

Повышение энергетической эффективности привода диафрагменного насоса для объектов малой энергетики

С.А. Мальцев, Д.В. Кузнецов, И.Н. Артемов

Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Саранск

Аннотация: Объектом разработки является экспериментальная установка с импульсной циркуляцией теплоносителя в основном контуре, для ее использования в качестве гидропривода диафрагменного насоса, применяемого для перекачки жидкости во вторичном контуре, что повышает энергетическую эффективность привода насоса для объектов малой энергетики. Разработана, собрана и испытана установка с импульсной циркуляцией теплоносителя с диафрагменным насосом на основе новой конструкции ударного узла с профилем кулачка, дающим возможность создания ускорения потока на всасе насоса. В результате эксперимента мы получили зависимость объема перекачиваемой жидкости от частоты работы ударного узла.

Ключевые слова: энергоэффективность, диафрагменный насос, ударный узел, привод насоса, кулачок, расход жидкости, давление жидкости, частота колебаний.

Энергоресурсосбережение и повышение энергетической эффективности работы оборудования способствует положительному развитию экономики, обеспечивает энергетическую безопасность страны и позволяет снизить истощение природных топливно-энергетических ресурсов [1].

Современное насосное оборудование становится все более удобным и старается отвечать возрастающим требованиям потребителей. Именно к такому оборудованию можно отнести диафрагменный (мембранный) насос [2].

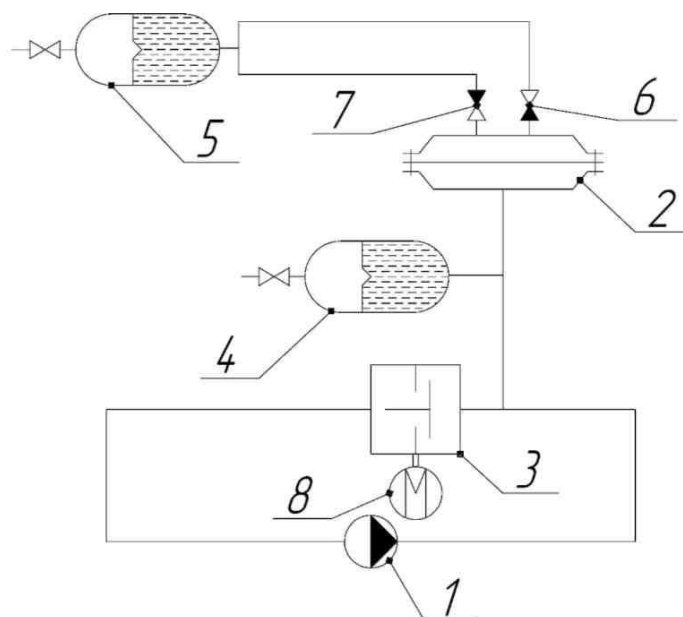
Проблема повышения энергетической эффективности привода насоса изучалась многими учеными, такими как Поляков А.С., Васин В.А., Гуров И.И. и др., которые внесли большой вклад в разработку конструкции диафрагменных насосов и их приводов. Однако эта проблема до конца не изучена, поэтому данный тип насосов пока не нашел массового применения. Вопросам конструирования, расчета и эксплуатации диафрагменных насосов

для объектов малой энергетики необходимо уделять большее внимание [3].

Задача создания мембранных насосов с энергоэффективным гидравлическим приводом является актуальной. Перспективным направлением в области создания новых конструкций мембранных насосов является разработка приводов насосов, в основу которых положен принцип импульсного движения рабочей среды [4].

Для реализации данной идеи было предложена модель гидромеханического преобразователя пульсирующего потока, обеспечивающая возможность ускорения потока рабочей среды на нагнетании или всасывании диафрагменного насоса.

Нами разработана функциональная схема экспериментальной установки, имитирующей привод диафрагменного насоса для объектов малой энергетики (рис. 1). Установка относится к гидравлике, теплоэнергетике, механике и может быть использована на тепловых пунктах для регулирования расхода рабочей среды нескольких контуров с целью повышения энергоэффективности.



1 - циркуляционный насос; 2 - диафрагменный насос; 3 - ударный узел; 4, 5 - гидроаккумулятор; 6, 7 - обратный клапан; 8 - мотор-редуктор

Рис. 1. – Функциональная схема экспериментальной установки

При включении насоса 1 жидкость перекачивается по основной магистрали, подключенной к системе теплоснабжения с параметрами: скорость 0,5 м/с, расход 2 т/ч, давление всасывания 60 кПа. В контуре имеется ударный узел 3 с мотором-редуктором 5. Мотор-редуктор вращается с различной частотой, приводя в движение клапан ударного агрегата с помощью кривошипно-шатунного механизма.

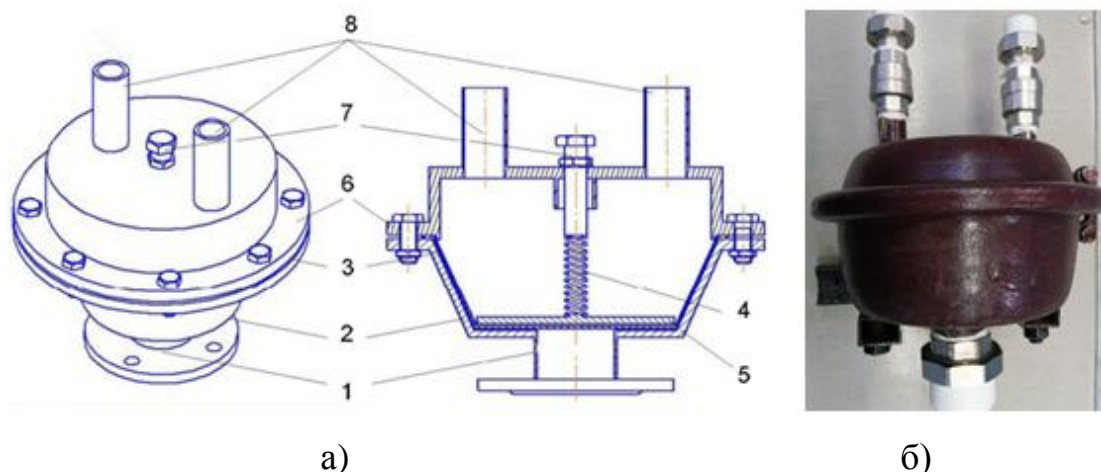
В момент открытия клапана жидкость свободно проходит через ударный узел и далее по контуру в систему теплоснабжения. В момент закрытия клапана происходит резкий скачок давления, вследствие чего образуется импульс, направленный в противоположную сторону от ударного узла. Жидкость с высокой скоростью направляется в диафрагменный насос и под давлением поступает в нижнюю камеру насоса, деформируя мембрану. Мембрана выталкивает перекачиваемую жидкость во вторичном контуре установки через обратный клапан 6. Часть жидкости поступает в гидроаккумулятор 5.

Для экспериментальной установки был выбран насос Wilo-TOP-S 40/10, гидроаккумулятор марки Wester модель WAV 12.

В качестве диафрагменного насоса была использована тормозная камера «Тип-20» от автомобиля КАМАЗ. Диафрагменный насос, выполняющий роль импульсного насоса, преобразует энергию количества движения, т.е. периодических давления и расхода жидкости, создаваемых ударным узлом, в напор и циркуляцию потока жидкости во вторичном

контуре [5]. Эскиз и внешний вид диафрагменного насоса установки представлен на рис. 2.

Одним из основных узлов экспериментальной установки является ударный узел, предназначенный для генерации серии гидравлических ударов при подаче через него движущегося теплоносителя [6, 7].



1 - входной патрубок источника рабочей среды; 2 - нижняя часть корпуса; 3 - эластичная диафрагма; 4 - регулировочная пружина; 5 - опорная шайба; 6 - верхняя часть корпуса; 7 - регулировочный винт; 8 - патрубки входа и выхода нагнетаемой среды

Рис. 2. - Эскиз (а) и внешний вид (б) диафрагменного нагнетателя

Корпус ударного узла выполнен в виде металлической крестовины с внутренним диаметром 40 мм. Вертикально в корпусе находится штанга с кулачком. Для того чтобы минимизировать протечку теплоносителя в приводе штанги кулачка, было решено использовать детали помпы от легкой автомашины. В нижней части корпуса выполнен отвод, одновременно выполняющий роль заглушки и направляющей для штанги. Схема и внешний вид ударного узла представлена на рис. 3.

Рабочий процесс ударного клапана с ускорением потока жидкости на всасывании или нагнетании насоса обуславливает необходимость применения в составе механизма ударного узла звена, которое должно двигаться по заданному закону, согласованному с движением клапана.

Простым и компактным, для выполнения данной задачи, является кулачковый механизм. В состав кулачкового механизма входят звено, выполненное в виде поверхности переменной кривизны, и деталь, совершающая возвратно-поступательное движение [8].

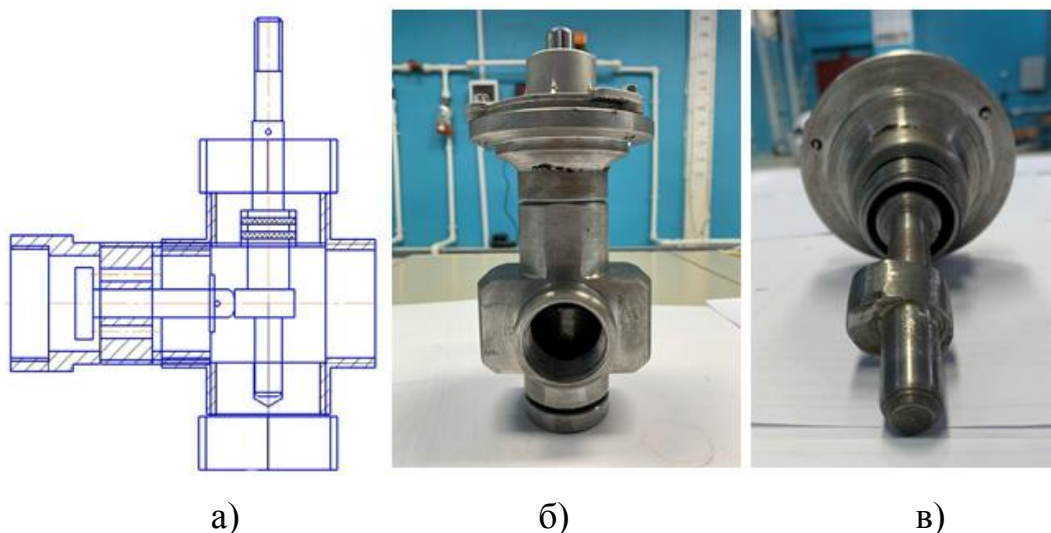


Рис. 3. - Схема ударного узла (а), внешний вид ударного узла в сборе (б), внешний вид штока с кулачком закрепленном в помпе (в)

Для проектирования рабочего устройства ударного узла нами был проведен ряд расчетов по синтезу кулачкового механизма для построения передаточной схемы. Параметры кулачкового механизма: а) максимальная высота подъема толкателя 10 мм; б) фазовый угол снятия 320 °; в) фазовый угол дальнего состояния 10 °; г) угол возврата фазы 30 °.

После проведенных промежуточных расчетов и построений получен действительный профиль кулачка (рис. 4), который используется для осуществления возвратно-поступательного движения клапана ударного узла.

Этот эксцентрик построен для энергоэффективной подачи жидкости с ускорением на всасывании диафрагменного насоса.

Измерение давления в гидравлической сети осуществляли при помощи преобразователя избыточного давления ПД-Р с верхним пределом измерения 1,6 МПа 16 бар, с пределом допускаемой основной погрешности $\pm 1,0$ [9].

Для сбора данных использовали согласующее устройство, которое является многофункциональным прибором и может использоваться для ввода в ПК сигналов от датчиков системы. Плата E14-440 «Л-Кард» применялась для организации обмена информацией между согласующим устройством и компьютером. При обработке данных использовали программный комплекс LabView [10, 11].

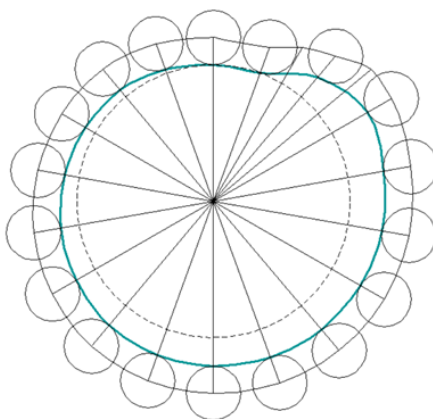


Рис. 4. - Фактический профиль кулачка привода клапана ударного узла

Для измерения расхода теплоносителя применялись расходомеры переменного перепада давления. В качестве устройства для создания в трубопроводе перепада давления нами использованы нестандартизованные сужающие устройства для создания перепада давлений жидкости путем уменьшения площади сечения трубопровода.

Параметры расходомерного устройства, для измерения расхода теплоносителя в гидравлической сети, определялись экспериментально. Для

измерения расхода были изготовлены диафрагмы (расходомерные шайбы) с внутренним диаметром отверстия 2,0 мм и 5,0 мм.

Измерительный комплекс был встроен в контур экспериментальной установки. Диаметр трубопровода в месте установки измерительного комплекса составляет 15 мм. Для ориентировочного определения диапазона расходов теплоносителя в контуре нами был использован счетчик воды крыльчатого типа. Экспериментальные исследования показали, что расход теплоносителя изменяется в пределах от 50 до 260 кг/ч.

Нами были проведены опыты по исследованию потерь напора на измерительной диафрагме диаметром 5,0 мм. Исследования показали, что в данном диапазоне расходов потери давления изменяются незначительно, в пределах 7%. Поэтому было принято решение использовать диафрагму с диаметром отверстия 2,0 мм. В ходе эксперимента получена зависимость потерь давления ΔP , кПа от расхода теплоносителя G , л/мин. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Зависимость потерь давления от расхода жидкости

G , л/мин	0,8	1,1	1,2	1,4	1,65	2,3	2,9	3,1	3,8	4,2	4,8
ΔP , кПа	5,0	8,7	11,6	15,0	17,9	40,0	60,0	68,0	93,0	118,0	180,0

Форма кривой зависимости соответствует форме кривой параболы, описываемой уравнением вида $y = ax^n + bx + c$.

В ходе решения уравнения и поиска неизвестных величин, были получены $a=4,1$, $b=2,0$, $c=0,7$. Показатель степени $n=2,35$. Подставляя значения потерь давления в уравнение с данными коэффициентами, получим значения расхода теплоносителя. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2

Зависимость потерь давления от расхода жидкости, полученная решением уравнения

G , л/мин	0,8	1,1	1,2	1,4	1,65	2,3	2,9	3,1	3,8	4,2	4,8
ΔP , кПа	4,7	8,0	9,4	12,5	17,3	34,3	56,6	65,4	102,8	128,6	173,9

По полученным данным построен график зависимости потерь давления от расхода жидкости в результате эксперимента и описываемые уравнением (рис. 5). Наглядно видно, что полученное уравнение адекватно экспериментальным данным.

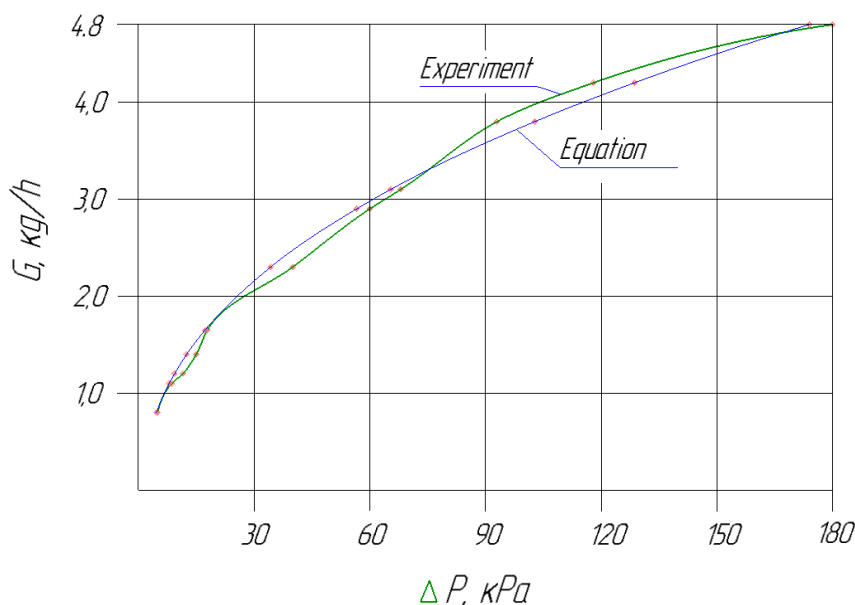


Рис. 5. – Расчетные характеристики суживающего устройства

Основной контур системы теплоснабжения заполняется теплоносителем под давлением 2,2 атм., вторичный контур подачи мембранного насоса заполняется сетевой водой с подключением гидроаккумулятора. Проверяется отсутствие утечек теплоносителя и готовность экспериментальной установки. Запускается центробежный насос с электроприводом для циркуляции теплоносителя в главном контуре

системы. Давление в контуре измеряется показывающим манометром. При помощи мотор редуктора приводится в действие кулачковый механизм привода ударного клапана. Профиль кулачка позволяет выполнять быстрое закрытие и медленное открытие клапана при вращении вала кулачка по часовой стрелке. Тем самым достигается ускорение потока теплоносителя на выходе из насоса. Проведем несколько экспериментов с различной частотой работы мотор редуктора. В процессе сжатия и растяжения мембраны насоса мы исследовали изменение показаний датчиков избыточного давления до и после измерительной диафрагмы. Объемный расход жидкости, создаваемый работой насоса, определяли по перепаду давления на измерительной диафрагме по калибровочному графику.

Для определения характеристик диафрагменного насоса и построения зависимости расхода жидкости от частоты работы ударного узла проведены эксперименты с рабочими частотами ударного клапана 0,9, 2, 2,9 Гц.

На рис. 6 показан фрагмент процесса работы мембранного насоса при частоте работы ударного клапана 0,9 Гц. Верхние кривые графика показывают изменение давления на измерительной диафрагме, нижняя кривая отражает разницу в показаниях давления потока жидкости.

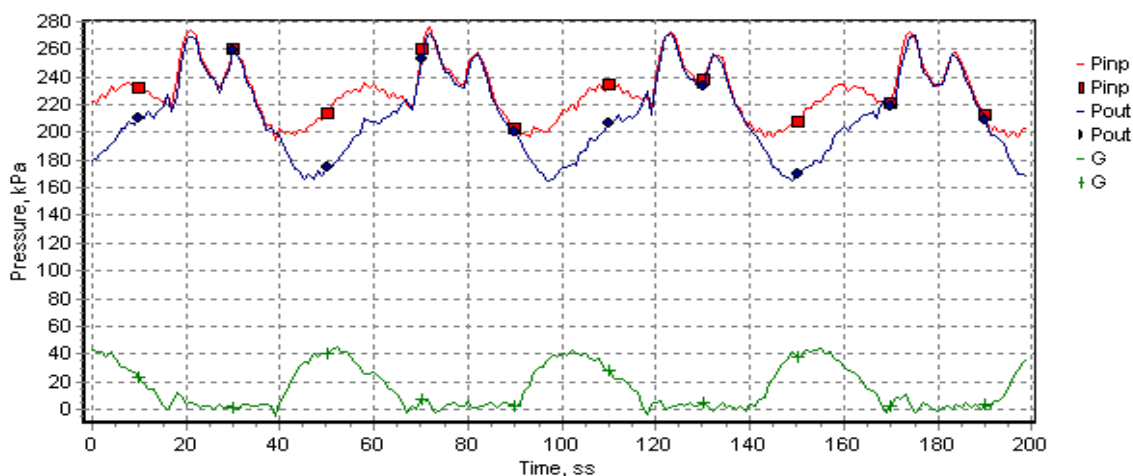


Рис. 6. – График зависимости изменения давления на измерительной

диафрагме от времени при частоте 0,9 Гц

Зависимость расхода жидкости от времени представлена на рис. 7.

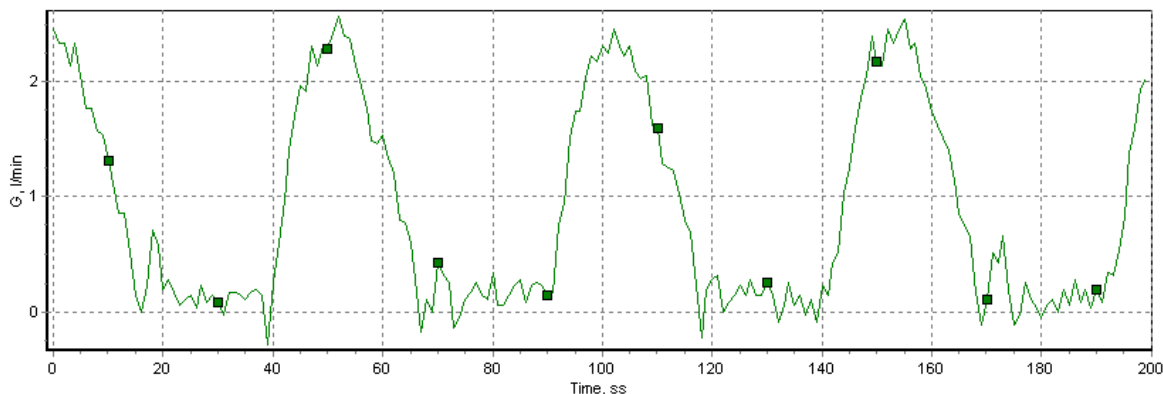


Рис. 7. – График зависимости расхода от времени при частоте 0,9 Гц

Исследования режимов работы импульсного диафрагменного насоса при других частотах работы клапана (2 и 2,9 Гц) проводились аналогично. Объем перекачиваемой жидкости через диафрагменный насос составил 2,6 и 3,4 л/мин соответственно.

По экспериментальным данным построен график расхода жидкости от частоты колебаний (рис. 8).

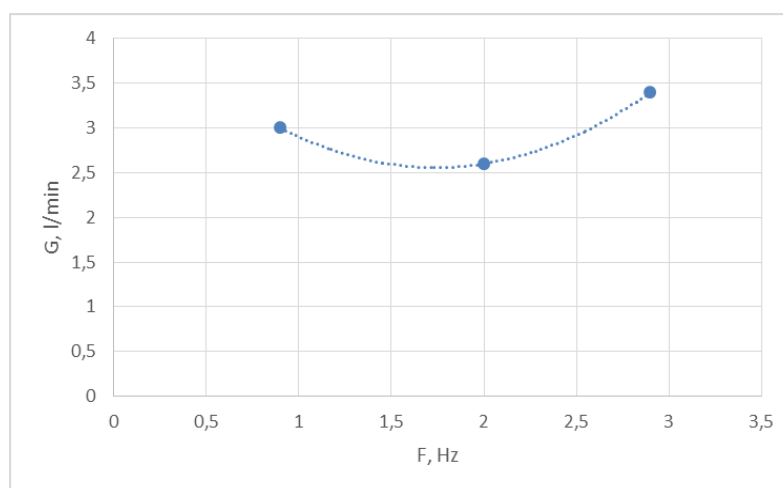


Рис. 8. – График зависимости расхода жидкости от частоты колебаний

Как видно из представленных данных, с увеличением частоты ударного клапана происходит небольшое увеличение объема перекачиваемой жидкости диафрагменным насосом. Однако в ходе исследования, когда частота срабатывания ударного клапана была равна 2 Гц, во вторичном контуре насоса произошло некоторое уменьшение объема перекачиваемой жидкости, что объясняется гидравлической связью контура с баком - аккумулятором, предназначенным для компенсации скачков давления жидкости.

Исследования показали повышение давления и объема жидкости во вторичном контуре насоса за счет использования импульсного режима течения теплоносителя. Степень повышения давления и подачи насоса зависит от частоты колебаний в контуре.

Наиболее полная работа испытуемого импульсного диафрагменного насоса достигается при 3 Гц. Импульсный режим течения теплоносителя в первичном контуре насоса позволяет увеличить давление во вторичном контуре и снизить затраты энергии на привод насоса.

Литература

1. Штайнер В.Ю., Питык А.Н., Архипова Е.С., Колотиенко М.А. Энергосбережение в России: основные проблемы и перспективы // Инженерный вестник Дона, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4564.
 2. Алтухов С. М., Румянцев В.А. Мембранные компрессоры. - М.: Изд-во «Машиностроение», 1967. - 116 с.
 3. Georgiadis M.C., Kikkinides E.S., Pistikopoulo E.N. Energy Systems Engineering// WILEY-VCH, Weinheim - 2008. 337 p.
-

4. Кузнецов А.А., Миндров К.А., Нуянзин А.Д. Разработка схемного решения элеваторного узла с импульсным подмесом теплоносителя // Инженерный вестник Дона, 2021, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6903.

5. Пат. 159837 Российская Федерация, МПК F04F 7/00, F04B 43/02. Импульсный нагнетатель / Левцев А.П., Макеев А.Н., Нарватов Я.А., Кенчадзе Г.Б., заявитель и патентообладатель гос. образоват. учреждение высш. проф. образования «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева» - №2015137314/06; заявл. 01.09 2015; опубл. 20.02.2016, Бюл. №5.

6. Левцев А. П., Макеев А. Н., Макеев Н. Ф., Нарватов Я. А., Голянин А. А. Обзор и анализ основных конструкций ударных клапанов для создания гидравлического удара // Современные проблемы науки и образования. - 2015. - №2-2. URL: science-education.ru/ru/article/view?id=23253.

7. Levtzev A.P., Makeev A.N. Controllable shock unit of the opposite construction for heat supply systems with pulse circulation of the heat carrier // Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2019. №3 (43). URL: vestnikvgasu.wmsite.ru/vypuski/vypusk-2-54-2019/upravljajemyj-udarnyj-uzel-oppozitnoj-konstrukcii.

8. Наумкин Н.И., Раков Н.В., Купряшкин В.Ф. Теория механизмов и машин и ее приложение в АПК: учебник / Под общ. ред. П.В. Сенина, Н.И. Наумкина. - Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2012. - 220 с.

9. Принципы анализа и обработки диагностических сигналов / методические рекомендации. Ч. 2. - Новосибирск, 1981. - 54 с.

10. Рожкова Н.В. Опыт практического расчета погрешности параметров теплоносителей по данным первичных датчиков узлов учета //

Законодательная и прикладная метрология №5 (132). М.: ООО Стандарт, 2014. - С 39-43.

11. Simbert W. M. Circuits, signals, systems. Translation from English, in 2 parts. Part 1.-М.: World, 1988.-336 p.

References

1. Shtajner V.Ju, Pityk A.N., Arhipova E.S., Kolotienko M.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2017, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4564.
 2. Altuhov S. M. Membrannye kompressory. [Diaphragm compressors]. М., Izd-vo «Mashinostroenie», 1967. 116 p.
 3. Georgiadis M.C., Kikkinides E.S., Pistikopoulo E.N. Energy Systems Engineering. WILEY-VCH, Weinheim, 2008. 337 p.
 4. A.A. Kuznecov, K.A. Mindrov, A.D. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6903.
 5. Pat. 159837 Rossijskaja Federacija, MPK F04F 7/00, F04V 43/02. Impul'snyj nagnetatel'. [Pulse blower]. Levcev A. P., Makeev A. N., Makeev N. F., Narvatov Ja. A., Kenchadze G.B., zajavitel' i patentoobladatel' gos. obrazovat. uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovanija «Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N P. Ogareva». №2015137314/06; zajavl. 01.09 2015; opubl. 20.02.2016, Bjul. №5
 6. Levcev A. P., Makeev A. N., Makeev N. F., Narvatov Ja. A., Goljanin A. A. Sovremennye problemy nauki i obrazovanija. 2015. №2-2. URL: science-education.ru/ru/article/view?id=23253
-

7. Levtzev A.P., Makeev A.N. Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2019. №3 (43). URL: vestnikvgasu.wmsite.ru/vypuski/vypusk-2-54-2019/upravljaemyj-udarnyj-uzel-oppozitnoj-konstrukcii.
8. Naumkin N.I. Teorija mehanizmov i mashin i ee prilozhenie v APK. [The theory of mechanisms, machines, and its application in the agro-industrial complex]. Saransk: 2012. 220 p.
9. Principy analiza i obrabotki diagnosticheskikh signalov [Principles of analysis and processing of diagnostic signals]. Metodicheskie rekomendacii. Ch. 2. Novosibirsk, 1981. 54 p.
10. Rozhkova N.V. Zakonodatel'naja i prikladnaja metrologija №5 (132). M., 2014. pp 39-43.
11. Simbert W. M. Circuits, signals, systems. Translation from English, in 2 parts. Part 1.-M.: World, 1988.-336 p.