

ISSN 2073-0128



НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО

17, №5, 2019

PETROLEUM
ENGINEERING

2019. Vol.17.(5)

НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО

PETROLEUM ENGINEERING NEFTEGAZOVOE DELO

Учредитель:

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный
нефтяной технический университет»

2019. Том 17. № 5

Издается с 2002 г., 6 раз в год

Founder:

FSBEI HE «Ufa State Petroleum
Technological University»

2019. Vol. 17. (5)

Published 6 times per year, since 2002

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

EDITORIAL COUNCIL

Главный редактор

Р. Н. Бахтизин

А. А. Абишев
Джузеппе Айелло
И. Ш. Ахатов
М. Б. Бабанлы
Н. А. Гумеров
Р. А. Исмаков
Г. Г. Ишбаев
В. М. Колокольцев
В. Г. Кучеров
Ю. В. Лисин
В. С. Литвиненко
В. Г. Мартынов
Р. Х. Масагутов
З. Х. Павлова
Г. М. Панахов
Т. Ш. Салаватов
Х. Э. Таймасханов
Габор Такач
Дитмар Хайнц
М. М. Хасанов
Герберт Хофштаттер

Editor-in-Chief

Ramil N. Bakhtizin

Ali A. Abishev
Giuseppe Aiello
Iskander Sh. Akhatov
Mustafa B. Babanly
Nail A. Gumerov
Rustem A. Ismakov
Gniaytulla G. Ishbaev
Valery M. Kolokoltsev
Vladimir G. Kuchеров
Yuriy V. Lisin
Vladimir S. Litvinenko
Viktor G. Martynov
Rim Kh. Masagutov
Zukhra Kh. Pavlova
Geylani M. Panakhov
Tulparkhan Sh. Salavatov
Hasan E. Taymaskhanov
Gabor Takacs
Dietmar Heinz
Mars M. Khasanov
Herbert Hofstatter

Издательство

М. Л. Ахмадуллин
В. Н. Рябухина
Л. А. Беляева
Ю. М. Кудаярова
С. В. Халитова

Publishing Department

M. L. Akhmadullin
V. N. Ryabukhina
L. A. Belyaeva
Yu. M. Kudayarova
S. V. Khalitova

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации
ПИ № ФС 77-70447 от 20.07.2017 г.

Журнал включен в базу данных
«Ulrich's Periodicals Directory».

Полнотекстовая версия выпуска размещена
в Научной электронной библиотеке elibrary.ru.
Подписной индекс в Объединенном каталоге
«Пресса России» — 41215.

Подписной индекс в Общероссийском каталоге
«Роспечать» — 36443.

Цена свободная. 12+

Адрес редакции и издательства:

450062, Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул. Космонавтов, 1.
Тел.: 8 (347) 243-16-19, 243-15-16.

Подробности на сайте: www.ngdelo.ru

Подписано в печать: 11.11.2019.

Бумага офсетная. Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. л. 15,69. Тираж 1000 экз. Заказ 175.

Отпечатано с готового электронного файла.

Адрес типографии: 450062, г. Уфа,
ул. Космонавтов, 1.

Тел.: 8 (347) 243-19-73.

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ЗАЩИТА ОТ КОРРОЗИИ
Мардамшин В.Р., Загидуллин Р.В., Загидуллин Т.Р., Бакиев Т.А.

 МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЛЯ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ МЕТАЛЛА
НАД КОНЦЕНТРАТОРОМ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛЬНОЙ ТРУБЕ 72

Шерматов Д.Н., Наумкин Е.А., Кузеев И.Р., Рубцов А.В.

 ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН В МАТЕРИАЛЕ
ЗМЕЕВИКА РЕАКЦИОННОЙ ПЕЧИ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ 81

Гумеров А.К., Хасанова А.Р., Гумеров А.Г., Шаммазов А.М.

ПРИМЕНЯЕМОСТЬ ВЕКТОРА ПОТОКА ЭНЕРГИИ В МЕХАНИКЕ РАЗРУШЕНИЯ 89

МАШИНЫ, АГРЕГАТЫ И ПРОЦЕССЫ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ
Хабибуллин М.Я., Сулейманов Р.И.

 ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ В СИСТЕМЕ
ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ 93

Янгиров И.Ф., Сафиуллин Р.А.

ИНЖЕНЕРНЫЙ РАСЧЁТ СПИРАЛЬНОГО СВЧ-НАГРЕВАТЕЛЯ ЗАБОЯ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ 99

Уразаков К.Р., Хабибуллин М.Я.

 СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СКВАЖИННОГО ШТАНГОВОГО НАСОСА ДЛЯ ДОБЫЧИ
ЖИДКОСТИ С ПОВЫШЕННОЙ КОНЦЕНТРАЦИЕЙ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ 106

Волохин А.В., Волохин Е.А., Арсипбеков Д.В.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БАЛАНСИРНОГО ПРИВОДА УСТАНОВКИ ШТАНГОВЫХ НАСОСОВ 114

Гумеров А.Г., Шаммазов А.М., Быков Л.И., Токарев А.П.

 СНИЖЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ ОБВЯЗКИ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ ВИБРОИЗОЛЯТОРАМИ
С ЗАДААННЫМИ СИЛОВЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ 123

АВТОРАМ

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БАЛАНСИРНОГО ПРИВОДА
УСТАНОВКИ ШТАНГОВЫХ НАСОСОВ****IMPROVING THE BEAM-BALANCED PUMPING UNIT****А. В. Волохин****Arkady V. Volokhin**

АПОУ УР «Топливо-
энергетический колледж»,
Ижевский государственный
технический университет
имени М.Т. Калашникова,
г. Ижевск, Российская Федерация

Е. А. Волохин**Evgenii A. Volokhin**

УЧ ПОО «Нефтяной техникум»,
г. Ижевск, Российская Федерация

Д. В. Арсибеков**Dmitry V. Arsibekov**

АО «Белкамнефть»
им А.А. Волкова,
г. Ижевск,
Российская Федерация

APEI UR «Fuel and Energy College»,
Kalashnikov ISTU,
Izhevsk, Russian Federation

IP PEO «Oil College»,
Izhevsk, Russian Federation

AO Belkamneft named
for A.A. Volkov,
Izhevsk, Russian Federation

Согласно Энергетической стратегии России на период до 2030 года, на предприятиях ПАО НК «Роснефть», Statoil, Rockwell Automation основной целью является повышение безопасности, экономической эффективности, автоматизации технологических процессов. В результате исследования на основе патентного поиска и анализа существующих конструкций приводов станков-качалок определены недостатки их эксплуатационного обслуживания. В статье описывается усовершенствованная телескопическая конструкция головки с балансиrom, электродвигателем, дистанционным управлением, с возможностью менять длину плеча балансира для оперативного проведения ремонта скважин с минимальным участием человека. Технический результат усовершенствованного узла станка-качалки направлен на повышение автоматизации работы, уменьшение затрат времени и трудоемкости, повышение безопасности при подготовке привода станка-качалки к подземному ремонту скважин. Представлена методика расчета на прочность подвижной и неподвижной частей телескопической конструкции головки с балансиrom: определены максимальное напряжение от изгиба, коэффициент запаса при хрупком разрушении и пластической деформации, коэффициент запаса прочности на циклические нагрузки. Результаты расчета соответствуют минимально допустимым коэффициентам для надежного использования совершенствованного привода станка-качалки. Проведена методика подбора электродвигателя для передвижения продольно подвижной части плеча балансира, в которой определена мощность двигателя с учетом динамики разгона, равная 80 Вт.

Показано техническое решение лестницы с предохранительно-автоматическим отключением электродвигателя станка-качалки при несанкционированном поднятии по ней постороннего человека. Проведено экономическое обоснование исследования: определены затраты на подготовительно-заключительные работы привода станка-качалки к ремонту скважины; затраты на заработную плату членам бригады; затраты, связанные с простоем оборудования; затраты от несчастных случаев. Определен общий экономический эффект от внедрения совершенствованного привода станка-качалки с элементами автоматизации.

Ключевые слова

rocker head;
telescopic balancer design;
balancer shoulder;
pumping unit; ladder

According to the Energy Strategy of Russia for the period until 2030, at the enterprises of Rosneft PJSC, Statoil, Rockwell Automation, the main goal is to increase safety, economic efficiency, and process automation. As a result of a study based on a patent search and analysis of existing drive designs of rocking machines, the shortcomings of their operational maintenance are identified. The article describes the improved telescopic design of the head with a balancer, electric motor, remote control, with the ability to change the length of the arm of the balancer for the operational repair of wells with minimal human involvement. The technical result of the improved ultrasonic rocking machine is aimed at increasing the automation of work, reducing the time and labor costs, increasing safety in the preparation of the drive of the rocking machine for underground well repair. The method for calculating the strength of the movable and stationary parts of the telescopic design of the head with a balancer is presented: the maximum bending stress, the safety factor for brittle fracture and plastic deformation, the safety factor for cyclic loads are determined. The results of the calculation correspond to the minimum permissible for reliable use of the improved drive of the rocking machine. The technique of selecting an electric motor for moving the longitudinally moving part of the shoulder of the balancer, in which the engine power is determined taking into account the acceleration dynamics, is equal to 80 watts.

The technical solution of the ladder is shown with a safety-automatic shutdown of the electric motor of the rocking machine when an unauthorized person is lifted by it. The economic feasibility study was carried out: the costs of the preparatory and final work of the rocking machine drive to the well repair were determined; salary costs to team members; costs associated with equipment downtime; accident costs. The overall economic effect of introducing an improved drive of a rocking machine with automation elements is determined.

Введение

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года ставит цель по повышению сокращения издержек в процессах производства и эксплуатации оборудования, а также по повышению уровня его технического обслуживания.

Для достижения стратегической цели инновационной и научно-технической политики в энергетике необходимо решение следующих задач: создание благоприятных условий для развития инновационной деятельности, направленной на коренное обновление производственно-технологической базы топливно-энергетического комплекса, ресурсосбережение, повышение экономичности, надежности, безопасности и экологичности установок и систем [1].

Актуальными становятся технологии, требующие минимального участия человека. Степени сложности и опасности при эксплуатации возрастают, что требует сокращения времени на принятие решений, детальное прогнозирование и оценку рисков. Темпы падения добычи требуют в кратчайшие сроки восполнения ресурсов по добыче [2].

Необходимость нормирования труда в значительной мере объясняется тем, что работ-

ник и работодатель экономически заинтересованы в применении обоснованных норм трудовых затрат, рациональном использовании рабочего времени как по продолжительности, так и по степени интенсивности труда [3].

Снижение затрат на техническое обслуживание и повышение уровня надежности технологического оборудования являются основными и приоритетными задачами любого производственного предприятия [4].

Результаты компании по сертификации и управлению рисками DNV GL, полученные от руководителей нефтегазовой отрасли, указывают на связь между успехом бизнеса и инвестициями в безопасность [5]. Старший вице-президент и главный экономист нефтяной компании Statoil Эйрик Уорнесс в говорит: «Я думаю, что по-прежнему в отрасли в целом огромное внимание уделяется безопасности» [5]. Специалист компании по системам управления, автоматизации и промышленной безопасности Rockwell Automation Джордж Шустер говорит: «Мощные машины, управляющие процессами, представляют все больший риск для людей, которые их эксплуатируют и обслуживают. Но многолетнее представление о том, что повышение безопасности происходит за счет снижения производительности,

Key words

головка балансира;
телескопическая конструкция
балансира; плечо балансира;
насосная установка; лестница

начинает трещать. При правильных методах и понимании стандартов мы можем повысить производительность и одновременно повысить безопасность» [6].

Одними из основных целей программы инновационного развития ПАО НК «Роснефть» являются: повышение энергоэффективности производства до достижения лучшего мирового уровня, соблюдение высоких международных стандартов промышленной безопасности, поддержание удельных капитальных и операционных затрат на уровне лучших мировых отраслевых показателей [7].

Роль инженерного труда заключается в максимальном увеличении рентабельности добычи нефти и газа. Проектирование и выбор надежного оборудования для производственных систем имеют важное значение для работы инженера-технолога [8].

Для бесперебойной работы оборудования с заданными точностными характеристиками требуются систематическое техническое обслуживание, текущие и капитальные ремонты [9, с. 64]. Все работы по капитальному ремонту скважин сопровождаются спуском в скважину и подъемом из нее труб, штанг, насосов. Для подземного ремонта скважин применяются подъемные агрегаты, представляющие собой смонтированные на транспортной базе лебедку, вышку с талевой системой и прочим оборудованием и инструментом [10, с. 86]. Для установки мачты подъемного агрегата над устьем скважины выполняется демонтаж головки балансира. Если головка балансира поворотная, то ее поворачивают в стороны; если откидная, то откидывают тыльной стороной на тело балансира. Операции по демонтажу, монтажу головки балансира довольно трудоемки, продолжительны по времени, имеют повышенные риски травматизма на производстве. Происходили несчастные случаи при непроизвольном включении привода штанговой скважинной насосной установки (ШСНУ) и качании балансира: откидная головка балансира опрокидывалась вниз, нанося травму стоящему под ней члену бригады; в другом случае член бригады поднимался на станок-качалку, чтобы повернуть или откинуть головку балансира, и при непроизвольном качании балансира падал со станка-качалки, получал травму. Стоит вспомнить несчастный случай, который произошёл 24.08.2003 года на нефтяном месторождении

в США (Оклахома), когда работник нефтегазопромысловой компании погиб от удара падающей головки привода насоса (отчет исследования OKFACE № 03-ОК-060-01).

Основные направления совершенствования станков-качалок имеют своей целью уменьшение затрат времени и труда на техническое обслуживание, ремонт и изменение режима работы установки [11, с. 138].

Целями работы являются создание условий безопасности, сокращение времени эксплуатационного обслуживания, повышение экономических показателей добычи нефти и газа, автоматизация рабочего процесса, уменьшение трудовых затрат и минимизация участия человека при подготовке наземного привода ШСНУ к техническому обслуживанию и подземному ремонту скважины. Данные задачи решаются за счет совершенствования наземного привода ШСНУ.

Задачами исследования являются разработка телескопической раздвижной конструкции балансира с электрическим двигателем и автоматической системой дистанционного управления, разработка усовершенствованной конструкции лестницы стойки наземного привода ШСНУ.

Авторами статьи в Федеральном институте промышленной собственности получен патент на изобретение телескопической конструкции головки с балансиром наземного балансирного привода штанговых скважинных насосов [12].

В результате анализа патентов [13, 14] выявлено, что у представленных конструкций имеются недостатки: низкая устойчивость оборудования наземного привода, громоздкость кинематических пар взаимодействия, отсутствие средств автоматизации процесса обслуживания станка, что, в целом, снижает надежность оборудования и безопасность работы обслуживающего персонала.

Технический результат усовершенствованной конструкции балансирного привода ШСНУ

Применительно к поиску новых технических решений особое внимание должно уделяться законам, отражающим главные тенденции их перспективного развития [15, с. 4]. Техническим результатом усовершенствования конструкции балансирного привода ШСНУ является обеспечение автоматизации процесса подготовки привода ШСНУ

к плановым и капитальным ремонтным работам, а также сокращение затрат времени на подготовительные работы к ремонту скважин за счет применения в конструкции устройства плеча балансира, выполненного в виде телескопической конструкции с возможностью продольного движения, снабженного электродвигателем. Дополнительным результатом является повышение безопасности ремонт-

ных, монтажных работ за счет исключения необходимости ручного частичного обслуживания и демонтажа головки балансира.

Устройство и принцип работы усовершенствованной телескопической конструкции балансира с головкой балансира и электродвигателем

Балансирный привод ШСНУ работает следующим образом (рисунок 1).

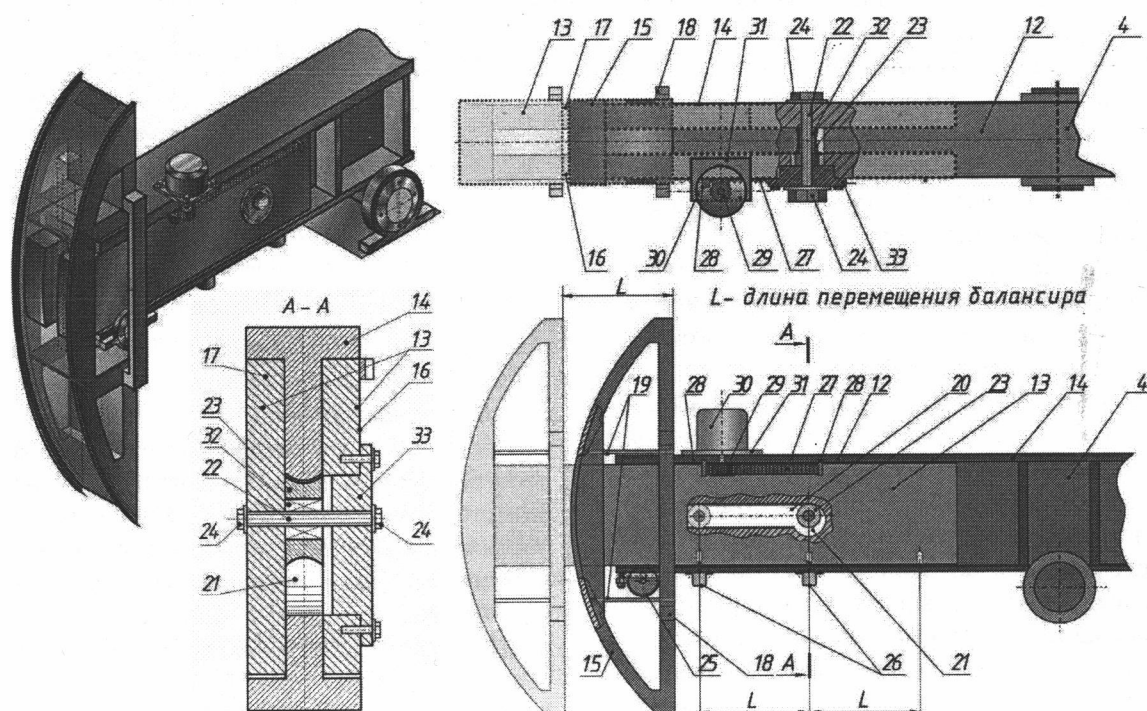


Рисунок 1. Усовершенствованная конструкция балансирного привода штанговой скважинной насосной установки

Для осуществления ремонта скважины отсоединяют подвеску устьевого штока от колонны насосных штанг, устанавливают балансир в крайнем верхнем положении, останавливают работу балансирного привода, электродвигатель 11 обесточивают, после чего приводят в действие редукторный электродвигатель 30. Для установки спускоподъемного агрегата для обслуживания и ремонта устья скважины головка 15 с продольно-подвижной частью 15 плеча балансира 12 передвигается вдоль продольно-неподвижной части 14 плеча балансира 12 на расчетное расстояние L. Передвижение производится посредством установленного на специальной площадке 31 на продольно-неподвижной 14 части плеча балансира реверсивного редукторного электродвигателя 30 за счет передачи крутящего момента от шестерни вала 29 на многосекционную зубчатую рейку 27, жестко закрепленную на первой выдвигной направляющей

секции 16 продольно-подвижной части 13 плеча балансира 12, обеспечивая возвратно-поступательные движения. Начало и окончание движения продольно-подвижной части 13 плеча балансира 12 с головкой балансира 15 контролируется конечными датчиками 28, так как при касании шестерни 29 с датчиками 28 системой управления отключается электродвигатель 30, далее происходит фиксация головки балансира 15 с продольно-подвижной частью 13 плеча балансира 12 автоматическими фиксаторами 26. Жестко закрепленная на продольно-подвижной части 13 плеча балансира 12 головка 15 имеет специальный продольный вырез, сформированный двумя металлическими пластинами 19 с образованием зазоров под посадку головки 15 на продольно неподвижную часть плеча балансира 14, при этом на боковых поверхностях головки 15 установлены элементы упрочнения 18. Для обеспечения плавного, безопасного

с наименьшими потерями трения перемещения продольно-подвижной части 13 с головкой 15 вдоль продольно-неподвижной части 14 плеча балансира 12, с учетом восприятия значительных нагрузок при работе балансирного привода, продольно-подвижная часть 13 имеет с продольно неподвижной частью 14 подвижный контакт с подвижно-опорным быстросъемным роликом 23 (рисунок 1), насаженным на подшипник 32 и ось 22. Ось 22 жестко закреплена своими концами 24 с первой и второй выдвижными направляющими секциями продольно-подвижной части 13 плеча балансира 12, при этом ось 22 с роликом 23 передвигается по сквозному продольному пазу 20 в ту или иную сторону по продольно неподвижной части 14 плеча балансира 12 в пределах расстояния L . Ходовая поверхность ролика 23 сопряжена с внутренней поверхностью продольного паза 20 и представляет собой вогнутую радиусную поверхность; внутренняя поверхность сквозного продольного паза представляет собой выпуклую радиусную поверхность. В случае ремонта крышка 33 снимается с помощью болтовых соединений, и ролик 23 вынимается через специальное конечное пазовое расширение 21. На торце, в нижней части продольно неподвижной части 14 плеча балансира 12 со стороны подвески колонных штанг установлен подпружиненный механизм опорного вала скольжения с подшипниками 25 (рисунки 1, 2), посредством которого обеспечивается как восприятие вертикальных нагрузок от головки балансира 15, так и обеспечивается плавное (с наименьшим трением) перемещение подвижной части 13 плеча балансира 12 с головкой 15 в ту или иную сторону относительно оси скважины.

При перемещении продольно подвижной части 13 плеча балансира с головкой в сторону устья скважины увеличивается плечо и вес, и поэтому подпружиненный механизм опорного вала скольжения 25 и вал 33 проваливаются вниз, и подвижная часть плеча балансира с головкой ложится на горизонтальные полки двутавра балансира (рисунок 2), в обратном направлении механизм поднимается вверх и продольно подвижная часть плеча балансира 13 далее передвигается по валу 33. Контроль передвижения продольно подвижной части плеча балансира осуществляется при помощи дистанционного пульта управления.

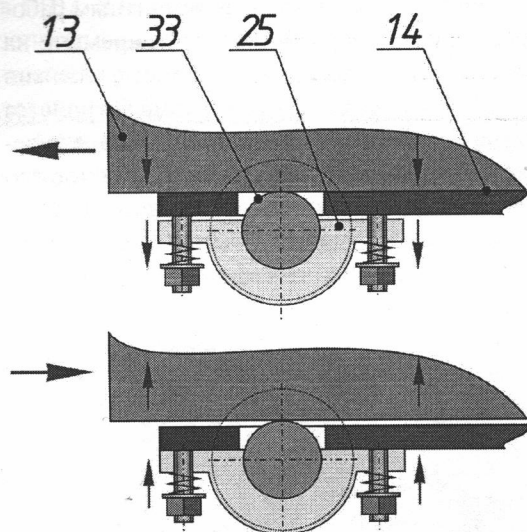


Рисунок 2. Подпружиненный механизм опорного вала скольжения

Выполнение прочностного расчета телескопической конструкции головки с балансиром на прочность

Произведен прочностной расчет балансира усовершенствованного привода ШСНУ на базе станка-качалки 8СК12-3,5-8000 на прочность и выносливость, при максимальной и минимальных нагрузках на головку балансира $P_{\max} = 42368 \text{ Н}$, $P_{\min} = 29335 \text{ Н}$. Поперечное сечение балансира СК8-3,5-4000 представляет для неподвижной части плеча балансира двутавр № 40Ш2 в соответствии с ГОСТ Р 57837-2017, для подвижной части плеча балансира 2 швеллера марки 36У (рисунок 3). Материал балансира — Ст3.

Определяется максимальное напряжение от изгиба с учетом вероятности мгновенного заклинивания плунжера насоса подвижной и неподвижной частей балансира $\sigma_{\max}$:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}, \quad (1)$$

где $M_{\max}$ — максимальный изгибающий момент; W — момент сопротивления рассчитываемого сечения.

Находятся коэффициенты запаса при хрупком разрушении и пластической деформации [16]:

$$n_B = \frac{\sigma_B}{\sigma_{\max}}, \quad n_T = \frac{\sigma_T}{\sigma_{\max}}, \quad (2)$$

где σ_B — предел прочности материала балансира (МПа); σ_T — предел текучести материала балансира (МПа).

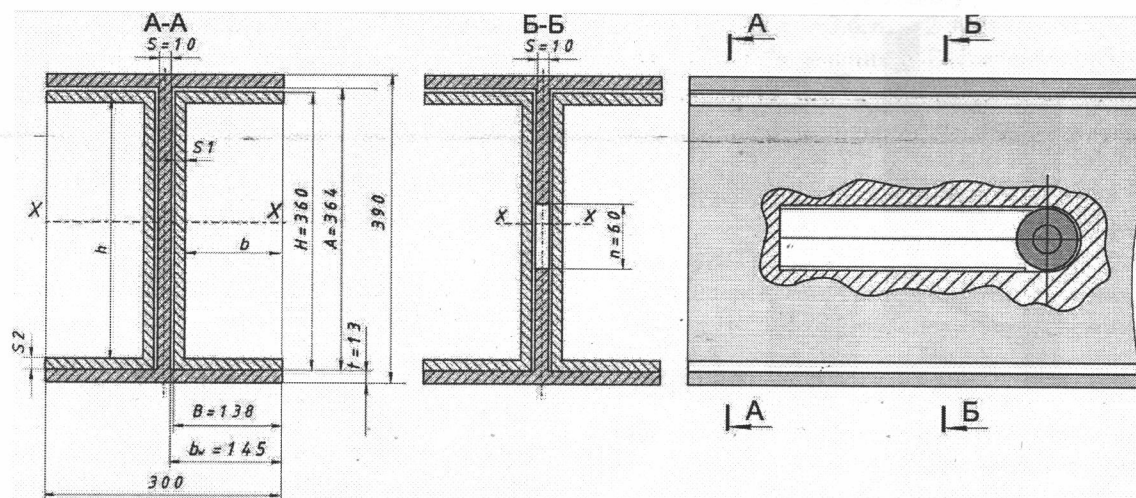


Рисунок 3. Поперечные разрезы продольно подвижного и продольно неподвижного и плеча балансира А-А, Б-Б

Вычисляется коэффициент запаса прочности на циклические нагрузки [17]:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{(K_{\sigma})_d \cdot \sigma_a + \varphi_{\sigma} \cdot \sigma_T}, \quad (3)$$

где, σ_{-1} — предел выносливости, МПа; $(K_{\sigma})_d$ — коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений, масштабный фактор и состояние поверхности детали; σ_a — амплитуда изменения напряжения, МПа; σ_T — среднее напряжение, МПа; φ_{σ} — коэффициент, учитывающий свойства материала и характер нагружения.

Подбор электродвигателя телескопической системы головки с балансиром

За основу привода электродвигателя для передвижения подвижной части плеча балансира был подобран привод Doorhan Sliding-800 KIT, применяемый для автоматических ворот с реечным зацеплением, мощностью $P = 80$ Вт. Определен вес подвижной части балансира с головкой Q_{Σ} .

Рассчитывается мощность двигателя с учетом динамики разгона (Вт):

$$P_d = \frac{W_{CK} + 1.3 \cdot Q_{\Sigma} \cdot v}{9.81 \cdot a \cdot \eta \cdot \psi},$$

где Q_{Σ} — суммарный вес подвижной части балансира с головкой, Н; a — ускорение при пуске; ψ — коэффициент перегрузки двигателя при пуске.

Техническое решение лестницы с системой безопасности

В настоящее время у малодобитных скважин, оборудованных балансирными приводами ШСНУ, распространена периодическая эксплуатация скважин. Данные скважины находятся на месторождениях вблизи деревень

и населенных пунктов. Станки-качалки не охраняются и имеют довольно простое ограждение для проникновения в опасную зону. Периодически можно увидеть недалеко от них грибников, играющих подростков. Если подросток залезет на привод ШСНУ по лестнице, и балансир начнет работать в автоматическом режиме, то возможна опасность несчастного случая. Предложено техническое решение закрепленной на стойке балансира лестницы станка-качалки, имеющей ступень с конечным включателем электродвигателя привода ШСНУ. Принцип работы устройства следующий (рисунок 4).

Одна из ступеней 26 нижних пролетов лестницы 3 балансирного привода ШСНУ выполнена с подвижной вертикальной фиксацией в пределах сквозного паза 31. В паз 31 одной из ног лестницы 3 выходит торцевой конец ступени 26, а второй конец ступени соединен с другой ногой лестницы, образуя упругий элемент ступени 26. При подъеме по лестнице человека ступень своим торцевым концом надавливает на толкатель электромонтажного отсека 34, сжимая при этом пружину возврата 35, тем самым передавая сигнал на станцию управления оборудованием станка-качалки 36, в результате чего двигатель 11 балансирного привода ШСНУ отключается, и станок останавливается. Подача электроэнергии и сигнала на станцию управления привода ШСНУ осуществляется за счет кабеля 37. Впоследствии возможно включить электродвигатель или установить реле с автоматическим включением через определенное время.

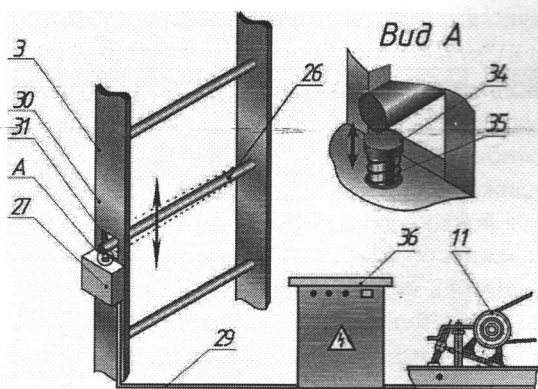


Рисунок 4. Лестница с конечным выключателем привода станка-качалки

Технико-экономическое обоснование проекта

В результате исследования было определено, что время на подготовку усовершенствованного наземного привода ШСНУ к ремонту скважины и подготовку в обратное состояние после ремонта затрачивается на 3 ч меньше, чем на выполнение данных операций у существующих приводов ШСНУ. В результате потери времени при демонтно-монтажных работах определены затраты, связанные с выплатой заработной платы членам бригады $З_3 = 3000$ руб., затраты, связанные с простоем оборудования при данных работах $З_{пск} = 94409,7$ руб. Подача насосной установки определяется по формуле [17, с. 52]:

$$Q_{сут} = F S n p \cdot 60 \cdot 24, \quad (5)$$

где F — площадь поперечного сечения, m^2 ; S — длина хода плунжера, m ; n — число ходов плунжера в минуту; p — относительная плотность жидкости; $60 \cdot 24$ — число минут в сутках [17, с. 52]. Из формулы видно, что при $n = 0$, $Q_{сут} = 0$. Таким образом, при простое на ремонте насоса средняя подача насоса $Q_{сут}$ будет стремиться к нулю. Экономический эффект от снижения простоя скважины и снижения затрат на зарплату персонала $Э_{общ б}$ определяется по формуле:

$$Э_{общ б} = З_{пск} + З_3 = 97409,7 \text{ р}, \quad (6)$$

где $З_3$ — затраты на выплату заработной платы; $З_{пск}$ — затраты на потерю нефти при простое станка-качалки.

Экономический предполагаемый эффект от устранения возможного несчастного случая вследствие совершенствования привода ШСНУ, автоматизации процесса и вывода персонала из опасной зоны обслуживания балансира, головки и лестницы стойки балан-

сира составит $Э_{нсо} = 1747409,7$ руб. и определяется по формуле:

$$Э_{нсо} = З_{св} + З_{пр}, \quad (7)$$

где $З_{св} = 150\,000$ руб. — затраты страховых выплат пострадавшему $З_{пр} = 150\,000$ руб. — прямые убытки в результате последствий несчастных случаев.

Определены затраты на покупку, установку нового оборудования $З_{у(общ)}$:

$$Э_{нсо} = З_{св} + З_{пр},$$

$$З_{у(общие)} = З_{т.б.п} + З_{л} = 100000 \text{ руб.},$$

где $З_3$ — затраты на совершенствование лестницы; $З_{т.б.п}$ — затраты на установку телескопического балансира. Общий экономический предполагаемый эффект от совершенствования, внедрения оборудования ШСНУ составит 1747409,7 руб.:

$$Э_{общ б} = З_3 + З_{пск} + З_{нсо} = 1747409,7 \text{ руб.},$$

где $З_{нсо}$ — затраты от предполагаемого несчастного случая.

Выводы

Проблемы повышения безопасности, повышение экономической эффективности показателей добычи нефти и газа, автоматизация технического обслуживания и ремонта нефтегазового оборудования являются основными направлениями энергетической стратегии России на период до 2030 года, программы инновационного развития ПАО НК «Роснефть» и широко исследуются компаниями Statoil, Rockwell Automation. В результате патентного поиска у представленных патентов наземных приводов ШСНУ имеются недостатки: низкая устойчивость оборудования наземного привода, отсутствие средств автоматизации процесса обслуживания станка-качалки, а вследствие этого большая трудоемкость при эксплуатации. Совершенствование оборудования балансира привода ШСНУ за счет автоматизации процесса демонтажа (монтажа) головки балансира при подготовительно-заключительных работах к подземному ремонту скважин позволяет решить следующие задачи: вывод обслуживающего персонала из опасной зоны проводимых работ позволяет значительно снизить риск травматизма работников; автоматизация технологического процесса позволяет уменьшить затраты труда и времени, заработной платы, уменьшить время простоя оборудования и тем самым повысить среднюю подачу насоса и, соответственно, экономические показатели пред-

приятия. В результате расчета общий экономический предполагаемый эффект от совершенствования и внедрения оборудования привода ШСНУ составляет $\Sigma_{\text{общий б}} = 1747409,7$ руб., что позволяет сделать вывод о перспективе внедрения данного технического решения. В расчете экономического эффекта отмечено, что срок окупаемости установленного в процессе совершенствования оборудования составляет 1 год.

В результате вычислений на прочность телескопической конструкции головки с балансиrom максимальное напряжение от изгиба в подвижной и неподвижной частей балансира с учетом вероятности мгновенного заклинивания плунжера насоса составит в сечении А–А $\sigma_{\text{max}} = 112,509$ МПа, в сечении Б–Б $\sigma_{\text{max}} = 112,509$ МПа, коэффициенты запаса при хрупком разрушении и пластической

деформации $n_s = 3.6, n_T = 2$ в сечении А–А, $n_s = 3.6, n_T = 2$ в сечении Б–Б для части балансира с сквозным пазом. Коэффициент запаса прочности на циклические нагрузки $n = 2.7$; в сечении А–А, $n = 2.5$ в сечении Б–Б для части балансира с сквозным пазом. Исходя из вычислений можно сделать вывод, что данные показания превысят минимально допустимые, необходимые для эксплуатации наземного привода ШСНУ, что обеспечит его надежную работу.

Проведенная методика подбора двигателя для передвижения продольно подвижной части плеча балансира позволяет использовать двигатель с необходимой мощностью $P = 80$ Мт. Можно сделать вывод, что имеющийся двигатель подобран правильно, так как его мощность превышает расчетную.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Распоряжение правительства РФ от 13.11.2009 №1715-р «Об энергетической стратегии России на период до 2030 года».

2. Гиниятов М.Ю. Интеграционное решение для добычи нефти и газа. Интеллектуальное месторождение // Сфера. Нефть и газ. 2017. № 2. С. 86–90.

3. Антипова О.А. Совершенствование методики расчета количества бригад капитального ремонта скважин (КРС) на предприятиях нефтяной промышленности // Фундаментальные исследования. 2017. № 5. С. 110–113.

4. Романов Р.А. Повышение эффективности работы технологического оборудования и снижение затрат на обслуживание // Металлургические процессы и оборудование. 2014. № 3 (37). С. 95–97.

5. Hand A. Cost Cutting's Effect on Oil and Gas Safety // Automation World Journal. 2018. August 6. P. 52-57.

6. Lauren G.P. A Better Day for Worker Safety // Automation World Journal. 2019. March 8. P. 57-63.

7. Паспорт программы инновационного развития ПАО НК «Роснефть». М.: 2016. 30 с.

8. Boyun Guo, Xinghui Liu, Xuehao Tan. Petroleum Production Engineering. Houston: Gulf Professional Publishing, 2017. 780 p.

9. Мезрина Н.М. Алгоритм расчета экономических нормативов для планирования технического обслуживания и ремонта оборудования и рыночной стоимости оборудования // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2017. Т. 20. № 1. С. 64–69. DOI: 10.22213/2413-1172-2017-1-64-69.

10. Умралиев Б.Т., Ермаков М.М. Капитальный ремонт скважин. Павлодар: Арман-ПВ, 2004. 288 с.

11. Архипов К.И., Попов В.И., Попов И.В. Справочник по станкам-качалкам. Альметьевск: ТатАСУнефть, 2000. 146 с.

12. Пат. 2688615 Российская Федерация, МПК F 04 В 47/02. Балансирный привод установки штанговых скважинных насосов / Волохин А.В., Арсибеков Д.В.,

Волохин Е.А., Волохин В.А. № 2018130381, заявлено 20.08.2018; опубл. 21.05.2019, Бюл № 15. 2 с.

13. Пат. 2308614 Российская Федерация, МПК F 04 В 47/02. Станок-качалка / Даутов Т.М., Огнев М.Е., Торхов И.Н., Клюев С.И. № 2005138631/06, заявлено 12.12.2005; опубл. 20.10.2007, Бюл № 29.

14. Пат. 2105196 Российская Федерация, МПК F 04 В 47/02. Станок-качалка (варианты) / Смолин И.И., Самохвалов В.К., Петров Ю.В., Буянов Н.И., Орлов Г.К., Виноградов Ю.В. № 95105635/06, 12.04.1995, заявлено 12.04.1995; опубл. 20.02.1998.

15. Селетков С.Г. Законы развития техники и совершенствование устройств ствольного оружия // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. 2018. Т. 21. № 3. С. 4–8. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-4-8.

16. Снарев А.И. Расчеты машин и оборудования для добычи нефти и газа. М.: Инфра-Инженерия, 2010. 232 с.

17. Волохин А.В., Федоров Ю.В., Волохин Е.А. Выполнение работ по исследованию скважин. М.: Академия, 2017. 176 с.

REFERENCES

1. *Rasporyazhenie pravitel'stva RF ot 13.11.2009 №1715-r «Ob energeticheskoi strategii Rossii na period do 2030 goda»* [Decree of the Government of the Russian Federation of November 13, 2009 No. 1715-r «On the Energy Strategy of Russia for the Period until 2030»]. [in Russian].

2. Giniyatov M.Yu. Integratsionnoe reshenie dlya dobychi nefi i gaza. Intellektual'noe mestorozhdenie [Integration Solution for Oil and Gas Production. Smart Field]. *Sfera. Neft' i gaz — Sphere. Oil and Gas*, 2017, No. 2, pp. 86–90. [in Russian].

3. Antipova O.A. Sovershenstvovanie metodiki rascheta kolichestva brigad kapital'nogo remonta skvazhin (KRS) na predpriyatiyakh neftyanoi promyshlennosti [Perfecting of the Method of Calculation of Number of Crews of the Workover (W) at the Enterprises of Oil

Industry]. *Fundamental'nye issledovaniya — Fundamental Research*, 2017, No. 5, pp. 110–113. [in Russian].

4. Romanov R.A. Povyshenie effektivnosti raboty tekhnologicheskogo oborudovaniya i snizhenie zatrat na obsluzhivaniye [Improving the Efficiency of the Process Equipment and Reduced Maintenance Costs]. *Metallurgicheskie protsessy i oborudovanie — Metallurgical Processes and Equipment*, 2014, No. 3 (37), pp. 95–97. [in Russian].

5. Hand A. Cost Cutting's Effect on Oil and Gas Safety. *Automation World Journal*, 2018, August 6, pp. 52–57.

6. Lauren G.P. A Better Day*for Worker Safety. *Automation World Journal*, 2019, March 8, pp. 57–63.

7. Pasport programmy innovatsionnogo razvitiya PAO NK «Rosneft» [The Passport of the Program of Innovative Development of JSC NK «Rosneft»]. Moscow, 2016. 30 p. [in Russian].

8. Boyun Guo, Xinghui Liu, Xuehao Tan Petroleum Production Engineering. Houston, Gulf Professional Publishing, 2017. 780 p.

9. Mezrina. N.M. Algoritm rascheta ekonomicheskikh normativov dlya planirovaniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta oborudovaniya i rynochnoi stoimosti oborudovaniya [Algorithm for Economic Standard Calculation while Planning Equipment Maintenance and Repair and Determination of the Equipment Market Value]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova — Bulletin of Kalashnikov ISTU*, 2017, Vol. 20, No. 1, pp. 64–69. DOI: 10.22213/2413-1172-2017-1-64-69 [in Russian].

10. Umralliev B.T., Ermekov M.M. Kapital'nyi remont skvazhin [Overhaul of Wells]. Pavlodar, Arman-PV Publ., 2004. 288 p. [in Russian].

11. Arkhipov K.I., Popov V.I., Popov I.V. *Spravochnik po stankam-kachalkam* [Reference on Pumping Units]. Al'met'evsk, TatASUneft Publ., 2000. 146 p. [in Russian].

12. Volokhin A.V., Arsibekov D.V., Volokhin E.A., Volokhin V.A. *Balansirnyi privod ustanovki shtangovykh skvazhinnykh nasosov* [Balanced Drive Installation of Sucker Rod Pumps] Patent RF, No. 2688615, 2019.

13. Dautov T.M., Ognev M.E., Torkhov I.N., Klyuev S.I. *Stanok-kachalka* [Pumping Unit]. Patent RF, No. 2308614, 2007.

14. Smolin I.I., Samokhvalov V.K., Petrov Yu.V., Buyanov N.I., Orlov G.K., Vinogradov Yu.V. *Stanok-kachalka (varianty)* [Pumping Unit (variants)]. Patent RF, No. 2105196, 1998.

15. Seletkov S.G. Zakony razvitiya tekhniki i sovershenstvovanie ustroystv stvol'nogo oruzhiya [Laws of Technology Development and Improvement of Devices of Barreled Weapons]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova — Bulletin of Kalashnikov ISTU*, 2018, Vol. 21, No. 3, pp. 4-8. DOI: 10.22213/2413-1172-2018-3-4-8. [in Russian].

16. Snarev A.I. *Raschety mashin i oborudovaniya dlya dobychi nefi i gaza* [Calculations of Machinery and Equipment for Oil and Gas Production]. Moscow, Infra-Inzheneriya Publ., 2010. 232 pp. [in Russian].

17. Volokhin A.V., Fedorov Yu.V., Volokhin E.A. *Ypolnenie rabot po issledovaniyu skvazhin* [Execution of Works on Wells Research]. Moscow Akademiya Publ., 2017. 176 pp. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

Волохин Аркадий Викторович, канд. пед. наук, директор АПОУ УР «Топливо-энергетический колледж», доцент кафедры «Тепловые двигатели и установки», ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, г. Ижевск, Российская Федерация

Arkady Volokhin V., Candidate of Pedagogical Sciences, Director of APEI UR «Fuel and Energy College», Assistant Professor of Heat Engines and Plants Department, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russian Federation
e-mail: ptu31@e-izhevsk.ru

Волохин Евгений Аркадьевич, заместитель директора по учебной работе УЧ ПОО «Нефтяной техникум», г. Ижевск, Российская Федерация

Evgenii A. Volokhin, Deputy Director for Educational Work of the IPPEO «Oil College», Izhevsk, Russian Federation
e-mail: evgeniivolokhin@mail.ru

Арсибеков Дмитрий Витальевич, генеральный директор, АО «Белкамнефть» им А.А. Волкова, г. Ижевск, Российская Федерация

Dmitry V. Arsibekov, General Director of AO Belkamneft named for A.A. Volkov, Izhevsk, Russian Federation
e-mail: belkamneft@belkam.com

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, по научным специальностям:

05.02.13 — Машины, агрегаты и процессы (по отраслям)

05.16.09 — Материаловедение (по отраслям)
(технические науки)

25.00.10 — Геофизика, геофизические методы поисков
полезных ископаемых (технические науки)

25.00.12 — Геология, поиски и разведка нефтяных
и газовых месторождений (технические науки)

25.00.15 — Технология бурения и освоения скважин
(технические науки)

25.00.17 — Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых
месторождений (технические науки)

25.00.19 — Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов,
баз и хранилищ (технические науки)

Подписной индекс
в Объединенном каталоге
«Пресса России» — 41215

Подписной индекс
в Общероссийском каталоге
«Роспечать» — 36443