

ОБОРУДОВАНИЕ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

УДК 621.674

ЭФФЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОВИНТОВЫХ НАСОСОВ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО И ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Д.Ф. Балденко (д-р техн. наук), Ф.Д. Балденко (канд. техн. наук), С.Е. Киршев, С.А. Ковалевский

Рассмотрены преимущества одновинтовых насосов и перспективы их применения в экологических и энергосберегающих технологиях в различных отраслях промышленности.

Представлена технологическая схема высокопроизводительной мобильной установки для очистки сточных вод.

Проведён сравнительный анализ рабочих характеристик одновинтового и центробежного насосов для блока долива в составе циркуляционной системы буровой установки. Разработан понтонный насосный агрегат для эффективного откачивания остаточных нефтепродуктов из открытых водоемов и резервуаров с целью увеличения объемов добычи и повышения экологической безопасности на месторождении.

Ключевые слова: одновинтовой насос; обезвоживание осадка сточных вод; очистка водоемов; циркуляционная система буровой установки; нефтешламы; понтонный насосный агрегат.

DOI: 10.33285/2411-7013-2019-4(289)-19-24

EFFICIENT USE OF SINGLE SCREW PUMPS IN ENVIRONMENTAL AND ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES OF OIL-AND-GAS AND GENERAL INDUSTRIAL APPLICATION

D.F. Baldenko, F.D. Baldenko, S.E. Kirshev, S.A. Kovalevskiy

The advantages of progressive cavity pumps (PCP) and the prospects for their application in environmental and energy-saving technologies in various industries are considered. The P&ID of a high-performance mobile wastewater treatment unit is presented. The comparative analysis of PCP's and centrifugal pump's performance for the trip tank in the composition of the drilling mud cleaning system is conducted. The pontoon pumping unit has been developed for efficient pumping out of residual oil products from open reservoirs and tanks to increase production and enhance environmental safety at the field.

Keywords: progressive cavity pump; sewage sludge dewatering; water treatment; drilling mud cleaning system; oil sludge; pontoon pump unit.

Практический опыт применения одновинтовых насосов (ОВН) по перекачиванию сточных вод, вязких, маслянистых жидкостей, шламов и суспензий, а также для дозирования агрессивных жидкостей демонстрирует широкие технические возможности и открывает перспективы их использования в экологических и энергосберегающих проектах. Основным преимуществом ОВН, определившим их распространение в различных областях техники, является способность перекачивать практически любые жидкие среды, в том числе высоковязкие, содержащие газовые и твердые включения, а также мультифазные смеси. Сердцем одновинтового насоса (рис. 1) является героторная пара, состоящая из z_2 -заходного ротора и z_1 -заходного статора (как правило, с эластичной обкладкой), причем $z_1 = z_2 + 1$. Выполнение винтовых поверхностей ротора и статора с шагами, пропорциональными отношению чисел их зубьев, позволяет создать камеры (капсулы-шлюзы), разобщенные от областей высокого и низкого давлений. При

вращении ротора в неподвижном статоре происходит открытие и закрытие капсул-шлюзов, что приводит к всасыванию и нагнетанию насосом перекачиваемой среды. В связи с этим принцип действия ОВН получил название "Новый капсулизм", а его конструкция не требует установки клапанов и других распределительных устройств в отличие от объемных возвратно-поступательных гидромашин [1, 2].



Рис. 1. Одновинтовой насос производства АМС (стендовый образец): 1 – фланец нагнетательный; 2 – статор; 3 – ротор; 4 – корпус; 5 – соединительный вал с шарнирами; 6 – всасывающий фланец; 7 – уплотнение вала; 8 – адаптер

Деятельность любого производственного предприятия в различной степени отражается на экологии почвенной, воздушной и водной сред в зависимости от типа отходов, а также глубины их переработки и утилизации. Действующее на сегодняшний день законодательство и существующие технологии позволяют минимизировать загрязнения и предотвратить аварии техногенного характера. При этом значительный ущерб окружающей среде был причинен во второй половине XX в. в период активного роста промышленности в СССР, когда вопросам экологии не уделялось должного внимания. В частности, некачественная очистка сточных вод и их последующий сброс в окружающую среду привели к заиливанию водоемов близ мегаполисов и крупных промышленных объектов; неэффективные способы утилизации нефтешламов (отстаивание) способствовали накоплению большого объема отходов на территории месторождений, где нефть подвергается первичной сепарации. В связи с этим возникла необходимость проведения экологических мероприятий по ликвидации загрязнений прошлых лет с применением современных и производительных технических средств, в том числе насосного оборудования для забора и транспортировки различных типов жидкостей. Благодаря конструктивным и кинематическим особенностям рабочих органов одновинтовые насосы объединяют положительные качества динамических и объемных гидромашин, обладая важными эксплуатационными преимуществами, что открывает перспективы их эффективного применения в экологических и энергосберегающих технологиях нефтегазового и общепромышленного назначения.

В производственной линейке компании АМС представлены одновинтовые насосные агрегаты с объемной подачей от 0,001 до 300 м³/ч и давлением нагнетания до 4,8 МПа, которые могут использоваться при решении различных технологических задач экологического и энергосберегающего направлений.

Повышение степени обезвоживания осадка сточных вод

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам экологической безопасности и утилизации отходов, образующихся на городских канализационных очистных сооружениях. Оптимальными решениями утилизации осадка сточных вод являются его сжигание после предварительного обезвоживания и вывоз на специальные полигоны в виде золы [3]. К сожалению, заводы по сжиганию осадков сточных вод не справляются с отходами, что приводит к заполнению до критических отметок ранее выделенных мест для складирования. Принимая во внимание, что полигоны являются потенциальным источником загрязнения атмосферы и грунтовых вод, а также занимают значительные земельные площади, их дальнейшее строительство признано нецелесообразным. Накопившиеся за долгие годы отходы представляют собой неоднородную массу, состоящую в большей степени

из смеси осадка первичных и вторичных отстойников и избыточного активного ила. Очевидно, что такие отходы невозможно сжечь в первоначальном состоянии, поэтому их необходимо предварительно обработать. Выбор способа для повышения степени обезвоживания осадка обусловлен технико-экономическими факторами применения того или иного вида сепарационного оборудования: фильтр-прессы, центрифуги, ленточные прессы, установки коагуляции и флокуляции [4, 5]. Одновременно требуется оснастить такие средства очистки эффективным вспомогательным оборудованием для загрузки и выгрузки осадка. Преимущество использования ОВН в системах сепарации определяется стабильностью создаваемого ими потока и низким сдвигом, а также возможностью применения в конструкции насоса коррозионно-стойких материалов, работоспособных в условиях присутствия агрессивных жидкостей. Благодаря конструктивным и кинематическим особенностям рабочих органов (ротор и статор) одновинтовые насосы обеспечивают равномерную подачу (без пульсации), пропорциональную частоте вращения. На очистных сооружениях и станциях водоподготовки ОВН успешно используются для дозирования полимеров-осадителей, известкового молока, кислот, щелочей и других реагентов из-за возможности точной настройки их объемной подачи и ее оперативного управления.

Данный принцип управления реализован в мобильных установках по обезвоживанию сырого осадка сточных вод. Установки состоят из четырех модулей контейнерного исполнения (рис. 2). Приемный модуль оснащен двумя высокопроизводительными одновинтовыми насосами для равномерной подачи (до 300 м³/ч) предварительно обработанного коагулянта осадка. Для определения концентрации флокулянта проводится контроль содержания сухого вещества в осадке при помощи анализатора мутности; далее измеряется текущий расход осадка, что регулирует подачу дозирующих одновинтовых насосов, расположенных в модуле приготовления полимера. Флокулянт добавляется в поточном режиме, при этом происходит смешивание двух жидкостей за счет гидродинамической кавитации, что повышает эффективность осаждения осадка и снижает расход флокулянта. Дальнейшее обезвоживание может осуществляться при помощи механических средств или гравитационными методами, например в текстильных фильтровальных мешках [6].

Более производительным и качественным методом разделения суспензий является центрифугирование. Установки (рис. 3), состоящие из осадительных центрифуг непрерывного действия и одновинтовых насосов, мобильны (могут быть выполнены на базе стандартного 40-футового контейнера) и не нуждаются в больших площадях при монтаже, что обеспечивает удобство эксплуатации в полевых условиях. Большинство таких установок эксплуатируются в ручном режиме и требуют наличия квалифицированного пер-

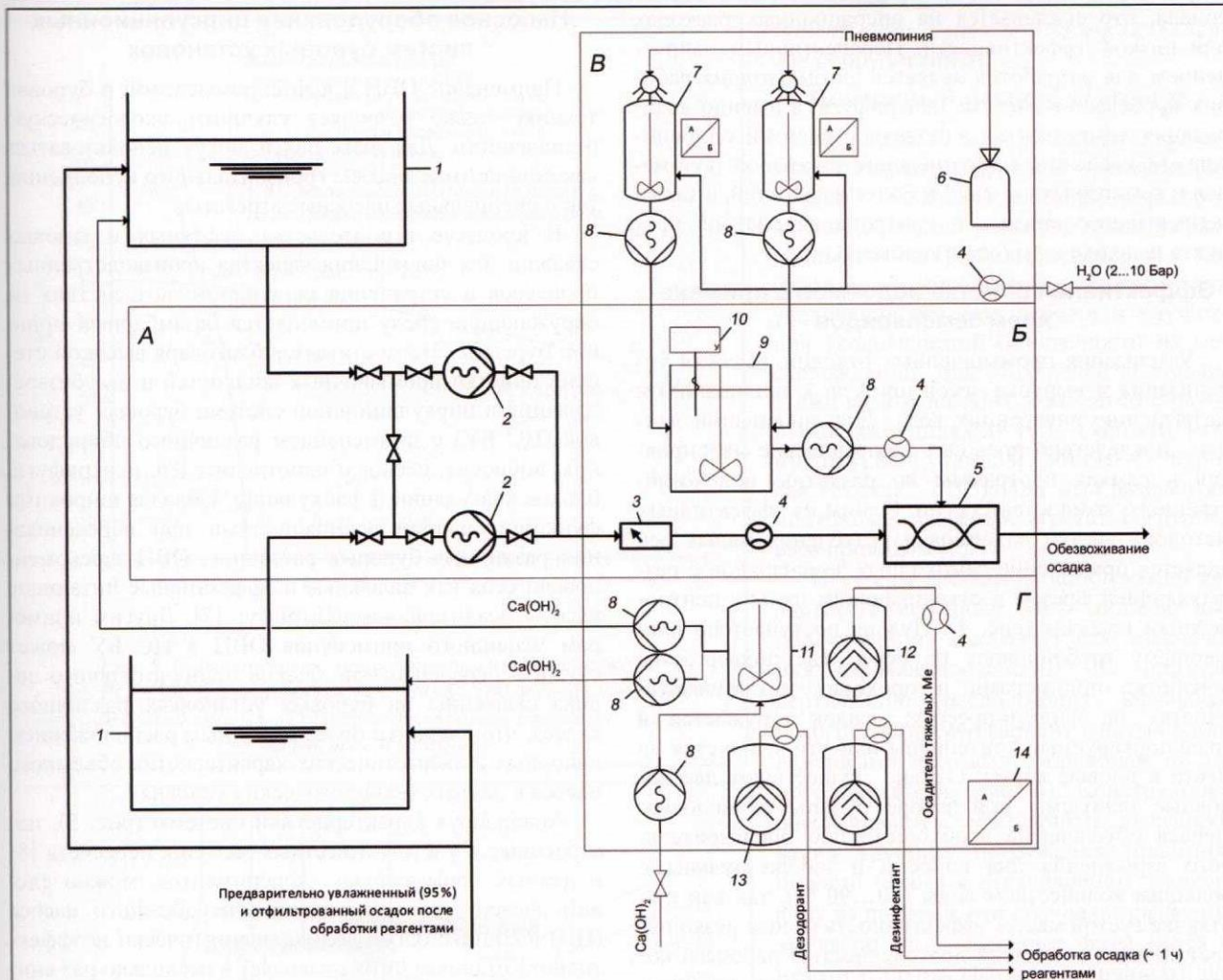


Рис. 2. Принципиальная схема установки по обезвоживанию сырого осадка сточных вод (реализована компанией КНТП при очистке полигона "Северный", г. Санкт-Петербург):

A – приемный модуль; B – модуль смешивания осадка с флокулянтom; B – модуль приготовления растворов полимера; A – модуль дозирования реагентов; 1 – приемная емкость для осадка; 2 – одновинтовой насос; 3 – анализатор мутности; 4 – расходомер; 5 – гомогенизатор поточный; 6 – порошок флокулянта; 7 – установка раствора полимера; 8 – дозирующий одновинтовой насос; 9 – приемная емкость для раствора полимера; 10 – уровнемер; 11 – приемная емкость стабилизатора; 12 – емкости с реагентами; 13 – дозирующий бочковый насос; 14 – пульт управления установкой

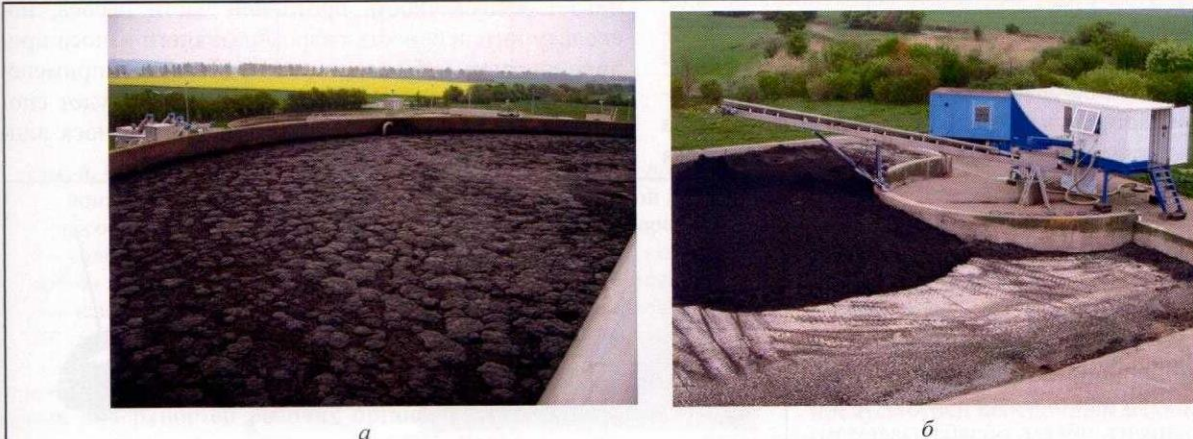


Рис. 3. Обработка шлама методом центрифугирования, Германия: а – до обработки (осушения); б – после обработки

сонала, что сказывается на операционных расходах или низкой эффективности. Перспективным направлением для разработок является автоматизация рабочих процессов в системе центрифуги, а именно дозирования химреагентов и подачи суспензий одновинтовыми насосами, приготовления растворов полимеров и гомогенизации двух и более жидкостей, а также непрерывного анализа и контроля параметров продукта на входе и выходе из системы.

Эффективная очистка водоемов с применением земснарядов

Утилизация промышленных отходов, высокая урбанизация и вырубка лесов привели к заиливанию и загрязнению внутренних вод. Для ликвидации данных последствий проводят экологические мероприятия в рамках программы по развитию водохозяйственного комплекса России. Одним из эффективных методов очистки водоемов и углубления малых рек является применение самоходных земснарядов с разрыхляющей фрезой и откачивающим пульпу центробежным насосом (рис. 4). Пульпа поступает по плавающему трубопроводу на берег, где подвергается обработке полимерами и проходит механическую очистку на фильтр-прессах; осадок сгружается в транспортируемые контейнеры или утилизируется на месте в иловые карты. Однако существуют две основные проблемы при заборе пульпы из водоема. Первая обусловлена необходимостью предварительного взрыхления дна водоема и забора пульпы с большим количеством воды (80...90 %), так как при откачке густой массы эффективность насоса резко падает. Вторая – низкой долговечностью рабочего колеса и "улитки" насоса. Решением данных проблем, по мнению авторов статьи, является замена центробежного насоса на два одновинтовых, установленных над поверхностью воды по правому и левому бортам земснаряда. Благодаря высокой всасывающей способности ОВН отпадает необходимость погружения оборудования в воду, что существенно уменьшит коррозию корпусных деталей и упростит конструкцию привода. При этом стоит учитывать вероятность попадания в насос вместе с илом крупных твердых включений (веток, камней, костей и т. п.), что может привести к разрушению эластичной обкладки статора. Поскольку установка фильтра на входе не имеет смысла с точки зрения эксплуатации и обслуживания, то для решения данной проблемы в конструкции ОВН может быть предусмотрен вал-измельчитель, приводимый в движение от основного двигателя и дробящий крупные частицы в корпусе перед попаданием их в рабочие органы. Оснащение земснарядов одновинтовыми насосами позволит откачивать более густую пульпу, что снизит объем обрабатываемого материала на берегу в несколько раз, тем самым повысит эффективность всей системы очистки.

Насосное оборудование циркуляционных систем буровых установок

Применение ОВН в нефтепромысловой и буровой технике также позволяет улучшить экологическую безопасность. Для этих целей могут использоваться как стандартные насосы горизонтального исполнения, так и специальные насосные агрегаты.

В процессе строительства нефтяных и газовых скважин для повышения качества производственных процессов и устранения негативного воздействия на окружающую среду применяется безамбарный принцип бурения. Это достигается благодаря высокой степени очистки промысловых жидкостей и их обезвреживания в циркуляционной системе буровых установок (ЦС БУ) с применением различного оборудования: вибросит, песко- и илоотделителей, центрифуги, блоков коагуляции и флокуляции. Обладая широкими функциональными возможностями при перекачивании различных буровых растворов, ОВН зарекомендовали себя как надежные и эффективные питающие насосы осадительных центрифуг [7]. Другим примером успешного применения ОВН в ЦС БУ может служить переоснащение блоков принудительного долива скважины на буровых установках различного класса, что связано с более выгодным расположением напорных и энергетических характеристик объемного насоса в данных технологических условиях.

Анализируя характеристики системы (рис. 5), построенные с учётом известных методик пересчета [8] и данных промысловых экспериментов, можно сделать вывод, что применение центробежного насоса (ЦН) в составе блока долива энергетически неэффективно. Установка ОВН позволяет в несколько раз снизить энергопотребление, а также улучшить гидравлические аспекты рабочего процесса. Потери в центробежном насосе обусловлены ударным входом вязкого бурового раствора в рабочее колесо, трением в его каналах, а также спиральном отводе. Одновинтовой насос лишен этого недостатка вследствие невысоких скоростей жидкости в каналах рабочих органов (в 3 раза меньше, чем в ЦН тех же габаритов), что увеличивает долговечность проточной части насоса, поскольку интенсивность гидроабразивного износа пропорциональна кубу скорости. Возможность применения тихоходных приводов (до 400 мин⁻¹) будет способствовать ограничению фрикционного износа вин-



Рис. 4. Самоходный земснаряд Watermaster:

1 – фреза; 2 – всасывающий патрубок насоса; 3 – центробежный насос; 4 – гидропривод насоса; 5 – пульпопровод

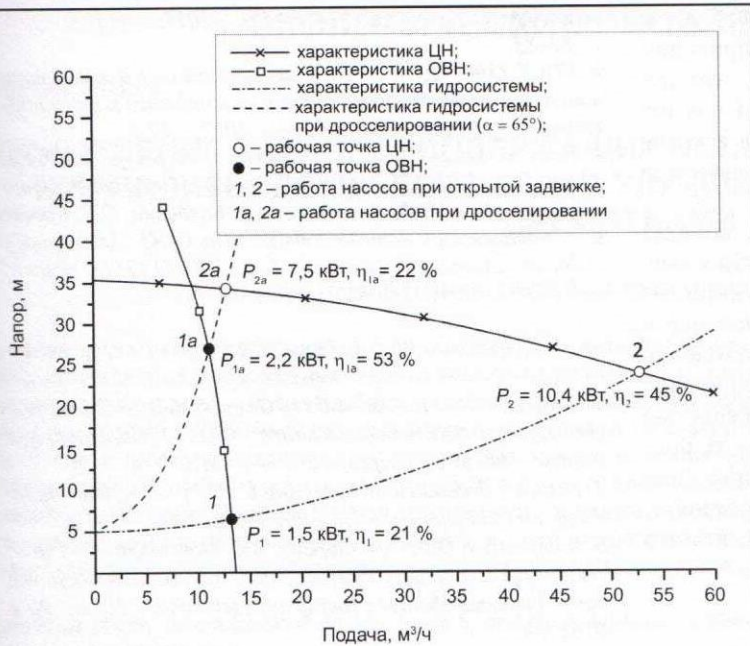


Рис. 5. Сравнительные характеристики одновинтового AMS PCP15S6 B и центробежного K80-65-160 насосов при работе в режиме долива скважины (плотность бурового раствора — 1,36 г/см³, вязкость — 0,015 Па·с)

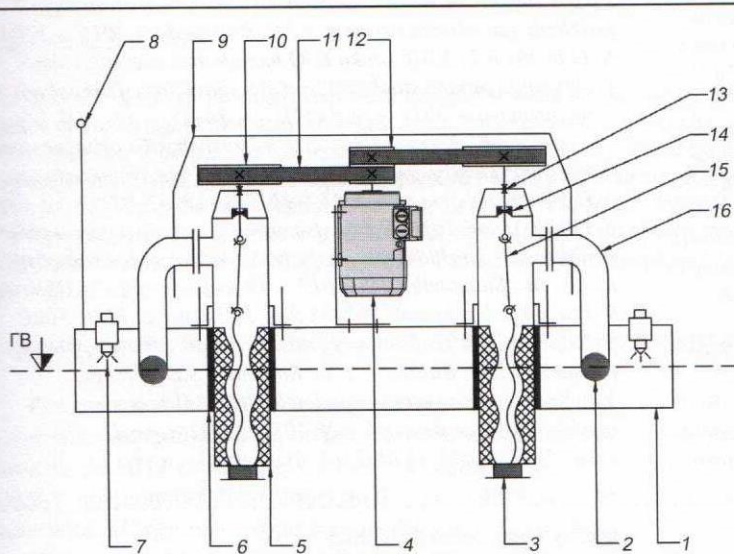


Рис. 6. Схема понтоного насосного агрегата с групповым приводом: 1 — понтон; 2 — гибкий трубопровод; 3 — фильтр на приемной полости насоса; 4 — приводной двигатель; 5 — винтовые рабочие органы; 6 — уплотнение; 7 — форсунки для подачи водяного пара; 8 — ограждение по периметру понтона; 9 — защитный кожух; 10 — ведомый шкив; 11 — клиновой ремень; 12 — ведущий шкив; 13 — подшипниковый узел; 14 — уплотнение вала насоса; 15 — соединительный узел; 16 — нагнетательный патрубок насоса

товых поверхностей рабочих органов, что также положительно повлияет на ресурс ОВН. Вышеперечисленные преимущества одновинтовых насосов в совокупности позволяют избежать простоев на ремонт, сократив непроизводительное время работ, а также

существенно снизить стоимость владения оборудованием.

Понтоный насосный агрегат

Еще одна возможная область эффективного применения ОВН на нефтепромыслах — откачка остаточных нефтепродуктов (особенно высоковязких и загрязненных) из открытых резервуаров и амбаров в технологические емкости для увеличения объемов добычи и улучшения экологической безопасности на месторождении. Для этих целей специалистами компании АМС совместно с научными сотрудниками РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина и ОАО НПО "Буровая техника" — ВНИИБТ был разработан понтоный насосный агрегат с групповым приводом [9].

Несущим элементом конструкции является герметичный бак — понтон, выполненный из алюминия для обеспечения взрывобезопасности. На понтоне вертикально расположены несколько насосов, например вариант с двумя одновинтовыми насосами с приводом от одного двигателя (рис. 6). Конструкцией обеспечивается возможность регулирования глубины погружения приемной полости насоса в откачиваемую жидкую фазу из водоема, что позволяет разделять эмульсии на дисперсные фазы (вода — нефть) и более эффективно очищать водоем. Приводной двигатель расположен в центре понтона. На валу закреплен шкив, соединенный с помощью клиновых ремней со шкивами насосов, которые имеют дополнительные канавки, причем число канавок на шкиве двигателя кратно больше числа канавок на шкиве насоса. Это позволяет при неизменном положении приводного двигателя регулировать степень погружения насосов под уровень жидкости в резервуаре. Для повышения эффективности при перекачивании высоковязких жидкостей внутри понтона может быть проложен трубопровод для подачи теплоносителя, а по периметру на подрамнике установлены форсунки для более интенсивного подогрева области вокруг приемной полости насоса. При необходимости автономного передвижения понтона по водоему может быть предусмотрен лебедочный механизм.

Основная цель данного технического предложения заключается в расширении возможностей применения плавучих насосных установок при откачке мультифазных и высоковязких жидкостей и заборе густых

масс при очистке открытых водоемов и резервуаров. Предлагаемая конструкция с групповым приводом позволяет уменьшить габаритные размеры, что допускает возможность применения установки для откачивания жидкостей из открытых емкостей, а также снимает необходимость крепления оборудования непосредственно на резервуаре.

Таким образом, одновинтовые насосы, обладая уникальными характеристиками, компактностью, простотой конструкции и высокими эксплуатационными показателями, находят широкое применение в процессах по утилизации и регенерации отходов в различных отраслях промышленности. Расширение областей применения ОВН связано с возможностью их использования в различных технологических процессах в качестве мультифазных перекачивающих устройств. Серийные и специально разработанные одновинтовые насосы могут успешно применяться в экологических и энергосберегающих проектах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Гноевых А.Н. *Одновинтовые гидравлические машины: в 2 т. Т. 1. Одновинтовые насосы.* – М.: ИРЦ Газпром, 2005. – 488 с.
2. Nelik L., Brennan J. *Progressing Cavity Pumps, Downhole Pump and Mudmotors.* – Houston, Texas, 2005. – 241 p.
3. Рублевская О.Н., Краснопеов А.Л. *Опыт внедрения современных технологий и методов обработки осадка сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника.* – 2011. – № 4. – С. 65–69.
4. Кривень А.П. *Выбор оборудования для обезвоживания осадков сточных вод и производственных шламов // Водоснабжение и санитарная техника.* – 2012. – № 5. – С. 67–74.
5. ИТС 10-2015. *Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений городских округов.* – М.: Росстандарт, 2016. – 370 с.
6. Лобанов Ф.И., Никитченко Е. *О методе статического обезвоживания осадка сточных вод // Строительство. Технологии. Организация.* – 2017. – № 3 (52). – С. 76–77.
7. Киршев С.Е., Ковалевский С.А. *Преимущества применения одновинтовых насосов в системах очистки бурового*

раствора // Территория Нефтегаз. – 2017. – № 7–8. – С. 82–83.

8. *ГОСТ 33967-2016. Насосы центробежные для перекачивания вязких жидкостей. Поправки к рабочим характеристикам.* – М.: Стандартинформ, 2017. – 17 с.
9. *Пат. на полез. модель 182408 Рос. Федерация, МПК F04C 11/00, F04C 2/107. Понтонный насосный агрегат с групповым приводом / Д.Ф. Балденко, Ф.Д. Балденко, С.Е. Киршев, С.А. Ковалевский; патентообладатель ООО "Альтернативные механические системы".* – № 2017135431; заявл. 05.10.2017; опубл. 16.08.2018, Бюл. № 23.

LITERATURA

1. Baldenko D.F., Baldenko F.D., Gnoyevykh A.N. *Odnovintovyye gidravlicheskiye mashiny: v 2 t. T. 1. Odnovintovyye nasosy.* – M.: IRTs Gazprom, 2005. – 488 s.
2. Nelik L., Brennan J. *Progressing Cavity Pumps, Downhole Pump and Mudmotors.* – Houston, Texas, 2005. – 241 p.
3. Rublevskaya O.N., Krasnopeyev A.L. *Opyt vnedreniya sovremennykh tekhnologiy i metodov obrabotki osadka stochnykh vod // Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika.* – 2011. – № 4. – S. 65–69.
4. Kriven' A.P. *Vybor oborudovaniya dlya obezvozhivaniya osadkov stochnykh vod i proizvodstvennykh shlamov // Vodosnabzheniye i sanitarnaya tekhnika.* – 2012. – № 5. – S. 67–74.
5. *ITS 10-2015. Informatsionno-tekhnicheskiy spravochnik po nailuchshim dostupnyim tekhnologiyam. Ochistka stochnykh vod s ispol'zovaniyem tsentralizovannykh sistem vodootvedeniya poseleniy gorodskikh okrugov.* – M.: Rosstandart, 2016. – 370 s.
6. Lobanov F.I., Nikitchenko E. *O metode staticheskogo obezvozhivaniya osadka stochnykh vod // Stroitel'stvo. Tekhnologii. Organizatsiya.* – 2017. – № 3 (52). – S. 76–77.
7. Kirshev S.E., Kovalevskiy S.A. *Preimushchestva primeneniya odnovintovykh nasosov v sistemakh ochistki burovogo rastvora // Territoriya Neftegaz.* – 2017. – № 7–8. – S. 82–83.
8. *GOST 33967-2016. Nasosy tsemtrobezchnyye dlya perekachivaniya vyazkikh zhidkostey. Popravki k rabochim kharakteristikam.* – M.: Standartinform, 2017. – 17 s.
9. *Pat. na polez. model' 182408 Ros. Federatsiya, MPK F04C 11/00, F04C 2/107. Pontonnyy nasosnyy agregat s gruppovym privodom / D.F. Baldenko, F.D. Baldenko, S.E. Kirshev, S.A. Kovalevskiy; patentoobladatel' OOO "Al'ternativnyye mekhanicheskiye sistemy".* – № 2017135431; zayavl. 05.10.2017; opubl. 16.08.2018, Byul. № 23.

Дмитрий Федорович Балденко

ОАО НПО "Буровая техника" – ВНИИБТ
115114, Россия, г. Москва, ул. Летниковская, 9.
E-mail: dbaldenko@integra.ru;

Федор Дмитриевич Балденко

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина
119991, Россия, г. Москва, Ленинский просп., 65.
E-mail: fbaldenko@mail.ru;

Сергей Евгеньевич Киршев,
Сергей Александрович Ковалевский

ООО "Альтернативные Механические Системы" (АМС)
143002, Россия, Московская обл., г. Одинцово, ул. Западная, 13.
E-mail: info@am-systems.ru

Dmitry Fedorovich Baldenko

OJSC SPA "BUROVAYA TECHNIKA"
9, Letnikovskaya str., Moscow, 115114, Russia.
E-mail: dbaldenko@integra.ru;

Fedor Dmitrievich Baldenko

National University of Oil and Gas "Gubkin University"
65, Leninsky prosp., Moscow, 119991, Russia.
E-mail: fbaldenko@mail.ru;

Sergey Evgenievich Kirshev,
Sergey Alexandrovich Kovalevskiy

LLC "Alternative Mechanical Systems" (AMS)
13, Zapadnaya str., Odintsovo, 143002, Moscow region, Russia.
E-mail: info@am-systems.ru