system.

Keywords: heat supply system, heat network, heat consumption system, heat supply unit, dependent and independent scheme of heat load connection

Введение. В настоящее время присоединение тепловой нагрузки абонентов (отопление, вентиляция, кондиционирование, горячее водоснабжение и проч.) к тепловым сетям осуществляется по двум принципиально различным вариантам – по зависимой или независимой схеме. В первом случае сетевая вода поступает непосредственно в системы теплоснабжения, а во втором она контактирует через теплообменник с другим теплоносителем, который циркулирует в контуре присоединенных абонентов.

Дать однозначный ответ на вопрос, какой способ присоединения систем теплоснабжения лучше, весьма затруднительно. В каждом конкретном случае решение может быть получено только после объемного анализа многочисленных факторов, определяющих условия и режимы эксплуатации тепловой сети и конкретной системы теплоснабжения.

Например, для зданий выше двенадцати этажей, несмотря на значительные эксплуатационные затраты, в основном используется независимая схема, поскольку такое техническое решение позволяет поддерживать более стабильные температурный и гидравлический режимы

как в самой тепловой сети, так и в сети присоединенных абонентов. Что касается небольших предприятий, малоэтажных зданий и всех других случаев, характеризующихся максимальной простотой и дешевизной исполнения технологического присоединения к тепловым сетям, то предпочтение отдается зависимой схеме.

Таким образом, чем больше тепловая нагрузка абонента, тем более оправданы затраты на осуществление подключения и эксплуатацию систем теплоснабжения по независимой схеме.

В условиях поиска путей повышения экономической и энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения вопрос о выборе рационального способа подключения систем теплоснабжения к тепловой сети вновь актуализируется. Свои коррективы вносит способ импульсной циркуляции теплоносителя [1].

Постановка задачи. Цель – обосновать целесообразность массового перехода на независимое подключение систем теплоснабжения к тепловым сетям при условии обеспечения импульсной циркуляции теплоносителя в индивидуальных тепловых пунктах для повышения общей энергетической эффективности систем централизованного теплоснабжения.

В процессе достижения цели были решены следующие задачи:

- анализ способов присоединения систем теплоснабжения на предмет оценки энергетической эффективности;
- анализ наиболее действенных способов повышения эффективности работы теплоэнергетических устройств;
- синтез технического решения для осуществления технологического присоединения систем теплоснабжения с учетом результатов вышеприведенного анализа;
- подведение итогов о целесообразности перехода к независимому присоединению систем теплоснабжения в условиях создания импульсной циркуляции теплоносителя в тепловых пунктах.

Методы исследования. Настоящая работа выполнена на базе учебно-научной лаборатории «Импульсные системы тепло- и водоснабжения» при ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва» и представляет авторское научное исследование, содержащее обобщение и разъяснение теоретических данных по теме эффективного использования технологий и средств организации импульсного движения теплоносителя в системе теплоснабжения. Для конкретизации рассматриваемых вопросов приводятся принципиальные схемы, дается описание их работы.

Представленные технические решения подкреплены авторскими патентами Российской Федерации на изобретения и полезные модели.

Зависимая схема присоединения систем теплоснабжения представлена на рис.1.

В рассматриваемом случае абоненты могут присоединяться к тепловым сетям:

- непосредственно, при совпадении гидравлического и температурного режимов тепловой сети и местной системы (рис.1, объект А);
- через элеватор при необходимости снижения температуры воды в системе теплоснабжения и располагаемом напоре перед элеватором, достаточном для его работы (рис. 1, объект В);
- через смесительные насосы при необходимости снижения температуры воды в системе теплоснабжения и располагаемом напоре, недостаточном для работы элеватора, а также при осуществлении автоматического регулирования системы (рис. 1, объект С).

Указанные варианты характеризуются относительной простотой реализации, дешевизной технологического присоединения и не требуют значительного внимания квалифицированного персонала при эксплуатации.

Рассматривая принцип работы зависимой схемы можно отметить, что она обладает и существенными недостатками.

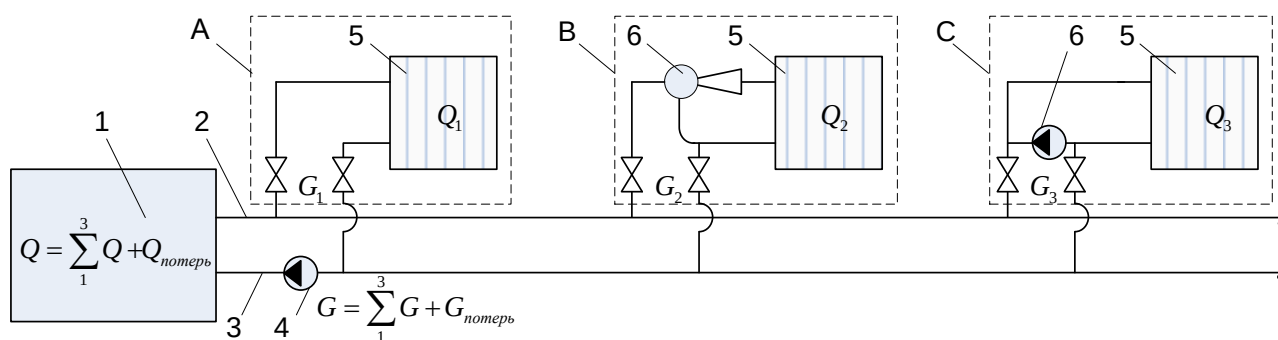


Рис.1. Схема зависимого присоединения тепловой нагрузки к тепловой сети:

А – непосредственное присоединение; В – присоединение через водоструйный элеватор; С – присоединение через смесительный насос; 1 – источник теплоты; 2 – подающий трубопровод тепловой сети; 3 – обратный трубопровод тепловой сети; 4 – сетевой насос; 5 – тепловая нагрузка; 6 – смесительный насос

Fig.1. The scheme of the dependent connection of the thermal load to the heat network:

A - direct connection; B - connection through a water-jet elevator; C - connection through a mixing pump; 1 - source of heat; 2 - the supply pipeline of the heating network; 3 - return pipeline of the heating network; 4 - the network pump; 5 - thermal load; 6 - mixing pump

Следует остановиться на них несколько подробнее.

Во-первых, это жесткая зависимость гидравлического и температурного режимов потребителей тепловой энергии, как между собой, так и с источником теплоты. Например, в том случае, когда в здании А (рис. 1) возникает потребность в корректировке потребления тепловой энергии, то выполнение данного мероприятия путем изменения расхода теплоносителя G_1 через систему теплоснабжения этого же здания, неизбежно приведет к перераспределению расходов теплоносителя G_2 и G_3 соответственно через здания В и С, которые подключены к этой же тепловой сети. То есть, если избыток тепла в здании А при нормальном тепловом режиме зданий В и С устранять за счет уменьшения расхода G_1 , то в зданиях В и С возникнут условия для нарушения их нормального температурного режима.

В свою очередь, стабилизация тепловых режимов зданий В и С путем уменьшения соответствующих расходов G_2 и G_3 неизбежно приведет к увеличению гидравлического сопротивления тепловой сети. В итоге сетевой насос 4, если он не оборудован частотным регулированием по величине поддерживаемого на выходе давления, будет испытывать значительные перегрузки, а его работа будет сопровождаться повышенными затратами электрической энергии на транспорт теплоносителя. Как показывает практика, в некоторых случаях эти затраты могут превышать нормативные в 2 – 3 раза.

Конечно, в зависимой схеме присоединения абонентов применяются свои средства и методы регулирования тепловой нагрузки, например, корректирующие и смесительные насосы, водоструйные элеваторы с изменяемым коэффициентом смешения и т.п. Но как было показано выше, они мало устраняют предпосылки для гидравлической разрегулировки системы теплоснабжения.

Во-вторых, согласно п. 3.2.11 Правил эксплуатации теплоснабжающих установок и тепловых сетей потребителей [2] расчетные шайбы и сопла элеваторов должны пломбироваться. Но если возникает практическая необходимость регулирования параметров теплоносителя у потребителя, а делать это запрещено по условию сохранения работоспособности всей системы теплоснабжения, то это явно свидетельствует о ее неустойчивой и крайне неэффективной работе.

В-третьих, в случае наступления аварийной ситуации на тепловой сети или источнике теплоты, страдают все потребители теплоты. Даже самый незначительный отрезок теплотрассы с изношенным трубопроводом может стать причиной отказа всей системы теплоснабжения.

Таким образом, зависимость теплового и гидравлического режимов потребителей тепла, подключенных по зависимой схеме к тепловой сети, а также относительно низкая надежность такой системы теплоснабжения, обусловленная применением зависимого присоединения абонентов, в условиях политики повышения энергетической эффективности систем энергообеспечения, никак не соответствует требованиям сегодняшнего дня.

Рассматривая принцип работы независимой схемы технологического присоединения систем теплоснабжения (рис.2), прежде всего, следует отметить ее относительную сложность реализации и дороговизну, обусловленную необходимостью применения дополнительного оборудования в виде теплообменника, средств автоматического регулирования режимами теплоснабжения и циркуляционного насоса местной системы теплоснабжения.

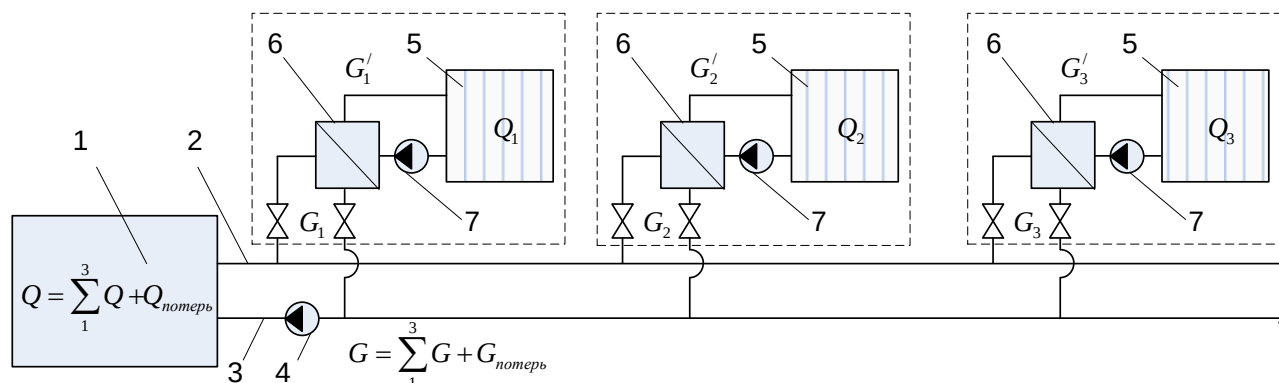


Рис.2. Схема независимого присоединения тепловой нагрузки к тепловой сети:

1 – источник теплоты; 2 – подающий трубопровод тепловой сети; 3 – обратный трубопровод тепловой сети; 4 – сетевой насос; 5 – тепловая нагрузка; 6 – водо-водяной теплообменник; 7 – циркуляционный насос

Fig.2. The scheme of independent connection of the heat load to the heat network:

1 - source of heat; 2 - the supply pipeline of the heating network; 3 - return pipeline of the heating network; 4 - the network pump; 5 - thermal load; 6 - water-to-water heat exchanger; 7 - circulating pump

Однако анализируя принцип работы данной схемы можно отметить, что она обладает значительными преимуществами относительно зависимой схемы.

Во-первых, в тепловой сети отпадает необходимость поддержания значительного располагаемого давления для осуществления циркуляции теплоносителя через присоединенные системы теплоснабжения. Это, как минимум, повышает надежность самих тепловых сетей, снижает утечки сетевой воды и позволяет снизить потребление электрической энергии на осуществление циркуляции теплоносителя.

Во-вторых, поскольку системы теплоснабжения гидравлически развязаны как между собой, так и с тепловой сетью, то изменение гидравлического режима одного здания не влияет на общую гидравлику системы теплоснабжения. Напротив, появляются благоприятные условия для вывода в ремонт необходимого абонента.

В-третьих, при данном подключении каждая система теплоснабжения может быть снабжена собственным автономным источником энергоснабжения [3], который позволит осуществлять резервное теплоснабжение здания в случае аварии на тепловой сети или источнике теплоты. Таким образом, может быть исключен риск веерного отключения присоединенных абонентов, а, следовательно, достигнуто повышение надежности работы системы теплоснабжения.

В-четвертых, регулирование тепловой нагрузки становится не только возможным для каждого здания, но и удобным в случае применения автоматического управления режимами теплоснабжения.

Таким образом, у схемы независимого присоединения потребителей теплоты огромный потенциал, однако раскрыть его на практике не всегда представляется возможным. Дело в том, что теплообменник «тепловая сеть – система теплоснабжения» быстро забивается наки-

пью, шламом и всякого рода отложениями, содержащимися в теплоносителе [4, с. 47]. Данное обстоятельство накладывает обязательство проведения регулярного технического обслуживания теплообменника. Как правило, затраты на промывку и техническое обслуживание теплообменника составляют основную долю в сумме всех эксплуатационных затрат на покрытие тепловой нагрузки абонентов, подключенных по независимой схеме.

В сложившейся ситуации возможным решением указанной проблемы может стать переход к импульсной циркуляции теплоносителя [5] в оборудовании теплового пункта на основе локальных гидравлических ударов [6-7]. Термин «локальные» подразумевает их генерацию и использование только в пределах оборудования теплового пункта. В качестве устройств, предупреждающих распространение волны гидравлического удара в транспортную магистраль, могут быть использованы гидравлические аккумуляторы или любые другие устройства гашения гидравлического удара.

При реализации указанного способа циркуляции теплоносителя в оборудовании теплового пункта может быть получен эффект самоочищения теплообменника. О возможности реализации данного способа позволяют говорить результаты научных исследований, представленные в работах [8-11].

Учитывая влияние колеблющихся потоков на тепловые процессы, можно утверждать, что реализация импульсной циркуляции теплоносителя относительно поверхностей теплообмена будет способствовать интенсификации теплообмена [12-13]. Практическую значимость имеет и тот факт, что импульс количества движения теплоносителя может быть использован для трансформации располагаемого напора из одного гидравлического контура в другой [14]. Схема технического решения для подключения тепловой нагрузки по независимой схеме, в которой реализовано импульсное движение теплоносителя относительно поверхностей нагрева теплообменника, приведена на рис. 3 [15].

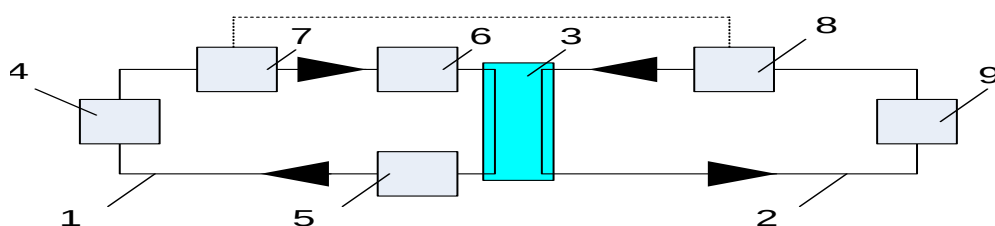


Рис. 3. Схема организации импульсной циркуляции теплоносителя через теплообменник в случае независимого присоединения тепловой нагрузки:

1 – высокотемпературный контур 1; 2 – низкотемпературный контур; 3 – теплообменное устройство; 4 – источник теплоты; 5 – циркулирующее устройство (насос); 6 – устройство торможения (ударный узел); 7 – преобразователь импульса гидравлического удара; 8 – импульсный нагнетатель, механически связанный с преобразователем импульса гидравлического удара 7; 9 – теплопотребляющее устройство

Fig. 3. Scheme of impulse circulation of the heat carrier through the heat exchanger in case of independent connection of the heat load:

1-high-temperature circuit 1; 2 - low-temperature circuit; 3 - heat exchanger; 4 - source of heat; 5 - circulating device (pump); 6 - the braking device (impact unit); 7 - converter of the pulse of hydraulic shock; 8 - pulse supercharger mechanically connected to the hydraulic shock pulse converter 7; 9 - heat-consuming device

Эксплуатацию системы теплоснабжения по предложенному способу осуществляют следующим образом. Изначально осуществляют заполнение системы теплоснабжения по контурам высокотемпературного 1 и низкотемпературного 2 теплоносителей, после чего нагревают высокотемпературный теплоноситель в источнике теплоты 4 и осуществляют его движение циркулирующим устройством 5 через теплообменное устройство 3.

По истечении заданного промежутка времени циркулирующий высокотемпературный теплоноситель принудительно тормозят устройством торможения 6 до момента генерации гидравлического удара высокотемпературного теплоносителя. В качестве устройства торможения

ния могут быть использованы управляемые гидравлические затворы или самоподдерживающиеся ударные узлы [16].

Сгенерированный импульс количества движения высокотемпературного теплоносителя преобразуется в механический импульс посредством преобразователя импульса гидравлического удара 7 и используется в импульсном нагнетателе 8 [17] для создания циркуляции теплоносителя в низкотемпературном контуре 2 через теплообменное устройство 3 и теплопотребляющее устройство 9.

После этого циркуляцию высокотемпературного теплоносителя возобновляют и процесс вновь повторяется в описанной выше последовательности.

На протяжении всего периода эксплуатации по предложенному выше способу циркуляцию высокотемпературного и низкотемпературного теплоносителей осуществляют импульсно, причем скорость циркуляции высокотемпературного и низкотемпературного теплоносителей в своих отдельных контурах, теплоотдачу в них, теплопередачу между ними регулируют изменением частоты и/или амплитуды генерации гидравлического удара высокотемпературного теплоносителя устройством торможения - ударным узлом.

Учитывая тот факт, что приведённое на рис.3 техническое решение работает по принципу гидравлического тарана, то величина расхода нагреваемого теплоносителя g , $\text{м}^3/\text{с}$ в импульсном режиме циркуляции зависит от расхода греющего теплоносителя G , $\text{м}^3/\text{с}$ через устройство торможения и определяется отношением создаваемого располагаемого напора нагреваемого теплоносителя h , м к располагаемому напору греющего теплоносителя H , м . Ориентировочные значения коэффициентов трансформации приведены в таблице 1.

Таблица 1. Значения коэффициентов трансформации
Table 1. Values of transformation ratios

g/G	0,25	0,125	0,083	0,063	0,05	0,042	0,036	0,028	0,025
h/H	2	4	6	8	10	12	14	16	18

В качестве типового решения теплового пункта с импульсной циркуляцией теплоносителя для осуществления независимого подключения тепловой нагрузки может быть использовано техническое решение, представленное в работе [18].

Особенностями указанного способа подключения являются использование в качестве устройства торможения двухпоточного ударного узла [19] для повышения стабильности параметров импульсной циркуляции теплоносителя попеременно через два теплообменника, а также возможность организации корректирующей линии без использования корректирующего насоса [20].

Вывод. Пути повышения надежности и эффективности централизованных систем теплоснабжения неизбежно ведут к переходу на независимое присоединение потребителей тепловой энергии.

До настоящего времени сдерживающими факторами такого перехода являлись стоимость дополнительного оборудования индивидуальных тепловых пунктов и средств его автоматизации, необходимость постоянного обслуживания оборудования высококвалифицированным персоналом, а также техническая сложность обеспечения качественной работы и долгосрочного ресурса теплообменника, который по мере эксплуатации зарастает отложениями и выходит из строя. Именно его рабочее состояние является основополагающим фактором в обеспечении надежности и эффективности работы систем теплоснабжения, присоединенных к тепловой сети по независимой схеме.

Таким образом, получается, что владея технологией, которая обеспечивала бы регенерацию поверхностей теплообмена от накипи, шлама и прочих отложений, развитие систем теплоснабжения с независимым присоединением получило бы новый виток. Между тем, такие технологии сегодня уже существуют и успешно применяются в тепло- [20,21] и даже электроэнергетике [22]. Технологии импульсной циркуляции теплоносителя позволяют не только реализовать самоочищение поверхностей теплообмена, но и использовать другие преимущества. К ним относятся:

– возможность трансформации располагаемого напора тепловой сети в располагаемый напор системы теплоснабжения без использования циркуляционных насосов (или с выводом их в резерв)[23];

– возможность интенсификации теплообмена в теплообменных аппаратах, которая позволит не только уменьшить их массогабаритные параметры, но и обеспечит привлекательный вид индивидуальных тепловых пунктов на основе импульсной технологии в ценовом ряду конкурентоспособного оборудования [24, 25];

– возможность дополнительного подогрева теплоносителя в контуре системы теплоснабжения с применением гидродинамических струйных кавитаторов с минимальными затратами энергии [26- 28].

Таким образом, технологии и средства импульсного теплоснабжения содержат в себе значительные возможности для применения в системах теплоснабжения в целях повышения ее энергетической эффективности. При этом независимая схема подключения абонентов к тепловой сети с применением названной технологии позволяет наиболее полно раскрыть данный потенциал.

Библиографический список:

1. Патент 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.
2. Правила технической эксплуатации тепловых энергоустановок : утв. Приказом МинэнергоРос. Федерации от 24 марта 2003 г. № 115 : ввод в действие с 01.10.03 // Рос.газ. – 2003. – № 184, 6 сент.
3. Патент на полезную модель 87501 Российская Федерация, МПК F24D 11/00. Автономная система отопления для здания автономного пользования / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, А. А. Лазарев; заявитель и патентообладатель гос. образоват. Учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – № 2009113871/22 ; заявл. 13.04.2009 ; опубл. 10.10.2009, Бюл. № 27.
4. Филиппов В.В. Теплообмен в химической технологии. Теория. Основы проектирования: учеб. пособие / В. В. Филиппов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. – 197 с.
5. Макеев, А. Н. Импульсная система теплоснабжения общественного здания : автореф. дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Макеев. – Пенза, 2010. – 20 с.
6. Bakunin, V.V. Optimization of selection and adjustment of hydraulic ram for maximum productivity / V. V. Bakunin // International scientific journal life and ecology. – Sarov, 2014. – No 1. – pp. 71–72.
7. Babushkin, S.V. Air intake and entrapment valve for protection of pressurized piping from hydraulic shock / S. V. Babushkin, V. A. Babin, S. Y. Vorotyagin, A. V. Kurylev, S. V. Chernov // Power Technology and Engineering. – 2014. – Т. 47. – № 6. – pp. 436–439.
8. Погребняк А.П. О внедрении систем импульсной очистки поверхностей нагрева / А. П. Погребняк, В. Л. Кокорев, А. Л. Кокорев, И. О. Моисеинко, А. В. Гулятьев, Н. Н. Ефимова // Новости теплоснабжения. – 2014. – №1. – С. 22–24.
9. Патент на изобретение 2191642 Российская Федерация, МПК B08B9/032. Способ обработки системы отопления здания / Т. В. Жунусова, В. М. Низовкин ; заявители и патентообладатели Т. В. Жунусова, В.М. Низовкин. – № 2000128479/12 ; заявл. 16.11.2000 ; опубл. 27.10.2002, Бюл. 12.
10. Звезгинцев В.И. Опыт создания пневмоимпульсных систем очистки конвективных поверхностей нагрева котельных агрегатов/В. И. Звезгинцев, И. И. Шабанов. – Энергетик, 2009, №1. - с. 21-24.
11. Ahn B. Experimental Study Swirl Injector Dynamic Response Using a Hydromechanical Pulsator / Benjamin Ahn, MaksudIsmailov, Stephen Heister // Journal of Propulsion and Power, Vol. 28, No. 3 (2012), pp. 585–595.
12. Галицкий Б. М. Тепловые и гидродинамические процессы в колеблющихся потоках / Б. М. Галицкий, Ю. А. Рыжов, Е. В. Якуш. – М. :Машиностроение, 1977. – 256 с.
13. 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.
14. Патент 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.
15. Левцев А. П. Импульсные системы тепло- и водоснабжения: монография / А. П. Левцев, А. Н. Макеев; под общ. ред. д-ратехн. Наук проф. А. П. Левцева. – Саранск :Изд-во Мордов. ун-та, 2015. – 172 с.
16. Левцев А. П. Обзор и анализ основных конструкций ударных клапанов для создания гидравлического удара / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, Н. Ф. Макеев, Я. А. Нарватов, А. А. Голянин // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23253> (дата обращения: 28.09.2016).

17. Патент 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.
18. Патент 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.
19. Патент 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 РСНИИО». – № 2011141604/06; заявл. 13.10.2011; опубл. 20.02.2012, Бюл. № 5.
20. Левцев А. П. Корректирующий контур с импульсной циркуляцией теплоносителя в составе теплового пункта системы теплоснабжения / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, Я. А. Нарватов, А. А. Голянин // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–1. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20925> (дата обращения: 28.09.2016).
21. Макеев А. Н. Импульсные системы теплоснабжения общественных зданий / А. Н. Макеев, А. П. Левцев // Региональная архитектура и строительство. – Пенза, 2010. – №2 (9). – С. 45–51.
22. Патент на полезную модель 98060 Российская Федерация, МПК F24D 3/00. Система теплоснабжения / А.П. Левцев, А.Н. Макеев, А.М. Зюзин; заявитель и патентообладатель ННОУ «Саранский Дом науки и техники РСНИИО». – № 2010122249/03; заявл. 31.05.2010 ; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 27.
23. Levitsev A. P. Pulsating heat transfer enhancement in the liquid cooling system of power semiconductor converter / A. P. Levitsev, A. N. Makeev, S. F. Kudashev // 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> (дата обращения: 30.01.2017)
24. Макеев А. Н. Импульсная система теплоснабжения общественного здания: дис. канд. техн. наук / А. Н. Макеев. – Саранск, 2010. – 153 с.
25. Левцев А. П. Влияние импульсного режима течения теплоносителя на коэффициент теплопередачи в пластинчатом теплообменнике системы горячего водоснабжения / А. П. Левцев, С. Ф. Кудашев, А. Н. Макеев, А. И. Лысяков // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №2; URL: <http://www.science-education.ru/116-12664> (дата обращения: 31.01.2017).
26. 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.
27. Патент на полезную модель 99123 Российская Федерация, МПК F24J 3/00. Кавитатор для тепловыделения в жидкости/А. П. Левцев, А. Н. Макеев; заявитель и патентообладатель гос. образоват. Учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва». – № 2010120371/06 ; заявл. 20.05.2010 ; опубл. 10.11.2010, Бюл. № 31.
28. Патент на изобретение 2619665 Российская Федерация, МПК F24J 3/00. Кавитатор для тепловыделения в жидкости / А. П. Левцев, А. Н. Макеев, О. В. Кудашева; заявитель и патентообладатель федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». – № 2015145776 ; заявл. 23.10.2015 ; опубл. 17.05.2017, Бюл. № 14.

References:

1. Makeev A.N., Levitsev A.P. Patent RU № 2423650. MPK F24D 3/00. Sposob teplosnabzheniya. Opubl. 10.07.2011. Byul. № 19. [Makeev A.N., Levitsev A.P. Patent RU № 2423650. MPK F24D 3/00. The way of heat supply. Publ. 10.07.2011. Bull. № 19. (In Russ.)]
2. Pravilatekhnicheskoi ekspluatatsii teplovyykh energoustanovok: utv. prikazom Minenergo RF ot 24 marta 2003 g. № 115: vvod v deystvie 01.10.03. Rossiyskaya Gazeta. 2003; 184, 6 sentyabrya. [Rules of technical operation of heat power systems: affirmed by the Order of Ministry of Energy of Russian Federation from 24 of March 2003 № 115; put into action since 01.10.03. Rossiyskaya Gazeta. 2003; 184, 6 of September. (In Russ.)]
3. Levitsev A.P., Makeev A.N., Lazarev A.A. Patent RF na poleznuyu model' 87501, MPK F24D 11/00. Avtonomnaya sistema otopeniya dlya zdaniya avtonomnogo pol'zovaniya. № 2009113871/22. Zayavl. 13.04.2009. Opubl. 10.10.2009. Byul. № 27. [Levitsev A.P., Makeev A.N., Lazarev A.A. Patent of RF for utility model 87501, MPK F24D 11/00. Autonomous heating system for an autonomous building. № 2009113871/22. Appl. 13.04.2009. Publ. 10.10.2009. Bull. № 27. (In Russ.)]
4. Filippov V.V. Teploobmen v khimicheskoi tekhnologii. Teoriya. Osnovy proektirovaniya: uchebnoe posobie. Samara: Samara State Technical University; 2014. 197 s. [Filippov V.V. Heat transfer in chemical technology. Theory. Basics of design: Tutorial. Samara: Samara State Technical University; 2014. 197 p. (In Russ.)]
5. Makeev A.N. Impul'snaya sistema teplosnabzheniya obshchestvennogo zdaniya. Avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoy stepeni cand. tekhn. nauk. Saransk; 2010. [Makeev A.N. Impulse heating system of a public building. Published summary of PhD of Technical Sciences thesis. Saransk; 2010. (In Russ.)]

6. Bakunin V.V. Optimization of selection and adjustment of hydraulic ram for maximum productivity. International scientific journal life and ecology. 2014;1:71–72.
7. Babushkin S.V., Babin V.A., Vorotyagin S.Y., Kurylev A. V., Chernov S.V. Air intake and entrapment valve for protection of pressurized piping from hydraulic shock. Power Technology and Engineering. 2014;47(6):436–439.
8. Pogrebnnyak A.P., Kokorev V.L., Kokorev A.L., Moiseenko I.O., Gul'tyaev A.V., Efimova N.N. O vnedrenii sistem impul'snoi ochistki poverkhnostei nagreva. Novosti teplosnabzheniya. 2014; 1:22–24. [Pogrebnnyak 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.)]
9. Zhunusova T.V., Nizovkin V.M. Patent RU № 2191642. MPKB08B9/032. Sposob obrabotki sistem yotopleniyazdaniya. Opubl. 27.10.2002, Byul. 12. [Zhunusova T.V., Nizovkin V.M. Patent RU № 2191642. MPKB08B9/032. Method of processing building's heating system. Publ. 27.10.2002, Bull. 12. (In Russ.)]
10. Zvegintsev V.I., Shabanov I. I. Opyt sozdaniya pnevmoimpul'snykh sistem ochistki konvektivnykh poverkhnostei nagreva kotel'nykh agregatov. Energetik; 2009(1):21–24. [Zvegintsev V.I., Shabanov I. I. Experience of creation of pneumoimpulse systems for cleaning convective heating surfaces of boiler units. Energetik; 2009(1):21–24. (In Russ.)]
11. Ahn B., Ismailov M., Heister S. Experimental Study of Swirl Injector Dynamic Response Using a Hydromechanical Pulsator. Journal of Propulsion and Power. 2012; 3:585–595.
12. Galitseyskiy B.M., Ryzhov Yu.A., Yakush E.V. Teplovye i gidrodinamicheskie protsessy v koleblyushchikhsya potokakh. Moscow: Mashinostroenie; 1977. 256 s. [Galitseyskiy B.M., Ryzhov Yu.A., Yakush E.V. Thermal and hydrodynamic processes in oscillating flows. Moscow: Mashinostroenie; 1977. 256 p. (In Russ.)]
13. 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.
14. Makeev A.N., Levtshev A.P., Lazarev A.A. Patent RF na poleznuyu model' 88104, MPK F24D 3/02. Sistema otopeniya (varianty). № 2009126711/22. Zayavl. 13.07.2009. Opubl. 27.10.2009. Byul. № 30. [Makeev A.N., Levtshev A.P., Lazarev A.A. Patent RF for utility model 88104, MPK F24D 3/02. Heating system (options). № 2009126711/22. Appl. 13.07.2009. Publ. 27.10.2009. Bull. № 30. (In Russ.)]
15. Levtshev A.P., Makeev A.N. Impul'snyesistemy teplo- ivodosnabzheniya. Podred. Levtshev A.P. Saransk: Mordovskaya 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.)]
16. Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev N.F., Narvatov Ya.A., Golyanin A.A. Obzor i analiz osnovnykh konstruktivnykh udarnykh klapanov dlya sozdaniya gidravlicheskogo udara. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2015; № 2-2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23253> (data obrashcheniya: 28.09.2016). [Levtshev A.P., Makeev A.N., Makeev N.F., Narvatov Ya.A., Golyanin A.A. Overview and analysis of the basic designs of impact valves for the creation of a hydraulic shock. Modern problems of science and education. 2015; № 2-2. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23253> (access date: 28.09.2016). (In Russ.)]
17. Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Kenchadze G.B. Patent RU № 159837, MPKF04F 7/00, F04B 43/02. Impul'snyy nagnetatel'. Opubl. 20.02.2016. Byul. № 5. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Kenchadze G.B. Patent RU № 159837, MPKF04F 7/00, F04B 43/02. Impulse blower. Publ. 20.02.2016. Bull. № 5. (In Russ.)]
18. 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.)]
19. Levtshev A.P., Makeev A.N., Zyuzin A.M. Patent RU № 113546. MPK F15B 21/12. Udarny 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.)]
20. Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Golyanin A.A. Korrektiruyushchii kontur s impul'snoi tsirkulyatsiei teponositelya v sostave teplovogo punkta sistemy teplosnabzheniya. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya. 2015; 2-1: URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20925> (data obrashcheniya: 28.09.2016). [Levtshev A.P., Makeev A.N., Narvatov Ya.A., Golyanin A.A. Correcting circuit with impulse circulation of heat carrier in the heat point of the heat supply system. Modern problems of science and education. 2015; 2-1: URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=20925> (access date: 28.09.2016). (In Russ.)]
21. Makeev A.N., Levtshev A.P. Impul'snyesistemy teplosnabzheniya obshchestvennykh zdaniy. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2010; 2(9):45–51. [Makeev A.N., Levtshev A.P. Impulse heat supply systems for public buildings. Regional'naya arkhitektura i stroitel'stvo. 2010; 2(9):45–51. (In Russ.)]
22. Levtshev A.P., Makeev A.N., Zyuzin A.M. Patent RF na poleznuyu model' 98060 MPK F24D 3/00. Sistema teplosnabzheniya. № 2010122249/03. Zayavl. 31.05.2010. Opubl. 27.09.2010. Byul. № 27. [Levtshev A.P., Makeev A.N., Zyuzin A.M. Patent RF for utility model 98060 MPK F24D 3/00. Heat supply system. № 2010122249/03. Appl. 31.05.2010. Publ. 27.09.2010. Bull. № 27. (In Russ.)]
23. 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: [http:// www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/89420/68096](http://www.indjst.org/index.php/indjst/article/view/89420/68096) (access date: 30.01.2017)
24. 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. (In Russ.)] 153 p.
25. Levtshev A.P., Kudashev S.F., Makeev A.N., Lysyakov A.I. Vliyanie impul'snogo rezhima techeniya teplonositelya na koeffitsient teploperedachi v plastinchatom teploobmennike sistemy goryachego vodosnabzheniya. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014; 2: URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12664>. (data obrashcheniya: 31.01.2017). [Levtsev A.P., Kudashev S.F., Makeev A.N., Lysyakov A.I. Influence of the pulsed regime of the heat carrier flow on the heat transfer coefficient in the plate heat exchanger of the hot water supply system. *Modern problems of science and education*. 2014; 2: URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=12664>. (access date 31.01.2017) (In Russ.)]
26. Makeev A.N. Teplovypunktsionnaya sistema teplosnabzheniya impul'snoy sirkulyatsiey teplonositelya. *Vestnik Daghestanskogo 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.)]
27. Levtshev A.P., Makeev A.N. Patent RF na poleznuyu model' 99123, MPK F24J 3/00. Kavitor dlya teplovydeleniya v zhidkosti. № 2010120371/06. Zayavl. 20.05.2010. Opubl. 10.11.2010. Byul. № 31. [Levtsev A.P., Makeev A.N. Patent RF for utility model 99123, MPK F24J 3/00. Cavitator for heat generation in a liquid. № 2010120371/06. Appl. 20.05.2010. Publ. 10.11.2010. Bull. № 31. (In Russ.)]
28. Levtshev A.P., Makeev A.N., Kudasheva O.V. Patent RF na izobretenie 2619665, MPK F24J 3/00. Kavitor dlya teplovydeleniya v zhidkosti. № 2015145776. Zayavl. 23.10.2015. Opubl. 17.05.2017. Byul. № 14. [Levtsev A.P., Makeev A.N., Kudasheva O.V. Patent RF for invention 2619665, MPK F24J 3/00. Cavitator for heat generation in a liquid. № 2015145776. Appl. 23.10.2015. Publ. 17.05.2017. Bull. № 14. (In Russ.)]

Сведения об авторе.

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

Information about the author.

Andrey N. Makeev – Cand. Sc.(Technical), assistant professor of 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 29.08.2017.

Принята в печать 20.09.2017.

Conflict of interest.

The author declare no conflict of interest.

Received 29.08.2017.

Accepted for publication 20.09.2017.