

УДК 621.674

# АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОДНОВИНТОВЫХ НАСОСОВ В ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОЕКТАХ НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**Д. Ф. Балденко**, главный научный сотрудник, д-р тех. наук

ОАО НПО «Буровая техника»;

**Ф. Д. Балденко**, канд. тех. наук

РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина;

**С. Е. Киршев**, генеральный директор,

**С.А. Ковалевский**, главный конструктор,

**А. Л. Ширяев**, главный инженер

ООО «Альтернативные Механические Системы» (АМС).

E-mail: [info@am-systems.ru](mailto:info@am-systems.ru)

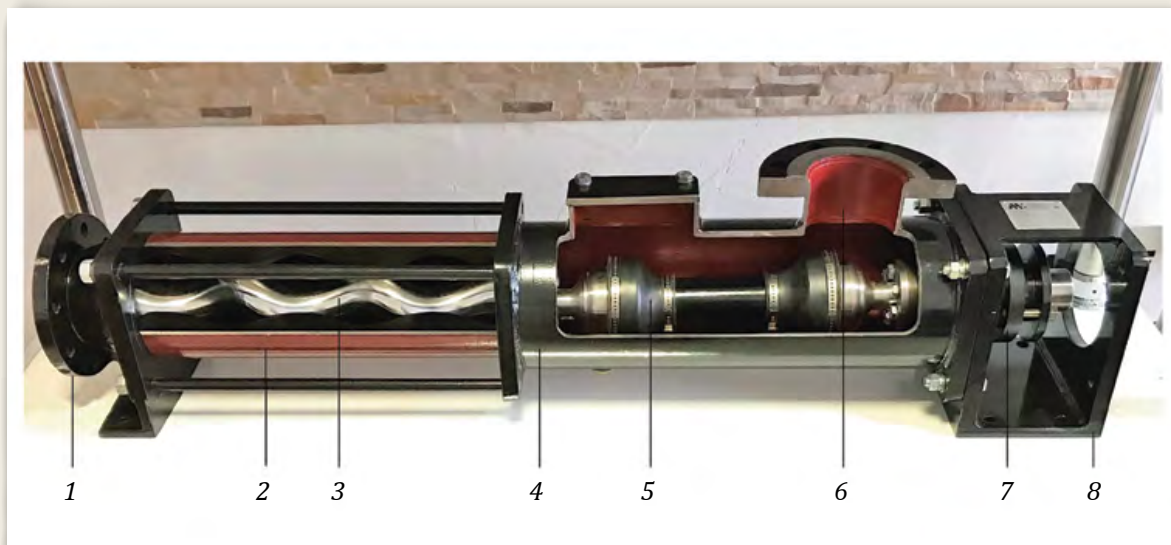
**Ключевые слова:** одновинтовой насос; очистка сточных вод; флотошлам; система очистки бурового раствора; нефтесодержащие осадки; понтонный насосный агрегат.

**Аннотация.** В статье рассмотрены преимущества одновинтовых насосов и перспективы их применения в экологических и энергосберегающих проектах нефтегазового назначения. 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. Предложен инновационный эллипсоциклоидальный торцовый профиль рабочих органов многозаходного одновинтового насоса.

**П**рактический 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, пропорцио-



**Рис. 1.** Одновинтовой насос производства AMC (стендовый образец):

1 – фланец нагнетательный; 2 – статор; 3 – ротор; 4 – корпус; 5 – соединительный вал с шарнирами; 6 – всасывающий фланец; 7 – уплотнение вала; 8 – адаптер

нальными отношением 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. 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].

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 предотвращать 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, некачественные промышленные стоки и последующий их сброс в окружающую среду привели к заиливанию водо-

рождений, где нефть подвергается первичной сепарации. В связи с этим возникает необходимость проведения экологических мероприятий по ликвидации загрязнений прошлых лет с применением современных и производительных технических средств, в том числе насосного оборудования для забора и транспортирования

---

**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.**

---

емов близ крупных промышленных комплексов; неэффективные способы утилизации нефтешламов, например отстаивание, способствовали накоплению большого объема отходов на территории место-

различных типов жидкостей. Благодаря конструктивным и кинематическим особенностям рабочих органов одновинтовые насосы объединяют в себе положительные качества динамических и объемных гидрома-

шин, обладая важными эксплуатационными преимуществами, что открывает перспективы их эффективного применения в экологических и энергосберегающих технологиях.

При проектировании наземных промышленных объектов рекомендуется учитывать критерии экономической целесообразности выбора ОВН в качестве перекачивающего устройства:

- объемная подача – до 500 м<sup>3</sup>/ч;
- развиваемое насосом давление (напор) – от 0,1 до 5 МПа (10–500 м);
- перекачиваемый продукт (преимущественно с механическими примесями): пульпы, суспензии, эмульсии, мультифазные жидкости (в том числе нефте- и флотошамы), химически активные жидкости, среды с возможным образованием отложений или полимеризацией;
- вязкость – более 200 мм<sup>2</sup>/с (энергоэффективность выше, чем у центробежных насосов).

В производственной линейке компании «Альтернативные механические системы» представлены одновинтовые насосные агрегаты с объемной подачей до 300 м<sup>3</sup>/ч и давлением нагнетания до 4,8 МПа, которые могут использоваться при решении различных технологических задач в процессах забора, очистки и утилизации опасных промышленных стоков (рис. 2).

## Применение мобильных установок для очистки сточных вод

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам экологической безопасности и утилизации отходов. Выбор средств для очистки сточных вод обусловлен технико-эко-

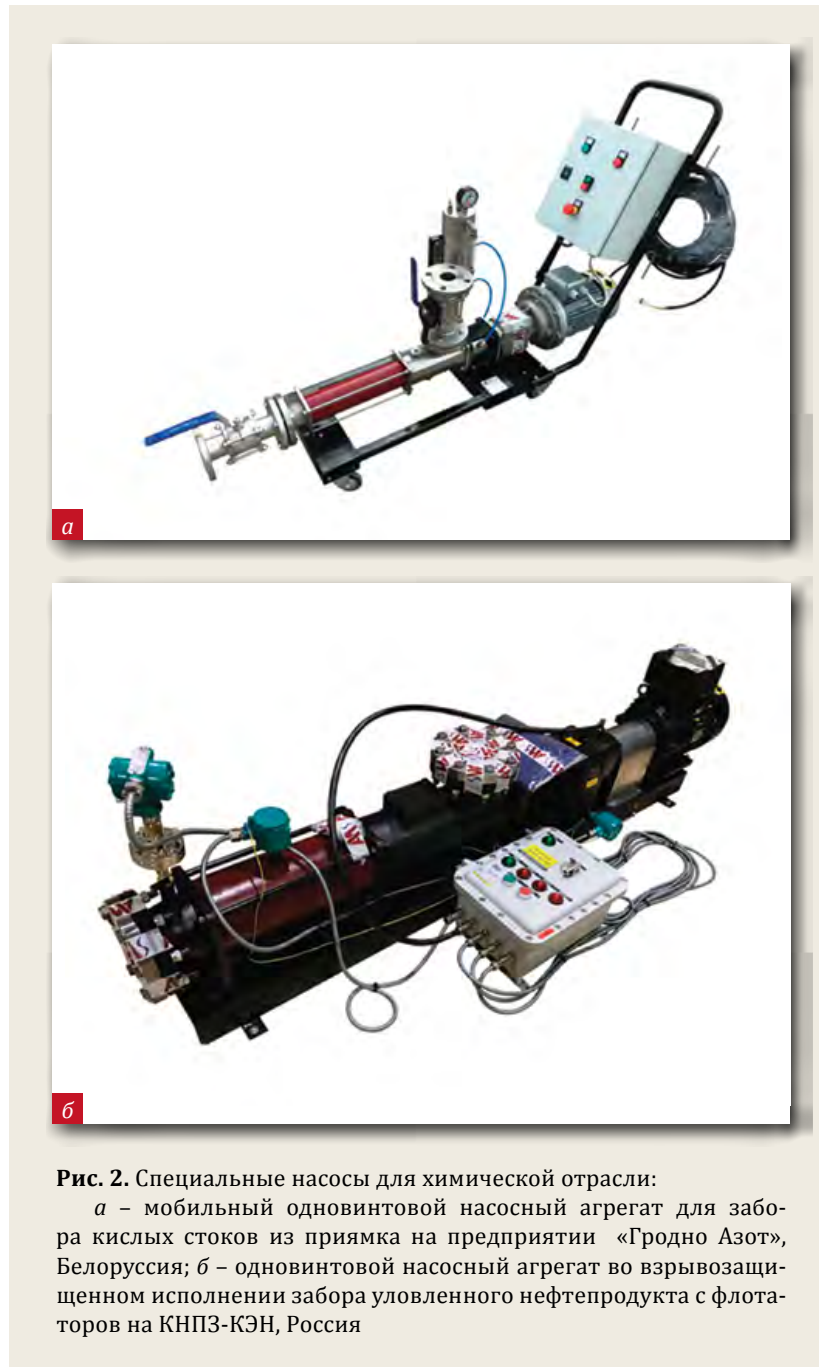
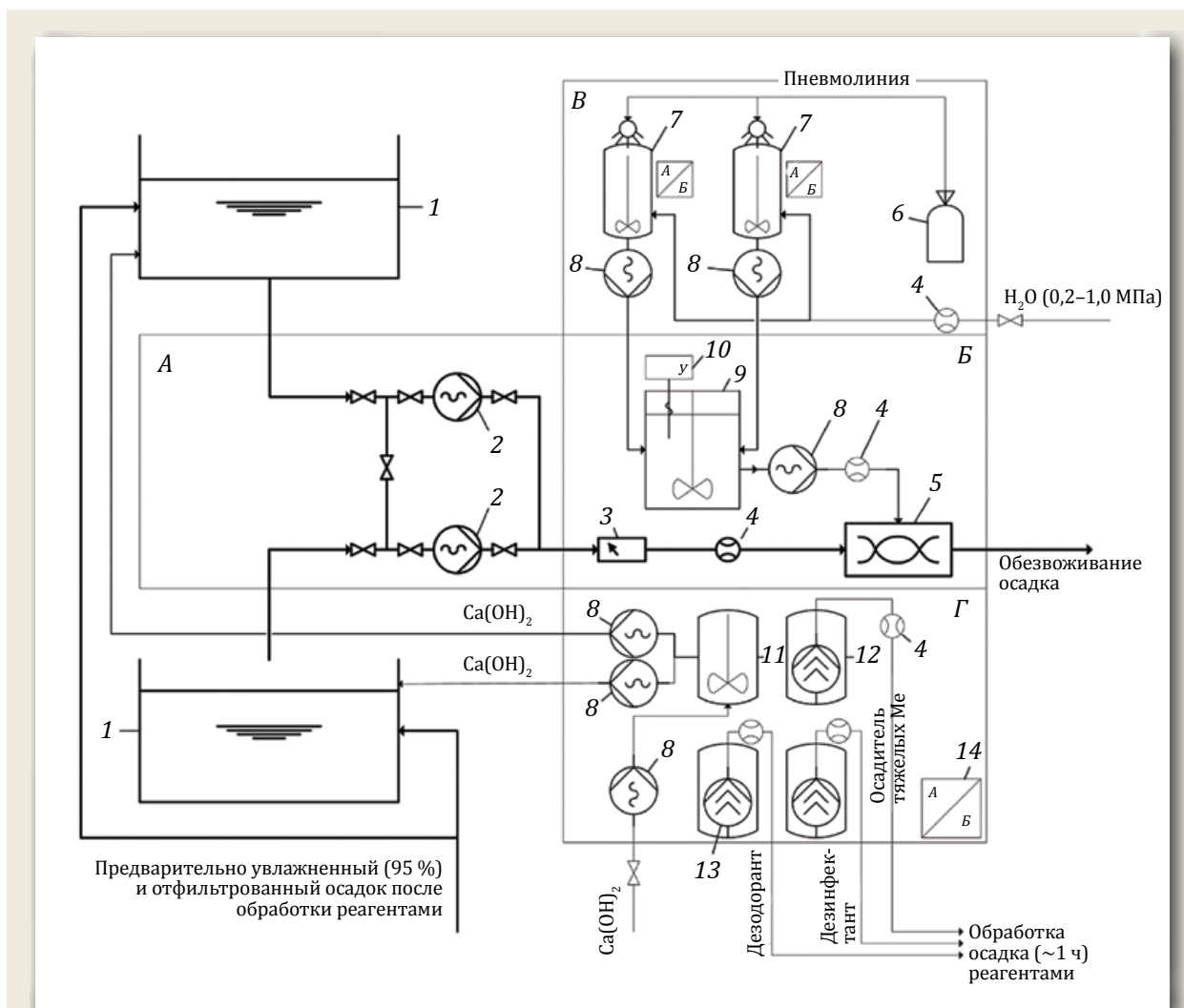


Рис. 2. Специальные насосы для химической отрасли:

а – мобильный одновинтовой насосный агрегат для забора кислых стоков из приемки на предприятии «Гродно Азот», Белоруссия; б – одновинтовой насосный агрегат во взрывозащищенном исполнении забора уловленного нефтепродукта с флоторов на КНПЗ-КЭН, Россия

номическими факторами применения того или иного вида сепарационного оборудования: фильтр-прессы, центрифуги, ленточные прессы, установки коагуляции и флокуляции [3]. Одновременно требуется оснащение данных машин эффективным вспомогательным оборудованием для загрузки и выгрузки осадка. Преимущество использования ОВН в системах очистки 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), про-



**Рис. 3.** Схема установки по обезвоживанию сырого осадка сточных вод (реализована компанией КНТП при очистке полигона «Северный», г. Санкт-Петербург):

А – приемный модуль; Б – модуль смешивания осадка с флокулянтами; В – модуль приготовления растворов полимера; Г – 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

порциональную 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, состоящих из четырех модулей контейнерного исполнения (рис. 3). Приемный модуль оснащен двумя высокопроизводительными одновинтовыми насосами, которые обеспечивают равномерную подачу (до 300 м<sup>3</sup>/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. Добавление флокулянта выполняется 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.

## Повышение эффективности при перекачивании буровых растворов

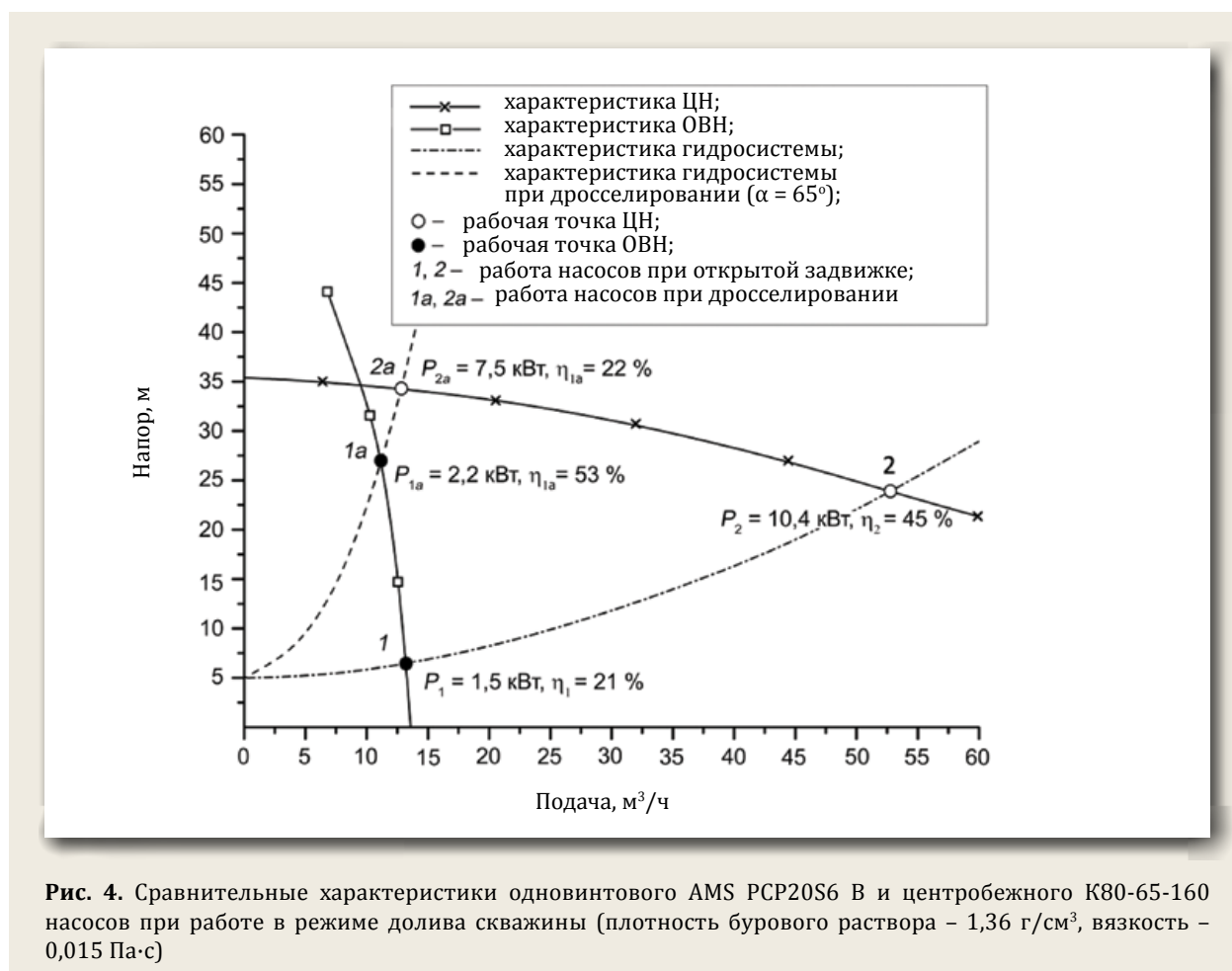
Применение ОВН в нефтепромысловой и буровой технике также позволяет улучшить экологическую безопасность. Для этих целей могут использоваться как стандартные насосы горизонтального исполнения, так и специальные насосные агрегаты.

В процессе строительства нефтяных и газовых скважин

для повышения качества производственных процессов и устранения негативного воздействия на окружающую среду применяется безамбарный принцип бурения благодаря высокой степени очистки промывочных жидкостей и их обезвреживания в циркуляционной системе буровых установок (ЦС БУ) с использованием осадительных и фильтрующих центрифуг, блоков коагуляции-флокуляции. Обладая широкими функциональными возможностями при перекачивании различных буровых растворов, ОВН зарекомендовали себя как надежные и эффективные питающие насосы осадительных центрифуг [4], а оперативность регулирования расхода жидкости при постоянном давлении позволяет применять одновинтовые насосы

для дозирования химических реагентов.

Примером успешного применения ОВН в ЦС БУ может служить переоснащение блоков принудительного долива на буровых установках различного класса, что связано с более выгодным расположением напорных и энергетических характеристик объемного насоса в данных технологических условиях (рис. 4). Установка одновинтового насоса расширяет эксплуатационные возможности, упрощает автоматизацию процессов и удаленного управления долива скважины без дополнительных затрат, а возможность применения тихоходных приводов ( $50-400 \text{ мин}^{-1}$ ) в конструкции ОВН позволяет повысить ресурс деталей, подверженных гидроабразивному и фрикционному изно-





сам. Перечисленные преимущества одновинтовых насосов позволяют уменьшить затраты на ремонт, сократить непроизводительное время работ и снизить стоимость владения оборудованием.

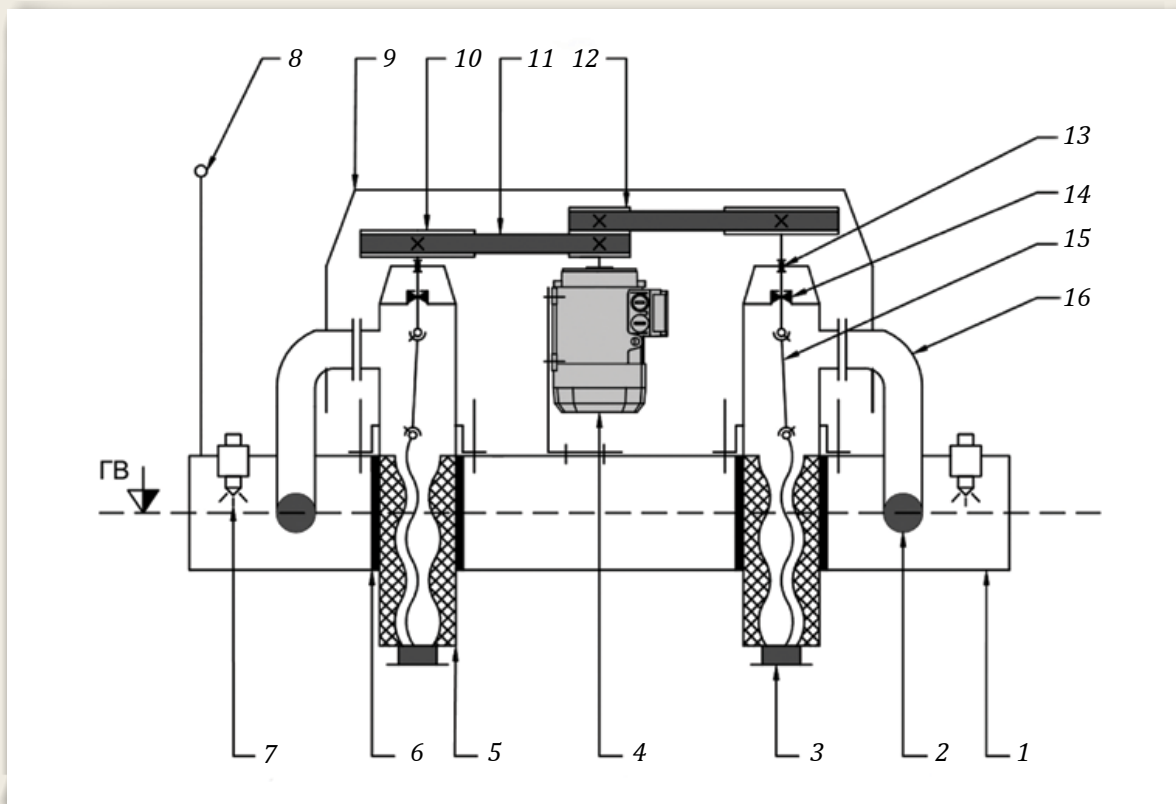
### Перспективы применения одновинтовых насосов в нефтегазовом секторе

Еще одна возможная область эффективного применения ОВН на нефтепромыслах – откачка остаточных нефтепродуктов (особенно высоко-

вязких 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 (НИУ) имени И.М. Губкина и ОАО НПО «Буровая техника» – ВНИИБТ был разработан понтонный насосный агрегат с групповым приводом [5].

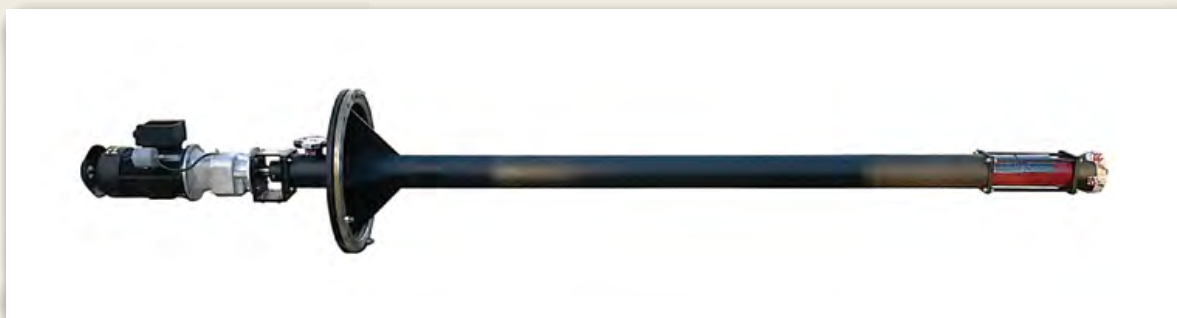
Несущим элементом конструкции является герметичный бак – понтон из алюминия для обеспечения взрывобезопасности. На понтоне вертикально расположены несколько насосов, например вариант

с двумя одновинтовыми насосами с приводом от одного двигателя (рис. 5). 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. Шкив насоса имеет дополнительные канавки, число которых на шкиве двигателя кратно больше числа канавок на шкиве насоса. Это позволяет при неизменном положении



**Рис. 5.** Схема понтонного 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



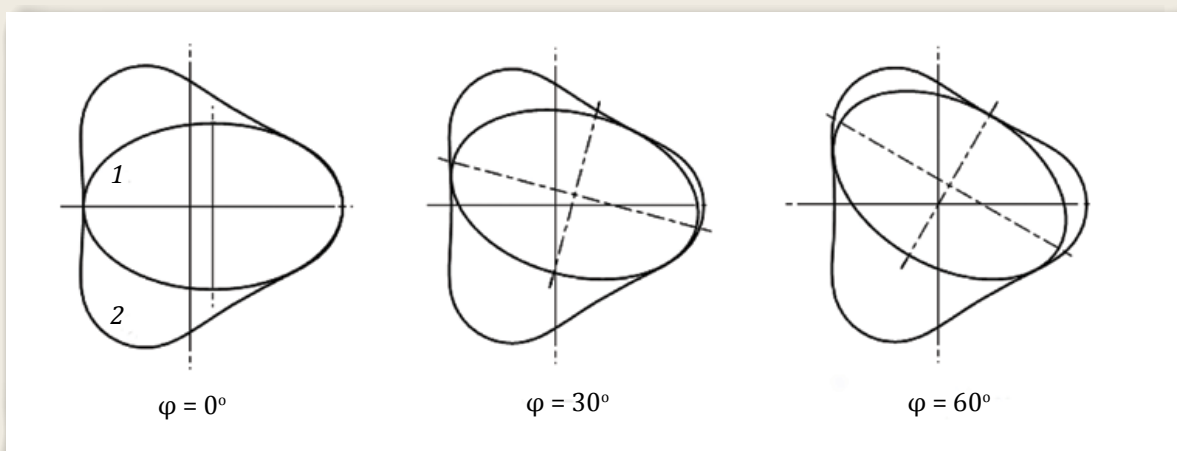
**Рис. 6.** Полупогружной одновинтовой насосный агрегат для откачки загрязненного высоковязкого нефтепродукта из емкости (длина погружной части 4100 мм)

приводного двигателя регулировать степень погружения насосов под уровень жидкости в резервуаре. В целях 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 автономном передвижении 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 забору густых масс в экологических мероприятиях по 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 (рис. 6).

При проектировании ОВН для перекачки высоковязких сред в компании АМС используется методика расчёта характеристик насоса и мощности привода, основанная на уточнённом анализе гидравлических потерь в каналах рабочих органов в зависимости от сочетания режимных параметров и показателей свойств жидкости. Отработанная методика позволяет оценить эффектив-



**Рис. 7.** Фазы зацепления при повороте эллиптического ротора 1 относительно неподвижного циклоидального статора 2

ность применения одновинтового насоса в заданных условиях эксплуатации и выбрать оптимальный его типоразмер винтовой пары и приводного двигателя.

В настоящее время в АМС разрабатывается ряд конструктивных схем высоконапорных ОВН, многозаходные рабочие органы которых (рис. 7) выполнены на базе предложенного и запатентованного эллипсо-циклоидального зубчатого зацепления [6] для общепромышленного и нефтепромышленного применения.

При проектировании эллипсо-циклоидальных рабочих органов ОВН их профиль и кривизна рабочего контура могут варьироваться независимо, что создает возможность модифицировать зубчатое зацепление исходя из сочетания между безразмерными коэффициентами и позволяет обеспечить наилучшие показатели зацепления (с геометрической, кинематической и силовой точек зрения), в том числе за счет выбора оптимальной кривизны и относительного скольжения взаимодействующих профилей при упрощении технологического процесса изготовления и расширении возможности модификации профиля ротора. При этом в отличие от традиционного циклоидального зацепления, применяемого в рабочих органах ВЗД для бурения скважин, профиль эллиптического ротора может быть скорректирован по размерам окружностей выступов и впадин свободным образом, когда изменение длин большой и малой полуосей эллипса осуществляется независимо, что создает возможность реализации широкой модификации зубчатого зацепления исходя из условий достижения заданной рабочей характеристики

**Основная цель данного технического предложения заключается в расширении возможностей применения плавучих насосных установок при откачке мультифазных и высоковязких жидкостей и забору густых масс в экологических мероприятиях по очистке открытых водоемов и резервуаров.**

гидромашины и ее энергетических и трибологических показателей.

Таким образом, одновинтовые насосы, обладая уникальными характеристиками, компактностью, простотой конструкции и высокими эксплуатационными показателями, нашли широкое применение в различных отраслях экономики и, прежде всего, в нефтегазовой промышленности.

Дальнейшее совершенствование ОВН и их характеристик будет определяться: оптимизацией геометрических и кинематических параметров винтового героторного механизма; использованием новых материалов, прежде всего для обкладки статоров; внедрением прогрессивных технологий производства и методов контроля качества; учетом условий эксплуатации машин на стадии их проектирования; внедрением регулируемых электрических и гидравлических приводов, оснащенных автоматизированными системами управления.

Расширение областей применения одновинтовых насосов будет связано с их использованием в различных технологических процессах в широком диапазоне свойств перекачиваемой жидкости, а также в качестве мультифазных устройств для транс-

портировки газожидкостных смесей.

Серийные и специально разработанные одновинтовые гидравлические машины 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. – М.: ООО «ИРЦ Газпром». – 2005. – Т. 1. Одновинтовые насосы. – 488 с.
2. Nelik L., Brennan J. Progressing Cavity Pumps, Downhole Pump and Mudmotors. – Texas: Houston, 2005. – 241 p.
3. Кривень А.П. Выбор оборудования для обезвоживания осадков сточных вод и производственных шламов // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 5. – С. 67–74.
4. Киршев С.Е., Ковалевский С.А. Преимущества применения одновинтовых насосов в системах очистки бурового раствора // Территория Нефтегаз. – 2017. – № 7–8. – С. 14–15.
5. Пат. РФ № 182408 U1, МПК F04C 11/001, F04C 2/107. Понтонный насосный агрегат с групповым приводом / Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Киршев С.Е., Ковалевский С.А. – Оpubл. 16.08.2018.
6. Пат. РФ № 192348 U1, МПК F16H 1/10. Эллипсо-циклоидальное зубчатое зацепление / Балденко Ф.Д., Киршев С.Е., Ковалевский С.А. – Оpubл. 13.09.2019.