



Многофункциональный стендовый комплекс по исследованию инновационного оборудования для добычи нефти и повышения нефтеотдачи пластов с применением установок погружных насосов



Е.А. МАЛЯВКО,
ведущий инженер-исследователь ОП «ОКБ БН»
ЗАО «Новомет-Пермь»
malyavko@okbbn.ru

THE MULTIFUNCTIONAL STAND COMPLEX TO RESEARCH OF INNOVATIVE EQUIPMENT FOR PRODUCTION AND ENHANCED OIL RECOVERY WITH THE USE SUBMERSIBLE PUMPS

E. MALYAVKO, OP «OKB BN»

This paper describes the composition, device and capabilities of a Multifunctional stand complex. The stand complex allows for investigating of the characteristics of submersible pumps in conditions almost entirely appropriating to operating parameters of complicated oil wells.

Keywords: «Novomet-Perm» CSC, OKB BN KONNAS, mechanized production of oil, submersible equipment, electric submersible pump, multifunctional stand complex

Введение

Эксплуатация скважин установками погружных центробежных насосов является в настоящее время основным способом добычи нефти в России. Однако механизированная добыча нефти установками ЭЦН на многих месторождениях серьезно осложнена вследствие негативного воздействия различных факторов: повышенной вязкости жидкости, значительного газосодержания откачиваемой продукции, высоких температур и т.д.

В мире до сих пор не удавалось в полной мере осуществить адекватное скважинным осложненным условиям моделирование параметров стендовых экспериментов по давлению, температуре, вязкости, газосодержанию, дисперсности газовой фазы, пенообразующим свойствам жидкости и т.д. Погружное оборудование зачастую спускают в скважины без соответствующего предварительного стендового тестирования, и нередко такие промышленные испытания заканчиваются неудачно с существенными потерями времени и средств.

Поэтому в 2010 г. ЗАО «Новомет-Пермь» инициировало совместный с РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина комплексный проект по созданию уникального многофункционального стендового комплекса для моделирования осложненных условий эксплуатации, максимально приближенных к условиям реальной эксплуатации. Данный проект

получил субсидию от Минобрнауки РФ в рамках Постановления Правительства № 218 от 9 апреля 2010 г. Реализация данного документа направлена на развитие кооперации ВУЗов с современными инновационными предприятиями. Проект длился 3 года, и в ноябре 2013 г. стендовый комплекс успешно прошел приемо-сдаточные испытания.

Комплекс размещен в Особом конструкторском бюро бесштанговых насосов, г. Москва, где ранее уже были запущены и сертифицированы стенды по определению параметрических характеристик полнокомплектных УЭЦН на воде.

СОСТАВ И ВОЗМОЖНОСТИ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОГО СТЕНДОВОГО КОМПЛЕКСА

В состав нового комплекса входят:

- Стенд-скважина для исследования погружного оборудования при повышенных температурах и на вязких жидкостях (Стенд Термо);
- Стенд-скважина для исследования погружного оборудования в условиях подачи газожидкостной смеси и при повышенных давлениях на приеме (Стенд ГЖС);
- Стенд-скважина для исследования оборудования при одновременно-раздельной эксплуатации (Стенд ОРЭ);
- Стенд для моделирования отложений солей на рабочих органах ЭЦН и их элементах (Стенд Соль);



Авторы представляют результаты работы группы ученых и производственников в рамках комплексного проекта по созданию уникального многофункционального стендового комплекса для моделирования осложненных условий эксплуатации оборудования для добычи нефти, максимально приближенных к реальным.

– Стенд для моделирования асфальто-смолисто-парафиновых отложений на рабочих органах ЭЦН и их элементах (Стенд АСПО);

– Стенд для исследования вибро-сейсмического воздействия на пласт (стенд ВСВ);

– Научно-исследовательская лаборатория физико-химического анализа модельных жидкостей и нефтяных дисперсных систем.

В целом комплекс предназначен для проведения исследовательских, приемо-сдаточных, ресурсных, сертификационных и иных видов испытаний. На возможностях и технических характеристиках некоторых стендов хотелось бы остановиться подробнее.

СТЕНД-СКВАЖИНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГРУЖНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ И НА ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЯХ (СТЕНД ТЕРМО)

Стенд состоит из скважины глубиной 60 м со сменной рабочей колонной максимальным габаритом 245 мм, блока терморегулирования с нагревателем и расширительным баком, систем измерения расхода, давления, температуры.

Устройство стенда представлено на рис. 1.

В скважину на НКТ спускается полнокомплектная установка, включающая погружной электродвигатель, гидрозакиту, входной модуль, секции насоса, кабель. В зависимости от целей испытаний установка может комплектоваться предвключенными устройствами, ТМС, погружными датчиками, оптоволоконными измерительными системами.

Нагрев жидкости осуществляется за счет работы самой установки, а также встроенного проточного нагревателя НП мощностью 70 кВт. Подача насоса измеряется с помощью расходомеров РП1 и/или РП2. Регулирование подачи и напора осуществляется путем дросселирования потока клапаном высокого давления К1. В ходе испытаний измеряются давление на входе и на выходе из скважины (датчики давления ДД1 и ДД2) и температура на входе и на выходе из скважины (датчики температуры ДТ1 и ДТ2).

Стенд имеет расширительный бак Б1 объемом 2 м³, куда перед проведением испытаний заливается рабочая жидкость. В качестве рабочей жидкости используется высокотемпературная кремнийорганическая жидкость типа ПолиМетилСилоксана (ПМС).

Основными функциональными возможностями стенда являются:

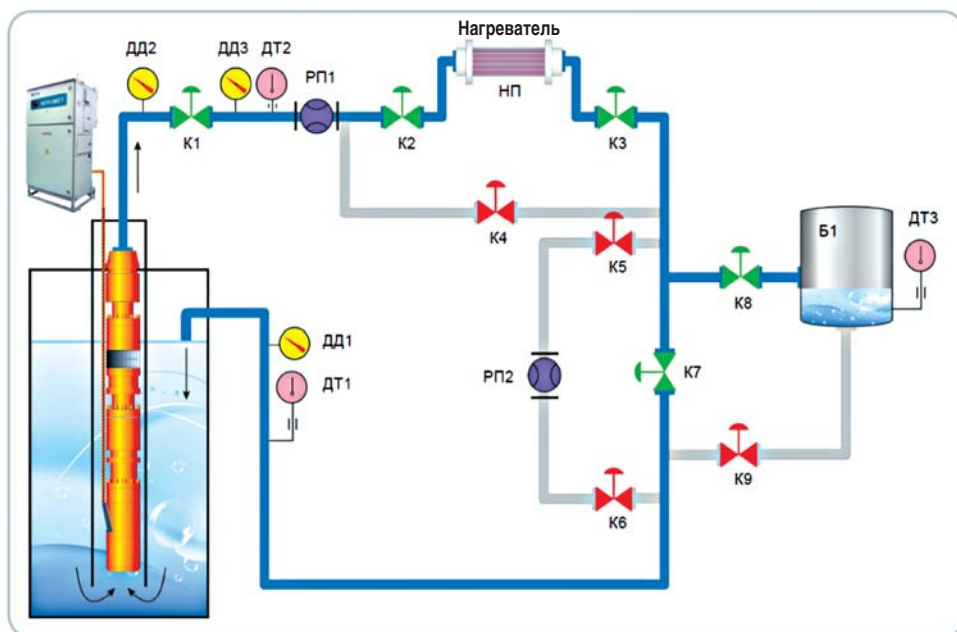


Рис. 1. Функциональная гидравлическая схема Стенда Термо: Б1 – бак с жидкостью; ДД1, ДД2, ДД3 – датчики давления; ДТ1, ДТ2, ДТ3 – датчики температуры; РП1, РП2 – расходомеры; НП – проточный нагреватель; К1 – регулирующий клапан высокого давления; К2, К3, К4, К5, К6, К7, К8, К9 – задвижки

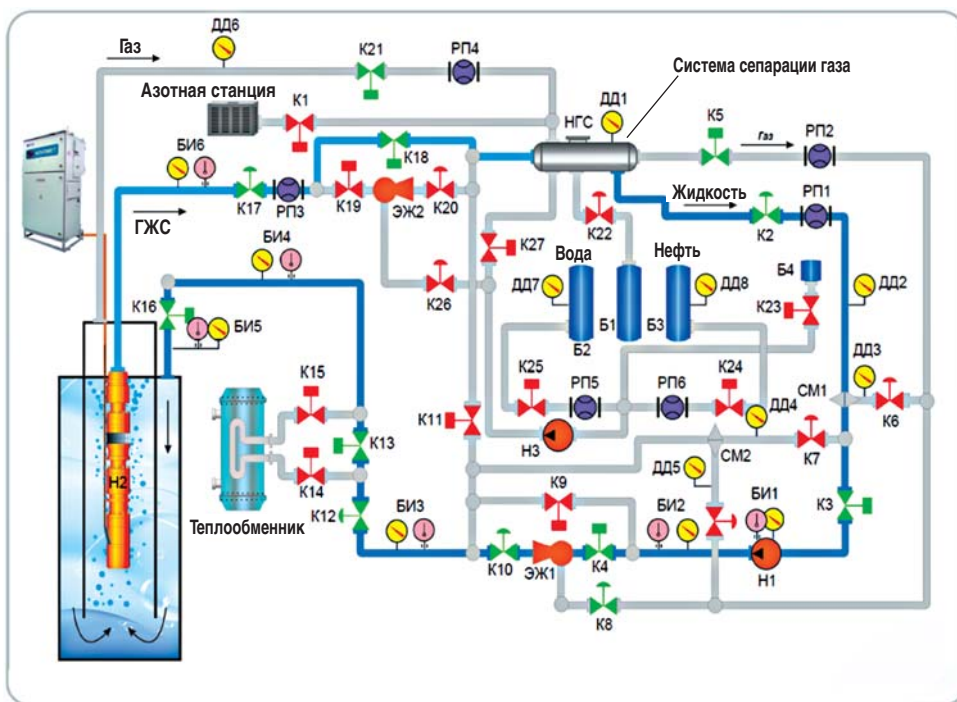


Рис. 2. Функциональная гидравлическая схема Стенда ГЖС: НГС – нефтегазовый сепаратор; Б1, Б2, Б3, Б4 – баки с жидкостью; Н1, Н2, Н3 – насосы; ЭЖ1, ЭЖ2 – эжекторы; СМ1, СМ2 – смесители; РП1, РП3, РП5, РП6 – расходомеры жидкости; РП2, РП4 – расходомеры газа; БИ1, БИ2, БИ3, БИ4, БИ5, БИ6 – измерительные блоки (датчик давления и датчик температуры); ДД1, ДД2, ДД3, ДД4, ДД5, ДД6, ДД7, ДД8 – датчики давления; К1, К2, К3, К4, К5, К6, К7, К8, К9, К10, К11, К12, К13, К14, К15, К16, К18, К19, К20, К21 – краны; К17 – регулирующий клапан высокого давления

1. Испытания погружного оборудования и отдельных его элементов при повышенных температурах. Очевидно, наибольший интерес здесь представляют сравнительные испытания установок различной комплектации и испытания на надежность (ресурсные испытания). На стенде возможно достижение максимальной температуры жидкости на выходе из скважины 250 °С.

2. Испытания погружного оборудования на вязких жидкостях со снятием напорно-расходных и энерге-



Рис. 3. Стенд Термо



Рис. 4. Стенд ГЖС, блок подготовки рабочей жидкости

тических характеристик ЭЦН. Вязкость жидкости при этом регулируется путем изменения ее температуры, также могут использоваться жидкости ПМС различной вязкости (до 1000 сСт). Для проведения методически точных испытаний планируется использование погружных датчиков, измеряющих давление и температуру на входе и на выходе из насоса. Необходимо отметить, что для проведения такого рода испытаний важнейшими задачами становятся тарировка погружного электродвигателя при различных температурах обмотки и установление зависимости плотности и вязкости рабочей жидкости от температуры.

СТЕНД-СКВАЖИНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГРУЖНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ПОДАЧИ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ И ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ НА ПРИЕМЕ (СТЕНД ГЖС)

Стенд состоит из скважины глубиной 60 м со сменной рабочей колонной максимальным габаритом 245 мм, блока подготовки рабочей жидкости требуемого состава, блока формирования газожидкостной смеси заданного давления и газосодержания, блока поддержания температуры модельной смеси, системы сепарации жидкой и газовой фазы, систем измерения расхода, давления, температуры. В качестве рабочих сред используются газожидкостные смеси «вода – ПАВ – азот», «вода – масло – ПАВ – азот».

Устройство стенда представлено на рис. 2.

В общем случае стенд работает следующим образом.

Перед проведением испытаний в гравитационный нефтегазовый сепаратор НГС с помощью насоса НЗ подается смесь из баков Б2 (вода), Б3 (масло), Б4 (концентрированный водный раствор ПАВ). Объемное соотношение воды и масла измеряется с помощью расходомеров РП5 и РП6. Далее сепаратор через кран К1 заполняется азотом, который генерируется азотной станцией с чистотой не менее 95%. После достижения заданного давления в сепараторе включаются в работу подпорный насос Н1 и исследуемая установка с погружным насосом Н2. При этом подпорный насос Н1 нагнетает жидкость в сопло эжектора ЭЖ1, который эжектирует газ из сепаратора НГС по газовой линии через расходомер РП2. Благодаря правильно подобранной геометрии проточной части эжектора на выходе мы получаем мелкодисперсную устойчивую газожидкостную смесь требуемого давления и газосодержания. Расход жидкости измеряется с помощью расходомера РП1, расход газа – с помощью расходомера РП2. Также есть возможность создавать грубодисперсную смесь с помощью смесителей СМ1 и СМ2.

После этого газожидкостная смесь подается в скважину на прием погружной установки. Отсепарированный в скважине газ движется по кольцевому пространству и поступает обратно в сепаратор НГС, при этом имеется возможность оценки эффективности естественной и, в случае использования погружного газосепаратора, искусственной сепарации с помощью газового расходомера РП4. Смесь с остаточным

После этого газожидкостная смесь подается в скважину на прием погружной установки. Отсепарированный в скважине газ движется по кольцевому пространству и поступает обратно в сепаратор НГС, при этом имеется возможность оценки эффективности естественной и, в случае использования погружного газосепаратора, искусственной сепарации с помощью газового расходомера РП4. Смесь с остаточным

газом поступает на прием насоса и через расходомер РПЗ также направляется в сепаратор НГС. Как видно, система циркуляции по жидкости и по газу замкнутая, что позволяет эффективно использовать их энергию.

На нагнетательной линии погружного насоса установлен эжектор ЭЖ2. Это позволяет проводить исследования насосно-эжекторных систем, в том числе погружных систем типа «Тандем».

Основными функциональными возможностями стенда являются:

1. Испытания погружного оборудования на водомасляных эмульсиях и газожидкостных смесях с газосодержаниями на приеме до 70% и давлением на приеме до 30 атм.

2. Исследование влияния свободного газа на эффективность предвключенных устройств и мультифазных насосов.

3. Исследования насосно-эжекторных систем, в том числе систем типа «Тандем», систем для водогазового воздействия на пласт и утилизации попутного нефтяного газа.

СТЕНД ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ СОЛЕЙ НА РАБОЧИХ ОРГАНАХ ЭЦН И ИХ ЭЛЕМЕНТОВ (СТЕНД СОЛЬ)

Стенд предназначен для имитации процессов отложений солей карбонатов кальция на рабочих органах ЭЦН и их элементах, что позволяет производить подбор материалов, покрытий и ингибиторов для снижения солеотложений.

Устройство стенда представлено на рис. 5.

Принцип моделирования солеотложений в стенде основывается на зависимости растворимости солей CaCO_3 от концентрации растворенного углекислого газа. В качестве рабочей среды используется среда «вода – CaCO_3 – CO_2 ».

Перед проведением испытаний в гравитационном сепараторе готовится солевой раствор, который насыщается углекислым газом до давления 30 атм. с помощью баллонов. Насыщенный водный раствор CaCO_3 и CO_2 из сепаратора, проходя через расходомер РП1 и, при необходимости, РП2, поступает на приемный модуль центробежного газосепаратора ГС. При этом с помощью одного из запорно-регулирующих клапанов К3 или К5 поток дросселируется, тем самым на выходе из клапана часть растворенного углекислого газа переходит в свободное состояние вследствие снижения давления (до 4 – 8 атм.).

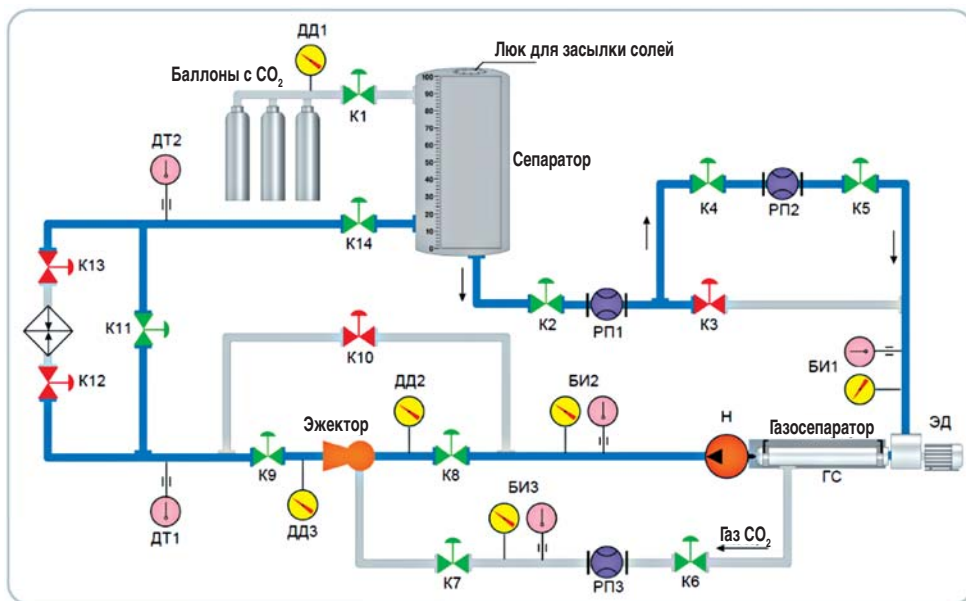


Рис. 5. Функциональная гидравлическая схема Стенда Соль:
Н – исследуемый насос; ГС – центробежный газосепаратор; ЭД – электродвигатель; РП1, РП2 – расходомеры жидкости; РП3 – расходомер газа; К2, К4, К6, К8, К9, К10, К11, К12, К13 – задвижки; К1, К7 – краны; К3, К5 – запорно-регулирующие клапаны; ДД1, ДД2, ДД3 – датчики давления; ДТ1, ДТ2 – датчики температуры; БИ1, БИ2, БИ3 – измерительные блоки (датчик давления и датчик температуры)

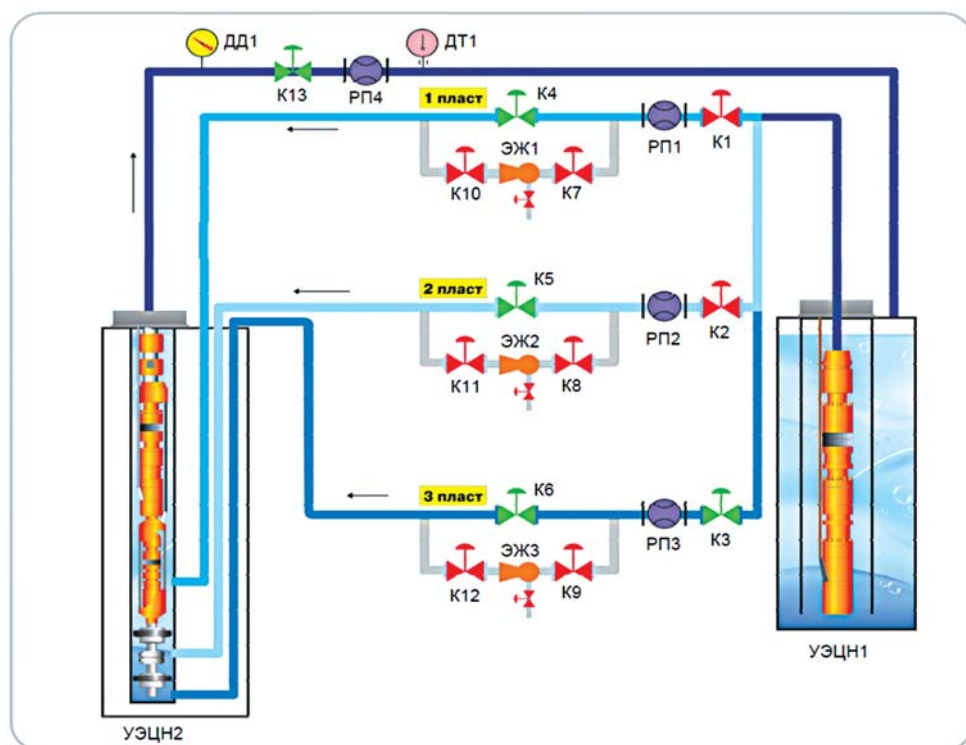


Рис. 6. Функциональная гидравлическая схема Стенда ОРЭ:
УЭЦН1, УЭЦН2 – подпорная и исследуемая УЭЦН; РП1, РП2, РП3, РП4 – расходомеры; К1, К2, К3, К4, К5, К6, К7, К8, К9, К10, К11, К12 – краны; К13 – регулирующий клапан высокого давления; ДД1 – датчик давления; ДТ1 – датчик температуры

Далее выделившийся углекислый газ отделяется от жидкости центробежным газосепаратором ГС и направляется в газовую линию, расход отсепарированного газа измеряется расходомером РПЗ. Жидкая фаза поступает в исследуемый насос Н. Поскольку содержание растворенного углекислого газа уменьшилось, растворимость солей снижается, и они начинают выпадать.



Рис. 7. Стенд Соль



Рис. 8. Стенд ОРЭ, манифольд

Для того чтобы соли не откладывались на трубопроводах, на нагнетательной линии насоса установлен эжектор, который вновь насыщает жидкость углекислым газом. Далее насыщенная смесь поступает обратно в гравитационный сепаратор.

Дополнительными функциональными возможностями стенда могут являться проведение исследований насосно-эжекторных систем на среде «вода – воздух», исследований центробежных насосов и предвключенных устройств на газожидкостных смесях с замером распределения давления по их длине.

СТЕНД-СКВАЖИНА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ ОДНОВРЕМЕННО-РАЗДЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ (СТЕНД ОРЭ)

Стенд состоит из двух скважин с подпорной и исследуемой УЭЦН глубиной 44 и 125 м соответственно. Рабочие среды стенда: «вода», «вода – воздух», «вода – ПАВ – воздух». Стенд имеет три подвода среды, имитирующих независимые пласты.

Устройство стенда представлено на рис. 6.

Стенд работает следующим образом. Включаются в работу подпорная УЭЦН1 и исследуемая УЭЦН2. На выходе из подпорной УЭЦН1 жидкость разделяется по трем независимым подводам, в которых регулируются расход и давление. В каждом из трех подводов может быть установлен эжектор, который подсасывает воздух из атмосферы для создания газожидкостной смеси.

Далее рабочая среда направляется в скважину с исследуемой УЭЦН2. В скважине предусмотрена возможность установки пакеров, что позволяет испытывать многолифтовые компоновки ОРЭ, в том числе системы Y-Tool. На нагнетательной линии установлен регулирующий клапан высокого давления К13, которым дросселируется поток, после чего рабочая среда вновь направляется в скважину с подпорной УЭЦН1.

Заключение

Таким образом, стендовый комплекс позволяет проводить исследования характеристик установок погружных насосов в условиях, практически полностью соответствующих параметрам эксплуатации осложненных нефтяных скважин. Такие испытания позволят избежать дорогостоящего и трудоемкого этапа отладки в промышленных условиях. В конечном счете это приведет не только к росту КПД и снижению энергозатрат, но и увеличит значения наработки на отказ УЭЦН и межремонтного периода работы скважин, а также выявит направления дальнейшего совершенствования выпускаемой продукции и технологий.

Авторы хотели бы выразить искреннюю благодарность коллективам РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, ОКБ БН КОННАС, ЗАО «Новомет-Пермь», трудившимся над созданием данного комплекса, а также Региональному фонду научно-технического развития Санкт-Петербурга в лице Ростислава Анатольевича Омельчука и Владимира Игоревича Спивака за высокий профессионализм в организации мониторинга проекта и поддержке.

Ключевые слова: ЗАО «Новомет-Пермь», ОКБ БН КОННАС, механизированная добыча нефти, погружное оборудование, УЭЦН, многофункциональный стендовый комплекс