

Моделирование процесса раздачи нефтяных труб в скважине и выбор параметров инструмента

С.В. Паршин, Н.В. Семенова, А.А. Паршина

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
Екатеринбург*

Аннотация: Рассмотрено моделирование процесса раздачи профильных нефтяных труб в скважине посредством конусного пуансона и выполнено на этой основе определение силы, необходимой для его проталкивания. Найдено нормальное усилие на один выступ профиля трубы. Учтено изменение сопротивления деформации и геометрии профиля при раздаче. Определен оптимальный угол конусности и выбраны геометрические параметры пуансона, включающие наибольший и наименьший диаметры и его длину. Приведен числовой пример расчета по полученным формулам, который показывает техническую осуществимость процесса.

Ключевые слова: раздача, нефтяные профильные трубы, усилие на выступ, уравнение равновесия, сопротивление деформации, геометрия инструмента, числовой пример

Профильные трубы при установке в скважину позволяют изолировать зоны осложнения при бурении, создать новую технологию проходки стволов и, в конечном итоге, во многом обеспечивают импортнезависимость отечественной нефтедобычи [1]. При этом предварительно круглая обсадная труба должна профилироваться в регулярный профиль многолучевого типа, а после подачи в скважину расправляться в круглый профиль. Эта операция в настоящее время выполняется иногда посредством сжатой жидкости и последующей раскаткой блоком роликов. Однако при этом производительность процесса недостаточна. Использование процесса раздачи конусным пуансоном приводят к значительному увеличению производительности и повышению качества раздачи [2]. Подобный способ применим и при лейнировании изношенных насосно-компрессорных труб [3,4].

Математическое моделирование для выбора параметров технологического инструмента должно включать построение твердотельной модели процесса и разработку системы уравнений, описывающих их взаимодействие [5, 6]. В этой связи, для решения поставленной выше задачи

рассмотрим деформацию труб пуансоном в канале скважины и ограничивающим свободную раздачу. Схема сил, действующих при раздаче, указана на рис. 2. Использовали ортогональную систему координат ХОУ, на которой показали в приращениях силы, действующие на пуансон. Учитывали упрочнение материала трубы, величину силы трения при деформации трубы. Силу, действующая нормально по отношению к пуансону на один выступ профиля, аналогично с расчетом для гранки полос, находим по формуле:

$$dP_1 = 2\sigma_s(x) \frac{S^2(x)}{b(x)} dx, \quad (1)$$

где $\sigma_s(x)$ – предел текучести материала с учетом упрочнения; $S(x)$ – толщина стенки; $b(x)$ – расстояние между вершинами выступов профиля трубы.

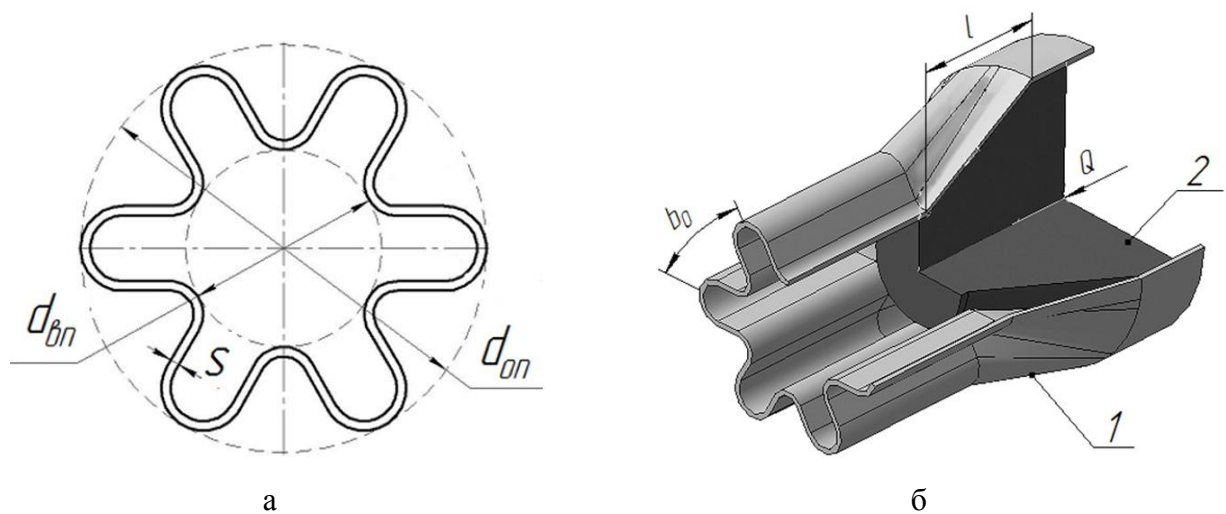


Рис. 1 – Схема процесса раздачи профильной трубы:
а – поперечное сечение; б – геометрическая модель, где
1 – профильная труба; 2 – пуансон

Уравнение равновесия, учитывающее величину сил трения на контакте трубы и пуансона, имеет следующий вид:

$$dQ_1 - dP_1(\sin \alpha + f \cos \alpha) = 0, \quad (2)$$

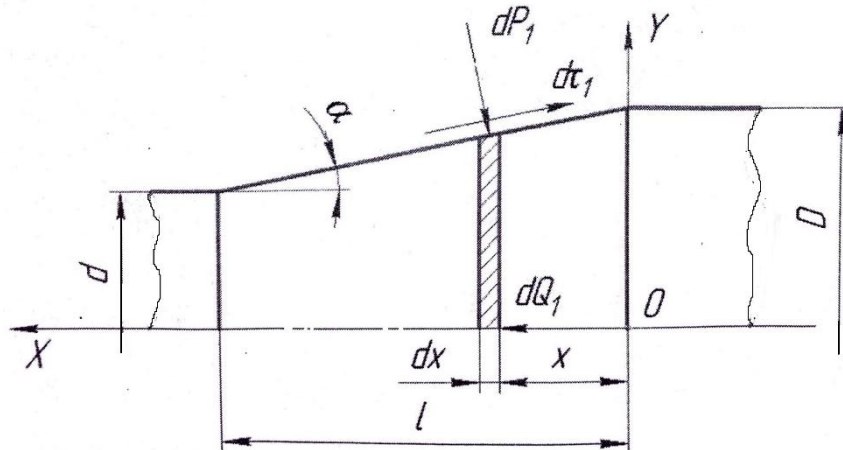


Рис. 2. – Схема сил, действующих на пуансон

Сопротивление деформации $\sigma_s(x)$ приняли в виде линейной зависимости:

$$\sigma_s(x) = \sigma_{s_0} + cx, \quad (3)$$

где $c = (\sigma_{s_1} - \sigma_{s_0}) / l$; σ_{s_0} и σ_{s_1} – исходное и конечное сопротивление деформации; l – длина пуансона вдоль его продольной оси.

В процессе движения пуансона труба меняет форму, из профильной приобретая круглую форму. Расстояние между двумя соседними выступами профиля при этом меняется от b_0 в начальном до b_1 в выправленном состоянии. Его можно определить по формуле:

$$\sigma(x) = \sigma_0 - ax, \quad (4)$$

где $a = (\sigma_1 - \sigma_0) / l$.

Учитывали изменения толщины стенки трубы при раскатке. Подставляя выражения (3), (4) в уравнение (2) и записав интеграл по осевой координате, получаем:

$$P_1 = 2s \int_0^l \frac{\sigma_{s_0} + cx}{b_0 - ax} ax, \quad (5)$$

После дальнейших вычислений и подстановок, выражение приобретает вид:

$$P_1 = 2S^2 \left[\sigma_{s_0} \ln\left(\frac{1}{b_0 - al}\right) + \frac{c}{a^2} \left(\ln \frac{b_0}{b_0 - al} + \frac{b_0}{b_0 - al} - 1 \right) \right] \quad (6)$$

Учтем, что деформируется труба с n лучами, и произведем интегрирование почленно для осевого усилия на пуансон:

$$Q = 2Pn(\sin \alpha + f \cos \alpha) \quad (7)$$

По известной степенной зависимости определим численное значение сопротивления деформации σ_{s_1} и подставим его в (3):

$$\sigma_{s_1} = \sigma_{s_0} + a_1 \varepsilon_i^m, \quad (8)$$

где a_1 и m – справочные значения эмпирических коэффициентов, которые задают кривую упрочнения материала [7].

Интенсивность деформации ε_i найдем [8] в виде:

$$\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \left(\frac{2R_H}{R_H + R_B} \frac{s_0}{s} \right), \quad (9)$$

где R_H и R_B – начальный и конечный радиусы кривизны профиля; s_0 и s – начальная и конечная толщина стенки трубы.

Угол конусности пуансона определяется его параметрами – наибольшим и наименьшим диаметрами и длиной конусной части. Подбор наименьшего диаметра конуса d произведен таким образом, что он несколько меньше диаметра вписанной окружности профиля $d_{ВП}$ (рис. 1а). Принимая во внимание двойную толщину стенки труб $2s$ и допустимую величину упругой деформации герметика Δ , нанесенного на наружный диаметр, наибольший диаметр пуансона D должен при раздаче обеспечить перекрытие диаметра скважины $D_{СКВ}$:

$$D = D_{СКВ} - 2s + \Delta, \quad (10)$$

Минимум осевого усилия Q на пуансоне обеспечивается тогда, когда угол конусности α равен углу трения φ пуансона по материалу трубы, что выражается следующим образом:

$$\varphi = \operatorname{arctg} f, \quad (11)$$

где f – коэффициент трения.

Коэффициент трения при раздаче труб варьируется в пределах $f = 0,15 \dots 0,25$, а получаемый оптимум значения угла конусности составляет $\alpha = 8^\circ 30' \dots 14^\circ$. Определив значения D и d , а также задавшись оптимальным углом конусности $\alpha_{\text{ОПТ}}$, найдем длину пуансона l , исходя из выражения:

$$l = 0,5 [D_{\text{СКВ}} - (2s + d) + \square] / \operatorname{tg} \alpha_{\text{ОПТ}} \quad (12)$$

Установлена в работе [9] зависимость напряженно-деформированного состояния металла деформируемых труб от формы инструмента. Для профильной трубы шестилучевой формы, имеющей исходный диаметр трубы 326 мм, толщину стенки 6 мм и изготовленной из стали 20, проведены расчеты по выражениям (7), (8) и (9). Они показывают, что величина осевого усилия не выше 60-65 кН и раздачу можно выполнить при помощи действия веса колонны труб либо специальным гидравлическим проталкивающим устройством [10].

Литература

1. Абдрахманов Г.С. Крепление скважин расширяемыми трубами. Самара: Изд. дом «Росинг», 2003. 228 с.
2. Bezukladnikov A.I., Parshin S.V. Pipe proofing by mandrels // Russian Engineering Research. 2015. 35, V.12. pp. 924-926.
3. Богатов Н.А., Богатов А.А., Салихьянов Д.Р. Восстановление служебных характеристик насосно-компрессорных труб, отработавших первоначальный эксплуатационный ресурс, методом лейнирования // Metallurg. 2014. № 11. С. 80-84.
4. Богатов Н.А., Богатов А.А., Салихьянов Д.Р. Лейнированные коррозионностойкие насосно-компрессорных трубы // Сталь. 2014. № 11. С. 86-88.

5. Овчинников М.А., Сокол В.А., Соловьева О.Ю., Тарасова Т.А., Грецова Н.В., Клячина Н.В., Лагунов Е.Н. Математическое моделирование изделий из композитных материалов с заданными свойствами // Инженерный вестник Дона, 2023, № 1
URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8131

6. Осипов А.А., Семенова Н.В. Моделирование влияния отклонений диаметра заготовки на точность размеров при изготовлении профильных труб с целью совершенствования процесса // Инженерный вестник Дона, 2020, № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6757

7. Власов А.В. Теория обработки металлов давлением. Москва: МГТУ, 2009. 409 с.

8. Черепяхин А.А. Технология конструкционных материалов. Москва: Кнорус, 2019. 406 с.

9. Bezukladnikov A.I., Parshin S.V. Pipe proofing by mandrels // Russian Engineering Research. 2016. 36, V. 6. pp. 452-453.

10. Безукладников А.И., Паршин С.В. Разработка устройства для раздачи труб // Современные проблемы теории машин. 2015. 1, V. 3. С. 255-256.

References

1. Abdrahmanov G. S. Krepleniye skvazhin ekspandiruyemyimi trubami [Well casing with expandable tube]. Samara: Rosing, 2003. 228 p.

2. Bezukladnikov A.I., Parshin S.V. Russian Engineering Research. 2015. 35, V.12. pp. 924-926.

3. Bogatov N.A., Bogatov A.A., Salikhyanov D.R. Metallurg. 2014. 11. pp. 80-84.

4. Bogatov N.A., Bogatov A.A., Salikhyanov D.R. Steel. 2014. 11. pp. 86-88.



5. Ovchinnikov M.A., Sokol V.A., Solov'yeva O.YU., Tarasova T.A., Gretsova N.V., Klyachina N.V., Lagunov Ye.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2022, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2023/8131.
6. Osipov A.A., Semenova N.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 12. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n12y2020/6757.
7. Vlasov A.V. Teoriya obrabotki metallov davleniyem [Theory of metal forming]. Moskva: MGTU, 2009. 409 p.
8. Cherepahin A.A. Tekhnologiya konstruktsionnykh materialov [Structural materials technology]. Moskva: Knorus, 2019. 406 p.
9. Bezukladnikov A.I., Parshin S.V. Russian Engineering Research. 2016. 36, V. 6. pp. 452-453.
10. Bezukladnikov A.I., Parshin S.V. Sovremennye problemy teorii mashin. 2015. 1, V. 3. pp. 255-256.