

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **039555**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.02.10

(51) Int. Cl. **F04C 2/107** (2006.01)

(21) Номер заявки
202000348

(22) Дата подачи заявки
2020.10.20

(54) РОТОР ОДНОВИНТОВОГО ГЕРОТОРНОГО НАСОСА

(43) **2022.02.07**

(56) US-A-4948432
DE-A1-102010021592
US-A-3380391
US-B1-6220837
US-A-3822972
RU-C2-2249726

(96) **2020/ЕА/0069 (ВУ) 2020.10.20**

(71)(72)(73) Заявитель, изобретатель и патентовладелец:

**УВАРОВ БОРИС ИВАНОВИЧ;
ВЕРШУК ЛЮДМИЛА
ЛЕОНТЬЕВНА (ВУ)**

(57) Изобретение относится к машиностроению, в частности к гидравлическим машинам объемного вытеснения, и может быть использовано при изготовлении и эксплуатации одновинтовых героторных насосов, предназначенных для напорного транспортирования и дозирования технологических составов в различных отраслях промышленности. Технический результат изобретения характеризуется износостойким точно литым ротором 1 с головкой 3 повышенной прочности, увеличенным рабочим ресурсом ротора 1, универсальностью применения, экономичностью производства и высокой надежностью в эксплуатации. Ротор 1 одновинтового насоса выполнен точно литым из износостойкого сплава с предельными отклонениями действительных размеров от номинальных размеров ротора 1: диаметра, шага, эксцентриситета и отклонения прямолинейности оси ротора 1, не превышающими 0,1-0,5 значения величины натяга ротор 1 - статор 4, причем поверхность ротора 1 на глубину не менее 1 мм имеет износостойкую литейную корку 6 повышенной плотности, при этом диаметр окружности поперечного сечения ротора d_p и шаг ротора S_p находятся в соотношении $d_p:S_p$ от 1:0,5 до 1:3, а эксцентриситет ротора e и d_p в соотношении от 1:2,85 до 1:10. При необходимости винтовая поверхность 2 ротора 1 выполнена многозаходной и конической. Головка 3 ротора 1 имеет твердость ниже твердости винтовой поверхности 2 ротора 1 на HRC 10-20 единиц по шкале Роквелла, выполнена в форме усеченного конуса, прорезь шлицевой канавки 7 находится в плоскости, проходящей по линии, соединяющей геометрический центр поперечного сечения O ротора 1 и ось вращения O_1 ротора 1. Ротор 1 выполнен из износостойкого самозакаливающегося из литого состояния сплава, а головка 3 ротора 1 из другого более вязкого сплава, преимущественно стального.

039555
B1

039555
B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к машиностроению, в частности к гидравлическим машинам объемного вытеснения, и может быть использовано при изготовлении и эксплуатации одновинтовых героторных насосов, предназначенных для напорного транспортирования и дозирования различных технологических составов в строительной, горнорудной, нефтехимической и других отраслях промышленности.

Предпосылки создания изобретения

По принципу действия героторный одновинтовой насос относится к объемным роторным гидромашинам, конструкция которых позволяет регулировать производительность насоса без потери номинального давления. Рабочие органы представляют собой винтовую пару с внутренним циклоидальным зацеплением, состоящую из ротора и статора. Ротор выполнен в виде левой или правой спирали с заданным шагом спирали, а кратность шагов витков спирали определяет длину ротора. Геометрический центр поперечного сечения ротора смещен относительно оси вращения ротора на величину эксцентриситета. Рабочая поверхность статора представляет собой винтовую поверхность с заходностью на одну единицу больше, чем заходность ротора, и с шагом в два раза большим шага спирали ротора. Оси обоймы статора и ротора смещены также на величину эксцентриситета. При вращении ротора его геометрическая ось вращается вокруг оси статора по окружности. Ротор осуществляет планетарное движение относительно оси статора. Ротор и статор имеют разную заходность и по всей длине образуют замкнутые камеры, ограниченные линиями их контакта, объем которых определяется эксцентриситетом и шагом ротора. При вращении ротора камеры, заполненные перекачиваемым раствором, непрерывно перемещаются ротором по винтовой линии вдоль оси обоймы от всасывающей полости насоса к нагнетательной. Наличие эластичной обоймы позволяет перекачивать абразивные растворы с твердыми наполнителями и исключает заклинивание ротора в статоре.

Для обеспечения герметичности камер, образованных сопряженными поверхностями ротора и статора размер поперечного сечения ротора выполняется немного большим, чем сопряженный размер полости статора. Разница диаметров поперечных сечений ротора d_p и статора $d_{ст}$ характеризуются первоначальным натягом δ_0

$$\delta_0 = d_p - d_{ст}.$$

Величину натяга выбирают с учетом физических свойств перекачиваемой жидкости, размеров рабочих органов винтовой пары, необходимого давления на выходе насоса, точности изготовления ротора и статора, модуля упругости и твердости эластичного материала статора.

Основными параметрами, определяющими эксплуатационные характеристики одновинтовых насосов, являются диаметр d_p , шаг S_p и эксцентриситет ротора e , натяг пары ротор - статор δ_0 . Указанные параметры определяют конфигурацию рабочих органов и объемов замкнутых камер. Производительность насоса зависит от объема замкнутой камеры и числа оборотов ротора, а развиваемое давление насоса от количества шагов (ступеней) статора. Величина эксцентриситета лимитирует размер твердой частицы раствора, проходящей без заклинивания через камеру винтовой пары [1, 2].

Наиболее полную картину влияния перечисленных параметров на конфигурацию ротора дает соотношение $d_p:S_p$ диаметра окружности поперечного сечения ротора d_p и шага ротора S_p , а также соотношение $e:d_p$ эксцентриситета ротора e к диаметру его поперечного сечения d_p .

Известен ротор одновинтового насоса по патенту [3], согласно которому в одновинтовом насосе диаметр окружности поперечного сечения ротора и шаг ротора находятся в соотношении $d_p:S_p$ от 1:2,5 до 1:3, а эксцентриситет ротора e и диаметр ротора d_p в соотношении $e:d_p$ от 1:5 до 1:6.

Винтовые пары с роторами, геометрические параметры которых выдержаны в известных соотношениях, высокопроизводительны и применяются для перекачки больших объемов жидкости с мелкими абразивными частицами. Согласно патенту конструкция ротора с пятикратным превышением диаметра ротора над эксцентриситетом позволяет получить максимальную производительность насоса с минимальной выборкой металла при изготовлении ротора.

Недостатком известного технического решения является то, что соотношение диаметра окружности поперечного сечения ротора и шага ротора $d_p:S_p$ от 1:2,5 до 1:3 является узко интервальным, ограничивает область конструирования и эксплуатации винтовых насосов для других областей применения. К примеру, известное соотношение не позволяет сконструировать и изготовить компактную небольшой длины винтовую пару высокого давления. Длина статора с таким соотношением чрезмерно велика. Для изготовления компактных винтовых пар высокого давления соотношение $d_p:S_p$ должно быть гораздо ниже.

Другим недостатком известного технического решения, касающегося конфигурации ротора, является то, что узкое значение известного соотношения эксцентриситета ротора к его диаметру $e:d_p$ от 1:5 до 1:6 ограничивает возможности конструирования винтовых насосов для широкого применения в специфических областях промышленности. К примеру, известное соотношение не позволяет сконструировать винтовую пару небольшого диаметра статора, способную прокачивать составы с крупной абразивной фракцией наполнителя.

Известен ротор, рабочая поверхность которого представляет собой винтовую поверхность с заданным шагом спирали в героторном одновинтовом насосе для перекачивания взрывоопасных веществ [4].

Согласно патенту эксцентриситет ротора e и d_p находятся в соотношении $e:d=1:4,6$ до $1:5,2$.

Недостатком ротора с соотношением эксцентриситета ротора к диаметру e и d_p в интервалах соотношений $e:d_p=1:4,6$ до $1:5,2$ является то, что узкое значение известного соотношения ограничивает возможности конструирования винтовых насосов с улучшенными техническими характеристиками. К примеру, известное соотношение не позволяет сконструировать винтовую пару небольшого контурного диаметра, способную прокачивать составы с крупной абразивной фракцией наполнителя.

Известен ротор одновинтового многозаходного насоса [5], шаг T и средний диаметр винтовой поверхности D_{cp} которого связаны соотношением T/D_{cp} , равным $1,5-3,5$. Известное соотношение повышает КПД многозаходных насосов с кинематическим отношением заходности ротор/статор от $3:4$ до $9:10$ при работе с малоабразивными пластовыми жидкостями (нефтяными продуктами). В известном техническом решении не представлена информация об эксцентриситете многозаходного ротора. При повышении кинематического отношения заходности ротор/статор от $1:2$ до $3:4$ эксцентриситет ротора значительно уменьшается.

Недостаток известного решения состоит в том, что совокупность заявляемых признаков геометрических параметров многозаходного насоса, а именно соотношения T/D_{cp} , равное $1,5-3,5$, и кинематического отношения заходности ротор/статор от $3:4$ и выше делает невозможным транспортирование абразивных составов, содержащих крупные частицы, винтовой парой с заданным небольшим диаметром статора. Для перекачивания вышеупомянутых абразивных составов при известных соотношениях нерационально возрастают диаметр и металлоемкость ротора и особенно диаметр статора, что влечет за собой непропорциональные производственные издержки и невозможность использования винтовой пары увеличенных габаритов в конструкциях стандартных насосов. К тому же вращающийся ротор большой массы приводит к возникновению сильных вибраций из-за центробежных сил, что является причиной дополнительного быстрого износа [1].

Одновинтовые насосы в зависимости от вида перекачиваемой среды и требуемой производительности различаются по скорости вращения ротора в статоре. Для перекачки незагрязненной нефти и слабвязких жидкостей используют насосы с частотами вращения от 1450 до 3000 об/мин. Из-за высоких окружных скоростей вращения ротора в статоре в таких парах устанавливают невысокий первоначальный натяг всего $0,1-0,3$ мм. Для предотвращения междукламерных протечек жидкости рабочие органы таких насосов изготавливаются с высокой точностью на специальном высокоточном оборудовании.

Известен ротор одновинтового героторного насоса, выточенный из проката на токарном станке [6]. Винтовая поверхность ротора выполнена в виде левой или правой спирали с заданным шагом. Геометрический центр поперечного сечения ротора смещен относительно оси вращения ротора на величину эксцентриситета.

Недостатком известного точеного ротора является малый рабочий ресурс и высокая стоимость вследствие использования дорогого станочного оборудования, специальных резцов, технологических материалов и большой длительности процесса обработки. Ротор вытачивается из хорошо обрабатываемого проката, поэтому винтовая поверхность ротора имеет низкую износостойкость, срок службы такого ротора при транспортировании абразивных сред чрезвычайно мал.

Для точения ротора на токарных станках используют заготовки проката диаметром более $D=d_p+2e$, равным сумме диаметра ротора и двух эксцентриситетов. Эксцентриситет - это расстояние между осями поперечного сечения ротора и осью его вращения, но это и глубина, на которую нужно удалить металл с поверхности заготовки при механообработке. У точеных из проката роторов низкий коэффициент использования металла. С увеличением эксцентриситета ротора объем металла, уходящего в стружку, достигает до 80% . Процесс изготовления роторов с заходностью выше единицы дополнительно усложняет технологический процесс и еще более удорожает производство, так как требует применения уникального оборудования, дополнительных устройств и специального режущего инструмента.

Для снижения стоимости роторов одновинтовых насосов используют альтернативные методы их производства.

Известен ротор одновинтового героторного насоса. Рабочая поверхность ротора представляет собой винтовую поверхность с заданным шагом спирали, полученный гидроформовкой из трубной заготовки патент [7].

Недостатком известного ротора является низкая износостойкость и малый срок службы при транспортировании абразивных сред, так как металл стальных труб не подходит для этих целей. Хотя при массовом производстве такой ротор должен иметь невысокую стоимость, затраты на изготовление специальной оснастки велики. Из трубы можно сформовать ротор только с малым эксцентриситетом, который не способен прокачивать крупную абразивную фракцию наполнителя.

Известен ротор одновинтового героторного насоса с винтовой рабочей поверхностью с заданным шагом спирали, отштампованный из листа в виде двух половин, которые затем сварены и обработаны по всей винтовой поверхности ротора [8].

Недостатком известного ротора является его невысокая точность, вследствие поводок металла при сварке и обработке, наличия сварных швов на винтовой поверхности и малого срока службы при транспортировании абразивных сред вследствие низкой износостойкости листовой стали. Технически невоз-

можно отштамповать ротор из листа с большим эксцентриситетом, что ограничивает область применения.

У большинства производителей оборудования на базе одновинтовых насосов габаритные размеры винтовых пар стандартизируются по группам, разделенным по величине диаметра и длине обоймы статора. Внутри определенной размерной группы статоров существует множество модификаций роторов для получения винтовых пар с различными производственными характеристиками. Например, наиболее применяемая в строительстве винтовая пара модели D6-3, где D - это типоразмер статора с диаметром 90 мм, цифра 6 - эксцентриситет в миллиметрах, цифра 3 - количество шагов или ступеней статора. Длина статора - 270 мм.

Среди профессионалов строителей считается, что винтовые пары производства компании PFT являются лучшими по длительности срока службы. Первоначальный натяг ротор - статор винтовых пар PFT находится в пределах 2 мм [9].

Для транспортировки абразивных шламов, суспензий, пульп, густых строительных смесей, песчано-цементных и штукатурных растворов, шпатлевок, содержащих высокий процент абразивного наполнителя в виде зернистого и молотого кварцевого песка, корунда, шлака, стекловолокна или микросфер используют одновинтовые насосы, винтовые пары которых рассчитаны на работу с определенной производительностью и с растворами определенной фракции наполнителя. На базе одновинтовых насосов созданы штукатурные, малярные и шпатлевочные агрегаты, растворонасосы, перекачивающие пенобетон и тяжелые марки бетона, торкрет установки, установки, закачивающие песчано-цементный раствор в фундаментные скважины, а также мультифазные насосы. Частота вращения ротора в статоре таких агрегатов невысока и колеблется в пределах 150-400 об/мин. Для этих целей разные производители используют множество модификаций винтовых пар ротор/статор оригинальной разработки. Винтовая пара, перекачивающая абразивные растворы под давлением в десятки атмосфер, работает в тяжелых условиях и является изнашиваемой расходной частью винтового насоса. Производство роторов точением из проката предусматривает хорошую обрабатываемость металла ротора, но при этом страдает последующая износостойкость. Для повышения износостойкости и срока службы точеных роторов в абразивной среде используют нанесение хрома, борирование винтовой поверхности ротора, электроплазменное напыление.

Из патента [10] известен ротор одновинтового забойного двигателя, имеющий форму спирального винта и выполненный с коррозионно-стойким износостойким покрытием в виде гальванического хрома. Недостатком этого ротора является малый рабочий ресурс, вследствие невысокой адгезии хрома к ротору и хрупкости покрытия и, как следствие, отслоения разнородного по природе хромового покрытия от поверхности стального ротора в процессе эксплуатации. Невозможно нанести хром толщиной более двух-трех десятых долей миллиметра. Сложна технология нанесения: предварительная обработка, хромирование, финишная обработка. Низка износостойкость хромового покрытия в абразивных средах с высоким процентным содержанием твердых частиц.

Известен ротор и способ получения поверхности ротора одновинтового героторного насоса напылением [11].

Упрочненный слой винтовой поверхности ротора имеет высокую твердость, но невысокую износостойкость в абразивных, например строительных, растворах из-за малой толщины покрытия, десятые доли миллиметра, при истирании или отслоении которого происходит быстрый износ поверхности мягкого стального ротора и в винтовой паре возникают междукамерные протечки из-за нарушения герметичности камер, образованных сопряженными поверхностями ротора и статора. В камерах на выходе винтового насоса создается давление 15-30 атм. При изнашивании ротора вода затворения цементного или штукатурного раствора отжимается от твердого наполнителя и через возникшие зазоры перетекает из камеры в камеру винтовой пары. Транспортируемый раствор теряет однородность и становится непригодным для дальнейшего использования, винтовая пара начинает "плевать водой" и требует замены.

Известен дорогостоящий и дефицитный износостойкий прокат. Процесс точения ротора из такого проката - дорог, длителен и трудоемок, а роторы имеют высокую стоимость. Поэтому приблизительные заготовки роторов из износостойких сплавов стали изготавливать литьем, отжигать литье для снижения твердости и облегчения механической обработки ротора, а затем обрабатывать.

Наиболее близким к предлагаемому изобретению техническим решением, выявленным в качестве прототипа, является ротор одновинтового героторного насоса, изготовленный литьем из износостойкого сплава [12]. Ротор изготавливают, отливая износостойкий металлический стержень в форме ротора с винтовой выемкой, образованной на наружной поверхности получаемой отливки. Полученная отливка имеет наружный диаметр, превышающий примерно на одну восьмую дюйма конечные размеры ротора. Задается припуск на обработку более 3 мм. Применяется обычная литейная технология заливки металла в песчаные формы, собранные из двух полуформ. Точность сборки литейных полуформ около миллиметра. В местах разъема модель-форма на отливках образуются заливки или литейный облой. В качестве альтернативы по патенту, ротор может быть сначала отлит в форме прямого круглого стержня. Но затем требуется больше времени, чтобы обработать отливку до требуемой конфигурации ротора. Конечные размеры и шаг ротора по прототипу получают на этапе механической обработки на токарном станке. Ротор отливают из износостойкого чугуна типа Нихард, который очень трудно обрабатывается даже в ото-

жженном состоянии. Для снижения твердости отливки и облегчения обрабатываемости приводится режим длительного высокотемпературного отжига около 22 ч плюс медленное остывание отливки в открытой печи. Для обработки литого ротора предлагаются специальные керамические пластины и парк высокоточного станочного оборудования. Отмечено, что вследствие применения износостойкого сплава стойкость ротора в абразивных средах повышается по сравнению с точеным из обычного проката.

Недостатком известного литого ротора, взятого за прототип, является неполное использование возможности повышения износостойкости литого сплава, высокая конечная стоимость вследствие большой длительности и трудоемкости процесса изготовления и необходимости использования дорогого станочного оборудования и специальных резцов для получения номинальных размеров ротора. После литья получают неточную приблизительную литую заготовку ротора из износостойкого и плохо обрабатываемого сплава с большим заранее заложенным припуском на обработку. Вследствие обязательной механообработки из-за неточности литой заготовки срезается самый износостойкий поверхностный слой отливки - литейная корка, и снижается коэффициент использования металла. Понятие литейной корки в источнике [13].

В процессе работы винтовой пары происходит постепенный износ винтовых поверхностей ротора и статора, причем степень износа зависит от противодавления в трубопроводе подачи материала (высоты и дальности подачи) и абразивности состава, а с другой стороны, от износостойкости винтовой пары, в частности ротора. Вследствие износа диаметр поперечного сечения ротора уменьшается, а диаметр сопряженной полости статора увеличивается, снижая величину натяга между ротором и статором. В определенный момент герметичность камер винтовой пары нарушается, возникают межукамерные протечки, снижается давление подачи, и пара начинает пропускать воду.

Для повышения износостойкости роторы винтовых насосов, транспортирующих абразивные растворы, закаливаются до высокой твердости порядка 56-62 HRC по Роквеллу.

Из известного уровня техники кроме износа винтовой поверхности роторы одновинтовых насосов выходят из строя из-за поломок головок, передающих вращение ротору от приводного вала двигателя. В строительных агрегатах в основном применяются головки с прорезью, а форма головки имеет цилиндрическую форму [9].

Головка ротора, ослабленная шлицевой канавкой, не выдерживает чрезмерных нагрузок и ломается по месту прорези из-за концентрации напряжений.

Недостатками известного уровня техники являются недостаточный рабочий ресурс роторов одновинтовых насосов, низкий коэффициент использования металла, высокая конечная стоимость изделия вследствие большой длительности и трудоемкости процесса изготовления, необходимости проведения технологических операций длительного высокотемпературного отжига, использования дорогого металлорежущего оборудования и специальных резцов для получения номинальных размеров ротора, нерациональных затрат электроэнергии и технологических материалов.

Раскрытие сущности изобретения

В основу изобретения положена техническая задача расширения области применения, повышения надежности и срока службы роторов одновинтовых героторных насосов, предназначенных для напорного транспортирования и дозирования абразивных составов, а также снижения стоимости производства и эксплуатации насосов.

Технический результат изобретения заключается в создании объекта - конструкции ротора с новым комплексом конструкторских параметров и физических свойств.

Сущность изобретения выражается новой совокупностью признаков, необходимых и достаточных для осуществления изобретения с достижением указанного технического результата и реализована тем, что ротор одновинтового героторного насоса, отлитый из износостойкого сплава, содержащий винтовую поверхность в виде левой или правой спирали с заданным шагом спирали и головку ротора, передающую вращение ротору, геометрический центр поперечного сечения которого смещен относительно оси его вращения на величину эксцентриситета, а кратность шагов витков спирали соразмерна длине ротора, устанавливаемого с натягом в эластичный статор насоса и совершающего планетарное движение по внутренней винтовой поверхности статора, согласно изобретению, ротор выполнен точно литым, с предельными отклонениями действительных от номинальных размеров ротора: диаметра, шага, эксцентриситета и отклонения прямолинейности оси ротора, не превышающими 0,1-0,5 значения величины натяга ротор - статор, а поверхность ротора на глубину не менее 1 мм выполнена с износостойкой литейной коркой повышенной плотности, при этом диаметр окружности поперечного сечения ротора d_p и шаг ротора S_p находятся в соотношении $d_p:S_p$ от 1:0,5 до 1:3, а эксцентриситет ротора e и d_p в соотношении от 1:2,85 до 1:10.

В роторе головка имеет твердость ниже твердости винтовой поверхности, преимущественно на 10-20 единиц HRC по шкале Роквелла.

В роторе головка выполнена в форме усеченного конуса, больший диаметр которого прилегает к винтовой поверхности ротора.

В роторе винтовая спираль имеет по меньшей мере один заход.

В роторе винтовая поверхность имеет конусность.

Ротор выполнен из износостойкого самозакаливающегося из литого состояния сплава, а головка ротора выполнена из другого более вязкого сплава, преимущественно стального.

В роторе прорезь шлицевой канавки головки выполнена в плоскости, проходящей по линии, соединяющей геометрический центр поперечного сечения ротора и ось вращения ротора.

Достигаемый новой конструкцией ротора одновинтового героторного насоса технический результат - это более износостойкая поверхность ротора, в том числе многозаходного, головка ротора повышенной прочности, увеличенный рабочий ресурс, стабильное давление и производительность героторного насоса, высокая надежность, универсальность применения, экономичность производства и эксплуатации.

Новая совокупность существенных признаков изобретения не следует явным образом из известного уровня техники. Следовательно, заявляемый ротор соответствует критерию "изобретательский уровень".

Подробное описание предпочтительного примера осуществления изобретения

Для лучшего понимания изобретения оно поясняется чертежами, где

на фиг. 1.а представлен общий вид винтовой пары ротор-статор в аксонометрии, а на фиг. 1.б изображен поперечный разрез винтовой пары;

на фиг. 2 - конфигурация ротора с соотношением $d_p:S_p$, равным 1:0,5, и соотношением $e:d_p$, равным 1:7;

на фиг. 3 - конфигурация ротора с соотношением $d_p:S_p$, равным 1:0,7, и соотношением $e:d_p$, равным 1:2,85;

на фиг. 4 - фото точно литых роторов со стальной головкой.

На фиг. 1.а по изобретению ротор 1 одновинтового героторного насоса диаметром d_p , выполнен точно литым из износостойкого сплава, содержит винтовую поверхность 2 в виде левой или правой спирали с заданным шагом S_p и головку 3 с прорезью 7, передающую вращение ротору 1. Геометрический центр поперечного сечения ротора 1 смещен относительно оси 0-0 его вращения на величину эксцентриситета e , а кратность шагов S_p витков спирали соразмерна длине L ротора 1, устанавливаемого с натягом δ_0 в эластичный статор 4 по фиг. 1.б и совершающего планетарное движение по внутренней винтовой поверхности 5 статора 4. Согласно изобретению ротор 1 отлит точным литьем с предельными отклонениями от номинальных размеров ротора 1: диаметра d_p , шага S_p , эксцентриситета e и отклонения прямолинейности оси 0-0 ротора 1, не превышающими 0,1-0,5 значения величины натяга δ_0 ротор 1 - статор 4, а винтовая поверхность 2 ротора 1 на глубину не менее 1 мм имеет показанную на фиг. 1.б износостойкую мелкозернистую литейную корку 6 повышенной плотности [14, 15], при этом диаметр окружности поперечного сечения ротора d_p и шаг S_p ротора 1 находятся в соотношении от $d_p:S_p$ от 1:0,5 до 1:3, а эксцентриситет ротора e и d_p в соотношении от 1:2,85 до 1:10.

Головка 3 ротора 1 выполнена в форме усеченного конуса, больший диаметр которого прилегает к винтовой поверхности 2 ротора 1. Винтовая поверхность 2 ротора 1 имеет конусность, определяемую углом α вершины конуса. Прорезь шлицевой канавки 7 головки 3 ротора 1 выполнена в плоскости, проходящей по линии, соединяющей геометрический центр поперечного сечения O ротора 1 и ось вращения ротора O_1 .

Наличие первоначального натяга в паре ротор 1 - статор 4 около 2 мм по аналогии с винтовыми парами PFT [9] позволяет снизить необходимость в особо высокой точности изготовления ротора с сотых до десятых долей миллиметра. Предельные отклонения действительных от номинальных размеров ротора 1, таких как диаметр, шаг, эксцентриситет и отклонение прямолинейности оси ротора 1, в пределах $\pm 0,3$ мм от номинального размера не влияют на работоспособность пары при таком значительном натяге (2 мм) эластичного статора 4 на ротор 1. В целом, точность отливки оценивается, согласно ГОСТ Р53464-2009 [16], ее классами размерной точности (КРТ), которая представляет собой степень соответствия действительных (фактических) размеров отливки и указанных в чертеже или в технических условиях номинальных размеров. Точность размеров отливки зависит от ее размеров, сложности конфигурации, способа литья, а также химического состава литейного сплава.

Допуски на размеры отливок, получаемые литьем в керамические формы, составляют на размер до 0,1 м $\pm 0,075$ мм, от 0,1 до 0,3 м $\pm 0,25$ мм [17].

Изготовление точных отливок по разовым моделям в неразъемных литейных формах позволяет решить задачи, как максимальное снижение, а в ряде случаев устранение припусков на механическую обработку литых деталей. При литье по выплавляемым моделям достигается точность, соответствующая 8 качеству [18].

Допуски на линейные размеры литья повышенной точности класса 1, к которым относится точное литье по выплавляемым моделям, при размере отливок 63-100 мм составляют $\pm 0,1$ мм [19].

Детали одновинтовых героторных насосов изготавливают так, чтобы сборка изделий производилась без подгонки одной детали к другой. Но идеально точно изготовить каждую деталь в номинальный размер невозможно из-за колебаний параметров технологических процессов производства, погрешностей точности технологической оснастки и погрешностей самих измерений. Нет необходимости добиваться излишне высокой точности изготовления, увеличивающей трудозатраты и стоимость деталей. Поэтому устанавливаются допустимые пределы отклонений от указанных в чертежах номинальных размеров.

Размер, полученный в результате измерения готовой детали, называется действительным. Разность между результатом измерения и номинальным размером называется отклонением размера. Номинальный размер - это размер геометрического элемента детали идеальной формы, определенный чертежом [20].

Заданные в чертежах номинальные геометрические размеры ротора 1 одновинтового героторного насоса, такие как диаметр, шаг и эксцентриситет, не превышают значения 100 мм, а значит могут быть выполнены методами точного литья с точностью до $\pm 0,1$ мм, что позволяет с запасом достичь требуемой изобретением точности литого ротора 1. Предельные отклонения действительных размеров точно литого ротора 1 от номинальных не превышают 0,1-0,5 значения натяга ротор-статор величиной 2 мм.

Практически невозможно изготовить каждый литой ротор абсолютно точно по номинальному размеру, указанному в чертеже. Но любые возможные предельные отклонения размеров точно литого ротора 1 вследствие колебаний температуры заливки сплава и неравномерной усадки отливки, не превышающие 0,1-0,5 значения величины натяга ротор 1 - статор 4, нивелируются натягом сопряженной детали - эластичного статора 4. То есть винтовая пара одинаково работоспособна при любом наибольшем или наименьшем предельном размере точно литого ротора 1.

За счет того, что в заявляемой конструкции ротор 1 выполнен точно литым с предельными отклонениями действительных от номинальных размеров ротора 1: диаметра, шага, эксцентриситета и прямолинейности оси ротора, не превышающими 0,1-0,5 значения величины натяга ротор 1 - статор 4, сборка винтовой пары может осуществляться после ручной зачистки точно литого ротора 1 шлифовальными лепестками или пескоструйным методом. При такой зачистке с винтовой поверхности 2 ротора 1 удаляется слой толщиной не более 0,1-0,2 мм. Сформированная в процессе кристаллизации сплава износостойкая литейная корка 6 толщиной не менее 1 мм не срезается и не удаляется с винтовой поверхности 2 ротора 1. Литейная корка 6 составляет одно целое с телом ротора 1 в отличие от известных аналогов с разнородными по природе послойными структурами винтовой поверхности ротора, приводящими к отслоению упрочняющего слоя от ротора. Литейная корка 6 обладает отличными от нижерасположенных слоев отливки физико-механическими свойствами, а именно более мелким зерном и повышенной плотностью металла [14, 15]. Объясняется это тем, что при контакте жидкого металла со стенкой литейной формы первичная кристаллизация расплава протекает с высокой скоростью, образуется большое число центров кристаллизации и не возникает проблем с подпиткой жидким расплавом усаживающейся и уплотняющейся литейной корки 6 из внутренних более горячих жидких слоев отливки. В результате достигается повышенная плотность металла литейной корки 6 и обеспечивается повышение рабочего ресурса и надежности ротора 1.

Из известного уровня техники кроме износа винтовой поверхности 2 роторы 1 одновинтовых насосов выходят из строя из-за поломок головок 3, передающих вращение ротору от приводного вала двигателя. Применяются разные типы головок роторов: шестигранные головки, с отверстием, с шлицевой прорезью и другие. В строительных агрегатах в основном используют головки с шлицевой прорезью 7, а форма головки имеет цилиндрическую форму [9].

Головка 3 ротора 1, ослабленная шлицевой канавкой 7, не выдерживает чрезмерных нагрузок и ломается по месту прорези 7 из-за концентрации напряжений.

Известны несколько причин поломок. В связи с тем, что ударная вязкость закаленного до высокой твердости металла резко снижается, он становится хрупким, а если на поверхности металла имеются концентраторы напряжений, такие как, царапины, подрезы, надпилы, трещинки поверхности после механической или термической обработки, то ударная вязкость падает на порядок и излом идет по концентратору напряжений. При объемной закалке всего точно литого ротора 1 целиком головка 3 приобретает излишнюю высокую твердость и хрупкость. При запуске или реверсе насоса происходит динамический удар приводного вала по стенкам шлицевой прорези 7 головки 3 и возникает большой скручивающий пусковой момент, чтобы стронуть с места ротор 1, зажатый с натягом в статоре 4. Нарушение технологии обслуживания винтовых пар тоже приводит к поломкам головок 3 роторов 1: если в период простоев оборудования винтовая пара не была хорошо промыта, а оставшийся раствор затвердел внутри пары, или при чрезмерном обжатии регулируемой винтовой пары в сжимаемом болтами кожухе статора 4. В обоих случаях ротор 1 заклинивает в статоре 4 и при включении насоса ломается слабое место - головка 3 ротора 1.

Недостатками известного уровня техники являются низкая износостойкость винтовой поверхности ротора и ненадежность головок роторов. Вследствие износа винтовой поверхности диаметр поперечного сечения ротора уменьшается, а диаметр сопряженной полости статора увеличивается, снижая величину натяга между ротором и статором. В определенный момент герметичность камер винтовой пары нарушается, возникают междукамерные протечки, снижается давление подачи, и пара начинает пропускать воду.

Для устранения поломок головок 3 роторов 1 с шлицевой прорезью 7 в изобретении реализовано комплексное конструкторско-технологическое решение проблемы. Термическая обработка ротора проводится таким образом, чтобы головка 3 литого ротора 1 имела твердость ниже твердости винтовой поверхности 2 ротора 1, преимущественно на 10-20 единиц HRC по шкале Роквелла. Технически это достигается следующим образом. При закалке головка 3 ротора 1 не погружается в закалочную среду, поэтому

головка 3 остывает гораздо медленнее и подкаливается на воздухе до меньших значений твердости. Ударная вязкость металла головки 3 в пределах твердости 40-46 HRC достаточна для устранения поломок головки 3 ротора 1.

Головка 3 ротора 1 выполняется в форме усеченного конуса, больший диаметр которого прилегает к винтовой поверхности 2 ротора 1. Такая конструкция усиливает опасное сечение головки 3 в месте расположения прорези 7.

Прорезь шлицевой канавки 7 головки 3 ротора 1 выполнена в плоскости, проходящей по линии, соединяющей геометрический центр O_1 поперечного сечения ротора 1 и ось O вращения ротора 1 в статоре 4. Такое расположение прорези 7 головки 3 устраняет ослабленное консольное нависание "в воздухе" одной из половин головки 3, расположенных по разные стороны от прорези 7, прочность обеих частей головки 3 при заявляемом симметричном расположении одинакова.

При изготовлении ротора 1 из износостойкого самозакаливающегося из литого состояния сплава головка 3 ротора 1 предварительно вытачивается из другого более вязкого сплава, преимущественно стального. Затем самозакаливающийся из литого сплава [21] приливается к стальной головке, образуя биметаллический ротор. На фиг. 4 показано фото точно литых роторов со стальной головкой и конструктивными параметрами, выполненными согласно изобретению.

Выполнение конусности винтовой поверхности литого ротора с углом α в вершине конуса изменяет натяг обоймы статора на ротор. Увеличение диаметра ротора от всасывающей к нагнетающей полости статора позволяет поднять развиваемое насосом давление и снизить вероятность междукамерных протечек, а значит повысить надежность винтовых пар. Величина конусности ротора зависит от диаметра и длины ротора.

Конусную винтовую поверхность ротора выполнить методом точения на токарном станке очень сложно, поэтому конический точеный ротор имеет высокую стоимость. Выполнение конусности винтовой поверхности литьем не повышает стоимости точно литого ротора, так как расчетная конусность выполняется один раз и только на литейной оснастке, а потом конусность легко тиражируется в точно литых роторах.

Стоимость изготовления однозаходных и многозаходных точно литых роторов будет примерно одинакова в отличие от роторов точёных каждый раз из проката, потому что сложные высокоточные операции механообработки многозаходной винтовой поверхности выполняются один только раз на литейной оснастке или модели, и тиражируются в виде точного отпечатка в литейной форме. Далее в литейную форму заливается износостойкий сплав и при затвердевании металла получается точно литой ротор с заданными параметрами диаметра, шага, эксцентриситета, заходности и конусности.

По известному уровню техники соотношение диаметра окружности поперечного сечения ротора и шага ротора $d_p:S_p$ от 1:1,5 до 1:3,5 является узко интервальным и ограничивает область конструирования винтовых насосов с улучшенными характеристиками в сферах применения, где существует строгое ограничение размеров винтовой пары по контурным габаритам.

Для изготовления винтовых пар высокого давления экспериментально выявлено, что соотношение $d_p:S_p$ должно быть гораздо ниже, т.е. размер шага ротора должен существенно уменьшаться до значений соотношения $d_p:S_p$ как 1:0,5. На фиг. 2 показана конфигурация ротора $S_p=23$, $d_p=46$, $e=6,5$ с соотношением $d_p:S_p$, равным 1:0,5, и соотношением $e:d_p$, равным 1:7, для винтовой пары высокого давления. При стандартной длине обоймы статора 270 мм конфигурация ротора с новым соотношением $d_p:S_p$, равном 1:0,5, позволяет разместить двенадцать шагов ротора и соответственно шесть шагов статора и развивать давление в пределах 60-70 атм. Для создания такого же давления при том же диаметре ротора 46 мм при известном в технике соотношении $d_p:S_p$, равном 1:1,5, длина статора должна быть 828 мм, а при соотношении 1:3,5 уже 1932 мм или почти два метра. Возможно уменьшение соотношения $d_p:S_p$ и ниже 1:0,5, но при этом производительность винтовой пары становится чрезмерно низкой для промышленного применения. Верхний предел заявляемого изобретением соотношения $d_p:S_p$ равен 1:3 и достаточен для производства винтовых пар высокой производительности, прокачивающих абразивные или мультифазные растворы. Поэтому заявляемый интервал соотношения $d_p:S_p$ от 1:0,5 до 1:3 является оптимальным.

Узкое значение известного соотношения эксцентриситета ротора к его диаметру $e:d_p$ от 1:4,6 до 1:6 ограничивает возможности конструирования компактных винтовых насосов с улучшением определенных характеристик для применения в специфических областях промышленности. Для решения технической задачи конструирования винтовой пары компактного диаметра, способной прокачивать составы с крупной фракцией наполнителя, соотношение $e:d_p$ должно быть намного ниже известного, а размер эксцентриситета ротора должен приближаться к его диаметру. На фиг. 3 изображена конфигурация ротора с параметрами $S_p=21$, $d_p=30$, $e=10,5$ с соотношением $d_p:S_p$, равным 1:0,7, и соотношением $e:d_p$, равным 1:2,85, для винтовой пары, способной прокачивать фракцию твердого наполнителя до 6-8 мм. Диаметр внутренней винтовой поверхности обоймы статора такой винтовой пары следующий $D_{cr}=d_p+4e=72$ мм.

При известном в технике соотношении $e:d_p$, равном 1:6, при таком же эксцентриситете ротора $e=10,5$ диаметр ротора будет 63 мм, а диаметр внутренней винтовой поверхности статора намного больше предыдущего $D_{cr}=d_p+4e=105$ мм.

Уменьшение соотношения $e:d_p$ ниже 1:2,85 не рекомендуется вследствие значительного утонения

гребня ротора, что отрицательно сказывается на сроке службы ротора. Соотношение $e:d_p$ более 1:10 - нерационально с точки зрения эффективности использования металла при производстве роторов, так как для получения идентичных технических параметров винтового насоса по производительности и величине прокачиваемой твердой фракции диаметр и вес ротора становятся нерационально большими.

Новую конструкцию точно литого ротора одновинтового героторного насоса по изобретению по сравнению с известным уровнем техники характеризует более износостойкая винтовая поверхность ротора, в том числе многозаходного, головка ротора повышенной прочности, увеличенный рабочий ресурс, стабильное давление и производительность, высокая надежность, универсальность применения, экономичность производства и эксплуатации.

На фиг. 4 приведены фото точно литых роторов со стальной головкой различной конфигурации, подтверждающие реализацию технического решения новой конструкции ротора.

Проведены производственные испытания винтовой пары с конструкционными параметрами точно литого ротора по изобретению. Протокол испытаний подтверждает осуществимость изобретения, высокий рабочий ресурс и надежность точно литого ротора и винтовой пары.

Производственное освоение объекта промышленной собственности запланировано на территории Беларуси и стран СНГ.

Источники информации.

1. Крылов А.В. Одновинтовые насосы. М., Гостоптехиздат, 1962, 157с.
2. Чинаев И.А. Роторные насосы. Л., Машиностроение, 1969, 216с.
3. US №3380391 F04C 2/107, 30.04.1968.
4. US №6220837, F04C 2/107, F04C 13/00, 24.04.2001
5. RU №2209129, B23 G1/32, B23 C3, 27.07.2003.
6. А.с. СССР №1286814 F04C 2/10, 30.01.1987
7. US 2464011, F01 C1/10, 8.03.1949.
8. US 4127368, F01 C1/10, B21 D39/02, 28.11.1978
9. PFT eccentric-screw pumps-program. http://tool.knauf-formbar.de/export/content_scripts/knauf_pdf_download.php?p=p&action=download&a=10382&c=41abca675ce5e54677e1ff06c4e62c4f
10. US № 4650549, C25 D7/00, 17.03.1987
11. RU 2282062, F04C 2/107, 20.08.2006
12. US 4948432, C21D 5/04, 14.08.1990.
13. Литейные свойства металлов и сплавов. <http://metallurgu.ru/osnovyi-obschey-tehnologii-metallov/liteynyye-svoystva-metallov-i-splavov.html>
14. Закономерности затвердевания отливок литейные свойства сплавов. <http://metallurgu.ru/books/item/f00/s00/z0000016/st022.shtml>
15. Чернышов Е.А. Формирование стальных отливок в условиях внешнего и комплексного воздействия. – Н.Новгород, Нижегородский гос. тех. университет, 2007, 199с
16. ГОСТ Р53464-2009 Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку.
17. Стрюченко А.А., Захарченко Э.В. Керамические формы в точном литье по постоянным моделям. – М.: Машиностроение. 1988. 125с.
18. Озеров В.А., Гаранин В.Ф. Литье повышенной точности по разовым моделям. – М.: Высшая школа. 1988. 88с.

19. Эльцуфин С.А. Литье повышенной точности. – Л.: Машиностроение. 1981. 81с.
20. ГОСТ 25346-2013 (ISO 286-1:2010) Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки.
21. Камынин В.В., Дмитриева Н.В., Лазутина И.В. «Литые твердые сплавы и их применение в деревообработке» <https://cyberleninka.ru/article/n/litye-tvyordye-splavy-i-ih-primenenie-v-derevoobrabotke>

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Ротор одновинтового героторного насоса, отлитый из износостойкого сплава, содержащий винтовую поверхность в виде левой или правой спирали с заданным шагом спирали и головку ротора, передающую вращение ротора, геометрический центр поперечного сечения которого смещен относительно оси его вращения на величину эксцентриситета, причем кратность шагов витков спирали соразмерна длине ротора, устанавливаемого с натягом в эластичный статор насоса и совершающего планетарное движение по внутренней винтовой поверхности статора, отличающийся тем, что ротор выполнен точно литым с предельными отклонениями действительных размеров от номинальных размеров ротора: диаметра, шага, эксцентриситета и отклонения прямолинейности оси ротора, не превышающими 0,1-0,5 значения величины натяга ротор-статор, а поверхность ротора на глубину не менее 1 мм выполнена с износостойкой литейной коркой повышенной плотности, при этом диаметр окружности поперечного сечения ротора d_p и шаг ротора S_p находятся в соотношении $d_p:S_p$ от 1:0,5 до 1:3, а эксцентриситет ротора e и d_p в соотношении от 1:2,85 до 1:10.

2. Ротор по п.1, отличающийся тем, что головка ротора имеет твердость ниже твердости винтовой поверхности преимущественно на 10-20 единиц HRC по шкале Роквелла.

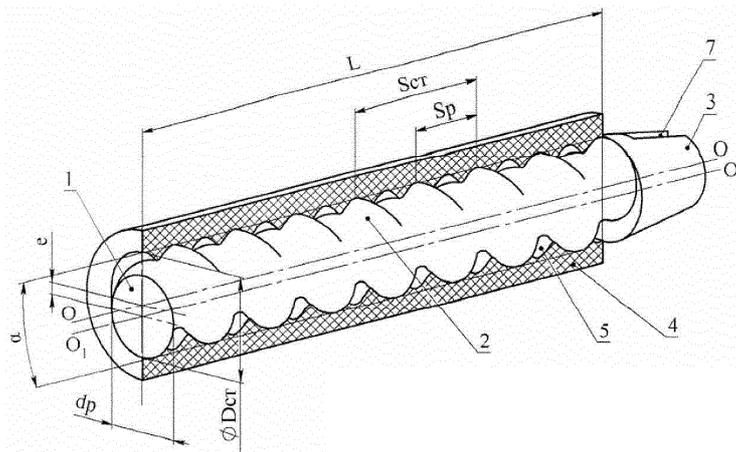
3. Ротор по пп.1, 2, отличающийся тем, что головка ротора выполнена в форме усеченного конуса, больший диаметр которого прилегает к винтовой поверхности ротора.

4. Ротор по пп.1, 3, отличающийся тем, что винтовая спираль ротора имеет по меньшей мере один заход.

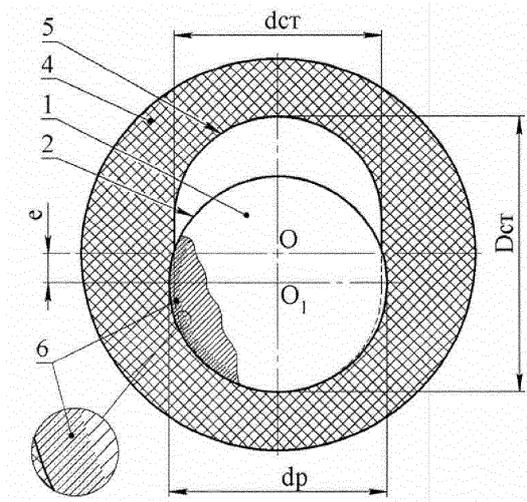
5. Ротор по пп.1, 3, 4, отличающийся тем, что винтовая поверхность ротора имеет конусность.

6. Ротор по пп.1-4, отличающийся тем, что выполнен из износостойкого самозакаливающегося из литого состояния сплава, а головка ротора выполнена из другого более вязкого сплава, преимущественно стального.

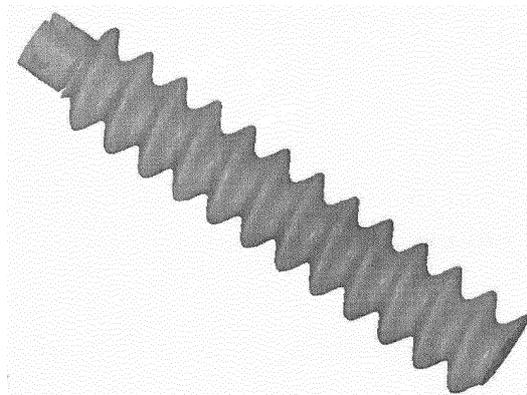
7. Ротор по пп.1-6, отличающийся тем, что прорезь шлицевой канавки головки ротора выполнена в плоскости, проходящей по линии, соединяющей геометрический центр поперечного сечения ротора и ось вращения ротора.



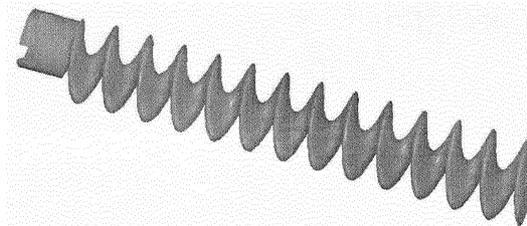
Фиг. 1.а



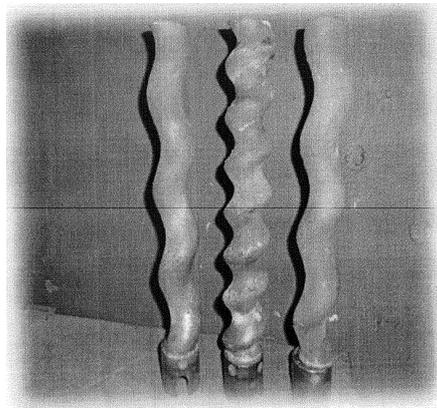
Фиг. 1.б



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

