

УДК 621.227:697.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТАРАНА В ИНДИВИДУАЛЬНОМ ТЕПЛОМ ПУНКТЕ

Кудашев С.Ф., Кудашева О.В., Душутина О.В., Равилов Р.*ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева», Саранск, e-mail: kudashev@mail.ru*

Рассмотрены возможности систем с импульсной подачей теплоносителя в системе отопления здания, где данный режим организуется при помощи адаптированной конструкции гидравлического тарана. В статье рассматривается возможность практического использования гидравлического тарана в индивидуальном тепловом пункте (ИТП) (замена элеваторного узла на гидравлическую таранную установку). Возможности практического использования связаны как с тепловыми, так и с гидравлическими эффектами, которые можно достигнуть путем перехода к импульсному режиму течения теплоносителя. В работе представлены результаты практического исследования авторами (графики) производительности гидравлического тарана в индивидуальном тепловом пункте в зависимости от величины относительного повышения давления жидкости, протекающей через гидравлический таран. Производительность гидравлического тарана определялась исходя из веса жидкости, выдавливаемой в гидроаккумулятор при заданной частоте пульсаций. В работе использовался однопоточный преобразователь потока (конструкция из одного ударного клапана). Представлена схема экспериментальной установки и подробное описание всех ее элементов. Установлено наличие величины относительного повышения давления, выше которого производительность тарана остается постоянной. Сделаны выводы относительно положения гидроаккумулятора в конструкции гидравлического тарана при использовании его в системе отопления. Подтверждены возможности использования гидравлического тарана в качестве повысительного насоса, в системе индивидуального теплового пункта, а также проведено сравнение экспериментальных данных с данными, полученными по методике, представленной в книге В.М. Овсепяна «Гидравлический таран и таранные установки». Установлено, что при снижении соотношения давлений в нагнетательной и питательной трубах методика расчета дает значительную погрешность.

Ключевые слова: индивидуальный тепловой пункт, преобразователь потока, мембранный насос, гидроаккумулятор, элеваторный узел, вес, расход воды, колебания, гидроудар, тепловая сеть

HYDRAULIC RAM IN THE INDIVIDUAL HEATING UNIT

Kudashev S.F., Kudasheva O.V., Dushutina O.V., Ravilov R.*Ogarev Mordovia State University, Saransk, e-mail: kudashev@mail.ru*

The possibilities of systems with impulse supply of coolant in the heating system of the job are considered, where this mode is organized by means of an adapted design of a hydraulic ram. The article considers the possibility of practical use of a hydraulic ram at an individual heat point (ITP) (replacement of an elevator assembly with a hydraulic ramming unit). Opportunities for practical use are associated with both thermal and hydraulic effects, which can be achieved by switching to pulsed flow of the coolant. The paper presents the results of a practical study by the authors (graphics) of the performance of a hydraulic ram at an individual thermal point, depending on the magnitude of the relative increase in fluid pressure flowing through the hydraulic ram. The performance of the hydraulic ram was determined based on the weight of the liquid pushed into the accumulator at a given pulsation frequency. A single-flow flow converter (a single shock valve design) was used in the work. The scheme of the experimental setup and a detailed description of all its elements are presented. The presence of a relative increase in pressure is established, above which the ram's productivity remains constant. Conclusions are made regarding the position of the accumulator in the design of the hydraulic ram when used in a heating system. The possibility of using a hydraulic ram as an incremental pump, in the system of an individual heat point, as well as a comparison of the experimental data with the data obtained by the method presented in the book by V.V. Hovsepian are confirmed. «Hydraulic ram and ramming installations». It is established that when the ratio of pressures in the injection and feed pipes is lowered, the calculation procedure gives a significant error.

Keywords: individual heating unit, flow converter, diaphragm pump, hydraulic accumulator, heat distribution station, weight, water flow, oscillations, hydraulic shock, hydraulic ram, heat network

Изучению систем с импульсным течением теплоносителя в последнее время уделяется пристальное внимание исследователей. Это связано с тепловыми и гидравлическими эффектами, которых можно достигнуть в результате перехода на данный режим течения теплоносителя. Одним из вариантов создания импульсного режима течения является использование гидротаранной установки [1–3]. За счет импульсного режима течения можно интенсифицировать теплоотдачу [1, 3]. Необходимо разделять импульсный и пульси-

рующий режимы [4, 5], так как первый характеризуется резким (почти мгновенным) изменением скорости и давления теплоносителя, а для пульсирующего режима характерно плавное изменение параметров. В [3, 5] установлено, что интенсифицировать теплоотдачу за счет пульсаций расхода имеет смысл только в режиме ламинарного течения, при турбулентном течении увеличение теплоотдачи незначительно и гидравлические потери энергии становятся больше величины повышения тепловой мощности тепло-

обменника. Переход к импульсному режиму течения в работе [1] позволяет интенсифицировать теплоотдачу в пластинчатом теплообменнике в номинальном диапазоне расходов для испытуемого теплообменника, при этом в работе не указано значение повышения гидравлического сопротивления системы.

Применение импульсного режима течения теплоносителя в схемах индивидуальных тепловых пунктов [1] (ИТП) позволяет использовать избыточный располагаемый напор тепловой сети, который зачастую срезается на дроссельных шайбах, а также соплах элеваторных узлов смешения. В некоторых работах предлагается полная замена элеваторного узла на гидравлическую таранную установку. При этом используются расчетные зависимости из [2], которые представлены для гидравлического тарана. Возможность использования методики [2] для расчета гидравлической таранной установки в ИТП практически не подтверждена. В работе [6] предлагается использовать данную систему для снижения потребления энергии при перекачке молока, что также подтверждает возможности практического использования импульсного течения теплоносителя. Прототипом систем с импульсным режимом течения является гидравлический таран – устройство, предназначенное для подъема (при свободном сливе) воды выше уровня сливного резервуара за счет резкого периодического торможения потока, основными элементами которого являются преобразователь потока (ударный клапан) и воздушный колпак (гидроаккумулятор). Преобразователь потока конструктивно представляет собой клапан, основной задачей которого является (резкое) периодическое перекрытие потока жидкости. В конструкции гидравлического тарана преобразователь потока используется без привода. Его закрытие осуществляется за счет гидродинамических сил, действующих на клапан со стороны жидкости, а открытие за счет веса клапана во время обратной волны гидроудара [7, 8]. Конструкция преобразователя потока без привода может работать только при постоянном расходе. Использование данной конструкции в системах с переменным расходом затруднительно. Поэтому в закрытых системах, которыми являются системы отопления и горячего водоснабжения, рекомендуется использование преобразователя потока с приводом. Основным условием является то, что время закрытия преобразователя потока должно быть меньше (либо соизмеримо) со временем прохода волны повышения давления в трубопроводе перед преобразователем в прямом и обратном направлениях. Одним из вопросов, решаемых в данной статье, является возможность ис-

пользования гидравлической таранной установки вместо элеваторного узла смешения в централизованных системах отопления.

Для расчета конструктивных параметров гидравлического тарана (длин и диаметров трубопроводов, объема воздушного колпака), а также расхода жидкости, сброшенной гидравлическим тараном, используются расчетные формулы, представленные в [2]. Зачастую данная методика используется и для расчета импульсных систем. В связи с этим необходимо проведение испытаний для определения производительности (объема воды, подаваемой под большим давлением, чем давление в трубопроводе) гидравлической таранной установки в закрытой гидравлической системе.

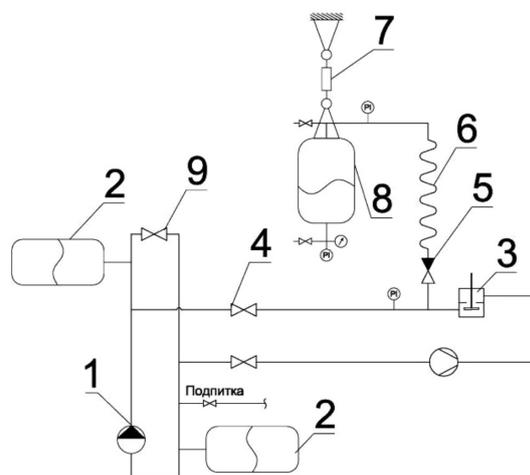


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – циркуляционный насос; 2 – гидроаккумулятор; 3 – ударный клапан; 4, 9 – регулирующие вентили; 5 – обратный клапан; 6 – гибкий рукав; 7 – электронные весы; 8 – гидроаккумулятор с датчиками давления

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Данная схема имитирует протяженную тепловую сеть с сетевым насосом 1, к которой подключены ИТП потребителей посредством вводных задвижек 4. Работа схемы осуществляется следующим образом.

Циркуляция теплоносителя в системе осуществляется при помощи насоса (K45/30) 1 с частотным приводом, при этом часть расхода теплоносителя направляется через байпасный вентиль 9, что обеспечивает более медленный рост давления в напорном трубопроводе насоса во время закрытия ударного клапана 3. Регулирование расхода теплоносителя через ударный клапан 3 осуществлялось при помощи вентилей 4. Гидроаккумулятор 8

подключен к трубопроводу через обратный клапан 5 посредством гибкого резинового рукава 6 (внутренний диаметр 20 мм, длина 1,2 м). В работе использовался ударный клапан с приводом. Использование конструкции генератора пульсаций на основе ударных

тия ударного клапана. Но ввиду того, что повышение веса гидроаккумулятора было соизмеримо с погрешностью весов, было принято решение снимать показания весов после серии гидроударов (рис. 2) и усреднять их внутри данной серии.

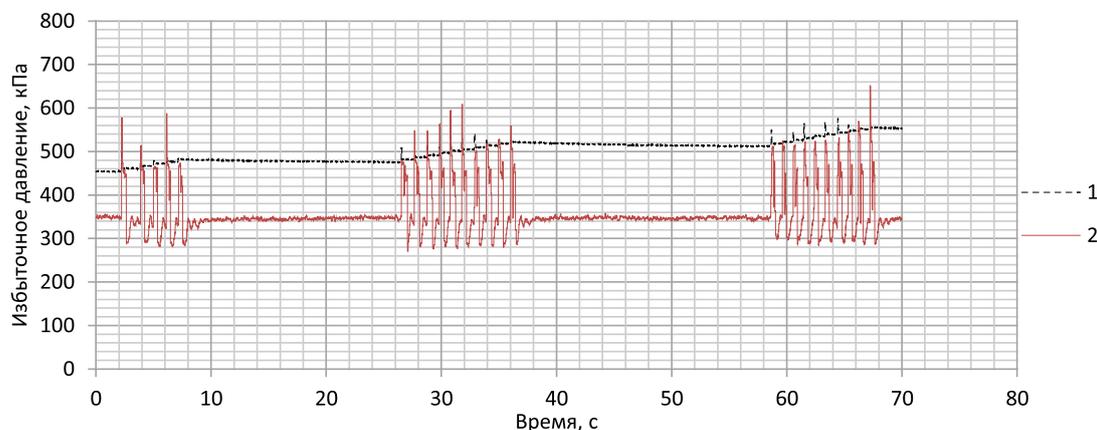


Рис. 2. Изменение давления в гидроаккумуляторе (1) и напорном трубопроводе (2) во время эксперимента (расход $2 \text{ м}^3/\text{ч}$)

клапанов с приводом дает явные преимущества по сравнению с теми конструкциями, где закрытие клапанов осуществляется за счет сил, действующих со стороны потока жидкости на клапан. На основании показаний расходомера выставлялся необходимый расход через ударный клапан 3.

Первоначально плавно закрывали ударный клапан 3, в результате изменения гидравлической характеристики сети давление в напорном трубопроводе повышалось, и в гидроаккумулятор 8 закачивалась жидкость до тех пор, пока давление в гидроаккумуляторе 8 не выравнивалось с давлением в напорном трубопроводе. О чем свидетельствует установившееся показание весов 7. Данная процедура необходима, чтобы убедиться, что закачивание воды в гидроаккумулятор осуществляется только за счет гидроудара, возникающего при резком закрытии ударного клапана 3. После этого ударный клапан 3 открывался, и, как только расход в системе устанавливался, резко закрывали ударный клапан. В результате резкого торможения потока жидкости возникает скачок давления. Под действием данного повышения давления часть жидкости выдавливается через обратный клапан 5 в гидроаккумулятор 8. В результате с каждым закрытием ударного клапана 3 происходит закачивание жидкости в гидроаккумулятор 8 и вес его увеличивается. Вес гидроаккумулятора 8 с водой первоначально регистрировался после каждого закры-

того. Данный метод косвенного измерения в дальнейшем не использовался, так как погрешность измерения была соизмерима с величиной полезного сигнала, что, возможно, связано с упругостью резиновой груши внутри гидроаккумулятора и теплообменом с поверхностью гидроаккумулятора. В дальнейшем использовался метод непосредственного измерения веса гидроаккумулятора. Объем гидроаккумулятора составлял 20 л. Давление измерялось в трубопроводе перед ударным клапаном и непосредственно перед входом в гидроаккумулятор после обратного клапана. Трубопровод от коллектора до ударного узла выполнен из труб PPR 25, армированных стекловолокном, длина трубопровода 8,97 м, длина труб после ударного клапана 1,72 м. Была проведена серия экспериментов по определению веса жидкости, выдавливаемой через обратный клапан 5 в гидроаккумулятор 8 за один гидроудар, при различном соотношении давлений жидкости в гидроаккумуляторе и в напорном трубопроводе. На основании экспериментальных данных построены графики (рис. 3) зависимости массы воды, нагнетаемой в гидроаккумулятор 8, от отношения давлений в трубопроводе и гидроаккумуляторе для различных величин установившегося расхода при открытом ударном клапане. В экспериментах частота закрытия ударного клапана составляла ≈ 1 ($0,96 \div 1,13$) Гц, поэтому, исходя из графика (рис. 3), несложно определить расход воды, нагнетаемой через об-

ратный клапан при необходимом давлении нагнетания. Из представленных графиков видно, что при достижении определенного значения соотношения давлений (для фиксированного расхода), масса воды, нагнетаемой в гидроаккумулятор за один гидроудар, практически не изменяется.

Персонально в исследованиях использовался армированный водопроводный рукав с гайками. В дальнейшем он был заменен на более упругий рукав большего диаметра. В результате обработки экспериментальных данных установлено, что с заменой рукава производительность тарана увеличилась, что, скорее всего, связано с гидравлическим и инерционным сопротивлением рукава. Поэтому в фактической конструкции гидравлического тарана, когда гидроаккумулятор установлен непосредственно на трубопроводе, фактическая его производительность будет еще больше.

Произведем расчет объема воды, подаваемой в гидроаккумулятор, во время периода нагнетания для нескольких точек графика (рис. 3) в соответствии с методикой, представленной в [2]. Объем воды, нагнетаемой в гидроаккумулятор, m^3 :

$$q = \frac{\omega l}{2au} (k^2 v_c^2 - u^2), \quad (*)$$

где ω – площадь поперечного сечения трубопровода, m^2 , l – длина питательного трубопровода, m , u – волновое изменение скорости, m/s , v_c – установившаяся скорость течения воды,

m/s , k – коэффициент разгона, a – скорость распространения волны гидроудара, m/s .

Расчетная скорость распространения волн гидроудара $400 m/s$. Данная величина получена по формуле Н.Е. Жуковского при условии, что объемный модуль упругости воды $K = 19,6 \cdot 10^8 Pa$, модуль упругости материала стенок трубопровода (полипропилен) $E = 8,5 \cdot 10^8 Pa$. Волновое изменение скорости рассчитывается по выражению $u = \frac{gh_d}{a}$. Значение динамического нагнетательного напора h_d определяется на основании экспериментальных данных, величины установившегося расхода, давлений в подающем и обратном коллекторах, а также давления в гидроаккумуляторе. Величина коэффициента разгона считается равной единице в связи с тем, что ударный клапан закрывался после того, как расход в системе достигал установившегося значения. Величина установившейся скорости определяется исходя из величины установившегося расхода. Толщина стенки трубопровода $3,5 mm$. Результаты расчета объема воды, нагнетаемой в гидроаккумулятор, при установившемся расходе $2 m^3/ч$ представлены в виде графика (рис. 4).

Для сопоставления экспериментальных и расчетных данных зависимостей объема воды, нагнетаемой в гидроаккумулятор за один гидроудар, от отношения давлений в гидроаккумуляторе и трубопроводе перед ударным клапаном, построены графики, которые представлены на рис. 4.

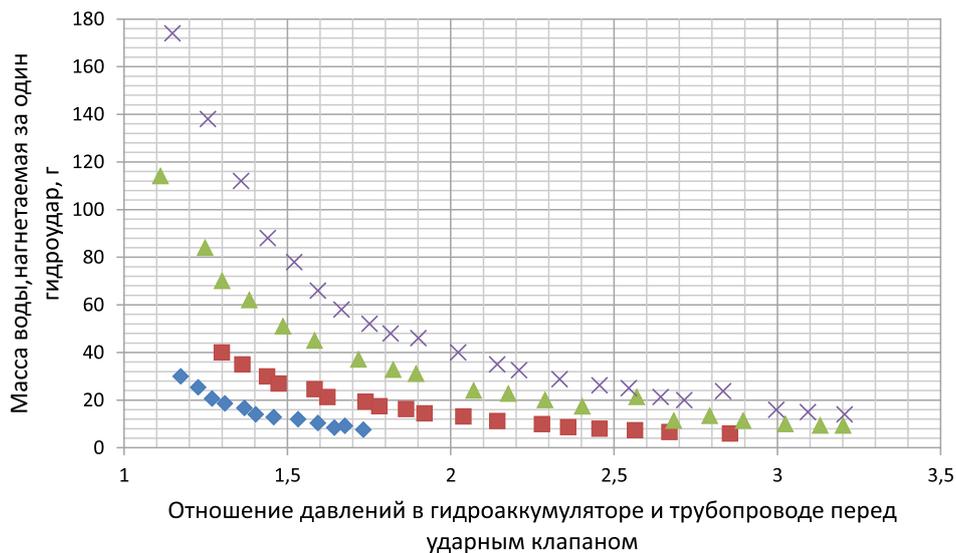


Рис. 3. Зависимости веса жидкости, выдавливаемой через обратный клапан за один гидравлический удар, от отношения давлений в гидроаккумуляторе и трубопроводе перед ударным клапаном

◆ – 1,015 м³/ч, ■ – 1,497 м³/ч, ▲ – 2,003 м³/ч, × – 2,495 м³/ч

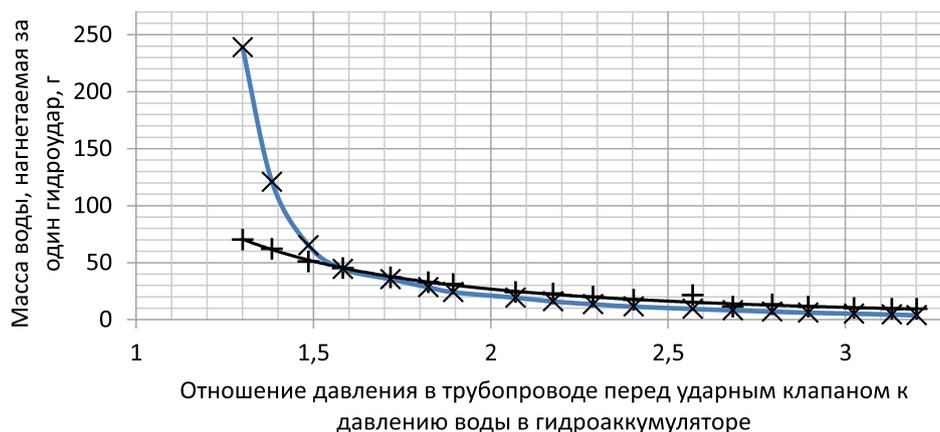


Рис. 4. Зависимости веса жидкости, выдавливаемой через обратный клапан за один гидравлический удар при расходе $2 \text{ м}^3/\text{ч}$

× – расчетные данные, + – экспериментальные данные

Из данных графиков следует, что при соотношении давлений в трубопроводе перед ударным клапаном к давлению воды в гидроаккумуляторе менее 1,5 формула (*) дает значительную погрешность. В [2] рекомендуемое соотношение давлений более 2 для надежной бесперебойной работы гидравлического тарана. Пользоваться методикой [2] при соотношении давлений менее 1,5 не рекомендуется, но работоспособность ее сохраняется при использовании преобразователя потока с приводом.

Выводы

Использование гидравлического тарана в ИТП возможно, но рекомендуется установка преобразователя потока с приводом. Производительность гидравлического тарана (количество жидкости, подаваемой в гидроаккумулятор при постоянном давлении в нем) в закрытой системе и фиксированной длине трубы зависит от расхода (скорости) жидкости и соотношения давлений в гидроаккумуляторе и трубопроводе. Имеется предел целесообразного повышения давления нагнетания (при дальнейшем повышении давления производительность меняется незначительно). Возможно использование гидравлического тарана в ИТП в качестве повысительного насоса. Использование одноконтурного гидравлического тарана вместо элеваторного узла в ИТП невозможно в связи с низким коэффициентом смешения. Пользоваться методикой расчета тарана, представленной в [2], без поправок рекомендуется при соотношении давлений нагнетания к давлению в питательной трубе более 1,5.

Допущения, принятые в работе:

1. Объем гидроаккумулятора считается настолько большим, что объем воды, нагне-

таемый в него за один гидроудар, вызывает настолько малое повышение давления, что им можно пренебречь.

2. Гидравлическое сопротивление гибкого соединения (рукава) от обратного клапана до гидроаккумулятора настолько мало, что им можно пренебречь.

Список литературы

1. Левцев А.П. Импульсные системы тепло-, водоснабжения сельскохозяйственных объектов / А.П. Левцев, С.Ф. Кудашев, А.Н. Макеев // Вестник ФГОУ ВПО «Мордовский государственный аграрный университет имени В.П. Горячкина». – 2010. – № 2 (41). – С. 91–95.
2. Овсепян В.М. Гидравлический таран и таранные установки / В.М. Овсепян. – М.: Машиностроение, 1968. – 124 с.
3. Levstev 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. vol. 9. № 11. P. 89–98.
4. Пурдин М.С. Исследование пульсирующего ламинарного течения в прямоугольном канале / М.С. Пурдин, Е.П. Валуева // Двадцать вторая международная научно-техническая конференция «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»: тезисы докладов XXII Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов: в 3-х т. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016. – Т. 1. – С. 290.
5. Хаббибулина А.И. Исследование теплоотдачи в коридорном пучке труб при наложении на поток противоточных несимметричных низкочастотных пульсаций / А.И. Хаббибулина, А.Р. Хайруллин, А.А. Синявин, В.К. Ильин // Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. – 2013. – № 1. – С. 312–315.
6. Большунова М.Л. Разработка энергоэффективных систем транспортировки молока на животноводческих фермах / М.Л. Большунова, В.В. Крисанов // Международный технико-экономический журнал. – 2014. – № 5. – С. 72–76.
7. Пат. РФ № 177025, МПК F15B21/12. Ударный узел / А.П. Левцев, А.Н. Макеев, А.А. Голянин, К.А. Миндров; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». – № 2017117262, заявл. 18.05.2017; опубл. 06.02.2018, Бюл. № 4.
8. Пат. РФ № 177657, МПК F15B21/12. Устройство для создания гидравлического удара / Макаров Р.А., Имеряков А.В., Бояркин В.В., Нарватов Я.А., Макеев А.Н., Левцев А.П.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва». – № 2017117283; заявл. 10.07.2017; опубл. 05.03.2018, Бюл. № 7.