



2023
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ

**ЗАВОД
ЮГМАШ**

385200, Республика Адыгея, г. Адыгейск, проспект В.И. Ленина, дом № 28А
Тел./факс многоканальный: 8 (861) 236-25-50, 236-24-61
www.yugmash.ru e-mail: t33367@mail.ru skype: yugmash
ПРОИЗВОДСТВО НЕФТЕГАЗОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Статические и динамические нагрузки на эlevator при спускоподъемных операциях в горизонтальных и наклонных скважинах.

Основным видом деятельности ООО «Завод ЮГМАШ» является производство нефтепромыслового оборудования. Отличительным **свойством** продукции завода является **зарегистрированный и запатентованный товарный знак** (см. приложение №1) в виде **контура идущего вперед медведя**. Все изделия маркируются в зависимости от линейки продукции - либо выбивается клеймо медведя, либо товарный знак выполняется в литье, либо крепится табличка с нанесенными точечным маркиратором сведениями.

Значительную долю в продукции предприятия занимают трубные элеваторы различной конструкции. При производстве элеваторов КМ и ЭН наш конструкторский отдел модернизировал элеваторы КМ и ЭН - **масленка в пальце створки** элеватора, позволяющая производить тех обслуживание в полевых условиях и увеличивать срок эксплуатации. В рамках импортозамещения ООО «Завод ЮГМАШ» изготавливает элеваторы КМК для **конусных** труб 18гр., что является аналогом Элеваторов импортного производства Varco VJ, Bloom Voss, CDZ. Разрабатывается также изменение конструкции предохранителей штроп по аналогам импортных элеваторов.

Назначение элеватора – надежное и безопасное подвешивание на крюке бурильных и обсадных труб, используемых при строительстве и ремонте скважин. Для увеличения надежности работы элеватора была произведена доработка – установлены болтовые (полностью закрытые – сегментные) предохранители штроп.

ООО «Завод ЮГМАШ» ведет работы по усовершенствованию и разработке новых моделей элеваторов. Результатом последних разработок стал **элеватор ЭТОГ**, который сейчас проходит полевые испытания.

Выбор элеватора зависит от типоразмера труб и от проектной нагрузки.

Действующими Правилами безопасности в нефтяной и газовой промышленности устанавливается, что расчетная сумма статических и динамических нагрузок при спуске и подъеме бурильных или обсадных колонн не должна превышать допускаемой нагрузки на крюке. Однако, определение фактических нагрузок на элеватор путем привязки допускаемой нагрузки на крюке не всегда очевидно, так как допускаемая нагрузка на крюке, а, следовательно, и грузоподъемность

буровой установки и ее спускоподъемного комплекса, **выбираются со значительным запасом и редко совпадают с фактическими максимальными нагрузками на элеватор.** Поскольку элеватор является сменным узлом спускоподъемного комплекса, то определение расчетных нагрузок при выборе элеватора является важным элементом технологического процесса.

Вопросам оценки предполагаемых нагрузок на крюке посвящена обширная литература, однако расчет нагрузок при спускоподъемных операциях (СПО) *редко выделяется в отдельное исследование, поскольку наиболее существенным считается предсказание нагрузок на долото, особенно для случая бурения горизонтальных скважин.* Имеющиеся работы по расчету нагрузок при СПО в горизонтальных скважинах рассматривают отдельные стороны операции [1, 2]. В то же время определение максимальных возможных нагрузок требует последовательного силового анализа всего процесса спуска и подъема трубных колонн. Целью данной статьи является разработка методики такого анализа для горизонтальной скважины.

Рассмотрена трехинтервальная горизонтальная скважина, в которую спускается колонна бурильных или обсадных труб, подвешенная на элеваторе в точке А (рисунок 1). Скважина имеет вертикальный участок длиной L_B , искривленный участок радиусом R и горизонтальный участок длиной L . Массу единицы длины спускаемой в скважину колонны труб обозначим q , кг/м. На искривленном участке колонны выделим элемент длиной dz , вес которого будет равен $qgdz$, где g - ускорение свободного падения. Текущий угол расположения элемента dz обозначим как β . На элеватор в точке А действует направленная вниз сила $F_{\text{Э}}$, которая равна весу колонны, пока она находится в вертикальном участке, и из-за сил сопротивления нагрузка на элеватор меньше веса колонны, когда колонна продвигается на искривленный и горизонтальный участки.

Задача состоит в определении изменения $F_{\text{Э}}$ по мере продвижения колонны при спуске и подъеме. Решение задачи выполним по схеме гибкой тяжелой нити, в предположении, что поскольку длина колонны на несколько порядков превышает поперечные размеры скважины, то кривизна колонны не создает значительных изгибающих моментов в теле труб [3,4]. Схема гибкой тяжелой нити предполагает, что в искривленном и горизонтальном участках колонна лежит на нижней стенке скважины. При этом коэффициент трения μ колонны о стенку скважины считаем одинаковым по всей длине. Неучтенная сила плавучести идет в запас прочности.

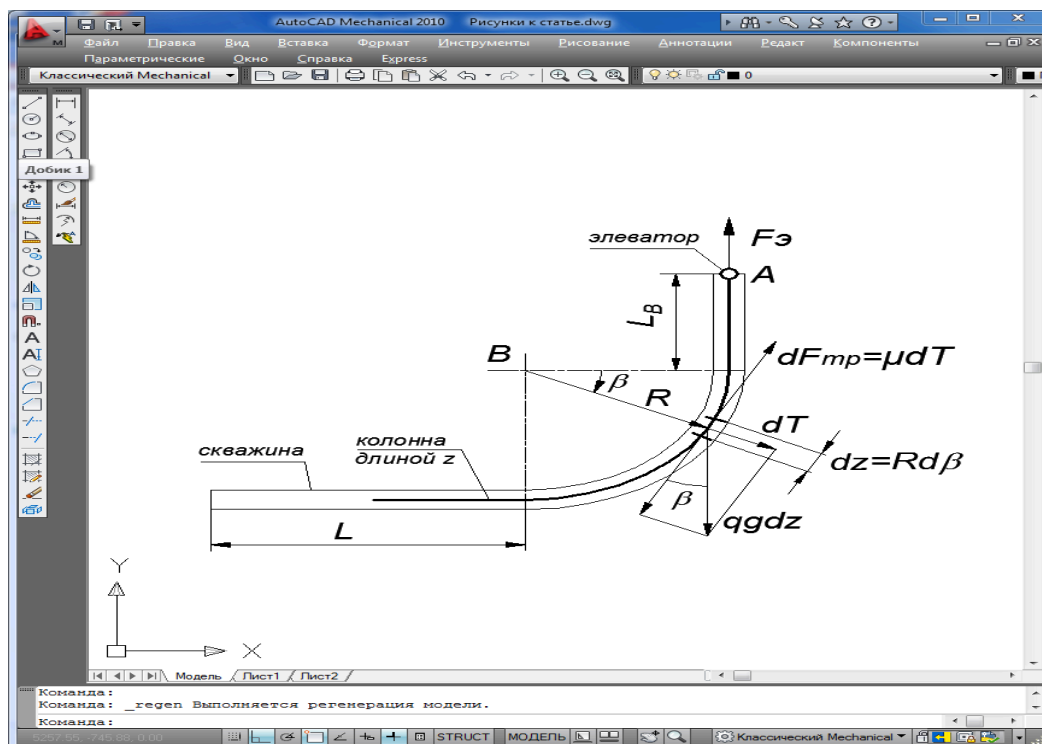


Рисунок 1 – Расчетная схема спуска трубной колонны в горизонтальную скважину

При таких ограничениях сила, приложенная к элеватору со стороны колонны, может быть определена из условия равенства моментов действующих сил относительно центра кривизны В искривленного участка. При нахождении колонны в вертикальном участке скважины равенство моментов запишется как:

$$RF_{\text{э}} = qgRz,$$

откуда

$$F_{\text{э}} = qgz, \quad (1)$$

где z - текущая длина колонны от элеватора до нижней точки колонны.

При переходе колонны в искривленный участок:

$$RF_{\text{э}} = L_B qgR + \int_0^{\beta} R^2 qg \cos \beta d\beta - \int_0^{\beta} R^2 qg\mu \sin \beta d\beta,$$

где, $L_B qgR$ - вес вертикального участка, $Rqg \cos \beta d\beta$ - тангенциальная сила веса элемента dz , $Rqg\mu \sin \beta d\beta$ - сила трения элемента dz . Отсюда:

$$F_{\text{э}} = L_B qg + Rqg(\sin \beta + \mu \cos \beta - \mu),$$

или, поскольку

$$\beta = \frac{180(z - L_B)}{\pi R},$$

то для случая продвижения колонны в искривленный участок получим окончательно:

$$F_{\ominus} = L_B qg + Rqg \left(\sin \left(\frac{180(z - L_B)}{\pi R} \right) + \mu \cos \left(\frac{180(z - L_B)}{\pi R} \right) - \mu \right) \quad (2)$$

При переходе колонны в горизонтальный участок равенство моментов выглядит следующим образом:

$$RF_{\ominus} = L_B qgR + \int_0^{\pi/2} R^2 qg \cos \beta d\beta - \int_0^{\pi/2} R^2 qg \mu \sin \beta d\beta - \mu \left(z - L_B - \frac{\pi R}{2} \right) qgR$$

где $\mu \left(z - L_B - \frac{\pi R}{2} \right) qg$ - сила трения горизонтального участка. Тогда для колонны, находящейся в горизонтальном участке скважины, нагрузка на элеваторе будет равна:

$$F_{\ominus} = qg \left(L_B + R - \mu R - \mu \left(z - L_B - \frac{\pi R}{2} \right) \right) \quad (3)$$

Выражения (1), (2) и (3) представим в форме кусочно-непрерывной функции:

$$F_{\ominus} = \begin{cases} qgz & \text{при } z \leq L_B \\ L_B qg + Rqg \left(\sin \left(\frac{180(z - L_B)}{\pi R} \right) + \mu \cos \left(\frac{180(z - L_B)}{\pi R} \right) - \mu \right) & \text{при } L_B \leq z \leq \left(L_B + \frac{\pi R}{2} \right) \\ qg \left(L_B + R - \mu R - \mu \left(z - L_B - \frac{\pi R}{2} \right) \right) & \text{при } z \geq \left(L_B + \frac{\pi R}{2} \right) \end{cases} \quad (4)$$

Заметим, что если правая часть соотношения (3) станет равной нулю, то нагрузка на элеватор также будет равна нулю и продвижение колонны по горизонтальному стволу прекратится. Максимальную длину колонны z_{\max} , которая может продвинуться по горизонтальному стволу данной скважины определим, таким образом, из соотношения:

$$L_B + R - \mu R - \mu \left(z_{\max} - L_B - \frac{\pi R}{2} \right) = 0$$

откуда

$$z_{\max} = L_B \left(\frac{1 + \mu}{\mu} \right) + R \left(\frac{1}{\mu} + 0,57 \right) \quad (5)$$

Рассмотрим теперь подъем колонны из скважины. В этом случае сила трения поменяет направление на противоположное и функция (4) примет вид:

$$F_{\ominus} = \begin{cases} qg \left(L_B + R + \mu R + \mu \left(z - L_B - \frac{\pi R}{2} \right) \right) & \text{при } z \geq \left(L_B + \frac{\pi R}{2} \right) \\ L_B qg + Rqg \left(\sin \left(\frac{180(z - L_B)}{\pi R} \right) - \mu \cos \left(\frac{180(z - L_B)}{\pi R} \right) + \mu \right) & \text{при } L_B \leq z \leq \left(L_B + \frac{\pi R}{2} \right) \\ qgz & \text{при } z \leq L_B \end{cases} \quad (6)$$

На рисунке 2 представлен график (кривая 1) зависимости нагрузки на элеватор от глубины спуска z , построенный по формуле (4), для хвостовика диаметром 114 мм, массой единицы длины колонны $q = 17 \text{ кг/м}$. Спуск выполнялся в одну из скважин Пур-Тазовской нефтегазоносной области с параметрами $L_B = 600\text{м}$, $R = 1200\text{м}$, $L = 2000\text{м}$ при коэффициенте трения $\mu = 0,5$ [5]. Радиус кривизны получен аппроксимацией нескольких наклонных участков. При этих параметрах $z_{\max} = 4884\text{м}$, что больше чем длина данной скважины (4484 м), то есть колонна дойдет до забоя.

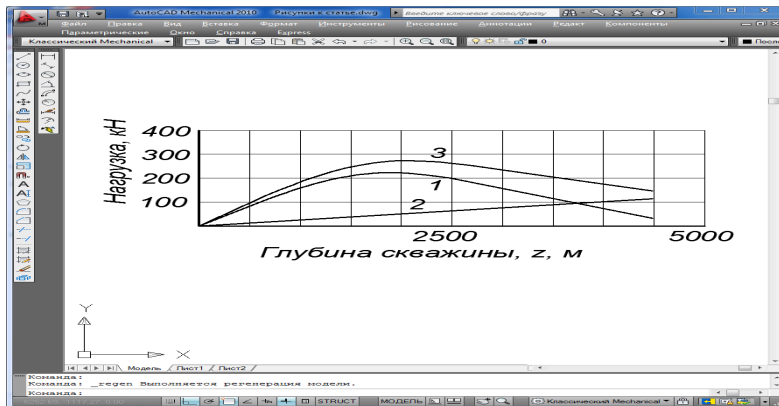


Рисунок 2 – Зависимости расчетной нагрузки на элеватор от глубины спуска колонны в горизонтальную скважину: 1 – статическая нагрузка, 2 – динамическая нагрузка, 3 – суммарная нагрузка.

Однако спуск колонны происходит не непрерывно, а короткими интервалами, равными длине свечи. При каждом наращивании после остановки имеет место ускоренное или замедленное в конце спуска движение. Продолжительность ускоренного движения составляет величину порядка 1 с [6]. Согласно ГОСТ 16293 максимальная скорость движения крюка составляет величину порядка 1,5 м/с, то есть максимальное ускорение составит приблизительно $a = 1,5 \text{ м/с}^2$. Расчетную динамическую нагрузку на элеватор при ускоренном движении определим из второго закона Ньютона:

$$F_{\text{д}} = a z q \quad (7)$$

На рисунке 2 представлен график зависимости динамической нагрузки на элеватор (линия 2), построенный по формуле (7) для той же скважины при $a = 1,5 \text{ м/с}^2$. График суммарной нагрузки от действия статических и динамических сил также показан на рисунке 2, кривая 3. Как видим из рисунка 2 наибольшая нагрузка при спуске наблюдается при нахождении колонны в искривленном участке. Динамическая нагрузка может существенно увеличить расчетную силу, действующую на элеватор при спуске колонны.

На рисунке 3 представлен график зависимости нагрузки на элеватор при подъеме от глубины расположения конца колонны z , построенный по формуле (6) для той же скважины.

Поскольку подъем производится также с остановками на отвинчивание свечи, то подъем, в отличие от спуска, происходит с преодолением трения покоя, а не скольжения. Поскольку коэффициент трения покоя обычно на 10-20% больше трения скольжения [2, 7], то в уравнение (6) подставлен коэффициент трения, увеличенный примерно в 1,2 раза, то есть расчет выполнен при $\mu = 0,6$. Динамическую нагрузку не учитываем, так как подъем производится при минимальных скоростях. Как видим, подъем происходит при существенно большей нагрузке на элеватор, несмотря на отсутствие динамической составляющей.

Уравнения (4) и (6) наглядно отражают нагрузочные характеристики процесса СПО в горизонтальных скважинах. Расчетные соотношения, аналогичные (4) и (6), хотя и более громоздкие, могут быть построены и для распространенного пятиинтервального профиля горизонтальной скважины.

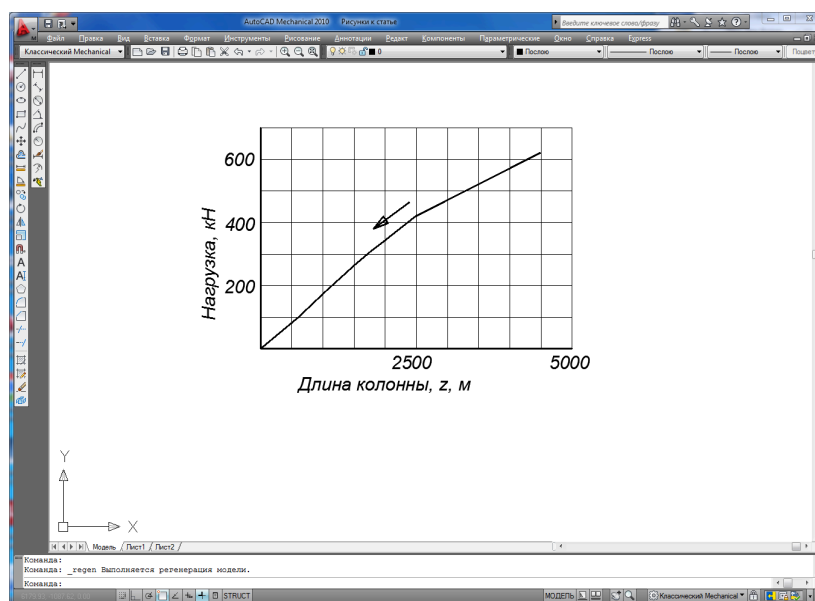


Рисунок 3 – Расчетная нагрузка на элеватор при подъеме колонны из горизонтальной скважины

Для обеспечения буровых и ремонтных предприятий необходимым набором элеваторов разных типоразмеров и грузоподъемностей ООО «Завод Югмаш» выпускает широкую линейку элеваторов различных конструкций. В их числе элеватор КМ, представленный на рисунке 4. Основными деталями элеватора являются корпус и створка, изготовленные из стальных поковок. На корпусе размещена защелка, удерживающая створку в закрытом положении. На створке шарнирно укреплен рукоятка, при опускании и повороте которой «на себя» открывается защелка и створка элеватора.

В верхней части корпуса элеватора имеется расточка под муфту трубы, которая исключает возможность выхода трубы из элеватора в случае неплотного закрытия створки. Предохранители штропов, установленные в проушинах элеватора, обеспечивают свободный ввод штропов в проушины и предотвращают выпадение их в процессе работы. Такая конструкция исключает необходимость забивания в проушины стопорных пальцев. Обеспечено свободное вращение створки при открытии и закрытии элеватора, что также увеличивает безопасность операций.

Кроме того, выпускаются элеваторы для захватывания и удержания на весу колонны бурильных труб с конусной высадкой, для захвата и удерживания на весу колонны обсадных труб, для захватывания под муфту и удержания на весу колонн насосно-компрессорных труб при освоении и ремонте нефтяных и газовых скважин, одноштропные элеваторы. Элеваторы производства ООО «Завод Югмаш» легко отличить от аналогов, так как на бирке элеватора нашего завода маркировка производится точечным методом с изображением логотипа предприятия.

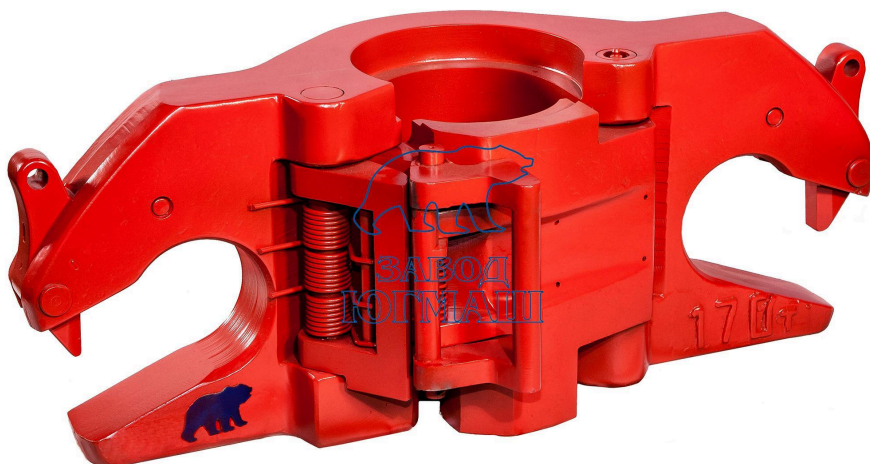


Рисунок 4 – Элеватор КМ производства ООО «Завод Югмаш»

Заключение.

Элеватор является важным элементом спускоподъемного комплекса буровой установки. Предложенные расчетные соотношения позволяют оценивать изменение нагрузки на элеватор в процессе как спуска, так и подъема трубных колонн. Нагрузки на элеватор при подъеме могут быть существенно больше, чем при спуске, но при этом необходима расчетная проверка нагрузки для каждой конкретной скважины. ООО «Завод Югмаш» предлагает широкую линейку элеваторов, способных обеспечить спускоподъемные операции в широком диапазоне нагрузок.

Литература

1. Шаяхметов В.З. Эмрих Е.К. Методика расчета максимальных нагрузок на крюке для выбора спуско-подъемных комплексов буровых установок с параметрами, отвечающими техническим требованиям ГОСТ Р ИСО 13526. – Бурение и нефть, 2019, с.18-23.
2. Kristensen E. Model of Hook Load During Tripping Operation.- Report of Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics, Norwegian University of Science and Technology, 2013. – 82 p.
3. Modeling and mechanism analyzing of casing running with pick-up and release technique / Wei Lia, Genlu Huang, Yinghua Jingb, Fan Yua, Hongjian Nic. - Journal of Petroleum Science and Engineering, January 2019, Vol.172, pp. 538–546.

4. Study on aggressively working casing string in extended-reach well / Pengju Chen, Deli Gao, Zhaohui Wang, Wenjun Huang. - Journal of Petroleum Science and Engineering, Aug. 2017, Vol.157, pp. 604–616.
5. Туктаров Д.Х. Корчагин П.Н. Охотников А.Б. Глебов Е.В. Спуск обсадных колонн в скважины с большими отходами от вертикали. Проблемы и решения. – Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, 2010, №6, с.42-44.
6. Ахметов Н.М. Методика построения тахограммы скорости спуска колонны с учетом согласованности работы основного и вспомогательного тормозов буровой установки. – Нефтепромысловое дело, 2007, №4, с.37-43.
7. Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Вахромеева Е.Н. Уравнения движения составного рабочего органа для разработки скважин. - Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности». – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021. – с. 39-42.

Костюченко Анатолий Иванович.