

НАСОСЫ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ ОБЪЕМНО-ДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА

РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, Сазонов Ю.А. д.т.н.

КОНСТРУИРОВАНИЕ

УДК 621.6

Ю.А. Сазонов, д.т.н., e-mail: ysaz60@mail.ru; В.В. Муленко, к.т.н., РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина; А.Ю. Балака, инженер, DET NORSKE VERITAS AS

НАСОСЫ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ДВИГАТЕЛИ ОБЪЕМНО-ДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА ДЛЯ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Развитие гидравлических машин до настоящего времени активно ведется только по двум главным направлениям – это объемные и динамические машины. Однако в настоящее время особый интерес могут представлять и машины объемно-динамического типа, а это связано с необходимостью создавать специальные насосы и гидравлические двигатели для осложненных условий добычи нефти и газа. В процессе компьютерного моделирования с применением модулей кинематики и гидродинамики были проведены численные эксперименты на модели объемно-динамического насоса в зависимости от частоты вращения и вязкости жидкости.

Так исторически сложилось, что гидравлические машины разделили только на два основных типа, и все развитие этой техники продвигалось соответственно по двум главным направлениям, речь идет об объемных и динамических гидравлических машинах. Сейчас для добычи нефти требуются специальные насосы, способные перекачивать многофазные среды высокой вязкости при наличии твердых частиц в потоке. Объемные роторные насосы раньше предназначались только для перекачки чистых жидкостей, и такую известную оценку этим машинам можно увидеть в технической литературе. Но в настоящее время, когда стало доступным использование твердых сплавов для изготовления насосов, практически все изготовители объемных роторных насосов заявили о своих возможностях производить насосы для добычи нефти в осложненных условиях (в том числе можно назвать одновинтовые, двухвинтовые, зубчатые с внутренним зацеплением, пластинчатые насосы). В таком случае, можно допустить и такой вывод, что дело не в конструкции насоса, а только в дорогостоящем уникальном материале. И в этом случае

целесообразно рассмотреть и другие типы насосов, которые при использовании качественных материалов проявят свои уникальные возможности. Значит, в сложившейся ситуации на рынке нефтяных насосов целесообразно оценивать технику и по расходу дорогостоящих материалов, и по цене насосной установки, и по эксплуатационным расходам в целом. В этой связи можно вспомнить еще одно направление развития насосной техники (помимо объемных и динамических насосов), которое в России было фактически забыто [1, 2], речь идет о насосах объемно-динамического типа. Можно привести номера патентов, чтобы отразить историческое развитие этих машин в США с 1918 г. по настоящее время [3–8]. Но, как сейчас выясняется, авторы активно продвигались только по одному из возможных направлений развития этих машин. Современное математическое моделирование показывает, что область применения этого класса машин может быть многократно расширена. Эти машины имеют серьезные преимущества перед известными роторными машинами. Здесь, в насосах объемно-

динамического винтового типа, отсутствуют зубчатые зацепления, отсутствуют детали, у которых центр масс движется по орбитальным траекториям, а значит, отсутствуют условия для возникновения вибрации и последующего ускоренного износа деталей (независимо от того, какой материал используют для изготовления деталей), практически отсутствуют ограничения для увеличения частоты вращения ротора. Из-за малых габаритов деталей открываются перспективы создания гидроприводных установок такого типа, и спуск насосной установки можно будет проводить внутри колонны НКТ без проведения подземного ремонта (при наличии преимуществ перед известными гидроприводными установками). В этом случае также открываются уникальные возможности для оперативной замены или регулировки насоса, вслед за меняющимися условиями в пластах и в скважине в целом. Новая теория работы гидравлических машин объемно-динамического винтового типа сейчас активно разрабатывается в РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина [9]. Математическое моделирование позволило найти новые пути для развития насосов

ТЕРРИТОРИЯ НЕФТЕГАЗ № 12 декабрь 2011

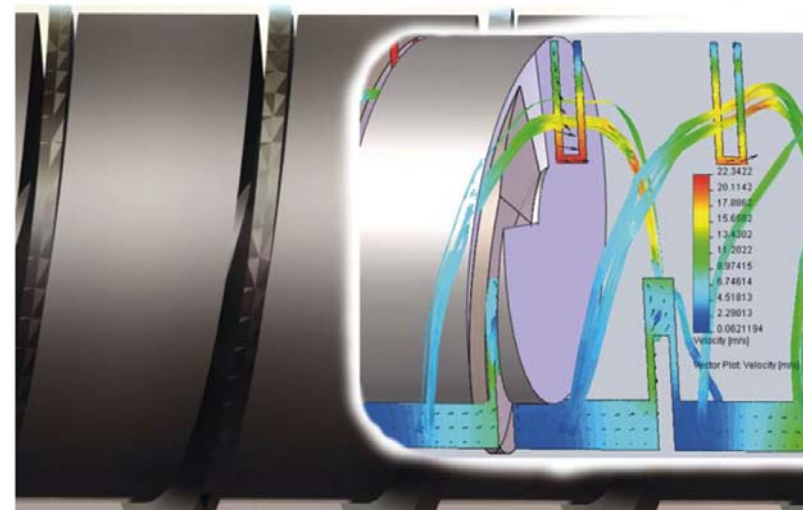


Рис. 1. Результаты компьютерного моделирования в среде Flow Simulation

такого типа. Если в качестве туннельного параметра взять безразмерный параметр «е» – эксцентриситет между осью ротора и осью статора, то подтверждается известная возможность перехода из области объемных насосов ($e = 1$) в область динамических насосов ($e = 0$, в частности, для варианта шнекового насоса). Область такой техники, где параметр «е» меняется в диапазоне от 0 до 1, остается пока практически неизученной. Численные эксперименты с некоторыми вариантами новых насосов показали, что новые высокооборотные насосы вполне могут составить конкуренцию существующим образцам насосной техники. В процессе компьютерного моделирования с применением модулей кинематики и гидродинамики были проведены численные эксперименты по определению предельного давления и величины утечек жидкости из напорной магистрали во всасывающую, нахождению минимального зазора в рабочих органах объемно-динамического насоса в зависимости от частоты вращения и вязкости жидкости. При моделировании для экспериментальной машины задавали

наиболее жесткие условия работы. Оценивались также условия для перекачки сред с твердыми включениями. На этом этапе работ главное внимание уделялось высокооборотным машинам. Исследования проводились с использованием модуля гидрогазодинамического анализа Flow Simulation, предоставляющего широкий набор инструментов для численного моделирования изделий, и интегрированного непосредственно со средой разработки изделия SolidWorks.

Универсальная единая среда проектирования и анализа SolidWorks в течение ряда лет остается одним из лидеров в сегменте массовых продуктов. Она сочетает в себе функциональность, покрывающую абсолютное большинство типовых проблем. Все инструменты носят характер универсальных интегрированных систем анализа, использующих единый удобный интерфейс пользователя. Как показывает практика решения реальных задач в области ма-

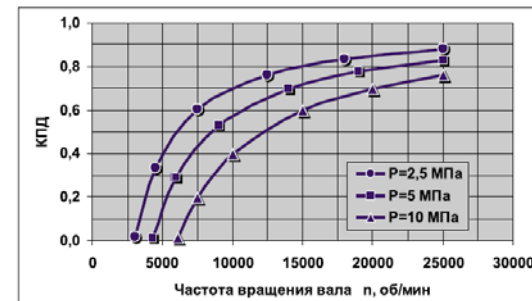


Рис. 2. Результаты численных экспериментов для условий перекачки воды и других маловязких сред

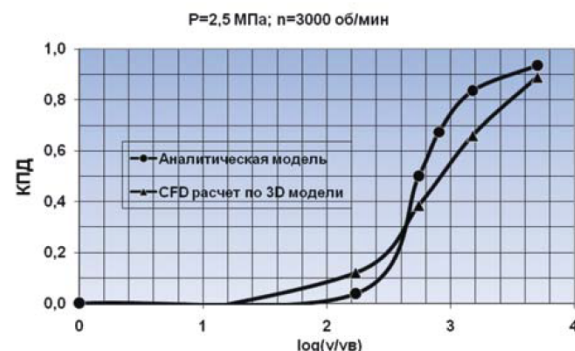


Рис. 3. Результаты аналитического и численного экспериментов для условий перекачки сред с различной вязкостью

шиностроения, использования базовых инструментов SolidWorks вполне достаточно.

Наряду с другими программными продуктами в этой области инженерного анализа в Flow Simulation используется метод конечных объемов. Наличие в данном модуле возможности ручной настройки размера расчетной сетки помимо автоматической позволяет добиваться приемлемой точности результатов за счет управления дополнительным дроблением сетки на геометрических особенностях исследуемой системы. Возможности Flow Simulation, базирующиеся на последних достижениях вычислительной газо- и гидродинамики, позволяют рассчитывать широкий круг различных течений [10] и гармонично сочетаются с функциональностью для решения поставленных в данной статье задач – моделирования рабочего процесса насосов, турбин, шнеков, вентиляторов и «проливки» гидроустройств.

Для визуализации Flow Simulation имеет полный инструментарий, ставший уже стандартом для приложений такого рода. В него входят просмотр физических параметров, исследуемой среды на выбранной поверхности или выбранном объеме в виде эйора в сечениях, на поверхностях, распределения результатов по потокам текучей среды, визуализации линий тока, расчета движения частиц и др. Пример представления результата расчета для экспериментальной секции объемно-динамического насоса показан на рисунке 1. Кроме того, есть возможность экспорта полученных данных в Microsoft Excel.

Использование инновационной технологии с применением CFD-комплекса позволило в короткие сроки без использования (на начальном этапе) натурных экспериментов выбрать оптимальный вариант конструкции.

На рисунке 2 представлены некоторые расчетные характеристики одной секции

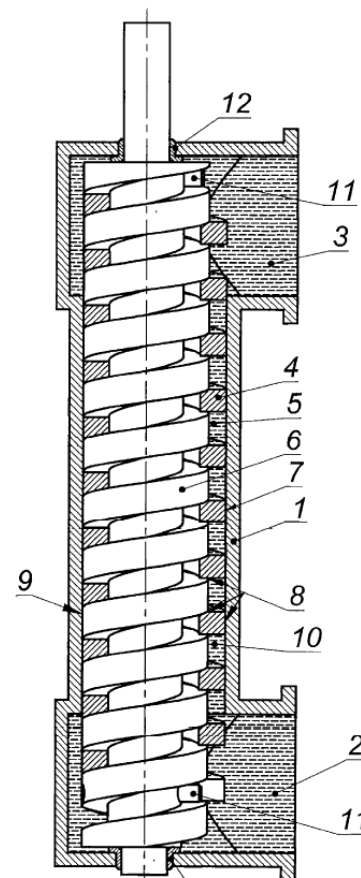
экспериментального насоса, при изменении частоты вращения вала насоса.

С повышением вязкости рабочей среды область применения новых машин существенно расширяется. Подобран пример, представленный на рисунке 3, с расчетами, выполненными по аналитической и численной (CFD-комплекс Flow Simulation) моделям, где наиболее наглядно отражено влияние вязкости на эффективность рабочего процесса (где v – вязкость среды; v_b – вязкость воды). Увеличение вязкости в тысячу раз сопровождается значительным повышением КПД, что объясняется уменьшением потерь мощности при рециркуляции жидкости в рабочей камере насоса.

Хотя подходы к созданию математических моделей и конструкций машин находятся в стадии формирования, но уже можно сказать, что направление работ весьма интересно и с научной, и с практической точки зрения. Многоотпечатные насосы и гидравлические двигатели новой конструкции существенно расширяют возможности для повышения эффективности добычи нефти.

Компьютерное моделирование показало, что помимо скважинных насосов с применением рассмотренных технических решений можно создавать и наземное энергосберегающее оборудование для систем ППД и систем сбора и подготовки нефти и газа.

Видится весьма перспективным развитие научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по гидравлическим машинам объемно-динамического винтового типа, для добычи нефти и для бурения скважин, в том числе и для условий разработки месторождений на континентальном шельфе.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) RU⁽¹¹⁾ 106 678⁽¹³⁾ U1
(51) МПК
F04C 2/16 (2006.01)

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 201111325/06, 28.03.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.03.2011

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 28.03.2011

(45) Опубликовано: 20.07.2011 Бюл. № 20

Адрес для переписки:
460507, Оренбургская обл., Оренбургский р-н, п. Пригородный, ул. Восточная, 3, Ю.А. Сазонову

(72) Автор(ы):
Сазонов Юрий Апполоньевич (RU),
Заякин Владимир Иванович (RU),
Балака Александра Юрьевна (RU)

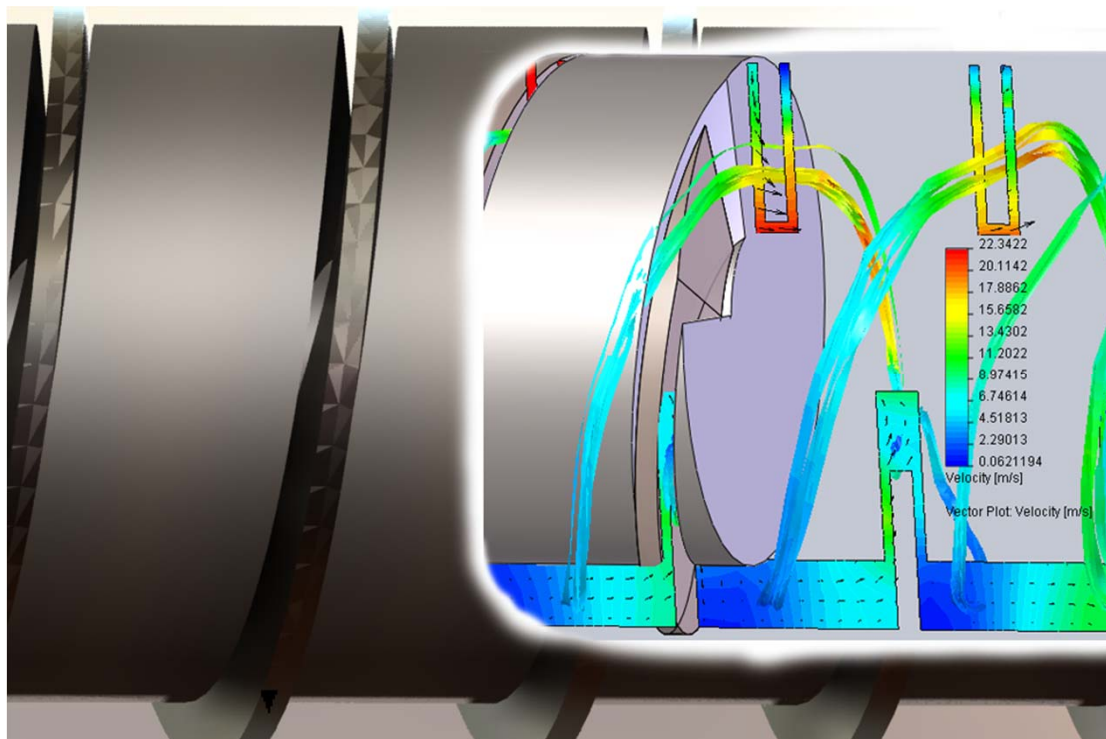
(73) Патентообладатель(и):
Сазонов Юрий Апполоньевич (RU)

(54) ВИНТОВАЯ МАШИНА

Литература:

1. Авторское свидетельство на изобретение СССР № 284616. Винтовой насос. Опубликовано 14.10.1970.
2. Авторское свидетельство на изобретение СССР № 401825. Винтовой насос. Опубликовано 12.10.1973.
3. United States Patent: 1295068. Compressor. Date of Patent: Feb. 18, 1919.
4. United States Patent: 2527536. Rotary screw pump. Date of Patent: Oct. 31, 1950.
5. United States Patent: 3853434. Positive displacement rotary machine. Date of Patent: Dec. 10, 1974.
6. United States Patent: 4875842. Axial flow fluid compressor. Date of Patent: Oct. 24, 1989.
7. United States Patent: 5174737. Fluid compressor with spiral blade. Date of Patent: Dec. 29, 1992.
8. United States Patent: 6074184. Pump utilizing helical seal. Date of Patent: Jun. 13, 2000.
9. Патент на полезную модель РФ № 106678. Винтовая машина. Опубликовано: 20.07.2011.
10. Алямовский А. А., Одинцов Е. В., Пономарев Н. Б. и др. SolidWorks 2007/2008. ВПВ, 2008. – 1040 с.

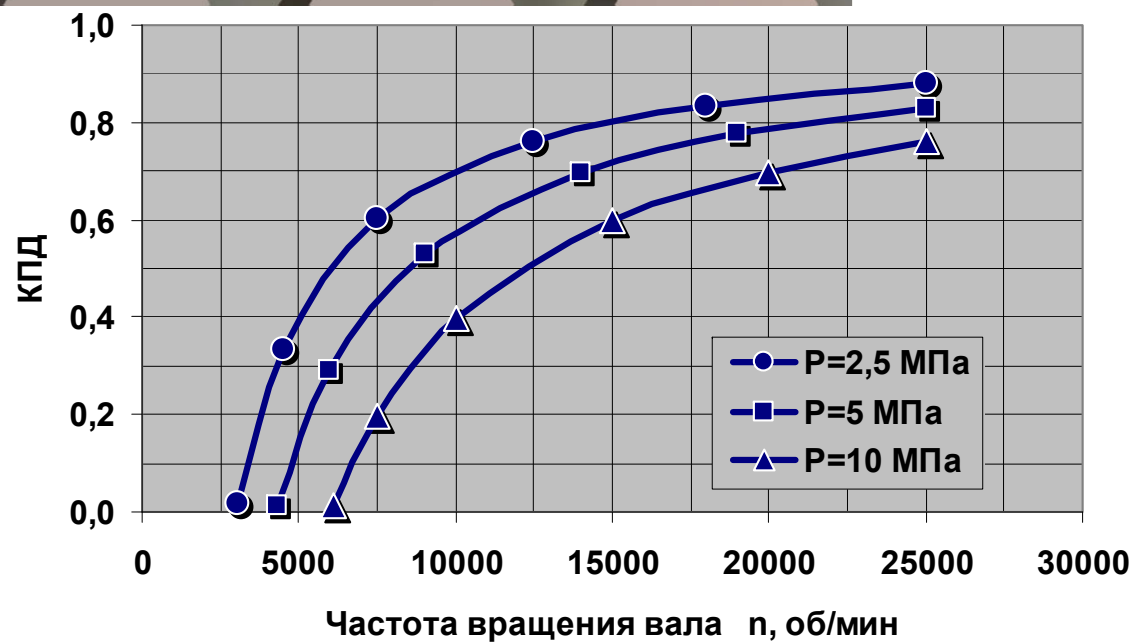
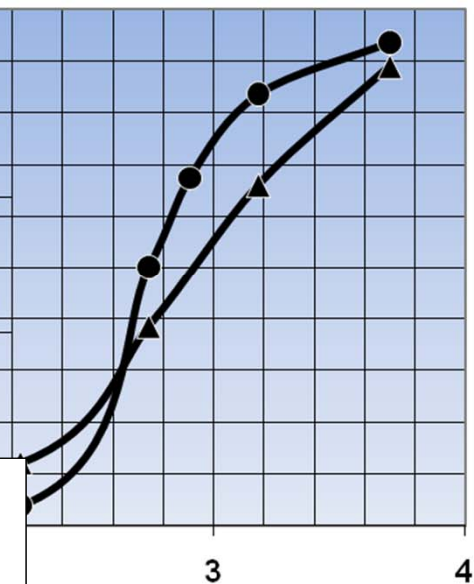
Ключевые слова: насос, конструирование, численный эксперимент, характеристика, трехмерная модель, нефть, вязкость.



2,5 МПа; $n=3000$ об/мин

мическая модель

чет по 3D модели



КОНСТРУИРОВАНИЕ

УДК 621.6

Ю.А. Сазонов, д.т.н., профессор, e-mail: ysaz60@mail.ru; В.В. Муленко, к.т.н., доцент, e-mail: vmulenko@mail.ru, кафедра машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина; А.Ю. Балака, инженер, e-mail: alexandra.balaka@dnv.com, DET NORSKE VERITAS

ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ МАШИН ОБЪЕМНО-ДИНАМИЧЕСКОГО ТИПА

В статье рассмотрены вопросы разработки новых насосов. Созданы математические модели для описания рабочего процесса. Представлены результаты компьютерного моделирования. Разработан и изготовлен экспериментальный образец нового насоса. Конструкция насоса запатентована. Отмечено, что проведение научно-исследовательских работ способствует развитию учебных работ в университете.

В ходе разработки новых технических решений приходится расширять область поиска. Во многих случаях совершается переход из области формализованных знаний в область неформализованных знаний [1–3]. Иногда удается довольно четко рассмотреть границу между двумя названными областями. Так, в тексте ГОСТ 17398-72 представлены насосы объемного типа и насосы динамического типа [4], которые сформировали область формализованных знаний. Но эта область будет неизбежно расширяться за счет новой информации, которая пока остается слабо формализованной. Знания о насосах объемно-динамического типа пока плохо формализованы, и существует граница (переходная зона) между машинами объемного типа и машинами объемно-динамического типа, и с другой стороны, существует граница между машинами объемно-динамического типа и машинами динамического типа. Также можно отметить, что в документе ГОСТ 17398-72 представлены однопоточные насосы, но практически не представлены многопоточные насосы. Граница между однопоточными и многопоточными насосами, по сути, является границей между формализованными и неформализованными знаниями. Однопоточный насос является лишь одним, и наиболее простым, вариантом из множества насосов, которые являются многопо-

точными. С усложнением технологий возрастает интерес к многопоточным машинам. Таким образом, показано, что существует множество возможностей для расширения области поиска новых технических решений. В современных условиях в высших учебных заведениях целесообразно больше внимания уделять вопросам прогнозирования и теории решения инженерных и изобретательских задач. Если рассматривать аналоги объемно-динамического насоса [5–7], то можно

замечать, что при радиальном смещении обоймы относительно ротора в аналогах наблюдается упругая деформация в элементах обоймы. В представленной работе более детально рассмотрено другое направление развития конструкции такой машины, здесь используют жесткую конструкцию обоймы, установленной с зазором в канавках ротора. В этом случае при разработке теории необходимо учесть определяющее значение щелевых уплотнений в проточной части насоса.

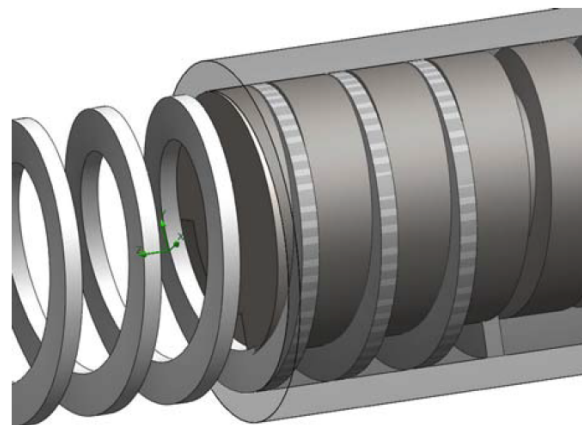


Рис. 1. Модель объемно-динамического насоса

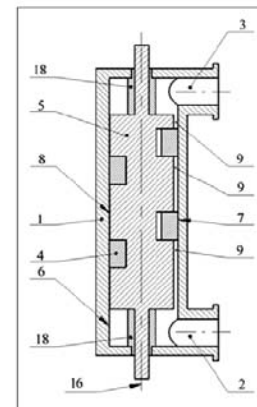


Рис. 2. Схема объемно-динамического насоса

В процессе компьютерного моделирования проведены серии численных экспериментов, с определением значений давления и утечек жидкости, с расчетом минимального зазора в рабочих органах объемно-динамического насоса в

зависимости от вязкости жидкости и частоты вращения ротора. Подобный пример с трехмерной моделью графически представлен на рисунке 1. Выполнение спиральной обоймы, с гарантированным зазором по винтовой канавке ротора, целесообразно для условий перекачки высоковязких сред и при использовании высокооборотного двигателя [7]. При использовании низкооборотного двигателя, например с частотой вращения вала до 3000 оборотов в минуту, целесообразно рассмотреть и другие варианты исполнения обоймы [8]. Пример со сборной обоймой представлен на рисунке 2. Насос (гидравлическая машина) (рис. 2) содержит корпус 1 с входным 2 и выходным 3 патрубками, обойму 4 с винтообразными каналами и винтообразный ротор 5, эксцентрично размещенный в обойме 4, с возможностью радиального смещения обоймы 4 относительно ротора 5. Обойма 4 выполнена по форме спиральной пружины, концентрично размещенной в расточке 6 корпуса 1 с образованием щелевых уплотнений 7 в зазоре между обоймой 4 и корпусом 1. Ротор 5 размещен вблизи от поверхности расточ-



Рис. 3. Трехмерный вид объемно-динамического насоса

ки 6 корпуса 1 с образованием щелевого уплотнения 8 в зазоре между наружной поверхностью ротора 5 и поверхностью расточки 6 в корпусе 1, с возможностью образования внутри корпуса 1 следующих друг за другом спиралевидных камер 9, отделенных друг от друга щелевыми уплотнениями 7, 8. Ротор 5 оснащен стопорными элементами, ограничивающими перемещение обоймы 4 относительно ротора 5. Обойма 4 выполнена из отдельных секций, следующих друг за другом,

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ


 ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) RU (11) 116 188 (13) U1

 (51) МПК
F04C 2/00 (2006.01)
F04C 2/344 (2006.01)

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012102093/06, 23.01.2012
(24) Дата начала отсчета срока действия патента: 23.01.2012
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 23.01.2012
(45) Опубликовано: 20.05.2012 Бюл. № 14
Адрес для переписки:
117647, Москва, ул. Островитянова, 36, кв.72

(72) Автор(ы):
Сазонов Юрий Апполоньевич (RU),
Казакова Елена Сергеевна (RU),
Клименко Константин Игоревич (RU),
Балака Александра Юрьевна (RU)
(73) Патентообладатель(и):
Сазонов Юрий Апполоньевич (RU)

(54) ВИНТОВАЯ МАШИНА

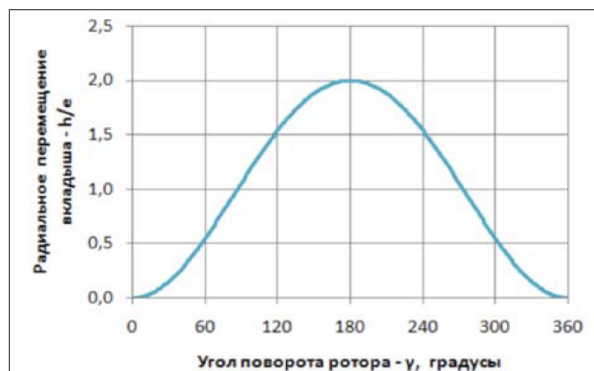


Рис. 4. Зависимость радиального перемещения вкладыша от угла поворота ротора

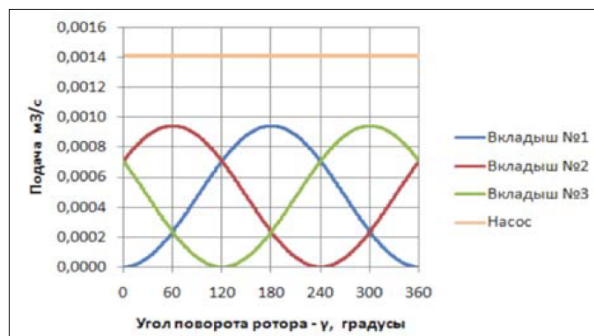


Рис. 5. Расчетные характеристики насоса

с возможностью углового смещения отдельных секций друг относительно друга. Секции в обойме 4 расположены вдоль винтовой линии с образованием ступенчатой (каскадной) структуры, подобно ступеням на винтовой лестнице. Ротор 5

установлен на подшипниках 18, которые обеспечивают условия, чтобы ротор 5 был эксцентрично (с эксцентриситетом – «е») размещен в обойме 4 и, соответственно, эксцентрично размещен внутри расточки 6 в корпусе 1. При этом обойма

4 концентрично размещена в расточке 6 корпуса 1. Рассмотрен вариант, когда обойма 4 состоит из отдельных вкладышей, каждый из которых перекрывает сектор в 120 градусов. Трехмерный вид прототипа модели (а) и фото экспериментального образца (б) представлены на рисунке 3.

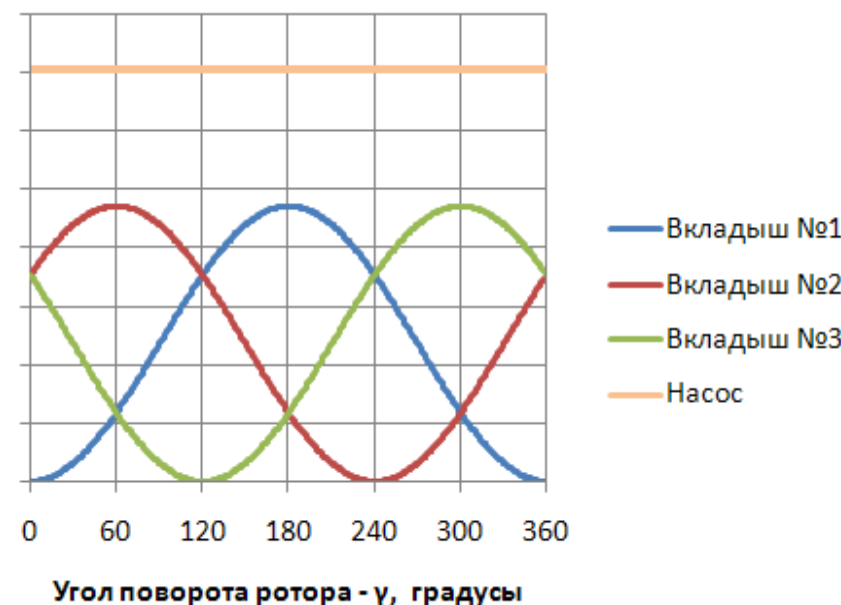
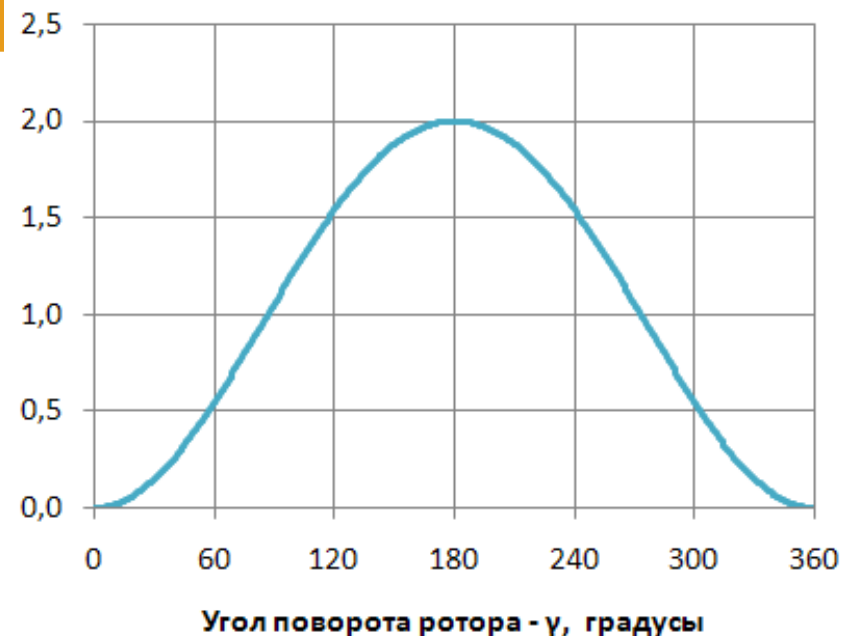
Разработаны математические модели для описания рабочего процесса машины. На рисунке 4 представлена зависимость радиального перемещения h вкладыша от угла поворота ротора (введен безразмерный параметр h/e). Следующие друг за другом вкладыши оказывают силовое воздействие на жидкость. Подача насоса рассматривается как интегральный параметр, зависящий от закона движения каждого вкладыша. На рисунке 5 представлены характеристики насоса, построенные с применением разработанных математических моделей.

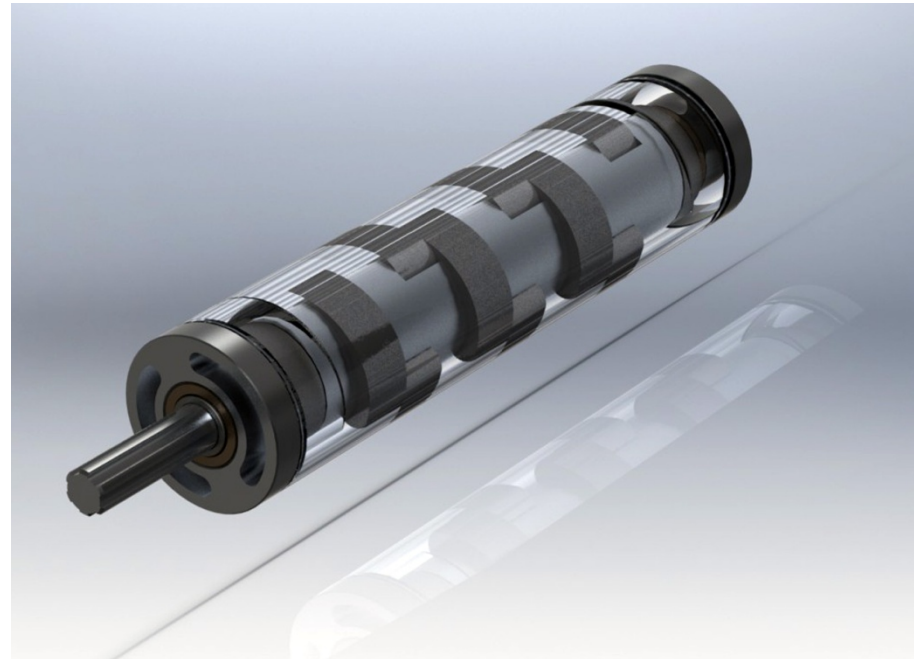
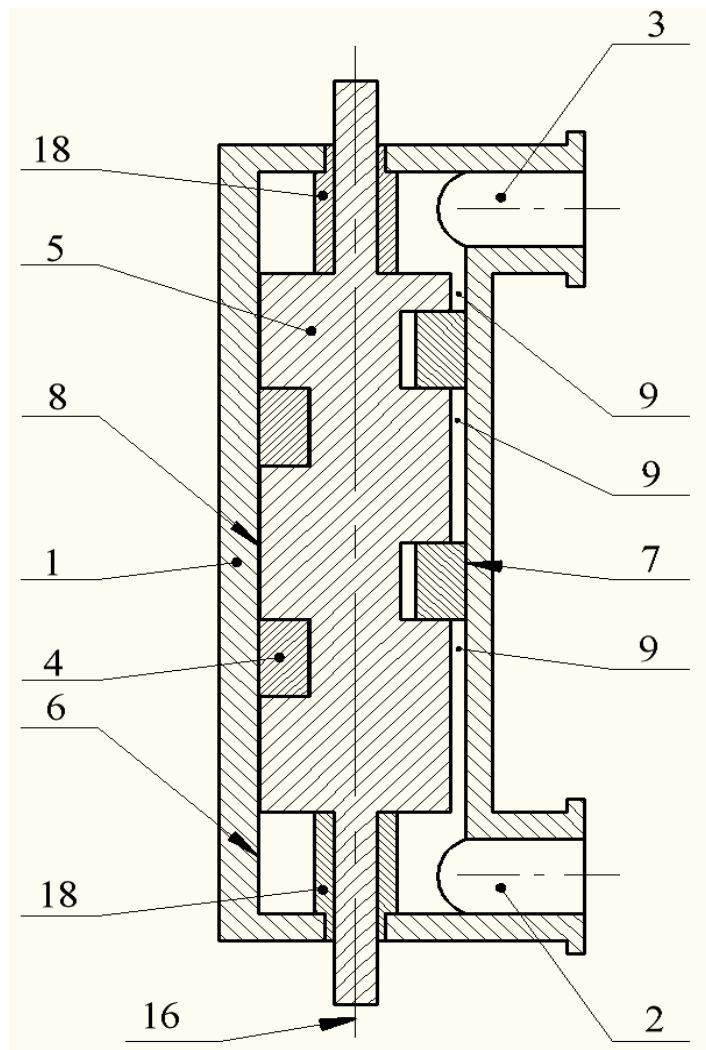
Компьютерным моделированием показаны дополнительные возможности для создания новых гидравлических машин объемно-динамического типа. Результаты проводимых физических экспериментов подтверждают ранее полученные расчетные данные. Численные эксперименты, на языке математики, позволяют установить новые взаимосвязи вопросов проектирования с вопросами теории решения инженерных и изобретательских задач. Вопросы по разработке новых технических решений целесообразно рассматривать не только в рамках преемственности, но и с учетом изменяющейся системы образования, с учетом расширения области для проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

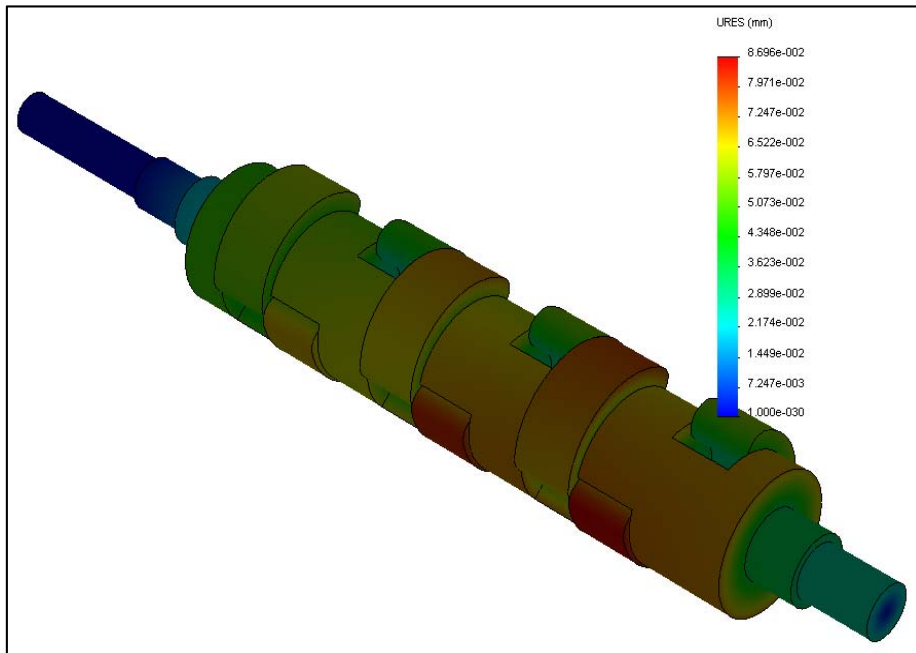
Литература:

1. Джонс Дж. К. Методы проектирования / Пер. с англ., 2-е изд., доп. – М.: Мир, 1986. – 326 с.
2. Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход / Пер. с польск. – М.: Мир, 1981. – 456 с.
3. Таленс Я. Ф. Работа конструктора. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1987. – 255 с.
4. ГОСТ 17398-72. Насосы. Термины и определения.
5. Сазонов Ю.А., Муленко В.В., Балака А.Ю. Компьютерное моделирование и развитие методологии конструирования динамических насосов и машин // Территория НЕФТЕГАЗ, 2011, №10. – С. 34–36.
6. Сазонов Ю.А., Муленко В.В., Балака А.Ю. Насосы и гидравлические двигатели объемно-динамического типа для нефтяной промышленности // Территория НЕФТЕГАЗ, 2011, №12. – С. 12–14.
7. Патент № 106678. Винтовая машина // Сазонов Ю.А.; Заякин В.И.; Балака А.Ю. – Опубликовано: 20.07.2011.
8. Патент № 116188. Винтовая машина // Сазонов Ю.А., Казакова Е.С., Клименко К.И., Балака А.Ю. – Опубликовано: 20.05.2012.

Ключевые слова: объемно-динамические насосы, компьютерное моделирование, проектирование оборудования, математические модели.







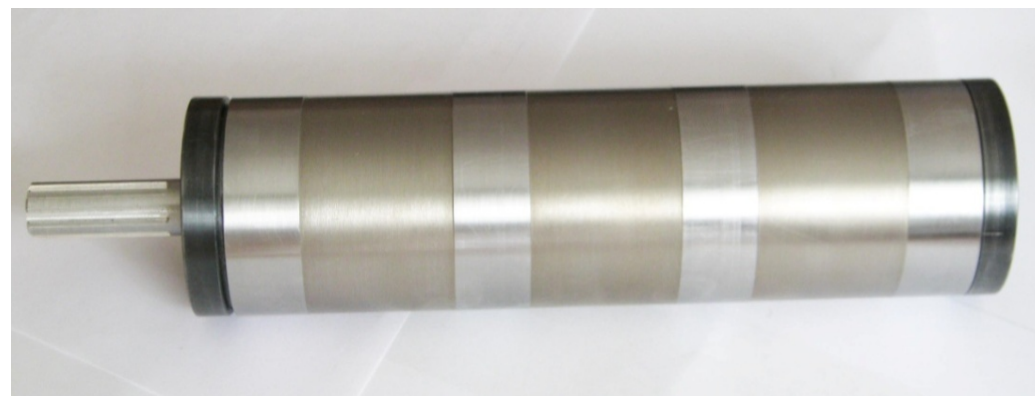
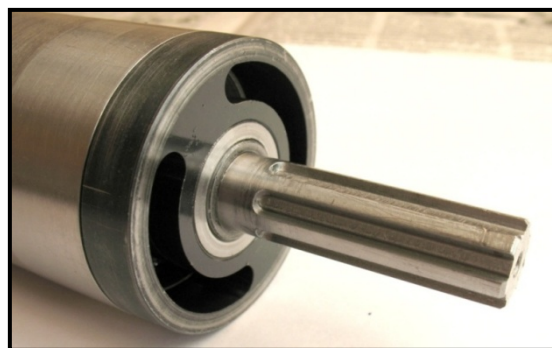
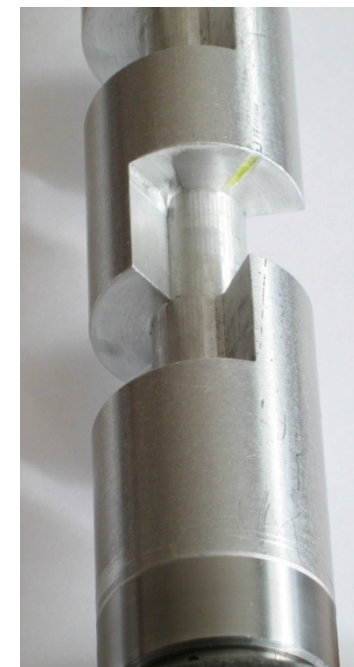
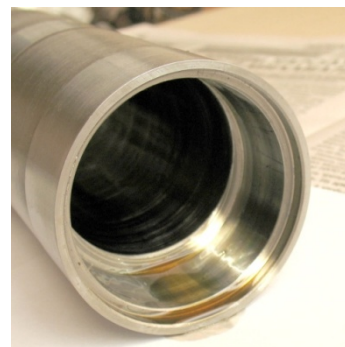
Объемно-динамические машины позволяют решить следующие актуальные задачи:

- Сохранение работоспособности при любой температуре перекачиваемой среды, поскольку из конструкции насоса (двигателя) исключены детали из эластомеров
- Решена характерная для объемных машин проблема виброактивности ротора
- Сняты ограничения на увеличение частоты вращения ротора
- Открываются новые возможности для радикального улучшения массогабаритных характеристик
- Повышена технологичность производства и ремонта машин. Все рабочие камеры в гидравлической машине сформированы простыми и технологичными цилиндрическими и плоскими поверхностями. Из конструкции исключены технологически сложные винтовые поверхности.
- Открываются новые возможности для снижения себестоимости производства машин (насосов и гидравлических двигателей), поскольку все рабочие камеры в гидравлической машине сформированы простыми и технологичными цилиндрическими и плоскими поверхностями.
- Открываются дополнительные возможности для создания новых мультифазных насосов, при любой вязкости перекачиваемой среды

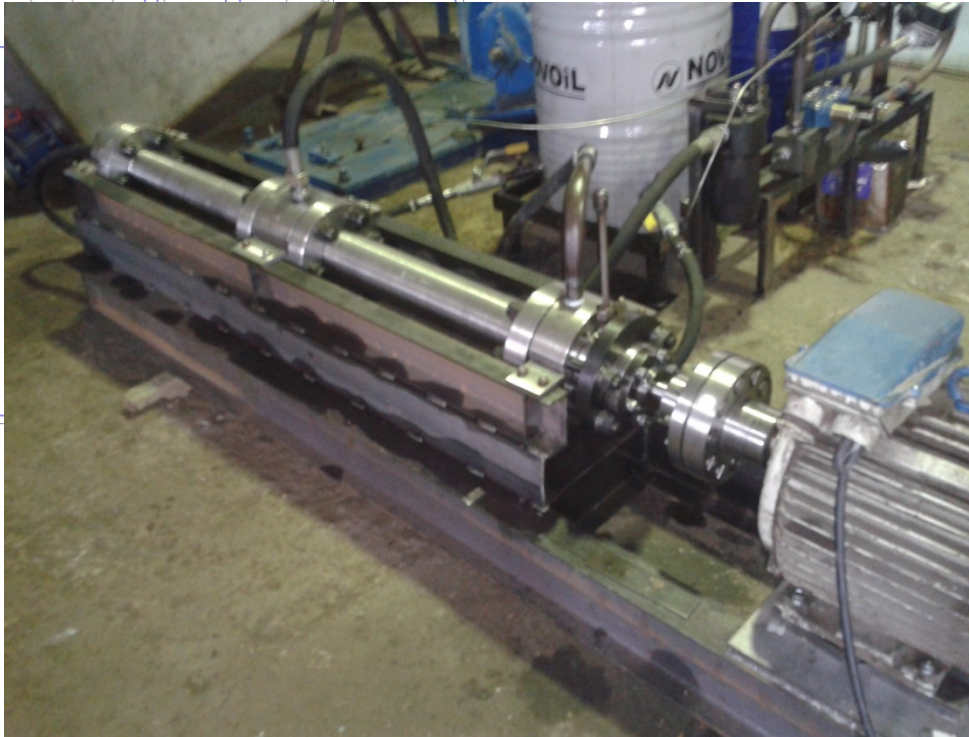
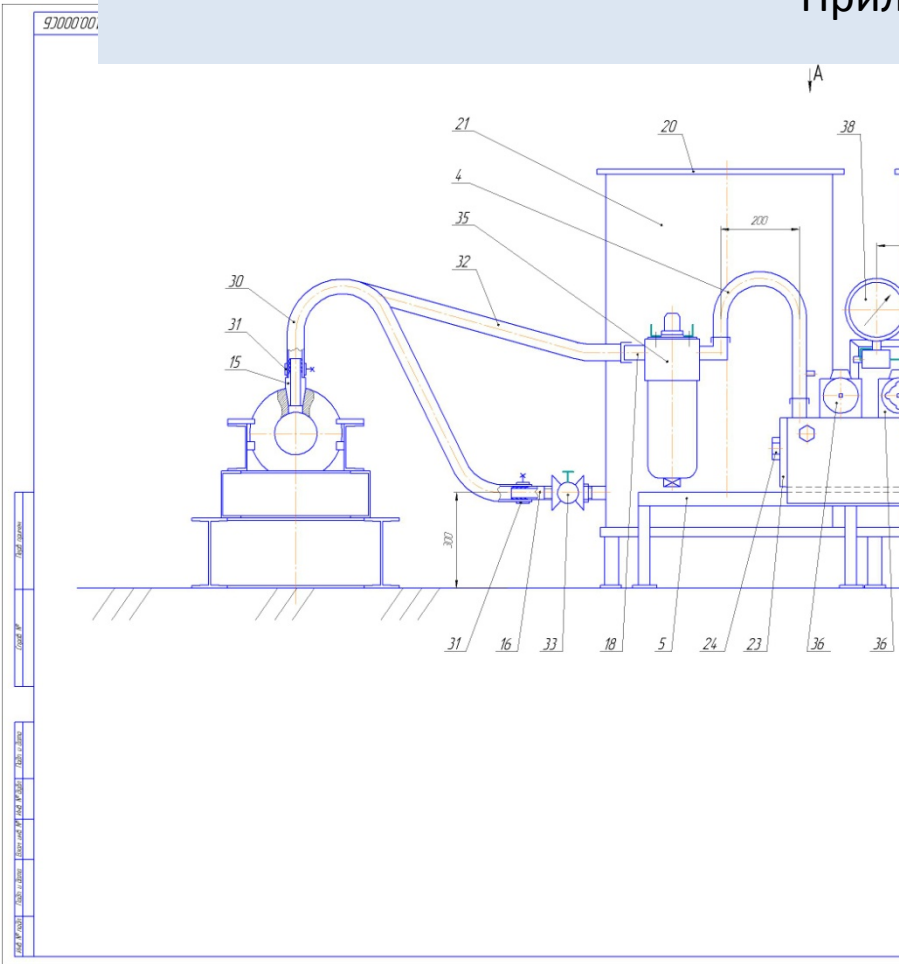
Публикации по теме: «Гидравлические машины объемно-динамического типа»

1. Сазонов Ю.А., Муленко В.В., Балака А.Ю. Насосы и гидравлические двигатели объемно-динамического типа для нефтяной промышленности // Территория НЕФТЕГАЗ – 2011 - №12. – С. 12-14
2. Сазонов Ю.А., Муленко В.В., Балака А.Ю. Вопросы проектирования гидравлических машин объемно-динамического типа // Территория НЕФТЕГАЗ – 2012 - №8. – С. 44-46
3. Новые насосы для добычи высоковязкой нефти /М. Мохов, Ю. Сазонов, А. Шакиров, В. Коропецкий // **Oil & Gas EURASIA** - 2014 - №8-9. – С.36-38.
4. Патент № 116188. Винтовая машина. // Сазонов Ю.А., Казакова Е.С., Клименко К.И., Балака А.Ю. - Заявка на полезную модель № 2012102093. – Опубликовано: 20.05.2012. Бюл. №14
5. Патент № 119042. Винтовая машина. // Сазонов Ю.А., Заякин В.И., Муленко В.В., Казакова Е.С., Димаев Т.Н., Клименко К.И., Балака А.Ю. Заявка на полезную модель № 2012113279. - Опубликовано: 10.08.2012. Бюл. №22
6. Патент № 124931. Винтовая машина. //Сазонов Ю.А. // Заявка на полезную модель № 2012137849 – Дата подачи заявки: 05.09.2012. Опубликовано: 20.02.2013. Бюл. №5
7. Патент № 128678. Винтовая машина. //Сазонов Ю.А., Заякин В.И., Муленко В.В., Димаев Т.Н., Клименко К.И., Балака А.Ю.// Заявка на полезную модель № 2012146949 – Дата подачи заявки: 06.11.2012. - Опубликовано: 27.05.2013. Бюл. №15

Приложение - 1



Приложение - 2



Приложение - 3

