

УДК 621.3.035.3

ББК 31.261

Р 17

Гайтов Багаудин Хамидович

Профессор, доктор технических наук, профессор кафедры электротехники и электрических машин Кубанского государственного технологического университета, Краснодар, e-mail: kkllev1@mail.ru

Кашин Яков Михайлович

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой электротехники и электрических машин Кубанского государственного технологического университета, профессор кафедры авиационного радиоэлектронного оборудования Краснодарского высшего военного авиационного училища летчиков им. А.К. Серова, Краснодар, e-mail: jlms@mail.ru

Копелевич Лев Ефимович

Доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электрических машин Кубанского государственного технологического университета, Краснодар, e-mail: kkllev@mail.ru

Самородов Александр Валерьевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры электротехники и электрических машин Кубанского государственного технологического университета, Краснодар, e-mail: alex.samorodoff@gmail.com

Ким Владислав Анатольевич

Магистрант кафедры электротехники и электрических машин Кубанского государственного технологического университета, Краснодар, e-mail: vladk-kub@mail.ru

Разработка нового вида энергосберегающей установки для переработки нефти* (Рецензирована)

***Аннотация.** Рассмотрены имеющиеся в наличии электротехнические комплексы промышленной переработки нефти и возможные перспективные направления создания нового вида энергосберегающей установки для переработки нефти.*

***Ключевые слова:** переработка нефти, сепарация, энергосбережение, сепаратор.*

Gaytov Bagaudin Khamidovich

Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Machines, Kuban State University of Technology, Krasnodar, e-mail: kkllev1@mail.ru

Kashin Yakov Mikhaylovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Electrical Engineering and Electrical Machines, Kuban State University of Technology, Professor of the Department of Aviation Radioelectronic Equipment, Krasnodar Air Force Institute for Pilots named after A.K. Serov, Krasnodar, e-mail: jlms@mail.ru

Kopelevich Lev Efimovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Machines, Kuban State University of Technology, Krasnodar, e-mail: kkllev@mail.ru

Samorodov Aleksandr Valeryevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Machines, Kuban State University of Technology, Krasnodar, e-mail: alex.samorodoff@gmail.com

Kim Vladislav Anatolyevich

Master's Degree Student of the Department of Electrical Engineering and Electrical Machines, Kuban State University of Technology, Krasnodar, e-mail: vladk-kub@mail.ru

Development of a new type of energy-saving installation for oil refining

***Abstract.** The article deals with the availability of electrical industrial oil refining complexes and possible promising directions for the creation of a new type of energy-saving installation for oil refining.*

***Keywords:** oil refining, separation, energy saving, separator.*

Нефть – благословение и проклятие XX и, как минимум, первой трети XXI веков. Она и энергоноситель, и источник для получения горюче-смазочных материалов, и сырье для производства пластмасс, синтетических тканей, моющих средств, растворителей, кра-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-48-230010 p_a.

сок, удобрений, ядохимикатов, лекарств и т.д. Она же причина экономических потрясений и даже войн.

Добыча и промысловая подготовка нефти не так проста, как может показаться обывателю на первый взгляд. Нефть, получаемая из скважины, не является продуктом, готовым к дальнейшей транспортировке. На каждую тонну добытой нефти приходится 50–100 м³ попутного (нефтяного) газа, 200–300 кг воды, в которой растворены соли [1].

Первичная подготовка нефти включает в себя следующие операции: дегазацию – удаление из сырья газов; стабилизацию – удаление ненужных легких фракций; обезвоживание – отделение нефти от воды; обессоливание – изымание из энергоресурса лишних солей. Некачественная подготовка сырья может привести к немалым незапланированным затратам. Речь идет как о дороговизне транспортировки, если продукт не очистили от ненужных веществ, придающих ему лишний объем и вес, так и о финансовых вложениях в оборудование. Ведь нефть, из которой не выведены соли, может очень быстро повредить трубопровод, и тогда потребуются его замена [2].

Процессы дегазации, обезвоживания и обессоливания, называемые сепарацией, проводятся в сепараторах различных конструкций. Однако все сепараторы независимо от их формы выполняют одни функции, главными из которых являются: отделение газа от нефти и отделение нефти от воды при наличии нестойких эмульсий [3]. Но при низкой температуре отделение капель воды происходит медленно, и нефть приходится нагревать. С увеличением температуры сырья понижается его вязкость. Это приводит к возрастанию разницы показателей плотности воды и энергоресурса. Для нагрева 1 тонны нефти на 1°С (при $c = 2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$) требуется 0,583 кВт·ч. Учитывая то, что нефть необходимо нагреть до 60–70 °С, а ежегодный объем добычи нефти только в России составляет свыше 550 млн тонн [4], то для предварительного подогрева нефти необходимо затратить до 17000 МВт·ч. Поэтому экономия даже сотни ватт на подогреве и сепарации нефти в глобальном плане может привести к ощутимой экономии энергии.

Для нахождения возможных путей энергосбережения были рассмотрены различные конструктивные предложения для сепарации как отечественных, так и зарубежных изобретателей [5–11] (рис. 1). Несмотря на разнообразие идей по совершенствованию конструкций центробежных сепараторов, основными узлами которых являются корпус, привод и барабан сепаратора, содержащий тарелки, пластины, ни в одной из перечисленных конструкций не предусмотрены решения, позволяющие сэкономить электроэнергию при подготовке нефти в технологической цепочке «подогреватель – сепаратор».

На рисунке 1 а) показана конструкция сепаратора с прямым приводом [7], позволяющая осуществлять экономию энергоресурсов за счет исключения из кинематической схемы редуктора; на рисунках 1 б) и 1 в) представлены конструкции центробежных сепараторов [8, 9], предусматривающих возможность экономии энергоресурсов за счет изменения порядка расположения тарелок в сепараторе; на рисунке 1 г) показана конструкция самоочищающегося сепаратора, позволяющего осуществлять экономию энергоресурсов за счет изменения схемы выгрузки продуктов сепарирования [10].

Все приведенные конструкции позволяют осуществлять экономию энергоресурсов, в основном, за счет конструктивных изменений в барабане сепаратора.

Конструктивные решения в сепараторе для жидкости [12] и в установке для сепарирования нефти [13] позволяют осуществить экономию энергоресурсов при сепарировании нефти за счет частичного использования тепловой энергии, выделяемой в виде потерь в статоре, для догрева продукта сепарирования.

Сепаратор для жидкости [12], представленный на рисунке 2, содержит корпус 1, смонтированный в нем аксиальный статор 2 электродвигателя с обмоткой 3, вокруг лобовых частей которой установлены трубки 4, ведущие от емкости с сепарируемой жидкостью 11, замкнутые компандом 5, и барабан 6, являющийся одновременно ротором электродвигателя, жестко связанный с валом 7. Вал установлен в двух подшипниковых

опорах – горцовой 8 и упорной 9. Выход трубок соединен с внутренней частью сепаратора трубопроводом 10.

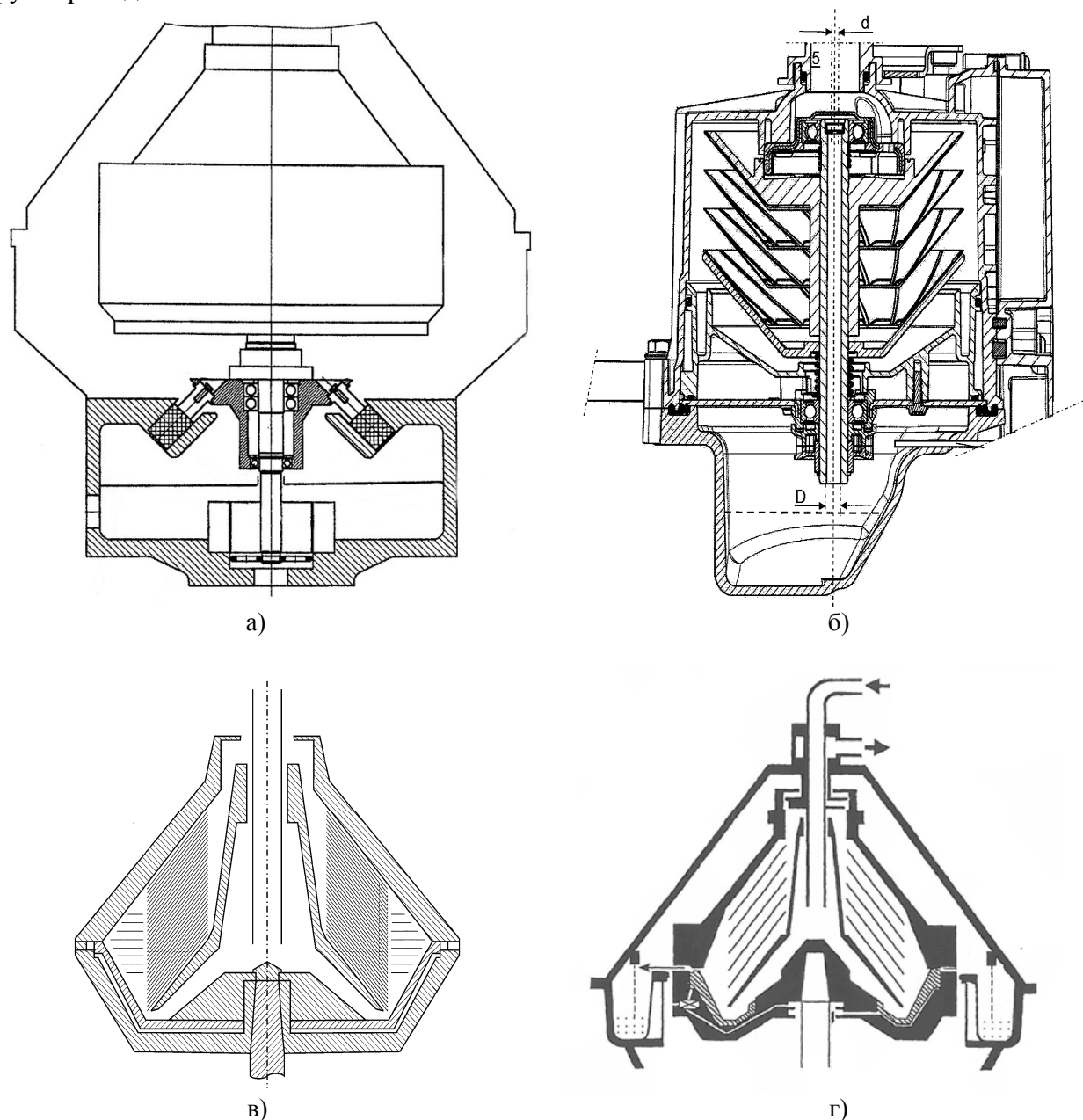


Рис. 1. Центробежные сепараторы

Статор электродвигателя в сепараторе для жидкости расположен под нижней торцовой поверхностью барабана сепаратора. Это позволяет частично использовать выделяемое в барабане тепло для подогрева сепарируемой жидкости, подогрев которой происходит в нижней части барабана сепаратора, расположенной над торцовой поверхностью аксиального статора электродвигателя, за счет нагрева части барабана вихревыми токами.

Однако сепарируемая жидкость находится в нижней части барабана сравнительно непродолжительное время. В связи с этим, нагрев сепарируемой жидкости за счет ее соприкосновения с нагреваемой торцовой поверхностью барабана сепаратора происходит сравнительно непродолжительное время.

Кроме того, благоприятное воздействие на сепарируемую жидкость электромагнитного поля, создаваемого аксиальным статором электродвигателя, также незначительно вследствие того, что основная часть этого электромагнитного поля рассеивается в днище барабана и в сравнительно узком слое сепарируемой жидкости.

Существенным недостатком сепаратора для жидкости [12] является необходимость

обеспечения большого воздушного зазора между магнитопроводом статора и барабаном-ротором сепаратора, так как наличие в конструкции только аксиального статора приводит к тому, что из-за действия осевых электромагнитных сил барабан сепаратора «проседает» по вертикали, оказывая разрушающее действие на опорный подшипник и создавая угрозу механического соприкосновения вращающегося барабана-ротора сепаратора и аксиального статора. Увеличение воздушного зазора между магнитопроводом статора и барабаном-ротором сепаратора приводит к увеличению магнитного сопротивления, а следовательно – к увеличению тока статора, необходимого для создания требуемого магнитного потока (тока намагничивания), то есть к увеличению требуемого сечения проводов обмоток и, соответственно, к ухудшению массогабаритных показателей сепаратора.

Установка для сепарирования нефти [13] совмещенной конструкции представлена на рисунке 3.

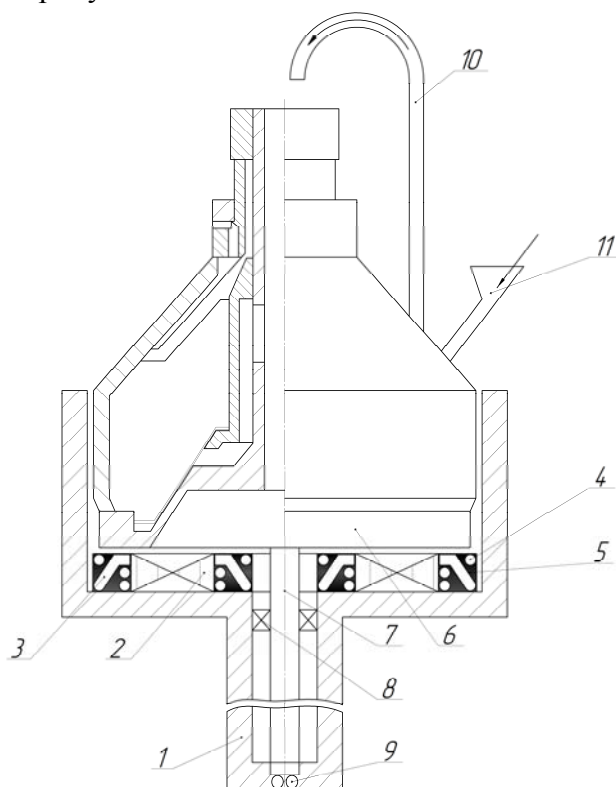


Рис. 2. Сепаратор для жидкости

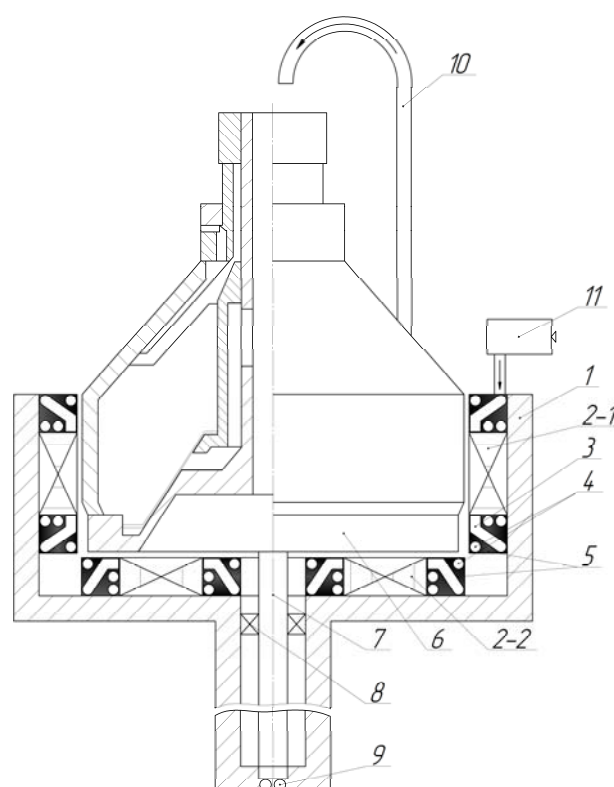


Рис. 3. Установка для сепарирования нефти

Установка (рис. 3) содержит корпус 1, смонтированный в нем статор электродвигателя, состоящий из двух частей (цилиндрическая часть поз. 2-1, аксиальная часть поз. 2-2), с обмоткой 3 двух частей статора, в которой размещены замоноличенные компаундом 5 трубки 4, идущие от резервуара 11 и служащие для охлаждения статора и подогрева нефти. Барабан 6 сепаратора, являющийся одновременно ротором электродвигателя, жестко связанный с осью 7, позволяет осуществлять экономию энергоресурсов за счет частичного использования тепловой энергии, выделяемой в аксиальной и цилиндрических частях статора для дополнительного нагрева продукта сепарирования. Ось установлена в подшипниковых опорах 8 и 9. Выход трубок соединен с внутренней частью сепаратора трубопроводом 10.

Однако описанная установка для сепарирования нефти также имеет ряд недостатков, а именно: недостаточно высокие энергетические показатели установки, низкие массогабаритные показатели, низкую надежность.

Существенным недостатком установки для сепарирования нефти совмещенной конструкции [13] является наличие большого осевого (аксиального) электромагнитного усилия, вызванного неизбежным притяжением барабана-ротора к аксиальному магнитопроводу. Это усилие может оказывать разрушающее действие на подшипники, вести к преждевременному выходу их из строя и создавать угрозу механического соприкосновения вращающегося бара-

бана-ротора сепаратора и аксиального магнитопровода.

Кроме того, при вращении барабана-ротора возможен его перекокс относительно аксиального магнитопровода, который может быть вызван большим осевым (аксиальным) электромагнитным усилием. Это также ведет к преждевременному выходу подшипников из строя и возможности соприкосновения барабана-ротора с аксиальным магнитопроводом. Все выше перечисленные аспекты могут приводить к уменьшению надежности сепаратора.

Для исключения возможности соприкосновения барабана-ротора с аксиальным магнитопроводом необходимо обеспечить большой воздушный зазор между аксиальным магнитопроводом статора и барабаном-ротором.

Кроме того, в установке для сепарирования нефти [13] имеют место качание, биение и вибрации барабана-ротора внутри цилиндрического магнитопровода сепаратора. Это может привести к соприкосновению вращающегося барабана-ротора сепаратора и цилиндрического магнитопровода. Это также снижает надежность сепаратора и требует обеспечения большого воздушного зазора между барабаном-ротором и цилиндрическим магнитопроводом.

Увеличение воздушного зазора между аксиальным магнитопроводом и барабаном-ротором сепаратора и между цилиндрическим магнитопроводом и барабаном-ротором сепаратора может привести к увеличению магнитного сопротивления, а следовательно – к увеличению тока в обмотках статора, необходимого для создания требуемого магнитного потока (тока намагничивания), то есть к увеличению требуемого сечения проводов обмоток статора и, соответственно, к ухудшению энергетических и массогабаритных показателей сепаратора.

Но, несмотря на все вышеперечисленные недостатки, применение установки для сепарирования нефти [13, 14] поможет дать энергосбережение до 1,82 кВт·ч на 1 тонну сепарируемого продукта.

Задачей работы является совершенствования энергосберегающей установки для переработки нефти, для сепарирования нефти, позволяющее повысить ее надежность, энергетические и массогабаритные показатели, а также качество сепарируемого продукта. Для этого необходимо разработать техническое решение, не допускающее качания и биения барабана.

Исключение «проседания» барабана-ротора по вертикали позволит уменьшить не только величину воздушного зазора между основанием барабана-ротора и аксиальным магнитопроводом и установить его, исходя из максимальных энергетических показателей сепаратора, то есть КПД η и $\cos\varphi$, но и уменьшить величину воздушного зазора между цилиндрическим магнитопроводом и боковыми стенками барабана-ротора.

Снижение величин воздушных зазоров между барабаном и статором (аксиальной и цилиндрической частями) до расчетных приведет к более «жесткому поведению» барабана-ротора сепаратора, что должно уменьшить его вибрацию и качание относительно вертикальной оси, улучшить качество сепарирования продукта, повысить надежность конструкции. Кроме того, снижение воздушного зазора до расчетного значения в электрической машине, чем фактически является сепаратор, выполненный по совмещенной схеме (барабан сепаратора одновременно выполняет роль ротора электродвигателя – барабан-ротор), должно привести к снижению тока намагничивания, и, как следствие, к повышению энергетических и массогабаритных показателей установки для сепарирования нефти.

Примечания:

1. Эрих В.Н., Расина М.Г., Рудин М.Г. Химия и технология нефти и газа. 2-е изд., перераб. Л.: Химия, 1977. 424 с.
2. Подготовка нефти. URL: <http://www.nftegaz-expo.ru/ru/articles/2016/podgotovka-nefti/2> (дата обращения: 09.07.2019).
3. Мстиславская Л.П., Павлинич М.Ф., Филипов В.П. Основы нефтегазового производства: учеб. пособие. М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. 2-е изд., испр. и доп. 276 с.

References:

1. Erikh V.N., Rasina M.G., Rudin M.G. Chemistry and technology of oil and gas., 2nd ed., revised. L.: Chemistry, 1977. 424 pp.
2. Oil preparation. URL: <http://www.nftegaz-expo.ru/ru/articles/2016/podgotovka-nefti/2> (access date: 09.07.2019).
3. Mstislavskaya L.P., Pavlinich M.F., Filipov V.P. Fundamentals of oil and gas production: a manual. M.: FSUE "Oil and Gas" Publishing House, RSU of Oil and Gas of I.M. Gubkin, 2003. 2nd ed, revised and enlarged. 276 pp.

4. Добыча нефти в РФ за 2019 год повысилась на 2,8%. URL: <https://www.interfax.ru/russia/663392> (дата обращения: 10.07.2019).
5. Привод центробежного сепаратора: патент на изобретение RUS 2033862, 30.04.1995 / Н.В. Галышкин. URL: <http://allpatents.ru/patent/2033862.html>
6. Центрифуга: патент на изобретение RUS 2038677, 27.03.1995 / В.А. Соломин, А.Д. Попов, В.Д. Карминский, А.Л. Циома. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2038677>
7. Сепаратор с прямым приводом: патент на изобретение RUS 2408434, 10.01.2011 / В. Маккель, Х. Титц. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2408434>
8. Centrifugal separator: патент на изобретение US20150119226A1, 30.04.2015 / Mats-Örjan Pogén. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2015172990>
9. Centrifugal separator: патент на изобретение US20150283558A1, 08.10.2015 / Staffan Königsson. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2015172990>
10. Self-cleaning separator for careful discharge of shear sensitive products, and method for its operation: патент на изобретение DE102017106801B3, 02.08.2018 / Tim Hundertmark, Mario Emanuele, Alexander Piek, Jürgen Mackel. URL: https://www.spxflow.com/en/seital/pd-010_Self_cleaning_separators/
11. Purifier system using a centrifugal separator, and it has a moisture discharge structure: патент на изобретение JP6313901B2, 18.04.2018 / Kim Yong-Gun-um, Ho Jin Ye, Kyo-Heli, Yong-Won Cha, Yun-fan.
12. Сепаратор для жидкости: патент на изобретение SU 1427501, 30.09.1988 / Б.Х. Гайтов, Л.Е. Копелевич, В.Я. Письменный, Е.А. Быков. URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU1427501A1_19880930
13. Установка для сепарирования нефти: патент на изобретение RUS 2593626, 10.08.2016 / Л.Е. Копелевич. URL: <https://patentinform.ru/inventions/reg-2593626.html>
14. Установка для сепарирования нефти / Б.Х. Гайтов, Я.М. Кашин, Л.Е. Копелевич, А.В. Самородов, В.А. Ким // Нефтяное хозяйство. 2017. № 7. С. 90–92.
4. Oil production in the Russian Federation for 2019 increased by 2,8%. URL: <https://www.interfax.ru/russia/663392> (access date: 10.07.2019).
5. Centrifugal separator drive: patent for invention RUS 2033862, 30.04.1995 / N.V. Galyshkin. URL: <http://allpatents.ru/patent/2033862.html>
6. Centrifuge: patent for invention RUS 2038677, 27.03.1995 / V.A. Solomin, A.D. Popov, V.D. Karminsky, A.L. Tsioma. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2038677>
7. Separator with direct drive: patent for invention RUS 2408434, 10.01.2011 / V. McKel, H. Titz. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2408434>
8. Centrifugal separator: patent for invention US20150119226A1, 04/30/2015 / Mats-Örjan Pogén. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2015172990>
9. Centrifugal separator: patent for invention US20150283558A1, 10/08/2015 / Staffan Königsson. URL: <https://patentscope.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2015172990>
10. Self-cleaning separator for careful discharge of shear sensitive products, and method for its operation: patent for the invention DE102017106801B3, 02.08.2018 / Tim Hundertmark, Mario Emanuele, Alexander Piek, Jürgen Mackel. URL: https://www.spxflow.com/en/seital/pd-010_Self_cleaning_separators/
11. Purifier system using a centrifugal separator, it has a moisture discharge structure: patent for Invention JP6313901B2, 04/18/2018 / Kim Yong-Gun-um, Ho Jin Ye, Kyo-Heli, Yong-Won Cha, Yun-fan.
12. Liquid separator: patent for invention SU 1427501, 09/30/1988 / B.Kh. Gaytov, L.E. Kopelevich, V.Ya. Pismenny, E.A. Bykov. URL: https://yandex.ru/patents/doc/SU1427501A1_19880930
13. Installation for oil separation: patent for invention RUS 2593626, 08/10/2016 / L.E. Kopelevich. URL: <https://patentinform.ru/inventions/reg-2593626.html>
14. Installation for oil separation / B.Kh. Gaytov, Ya.M. Kashin, L.E. Kopelevich, A.V. Samorodov, V.A. Kim // Oil Industry. 2017. No. 7. P. 90–92.