

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ВИНТОВЫХ НАСОСОВ В ДОБЫЧЕ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ КАЗАХСТАНА



С.М. АХМЕТОВ,
доктор технических наук,
профессор, академик НИА РК,
индустриальный руководитель,
<https://orcid.org/0000-0002-1983-457X>



А.С. БУКАНОВА,
кандидат технических наук,
директор института
нефтехимической инженерии
и экологии,
<https://orcid.org/0000-0001-6504-2875>



Н.М. АХМЕТОВ,
доктор технических наук,
доцент, декан нефтегазового
факультета,
<https://orcid.org/0000-0002-1613-7701>



Ж.К. ЗАЙДЕМОВА,
кандидат технических наук,
доцент, заместитель декана
нефтегазового факультета,
<https://orcid.org/0000-0002-6628-024X>

НАО «АТЫРАУСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА ИМ. САФИ УТЕБАЕВА»,
Республика Казахстан, 060000, г. Атырау, ул. Баймұханова, 45 А

Авторы статьи отмечают чрезвычайную важность на современном этапе добычу высоковязкой и сверхвысоковязкой нефти, а также природных битумов и гидратов. Это обусловлено тем, что Казахстан располагает огромным традиционным запасом высоковязкой нефти в действующих месторождениях, а также разведанным запасом тяжелых нефтей в осваиваемых трудноизвлекаемых залежах. Среди технических средств для их добычи огромная роль отводится винтовым насосам, принцип работы которых более приспособлены чем другие средства к извлечению вязкой среды из скважин, осложненных проявлением механических примесей (песок, соль и др.). В связи с вышеизложенным, в данной работе авторами рассматривается проблема обеспечения работоспособности установок винтовых насосов с наземным приводом (УВНП). На основе предложенной им комплексной программы мероприятий изучены наиболее частые причины выходов из строя рабочих элементов УВНП. Разработанная авторами модель динамической системы соединительная муфта – штанга, позволяет спрогнозировать оптимальные их параметры на стадии проектирования (создания) УВНП. Это в свою очередь позволяет исключить основные виды их отказа, которые являются причинами других последующих видов поломок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: высоковязкая и сверхвысоковязкая нефть, винтовые насосные установки с наземным приводом, динамическая модель, работоспособность.

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ТҰТҚЫРЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ МҰНАЙЫН ӨНДІРУДЕ БҰРАНДАЛЫ СОРҒЫЛАРДЫҢ ЖҰМЫСҚА ҚАБІЛЕТТІЛІГІ

С.М. АХМЕТОВ, техника ғылымдарының докторы, профессор, ҚР ҰИА академигі, <https://orcid.org/0000-0002-1983-457X>

А.С. БУКАНОВА, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, <https://orcid.org/0000-0001-6504-2875>

Н.М. АХМЕТОВ, техника ғылымдарының докторы, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-1613-7701>

Ж.Қ. ЗАЙДЕМОВА, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-6628-024X>

САФИ ӨТЕБАЕВ АТЫНДАҒЫ «АТЫРАУ МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ УНИВЕРСИТЕТІ» КЕАҚ,
Қазақстан Республикасы, 060000, Атырау қ., Баймұханов к., 45 А

Мақала авторлары қазіргі кезеңде жоғары тұтқырлы және тұтқырлығы өте жоғары мұнайдар, сондай-ақ табиғи битумдар мен гидраттарды өндірудің өте өзектілігін атап көрсетеді. Бұндай тұжырым Қазақстанның жұмыс істеп тұрған кен орындарында тұтқырлығы жоғары мұнайдың дәстүрлі орасан зор қорына, сондай-ақ игерілуі қиын энергия көздерінде ауыр мұнайдың барланған мол қорының барлығына негізделген. Оларды өндіруге арналған техникалық құралдардың ішінде бұрандалы сорғыларға үлкен рөл беріледі, себебі олардың жұмыс жасау принципі құрамында механикалық қоспалардың (құм, тұз және т.б.) болуымен қиындатылған ұңғымалардан тұтқыр мұнайды алуда басқа құралдарға қарағанда әлдеқайда бейімделгендігінде болып табылады. Жоғарыда айтылғандарды ескере отырып, бұл жұмыста авторлар жер бетінде жетегі бар бұрандалы сорғылардың қондырғыларының (ЖБСҚ) жұмыс қабілеттілігін қамтамасыз ету мәселесін қарастырады. Олар ұсынған іс-шаралардың кешенді бағдарламасы негізінде ЖБСҚ жұмыс элементтерінің істен шығуының жиі кездесетін себептері зерттелген. Авторлар ұсынған құрамында жалғағыш муфта мен штанга бар динамикалық жүйенің моделі ЖБСҚ-ды жобалау (жасау) сатысының өзінде ақ олардың оңтайлы параметрлерін болжауға мүмкіндік береді. Ал бұның өзі болса, барлық бұзылулардың олардан басқа да келесі түрлерінің себептері болып табылатын істен шығулардың басты бағыттарын болдырмауға мүмкіндік береді.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: жоғары тұтқыр және өте жоғары тұтқыр мұнай, жерүсті жетегі бар бұрандалы сорғы қондырғылары, динамикалық модель, жұмыс қабілеттілігі.

EFFICIENCY OF SCREW PUMPS IN THE PRODUCTION OF HIGH-VISCOSITY OILS OF KAZAKHSTAN

S. AKHMETOV, doctor of technical sciences, professor, academician of the National Engineering Academy of Kazakhstan, academician of the Russian Academy of Natural Sciences, <https://orcid.org/0000-0002-1983-457X>

A. BUKANOVA, candidate of technical sciences, associate professor, <https://orcid.org/0000-0001-6504-2875>

N. AKHMETOV, doctor of technical sciences, associate professor, <https://orcid.org/0000-0002-1613-7701>

Zh. ZAYDEMOVA, candidate of technical sciences, associate professor, <https://orcid.org/0000-0002-6628-024X>

S. UTEBAEV ATYRAU UNIVERSITY OF OIL AND GAS,
45 A, Baimukhanov str., Atyrau, 060000, Republic of Kazakhstan

The authors of the article note the extreme importance at the present stage of the production of high-viscosity and ultra-high-viscosity oil, as well as natural bitumen and hydrates. This is due to the fact that Kazakhstan has a huge traditional reserve of high-viscosity oil in existing fields, as well as a proven reserve of heavy oils in developed hard-to-recover energy sources. Among the technical means for their extraction, a huge role is assigned to screw pumps, the principle of operation of which is more adapted than other means to extract a viscous medium from wells complicated by the manifestation of mechanical impurities (sand, salt, etc.). In connection with the above, in this paper, the authors consider the problem of ensuring the operability of screw pump installations with ground drives. On the basis of the comprehensive program of measures proposed by the authors, the most common causes of failures of the working elements of screw pumps are studied. The model of the dynamic coupling – rod system developed by the authors allows us to predict their optimal parameters at the design stage (creation) of screw pumps. This, in turn, allows you to exclude the main types of their failure, which are the causes of other subsequent types of breakdowns.

KEY WORDS: high-viscosity and ultra-high-viscosity oil, screw pumping units with ground drive, dynamic model, operability.

Зеленая энергетика в последнее время стала одним из ключевых факторов устойчивого экономического роста Казахстана. Об этом свидетельствует государственный план мероприятий «Зеленый Казахстан», утвержденный Правительством РК до 2030 года. Это является одним из важных событий в деле реализации Концепции по переходу республики к «зеленой экономике» [1-3].

В работах зарубежных авторов [4, 5] доказана возможность и эффективность комплексного применения различных видов возобновляемых источников энергии (ВИЭ) путем гибридации. В работе, в целях исключения несоответствия между спросом и предложением, обеспечиваемым возобновляемой генерацией, обосновывается перспектива гибридации двух или более источников энергии в единую электростанцию (например, ветро-солнечную, гидро-солнечную или гидро-солнечно-ветровую и т.п.) [4]. Авторы смоделировали и оптимизировали параметры возобновляемой гибридной энергосистемы, состоящей из солнечных фотоэлектрических элементов, ветряных турбин, преобразователей и аккумуляторной системы накопления энергии [5]. Созданная им имитационная модель позволяет проанализировать размер, оптимизировать затраты, и таким образом, построить стратегию управления гибридной энергетической системой.

Приведенные выше примеры из многочисленных опубликованных зарубежными авторами работ, а также изучение других работ иностранных ученых позво-

ляет проследить перспективные направления развития ВИЭ, которые, как видим, охватывают всесторонние методы, методологии, и основаны они на результатах фундаментальных и прикладных исследований. Можно отметить, что даже в высокоразвитых странах мира научно-методологическая часть процесса внедрения ВИЭ все еще основаны на результатах частных исследований. С другой стороны, такого рода изыскания всегда становились началом совершенно новых направлений в науке. В качестве примера можно привести происходящее в мире изыскания по разработке технологии получения водородной энергетики. В настоящее время во всех ведущих и развивающихся государствах мира, в том числе и Казахстане начата работа по освоению данной технологий. Однако для полного перехода на данный вид энергии требуется от государств-разработчиков не только большого усилия и вложения огромных ресурсов, но и достаточного времени для перевооружения системы потребителей энергии.

В связи с выше изложенным очевидно, что основным источником обеспечения энергией жизнедеятельности государств как минимум в ближайшие 20 лет будет оставаться углеводородное сырье (УВС). В этом процессе ключевую роль играет дальнейшая интенсивная разработка традиционных, а также нетрадиционных трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) нефти и газа.

Освоение нетрадиционных трудноизвлекаемых запасов требует значительных капитальных вложений. Когда говорят нетрадиционные запасы УВС, раньше призывали это принимать только за сланцевую нефть и (или) газ. Однако со временем ситуация в корне изменилась. Что касается Казахстана, то, прежде всего, здесь речь идет об огромном резерве ТРИЗ нефти, не охваченных применяемыми традиционными технологиями разработки. При этом самым объективным и важнейшим показателем рационального их освоения является коэффициент извлечения нефти (КИН). Данный коэффициент принято считать не только показателем эффективности деятельности нефтедобывающей отрасли в целом, но и главным критерием, позволяющим контролировать и управлять ситуацией в разработке месторождений с нетрадиционными труднодоступными геологическими запасами УВС.

Проблема повышения КИН находит свое отражение в решениях Министерства энергетики РК, Комитета геологии Министерства геологии, экологии и природных ресурсов РК, годовых отчетах АО «НК КазМунайГаз», «Kazenergi», КЕГОС, а также в ежегодных проводимых ими конференциях, выставках и других значимых форумах, посвященных вышеуказанной теме. Таким образом, данная проблема находится в поле зрения вертикально интегрированных нефтяных компаний и специалистов различных научных и производственных сервисных предприятий [6-12].

В статье Александра Фурманюка (обладатель звания «Лучший рационализатор Министерства Геологии КазССР») нашло подтверждение давно уже бытующее мнение среди нефтяников-практиков, что сланцевая нефть Казахстана – это, в принципе подзабытое наименование широко распространённых в стране высоковязких и тяжёлых битуминозных пород, залегающих большей частью в верхних частях продуктивных нефтяных разрезов [13].

Проблема повышения КИН стала рассматриваться как выход из положения при разработке высоковязкой нефти. Появилось понятие остаточных запасов нефти.

В работе С.С. Бейсекова, Р.Р. Курбанова и А.М. Балгыновой рассмотрены возможности увеличения КИН из продуктивных пластов разрабатываемых и выработанных (законсервированных) месторождений с применением новых достижений техники и технологий [14, 15].

Немаловажным фактором в повышении КИН и поддержании его на заданном уровне является правильный подбор и качественная эксплуатация техники для добычи.

Специфика и условия добычи высоковязкой нефти как из традиционных источников, так и из ТРИЗ определил винтовых насосов в качестве самых эффективных. Это связано с тем, что плунжерные штанговые скважинные насосные установки (ШСНУ), которые широко распространены в промыслах и известны как станки-качалки не способны извлекать из призабойной зоны пласта (ПЗП) вязкую и загрязненную песком и солью среду. А УВНП, работающие по принципу шнекового устройства, легко справляются этой проблемой.

Вместе с тем, нельзя утверждать данную проблему до конца решенной, т.к. практика эксплуатации скважин оборудованных УВНП на различных стадиях разработки месторождений выявила ряд задач, требующих своего решения.

В работах [16-19] были четко указаны основные причины выхода из строя конструктивных элементов УВНП в процентном соотношении от общего количества ремонтов, взятых на основании анализа практики эксплуатации этих устройств в месторождениях Татарстана. В казахстанских месторождениях, таких как «Кенбай: участки Восточный Молдабек и Северный Котыртас», «Забурунь», «Кожа Южный», «Кырык Мылтык», «Карсак» (Атырауская область); «Каражамбас», «Каламкас» (Мангистауская область); «Акшабулак Центральный», «Блиновское» (Кзылординская область), где для добычи высоковязкой нефти внедрены УВНП наблюдается практически такая же картина, что характеризует идентичность ситуации осложнения процесса эксплуатации скважин с промыслами Татарии [20, 21].

Тем не менее, не смотря на все достоинства, общим недостатком существующих УВНП все еще остается сравнительно малая продолжительность межремонтного периода из-за частых их отказов, т.е. имеющее место большое количество ремонтно-восстановительных работ (РВР). В таблице 1 показаны усредненные показатели РВР, взятые на основе среднестатистических данных из вышеуказанных казахстанских месторождений высоковязкой нефти по состоянию на январь 2019 года.

Считается, что основная причина таких неполадок, прежде всего, связана с недостаточностью проведенных исследований динамики колонны штанг и привода, в частности, различных колебательных процессов, приводящих к упругим деформациям, разрушению и потере устойчивости элементов этой системы.

Следует отметить, что колебательные процессы в колонне штанг ранее были изучены в работах [16-19, 21-23]. Однако диапазон рассмотренных в них задач и предложенные методы их решения не полностью охватывают полный круг вопросов, стоящих и по сей день на повестке дня.

В существующих исследованиях недостаточно изучены вопросы возникновения колебаний в колонне штанг за счет ударных импульсов, имеющих место в процессе работы УВНП в силу упругих свойств элементов стержневой системы.

Таблица 1 – Основные причины РВР скважин, оборудованных УВНП, введенных в эксплуатацию в месторождениях Казахстана по состоянию на январь 2019 г.

Основные причины ремонтов	Количество отказов	
	скважины, эксплуатируемые с УВНП	доля от общего количества отказов, %
Слом (обрыв) штанг	14	20,9
Слом соединительной муфты штанг	15	22,3
Выход из строя ротора из-за износа и разрушения эластомера	10	14,9
Ремонтные работы по осложнениям в эксплуатации (пески, соли, водо- и газопроявление)	4	5,9
Нарушение герметизации НКТ	6	8,95
Отворот штанг	4	5,9
Отворот НКТ	4	5,9
Выход из строя элементов привода (соединительных муфт, клиноременных и зубчатых передач)	6	8,95
Выход из строя электродвигателя	0	0
Другие причины	4	5,9
ВСЕГО РВР	67	100

Практика показала, что наибольший обрыв штанг происходит в серединной области длины штанг, а также в местах их соединения муфтой. При этом слом может произойти как в резьбовой головке штанги, так и в самой муфте, соединяющей эти штанги. В этой связи актуален вопрос изучения влияния динамических нагрузок на резьбовое соединение штанги и муфты, а именно характер распространения силовых импульсов через эти элементы, а также их влияние на работоспособность системы.

На основании комплексной программы мероприятий по обеспечению работоспособности УВНП (ШВНУ), изложенной в работе [22], а также обобщением результатов ранее опубликованных авторами работ [20, 21, 23] в настоящей статье рассматривается процесс распространения ударных импульсов по рабочим элементам штанговой колонны, в частности в местах резьбового соединения штанг с муфтой.

На *рисунке 1*, а и б представлены конструктивная схема скважинного оборудования УВНП и обобщающая динамическая модель колебательной системы «наземный привод – колонна штанг – винтовой насос – колонна НКТ».

В *таблицах 2 и 3* представлены размеры применяемых на практике стандартных штанг и соединительных муфт [24].

Муфтовое соединение колонны штанг рассматривали как упруго-фрикционную колебательную систему. Для описания диссипативных сил использована известная в литературе характеристика в виде зависимости диссипативной силы от скорости деформации упругого элемента.

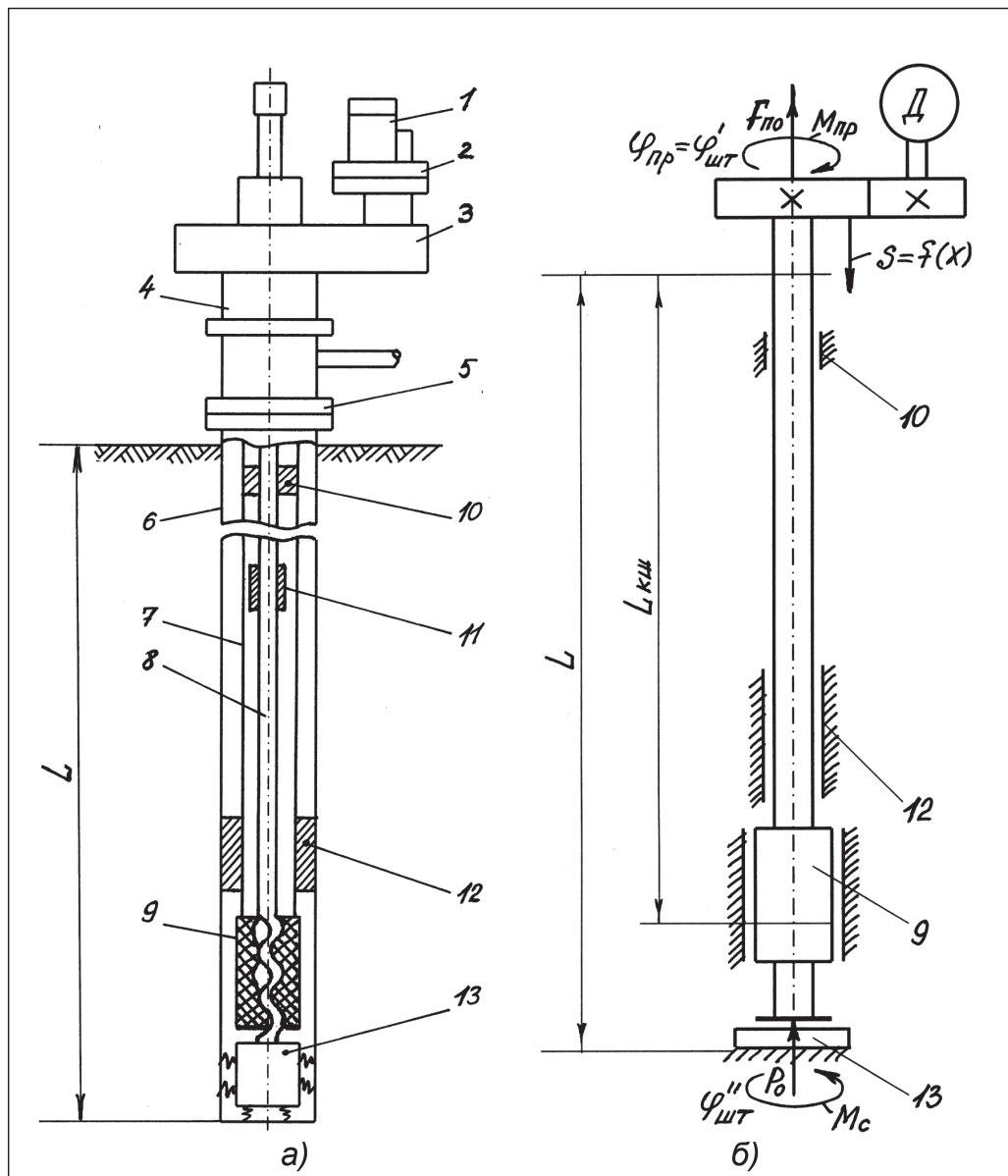


Рисунок 1 – Установка штангового винтового насоса с наземным приводом:

а) – типовая конструктивная схема установки в разрезе;

б) – обобщенная динамическая модель;

1 – электродвигатель; 2 – модульная зубчатая вставка; 3 – вращатель;

4 – превентор сальниковый; 5 – головка колонная; 6 – колонна обсадных труб;

7 – колонна НКТ; 8 – колонна штанг; 9 – винтовой насос; 10 – центратор;

**11 – муфта соединительная; 12 – якорь, предназначенный для предотвращения
отворота колонны НКТ; 13 – механический якорь**

Таблица 2 – Конструктивные размеры штанг по ТУ 14-1-5408-2000, применяемых в установках винтовых насосов с верхним приводом

Условный размер штанг	Обозначение резьбы	d , мм	d_1 , мм	D , мм	D_1 , мм	S , мм	R , мм	l , мм	l_1 , мм	L_2 , мм	L_1 , мм	L_2 , мм
ШН16	Ш16	15,9	18	34	20	22	30	13	31,7	32	117	7766
ШН16/19	Ш19	15,9	18	38	23	26	35	15	36,5	35	131	7738
ШН17/19	Ш19	17,1	19	38	23	26	35	15	36,5	35	131	7738
ШН18/19	Ш19	18,1	20	38	23	26	35	15	36,5	35	131	7738
ШН19	Ш19	19,1	21	38	23	26	35	15	36,5	35	131	7738
ШН22/19	Ш19	22,2	24	38	23	26	40	15	36,5	35	131	7738
ШН20/22	Ш22	20,2	22	43	26	26	40	17	41,3	35	145	7710
ШН21/22	Ш22	21,2	23	43	26	26	40	17	41,3	35	145	7710
ШН22	Ш22	22,2	24	43	26	26	40	17	41,3	35	145	7710
ШН25/22	Ш22	25,4	27	43	26	26	55	17	41,3	35	145	7710
ШН25	Ш25	25,4	27	51	31	33	45	20	47,6	38	158	7684

После прохождения импульса через резьбу соединительной муфты штанги, напряженное состояние в нем (в резьбе) не полностью восстанавливается в исходное состояние из-за наличия сил неупругого сопротивления [25].

Исследованием по стандартной методике процесса нагружения муфтовых соединений штанг в режиме «сжатие – растяжение» получены упруго-деформирующие характеристики для четырех типоразмеров муфт (таблица 3).

Таблица 3 – Конструктивные параметры соединительных муфт по ТУ 14-1-5408-2000, применяемых для компоновки колонны штанг

Условный размер муфты	Обозначение резьбы	D , мм	L , мм	Глубина поверхностного упрочнения, мм	Масса, кг
МШ16	Ш16	34	80	2...3	0,32
МШ19	Ш19	40	82	2...3	0,47
МШ22	Ш22	45	90	2...3	0,65
МШ25	Ш25	53	102	2,5...3,5	1,04

На рисунке 2 представлена схема конструктивных элементов штанги, применяемой в колонне штанг УВНП.

Нелинейность восстанавливающих сил можно учесть, если из общей жесткости муфтового соединения C_0 , выделить составляющие жесткости, влияющие на процесс передачи энергии импульса: т.е. жесткость резьбовой части штанг $C_{ум}$, жесткость соединительной муфты C_m и контактную жесткость, т.е. жесткость затяжки C_3 , значение которой определяется по выражению [28]:

$$C_3 = \frac{C_m (C_0 - C_{ум})}{C_m + C_{ум} - C_0}$$

Упругие характеристики штанг и соединительной муфты линейные, тогда:

$$P_{mp} = C_{ум} \cdot X,$$

$$P_m = C_m \cdot X.$$

Контактную упругую характеристику также можно принять линейной:

$$Q_3 = C_3 \cdot X,$$

где Q_3 – усилие затяжки.

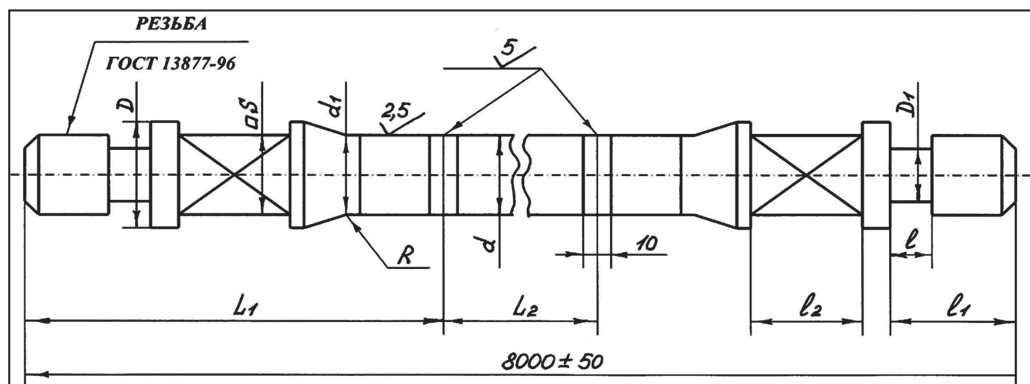


Рисунок 2 – Схема конструктивных элементов штанги по ТУ 14-1-5408-2000, применяемой в колонне штанг установок винтовых насосов с верхним приводом

Предельная величина крутящего момента при расчетах задавалась в соответствии с реальными величинами, существующими на практике эксплуатации марок штанг, таких как ШН16, ШН17/19, ШН18/19, ШН22/19, ШН25/22. Можно предположить, что дальнейшее увеличение величины крутящего момента выше предельных значений приведет к росту контактной жесткости до уровня жесткости самой муфты соединения. В итоге это приведет к неизбежному разрушению резьбы соединения или слому муфты.

Таким образом, было установлено, что с повышением контактной жесткости уменьшается смещение штанг относительно соединительной муфты, а также работа сил трения. Следовательно, подбирая жесткость муфт, можно добиться оптимального режима распространения ударного импульса по колонне штанг, обеспечивающего минимальные динамические нагрузки на систему.

Учитывая, что длина соединительных муфт примерно в (78...100) раз меньше длины одной стандартной штанги и в (10...30) раз меньше длины волны ударных импульсов, формируемых упругой системой колонны штанг, предположим, что волновые процессы не будут оказывать существенного влияния на работу соединения. В связи с этим, распределенные параметры системы заменим сосредоточенными, а процесс прохождения импульса через резьбу муфты и резьбовую часть штанги рассмотрим, как механическое колебание.

Динамическая модель муфтового соединения штанг показана на рисунке 3, которая включает:

- соединительную муфту, имеющую массу m_m , жесткость C_m и демпфер β_m ;
- резьбовую часть штанги, характеризующуюся размером L_1 головки, имеющую массу $m_{ум}$, жесткость $C_{ум}$ (без учета контактной жесткости витков резьбы) и демпфер $\beta_{ум}$;
- резьбу (затяжка), соединяющую массы m_m и $m_{ум}$, имеющую жесткость C_3 и коэффициент эквивалентного демпфирования затяжки β_3 .

В соответствии с моделью, действие крутящего момента на муфтовое соединение штанг эквивалентно приложению к резьбе усилия затяжки Q_3 , под действием которого происходит растяжение резьбовой поверхности муфты и головки штанг.

Тогда, предварительно созданная при затяжке деформация растяжения витков резьбы, частично будет компенсироваться импульсом $P(t)$, сжимающим резьбовую часть штанги (рисунок 3). После прохождения волны импульса через резьбу деформация растяжения в муфте восстанавливается.

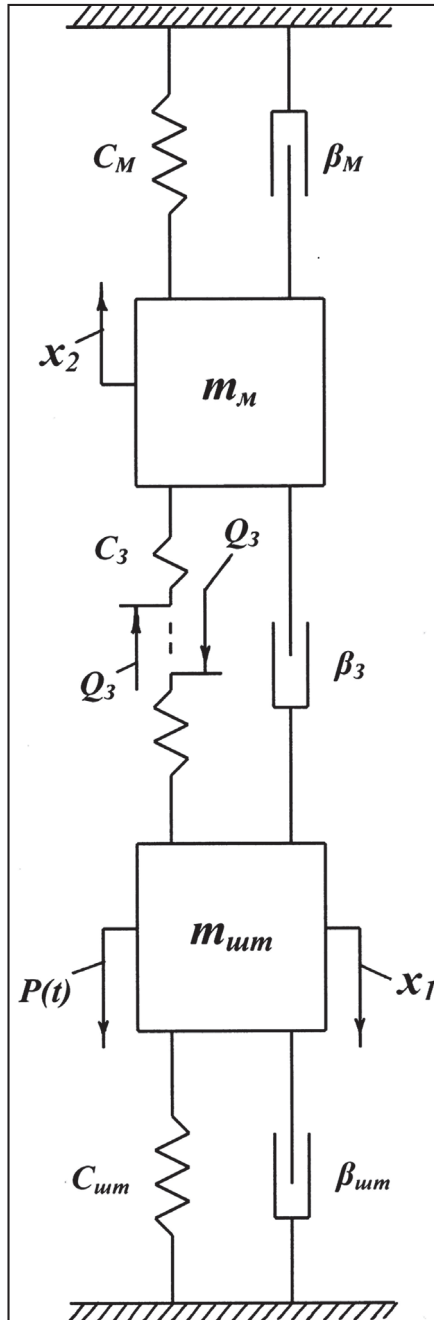


Рисунок 3 – Динамическая модель упругой динамической системы муфта – штанга

Рассмотрением модели муфтового соединения колонны штанг в виде реакции колебательной системы с предварительной затяжкой против импульсного воздействия найдены выражения, характеризующие зависимость основных параметров соединения от энергии распространения импульса.

Уравнение колебательного движения динамической модели описывается системой уравнений:

$$m_{um}\ddot{x}_1 = Q_3 + F(t) - (C_{um} + C_3)x_1 + C_3x_2 - \beta_3(\dot{x}_1 + \dot{x}_2) - \dot{x}_1\beta_{um}$$

$$m_{um}\ddot{x}_2 = Q_3 - (C_m + C_3)x_2 + C_3x_1 + \beta_3(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) - x_2\beta_m$$

Начальные условия системы:

$$x_1(0) = -\frac{Q_3 C_m}{C_{um} C_m + C_3 (C_m + C_{um})}; \dot{x}_1(0) = 0;$$

$$x_2(0) = -\frac{Q_3 C_m}{C_{um} C_m + C_3 (C_m + C_{um})}; \dot{x}_2(0) = 0.$$

Численные значения параметров модели с размерностями реальных муфтовых соединений колонны штанг приведены в *таблице 4*.

Таблица 4 – Параметры, взятые для динамической модели и их реальные значения


Параметры	$m_{шт},$ кг	$m_m,$ кг	$\beta_{шт},$ Н·с/м	$\beta_m,$ Н·с/м	$\beta_3,$ Н·с/м
В модели	0,2...0,9	0,3...1,3	90	95	11000
В реальной компоновке соединений штанги с муфтой	0,28...0,92	0,32...1,04	42...92	40...95	1200... 11000
Параметры	$C_{шт} \cdot 10^9,$ Н/м	$C_m \cdot 10^9,$ Н/м	$C_3 \cdot 10^9,$ Н/м	$Q_3 \cdot 10^5,$ Н/м	
В модели	0,2...1,3	0,1...1,0	0,1...0,4	0...2	
В реальной компоновке соединений штанги с муфтой	0,4...1,2	0,2...0,9	0,11...0,38	0,1...2,1	

Исследованием предложенной динамической модели установлены зависимости коэффициента потерь энергии импульса от изменения жесткостей витков резьбы C_3 при различных значениях жесткостей муфты и резьбовой части штанги C_m и C_{um} .

Для обеспечения меньшего распространения силового импульса через резьбу муфтового соединения штанг, т.е. для снижения интенсивности возникающих в связи с этим механических колебаний необходимо снизить жесткости муфты и резьбовой части штанги C_m и C_{um} , и напротив, увеличить коэффициенты сопротивления их демпферов. Соотношение этих параметров можно регулировать введением дополнительных упругих элементов, преимущественно, в головной части штанг, т.е. в местах их соединения муфтой.

Выводы

Рассмотренная модель рабочих элементов колонны штанг винтовой насосной установки для добычи высоковязкой и сверх высоковязкой нефти позволяет произ-

вести расчеты по выбору параметров ее колебательной стержневой системы «штанга - соединительная муфта - штанга», и таким образом, прогнозировать оптимальные их значения на стадии проектирования. Это в свою очередь позволит разработать соответствующие технические решения для дальнейшего совершенствования конструкций рабочих элементов колонны штанг в целях снижения динамических нагрузок на них, обеспечивая работоспособность УВНП. 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Постановление Правительства Республики Казахстан № 479 от 29 июля 2020 г. «Об утверждении Плана мероприятий по реализации Концепции по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике» на 2021-2030 годы» / <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2000000479> (дата обращения 20.06.2021 г.) [Resolution of the Government of the Republic of Kazakhstan No. 479 dated July 29, 2020 "On approval of the Action Plan for the implementation of the Concept for the Transition of the Republic of Kazakhstan to a "green economy" for 2021-2030" // <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2000000479> (accessed 20.06.2021)]
- 2 В столице обсудили вопросы реализации Концепции по переходу Казахстана к «зеленой экономике». Официальный информационный ресурс Комитета лесного хозяйства и животного мира Министерства экологии, геологии и природных ресурсов РК. Материалы от 26.05.2021 г. // <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest/press/news/details/207561?lang=ru> (дата обращения 20.06.2021 г.) [The issues of implementing the Concept of Kazakhstan's transition to a "green economy" were discussed in the capital. The official information resource of the Committee of Forestry and Wildlife of the Ministry of Ecology, Geology and Natural Resources of the Republic of Kazakhstan. Materials from 26.05.2021]
- 3 За год в Казахстане запустили 21 крупный объект ВИЭ. В целом в стране 90 действующих объектов возобновляемых источников энергии / <https://kapital.kz/economic/83914/za-god-v-kazakhstane-zapustili-21-krupnyy-ob-yekt-vie.html> [During the year, 21 large renewable energy facilities were launched in Kazakhstan. In general, there are 90 existing renewable energy facilities in the country // <https://kapital.kz/economic/83914/za-god-v-kazakhstane-zapustili-21-krupnyy-ob-yekt-vie.html>]
- 4 Jurasz J., Canalesc F.A., Kiesd A., Guezgouz M., Beluco A. A review on the complementarity of renewable energy sources: Concept, metrics, application and future research directions // *Solar Energy*. – 2020. – Vol. 195. – Pp. 703–724. journal homepage: www.elsevier.com/locate/solene
- 5 Bazdara E., Shirzadi N. Economic Analysis and Simulation of Solar PV, Wind Turbine Hybrid Energy System Using HOMER pro // *Journal of Solar Energy Research*. – 2017. – Vol. 23. – Pp. 53-58
- 6 Стабильный лидер. – Нур-Султан, 2019. – 140 с. [A stable leader. – Nur-Sultan, 2019. – 140 p.]
- 7 Разработка профессиональных стандартов и отраслевых рамок квалификаций по направлению «Разведка и добыча нефти и газа» и «Транспортировка и хранение нефти и газа». – Нур-Султан, 2019. – 52 с. [Development of professional standards and industry qualification frameworks in the areas of "Oil and gas exploration and production" and "Transportation and storage of oil and gas". – Nur-Sultan, 2019. – 52 p.]
- 8 Итоги деятельности Министерства энергетики за 2020 год и задачи на 2021 год. – Нур-Султан, 2019. – 28 с. [Results of the activities of the Ministry of Energy for 2020 and tasks for 2021. – Nur-Sultan, 2019. – 28 p.]

- 9 О реализации Инициативы прозрачности деятельности добывающих отраслей в Республике Казахстан за 2016 год. – Астана: РГУ «Республиканский центр геологической информации «Казгеоинформ» Комитета геологии и недропользования МИР РК», 2017. – 248 с. [On the implementation of the Extractive Industries Transparency Initiative in the Republic of Kazakhstan for 2016. – Astana: RSU «Republican Center of Geological Information «Kazgeoinform» of the Committee of Geology and Subsoil Use of the Ministry of Foreign Affairs of the Republic of Kazakhstan», 2017. – 248 p.]
- 10 Экологический кодекс Республики Казахстан. – Закон «Об Экологическом Кодексе Республики Казахстан от 2 января 2021 года № 400-VI ЗРК». – 397 с. [Environmental Code of the Republic of Kazakhstan. - The Law «On the Environmental Code of the Republic of Kazakhstan dated January 2, 2021. No. 400-VI ZRK». – 397 p.]
- 11 Углубленный обзор инвестиционного климата и структуры рынка в энергетическом секторе Казахстана. – Астана: Секретариат энергетической хартии, 2013. 152 с.
- 12 Пять нефтегазохимических заводов построят в Казахстане / URL: https://news.mail.ru/economics/45447924/?frommail=1&exp_id=828 (Дата обращения: 01.06.2021). [Five petrochemical plants will be built in Kazakhstan. URL: https://news.mail.ru/economics/45447924/?frommail=1&exp_id=828 (Accessed: 01.06.2021).]
- 13 Фурманюк А. Сланцевая нефть и её перспективы для Казахстана. URL: <https://m.azh.kz/ru/news/view/27486> (дата обращения: 03.06.2021 г.) [Furmanjuk A. Shale oil and its prospects for Kazakhstan. URL: <https://m.azh.kz/ru/news/view/27486> (accessed: 03.06.2021)]
- 14 Бейсеков С.С., Курбанов Р.Р., Балгынова А.М. Повышение коэффициента нефтеизвлечения вязких нефтей // «Petroleum» Kazakhstan Analytical Journal. – 2017. – №1(103). – С. 25-30. [Beisekov S. S., Kurbanov R. R., Balgynova A.M. Increase in the coefficient of oil recovery of viscous oils // «Petroleum» Kazakhstan Analytical Journal. 2017. No. 1(103)]
- 15 Бейсеков С.С., Курбанов Р.Р. Повышение коэффициента извлечения нефти // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2015. – № 8. – С. 39-40. [Beisekov S. S., Kurbanov R. R. Increasing the oil recovery coefficient // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2015. – No. 8. – P. 39-40.]
- 16 Абуталипов У.М. Совершенствование эксплуатации наклонно-направленных скважин установками винтовых насосов с поверхностным приводом. Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Уфа, 2005. – 23 с. [Abutalipov U. M. Improving the operation of directional wells with screw pump installations with surface drive. Autoref. diss. candidate of Technical Sciences. – Ufa, 2005. – 23 p.]
- 17 Сидоркин Д.И. Совершенствование методов расчета штангового привода винтовой насосной установки. Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Уфа, 2006. – 25 с. [Sidorkin D. I. Improvement of methods for calculating the rod drive of a screw pumping unit. Autoref. diss. candidate of Technical Sciences. – Ufa, 2006. – 25 p.]
- 18 Вагапов С.Ю. Продольный изгиб колонны НКТ и штанг в установках скважинного винтового насоса с поверхностным приводом // Нефтяное хозяйство. – 2004. – №4. – С. 92-94. [Vagapov S. Yu. Longitudinal bending of the tubing string and rods in the installations of a downhole screw pump with a surface drive // Oil economy. – 2004. – No. 4. –p. 92-94.]
- 19 Давыдов А.Ю. Оценка влияния крутильных колебаний штанговой колонны на работу винтовой насосной установки. Автореф. дисс. канд. техн. наук. – Уфа, 2002. – 24 с. [Davydov A. Yu. Assessment of the influence of torsional vibrations of a rod column on the operation of a screw pumping unit. Autoref. diss. candidate of Technical Sciences. – Ufa, 2002. – 24 p.]

- 20 Ахметов С.М., Ахметов Н.М., Суюнгариев Г.Е., Ермуханов Н.М. О перспективах совершенствования эксплуатации нефтепромыслового оборудования на месторождениях высоковязкой нефти Казахстана // Нефть и газ. – 2009. – №4. – С. 61–73. [Akhmetov S. M., Akhmetov N. M., Suyungariev G. E., Ermukhanov N. M. On the prospects for improving the operation of oilfield equipment at the high-viscosity oil fields of Kazakhstan // Oil and gas. – 2009. – No. 4. – P. 61-73.]
- 21 Ахметов С.М., Суюнгариев Г.Е., Ахметов Н.М., Ермуханов Н.М. Вибрация в штанговых насосных винтовых установках для добычи нефти и пути их снижения // Промышленность Казахстана. – 2010. – №2. – С. 20-22. [Akhmetov S. M., Suyungariev G. E., Akhmetov N. M., Ermukhanov N.M. Vibration in rod pumping screw installations for oil production and ways to reduce them // Industry of Kazakhstan. – 2010. – No. 2. – P. 20-22.]
- 22 Ахметов С.М., Ахметов Н.М., Ермуханов Н.М., Зайдемова Ж.К., Канатов А.Е. Обоснование программы мероприятий по обеспечению работоспособности штанговых насосов с наземным приводом // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2011. – №3. – С. 28-32. [Akhmetov S. M., Akhmetov N. M., Ermukhanov N. M., Zaidemova Zh. K., Kanatov A. E. Justification of the program of measures to ensure the operability of rod pumps with a ground drive // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2011. – No. 3. – P. 28-32.]
- 23 Ахметов С.М., Ахметов Н.М., Зайдемова Ж.К., Ермуханов Н.М., Канатов А.Е. Обоснование механизма возникновения вибрации в колонне штанг винтовой насосной установки с наземным приводом и обсуждение методики ее изучения // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2011. – №4. – С. 27-30. [Akhmetov S. M., Akhmetov N. M., Zaidemova Zh. K., Ermukhanov N. M., Kanatov A. E. Substantiation of the mechanism of vibration occurrence in the column of rods of a screw pumping unit with a ground drive and discussion of the methodology for its study // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – 2011. – No. 4. – p. 27-30.]
- 24 Сидоркин Д.И. Совершенствование методов расчета штангового привода винтовой насосной установки. Автореферат диссертации ... кандидата технических наук. – Уфа, 2006. – 25 с. [Sidorkin D. I. Improvement of methods for calculating the rod drive of a screw pumping unit. Abstract of the dissertation ... candidate of technical Sciences. – Ufa, 2006. – 25 p.]
- 25 Иванов М.Н. Детали машин: учебник для студентов вузов. – М.: Высшая школа, 1991. – 383 с. [Ivanov M. N. Machine parts: a textbook for students of vtuzov. – M.: Higher school, 1991. – 383 p.]
- 26 Вибрации в технике: справочник в 6-ти томах. Том.6. Защита от вибрации и ударов. – М.: Машиностроение, 1981. – 81. 456 с.
- 27 Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний: учебное пособие для вузов. – М.: Наука, 1991. – 256 с. [Panovko Ya. G. Introduction to the theory of mechanical vibrations: a textbook for universities. – Moscow: Nauka, 1991. – 256 p.]
- 28 Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с. [Kogaev V. P. Calculations for strength under stresses, variables in time. Moscow: Mashinostroenie, 1977. 232 p.]