

УДК 621.22

DOI: 10.30987/1999-8775-2020-12-38-48

Д. Е. Тарасов

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОГРУЖНОГО НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЕГО РАБОТОСПОСОБНОСТЬ

Рассматриваются вопросы долговечности погружного насосного оборудования, используемого в нефтяной промышленности для поддержания пластового давления. Выявлены причины, которые приводят к потере работоспособности дан-

ного оборудования, а также предложены пути решения возникающих проблем.

Ключевые слова: насос, работоспособность, морфологический куб, эксплуатация, пространственная интенсивность, кожух.

D.E. Tarasov

OPERATION CONDITIONS IMPACT OF SUBMERSIBLE PUMP EQUIPMENT UPON ITS WORKING CAPACITY

The matters of life of submersible pump equipment used in petroleum industry to support seam pressure are under consideration. On the basis of the investigations carried out the purpose of which was equipment quality increase including the fulfillment of essential industrial modification of certain pump designs there are revealed reasons which result in working capacity loss of this equipment and there are also offered ways for the solution of the problems accrued.

For the first time there is created a comparative classification of ECPK pump equipment of different manufacturers including that of PC "GMS Livhydromach", and also on the basis of the statistics of submersible pump equipment operation for oil produc-

tion from the places of its operation their critical analysis is fulfilled. According to the investigation results there is made a conclusion of that to achieve a guaranteed resource life of 365 days and more for the pumps of the 2ECPK type in consumer holes it is necessary to perform a complex of measures directed to the correct choice of operation conditions and correct constituent operation of units; to the optimization of pump equipment operation including a general hydraulic system and also technical maintenance and repair; to the development of design solutions able to reduce to minimum the impact of negative operation factors.

Key words: pump, working capacity, morphological cube, operation, spatial intensity, case.

Введение

АО «ГМС Ливгидромаш» является предприятием, которое на протяжении 70-ти лет производит насосное оборудование. С каждым годом номенклатура выпускаемой продукции расширяется. В результате, выпускаемое оборудование охватывает большинство сфер существования современного социума: пищевая и химическая промышленность, ЖКХ, металлургия, горное дело, атомная энергетика и т. д.

Отдельным вектором производства является изготовление оборудования для нефтегазовой отрасли.

Насосы центробежные погружные типа ЭЦПК и агрегаты электронасосные на их основе предназначены для комплекта-

ции насосных установок УЭЦПК 16-3000 и УЭЦПК 16-2000, используемых в нефтедобывающей отрасли для систем поддержания пластового давления. Данное оборудование, выпускаемое на АО «ГМС Ливгидромаш» с 90-х годов двадцатого века под маркировкой 1ЭЦПК (рис. 1), положительно зарекомендовало себя у потребителей при высокой надежности, ремонтпригодности, а так же простоты эксплуатации даже в условиях крайнего севера.

Основными потребителями насосов данного типа являются производственные подразделения нефтедобывающих компаний.

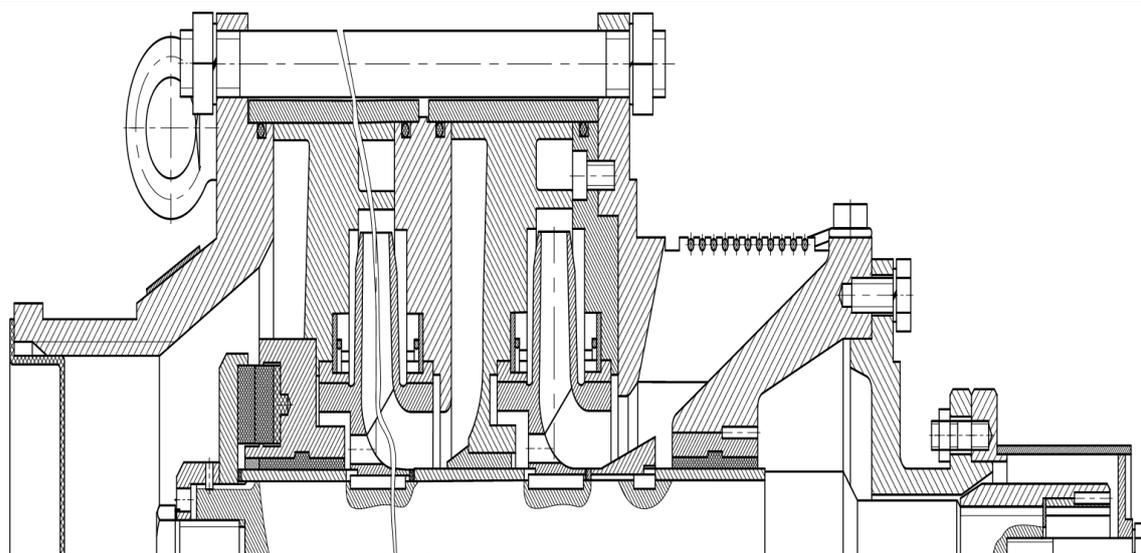


Рис. 1. Насос центробежный погружной модификации 1ЭЦПК

В 2013 г. заказчик провел анализ российских производителей насосов типа ЭЦПК 16 для забора пластовой жидкости из соответствующих скважин, с выездами

на производственные площадки и проведением технического аудита. Приоритет в поставке оборудования был отдан АО «ГМС Ливгидромаш».

Экспериментальная база исследования

В ходе совместных технических совещаний заказчиком были заявлены требования, направленные на повышение качества и необходимую производственную модификацию конструкции насосов данного типа, основные из которых приведены ниже:

- детали проточной части насоса должны изготавливаться из материалов, устойчивых к перекачиваемой среде;
- для повышения ремонтпригодности узел осевой опоры должен находиться в полости всасывания;
- суммарная гарантийная круглосуточная наработка оборудования должна быть 365 суток;
- в силу производственной необходимости поставка оборудования необходима в кратчайшие сроки.

Особое внимание было уделено преждевременному выходу из строя ранее поставляемого оборудования других производителей. Основными причинами потери работоспособности были: слом вала в области базирования муфты переходной между насосом и электрочастью; разрушение непосредственно муфты; «полеты» по-

гружного электродвигателя с гидрозащитой (ПЭД) в скважину; сквозная коррозия проточной части; низкая жесткость фильтра основания. Следует отметить, что потеря работоспособности оборудования данного типа ранее происходила из-за специфических условий его эксплуатации. Решить данную проблему возможно, в основном, только применив новые конструктивные решения. Поэтому существенное внимание в ходе исследования было уделено именно данным аспектам, значительно повышающим работоспособность погружного оборудования.

Учитывая, что конструкция насосов 1ЭЦПК по ряду пунктов не соответствовала (имела отличия) предъявленным требованиям, инженерно-технические и производственные подразделения ОАО «ГМС Ливгидромаш» приступили к созданию оборудования, отвечающего заявленным критериям. Насос усовершенствованной конструкции получил модификацию 2ЭЦПК (рис. 2). Необходимые типоразмеры к поставке: 2ЭЦПК16-2000-450 и 2ЭЦПК16-3000-200.

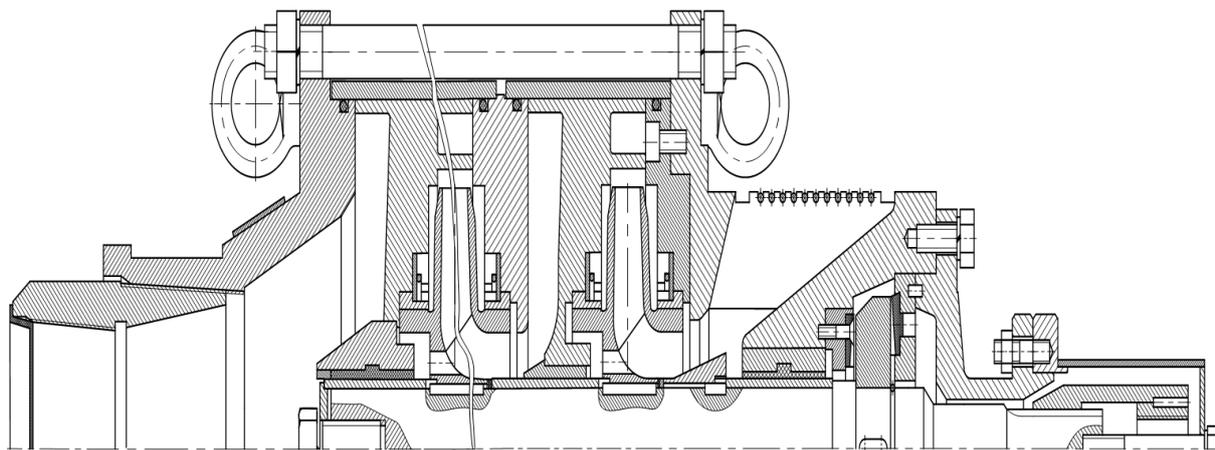


Рис. 2. Насос центробежный погружной модификации 2ЭЦПК

Под запрос заказчика совместными усилиями соответствующих структурных подразделений АО «ГМС Ливгидромаш» модернизирован узел осевой опоры и перенесен из камеры нагнетания в камеру всасывания. Выполнен ряд мероприятий, касающихся: подбора износостойких материалов ответственных деталей; увеличения жесткости конструкции фильтра основания, что позволило повысить ресурсные показатели.

Материалы проточной части подобраны таким образом, что позволили в разы снизить коррозионный износ деталей. Статистические данные за три года эксплуатации насосов 2ЭЦПК позволяют с

уверенностью констатировать, что требование по стойкости материалов к перекачиваемой среде выполнено – не было ни одного случая сквозной коррозии деталей проточной части (даже в случае работы насоса более 1000 суток).

Учитывая ограниченность во времени, насосы типа 2ЭЦПК были поставлены на ускоренные ресурсные испытания, которые успешно были выполнены. Параллельно велись ресурсные испытания в штатном режиме.

В результате, в августе 2014 года осуществлен выезд к месту эксплуатации поставляемого оборудования для первого подконтрольного комиссионного монтажа.

Результаты экспериментальных исследований

По истечению семи месяцев с момента первого спуска оборудования в скважины стали поступать данные о выходе из строя ряда оборудования. После выезда на комиссионные разборы стало ясно, что основными видами поломок были: слом вала в области базирования муфты переходной между насосом и электрочастью; разрушение непосредственно муфты; разрушение узла осевой опоры; «полеты» ПЭД в скважину вследствие слома болтов, крепящих деталь «Корпус нижний», являющейся несущей для ПЭД. Так же наблюдались трещины и разрушение по фланцевой поверхности данной детали. Все разрушения имели явный усталостный характер. Причем на ряде деталей наблюдался очевидный односторонний износ.

Перед инженерно-техническими подразделениями АО «ГМС Ливгидромаш» стала задача в кратчайшие сроки выяснить причины происходящих отказов. Экстренность работ дополнительно была обусловлена тем, что из общего количества поставленного оборудования, часть еще не была спущена в скважины. Определенное непонимание ситуации возникало из-за того, что за десятилетия выпуска насосов типа 1ЭЦПК рекламаций практически не поступало. К тому же, ресурсные испытания, которые не прекращались на базе производства с момента выпуска первого макетного образца, не выявляли никаких нареканий в работе оборудования.

В результате наметились основные параллельные пути дальнейших действий, направленные на выявление причин, по-

влекших потерю работоспособности насосов типа 2ЭЦПК:

- мероприятия, сосредоточенные на анализе работы и, при необходимости, повышение работоспособности основных деталей и узлов, отвечающих за работоспособность насоса;

- сбор статистических данных работы оборудования с мест эксплуатации.

В рамках намеченных мероприятий были выполнены соответствующие прочностные расчеты всех ответственных деталей, поломка которых приводит к полной или частичной потере работоспособности оборудования. К ним относятся: вал, муфта переходная, корпус нижний, детали узла осевой опоры.

Выполненные расчеты показали:

- прочность вала и муфты переходной на всех переходных участках обеспечена полностью для условий работы, приведенных в эксплуатационной документации на насос;

- несущая деталь «Корпус нижний», заготовка которой изначально получалась литьем из стали 20Х13, имела коэффициент запаса прочности 2,5. Учитывая тот факт, что ее разрушение по фланцевой по-

верхности приводит к «полету» ПЭД в скважину, было принято решение перейти на получение данной детали из поковки, а материал был заменен на 40Х17Н2. В результате, коэффициент запаса прочности, в зависимости от кривизны скважины – 5-10.

Особого внимания заслуживают работы, направленные на выполнение требований, предъявленных к узлу осевой опоры. Так как в насосах типа 1ЭЦПК он конструктивно отличается и расположен в полости нагнетания (рис. 3, а). Осуществлен детальный анализ существующих конструкций данных узлов. Выбранная конструкция (рис. 3, б) представляет собой пару трения, где стальная вращающаяся на валу насоса «Пята» находится в сопряжении с статически закрепленным «Подпятником». Кроме того, был обозначен перечень материалов для пар трения, способных длительно работать в условиях эксплуатации заказчика. Для трущейся детали «Кольцо», входящей в сборочную единицу «Подпятник», предпочтение отдано материалу КВ (граффито-фторопласт). Осуществлены соответствующие расчеты профиля канавок, обеспечивающих подъемную силу пяты [6, 7, 8].

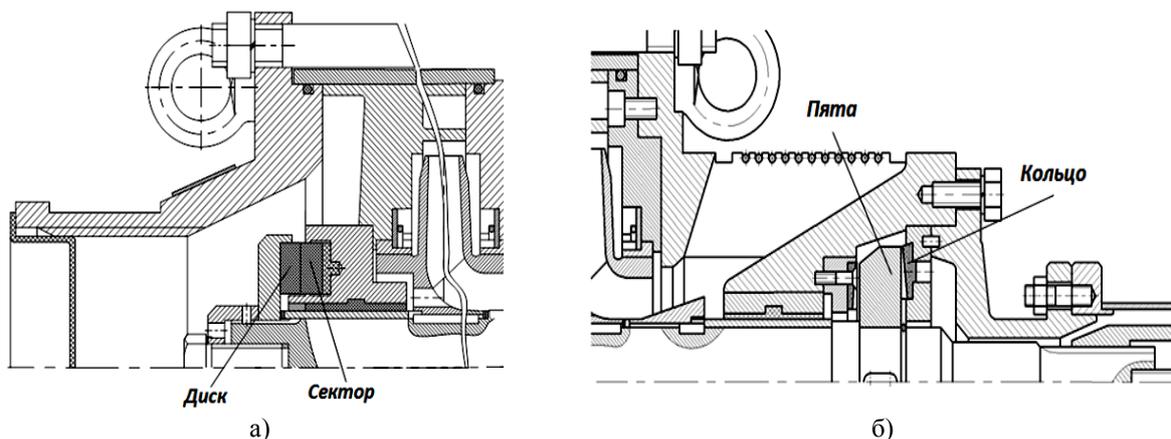


Рис. 3. Детали узла осевой опоры, находящиеся в сопряжении:
а - узел осевой опоры насосов модификации 1ЭЦПК;
б - узел осевой опоры насосов модификации 2ЭЦПК

Более того, выполнены исследовательские работы, направленные на повышение надежности узла осевой опоры при снижении удельного давления на упорный подшипник скольжения (без изменения радиальных размеров вкладыша) путем

организации системы дополнительной смазки трущихся поверхностей от первой ступени насоса через специальные каналы (рис. 4). В результате получен патент РФ на полезную модель [4].

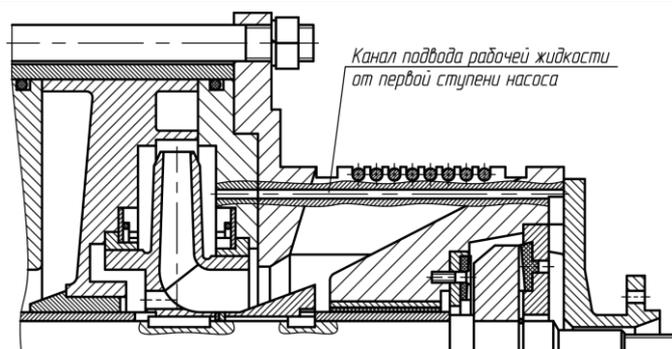


Рис. 4. Система дополнительной смазки трущихся поверхностей узла осевой опоры насоса типа 2ЭЦПК

Совместно со сбором статистических данных работы оборудования с мест эксплуатации у заказчика выполнен критический анализ данных, приведенных как в доступных источниках, так и полученных с мест эксплуатации погружного насосного оборудования для добычи нефти. В результате выявлены основные факторы, влияющие на потерю работоспособности данного оборудования: конструкции осевых опор и радиальных подшипников вала насоса; габариты УЭЦН; несоответствие кривизны ствола скважины; повышенное содержание КВЧ; некачественный монтаж; бесконтрольная эксплуатация; высокая температура перекачиваемой жидкости; недостаточное охлаждение установки.

Предоставленные потребителем эксплуатационные данные насосного оборудования для забора сеноманской воды за десять лет были систематизированы по ряду критериев. Рассматривались агрегаты, причиной остановки которых были: нет подачи и сопротивление изоляции $R-0$. В результате, создана сравнительная классификация работы насосного оборудования типа ЭЦПК производства АО «ГМС Ливгидромаш», а также других производителей. Насосное оборудование конкретного производителя (в зависимости от работоспособности) занимает определенную область (выделена толстой основной линией) в трехмерном пространстве в морфологической матрице (рис. 5). Так как в основу классификации положены относительные параметры, значения которых не превышают единицы, морфологическая мат-

рица представляет собой морфологический единичный куб.

Одна из граней куба (ось X) характеризует относительную глубину спуска соответствующей установки в скважину L/L_{\max} (где L – глубина спуска установки, м; L_{\max} – максимально возможная глубина спуска насоса данного типа в существующих скважинах, м). Другая (ось Y) – отклонение от вертикали (пространственную интенсивность) $\text{Град.}/\text{Град.}_{\max} (ETT)$ (где Град. – интенсивность набора кривизны в зоне подвески, при которой работала конкретная насосная установка, град.; $\text{Град.}_{\max} ETT$ – максимальная интенсивность набора кривизны в зоне подвески, (требования для УЭЦН), град., $\text{Град.}_{\max} ETT = 0,67$ на 10 метров). Третья (ось Z) – относительную наработку $\text{Сут.средн.}/\text{Сут.мах}$ (где Сут.средн. – средняя наработка данного типа насосов, сут., Сут.мах – максимальная из выборки наработка данного типа насосов, сут.).

Так, для насосов 2ЭЦПК16-2000-450, производства АО «ГМС Ливгидромаш», средняя временная наработка составляет 137 суток, а максимальная наработка – 1142 суток. Общее количество рассматриваемого оборудования в выборке – 75 единиц.

Для насосов 2ЭЦПК16-3000-200, производства АО «ГМС Ливгидромаш», средняя временная наработка составляет 231 сутки, а максимальная наработка – 532 суток. Общее количество рассматриваемого оборудования в выборке – 46 единиц.

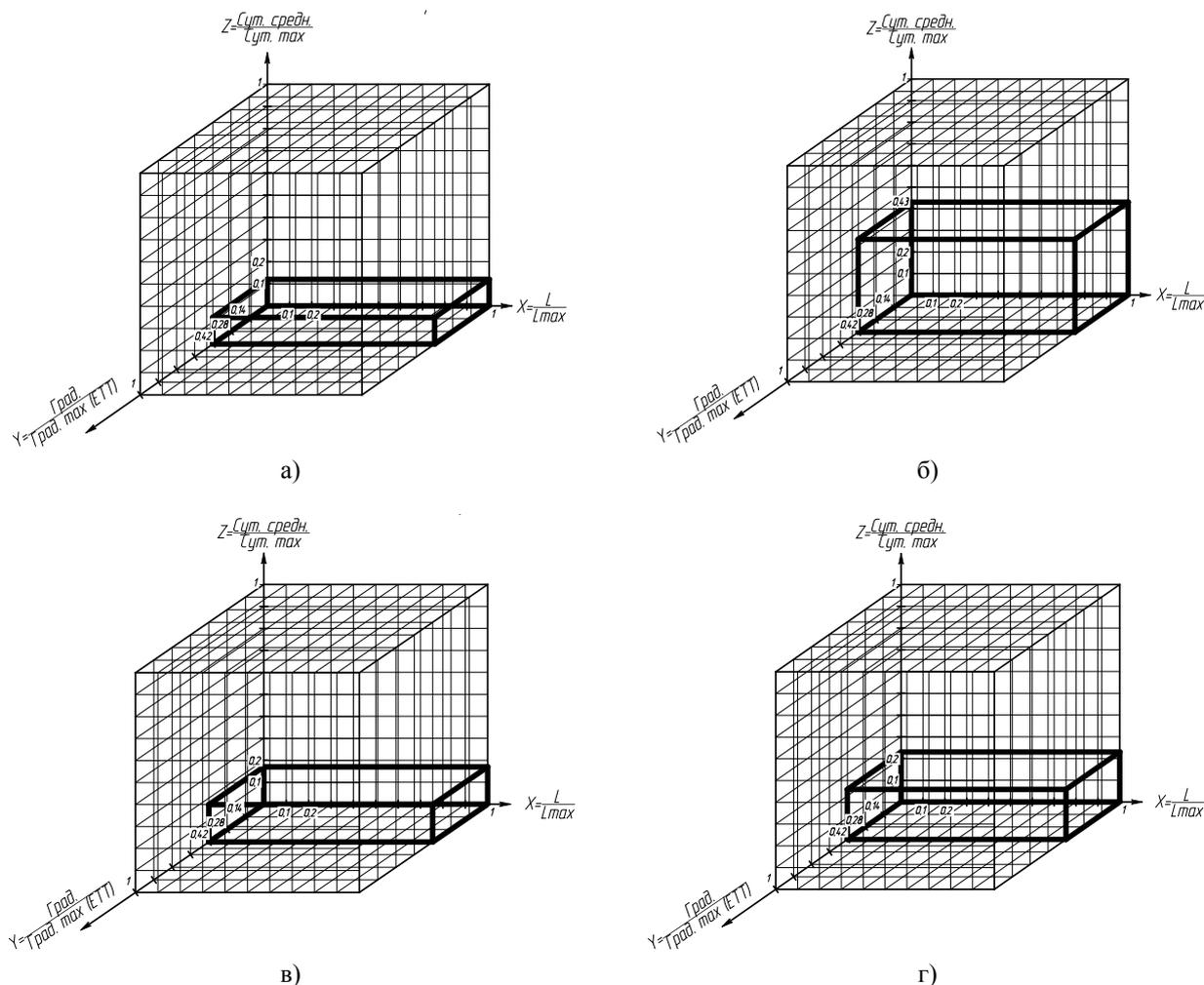


Рис. 5. Морфологическая матрица, отображающая работоспособность насосов типа ЭЦПК в зависимости от эксплуатационных условий:

- а - насосы 2ЭЦПК16-2000-450 производства АО «ГМС Ливгидромаш»; б - насосы 2ЭЦПК16-3000-200 производства АО «ГМС Ливгидромаш»; в - насосы ЭЦПК16-2000-450 других производителей;
- г - насосы ЭЦПК16-3000-200 других производителей

Для насосов ЭЦПК16-2000-450 других производителей, средняя временная наработка составляет 154 суток, а максимальная наработка – 902 суток. Общее количество рассматриваемого оборудования в выборке – 237 единиц.

Для насосов ЭЦПК16-3000-200 других производителей, средняя временная наработка составляет 274 сутки, а максимальная наработка – 1195 суток. Общее количество рассматриваемого оборудования в выборке – 336 единиц.

Одна из граней куба (ось X) характеризует относительную глубину спуска соответствующей установки в скважину L/L_{max} (где L – глубина спуска установки, м; L_{max} – максимально возможная глубина

спуска насоса данного типа в существующих скважинах, м). Другая (ось Y) – отклонение от вертикали (пространственную интенсивность) $Град./Град.мах (ЕТТ)$ (где $Град.$ - интенсивность набора кривизны в зоне подвески, при которой работала конкретная насосная установка, град.; $Град.мах ЕТТ$ - максимальная интенсивность набора кривизны в зоне подвески, (требования для УЭЦН), град., $Град.мах ЕТТ = 0,67$ на 10 метров). Третья (ось Z) – относительную наработку $Сут.средн./Сут.мах$ (где $Сут.средн.$ - средняя наработка данного типа насосов, сут., $Сут.мах$ - максимальная из выборки наработка данного типа насосов, сут.).

Так, для насосов 2ЭЦПК16-2000-450, производства АО «ГМС Ливгидромаш», средняя временная наработка составляет 137 суток, а максимальная наработка – 1142 суток. Общее количество рассматриваемого оборудования в выборке – 75 единиц.

Для насосов 2ЭЦПК16-3000-200, производства АО «ГМС Ливгидромаш», средняя временная наработка составляет 231 сутки, а максимальная наработка – 532 суток. Общее количество рассматриваемого оборудования в выборке – 46 единиц.

Для насосов ЭЦПК16-2000-450 других производителей, средняя временная наработка составляет 154 суток, а максимальная наработка – 902 суток. Общее количество рассматриваемого оборудования в выборке – 237 единиц.

Для насосов ЭЦПК16-3000-200 других производителей, средняя временная наработка составляет 274 сутки, а максимальная наработка – 1195 суток. Общее количество рассматриваемого оборудования в выборке – 336 единиц.

Невзирая на то, что насосы иных производителей работали в течение большего эксплуатационного периода и количество единиц рассматриваемого оборудования в разы больше, в сравнении с оборудованием АО «ГМС Ливгидромаш», видно, что средние суточные наработки близки по значению. Разницу можно объяснить существенным отличием количества рассматриваемых единиц рассматриваемых производителей при статистической обработке. Также можно сказать и за максимальную суточную наработку – за десять лет работы всего оборудования предыдущих производителей вероятность того, что какой-либо из насосов будет эксплуатироваться в благоприятных условиях гораздо выше, нежели, чем за три с половиной года (АО «ГМС Ливгидромаш»).

По истечении необходимого времени установлено, что на базе АО «ГМС Ливгидромаш» насосы типа ЭЦПК полностью выдерживают испытания на ресурс (365 суток). Параллельно был разработан и изготовлен стенд для ресурсных испытаний различных конструк-

ций узла осевой опоры насосов типа ЭЦПК. Соответствующие испытания с различными условиями и нагрузками показали адекватную работоспособность узла осевой опоры, в частности, материалов деталей сопряжения.

Учитывая несоответствие в ресурсных наработках оборудования на базе АО «ГМС Ливгидромаш» и непосредственно у заказчика осуществлен ряд поездок на подконтрольные спуски-подъемы установок типа 2ЭЦПК в эксплуатирующую организацию. В результате, в ряде случаев выявлены факты, которые могли привести к преждевременному выходу из строя насоса: несоответствие кривизны ствола скважины данным, приведенным в «инклинометрии»; «шаблонирование» скважины выполняется инструментом, диаметральные размеры которого много меньше фактических у насоса; повышенное содержание КВЧ; бесконтрольная эксплуатация.

Комплексный анализ всей полученной информации и усталостных характеристик поломок деталей, как насоса, так и сопрягаемых механизмов, заставил сконцентрировать внимание на физике процесса работы насосного агрегата и как на это влияет угловая интенсивность.

В соответствии с [1, 3] место подвески насосного агрегата (для насоса типа УЭЦН) должно выбираться в скважине там, где установка не подвергается прогибу и, как минимум, вписывается в участок скважины.

На начальном этапе условие вписываемости УЭЦН в скважину было установлено на основе анализа размеров различных установок, предназначенных для работы в соответствующих эксплуатационных колоннах. Это условие было выражено следующим образом: темп набора кривизны ствола скважины не должен быть более 3 минут на 10 метров длины.

Затем, учитывая опыт применения установок в скважинах различных диаметров и в различных их комбинациях, получены зависимости для определения условий вписываемости конкретной установки на определенный участок ствола скважины:

$$\alpha = 2 \arcsin \frac{40s}{4s^2 + L^2} \quad \text{или} \quad \alpha = \frac{275160(D - D_1)}{L^2}$$

где: s – зазор между внутренним диаметром обсадной колонны и максимальным диаметральным габаритом агрегата, м; L – длина агрегата, м; D – внутренний диаметр скважины, м; D_1 – диаметральная габарит погружного агрегата, м.

В наклонно-направленных скважинах необходимо найти участок, в который спускаемая установка без насосно-компрессорных труб (НКТ) может разместиться без ее прогиба. Но при расчете с НКТ оказывается, что установка с НКТ имеет определенный прогиб.

Известно, что наработка установки с прогибом будет существенно ниже, чем без прогиба. Поэтому, спуск агрегата и выбор места установки в наклонно-направленной скважине должны быть выполнены с расчетом прогиба установки с НКТ длиной не менее 20 метров.

У насосов типа ЭЦПК (для которых подобных зависимостей нет), наружный диаметр насоса почти в 3 раза больше диаметра ПЭД, а длина ПЭД больше длины насоса более чем в 6 раз, даже небольшое изменение угловой интенсивности может привести к неадекватной работе оборудования при изломе оси в месте сопряжения насоса и ПЭД. Это связано с тем, что в данном случае неминуемо появляется изгибающий момент, который совместно с высокой частотой вращения (2850 об/мин), большими линейными размерами и массовыми характеристиками зарождают негативные циклические нагрузки, локализующиеся в местах сопряжения (фланцевые, шлицевые и болтовые соединения). Это приводит к прогнозируемым поломкам различных элементов агрегата (валов, шлицевых муфт, болтов и т.д.).

Соответственно, высокая угловая интенсивность набора кривизны в зоне подвески насоса, приводит к изменению условий работы агрегата, в частности, за счет перераспределения областей действия нагрузок, возникающих в процессе работы, а также изменение их значений.

Детальный анализ данных с мест эксплуатации, сопоставление характера отказов с условиями работы позволили констатировать, что установки, агрегированные насосами типа 2ЭЦПК, работоспособны в кривизне при следующих значениях параметров:

- в зоне работы агрегата отклонение оси ствола скважины от вертикали должно быть не более 3° ;

- конструктивное исполнение агрегата допускает темп набора кривизны ствола скважины в зоне спуска не более $20'$ на 10 метров;

- в зоне подвески насоса 2ЭЦПК интенсивность набора кривизны не должна превышать 3 минут (0,05 гр.) на 10 м.

На данный момент ведутся работы по разработке математической модели, способной прогнозировать ресурс насосной установки типа 2ЭЦПК в зависимости от условий эксплуатации в конкретной скважине.

Устранить непрогнозируемые поломки возможно за счет исключения излома оси в месте сопряжения насоса и ПЭД. Одним из вариантов решения является использование центратора, устанавливаемого внизу ПЭД, ориентирующего агрегат в колонне. Однако, практика показывает, что при неправильном освоении скважины, а также по истечении определенного времени эксплуатации могут наблюдаться дефекты обсадной колонны, отличные от нормативной документации на нее. Соответственно, целесообразность использования центратора сводится к нулю. Более того, могут возникать зацепы центратора при спуске и подъеме, что с большой долей вероятности приведет к «полету» эксплуатируемого оборудования в скважину.

Решить проблему возможно за счет создания искусственного направляющего механизма, ориентирующего агрегат с центратором (рисунок 6) [5]. Насосный агрегат, состоящий из насоса 1 и ПЭД 2, спущен в обсадную колонну 3. В нижней части ПЭД установлен центратор 5. В качестве устройства, ориентирующего агре-

гат с центратором, предлагается кожух 4, представляющий собой сопряжение из фланцевых труб. Его внутренняя поверхность обработана таким образом, чтобы исключить отклонения от межсекционной несоосности. Центратор должен быть демпферного типа. Это позволит за счет постоянного ориентирования оси агрегата относительно оси кожуха исключить ее излом в месте сопряжения насоса и ПЭД. Кроме того, появляется возможность уменьшить величину зазора между стенкой обсадной колонны и ПЭД, тем самым создав регламентируемую скорость охлаждения.

Еще одним положительным эффектом данной конструкции кожуха является повышение ресурса работы погружного оборудования при воздействии агрессивных сред (к примеру, при перекачивании

сеноманской воды). Под воздействием данных сред возникает интенсивная коррозия, способная привести к потере работоспособности элементов погружной установки (деталей насоса, ПЭД, НКТ), что, в итоге, останавливает процесс добычи.

Технологическим приемом, способным замедлить процесс коррозии рабочих механизмов, является закачка в скважину химического реагента, который снижает процесс корродирования. Однако, учитывая тот факт, что всасывающая головка насоса находится выше электрооборудования, данный реагент будет проходить через насос и НКТ, не достигая области работы ПЭД. Использование кожуха позволит направить поток реагента таким образом, чтобы он проходил вдоль всего агрегата, тем самым по максимуму используя его рабочие характеристики.

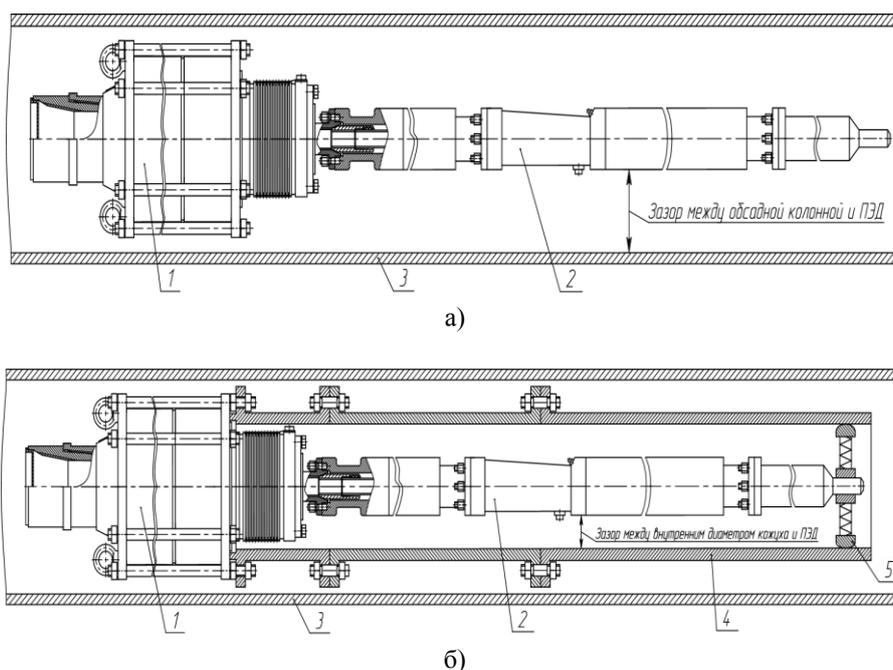


Рис. 6. Схема работы насоса типа ЭЦПК в скважине (повернуто):
а - без кожуха; б - с кожухом

Так же, положительной эксплуатационной функцией данного кожуха будет шаблонирование. В случае существенных дефектов обсадной колонны (смещение, сдавливание и т.д.) кожух не позволит спускать агрегат дальше, тем самым исключив возможность последующей аварии.

Морфологический единичный куб, отображающий работоспособность насо-

сов типа ЭЦПК с искусственным направляющим механизмом, ориентирующим агрегат с центратором в скважинах потребителя, представлен на рис. 7. Изображение явно показывает расширение границ работоспособности исследуемого оборудования за счет применения представленного устройства.

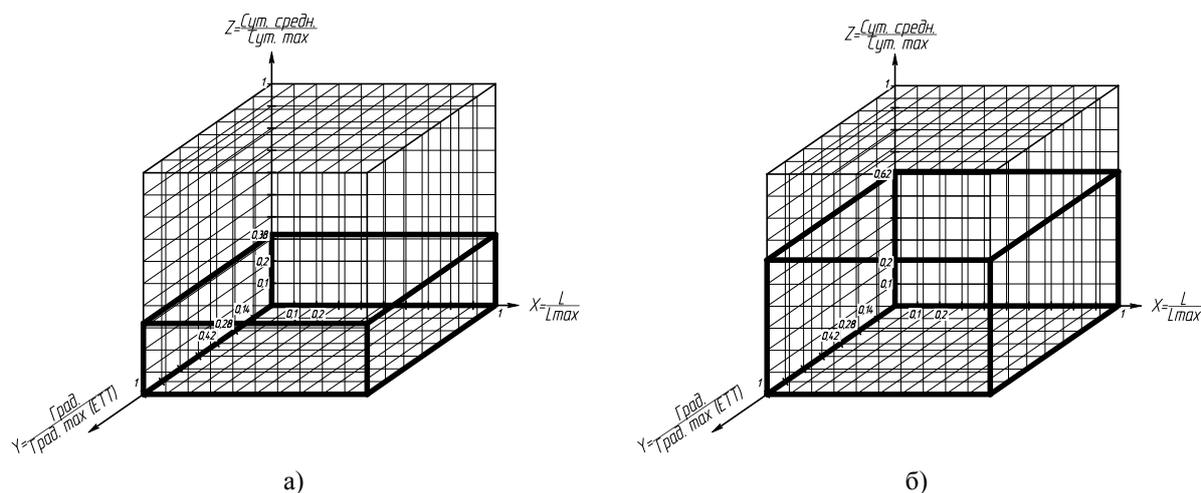


Рис. 7. Морфологическая матрица, отображающая работоспособность насосов типа 2ЭЦПК с кожухом, ориентирующим агрегат с центратором в скважинах потребителя:

а - насосы 2ЭЦПК16-2000-450; б - насосы 2ЭЦПК16-3000-200

На данный момент ведутся работы по разработке конструкции альтернативного устройства – «кронштейна», позволяющего исключить излом оси в месте сопряжения насоса и ПЭД (рис. 8). Положитель-

ный эффект проектирования видится в относительной простоте конструкции, меньшей металло- и трудоемкости изготовления, легкости монтажа и т. д.

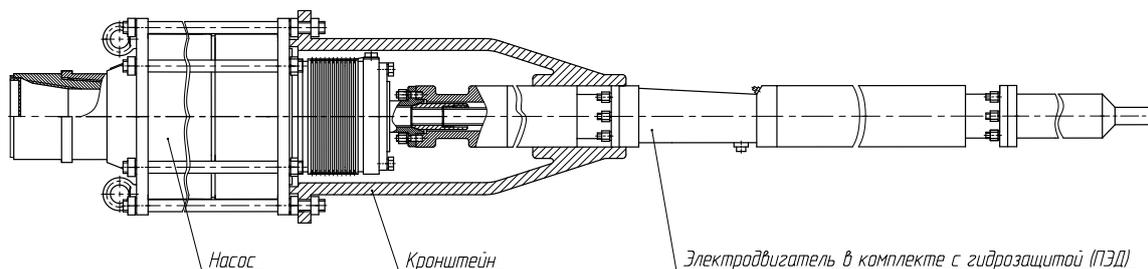


Рис. 8. Принципиальная схема работы насоса 2ЭЦПК с «кронштейном»

Вывод

Осуществленные исследования позволяют утверждать, что для достижения гарантированной ресурсной наработки 365 суток и более для насосов типа 2ЭЦПК в скважинах потребителя необходимо выполнение комплекса мероприятий, направленных на:

- правильный выбор условий работы и верную подконтрольную эксплуатацию агрегатов;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агеев, Ш. Р. Российские установки лопастных насосов для добычи нефти и их применение / Ш. Р. Агеев, Е. Е. Григорян, Г. П. Макиенко // Энциклопедический справочник. – 2007. – 675 с.
2. Твердохлеб, И. Б. Повышение экономичности и надежности насосного оборудования: тр. 5-й

- оптимизацию работы насосного оборудования [2], в том числе в общей гидравлической системе, а так же технического обслуживания и ремонта;

- разработку конструктивных решений, способных свести к минимуму воздействие негативных эксплуатационных факторов.

Междунар. науч.-техн. конф. «СИНТ'09». – Воронеж, 2009. – С. 175-178.

3. Агеев, Ш. Р. Разработки ОАО «ОКБ БН КОННАС»: тр. 5-й Междунар. науч.-техн. конф «СИНТ'09». – Воронеж, 2009. – С. 193-198.

4. Патент 155585 РФ, МПК F04D 13/10. Погружной центробежный секционный насос: №2014148691/06; заявл. 03.12.2014; опубл. 10.10.2015. Бюл. №28 / Р. Р. Соколов, Р. Н. Соколов, А. А. Сухинин [и др.].
5. Заявка №2017111255, МПК F04D 13/02, F04D 29/40. Погружной центробежный насосный агрегат / Д. Е. Тарасов, О. Н. Леонова; Акционерное общество «ГМС Ливгидромаш». Заявл. 04.04.2017.
6. Чернавский, С. А. Подшипники скольжения / С. А. Чернавский. – М.: Государственное научно-

техническое издательство машиностроительной литературы, 1963. – 243 с.

7. Коровчинский, М. В. Теоретические основы работы подшипников скольжения / М. В. Коровчинский. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1959. – 403 с.
8. Подольский, М. Е. Упорные подшипники скольжения: Теория и расчет / М. Е. Подольский. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1981. – 261 с.

1. Ageev, Sh.R. Russian blade installations for oil production and their use / Sh.R. Ageev, E.E. Grigorian, G.P. Makienko // *Encyclopedic Reference Book*. – 2007. – pp. 675.
2. Tverdokhlebl, I.B. Increase of effectiveness and reliability of pump equipment: *Proceedings of the V-th Inter. Scientif.-Tech. Conf. - "SINT'09"*. – Voronezh, 2009. – pp. 175-178.
3. Ageev, Sh.R. Developments of PC "OKB "BN KONNAS": *Proceedings of the V-th Inter. Scientif.-Tech. Conf. - "SINT'09"*. – Voronezh, 2009. – pp. 193-198.
4. Patent 155585 the RF, IPC F04D 13/10. *Submersible Centrifugal Pump*: No.2014148691/06; applied: 03.12.2014; published: 10.10.2015. Bull. No.28 /

R.R. Sokolov, R.N. Sokolov, A.A. Sukhinin [et al.].

5. Application No.2017111255, IPC F04D 13/02, F04D 29/40. *Submersible Centrifugal Pump Unit* / D.E. Tarasov, O.N. Leonova; Stock Company "GMS Livhydromach". Applied.: 04.04.2017.
6. Chernavsky, S.A. *Slider Bearings* / S.A. Chernavsky. – М.: State Scientific-Technical Publishing House of Engineering Literature, 1963. – pp. 243.
7. Korovchinsky, M.V. *Theoretical Fundamentals of Slider Bearing Operation* / M.V. Korovchinsky. – М.: State Scientific-Technical Publishing House of Engineering Literature, 1959. – pp. 403.
8. Podolsky, M.E. *Thrust Slider Bearings: Theory and Calculation* / M.E. Podolsky. – L.: Mechanical Engineering, Leningrad Branch, 1981. – pp. 261.

Ссылка цитирования:

Тарасов, Д.Е. Влияние условий эксплуатации погружного насосного оборудования на его работоспособность / Д. Е. Тарасов // *Вестник Брянского государственного технического университета*. – 2020. - № 12. – С. 38-48. DOI: 10.30987/1999-8775-2020-12-38-48.

Статья поступила в редакцию 27.10.20.

Рецензент: д.т.н., профессор Брянского государственного технического университета
Киричек А.В.,

главный редактор журнала «Вестник БГТУ».

Статья принята к публикации 30.11.20.

Сведения об авторе:

Тарасов Дмитрий Евгеньевич, к.т.н., зам. руководителя НТИЦ АО «ГМС «Ливгидромаш», г. Лив-

ны, Россия, тел. +7-919-267-00-30, e-mail: tde@hms-livgidromash.ru.

Tarasov Dmitry Yevgenievich, Can. Sc. Tech., Deputy-Chief of STC PC "GMS "Livhydromach", Livny,

Russia, phone: +7 919 267 00 30, e-mail: tde@hms-livgidromash.ru.