МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
(ВНИИ)

АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
(АзНИПИнефть)

# М Е Т О Д И К А

## РАСЧЕТА НОРМ РАСХОДА ГЛУБИННОНАСОСНЫХ ШТАНГ

РД 39-1-439-80

Москва-1980

gost.e-ecolog.ru

МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

ВСЕСОЮЗНЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
(ВНИИ)

АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНЫЙ ИНСТИТУТ НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
(АзНИПИнефть)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель Министра
нефтяной промышленности

_____ А.В.Гулиханов

29 августа 1980г.

# М Е Т О Д И К А

## РАСЧЕТА НОРМ РАСХОДА ГЛУБИННОНАСОСНЫХ ШТАНГ

РД 39-I-439-80

Москва-1980

Основной целью работы является создание в отрасли методических указаний по нормам расхода насосных штанг на основе обоснованных данных параметров потока отказов (обрывов) штанг по технико-экономическому критерию минимума затрат на эксплуатацию штанг.

Настоящая методика содержит способы и методы нормирования расхода глубиннонасосных штанг в различных условиях их эксплуатации и экономических показателей с учетом нагрузок на штанги, а также конструирования штанговых колонн и оценки работы штанг.

Руководство предназначено для использования научно-исследовательскими, проектными организациями и производственными объединениями, осуществляющими проектирование и эксплуатацию штангового насосного способа добычи нефти.

При составлении методики использованы способы расчета штанговых колонн, разработанные А.М.Адониным, А.С.Вирновским, Я.А.Грузиновым.

Работа выполнена коллективом авторов ВНИИнефть в составе: Далимова Б.У., Дергунова Н.В., Каплана Л.Р., Чубанова О.В., и АзНИПИнефть в составе: Алиева Ш.Н., Джабар-Заде Г.А., Мирвердиева А.М.

# РУКОВОДЯЩИЙ ДОКУМЕНТ
# МЕТОДИКА РАСЧЕТА НОРМ РАСХОДА ГЛУБИННОНАСОСНЫХ ШТАНГ

**Вводится впервые**

---

Приказом Министерства нефтяной промышленности № 480
от 26.09.80

**Срок введения**
**с 15.II.80**

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящая методика предназначена для определения норм расхода насосных штанг при штанговой глубинно-насосной эксплуатации при планировании и организации материально-технического снабжения, учета и контроля за экономичным расходованием насосных штанг.

I.2. Основой расчета и подбора колонны штанг является дебит добываемой жидкости, глубина спуска насоса, а также параметры откачки (длина хода, число качаний, диаметр насоса) и условия эксплуатации скважин.

I.3. Конструкция ступенчатых штанговых колонн должны быть равнопрочными, при этом приведенные напряжения не должны превышать допустимого значения для данной марки стали штанг и данных условий эксплуатации.

I.4. Колонна должна иметь по возможности меньший вес с целью снижения металлоемкости штанговой установки.

I.5. При расчетах штанговых колонн необходимо учитывать потери хода плунжера от растяжения штанг, а также определять

необходимую жесткость колонны (в нижней ее части).

I.6. В ступенчатых колоннах число ступеней должно быть ограничено (не более трех).

I.7. Колонна штанг должна быть экономически рациональной, т.е. суммарные расходы на приобретение и эксплуатацию штанг должны быть минимальны.

I.8. Определение срока службы штанг и норм расхода их при эксплуатации для конкретного нефтедобывающего предприятия (объединения) проводится на основе статистических данных об обрывах штанг.

I.9. Параметры надежности определяются по статистическим данным для однотипных колонн для каждой категории скважин (с примерно равными условиями эксплуатации) в течение всего срока службы штанг. Для этого соответствующие службы предприятия (объединения) ведут полную и достоверную документацию о работе штанг, начиная со дня их спуска в скважину и кончая списанием.

I.IO. Однотипными колоннами называются колонны штанг одинаковой конструкции (диаметра) одной и той же марки стали.

## 2. КЛАССИФИКАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ШТАНГ

2.I. Для анализа статистических данных по обрывам штанг необходимо сгруппировать скважины с однотипными колоннами штанг по одинаковым условиям эксплуатации.

2.2. Категория скважины может определяться по следующим признакам:

- условный размер глубинного насоса, мм;
- глубина спуска насоса, м;
- кривизна ствола скважины, град.;
- коррозионная активность добываемой жидкости;
- обводненность, %.

2.3. Одинаковыми условиями эксплуатации являются совпадения всех перечисленных признаков. Диапазон изменения каждого признака определяется по степени его влияния на работу штанг на основе статистических данных эксплуатации.

2.3.I. Одной группой условного размера глубинного насоса следует считать каждый условный размер (диаметр) насоса по ОСТу 26-02 I424-76."Насосы скважинные штанговые"; однако разрешается группировать их на группы: 28, 32, 38, 43 мм и 55, 68, 82, 93 мм*.

2.3.2. Одной группой глубины спуска насоса рекомендуется считать ее среднюю глубину с диапазоном отклонения от средней величины в пределах ±20%.

2.3.3. В одну группу по кривизне ствола скважины рекомендуется включать скважины с кривизной до $5^0$ (вертикальные); далее через каждые 5-I0$^0$

*условный размер (диаметр) глубинного насоса в тексте может быть различным в зависимости от исходных документов.

Кривизна ствола скважины определяется углом между прямой, соединяющей точку забоя с точкой устья и вертикальной линией.

2.3.4. Для скважин, не содержащих в продукции $H_2S$ и $CO_2$, при определении коррозионной активности рекомендуется использовать диаграмму по обводненности и минерализации (например, А и Б по рис. П.3).

2.3.5. Одной группой по обводненности рекомендуется считать диапазон её изменения в 0 - 30; 30 - 70; 70 - I00% (можно 0 - 50; 50 - I00%).

## 3. АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ШТАНГ

3.I. Весь фонд глубиннонасосных скважин распределяется по типам колонн штанг в них (по I.IO) и по условиям эксплуатации (по 2.2).

Однотипные колонны с равными условиями эксплуатации определяются в одну категорию скважин для анализа.

3.2. В общем случае в процессе эксплуатации скважин некоторые из признаков (п. 2.2) могут изменяться до появления отказа (обрыва) - колонна переходит из категории "С" в категорию "$\mathcal{D}$".

Такую скважину (колонну) следует (предварительно) исключить из статистического анализа.

После проведения анализа по категориям (без исключенных скважин) определяется средний по ним нормативный срок службы штанг, порядок определения которого описан ниже.

Если исключенные скважины находились не менее 2/3 времени (наработки) от нормативного срока службы штанг без изменения признака, их рассматривают в соответствующей категории. При этом статистический анализ по смежным категориям "С" и "$\mathcal{D}$" повторяется и результаты соответствующим образом корректируются.

Пример. Имеется группа однотипных колонн категории "С" в количестве I20. Через 3 млн. циклов в 4 скважинах произошло изменение одного признака, вследствие увеличения диаметра насоса с $Д_1$ на $Д_2$ - скважина перешла в категорию "$\mathcal{D}$", а еще через 4 млн. циклов по той же причине 6 скважин перешли в ту же категорию. В категории "$\mathcal{D}$" ранее было 205 колонн. Предварительный

статистический анализ по двум категориям, исходя из количеств колонн I20-(4+6) = II0 (катег. "С") и 205 (категория "D") показал, что колонну следует сменить через 20 млн. циклов. Так как максимальный срок перехода колонн из одной категории в другую (7 млн. циклов) меньше, чем вдвое, расчетного срока смены колонн (20 млн. циклов), то перешедшие I0 колонн (4+6) из категории "С" в "D" должны быть полностью отнесены к последней. При повторном анализе в категории "D" должно быть 205+I0=2I5 колонн.

Повторный анализ по категории "С", очевидно, не производится. Второй вариант расчета (равнозначный с первым) заключается в том, что независимо от перехода группы скважин из категории "С" в категорию "D" расчет по первой производится по первоначальному числу колонн:

категория "С" - I20 колонн;

категория "D" - 205 колонн.

Расчет производится после соответствующего статистического анализа, а именно в данном примере по откорректированным количествам колонн:

категория "С" - II0 колонн;

категория "D" - 2I5 колонн.

3.3. По имеющейся документации для данной категории анализа (не менее 25 отказов или 5-6 лет эксплуатации) составляется таблица или строится график "параметр потока отказов - наработка". Исходные данные этого графика (число скважин и число отказов) вносятся в табл. П.4.

3.4. Наработку штанг до отказа необходимо определять в млн. циклах работы. При отсутствии данных о среднем числе хо-

дов (за прошедшее время) для этой группы анализа за 1 млн. циклов рекомендуется принимать I квартал года работы штанг (из расчета - 8 кач/мин.).

3.5. Параметр потока отказов "$\omega(t)$" можно определять как отношение числа отказов однотипных колонн "$n$", ко всему фонду колонн "$N$", взятых в данный момент времени для анализа по рассматриваемой категории скважин за единицу времени "$\Delta t$" (I млн. циклов, квартал)

$$\omega(t) = \frac{n}{\Delta t \cdot N} \qquad (I)$$

При этом число отказавших штанг будет равно

$$n = \omega(t) \cdot \Delta t \cdot N \qquad (2)$$

Общая сумма отказавших колонн будет равна (по объединению)

$$\sum_{i=1}^{\nu} n_i = \sum_{i=1}^{\nu} \omega(t)_i \cdot N_i \cdot \Delta t, \qquad (3)$$

где: $\nu$ - число категорий.

Типичный график для условий Башкирии показан на рис. 2.

Анализ указанного графика показывает, что наблюдаются три периода эксплуатации штанг: I) приработка, 2) нормальная эксплуатация, 3) наступление усталости (коррозионной). Из графика следует, что предельным состоянием работоспособности штанг следует считать наступление усталости, когда число отказов начинает резко возрастать.

Дальнейшая эксплуатация такой колонны штанг становится экономически нецелесообразной и она подлежит списанию.

Для приведенного случая такой величиной предельного состояния является II-I2 млн.циклов (или около 3-х лет работы).

3.6. При статистическом анализе отказом следует считать нарушение целостности (обрыв) штанги в любом месте (в теле или резьбовом соединении), в т.ч. по причине скрытого заводского брака. Отвороты муфт, в большинстве случаев, являются результатом недостаточной затяжки при свинчивании штанг и, следовательно, не характеризует качество последних. Отвороты не включаются в указанный выше анализ, но служат основанием для проведения соответствующих оргтехмероприятий для их устранения.

## 4. НОРМА РАСХОДА ШТАНГ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

4.I. Норма расхода штанг при их эксплуатации складывается из двух составляющих:

- на текущую замену оборвавшихся штанг;
- на полную замену изношенных штанговых колонн.

4.2. Норма расхода штанг устанавливается в штуках на скважину (в % от наличного парка штанг).

4.3. Основой для определения нормы является график или таблица "параметра потока отказов" однотипных колонн по категориям скважины (п. 2.2) с учетом экономических показателей.

4.4. Норма расхода штанг на планируемый год определяется по формуле:

$$\rho = \left[ \omega(t)_{ср} + \frac{K}{T_{сл}} \right] T_{пл} \qquad (4)$$

или

$$\rho' = \left[ \frac{\omega(t)_{ср} \cdot T_{пл}}{K} + \frac{T_{пл}}{T_{сл}} \right] \cdot 100\% \quad , \qquad (4')$$

где $\rho(\rho')$ – норма расхода, шт./скв. в год (в % от наличного парка);

$\omega(t)_{ср}$ – средний параметр потока отказов за анализируемый период, обр/скв. I млн. циклов;

$K$ – среднее число штанг в колонне данной категории, шт;

$T_{сл}$ – срок службы штанг при минимуме затрат на их эксплуатацию, млн. циклов;

$T_{пл}$ – планируемое число циклов работы, млн. циклов в год.

$$T_{пл} = 1440 \cdot n_{ср} \cdot K_э \cdot 365 \qquad (5)$$

где $n_{ср}$ – среднее число кач/мин для планируемого года;

$K_э$ – планируемый коэффициент эксплуатации скважин данной категории.

В формуле (4) первое слагаемое представляет собой текущую замену, а второе – полную замену колонны.

4.4.I. Потребности предприятия (объединения) в штангах П на планируемый год определяется числом скважин $N_{скв}$ и нормой расхода $P$

$$П = P \cdot N_{скв}$$

4.5. Критерием при определении норм расхода штанг является минимум расходов на эксплуатацию, которые складываются из стоимости колонны штанг и стоимости восстановления (подземного ремонта).

4.6. Порядок определения норм расхода состоит из ряда последовательных операций, которые покажем на примере.

4.6.I. Исходные данные для анализа работы штанг приведены в табл. П.3.

5.6.2. Составляется таблица (см. табл. П.4) для определения минимума расходов для эксплуатации штанг. По таблице П.4 определяется минимальная стоимость эксплуатации штанг $C_{эш\,min}$ и соответствующая ей наработка до отказа.

$$C_{эш} = \frac{C_{ш}}{T} + C_{рем} \text{ —— } C_{эш\,min} \qquad (6)$$

$$C_{рем} = \omega(t)\ C_{i\,рем} \quad , \qquad (7)$$

где $C_{эш}$ – стоимость эксплуатации штанг, руб/млн.циклов;

$C_{ш}$ – стоимость колонны штанг, руб.;

$C_{рем}$ – затраты на I подземный ремонт, руб.;

$T$ – принимаемый срок службы штанг (T=I...3... млн.циклов).

Значение "наработки до отказа" при $C_{эксп\,min}$ принимается за нормативный срок службы штанг.

Если четко выраженное значение $C_{эксп\,min}$ отсутствует, то за срок службы штанг принимается 24 млн. циклов (или 6 л т работы). Одновременно определяется средний "параметр потока отказов" за все время анализируемого периода.

4.6.3. Аналогично таблице П.4, можно построить график (см. рис. 4.I). Наносится линия стоимости штанг $C_{шт}$ в зависимости от принимаемого срока службы штанг Т (Т-I,2,3...млн.ц). далее на базе статистических данных $\omega(t) = f(T)$ наносится линия расходов на подземный ремонт $C_{рем}$.

Значение величин по этим кривым суммируются и строится линия стоимости эксплуатации штанг $C_{экс}$, по которой определяется минимум. Наработка при этом минимуме принимается за нормативный срок службы штанг.

4.6.4. Данные по табл. П.3 и П.4 сводятся в табл. П.5 с учетом расчетной формулы (4). Норма расхода штанг равна (для категории I)

$$\rho \left[0{,}19 + \frac{175}{15}\right] \cdot 4{,}5 = 53{,}36 \text{ шт/скв год}$$

$$\rho' = \left[\frac{0{,}19 \cdot 4{,}5}{175} + \frac{4{,}5}{15}\right] \cdot 100\,\% = 30{,}5\,\%$$

4.7. Потребность предприятия (объединения) в штангах будет равна (для категории I)

$$П = N_{скв} \cdot \rho = 53{,}36 \cdot 135 = 7204 \text{ шт. в год.}$$

Из них на текущую замену необходимо

$$P = \omega(t)_{ср} \cdot T_{год} \cdot N_{скв} = 0{,}19 \cdot 4{,}5 \cdot 135 = 116 \text{ шт. в год}$$

и на полную замену

$$П_г = \frac{К}{Т_{с.с}} \cdot Т_{п.з} \cdot N_{п.с} = \frac{125}{15} \cdot \frac{4}{4} \cdot 45 \cdot 135 = 9038 \text{ шт. в год.}$$

4.6. Общая потребность предприятия (объединения) в штангах на планируемый год равна сумме потребностей по всем категориям скважин.

4.9. Потребность на штанги определенной марки стали штанг и их диаметры определяются в зависимости от группы скважин и конструкций колонн штанг.

## 5. РАСЧЕТ НОРМ РАСХОДА НАСОСНЫХ ШТАНГ НА ОБОРУДОВАНИЕ СКВАЖИН, ВВОДИМЫХ В ЭКСПЛУАТАЦИЮ ИЗ БУРЕНИЯ, БЕЗДЕЙСТВИЯ И ПЕРЕВОДИМЫХ НА ГЛУБИННО-НАСОСНЫЙ СПОСОБ ЭКСПЛУАТАЦИИ С ДРУГИХ СПОСОБОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Норма расхода измеряется в штуках на скважину. Расчет норм расхода на планируемый год производится на основании данных о количестве оборудуемых скважин и средней глубине спуска штанговых насосов по формуле (см. табл. П.6):

$$H_{обор} = \frac{\mathcal{L}_1 n_1 + \mathcal{L}_2 \cdot n_2 + \mathcal{L}_3 \cdot n_3}{(n_1 + n_2 + n_3) \cdot l} \qquad (8)$$

где $H_{обор}$ - норма расхода штанг, шт/скв.;

$\mathcal{L}_1$ проектируемая средняя глубина подвески штангового насоса для скважин, вводимых из бурения, м;

$\mathcal{L}_2$ - средняя глубина спуска штангового насоса для скважин, вводимых из бездействия, м;

$\mathcal{L}_3$ - средняя глубина спуска насоса для скважин, переводимых на глубиннонасосный способ эксплуатации с других способов эксплуатации, м;

$n_1$, $n_2$ и $n_3$ - количество скважин, вводимых соответственно из бурения, бездействия и переводимых на эксплуатацию штанговыми насосами;

$l$ - номинальная длина штанги, м.

Средняя глубина спуска штанговых насосов определяется исходя из действующего парка штанг (в метрах) и количества скважин, оборудованных штанговыми насосами, на конец отчетного года (дифференцированно по эксплуатационным объектам).

Ответственный исполнитель, с.н.с. Далимов В.У.

Зам.директора ВНИИ Максимов В.П.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

I. А.Н. Адонин. Добыча нефти штанговыми насосами. М., "Недра", I979.

2. А.С. Вирновский. Теория и практика глубиннонасосной добычи нефти. Труды ВНИИ. М., вып. УП, I97I.

3. Инструкция по эксплуатации насосных штанг. М., "Недра", I968.

4. Я.А. Грузинов. Методика расчета штанговых колонн на выносливость. Баку, I965.

5. Справочная книга по добыче нефти. М., "Недра", I974.

6. Методические указания по разработке норм расхода насосных штанг и насосов глубинных штанговых на оборудование скважин. М., ВНИИОЭНГ, 1968.

7. И.С. Степанова. Определение потерь напора в клапанах глубинного насоса. Нефтепромысловое дело, I969, № I.

8. Таблицы подбора конструкции колонны штанг. ЦНИЛ "Башнефть", I969.

9. Руководство к использованию "Прибора для расчетов штанговой глубинно-насосной эксплуатации", I976.

# П Р И Л О Ж Е Н И Я

## I. РАСЧЕТ И ПОДБОР КОНСТРУКЦИИ ШТАНГОВОЙ КОЛОННЫ

I.I. Основными факторами, характеризующими условия работы насосных штанг, являются:

- характер и величина нагрузки, действующей на штанговую колонну;
- величина напряжений, возникающих в сечениях колонны;
- внешняя среда, в которой работают штанги.

Повторно переменная нагрузка с несимметричным циклом изменения требует расчета штанговой колонны не на статическую, а на циклическую прочность.

Учитывая эти соображения, напряжения в штангах определяются по "приведенному" напряжению:

$$\sigma_{пр} = \sqrt{\sigma_{max} \cdot \sigma_a}$$

$$\sigma_{max} = \frac{P_{max}}{f_m} \quad ,$$

$$\sigma_a = \frac{P_{max} - P_{min}}{2}$$

где: $\sigma_{max}$ - максимальное напряжение, кгс/мм$^2$;

$\sigma_a$ - амплитуда напряжения, кгс/мм$^2$.

Максимальная ($P_{max}$) и минимальная ($P_{min}$) нагрузка определяются по формулам А.С. Вирновского [2] или по упрощенным формулам А.Н. Адонина [1]. Полученная величина $\sigma_{пр}$ должна быть меньше или равна допускаемому "приведенному" напряжению для штанг данной марки стали [5].

Допускаемые "приведенные" напряжения и область применения штанг приведены в табл. П.I.

Приводим расчет конструкции штанговой колонны. Используем для этого упрощенную формулу А.Н. Адонина.

$$P_{max} = P'_{ж} + P'_{ш} + 0{,}011\frac{D}{d_{ш}} \cdot n \cdot P_{ш}\sqrt{\psi S_0 - \lambda_{ш}} + 100 \qquad (I)$$

$$P_{min} = P'_{ж} - 0{,}011\frac{D}{d_{ш}} \cdot n \cdot P_{ш}\sqrt{\psi S_0 - \lambda_{ш}} - 100 \qquad (2)$$

$$P'_{ж} = f_{пл} \cdot \rho \cdot H; \quad \lambda_{ш} = \frac{P'_{ж} \cdot l}{E \cdot f_{ш}}; \quad \psi = \frac{f_T}{f_T + f_{ш}}$$

где: $P'_{ж}$ – вес столба жидкости высотой от динамического уровня до устья скважин, кгс;

$f_{пл}$ – площадь сечения плунжера, $м^2$;

$\rho$ – плотность откачиваемой жидкости, $кг/м^3$;

$H$ – высота подъема жидкости, м;

$P'_{ш}$ – вес колонны штанг в жидкости, кгс;

$P_{ш}$ – вес колонны штанг в воздухе, кгс;

$D$, $d_{ш}$ – диаметры насоса и штанг, мм;

$n$ – число качаний в минуту;

$S_0$ – длина хода точки подвеса штанг, м;

$\lambda_{ш}$ – удлинение штанг от веса столба жидкости; м;

$E$ – модуль упругости для стали, равный $2{,}I \cdot I0^6$ кгс/$см^2$;

$f_ш$ – площадь сечения штанг, $мм^2$;

$l$ – глубина подвески штанг, м.

Если расчет ведется для ступенчатой колонны, то вместо $f_{ш}$ нужно брать $f_{ш\,ср}$

$$f_{ш\,ср} = \Sigma_1 f_{(ш)_1} + \Sigma_2 f_{(ш)_2} + \ldots + \Sigma_n f_{(ш)_n}$$

где: $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_n$ - доли ступеней; $\varepsilon_1+\varepsilon_2+\ldots+\varepsilon_n=1$

$f_{(ш)_1}, f_{(ш)_2}$ - площади сечений штанг.

Кроме этого, в формулах (I) и (2) вместо $d_ш$ надо подставлять

$$d_ф = \sqrt{\frac{4f_{ш}\varphi}{\pi}} \qquad (3)$$

Пример: Насос диаметром Д-32 мм опущен на штангах диаметром I9 мм на глубину $L$ = I402 м на трубах диаметром 73 х 5,5. Высота подъема жидкости H-I375 м; длина хода $S$ - I,80 м; число качаний в мин. $n$ = 6,2; жидкость - дегазированная нефть плотностью $\rho$ - 900 кг/м$^3$ (без коррозионных признаков)

$$P'_ж = F_н \rho H = 0{,}000804 \cdot 900 \cdot I375 \approx I000 \text{кгс}$$

$$P'_ш = q'L = 2{,}II \cdot I402 = 2960 \text{ кгс}$$

( $q'$ - вес I м штанги в жидкости)

$$\lambda_ш = \frac{P'_ж L}{E \cdot f_ш} = \frac{I000 \cdot I402}{2{,}I \cdot I0^6 \cdot 2{,}84} = 0{,}236 \text{ м}$$

$$\psi = \frac{f_т}{f_т + f_ш} = \frac{II{,}7}{II{,}7+2{,}84} = 0{,}8; \quad P_ш = qL = 2{,}39 \cdot I402 = 3340 \text{ кгс}$$

( $q$ - вес штанги в воздухе)

$$P_{max} = I00 + 2960 + 0{,}II \cdot \frac{32}{I9} \cdot 6{,}2\sqrt{0{,}8 \cdot I{,}8 - 0{,}236} \cdot 3340 + I00 = 4482 \text{ кгс}$$

$$P_{min} = 2960 - 0{,}0II \cdot \frac{32}{I9} 6{,}2\sqrt{0{,}8 \cdot I{,}8 - 0{,}236} \cdot 3340 - I00 = 2425 \text{ кгс}$$

$$\sigma_{max} = \frac{4482}{284} = I5{,}8 \text{ кгс/мм}^2; \quad \sigma_a = \frac{4482 - 2425}{2 \cdot 284} = 3.6 \text{ кгс/мм}^2$$

$$\sigma_{пр} = \sqrt{I5{,}8 \cdot 3{,}6} = 7{,}5 \text{ кгс/мм}^2$$

Следовательно, выбираем (см. табл. П.I) колонну штанг с маркой стали 20Н2М. Число штанг $\approx$ I75 шт. Следует предусмот-

реть применение "тяжелого" низа, т.е. штанг диаметром 25 мм (I") [5].

I.2. Кроме расчета по приведенным напряжениям, существует метод подбора конструкции штанговой колонны по номограмме Я.А. Грузинова [4], [5], на которой по оси обсцисс отложены глубины спуска насоса, а по оси ординат значения приведенных напряжений (см.рис.I).

Номограмма состоит из трех систем точек. Система I представляет собой совокупность сочетаний всех применяющихся диаметров насосов (28, 32, 38, 44, 56, 70, 95 мм) и штанг (I6, I9, 22 и 25 мм). Последние отмечаются сверху вниз.

Вместе с начальной точкой номограммы 0 эта система позволяет определить начальные ординаты $\sigma_{пр}$

Система II в левой части выражает сочетания чисел качаний (6, 8, I0, I2, I4, I6 и I8) и длин ходов станка-качалки $S_{с.к}$ (0,45, 0,60, 0,90, I,20, I,50, I80, 2,40, 3,0 м). Вместе с точкой 2500 (на линии абсцисс) эта система позволяет определить углы наклона графиков $\delta_{пр}$ к оси абсцисс.

Система III является вспомогательной для расчета ступенчатых колонн. Расстояния между линиями этой системы и осью ординат выражают собой величины снижения приведенного напряжения при переходе от ступени меньшего диаметра к ступени большего диаметра.

Порядок пользования номограммой покажем на конкретных примерах.

Пример 1. Определить значение "приведенного" напряжения $\sigma_{пр}$ в точке подвеса штанг при следующих параметрах: глубина спуска насоса $L$ = I000 м, диаметр плунжера насоса Д = 44 мм, число ходов в минуту $n$ = I2, длина хода полированного штока

$S_o$ = I,8 м, ступени колонны: $\ell_1$ = 700 м, $\ell_2$ = 300 м, диаметр ступеней колонны $d_1$ = I9 м , $d_2$ = 22 мм.

Решение: Соединяем начальные точки номограммы 0 и 2500 соответственно с точкой I9, находящейся на пунктирной линии 43 системы I, и с точкой, образованной пересечением линий I2 и I,80 системы II. Через точку I000 на оси абсцисс проводим вертикальную прямую до пересечения её с прямой 0–I9 в точке А.

Через точку А проводим прямую, параллельную линии 2500 (I2–I,80), до пересечения в точке е с перпендикуляром, восстановленным к оси абсцисс через лежащие на ней точку 300. Из точки е опускается по вертикали вниз до точки Д на отрезок, равный на этой высоте отрезку $e'd'$, между осью ординат и переводной линией 0–(I9–22) системы Ш.

Через точку Д проводим прямую ДВ, параллельную линии 2500 (I2–I,80), до пересечения с осью ординат в точке В.

Ордината ОВ будет выражать собой приведенное напряжение в точке подвеса штанг для данной колонны, равное 6,30 кгс/мм$^2$.

Следует, однако, учитывать, что построена эта номограмма по расчетным нагрузкам по приближенным формулам элементарной теории глубинного насоса, вследствие чего абсолютные величины "приведенных" напряжений, получаемые при решении задач по указанной номограмме, могут существенно отличаться от действительных значений.

Степень отличия зависит от параметров установки, диаметра штанг и т.д. Для обычно встречающихся на практике случаев напряжения, рассчитанных по номограмме, оказываются заниженными на 2–3 кгс/мм$^2$ по сравнению с фактическими. Причем для штанговых колонн, работающих с малыми диаметрами глубинных насосов, эта разница весьма незначительная. С увеличением диаметров насосов рас-

тет и разница. Поэтому в рассмотренном примере истинное приведенное выражение будет примерно 8 кгс/мм$^2$.

Пример 2. Определить число и размеры ступеней колонны штанг при следующих параметрах: максимально допустимое значение $\sigma_{np}$ = I2 кгс/мм$^2$, что соответствует, приближенно, 9 кгс/мм$^2$ на номограмме; диаметр насоса Д = 38 мм, глубина спуска насоса $\mathit{l}$ = I920 м, число ходов в минуту $n$ = I2, длина хода $S_o$ = I,8 м.

Решение: Выбираем в качестве первой (нижней) ступени колонны размер I9 мм, соединяем начальные точки номограммы 0 и 2500 соответственно с точкой I9 мм, находящейся на пунктирной линии 38 системы I, и точкой I2-I,80 системы II прямыми линиями.

Через точку а пересечения линий 0-I9 с вертикалью I920 - а проводим прямую, параллельную линии 2500-(I2-I,80), до пересечения её в точке С с горизонталью 9. Из этой точки спускаемся вниз на отрезок СД, равный на этой высоте отрезку между переводной линией 0-(I9+22) и осью ординат. Через нижний конец отрезка $cd$ снова проводим прямую, параллельную линии 2500-(I2+I,80) до пересечения в точке С" с горизонталью 9. Продолжая аналогичное построение до пересечения линий $fb$ с осью ординат, получим число ступеней, равное 3, их длины: $\mathit{l}_1$ = I920-II00-820 м, $\mathit{l}_2$ =II00-530=570 м, $\mathit{l}_3$ = 530 м.

I.3. Существует способ подбора штанговых колонн по таблицам. Следует учесть, что таблицы составлены для средних режимов откачки ( $S_o$ - I,8 м, $n$ - I2 качаний в мин.) [5]. Образец такой таблицы показан на табл.п. [I].

I.4. Можно подбирать колонны штанг по расчетам с помощью ЭВМ по специальной программе для конкретных месторождений, как

это сделано для условий Башкирии [8].

Этот способ позволяет учесть более полно требования к подбору штанг.

I.5. Наиболее достоверной информацией является определение нагрузок на штанги по фактической динамограмме работы глубинного насоса, т.е. по-существу скорректировать выбранную конструкцию колонн штанг при ближайшем подземном ремонте скважин.

I.6. В случае откачки вязких жидкостей и эмульсии следует учитывать гидравлические сопротивления в колоннах глубинного насоса, т.к. это влияет на продольный изгиб штанг в нижней части колонны [7].

I.7. Для удобного и быстрого определения необходимых параметров штанговой глубинно-насосной эксплуатации в промысловых условиях В.Ф.Троицким (АзНИПИнефть, Гипровостокнефть) составлен и разработан прибор - номографическое устройство,с помощью которого можно производить выбор равнопрочных штанговых колонн [9].

I.8. Документация, транспортировка, хранение и эксплуатация штанг определяется "Инструкцией по эксплуатации насосных штанг", М., "Недра", I968г.

Табл.П.I

Выписка из проекта ГОСТ,а 400-202
"Штанги насосные и муфты к ним"

| Показатели штанг | | Область применения штанг | | Допускаемое приведенное напряжение в штангах, кгс/мм$^2$, не более |
|---|---|---|---|---|
| Марка стали | Вид термической обработки | Условия эксплуатации по коррозионности продукции ск. | Диаметр скважинных насосов, мм | |
| 40 | Нормализация | | от 28 до 95 | 7 |
| | Нормализация с последующим поверхностным упрочнением нагревом ТВЧ | Некоррозионные условия. | от 28 до 43 | I2 |
| | | | от 55 до 95 | I0 |
| | Нормализация | Некоррозионные условия | от 28 до 95 | 9 |
| | | Коррозионные условия (с влиянием $H_2S$) | | |
| 20Н2М | Нормализация с последующим поверхностным упрочнением нагревом ТВЧ | Некоррозионные условия | от 28 до 43 | I3 |
| | | | от 55 до 95 | II |
| | | Коррозионные условия (без влияния $H_2S$) | от 28 до 95 | I0 |
| | Объемная закалка и высокий отпуск (сорбитизация) | Некоррозионные условия | от 28 до 95 | I0 |
| | | Коррозионные условия | от 28 до 95 | 7 |
| 30ХМА | Нормализация и высокий отпуск с последующим поверхностным упрочнением нагревом ТВЧ | Некоррозионные условия | от 28 до 43 | I3 |
| | | | от 55 до 95 | II |
| | | Коррозионные условия | от 28 до 95 | 9 |
| I5Н3МА | Нормализация с последующим поверхностным упрочнением нагревом ТВЧ | Некоррозионные условия | от 28 до 43 | I7 |
| | | | от 55 до 95 | I5 |
| | | Коррозионные условия (с влиянием $H_2S$) | от 28 до 95 | I2 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| I5X2HMФ | Закалка и высокий отпуск или нормализация и высокий отпуск. | Некоррозионные условия | от 28 до 95 | I0 |
| | | Коррозионные условия (без влияния $H_2S$) | от 28 до 95 | 9 |

Таблица П.2.

Рекомендуемые глубины спуска насосов на углеродистых штангах
(при значении $\sqrt{\sigma_{max} \cdot \sigma_a}$ = 8 кгс/мм$^2$)

| Конструкция | Диаметр штанг, мм | Диаметр глубинных насосов, мм | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 28 | 32 | 38 | 44 | 56 | 70 |
| Одноступенчатые | I6 | II50 | I020 | 860 | 720 | - | - |
| | I9 | I300 | II70 | I000 | 860 | 650 | - |
| | 22 | - | - | - | - | 790 | 590 |
| | 25 | - | - | - | - | - | - |
| Двухступенчатые | I9/I6 | (34/66) | (38/62) | (45/55) | (55/45) | - | - |
| | | I480 | I3I0 | II00 | 920 | - | - |
| | 22/I9 | (28/72) | (3I/69) | (36/64) | (42/58) | (55/45, | |
| | | I620 | I460 | I260 | I060 | 820 | - |
| | 25/22 | - | - | - | - | (42/58) | (56/44) |
| | | - | - | - | - | 960 | 720 |

Примечание: В скобках указана дробь: в числителе - длина ступеней колонны в %; в знаменателе - общая глубина спуска.

Таблица II.3.

Исходные данные для анализа работы штанг

| Категория скважин | Тип колонны | | Условия эксплуатации | | | | | Планируемые показатели работы шт. | | | | | Экономич. показатели | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Марка стали штанг | Конструкция колонны: Д, мм / толщина стенки, мм | Диаметр насоса, мм | Глубина спуска насоса, м | Кривизна скважины, (град) | Обводненность, % | Минерализация, мг/л (наличие $H_2S$) | Число скважин | Сред. число штанг в одной скважине | Средн. число качаний в минуту | Коэф. эксплуатации | Наработка млн. циклов | Стоимость колонны штанг, руб. | Стоимость одного подземного ремонта, руб. |
| I | 20Н2М | 22/I9 (3I/69) | 32 | I400 | I5 | 65 | - | I35 | I75 | 9 | 0,95 | 4,5 | 2400 | 600 |

Таблица П.4.

Исходные данные для определения срока службы штанг
(по категории I)

| Годы | Наработка млн. циклов | Число скважин | Число отказов | Параметр потока отказов $\omega(\tau)$ | Стоимость колонны штанг, руб. | Стоимость ремонта, руб. | Стоимость эксплуатации, руб. | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| I974 | I | I00 | I5 | 0,I5 | 2400 | 90 | 2490 | |
| | 2 | I03 | I5 | 0,I4 | I200 | 84 | I284 | |
| | 3 | I0I | I4 | 0,I3 | 800 | 78 | 878 | |
| | 4 | I05 | I3 | 0,I2 | 600 | 72 | 672 | |
| I975 | 5 | I07 | I3 | 0,I2 | 480 | 72 | 552 | |
| | 6 | I03 | I3 | 0,I2 | 400 | 72 | 472 | |
| | 7 | I08 | I3 | 0,I2 | 343 | 72 | 4I5 | |
| | 8 | I08 | I3 | 0,I2 | 300 | 72 | 372 | |
| I976 | 9 | II0 | I4 | 0,I2 | 266 | 72 | 338 | |
| | I0 | I09 | I4 | 0,I2 | 240 | 72 | 3I2 | |
| | II | II4 | I5 | 0,I3 | 2I8 | 78 | 296 | |
| | I2 | II5 | I5 | 0,I3 | 200 | 78 | 278 | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I977 | I3 | II6 | I7 | 0,I4 | I84 | 84 | 268 | |
| | I4 | II6 | I8 | 0,I5 | I7I | 90 | 26I | |
| | I5 | II7 | I9 | 0,I6 | I60 | 96 | 256 | |
| | I6 | II5 | 2I | 0,I8 | I50 | I08 | 258 | |
| I978 | I7 | II8 | 24 | 0,20 | I4I | I20 | 26I | |
| | I8 | I20 | 30 | 0,25 | I33 | I50 | 283 | |
| | I9 | I20 | 36 | 0,30 | I30 | I80 | 3I0 | |
| | 20 | I24 | 50 | 0,40 | I20 | 240 | 360 | |

Табл. П.5.

Расчетные данные норм расхода и потребностей
в штангах по объединению. . . . . на I9...год

| Категория скважин | Параметр потока отказов (сред.) отк/скв. I млн. цикл. | Минимальная стоимость эксплуатации, руб. | Наработка при мин. экспл. затрат, млн.цикл | Норма расхода штанг | | Потребность на полную замену, шт. | Потребн. на текущую замену, шт. | Общ. потребн. шт. | в том числе штанги диаметром, мм | | | | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | шт. скв. | % от наличия парка | | | | I6 | I9 | 22 | 25 | |
| I | 0,I9 | 256 | I5 | 53,36 | 30,5 | 7088 | II6 | 7204 | - | 496I | 2233 | - | |

Табл.П.6.

# Р А С Ч Е Т

## норм расхода штанг на оборудование скважин

| Средняя глубина спуска насоса, м | | | Среднее число скважин | | | Норма расхода штанг, шт./скв. | Общая потребн., шт. | В том числе штанги диаметром, мм | | | | Примечание |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| из бурения м | из действ. и $\ell_1$ | переводимых м $\ell_3$ | из бурения $n_1$ | из действ. $n_2$ | переводимых $n_3$ | Нобор. | | I6 | I9 | 22 | 25 | |
| I000 | I200 | 800 | I8 | 28 | I2 | I3I,9 | 7650 | | 53I9 | 233I | | |

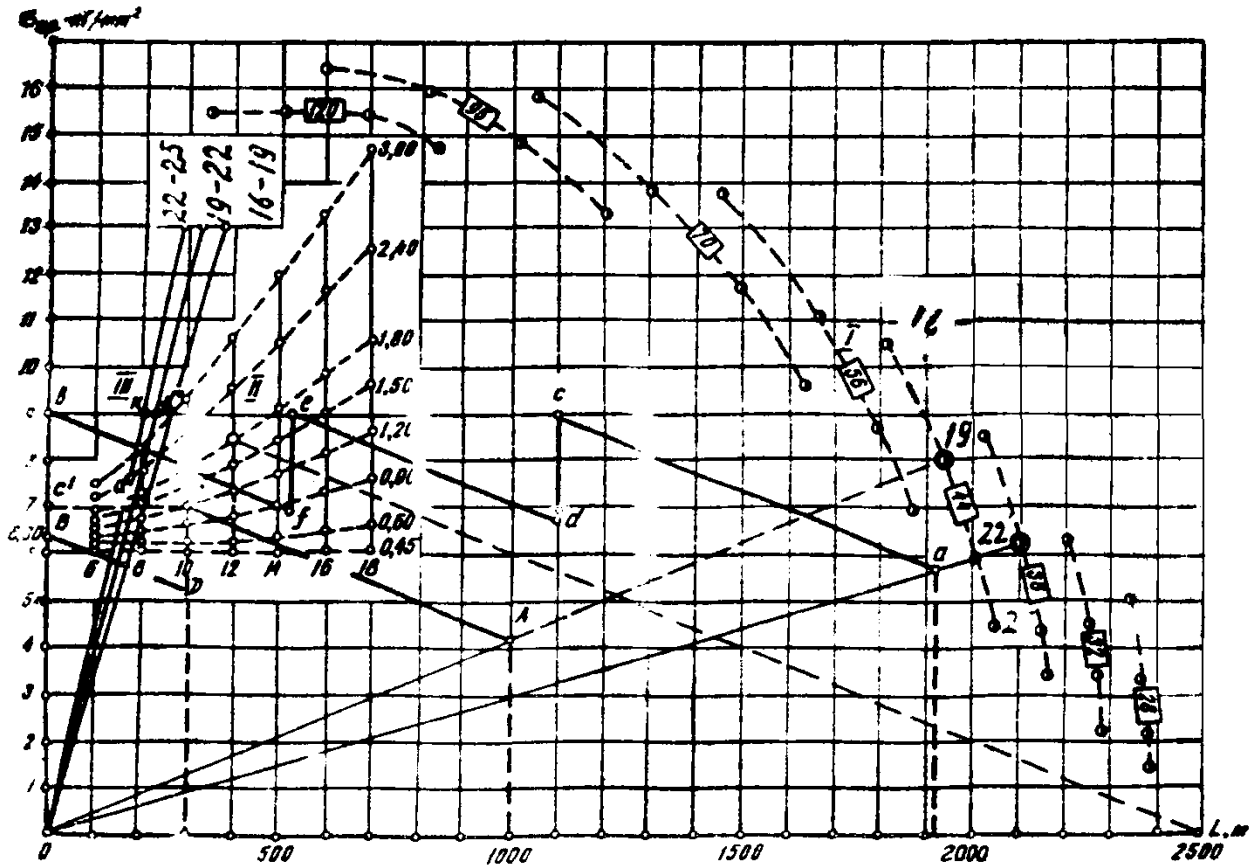


Рис. 1. Номограмма для определения конструкции штанговых колонн на глубину до 2500 м (к примерам 1 и 2).

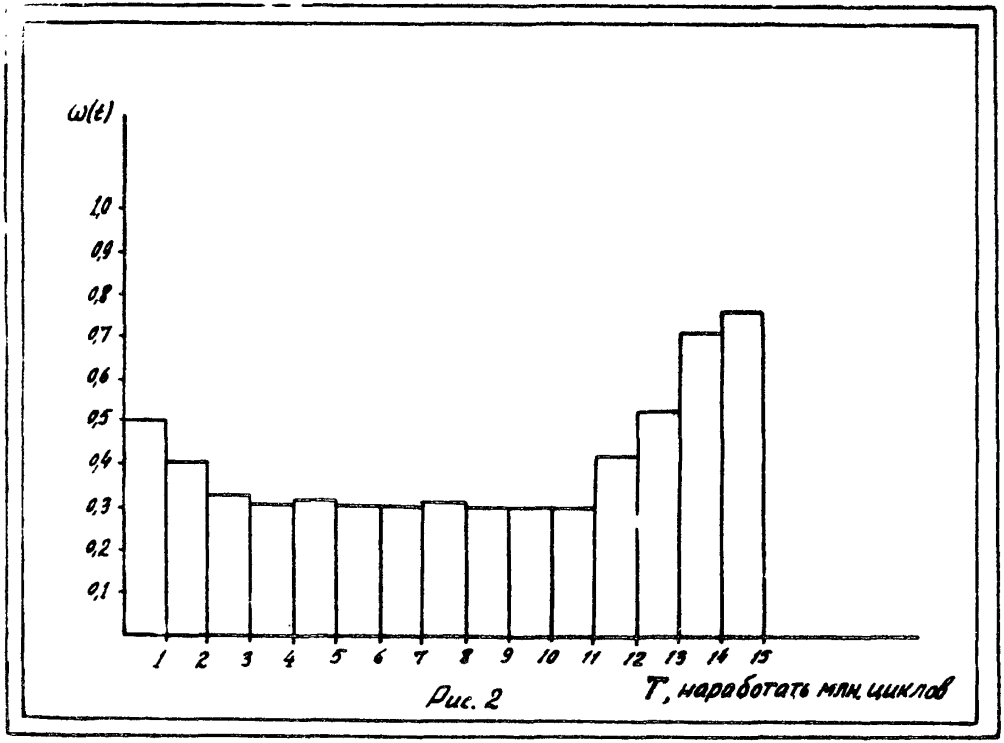
ω(t)
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
T, наработать млн. циклов

Рис. 2

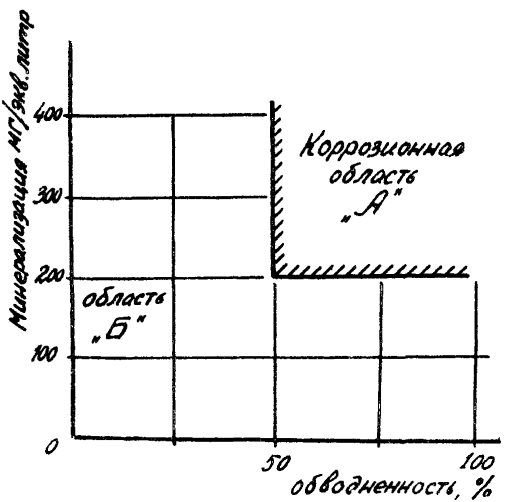
Минерализация мг/экв.литр
400
300
200
100
0
50
100
обводненность, %
Коррозионная область „А"
область „Б"

Рис. 3

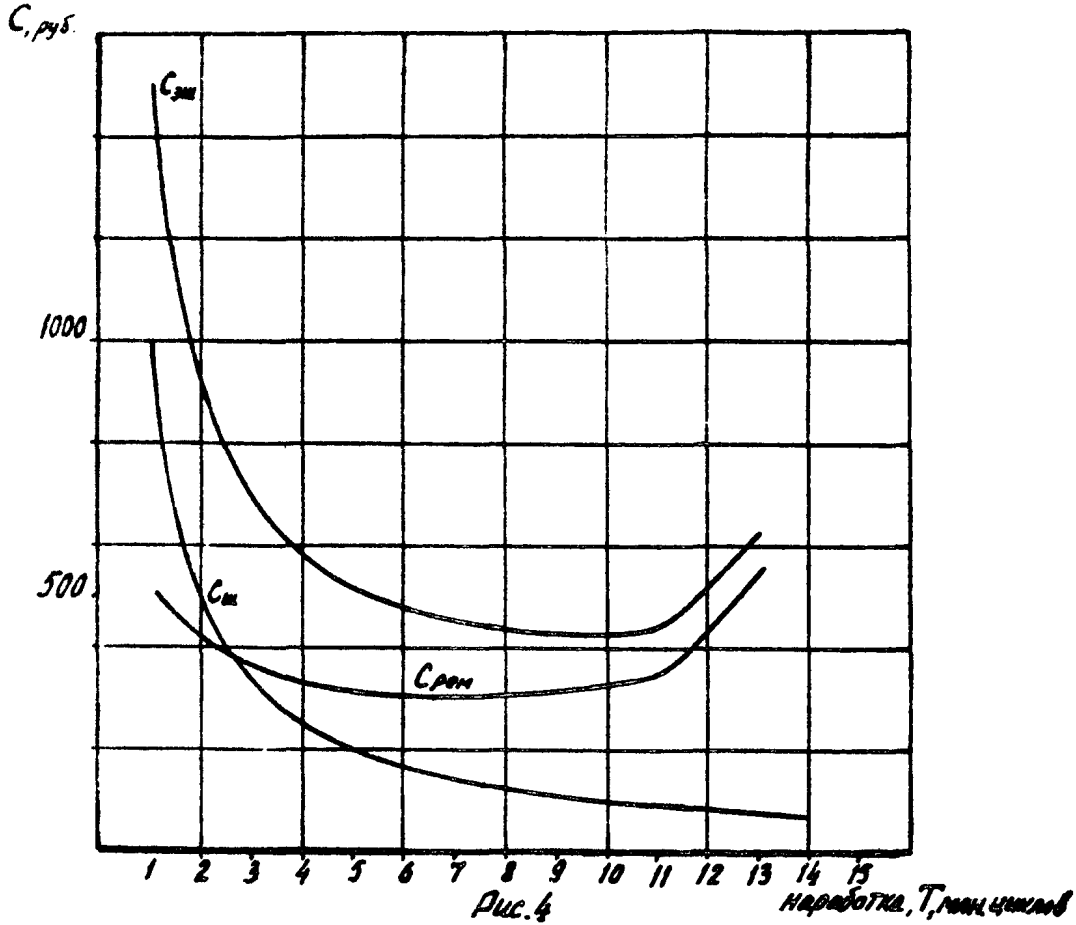
С, руб.
1000
500
$С_{эш}$
$С_{ш}$
$С_{рем}$
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
наработка, Т, мин. циклов

Рис. 4

# С О Д Е Р Ж А Н И Е

I .Общие положения. . . . . 3
2. Классификация условий эксплуатации штанг . . . . . 5
3. Анализ показателей надежности работы штанг . . . . . 7
4. Норма расхода штанг при их эксплуатации. . . . . 11
5. Расчет норм расхода насосных штанг на оборудование скважин, вводимых в эксплуатацию из бурения и бездействия, а также переводимых с другого способа эксплуатации . . . . . 15
Литература. . . . . 16
Приложение . . . . . 17
I. Расчет и подбор конструкции штанговой колонны. . . . . 18
2. Таблицы. . . . . 25
3. Графическая часть. . . . . 33

gost.e-ecolog.ru

ОНТИ ИО Зак 330 Тир 100 изд. № 45517