

УДК 622.276:658.58



АНАЛИЗ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ДОПУСТИМОГО ПРИВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ В НАСОСНЫХ ШТАНГАХ

Р.Н.Бахтизин¹, К.Р.Уразаков¹, Р.Р.Ризванов¹, А.Г.Комков²
 (1Уфимский государственный нефтяной технический университет,
 2ПАО «Газпромнефть»)

В статье приводится обзор и анализ популярных методик селекции насосных штанг на основе усталостных критериев и методика их ассоциации. Методики селекции представлены максимально допустимым приведенным напряжением А.С.Вирновского и модифицированной диаграммой Гудмана. На основе подробно описанной ассоциации, разработана новая методика расчета допустимых приведенных напряжений для насосных штанг, включая штанги новой конструкции. Вместо длительных промысловых испытаний опытной партии насосных штанг, в методике для расчетов используется лишь техническая характеристика материала штанг – предел прочности.

Ключевые слова: насосные штанги, предел выносливости, приведенное напряжение по А.С.Вирновскому, модифицированная диаграмма Гудмана.

E-mail: ramil_bahtizin@mail.ru

DOI: 10.5510/OGP20150400257

Введение

Ограничение напряжений возникающих в насосных штангах лежит в основе известных методик расчета колонн. Работоспособность штанговой колонны обеспечивается ограничением возникающих в металле под рабочей нагрузкой напряжений с учетом физико-химических свойств откачиваемых сред, оказывающих существенное влияние на усталость материала. Российским стандартом на насосные штанги ГОСТ Р 51161–02 в качестве прочностной характеристики рекомендовано использовать приведенное напряжение (σ_{np}) предложенное А.С.Вирновским, отображающее циклические напряжения в материале штанг, превышение которого при эксплуатации недопустимо [1,2]:

$$\sigma_{np} \leq [\sigma_{np}] \quad (1)$$

где σ_{np} – приведенное напряжение возникающее при эксплуатации, МПа.

$[\sigma_{np}]$ – максимально допустимое приведенное напряжение при эксплуатации для определенных штанг, вычисляемое по формуле:

$$\sigma_{np} = \sqrt{\sigma_{max} \sigma_a} \quad (2)$$

где σ_{max} – максимальное напряжение цикла, МПа;
 σ_a – амплитуда напряжений цикла.

Уравнения (1), (2) можно привести к неравенству допустимого максимума напряжения цикла в зависимости от минимального $S_{np}(\sigma_{min})$, в результате получаем (3). Неравенство определяется единственным параметром – максимально допустимым приведенным напряжением $[\sigma_{np}]$. Для удобства дальнейшего изложения примем:

$$S_{np}(\sigma_{min}) = \frac{\sqrt{\sigma_{min} + 8[\sigma_{np}]^2} - \sigma_{min}}{2} \quad (3)$$

получим неравенство: $\sigma_{max} \leq S_{np}(\sigma_{min})$ (4)

Графическое изображение области допустимых циклических напряжений по приведенному напряжению показано на рисунке 1.

В стандарте ГОСТ Р 51161–02 [1], в зависимости от марки стали, её термообработки и коррозионной активности откачиваемой среды, даны максимально допустимые значения приведенных напряжений.

Расчетная зависимость (2) приведенного напряжения для определения допустимых циклических напряжений согласуется с опытами и других исследователей, по крайней мере, для области, где среднее циклическое напряжение положительно, и применяется с удовлетворительными результатами в нефтяной промышленности РФ и стран СНГ. По мнению Б.Б.Крумана [2], методика определения допустимых приведенных напряжений А.С.Вирновского и И.Л.Фаермана является

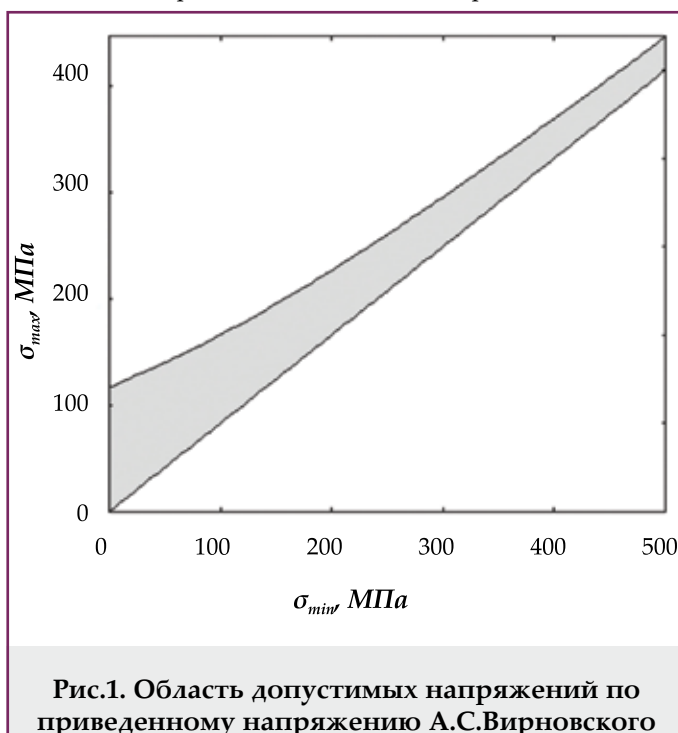


Рис.1. Область допустимых напряжений по приведенному напряжению А.С.Вирновского

наиболее рациональной, предусматривающая подконтрольную эксплуатацию большого числа опытных, правильно сконструированных колонн штанг в промысловых условиях. Результаты наблюдений подвергаются статистической обработке и отображаются на графике зависимости средней частоты обрывов штанг от приведенного напряжения в верхнем сечении колонн. Полученные графики (рис.2), как правило, имеют характерный излом,



показывающий предельно-допустимое значение приведенного напряжения.

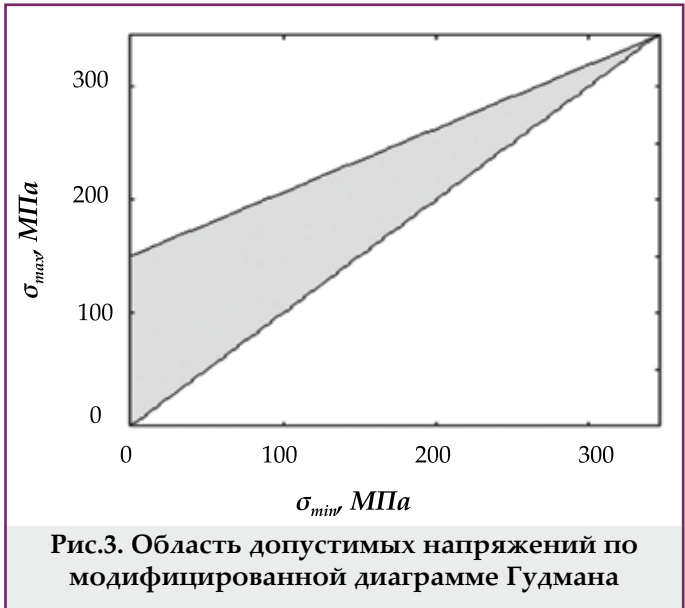
Такая методика имеет преимущество реального скважинного апробирования, однако требует длительного времени для проведения испытаний каждой марки насосных штанг в различных средах. В современных условиях, когда регулярно появляются новые марки сталей, производители отказались от такой практики. Другим недостатком данной методики является то, что кривая наиболее допустимого максимума цикла имеет асимптоту $\sigma_{\max} = \sigma_{\min}$, что допускает повышенные напряжения, и выше предела прочности. Например, насосная штанга имеет предел прочности 900 МПа и допустимое приведенное напряжение 100 МПа. При максимальном напряжении цикла 1000 МПа, достаточно амплитуды цикла меньше 10 МПа для выполнения условия (1), что неизбежно приведет к обрыву.

В стандарте Американского института нефти (API) приведенное напряжение не используется. Для ограничения напряжений вводится понятие предела выносливости (σ_e), которое регламентирует максимально допустимое напряжение, вычисленное с учетом минимального напряжения цикла [2,3]:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_e \quad (5)$$

Первоначально разработанная диаграмма Гудмана, популярная для определения предела выносливости в области машиностроения и оказавшаяся, вследствие особенного характера и условий её нагружения, не приемлемой для штанговой колонны, была модифицирована А.А.Харди

(А.А.Харди) и введена в качестве стандарта API [2]. Модифицированная диаграмма Гудмана (6), предел выносливости в которой при возрастании минимального напряжения цикла возрастает линейно, представляет собой двухпараметрическую линию на плоскости (рис.3) [2].



$$\sigma_e = SF \left(\frac{T_a}{4} + 0.5625 \sigma_{\min} \right) \quad (6)$$

где SF – сервисный фактор, являющийся коэффициентом, учитывающим коррозионную активность откачиваемой жидкости;

T_a – минимальный предел прочности на разрыв для материала штанг.

Для дальнейшего удобства обозначим $S_g(\sigma_{\min}) = \sigma_e$ и перепишем неравенство (5) в виде:

$$\sigma_{\max} \leq S_g(\sigma_{\min}) \quad (7)$$

который имеет два параметра: T_a , SF - первый определяет саму штангу, а второй условия эксплуатации. Например, область допустимых циклических напряжений по модифицированной диаграмме Гудмана для $T_a = 600$ МПа и SF = 1 показана на рисунке 3.

В отличие от методики по приведенному напряжению, допустимые напряжения по модифицированной диаграмме не дают результаты выходящие за пределы прочности, кроме того, к преимуществам диаграммы можно отнести универсальность для различных сред и возможность определения σ_e по результатам лабораторных испытаний T_a . Из недостатков Б.Б.Круманом замечено, что методикой по Гудману учитывается лишь объемная обработка материала штанг; игнорируя качество поверхности, поверхностное упрочнение и не используются результаты испытаний штанг в реальных условиях.

В последнее время появляются особенные насосные штанги, линии предела выносливости которых по модифицированной диаграмме отличаются от принятой зависимости σ_e . Как например сверхпрочная «EL» насосная штанга от компании «Weatherford International Ltd.», имеющая оста-

точные сжимающие напряжения вследствие особой уникальной поверхностной обработки. Такая штанга поставляется со специальным уравнением диаграммы Гудмана:

$$\sigma_g = SF(379 + 0.21143 \cdot \sigma_{\min}) \text{ МПа} \quad (8)$$

$$\sigma_g = SF(379 + 0.21143 \cdot \sigma_{\min}) \text{ psi}$$

Уравнение диаграммы отличается от принятой, имеет особую форму, благодаря наличию двух степеней свободы, позволяя адаптировать диаграмму к особым видам поверхностной обработки.

В общем виде модифицированную диаграмму для некоторой марки штанги и некотором условии эксплуатации можно представить в виде отрезка:

$$\sigma_{\max} \leq b + a\sigma_{\min} = S_g^0(\sigma_{\min}) \quad (9)$$

с двумя параметрами a, b .

Несмотря на вышеперечисленные различия, преимущества и недостатки методик определения допустимых напряжений для штанг, они имеют общие черты. И кроме того, оба проверены промышленной практикой и широко применяются. На рисунке 4 область $b \cup c$ соответствует допустимым напряжениям по приведенному напряжению, а $a \cup c$ по модифицированной диаграмме, но стоит

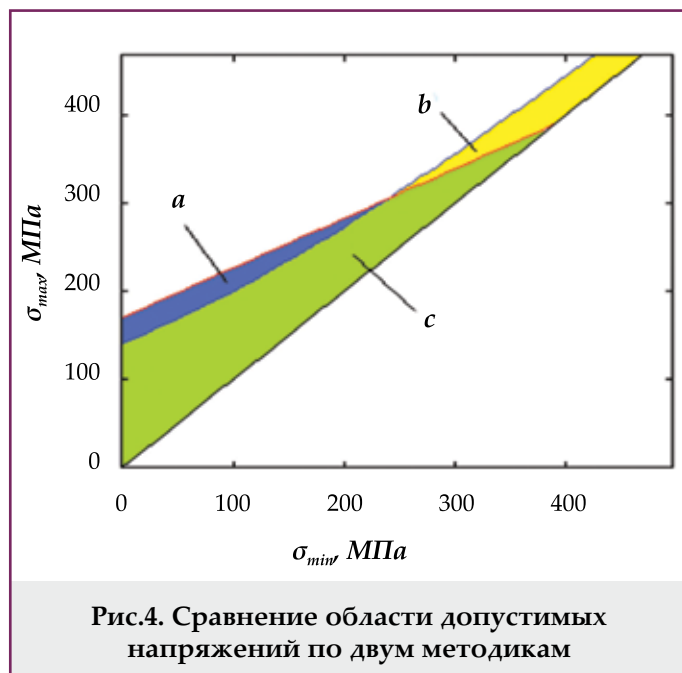


Рис.4. Сравнение области допустимых напряжений по двум методикам

отметить что области a и b являются конфликтными. Для использования знаний при определении приведенного напряжения по методике А.С.Вирновского и модифицированной диаграммы Гудмана необходимо разработать способ конвертации параметров указанных методик.

Методика может быть использована для оперативного получения приведенного напряжения в первом приближении для новой марки штанги из модифицированной диаграммы с использованием предела прочности материала штанги.

Методика конвертации

Для удобства дальнейшего изложения примем следующие обозначения:

$$\sigma_{\min} = x; \quad \sigma_{\max} = y; \quad [\sigma_{np}] = p; \quad SF = s; \quad T_a = t$$

Необходима аппроксимация двух вариантов предельно допустимого максимума напряжения цикла: по приведенному напряжению А.С.Вирновского $S_{np}(x)$ и модифицированной диаграмме Гудмана в общем виде $S_g^0(x)$. Для лучшего их приближения воспользуемся методом наименьших квадратов [4,5]. Определенный интеграл квадрата разности этих функций будет соответствовать величине их отклонения друг от друга:

$$\int (S_{np}(x) - S_g^0(x))^2 dx \quad (10)$$

Исходя из определения модифицированной диаграммы, нижний предел интегрирования берем равной нулю. Линия модифицированной диаграммы имеет смысл только при $y > x$ ($\sigma_{\max} > \sigma_{\min}$), а значит

верхний предел интегрирования принимаем $\frac{b}{1-a}$

$$\int_0^{\frac{b}{1-a}} \left(\frac{\sqrt{x^2 + 8p^2}}{2} - \frac{x}{2} - b + ax \right)^2 dx \quad (11)$$

Интеграл берется, образуя целевую функцию отклонений между S_{np} и $S_g^0(x)$, которую требуется минимизировать. Например, при значении приведенного напряжения 100 МПа, поверхность отклонений в зависимости от параметров отрезка модифицированной диаграммы Гудмана имеет следующий вид на рисунке 5.

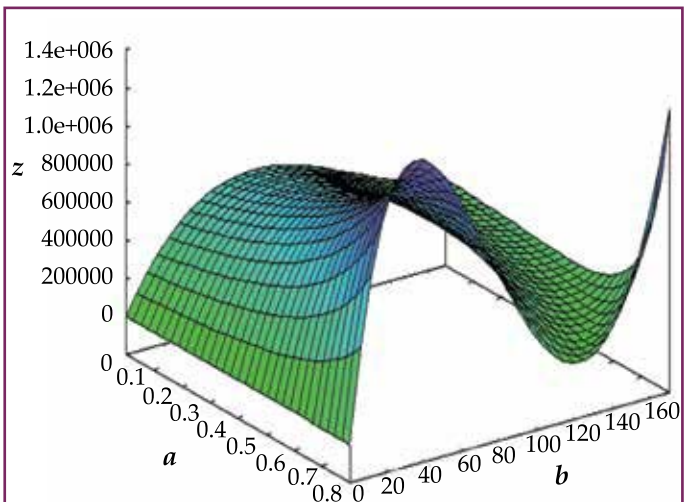


Рис.5. Поверхность целевой функции

Из рисунка видно, что при $b = 0$ пределы интегрирования (11) совпадают и значение целевой функции нулевое, а при стремлении a к 1, верхний предел интегрирования стремится к бесконечности, что приводит целевую функцию к бесконечности. Минимальная точка «ямы» в области $a \in (0.7; 0.9)$, $b \in (100; 140)$ наиболее адекватно отражает решение задачи минимизации целевой функции. Для решения необходимо построить

систему уравнений из приравненных нулю частных производных целевой функции. Из-за сложности аналитического решения системы предложено решение численным методом Ньютона-Рафсона путем построения матрицы Гесса и её обращения на каждой итерации. Система была решена за 10 итераций, где при $p = 100$ МПа, получилось решение $a = 0.79$; $b = 122.65$. Визуализация результатов показывает хорошую оптимизацию (рис.6).

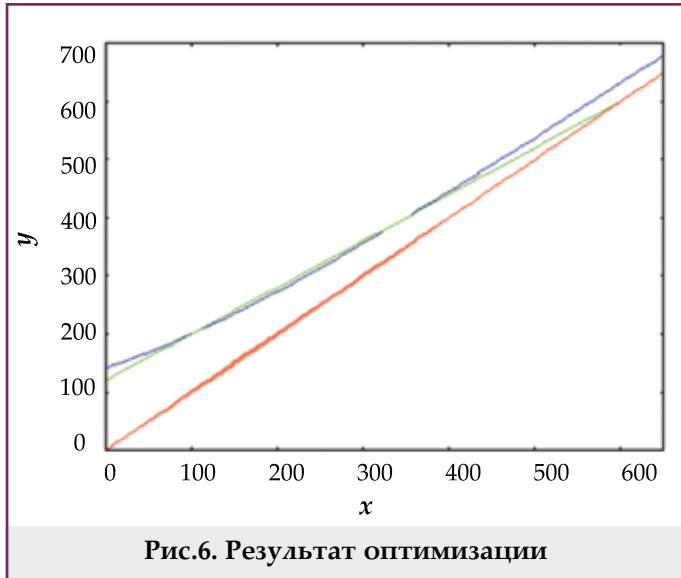


Рис.6. Результат оптимизации

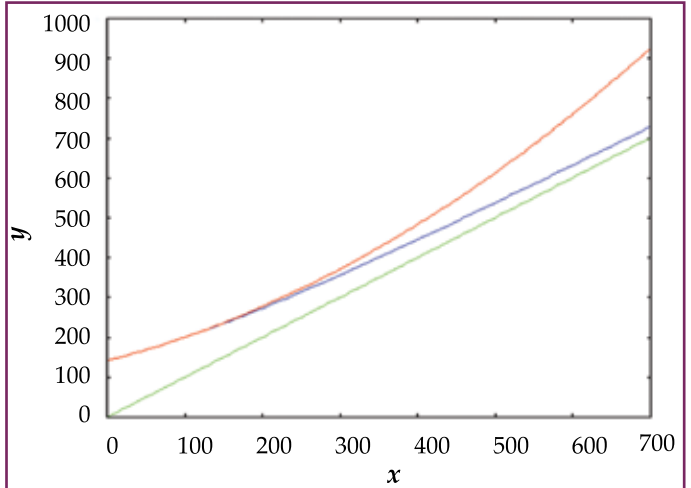


Рис.7. Оригинальная и разложенная в ряд функции

У полученного решения имеется два недостатка:

- Повышенная сложность целевой функции, её частных производных 1 и 2 порядков;
- В действительности полученные параметры отрезка могут соответствовать уравнению модифицированной диаграммы Гудмана лишь при $SF > 1$, что не соответствует реальности.

Для упрощения целевой функции, необходимо привести подинтегральное выражение (11) к более простому виду, для этого разложим выражение $S_{np}(x)$ в ряд Маклорена 2-го порядка, который наиболее оптимален по результату и сложности:

$$S_{np}^M(x) = \frac{x^2}{2^{7/2}p} + \frac{x}{2} + \sqrt{2}p \quad (12)$$

Сопоставление оригинальной функции (синий цвет) и разложения (красный цвет) показано на рисунке 7 красным цветом.

Для достижения актуальности модифицированной диаграммы Гудмана, аппроксимируем диаграмму разложенного приведенного напряжения А.С.Вирновского $S_{np}^M(x)$ и оригинальную модифицированную диаграмму Гудмана $S_g(x)$ по выражению (11). Интеграл отклонения будет иметь вид:

$$\int_0^{T_s} \left(\frac{x^2}{2^{7/2}p} + \frac{x}{2} + \sqrt{2}p - s \left(\frac{T}{4} + 0.5625x \right) \right)^2 dx \quad (13)$$

Построенная в результате поверхность отклонений при $p = 100$ МПа показана на рисунке 8.

При нулевом значении s или t , целевая функция отклонений обращается в 0, что соответствует действительности. Образовавшееся «ущелье» на поверхности хорошо подходит для минимизации.

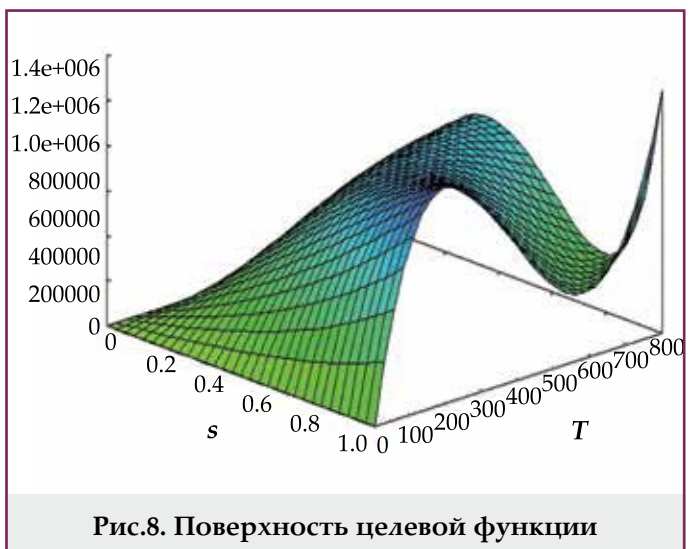


Рис.8. Поверхность целевой функции

На рисунке 9 показаны графики целевой функции при $p = 100$ МПа и различных значениях s , где достаточно хорошо заметны точки минимумов. Для случая $s = 1$ расчеты показывают $t = 581$ МПа, что близко к действительности.

Для нахождения взаимно-однозначного отображения $T-s$ («ущелья») поверхности целевой функции необходимо приравнять нулю частную производную целевой функции и решить уравнение относительно s . Решение уравнения имеет два вещественных корня, одно из которых соответствует искомому минимуму. Искомый полученный корень является параметрическим от s . Для вышеприведенного примера, взаимно-однозначное отображение показано на рисунке 10.

Диаграмма максимально-допустимого приведенного напряжения является однопараметрической и не позволяет определить, соответствует ли он модифицированной диаграмме Гудмана или особому её виду. Для универсальности решения, диаграмма приведенного напряжения аппроксимируется к стандартной модифицированной диаграмме.

В обратной задаче, когда известна модифицированная диаграмма, необходимо минимизировать целевую функцию отклонений относительно единственной переменной – приведенного напря-

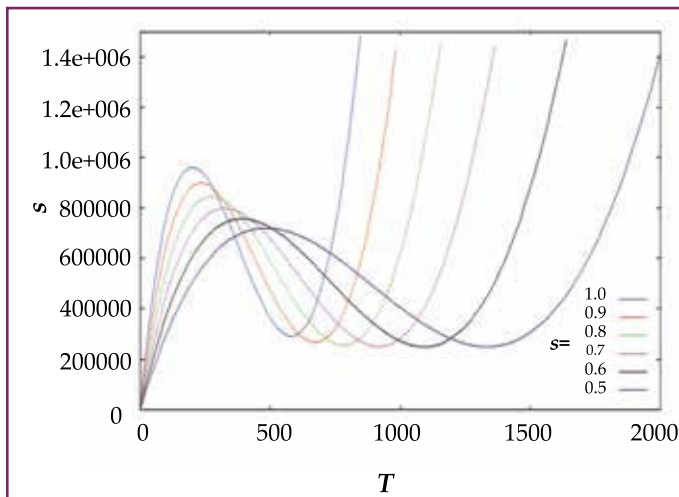


Рис.9. Графики целевой функции при различных значениях сервисного фактора

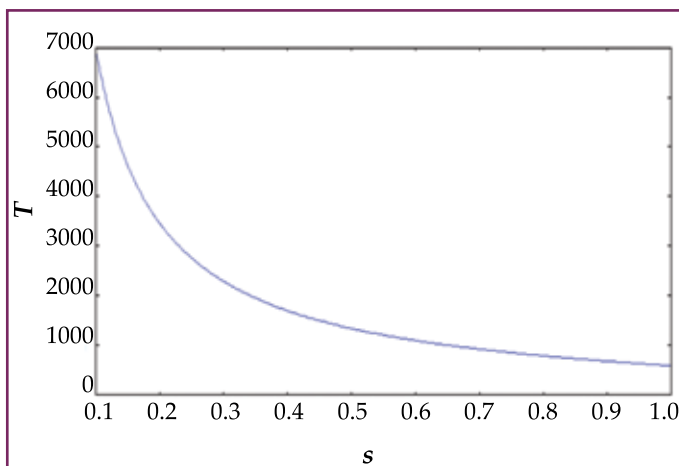


Рис.10. Полученная зависимость T-s

жения. Необходимо приравнять первую производную нулю и решить уравнение. Уравнение решается с единственным положительным корнем. Результаты расчета по полученной модели, выполненные в разработанном программном продукте для некоторых насосных штанг показаны в таблице 1, где видно существенное отличие расчетных

результатов $\left(\frac{[\sigma_{np}]_{расч}(T_a, sf)}{[\sigma_{np}]_{табл}} \right)$ от табличных $([\sigma_{np}]_{табл})$ данных по ГОСТ Р 51161-02.

Для корректировки модели введем корректирующие коэффициенты для единичного приближения последней колонки. Результат расчета после ввода поправочных коэффициентов в математиче-

скую модель показан в таблице 2.

В таблице 3 приведены результаты определения приведенных напряжений по А.С.Вирновскому для некоторых новых марок штанг [6].

Приведенное напряжение может быть рассчитано и для штанг с нетрадиционной модифицированной диаграммой Гудмана, например для насосной штанги «EL» с диаграммой (8). Вычислив по методике при $SF = 1$ получаем $[\sigma_{np}] = 201$ МПа.

В результате получена методика конвертации, позволяющая оперативно определить ограничивающее приведенное напряжение по А.С.Вирновскому для эксплуатации насосных штанг на основе статической механической характеристики [7-10].

Определение приведенного напряжения для насосных штанг новой конструкции

Как было указано во введении, максимально допустимые приведенные напряжения отдельно вычисляются для каждой марки стали, его объемной и поверхностной обработки на основе реальных длительных испытаний на различных промыслах, во время которых приведенное напряжение рассчитывалось на верхнем сечении каждой ступени по телу штанг как отношение силовой нагрузки на площадь поперечного сечения. Фактически, головка насосной штанги со сложной геометрией имеет концентрации напряжений, вычисление которых долгое время было невозможным, и несмотря на большую площадь поперечного сечения испытывает высокие поверхностные напряжения, чем по телу.

Использование установленных максимально допустимых приведенных напряжений не является логичным для других конструкций насосных штанг, так как те косвенно учитывают участки повышенного напряжения в головке. Так, имея более высокую концентрацию напряжений, колонна подвергается повышенному износу или обрывается преждевременно, тогда как более низкая концентрация напряжений использует более прочный материал, чем требуется в действительности. Кроме того, это влечет неопределенность даже при использовании стандартных штанг, так как головки насосных штанг от разных производителей могут отличаться в области квадратного сечения, что допускается ГОСТ Р 51161-02.

Наиболее наглядно это можно представить на колонне непрерывных штанг, где отсутствуют головки и резьбовые соединения, а областью незначительных концентраций напряжений

Проверка модели						Таблица 1
Сталь	Термообработка	Среда	$[\sigma_{np}]_{табл}$	T_a	$\left(\frac{[\sigma_{np}]_{расч}(T_a, sf)}{[\sigma_{np}]_{табл}} \right)$	
40	Нормализация	Некоррозионная	69	560	1.27	
20H2M	Нормализация	Некоррозионная	88	880	1.57	
20H2M	Нормализация	Среднекоррозионная с сероводородом	59	880	1.61	

Таблица 2

Проверка модели после поправки

Сталь	Термообработка	Среда	$[\sigma_{пр}]_{табл}$	T_a	$\frac{[\sigma_{пр}]_{расч}(T_a, sf)}{[\sigma_{пр}]_{табл}}$
40	Нормализация	Некоррозионная	69	560	0.87
20H2M	Нормализация	Некоррозионная	88	880	1.07
20H2M	Нормализация	Среднекоррозионная с сероводородом	59	880	1.1

Таблица 3

Расчет приведенного напряжения

Насосные штанги		Приведенное напряжение, МПа		
Марка	T	Некоррозионная среда	Коррозионная среда	Сероводородная среда
Д спец	990	105	91	67
Д супер	1050	112	97	71

является сварной стык. Если использовать приведенное напряжение для расчета колонны, то максимальное допустимое напряжение 108 МПа для среднекоррозионной среды, для стали марки 20H2M с нормализацией и последующим поверхностным упрочнением токм высокой частоты (ТВЧ), является слишком прочной и возможно использование более дешевого материала.

При помощи компьютерного моделирования в программном пакете ANSYS были вычислены напряжения, возникающие в соединительном узле стандартных насосных штанг штанговой муфтой. Во внимание брались только поверхностные напряжения контактируемые с откачиваемой средой, так как последнее понижает предел усталости и повышает износ. Предлагается понятие коэффициента штанговой концентрации напряжений (γ) как отношение максимального напряжения в головке штанги к равномерному напряжению в теле штанги (номинальное напряжение):

$$\gamma = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{ном}} \quad (14)$$

которое для стандартной штанги (γ_0) при условии пропорциональности головки штанги от номинального размера штанги постоянно и составляет 1.41, с областью концентрации на переходе ква-

дратного-круглого сечения.

Максимально допустимые приведенные напряжения для различных марок штанг, приведенные в ГОСТ для стандартной и новой конструкции, при умножении на соответствующий коэффициент γ примут действительные значения и могут применяться с точки зрения реально возникающих напряжений. Такие значения приведенных напряжений могут применяться при проектировании смешанной штанговой колонны из штанг разных конструкций.

Для проектирования штанговой колонны методом номинальных напряжений в верхнем сечении каждой ступени для штанг новой конструкции одного типа наиболее удобно использовать данные таблицы из ГОСТ произведением их на коэффициент $\gamma_0/\gamma_{нов}$, где $\gamma_{нов}$ – коэффициент штанговой концентрации напряжений для штанги новой конструкции.

Для предлагаемой штанги новой конструкции вычислено $\gamma_0/\gamma_{нов} = 1.35$, что позволяет для колонны стандартных насосных штанг построить более дешевую аналогичную из штанг новой конструкции за счет использования более дешевых марок и эксплуатировать более глубокие скважины. Сравнение максимально допустимых приведенных напряжений для стандартных насосных штанг и новых показано в таблице 4.

Выводы

1. Разработан метод вычисления предельного приведенного напряжения по А.С.Вирновскому для насосной штанги стандартной конструкции, на основе модифицированной диаграммы Гудмана.
2. Рассмотрена новая методика расчета приведенных напряжений, построенная на основе использования результатов статической механической характеристики материала штанг.
3. Расчетным методом по новой методике получены числовые значения приведенных напряжений для новых насосных штанг Очерского завода марок «Д спец» и «Д супер», которые могут быть рекомендованы для нефтепромысловой практики.
4. Предложен метод определения предельного приведенного напряжения для штанг новой конструкции.
5. Разработан кроссплатформенный программный продукт, реализующий вычисления по приведенной методике.

Таблица 4

Сравнение максимально допустимых приведенных напряжений для стандартных и новых насосных штанг

Марка стали	Вид термической обработки	Группа коррозионности продукции нефтяных скважин	Диапазон условных размеров штанговых насосов	Максимально допустимое приведенное напряжение для стандартных штанг, МПа	Максимально допустимое приведенное напряжение для штанг новой конструкции, МПа	
40	Нормализация	Некоррозионная	от 27 до 95	69	93	
	ВТМО и отпуск			88	119	
	Нормализация с последующим поверхностным упрочнением ТВЧ		от 27 до 51	188	254	
				от 57 до 95	98	132
	ВТМО и отпуск		от 27 до 51	118	159	
				от 57 до 95	98	132
20Н2М	Нормализация	Некоррозионная	от 27 до 95	88	119	
		Среднекоррозионная (с присутствием H ₂ S)		59	80	
	Нормализация с последующим поверхностным упрочнением ТВЧ	Некоррозионная	от 27 до 51	127	171	
			от 57 до 95	108	146	
		Среднекоррозионная (при отсутствии H ₂ S)	от 27 до 95	98	132	
30ХМ	Нормализация и высокий отпуск с последующим поверхностным упрочнением ТВЧ	Некоррозионная	от 27 до 51	127	171	
			от 57 до 95	108	146	
		ВТМО и отпуск	Некоррозионная	от 27 до 51	127	171
				от 57 до 95	108	146
			Среднекоррозионная	от 27 до 95	98	132
15Н3МА	Нормализация	Высокоррозионная (с присутствием H ₂ S до 6%)	от 27 до 95	118	159	
	Нормализация с последующим поверхностным упрочнением ТВЧ	Некоррозионная	от 27 до 51	167	225	
			От 57 до 95	147	198	
		Среднекоррозионная (с присутствием H ₂ S)	от 27 до 95	118	159	
15Х2НМФ	Закалка и высокий отпуск или нормализация и высокий отпуск	Некоррозионная	от 27 до 95	98	132	
		Среднекоррозионная (при отсутствии H ₂ S)		88	119	
15Х2ГМФ	Закалка и высокий отпуск или нормализация и высокий отпуск	Некоррозионная	от 27 до 95	98	132	
		Среднекоррозионная (при отсутствии H ₂ S)		88	119	
14Х3ГМЮ	Закалка и высокий отпуск или нормализация и высокий отпуск	Некоррозионная	от 27 до 95	98	132	
		Среднекоррозионная (с присутствием H ₂ S)		88	119	
АЦ28ХГН3ФТ	Отпуск	Некоррозионная	от 27 до 95	167	225	
		Среднекоррозионная		147	198	
		Высокоррозионная		118	159	

Literatura

- ГОСТ Р 51161–02. Штанги насосные, устьевые штоки и муфты к ним. М.: Госстандарт, 2003.
- К.Р.Уразаков, С.Е.Здольник, М.М.Нагуманов и др. Справочник по добыче нефти. СПб: Недра, 2012.
- APIRP 11BR. Recommended Practice for Care and Handling of Sucker Rods. 7th ed. Dallas, Texas: American Petroleum Institute, 1986.
- Г.Корн, Т.Корн. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1974.
- Ф.Гилл, У.Мюррей, М.Райт. Практическая оптимизация. М.: Мир, 1985.
- Очерский Машиностроительный Завод [электронный ресурс]. URL: <http://www.ocher.ru>
- Р.Н.Бахтизин, К.Р.Уразаков, Р.Р.Ризванов. Метод конвертации алгоритмов ограничения приведенного напряжения в насосных штангах по А.С.Вирновскому и диаграмме Гудмана //Известия Уфимского научного центра РАН. -2012. -№4. -С.7-14.
- Р.Н.Бахтизин, К.Р.Уразаков, Р.Р.Ризванов. Новый метод расчета допустимого приведенного напряжения //Нефтяное хозяйство. -2013. -№12. -С.122-124.
- Р.Н.Бахтизин, К.Р.Уразаков, Р.Р.Ризванов. Новая конструкция насосной штанги //Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». -2011. -№4. -С.66-73.
- Т.А.Хакимов, К.Р.Уразаков, Р.Р.Ризванов. Моделирование напряженного состояния элементов сборной насосной штанги //Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». -2012. -№5. -С.419-434.
- Б.Б.Круман. Глубиннонасосные штанги. М.: Недра, 1977.
- G.Takács. Sucker-rod pumping manual. Tulsa, Oklahoma: PennWell Corporation, 2003.

References

- GOST P 51161–02. Sucker rods, mouth stocks and couplings for them. Specifications. M.: Gosstandart, 2003.
- K.R.Urazakov, S.E.Zdolnik, M.M.Nagumanov et al. Oil extraction handbook. StP.: Nedra, 2012
- APIRP 11BR. Recommended Practice for Care and Handling of Sucker Rods. 7th ed. Dallas, Texas: American Petroleum Institute, 1986.
- G.Korn, T.Korn. Mathematical handbook for scientists and engineers. M.: Nauka, 1974.
- F.Gill, U.Murray, M.Wright. Practical optimization. M.: Mir, 1985.
- Ocher Machinery Plant [electronic resource]. URL: <http://www.ocher.ru>
- R.N.Bakhtizin, K.R.Urazakov, R.R.Rizvanov. Conversion method of limitation algorithms of brought stress by A.S.Virnovsky and modified Goodman diagram in sucker rods //Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre. -2012. -№4. -С.7-14.
- R.N.Bakhtizin, K.R.Urazakov, R.R.Rizvanov. New calculation method of admissible brought stress values //Oil industry. -2013. -№12. -P.122-124.
- R.N.Bakhtizin, K.R.Urazakov, R.R.Rizvanov. New sucker rod design //Electronic scientific journal «Oil and Gas Business». -2011. -№4. -P.66-73.
- R.R.Rizvanov, T.A.Khakimov, K.R.Urazakov. Modeling of stress state of composite sucker rod elements // Electronic scientific journal «Oil and Gas Business». -2012. -№5. -P.419-434.
- B.B.Kruman. Pumping rods. M.: Nedra, 1977.
- G.Takács. Sucker-rod pumping manual. Tulsa, Oklahoma: PennWell Corporation, 2003.

Analysis of calculation methods of allowable brought stress in the pump-rods

R.N.Bahtizin¹, K.R.Urazakov¹, R.R.Rizvanov¹, A.G.Komkov²
(¹Ufa State Petroleum Technological University, ²«Gazprom Neft» PJSC)

Abstract

The article contains review and analysis of sucker rod selection methods in terms of fatigue criteria as well as their association method. The selection methods are represented by the maximum allowable reduced stress by A.S. Virnovsky and the modified Goodman diagram. On the basis of described association the new calculation method of maximum allowable stress for pump rod, including rods of new constructions has been developed. Instead of long term field tests of a sucker rod pilot batch the method involves only ultimate stress as the rods materials characteristic.

Nasos ştanqlarında buraxıla bilən gətirilmiş gərginliyin hesablanması üsullarının təhlili

R.N.Bahtizin¹, K.R.Urazakov¹, R.R.Rizvanov¹, A.G.Komkov²
(¹Ufa Dövlət Neft Texniki Universitet, ²«Qazprom Neft» SC)

Xülasə

Məqalədə yorğunluq kriteriyaları əsasında nasos ştanqlarının seçimi üçün geniş yayılmış metodikaların icmalı, təhlili və onları birləşdirən metodika təqdim olunur. Seçim metodikaları maksimal buraxıla bilən A.S.Virnovskinin gətirilmiş gərginliyi və Qudmanın modifikasiya olunmuş diaqramı ilə təqdim edilmişdir. Ətraflı təsvir olunmuş birləşmə əsasında yeni konstruksiyalı ştanqlar daxil olmaqla, nasos ştanqları üçün buraxıla bilən gətirilmiş gərginliklərin yeni hesablama metodikası işlənmişdir. Nasos ştanqlarının sınaq partiyasının uzun müddətli mədən sınaqları əvəzinə metodikada hesablamlar üçün yalnız ştanq materialının texniki xarakteristikası – möhkəmlik həddi istifadə olunur.