



УДК 622.279.8 + 621.924.06

**ТЕХНОЛОГИИ СБОРА И ПОДГОТОВКИ
НИЗКОДАВЛЯЮЩЕГО НЕФТЯНОГО ГАЗА
С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИДРОПРИВОДНЫХ СТРУЙНЫХ
КОМПРЕССОРНЫХ АГРЕГАТОВ НА ПРИМЕРЕ
НЕФТЕСБОРНОГО ПУНКТА «РОМАНОВО» (г. КАЛИНИНГРАД)**

**TECHNOLOGIES FOR THE COLLECTION AND TREATMENT
OF LOW PRESSURE PETROLEUM GAS
USING HYDRAULIC JET COMPRESSOR UNITS
ON THE EXAMPLE OF THE «ROMANOVO»
OIL GATHERING STATION (KALININGRAD)**

Кусов Геннадий Владимирович

аспирант,
Северо-Кавказский федеральный университет
de_france@mail.ru

Савенок Ольга Вадимовна

доктор технических наук,
профессор кафедры Нефтегазового дела
имени профессора Г.Т. Вартумяна,
Кубанский государственный технологический университет
olgasavenok@mail.ru

Аннотация. Разработка и внедрение новых технологий и техники, более адаптированных к сбору и подготовке низконапорных газов, является актуальной задачей. Одним из перспективных направлений в развитии таких технологий является использование в них гидроприводных струйных компрессорных агрегатов. Их разработка и внедрение требуют большого объёма расчётов, связанных с определением основных технологических параметров. В статье рассмотрены технологии сбора и подготовки нефтяного газа с применением гидроприводных струйных компрессорных агрегатов на примере нефтесборного пункта «Романово» (г. Калининград).

Ключевые слова: нефтесборный пункт «Романово»; технологическая установка сбора и подготовки нефтяного газа; компримирование двух (и более) газов различных давлений, температур и составов; принцип действия гидроприводного струйного компрессорного агрегата; изменение технологической характеристики установки; основные преимущества гидроприводных струйных компрессорных агрегатов.

Kusov Gennady Vladimirovich

Graduate student,
North-Caucasian Federal University
de_france@mail.ru

Savenok Olga Vadimovna

Doctor of Technical Sciences,
Professor of oil
and gas engineering department
named after professor G.T. Vartumyan,
Kuban State Technological University
olgasavenok@mail.ru

Annotation. The development and implementation of new technologies and equipment, more adapted to the collection and preparation of low-pressure gases, is an urgent task. One of the promising directions in the development of such technologies is the use of hydraulic drive jet compressor units in them. Their development and implementation require a large amount of calculations related to the determination of the main technological parameters. The article discusses the technology of gathering and preparing oil gas using hydraulically driven jet compressor units using the example of the «Romanovo» oil gathering station (Kalinin-grad).

Keywords: oil gathering station «Romanovo»; technological unit for collecting and preparing oil gas; compression of two (or more) gases of various pressures, temperatures and compositions; principle of operation of a hydraulic driven jet compressor unit; change in the technological characteristics of the installation; main advantages of hydraulic driven jet compressor units.

Примером технического решения задачи компримирования двух (и более) газов различных давлений, температур и составов одним струйным компрессорным агрегатом, который был выполнен за полтора года компаниями ЗАО «ГК «РусГазИнжиниринг» и ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть», является установка подготовки попутного нефтяного газа (УП ПНГ) различных ступеней сепарации нефти на нефтесборном пункте (НСП) «Романово» (г. Калининград). Газ различных ступеней сепарации нефти собирается в две технологические нитки с давлением 0,15 МПа и 0,0094 МПа. Газ сжигался на двух факелах высокого давления ФВД (0,15 МПа) и низкого давления ФНД (0,0094 МПа). Основные исходные данные сведены в таблицу 1.



Таблица 1 – Основные исходные данные

1	Давление газа высокого давления, сжигаемого на факеле (ФВД), МПа	0,15
2	Объём сжигаемого газа по ФВД, м3/сут.	28500
3	Давление газа по факелу низкого давления (ФНД), МПа	0,0094
4	Объём сжигаемого газа по ФНД, м3/сут.	21000
5	Давление в газопроводе, МПа	max 0,6
6	Расстояние от УП ПНГ до точки сдачи газа, км	7,5
Дополнительно предусмотреть снижение производительности УП ПНГ, связанной с перспективой уменьшения объёма ПНГ		

Установка сбора и подготовки нефтяных газов выполнена по схеме, представленной на рисунке 1.

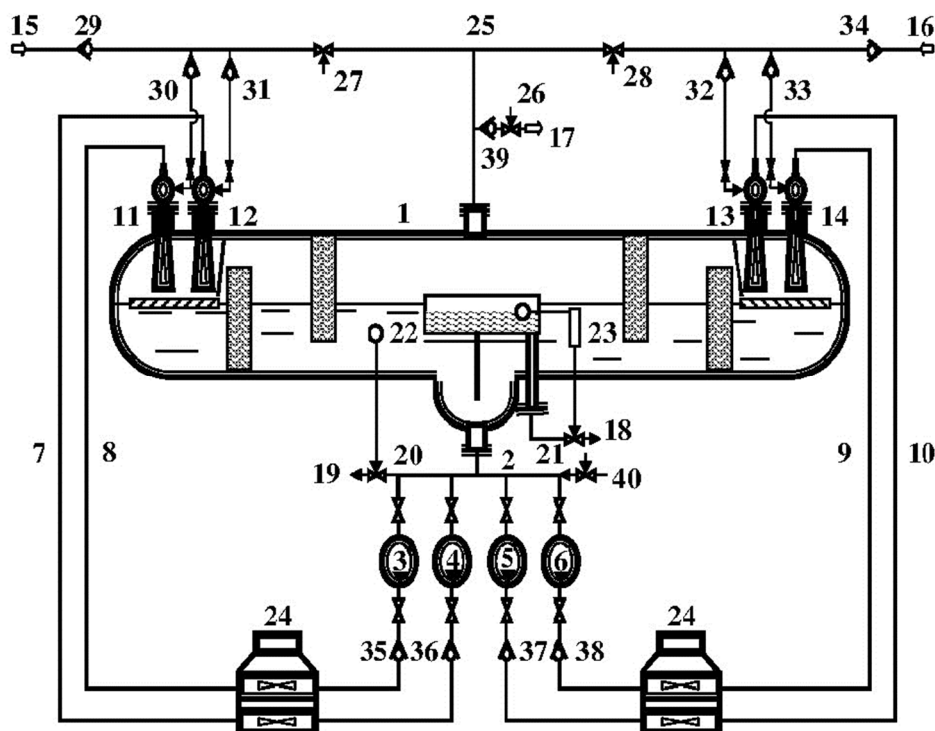


Рисунок 1 – Принципиальная схема

гидроприводных струйных компрессорных агрегатов:

- 1 – МФА (трёхфазный разделитель); 2 – трубопровод подачи рабочей жидкости;
- 3–6 – насосы; 7–10 – трубопроводы высоконапорной жидкости;
- 11–14 – струйные компрессора (эжекторы); 15 – трубопровод высоконапорного газа;
- 16 – трубопровод низконапорного газа; 17 – трубопровод сжатого газа;
- 18 – трубопровод вывода конденсата; 19 – трубопровод вывода воды;
- 20, 21 – управляемые клапаны по жидкости; 22, 23 – сигнализаторы уровня;
- 24 – АВО; 25 – байпас; 26–28 – управляемые клапаны по газу;
- 29–39 – обратные клапаны; 40 – трубопровод подвода рабочей жидкости

Принцип действия ГСКА сводится к следующему. Рабочая жидкость из МФА 1 поступает по трубопроводу 2 в насосы 3, 4, 5 и 6, которые нагнетают её по трубопроводам 7, 8, 9 и 10 и подают в жидкостно-струйные компрессоры 11, 12, 13 и 14. В жидкостно-струйные компрессоры 11 и 12 подаётся низконапорный газ второй ступени сепарации по трубопроводу 15, а в компрессоры 13 и 14 по трубопроводу 16 высоконапорный газ первой ступени сепарации. Струи высоконапорной жидкости, истекая из сопел, захватывают низконапорный газ, смешиваются с ним и передают ему свою кинетическую энергию. Газожидкостная смесь в диффузоре эжектора затормаживается и повышает своё давление. После чего поступает в МФА 1, где происходит трёхфазное разделение смеси на рабочую жидкость – воду, углеводородный конденсат и сжатый газ. Сжатый газ отводится по трубопроводу 17, углеводородный конденсат – по трубопроводу 18, а рабочая жидкость вновь подаётся по трубопроводу 2 в насосы.

В исходном газе всегда присутствует вода в парообразном и капельном виде. При сжатии газа пары конденсируются, а капельная вода улавливается в трёхфазном разделителе МФА 1. Со време-



нем её количество увеличивается, излишки сбрасывается по трубопроводу 19. Сброс воды и углеводородного конденсата осуществляется автоматически по команде управляемыми клапанами 20 и 21 соответственно от сигнализаторов уровня 22 и 23.

При сжатии газа выделяется тепло, которое нагревает рабочую жидкость. Для её охлаждения служат АВО 24.

Регулировка температуры рабочей жидкости осуществляется автоматически включением и отключением АВО по команде от термопары (условно не показанной) или по команде оператора.

Для обеспечения температуры точки росы газа по воде и углеводородам в холодный период в соответствии с ГОСТ 5542-87 после узлов регулирования давления подготовленного газа и окончательной сепарации предусмотрен подогрев сжатого газа на 20–40 °С выше температуры сепарации газа в теплообменнике.

Регулировка производительности в агрегате производится ступенчато и плавно. Ступенчатая регулировка выполняется отключением насосов. Плавная регулировка производится путём регулирования производительности насосов инверторами, а также существует возможность перепуска части сжатого газа по байпасной линии 25.

Для подачи рабочей жидкости в эжекторы 2 и 3 используются два насосных агрегата 6 и 7 (GI 150-80-MIS-240/4) с напором 267,5 м, производительностью 45–66 м³/ч и расчётной потребляемой мощностью (при расходе 66 м³/ч) – 71 кВт.

Для подачи рабочей жидкости в эжекторы компримирования газа второй степени сепарации 4 и 5 используются два насосных агрегата 8 и 9 (GI 150-80-MIS-240/6) с напором 347 м, производительностью 79–114 м³/ч и расчётной потребляемой мощностью (при расходе 114 м³/ч) – 149,3 кВт.

Учитывая динамику объёмов подготовки попутного нефтяного газа, к 2017 году производительность установки снижается с 18 млн м³ в год до 8,5 млн м³, т.е. более чем в 2 раза. В связи с этим было принято решение отказаться от предложенного ранее резервного насоса, так как в 2017 году автоматически появляются два резервных насосных агрегата: один для компримирования газа первой степени сепарации (высоконапорный), второй – для компримирования газа второй степени сепарации (низконапорный). В начальный период эксплуатации работают все четыре насосных агрегата с максимальной производительностью 18 млн м³/год. Изменение технологической характеристики установки представлено в таблице 2.

Таблица 2 – Изменение технологической характеристики установки

Показатели	газ первой степени сепарации		газ второй степени сепарации		всего по двум ступеням сепарации	
	2008	2017	2008	2017	2008	2017
Годы эксплуатации	2008	2017	2008	2017	2008	2017
Давление низконапорного газа, МПа	0,15	0,15	0,0094	0,0094	–	–
Производительность по газу, млн м ³ /год	10,4	4,9	7,66	3,6	18,06	8,5
Количество насосов в работе, шт.	2	1	2	1	4	2
Количество резервных насосов, шт.	–	1	–	1	–	2
Напор насоса, м	267,5	267,5	347	347	–	–
Давление газожидкостной смеси на выходе из эжектора, МПа (абс.)*	0,715–0,89	0,715–0,89	0,71–0,88	0,71–0,88	–	–
Производительность по жидкости, м ³ /ч	132	66	228	114	360	180
Расчётная потребляемая мощность, кВт	142	71	298,6	149,3	440,6	220,3
КПД насоса	69		73,5		–	–

* Давление на входе насоса равно давлению в сепараторе-разделителе.

Общий вид установки и её оборудования представлены на рисунке 2.

Заказчик – ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть» отметил основные преимущества гидроприводных струйных компрессорных агрегатов перед традиционными компрессорными агрегатами:

- отсутствие компрессорных машин для каждого состава и давления газа, требующие резерва (т.е. трёх типов компрессорных агрегатов);

- возможность компримирования газов любого состава и давления, в т.ч. жирных с их конденсацией при сжатии;

- возможность компримировать одновременно несколько газов различного состава с разными давлениями и температурой;

- применение изотермического сжатия газа – низкие температуры сжимаемого газа 10–35 °С (высокая степень сжатия в одной ступени до 10 при изотермическом КПД процесса 0,35–0,46);

- уменьшенные капитальные и эксплуатационные затраты;



Рисунок 2 – Вид гидроприводных струйных компрессорных агрегатов на пункте сбора нефти и газа «Романово» (г. Калининград)

- имеет малый срок окупаемости (капиталовложения на затраты по приобретению силовых агрегатов и на строительные-монтажные работы примерно в 2 раза ниже, чем для установок с винтовыми компрессорами);
 - общие эксплуатационные расходы на струйные компрессоры примерно на 30 % меньше, чем у винтовых компрессорных установок;
 - моторесурс на порядок больший, чем у компрессоров традиционного типа;
 - высокая надёжность и обеспечение возможности непрерывной работы насоса (порядка 8000 часов);
 - высокая надёжность за счёт отсутствия движущихся частей в жидкостно-струйных компрессорах;
 - не требуется установки ресивера, т.к. трёхфазный разделитель имеет достаточный объём для сжатого газа;
 - не имеет традиционного масляного хозяйства и не требуют специальных смазочных материалов;
 - стабильно работает при изменяющихся величинах давления и расхода исходного газа (не требуется противопомпажная система), работоспособность агрегата сохраняется в широком диапазоне изменения расхода утилизируемого газа (0–100 %), гибкое изменение производительности достигается путём плавного снижения давления (перекрытием задвижки) на входе ЖСК, перепуска газа по байпасу, изменением числа оборотов насоса или ступенчатым отключением одного или нескольких насосов и эжекторов;
 - стабильно функционирует при наличии в исходном газе загрязнений в виде пены, механических примесей и капельной жидкости;
 - стабильно работает на различных химических составах газа и при его изменении, в т.ч. с содержанием коррозионно-активных компонентов более 2 %;
 - не теряет своей работоспособности при наличии в исходном газе жидкости, поступающей в виде пробок, а также конденсата, образующегося при сжатии;
 - высокоэффективно очищает (промывает) сжимаемый газ от всех видов загрязнений;
 - производит удаление из сжимаемого газа в виде конденсата высокомолекулярных углеводородных соединений;
 - при применении в гидроприводных струйных компрессорных агрегатов в качестве рабочей жидкости абсорбентов может производиться осушка сжимаемого газа от паров воды;
 - полностью герметичен и оснащается герметичными насосами, каждый из которых имеет магнитную муфту между приводом и рабочим валом, а значит, имеет повышенную экологичность;
 - возможность использования тепла, выделяющегося при сжатии газа, например, для подогрева нефти рабочей жидкостью, обогрева производственных помещений и пр.;
 - при запуске и остановке не требуется сброс углеводородов в окружающую среду;
 - имеет повышенную пожаро- и взрывобезопасность в связи с его герметичностью и применением в качестве рабочего тела жидкости (в частности, воды);
 - простота в обслуживании, не требующая высококвалифицированного персонала;
 - выполнена полная автоматизация (запуск и остановка осуществляется одной кнопкой на щите управления насосами или по команде из операторной);
 - периодическое обслуживание (не требуется непосредственного присутствия персонала).



Литература:

1. Запорожец Е.П. Регулярные процессы и оборудование в технологиях сбора, подготовки и переработки нефтяных и природных газов / Е.П. Запорожец и др. – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2012. – 620 с.
2. Зиберт Г.К. Подготовка и переработка углеводородных газов и конденсата. Технологии и оборудование / Г.К. Зиберт, Е.П. Запорожец, И.М. Валиуллин. – М. : Недра, 2008. – 734 с.
3. Зиберт Г.К. Технологии и техника сбора нефтяного газа / Г.К. Зиберт и др. – М. : Недра, 2013. – 404 с.
4. Галиев А.А. Численное моделирование сепаратора с изменением конструктивных особенностей // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 4. – С. 56–58.
5. Галиева Р.А. Исследование одновременной очистки газа от кислых компонентов и сероорганических соединений новыми абсорбентами физико-химического действия // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 4. – С. 42–44.
6. Зиянгиров А.Г. Перспективы применения мобильных компрессорных установок в условиях завершающей стадии разработки газовых месторождений / А.Г. Зиянгиров, Т.И. Мухамедьянов, В.И. Павлюченко // Булатовские чтения. – 2018. – Т. 4. – С. 62–64.
7. Кусов Г.В. Автоматизированная система управления установкой подготовки попутного нефтяного газа / Г.В. Кусов, О.В. Савенок; Под общ. ред. Т.М. Сигитова // Современные тенденции развития нефтегазовой и машиностроительной отраслей: сборник научных статей по материалам I Международной научно-практической конференции (25 мая 2016 года, г. Пермь). – Пермь : ИП Сигитов Т.М., 2016. – С. 21–29.
8. Кусов Г.В. Модернизация низкотемпературных сепараторов на Уренгойском газоконденсатном месторождении / Г.В. Кусов, О.В. Савенок // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 2. – С. 179–197.
9. Кусов Г.В. Анализ системы подготовки газа на Уренгойском газоконденсатном месторождении (на примере УКПГ-15) / Г.В. Кусов, О.В. Савенок // Сборник научных трудов по материалам Всероссийской научно-практической конференции «Теоретические и прикладные исследования в области естественных, гуманитарных и технических наук» (17 июня 2016 года, г. Прокопьевск). – Прокопьевск, 2016. – С. 84–95.
10. Кусов Г.В. Влияние систем автоматизации и контроля на надёжность функционирования систем сбора, подготовки и транспорта газа / Г.В. Кусов, О.В. Савенок // Сборник статей международной исследовательской организации «Cognitio» по материалам XII Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки XXI века» (31 июля 2016 года, г. Москва). – М. : Международная исследовательская организация «Cognitio», 2016. – С. 45–48.
11. Кусов Г.В. Обоснование применимости экспоненциального закона распределения при оценке надёжности блочного автоматизированного нефтепромыслового оборудования / Г.В. Кусов, О.В. Савенок // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – № 8. – С. 158–165.
12. Кусов Г.В. Анализ эффективности подготовки газа на УКПГ-9 Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Технологическая часть / Г.В. Кусов, О.В. Савенок // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 3. – С. 40–51.
13. Кусов Г.В. Анализ эффективности подготовки газа на УКПГ-9 Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Модернизация аппаратов осушки газа / Г.В. Кусов, О.В. Савенок // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 3. – С. 52–72.
14. Кусов Г.В. Анализ системы сбора и подготовки газа Бованенковского месторождения / Г.В. Кусов, О.В. Савенок // Сборник статей научно-информационного центра «Знание» по материалам XX Международной заочной научно-практической конференции «Развитие науки в XXI веке» (13 декабря 2016 года, г. Харьков). – Харьков : научно-информационный центр «Знание». – 2016. – Ч. 2. – С. 22–29.
15. Кусов Г.В. Характеристика системы сбора и подготовки газа на Медвежьем месторождении // Журнал «Научный форум. Сибирь». – Тюмень : ООО «Русарра», 2016. – Т. 2. – № 4. – С. 31–33.
16. Кусов Г.В. Система сбора и подготовки газа на примере УКПГ-13 Уренгойского газоконденсатного месторождения / Г.В. Кусов, О.В. Савенок, Одунлами Казим Алан // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2016. – № 4. – С. 120–133.
17. Савенок О.В. Перспективы рационального использования попутного нефтяного газа в России // Газовая промышленность. Спецвыпуск журнала «Газовая промышленность»: Вузовская наука – нефтегазовой отрасли. – 2013. – № 692. – С. 91–95.
18. Савенок О.В. Методы и технологии переработки и эффективного использования попутного нефтяного газа / О.В. Савенок, Д.Д. Шарыпова // Нефть. Газ. Новации. – 2013. – № 10. – С. 64–71.
17. Шестерикова Р.Е. Энергетический анализ влияния очистки газа от диоксида углерода на его транспортировку по магистральным газопроводам / Р.Е. Шестерикова, А.А. Шестерикова, И.А. Галанин // Булатовские чтения. – 2017. – Т. 4. – С. 74–77.

References:

1. Zaporozhets E.P. Regular processes and equipment in technologies of oil and natural gas gathering, preparation and processing / E.P. Zaporozhets et al. – Krasnodar : Publishing House – South, 2012. – 620 p.
2. Siebert G.K. Preparation and processing of hydrocarbon gases and condensate. Technologies and equipment / G.K. Siebert, E.P. Zaporozhets, I.M. Valiullin. – M. : Nedra, 2008. – 734 p.
3. Siebert G.K. Technologies and technique of the oil gas gathering / G.K. Siebert et al. – M. : Nedra, 2013. – 404 p.
4. Galiev A.A. Numerical modeling of a separator with change of the design features // Bulatovskie readings. – 2018. – T. 4. – P. 56–58.
5. Galiev R.A. Investigation of the simultaneous gas purification from the acidic components and the sulfur compounds by the new absorbents of the physical and chemical action // Bulatovskie readings. – 2017. – Vol. 4. – P. 42–44.



6. Ziyangirov A.G. Perspectives of the mobile compressor units application in the conditions of the final stage of the gas fields development / A.G. Ziyangirov, T.I. Mukhamedianov, V.I. Pavlyuchenko // *Bulatovskie readings*. – 2018. – V. 4. – P. 62–64.
7. Kusov G.V. Automated control system for the associated petroleum gas preparation unit / G.V. Kusov, O.V. Savenok // *Modern trends in the development of oil-gas and machine-building industries: collection of scientific articles on the materials of the I International scientific-practical conference (May 25, 2016, Perm) / Under general editorship of T.M. Sigitov*. – Perm : IE Sigitov T.M., 2016. – P. 21–29.
8. Kusov G.V. Modernization of the low-temperature separators at the Urengoy gas-condensate field / G.V. Kusov, O.V. Savenok // *Nauka. Technique. Technologies (Polytechnic bulletin)*. – 2016. – № 2. – P. 179–197.
9. Kusov G.V. Analysis of the gas preparation system at the Urengoy gas condensate field (on the example of GPP-15) / G.V. Kusov, O.V. Savenok // *Collection of scientific papers on materials of All-Russian scientific-practical conference «Theoretical and applied research in the field of natural, humanities and technical sciences»*. (June 17, 2016, Prokopyevsk). – Prokopyevsk, 2016. – P. 84–95.
10. Kusov G.V. Influence of automation and control systems on the reliability of functioning of gas gathering, preparation and transport systems / G.V. Kusov, O.V. Savenok // *Collection of articles of international research organization «Cognitio» on the materials of the 22nd International scientific-practical conference «Actual problems of science of the XXI century» (July 31, 2016, Moscow)*. – M. : International research organization «Cognitio», 2016. – P. 45–48.
11. Kusov G.V. Justification of the exponential distribution law applicability at the reliability estimation of the block automated oilfield equipment / G.V. Kusov, O.V. Savenok // *Gornyi Informational-Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. – 2016. – № 8. – P. 158–165.
12. Kusov G.V. Analysis of the gas preparation efficiency at the gas processing unit 9 of the Yamburg oil-gas-condensate field. Technological part / G.V. Kusov, O.V. Savenok // *Science. Technique. Tekhnologii (Polytechnical bulletin)*. – 2016. – № 3. – P. 40–51.
13. Kusov G.V. Analysis of Gas Treatment Efficiency at Gas Processing Unit-9 of the Yamburg oil-gas-condensate field. Modernization of the gas drying apparatuses / G.V. Kusov, O.V. Savenok // *Science. Technique. Technologies (Polytechnic bulletin)*. – 2016. – № 3. – P. 52–72.
14. Kusov G.V. Analysis of the gas gathering and preparation system of Bovanenkovskoye field / G.V. Kusov, O.V. Savenok // *Collection of articles of scientific-informational center «Znaniye» on materials of the XX International correspondence scientific-practical conference «Development of science in the XXI century»*. (December 13, 2016, Kharkov). – Kharkov : Scientific-Information Center «Knowledge». – Part 2. – P. 22–29.
15. Kusov G.V. Characteristics of the gas gathering and preparation system at the Medvezhiy field // *Journal «Scientific Forum. Siberia»*. – Tyumen : «Rusarra», 2016. – V. 2. – № 4. – P. 31–33.
16. Kusov G.V. System of gas gathering and preparation on an example of Urengoi gas-condensate field RPG-13 / G.V. Kusov, O.V. Savenok; Odunlami Kazim Alan // *Nauka. Technique. Technologies (Polytechnic bulletin)*. – 2016. – № 4. – P. 120–133.
17. Savenok O.V. Prospects of the associated petroleum gas rational use in Russia // *Gas industry. Special issue of the journal «Gazovaya Promyshlennost»: Higher education science – oil and gas industry*. – 2013. – № 692. – P. 91–95.
18. Savenok O.V. Methods and technologies of processing and effective use of the associated petroleum gas / O.V. Savenok, D.D. Sharypova // *Oil. Gas. Innovations*. – 2013. – № 10/2013. – P. 64–71.
17. Shesterikova R.E. Energy analysis of an influence of the gas cleaning from the carbon dioxide on its transportation through the main gas pipelines / R.E. Shesterikova, A.A. Shesterikova, I.A. Galanin // *Bulatovskie readings*. – 2017. – Vol. 4. – P. 74–77.