

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ АККУМУЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГИИ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ В ГИДРОПРИВОДАХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Савинков Максим Александрович

аспирант кафедры машиностроительных технологий ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

E-mail: savinkov99max03@mail.ru

Посметьев Валерий Иванович

д. т. н., профессор, профессор кафедры машиностроительных технологий ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

E-mail: posmetyev@mail.ru

Никонов Вадим Олегович

к. т. н., доцент, доцент кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин «ФГБОУ ВО Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

E-mail: 8888nike8888@mail.ru

Храпов Игорь Олегович

аспирант кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, РФ

E-mail: igor.xrapov@mail.ru

ANALYSIS OF PROMISING DEVICES FOR ACCUMULATION OF ENERGY OF WORKING FLUID IN HYDRAULIC DRIVES OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MACHINES

Savinkov Maxim Aleksandrovich

postgraduate student of the department of mechanical engineering technologies, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

E-mail: savinkov99max03@mail.ru

Posmetyev Valery Ivanovich

doctor of engineering sciences, professor, professor of the department of mechanical engineering technologies, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

E-mail: posmetyev@mail.ru

Nikonov Vadim Olegovich

candidate of engineering sciences, associate professor, associate professor of the department of production, repair and operation of machines, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

E-mail: 8888nike8888@mail.ru

Khrapov Igor Olegovich

postgraduate student of the department of production, repair and operation of machines, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, Russia

E-mail: igor.xrapov@mail.ru

Аннотация. Обоснована актуальность применения пневмогидравлических аккумуляторов в гидропневматических системах транспортно-технологических машин. Описаны особенности конструкции, работы и ограничения в применении традиционных пневмогидравлических аккумуляторов поршневого типа. Выполнен анализ существующих конструкций гидропневматических систем хранения и рекуперации энергии рабочей жидкости. На основании выявленных недостатков в работе таких систем авторами предложена перспективная схема пневмогидравлического аккумулирующего устройства, обеспечивающая повышение эффективности работы гидравлического технологического оборудования транспортно-технологических машин.

Abstract. The relevance of using pneumohydraulic accumulators in hydropneumatic systems of transport and technological machines is substantiated. The design features, operation and limitations in the use of traditional piston-type pneumohydraulic accumulators are described. The analysis of existing designs of hydropneumatic systems for storing and recuperating the energy of the working fluid is performed. Based on the identified shortcomings in the operation of such systems, the authors propose a promising scheme of a pneumohydraulic accumulating device that ensures increased efficiency of the hydraulic technological equipment of transport and technological machines.

Ключевые слова: рабочая жидкость, гидроцилиндр, аккумулирование энергии, рекуперация, транспортно-технологические машины, пневмогидравлический аккумулятор, гидронасосная станция.

Keywords: working fluid, hydraulic cylinder, energy storage, recuperation, transport and technological machines, pneumohydraulic accumulator, hydraulic pump station.

В настоящее время в мире наблюдается огромный рост и развитие возобновляемых источников энергии. Одним из перспективных направлений повышения эффективности транспортно-технологических машин является оснащение их гидронасосных станций эффективными пневмогидравлическими аккумуляторами с функцией рекуперации энергии, генерируемой гидравлическим технологическим оборудованием таких машин. Гидропневматические системы хранения энергии обычно включают в себя один или несколько пневмогидравлических аккумуляторов (ПГА). ПГА представляет собой прочный сосуд для хранения энергии рабочей жидкости. Пространство для хранения энергии разделено на закрытый сжимаемый объем, заполненный некоторым количеством нейтрального газа (азотом) и на переменный объем для заполнения его гидравлической рабочей жидкостью. Переменный объем ПГА связан с трубопроводами гидросистемы одним или несколькими клапанами. Энергия рабочей жидкости может быть сохранена в системе путем ее нагнетания в переменный объем ПГА, которое сопровождается сжатием газа внутри закрытого объема ПГА. При необходимости энергия рабочей жидкости может быть использована путем открытия клапана и расширения газа, вытесняющего рабочую жидкость. Создаваемый таким образом поток рабочей жидкости может использоваться для приведения в действие гидравлического оборудования транспортно-технологических машин [1, 2].

Количество энергии рабочей жидкости, накапливаемое в гидропневматической системе хранения энергии, может быть увеличено за счет возрастания размера ПГА или за счет повышения давления предварительной зарядки газа. Однако пространство для размещения ПГА в гидравлическом технологическом оборудовании часто ограничено. Также, давление предварительной зарядки газа в ПГА обычно должно соответствовать рабочему давлению гидравлического контура, к которому будет подключена такая система. Одной из особенностей гидропневматической системы хранения энергии, является быстрое падение давления рабочей жидкости во время разрядки ПГА. Это приводит к тому, что ПГА эффективен только в ограниченной части его рабочего диапазона, где давление рабочей жидкости является достаточно высоким. Предельное увеличение давления

предварительной зарядки газа ПГА, сопровождается снижением общей эффективности гидропневматической системы из-за возникающих потерь [3].

В этой связи анализ существующих гидропневматических систем хранения энергии и их усовершенствование, направленное на поддержание постоянного давления рабочей жидкости при ее использовании, является актуальной и своевременной задачей. Ученые и исследователи предлагают различные оригинальные устройства и системы аккумулирования энергии.

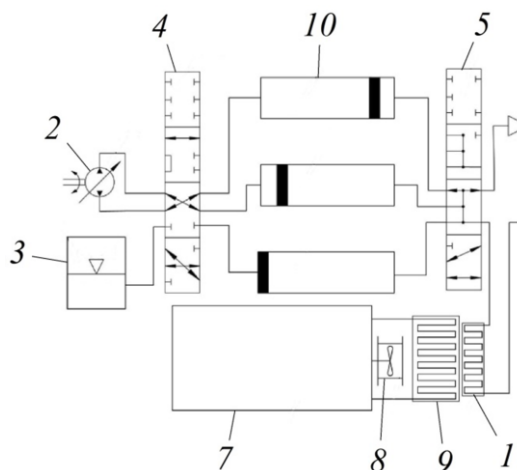


Рисунок 1. Схема накопителя энергии многоконтейнерного типа

Интересная конструкция накопителя энергии многоконтейнерного типа приведена в патенте CN 1155966723A (рис. 1). Такой накопитель энергии используется при рекуперации энергии торможения при движении в грузовом направлении под уклон карьерного самосвала, оснащенного колесами с электромоторами. Основными составляющими элементами рассматриваемого накопителя, являются: газовый радиатор 1; гидравлический насос 2; гидробак 3; гидрораспределители 4, 5; баллон для хранения воздуха 6; двигатель 7; вентилятор охлаждения 8; радиатор охлаждения воды 9; ПГА 10. В условиях движения под уклоны, потенциальная энергия массы самосвала преобразуется из энергии давления газа сначала в энергию

рабочей жидкости, а затем в механическую энергию для приведения в действие привода транспортного средства. Применение такого накопителя обеспечивает повышение эффективности преобразования энергии давления газа в энергию рабочей жидкости. Это достигается за счет устранения проблемы замерзания, вызванной переохлаждением элементов накопителя при расширении газа [4].

Другая интересная конструкция накопителя энергии с гидравлической системой управления путем переключения ПГА высокого и низкого давления приведена в патенте CN 118088507A (рис. 2). Основными элементами такой системы, являются: ПГА низкого 1 и высокого 2 давления; гидравлические регулируемые одноходовые клапаны 3, 4; двухпозиционные четырехходовые реверсивные клапаны 5, 6; источник давления 7; гидроцилиндр 8; насос с сервоуправлением 9. Преимуществами такой системы, является отсутствие при переключении с одного ПГА на другой негативного перетекания рабочей жидкости между ними, сопровождающиеся вибрациями системы [5].

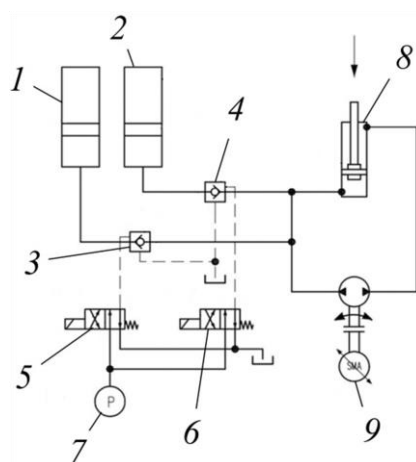


Рисунок 2. Схема накопителя энергии с гидравлической системой управления переключением ПГА высокого и низкого давления

Более простая конструкция многофункционального накопителя энергии приведена в патент CN 203412826 (рис. 3). Основными составными элементами такой конструкции, являются: ПГА 1; гидрораспределители 2; трубопроводы высокого 3 и низкого давления 4; дроссель 5; предохранительный клапан 6; обратные клапаны 7; устройство измерения давления 8. Такая конструкция накопителя энергии имеет невысокую стоимость, удобна и безопасна в эксплуатации; обеспечивает небольшой объем утечки рабочей жидкости, компактна и обладает возможностью быстрого сброса давления рабочей жидкости в гидробак [6].

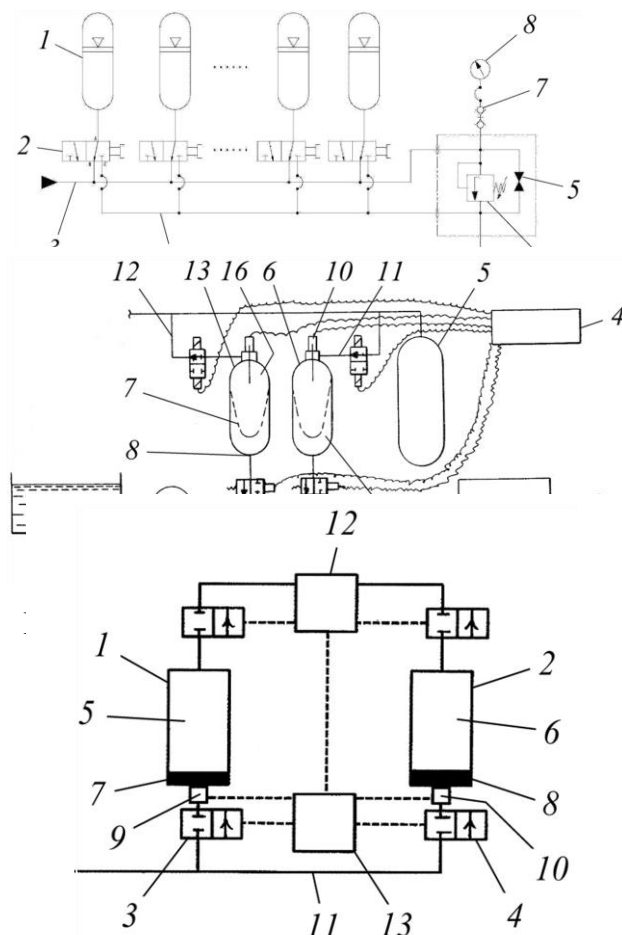


Рисунок 5. Схема пневмогидравлической системы хранения энергии

Более совершенная конструкция гидроаккумулирующего устройства описана в патенте US 4487226 (рис. 4). Ее основными элементами, являются: насос 1; трубопроводы 2, 11, 12; блок нагрузки 3; блок управления 4; баллон с газом 5; ПГА 6, 13; мембраны 7; порты 8; гидрораспределители 9; датчики 10; камера с рабочей жидкостью 14; камера с азотом 15. Такая конструкция оснащена датчиками, позволяющими обнаруживать отказы при работе ПГА и автоматически отключать подачу газа между пневмолинией и камерой с газом, а также отключать подачу рабочей жидкости между гидролинией и камерой с рабочей жидкостью неисправного ПГА [7].

Перспективная конструкция пневмогидравлической системы хранения энергии приведена в патенте US 10247205 (рис. 5). Основными элементами, являются: ПГА 1, 2; клапаны 3, 4; сжимаемый объем 5, 6; переменное пространство 7, 8; датчики давления 9, 10; трубопровод 11; компрессор 12; клапаны компрессора 13. Предлагаемая конструкция позволяет увеличить плотность энергии рабочей жидкости. Каждый ПГА может быть предварительно заряжен на разном уровне и может быть индивидуально подключен к магистральной линии давления с использованием гидравлического либо электронного управления [8].

Более сложная система хранения и рекуперации энергии рабочей жидкости приведена в патенте US 10533582 (рис. 6). Основными составными элементами такой системы, являются: ПГА 1, 10, 13; входной 2 и выходной 3 клапаны; источник энергии 4; линия высокого давления 5; система управления 6; гидробак 7; блок управления питанием 8; выходная мощность 9; генератор 12. Система работает для преобразования переменной входной мощности в постоянную выходную мощность с использованием гидравлики, при этом переменная входная мощность используется для перекачивания гидравлической жидкости в ПГА, где она хранится под давлением. Энергия рабочей жидкости высвобождается из ПГА при управлении системой и используется гидравлическим двигателем. Внутреннее давление ПГА контролируется для поддержания постоянного давления, обеспечивающего постоянную выходную мощность двигателя [9].

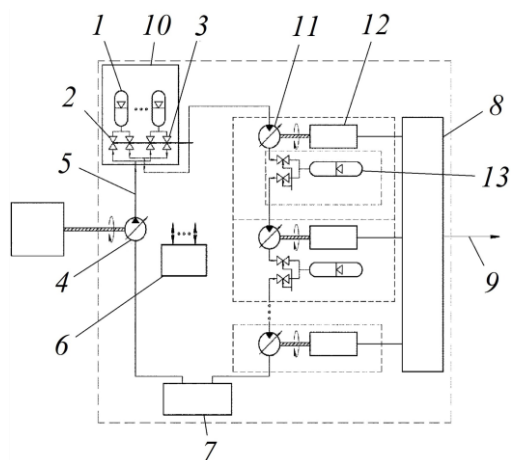


Рисунок 6. Схема системы хранения и рекуперации энергии рабочей жидкости

Оригинальная конструкция системы хранения энергии рабочей жидкости представлена в патенте CN11157767A (рис. 7). Основными элементами такой системы, являются: контроллер 1; ПГА с двумя емкостями 2; комбинированный клапан 3; масляный клапан 4; вспомогательный насос 5; ПГА 6; односторонний клапан 7; пропорциональный реверсивный клапан 8; датчик давления 9; перепускной клапан 10. Преимуществами такой системы, являются: удобство в эксплуатации; возможность поддержки стабильного давления рабочей жидкости под давлением из

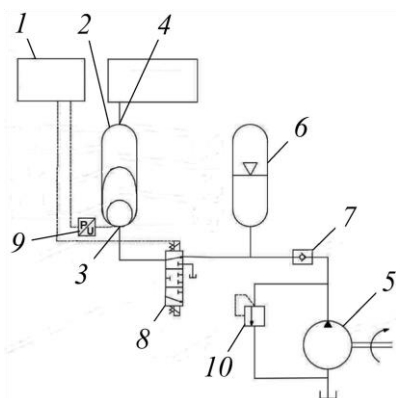


Рисунок 7. Схема конструкции системы хранения энергии рабочей жидкости

ПГА при подаче ее в гидравлическую систему; снижение пульсаций и ударных нагрузок в системе; улучшение характеристик зарядки и разрядки ПГА; повышение удельной мощности ПГА [10].

Выполненный анализ наиболее перспективных конструктивных схем систем хранения энергии рабочей жидкости позволил установить, что все они обладают следующими недостатками: ограниченным объемом аккумулируемой рабочей жидкости; недостаточной надежностью и энергоемкостью; значительной массой и размерами; неоправданно ограниченным ресурсом гидронасоса. С целью устранения выявленных недостатков, авторами предложено пневмогидравлическое аккумулирующее устройство. Основными его

элементами, являются: полости гидроцилиндров А, Б, заполненные газом и рабочей жидкостью; аккумулятор пневматический 1; гидроцилиндры 2, 3; поршни 4, 5; датчики положения поршней 6; двухпозиционные гидрораспределители 7; клапаны обратные 8; гидронасос 9; клапан предохранительный регулируемый 10; фильтр 11; гидробак 12; трубопроводы 13.

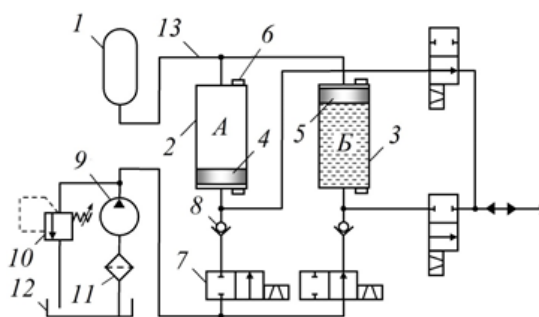


Рисунок 8. Схема
пневмогидравлического
аккумулирующего устройства

Пневмогидравлическое аккумуляющее устройство работает совместно с гидронасосной станцией и обеспечивает рекуперацию энергии при работе гидравлического технологического оборудования, устанавливаемого на транспортно-технологических машинах. В таком устройстве накопление и полезное последующее использование энергии рабочей жидкости осуществляется за счет двух гидроцилиндров под воздействием давления сжатого газа во внешнем газовом аккумуляторе, путем попеременного опорожнения и заполнения этих гидроцилиндров рабочей жидкостью из гидробака по мере ее расхода потребителями технологического оборудования. Применение такого пневмогидравлического аккумуляющего устройства позволяет значительно снизить количество включений гидронасоса гидронасосной станции транспортно-технологических машин и, таким образом, повысить ресурс такого дорогостоящего гидронасоса. Кроме этого, предлагаемое устройство позволяет уменьшить габариты и массу гидронасосной станции за счет существенного сокращения суммарного объема аккумуляемой рабочей жидкости.

Список литературы

1. Посметьев, В. И. Перспективы совершенствования энергосбережения стационарных и мобильных машин способом аккумулярования / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев // Воронежский научно-технический Вестник. – 2018. – Т. 4, № 4(26). – С. 25-31.
2. Никонов, В. О. Анализ состояния и оценка целесообразности использования сжатого воздуха как накопителя энергии в рекуперативных системах транспортных машин / В. О. Никонов, В. И. Посметьев // Воронежский научно-технический Вестник. – 2017. – Т. 3, № 3(21). – С. 30-48.
3. Патент № 2695165 С1 Российская Федерация, МПК F15B 1/02, F15B 21/14, F15B 11/072. Устройство для аккумулярования сжатого воздуха : № 2018102618 : заявл. 23.01.2018 : опубл. 22.07.2019 / В. И. Посметьев, В. О. Никонов, В. В. Посметьев ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова".
4. Patent for invention CN 115596723, IPC F01P 3/00. Coupling type heat dissipation system suitable for multi-container type circulating energy storage device / Inv. Gao Lulu, Ma Fei, Wang Dongyue, Jin Chun, Wang Shite, Qiu Linbin. – CN 202211284156A ; declare 20.10.2022 ; publ. 13.01.2023.
5. Patent for invention CN 118088507A, IPC B66F 13/00. Switching hydraulic control system for high-pressure energy accumulator and low-pressure energy accumulator / Appl. Cisd Eng Co Ltd ; Inv. Sun Tianjian, Li Jun, Hu Jun, Bai Feng, Chen Deguo, Wei Hang. – CN 202410312681A ; declare 19.03.2024 ; publ. 28.05.2024.
6. Patent for invention CN 203412826U, IPC F15B 1/04. Multi-functional energy accumulator unit / Appl. Tangshan Bohai Metallurg Eguipment Co Ltd ; Inv. Zhang Xi, Wang Jingmiao, Zhang Chengwu, Peng Yufeng, Huo Junhong, Zhao Min, Li Xue, Zhang Han. – CN 201320338625U ; declare 13.06.2013 ; publ. 29.01.2014.

7. Patent for invention US 4487226, IPC F15B 1/08. Failure sensing hydraulic accumulator and system / Appl. Vsi Corp ; Inv. Chun Hugh H. – № US 40756482A ; declare 12.08.1982 ; publ. 11.12.1984.
8. Patent for invention US 10247205B2, IPC B60K 6/12. Accumulator racks / Appl. Dana Italia Spa ; Inv. Serrao Lorenzo, Ornella Giulio, Cosol Ettore. – EP 2015052211W ; declare 04.02.2014 ; publ. 02.04.2019.
9. Patent for invention US 10533582, IPC F15B1/04. Hydraulic based efficient energy storage and regeneration system / Appl. Energy Spring Ltd. ; Inv. Bauer Abraham, Weiss Yona, Fruehling Yoram. – US 201213641277A ; declare 20.12.2012 ; publ. 14.01.2020.
10. Patent for invention CN 111577676A, IPC F15B 1/021. Dial-leather-bag constant-pressure energy storage system / Appl, Univ Taiyuan Science Tech ; Inv. Qin Ze, Wang Aihong, Bao Dong Jie, Ma Haoqin, Zuo Yang, Wang Kai, Hua Jianhui. – CN 202010461920A ; declare 27.05.2020 ; publ. 25.08.2020.

References

1. Posmetyev, V. I. Prospects for improving the energy saving of stationary and mobile machines by accumulation method / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetyev // Voronezh Scientific and Technical Bulletin. - 2018. - Vol. 4, № 4(26). - P. 25-31.
2. Nikonov, V. O. Analysis of the state and assessment of the feasibility of using compressed air as an energy storage device in regenerative systems of transport machines / V. O. Nikonov, V. I. Posmetyev // Voronezh Scientific and Technical Journal. - 2017. - Vol. 3, № 3(21). - P. 30-48.
3. Patent No. 2695165 C1 Russian Federation, MPK F15B 1/02, F15B 21/14, F15B 11/072. Device for compressed air accumulation : No. 2018102618 : applied for. 23.01.2018 : published 22.07.2019 / V. I. Posmetyev, V. O. Nikonov, V. V. Posmetyev ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov”.
4. Patent for invention CN 115596723, IPC F01P 3/00. Coupling type heat dissipation system suitable for multi-container type circulating energy storage device / Inv. Gao Lulu, Ma Fei, Wang Dongyue, Jin Chun, Wang Shite, Qiu Linbin. – CN 202211284156A ; declare 20.10.2022 ; publ. 13.01.2023.
5. Patent for invention CN 118088507A, IPC B66F 13/00. Switching hydraulic control system for high-pressure energy accumulator and low-pressure energy accumulator / Appl. Cisd Eng Co Ltd ; Inv. Sun Tianjian, Li Jun, Hu Jun, Bai Feng, Chen Deguo, Wei Hang. – CN 202410312681A ; declare 19.03.2024 ; publ. 28.05.2024.
6. Patent for invention CN 203412826U, IPC F15B 1/04. Multi-functional energy accumulator unit / Appl. Tangshan Bohai Metallurg Eguipment Co Ltd ; Inv. Zhang Xi, Wang Jingmiao, Zhang Chengwu, Peng Yufeng, Huo Junhong, Zhao Min, Li Xue, Zhang Han. – CN 201320338625U ; declare 13.06.2013 ; publ. 29.01.2014.
7. Patent for invention US 4487226, IPC F15B 1/08. Failure sensing hydraulic accumulator and system / Appl. Vsi Corp ; Inv. Chun Hugh H. – № US 40756482A ; declare 12.08.1982 ; publ. 11.12.1984.
8. Patent for invention US 10247205B2, IPC B60K 6/12. Accumulator racks / Appl. Dana Italia Spa ; Inv. Serrao Lorenzo, Ornella Giulio, Cosol Ettore. – EP 2015052211W ; declare 04.02.2014 ; publ. 02.04.2019.
9. Patent for invention US 10533582, IPC F15B1/04. Hydraulic based efficient energy storage and regeneration system / Appl. Energy Spring Ltd. ; Inv. Bauer Abraham, Weiss Yona, Fruehling Yoram. – US 201213641277A ; declare 20.12.2012 ; publ. 14.01.2020.
10. Patent for invention CN 111577676A, IPC F15B 1/021. Dial-leather-bag constant-pressure energy storage system / Appl, Univ Taiyuan Science Tech ; Inv. Qin Ze, Wang Aihong, Bao Dong Jie, Ma Haoqin, Zuo Yang, Wang Kai, Hua Jianhui. – CN 202010461920A ; declare 27.05.2020 ; publ. 25.08.2020.