

## МЕХАНИЗМ ОПТИМИЗАЦИИ КОЛИЧЕСТВА БРИГАД В ОРГАНИЗАЦИЯХ ПО РЕМОНТУ СКВАЖИН

© А.И. Ладоскин, И.А. Майорова, Е.А. Харитоновна\*

**Ключевые слова:** ремонт скважин, отраслевая специфика, количество бригад, теория массового обслуживания, пример.

Рассматриваются принципы оптимизации количества бригад по ремонту скважин с применением теории массового обслуживания, позволяющие минимизировать суммарные затраты на простой бригад и скважин.

Разработка нефтяных месторождений характеризуется перераспределением капитальных вложений между ремонтом действующих и строительством новых скважин.

Основная часть денежных средств на начальной стадии разработки месторождения направляется в строительство новых скважин для создания необходимых производственных мощностей. Количество скважин и их взаиморасположение определяются в процессе создания проекта разработки месторождения.

По мере продолжительности разработки месторождения снижается количество вновь построенных эксплуатационных скважин, но зато увеличивается количество ремонтов действующего фонда скважин. По этой причине происходит перераспределение финансовых ресурсов нефтедобывающей организации в сторону ремонтных работ. Динамика данного перераспределения в сопоставимых условиях единицах по 20 месторождениям ОАО «Самаранефтегаз», приведенная к усредненному двадцатилетнему периоду их разработки, представлена в табл. 1.

Темпы разработки месторождений и непрерывность процесса добычи нефти в основном зависят от качества эксплуатации, специального обслуживания и ремонта скважин. Необходимость организации специального обслуживания и ремонта эксплуатаци-

онных скважин связана с изменением режимов нефтедобычи и методов эксплуатации скважин, износом нефтепромыслового оборудования, а также с проведением мероприятий по охране недр.

Поддержание в работоспособном состоянии эксплуатационного фонда скважин и предупреждение последствий износа оборудования при необходимом соблюдении требований охраны недр являются основными задачами ремонтных цехов и служб.

Вследствие большого удельного веса ручных работ, а также индивидуального характера производства запасных частей промышленного оборудования и других подсобно-вспомогательных работ ремонт в нефтегазодобывающих предприятиях требует значительных затрат. Вот почему необходимо ускорять и удешевлять ремонт скважин путем широкого внедрения передовых методов в технологию и организацию производства ремонтных работ, применения комплексной механизации (в первую очередь при подземных ремонтах скважин), а также путем совершенствования организационных форм проведения ремонтных работ. Очень большое значение имеет и модернизация оборудования, поэтому перед нефтегазодобывающими предприятиями стоит задача не только улучшения организации ремонтных работ, но и ра-

Таблица 1

**Динамика изменения сопоставимых затрат на строительство и ремонт скважин**

| Показатели                                 | Период разработки месторождения, года |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|--|---------------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|  | 2                                     | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 |
| Затраты на строительство скважин, усл. ед. | 16                                    | 40 | 75 | 75 | 80 | 60 | 25 | 10 | 4  | 2  |
| Затраты на ремонт скважин, усл. ед.        | 2                                     | 8  | 16 | 20 | 40 | 48 | 64 | 76 | 78 | 50 |

\* Ладоскин Альберт Иванович, доктор экономических наук, профессор; Майорова Ирина Альбертовна, кандидат экономических наук; Харитоновна Елена Альбертовна, кандидат экономических наук. - Самарский государственный технический университет. E-mail: ailadoshkin@mail.ru.

ционализации, модернизации и замены устаревшего оборудования.

Ремонт нефтяного оборудования осуществляется в планово-предупредительном режиме, что означает профилактический характер ремонтов и проведение их по заранее намеченному графику согласованно с работами по эксплуатации и обслуживанию.

Плановые ремонты скважин предусматривают ремонт наземного и подземного оборудования. Ремонт наземного оборудования скважин заключается в проведении малых (текущих), средних и капитальных ремонтов. При этом ремонт и модернизацию всех видов оборудования, как правило, осуществляют специальные ремонтно-механические службы (СРМС).

Подземный ремонт оборудования скважин заключается в проведении текущих и капитальных подземных ремонтов. Текущий подземный ремонт скважин представляет собой комплекс мероприятий по поддержанию подземного эксплуатационного оборудования в работоспособном состоянии, обеспечивающих выполнение плана по добыче нефти. Однако на практике проводят и восстановительные ремонты с целью устранения всевозможных нарушений нормальной эксплуатации скважины или вследствие пропусков сроков очередного ремонта. Такое нарушение сопровождается снижением дебитов или полным прекращением подачи нефти.

К текущим подземным ремонтам скважин относятся, например, смена насосов или отдельных его деталей, ликвидация обрыва или отвинчивания насосных штанг, смена насосно-компрессорных труб или штанг и т.д.

Капитальный ремонт скважин направлен на поддержание действующего фонда скважин в работоспособном состоянии, а также на восстановление бездействующих скважин. Пуск в эксплуатацию фонда простаивающих скважин имеет важное народнохозяйственное значение. Каждая восстановленная скважина улучшает экономические показатели нефтедобывающей организации.

Капитальный подземный ремонт скважин имеет свои особенности, обусловленные тем, что скважины представляют собой агрегат "эксплуатационное оборудование - пласт", поэтому подземный капитальный ремонт скважин связан с работами по восстановлению работоспособного состояния эксплуатацион-

ного горизонта и подземной части эксплуатационного оборудования, получившего значительные повреждения, а также с проведением мероприятий по охране недр. В состав работ по капитальному ремонту входят мероприятия по устранению нарушений, прошедших в эксплуатационной колонне (слом, смятие), по изоляции вод (изоляционно-ремонтные работы), по возрасту и углублению скважин, работы по ликвидации скважин.

Для выполнения капитального ремонта скважины ремонтной бригаде выдается наряд, в котором указываются данные по скважине, категория и тип ремонта, сроки проведения, стоимость и пр. Продолжительность ремонта устанавливается на основании действующих технических норм. На обороте наряда производится расчет заработка бригады с разбивкой по сменам и внутри смены для каждого рабочего.

Установлены специальные технические условия сдачи и приема скважин после капитального ремонта. После окончания ремонта специальная комиссия составляет гарантийный акт о сдаче скважины из капитального ремонта, в котором указывается состояние скважины до и после проведения работ.

Улучшение работ по текущему и капитальному подземному ремонту создает необходимые условия для поддержания действующего фонда скважин в работоспособном состоянии, а также для его роста за счет простаивающих скважин. Это, в свою очередь, является условием увеличения добычи нефти и улучшения основных технико-экономических показателей производственно-хозяйственной деятельности нефтедобывающего предприятия и, в первую очередь, снижения ремонтных затрат в себестоимости 1 т нефти.

Затраты на ремонт скважин в Самарской области составляют около 15 % в себестоимости добычи 1 т нефти. Таким образом, в сокращении этих затрат заложен большой резерв повышения эффективности нефтедобывающего производства.

На стоимость ремонта скважин влияет множество факторов, которые можно объединить в три группы:

- ◆ природные (глубина скважины, способ эксплуатации и др.);
- ◆ организационно-управленческие (ритмичность производства, согласованность эко-

номических интересов нефтедобывающих и ремонтных организаций в качественном ремонте скважин, наличие фактора материальной заинтересованности и др.);

♦ ценовые (стоимость материалов, энергии и т.д.).

Ценовые и природные группы факторов, по сути, являются не управляемыми с позиции предприятия. Организационно-управленческие факторы можно рассматривать в качестве одного из резервов снижения себестоимости нефтедобывающего производства.

Рассмотрим основные моменты, которые негативно сказываются на реализации организационно-управленческих факторов, снижения затрат на ремонт скважин.

Во-первых, первоначально сформированный график ремонта скважин быстро “ломается” и требует постоянного обновления, поэтому у планирующего органа отсутствует заинтересованность в его оптимизации с учетом вновь поступивших заявок. А это также негативно отражается на технико-экономических показателях нефтедобывающих предприятий.

Во-вторых, большое количество unplanned (аварийных) ремонтов приводит к неравномерному по количеству поступлению дополнительных заявок на ремонт скважин, постоянной корректировке графика их ремонта и неравномерной загрузке ремонтных бригад.

Данная неравномерность поступления заявок на ремонт скважин объективно приводит в разные интервалы времени или к простоям ремонтных бригад (их фактический коэффициент загрузки равен 0,9), или к простоям скважин в ожидании ремонта.

Простои ремонтных бригад отражаются на величине их доходов, поскольку они получают денежную компенсацию за этот период по тарифным расценкам, что значительно ниже заработной платы, получаемой за выполнение работ.

Простои скважин в ожидании ремонта приводят к снижению добычи нефти и экономически не выгодны нефтедобывающим предприятиям.

В-третьих, отсутствие материальной заинтересованности ремонтных рабочих в качестве ремонта скважин. Качество ремонта скважины оказывает существенное влияние на величину ее среднесуточного дебита и на продолжительность межремонтного периода,

т.е. на величину ожидаемой добычи нефти между двумя ремонтами.

Для согласования экономических интересов нефтедобывающих и ремонтных организаций и повышения эффективности ремонтного обслуживания скважин предлагается использовать форму коллективного бригадного подряда.

Суть бригадного подряда состоит в том, что между ремонтной организацией и нефтедобывающим предприятием заключается соответствующий договор на годовое ремонтное обслуживание определенного числа скважин. При этом ответственность за качество и своевременность ремонта скважин несет ремонтная организация на принципах материальной заинтересованности.

В нефтегазодобывающих объединениях страны форма бригадного подряда широко использовалась в транспортном обслуживании нефтедобывающих и буровых управлений для доставки вахт и грузов на объекты. Бригадная форма транспортного обслуживания позволила существенно повысить эффективность работы транспорта, стимулировать водителей к высокопроизводительной работе, увязать их экономические интересы с интересами обслуживаемых структурных подразделений. Именно это обстоятельство и позволяет нам рекомендовать форму коллективного бригадного подряда в ремонтное обслуживание скважин.

Для повышения эффективности внедрения бригадного подряда в организации по ремонту скважин необходимо определить в них оптимальное количество ремонтных бригад.

В настоящее время действующая на практике методика планирования количества бригад по ремонту скважин базируется на нормативном подходе. Его основу составляют три показателя:

$T_n$  - усредненный нормативный фонд времени ремонта одной скважины;

$n$  - количество скважин, подлежащих ремонту в плановом периоде, принимается на основе проектов разработки месторождений и графиков ремонта на них скважин в плановом периоде;

$T_{пл}$  - календарное время работы одной ремонтной бригады в плановом периоде;

$k$  - коэффициент, учитывающий загрузку бригад в плановом периоде, задается в

виде нормативного значения на уровне 0,85-0,95.

При данном подходе расчетное число бригад по ремонту скважин  $N_{рб}$  рассчитывается по отдельным видам ремонта (текущего, капитального) с использованием формулы

$$N_{рб} = \frac{n \cdot T_n}{T_{пл} \cdot k}.$$

Такой нормативный подход, применяемый для расчета числа ремонтных бригад, отличается простотой и определенным удобством в практическом использовании. К его недостаткам следует отнести следующие:

- 1) он не учитывает вероятностный характер поступления заявок на внеплановые (аварийные) ремонты скважин;
- 2) не учитывает потери от недобора нефти из скважин, находящихся в бездействии и ожидающих ремонта;
- 3) не дает прогноза полных стоимостных потерь от возможных суммарных простоев ремонтных бригад и скважин;
- 4) не дает полного научного обоснования при разработке рекомендаций по совершенствованию деятельности ремонтных организаций;
- 5) не учитывает эффект от внедрения передовых форм организации и планирования ремонтных работ.

Для устранения указанных недостатков при расчете планового количества ремонтных бригад представляется наиболее целесообразным использование теории массового обслуживания.

Теория массового обслуживания является разделом исследования операций, который охватывает разнообразные процессы в экономике как процессы обслуживания, т.е. удовлетворения каких-то запросов или заказов. В данной теории рассматриваются два основных понятия: требование и обслуживание. К требованиям относятся объекты, которые необходимо обслужить (в нашем случае скважины, нуждающиеся в ремонте). Средство, которым обслуживается требование, называется обслуживающим устройством (ремонтная бригада с необходимым комплектом ремонтного оборудования и запасных частей). Совокупность обслуживающих устройств называется обслуживающей системой (определенное число ремонтных бригад с необходимым оборудованием).

Цель экономической задачи теории массового обслуживания состоит в проектиро-

вании обслуживающей системы, т.е. в определении оптимального числа обслуживающих устройств, которое минимизирует суммарные затраты на ожидание в очереди и на простой обслуживающих устройств.

При проектировании системы массового обслуживания важно, чтобы характеристики потока входящих требований и продолжительности обслуживания удовлетворяли определенным условиям.

Систему массового обслуживания можно описать, задавая следующие ее компоненты: входящий поток требований, дисциплину очереди и механизм обслуживания.

В настоящее время теоретически наиболее разработаны и удобны в практических приложениях методы решения таких задач теории очередей, в которых поток требований является простейшим (пуассоновским).

Механизм обслуживания характеризуется продолжительностью процедур обслуживания и количеством одновременно обслуживаемых требований. Время обслуживания требований в системе является случайной величиной и обычно описывается экспоненциальным законом распределения.

Если поток входящих требований удовлетворяет закону Пуассона, а время обслуживания требований описывается экспоненциальным законом, то рассчитывается показатель коэффициента загрузки.

$$\alpha = \frac{N}{\text{Нобс}},$$

где  $N$  - среднее количество заявок, поступивших в единицу времени;  $\text{Нобс}$  - среднее количество заявок, обслуживаемых одним устройством в единицу времени.

Для расчета основных параметров системы массового обслуживания могут применяться следующие формулы.

1. Вероятность того, что все обслуживающие устройства свободны, находится по формуле Эрланга

$$P_0 = \frac{1}{\frac{\alpha^n}{(1 - \alpha/n) \cdot n!} + \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\alpha^k}{k!}}.$$

2. Вероятность того, что все обслуживающие устройства заняты, находится по формуле

$$P_3 = \frac{\alpha^n \cdot P_0}{(1 - \alpha/n) \cdot n!}.$$

3. Среднее число устройств, свободных от обслуживания

$$N_0 = P_0 \cdot \sum_{k=1}^{n-1} \frac{n-k}{k!} \cdot \alpha^k.$$

4. Средняя длина очереди

$$L = \frac{\alpha}{n \cdot (1 - \alpha/n)}.$$

5. Среднее время ожидания в очереди

$$t_{ож} = \frac{L}{\mu \cdot n}.$$

Применение теории массового обслуживания для расчета оптимального числа бригад по ремонту скважин рассмотрим на практическом примере.

Исходными данными для расчета являются следующие показатели ремонтной организации:

1. Годовой объем ремонта ( $Q$ ) - 220 скважин.

2. Среднее время ремонта (обслуживания) одной бригадой одной скважины ( $T_{обс}$ ) - 120 ч.

3. Режим работы бригад ( $T_{раб}$ ) - 365 дн. в 2 смены.

4. Убыток от простоя одной бригады ( $З_{пр}^{бр}$ ) - 1200 тыс. руб. в год.

5. Убыток от простоя одной скважины ( $С_{пр}^{ск}$ ) - 2800 тыс. руб. в год.

6. Поток входящих требований (заявок) и время обслуживания их удовлетворяют вышеописанным условиям.

Для решения задачи первоначально определяется число скважин (требований) поступающих на обслуживание за 1 ч:

$$\lambda = \frac{Q}{T_{раб}} = \frac{220}{365 \cdot 24} = 0,025 \text{ скв.}$$

Число скважин, обслуживаемых одной бригадой за 1 ч:

$$\mu = \frac{1}{T_{обс}} = \frac{1}{120} = 0,0083 \text{ скв.}$$

Коэффициент загрузки одной ремонтной бригады составит

$$\alpha = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{0,025}{0,0083} = 3,02.$$

Коэффициент загрузки  $\alpha = 3,02$ , поэтому число бригад  $n$  должно быть больше 3, иначе возникнет растущая очередь на обслуживание. Принимаем поочередно  $n = 4, 5, 6, 7...$  и проводим соответствующие расчеты.

Для  $n = 4$ .

1. Вероятность того, что все бригады свободны:

$$P_0 = \frac{1}{\frac{\alpha^n}{(1 - \alpha/n) \cdot n!} + \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\alpha^k}{k!}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{(3,02)^4}{\left(1 - \frac{3,02}{4}\right) \cdot 4!} + \frac{(3,02)^0}{0!} + \frac{(3,02)^1}{1!} + \frac{(3,02)^2}{2!} + \frac{(3,02)^3}{3!}} =$$

$$= 0,037.$$

2. Вероятность того, что все бригады будут заняты:

$$P_3 = \frac{\alpha^n \cdot P_0}{(1 - \alpha/n) \cdot n!} = \frac{(3,02)^4 \cdot 0,037}{\left(1 - \frac{3,02}{4}\right) \cdot 4!} = 0,523.$$

3. Среднее число бригад, свободных от обслуживания:

$$N_0 = P_0 \cdot \sum_{k=1}^{n-1} \frac{n-k}{k!} \cdot \alpha^k =$$

$$= 0,037 \cdot \left( \frac{3}{1!} \cdot (3,02)^1 + \frac{2}{2!} \cdot (3,02)^2 + \frac{1}{3!} \cdot (3,02)^3 \right) =$$

$$= 0,842.$$

4. Средняя длина очереди:

$$L = \frac{\alpha}{n \cdot (1 - \alpha/n)} = \frac{3,02}{4 \cdot \left(1 - \frac{3,02}{4}\right)} = 3,082.$$

5. Среднее время ожидания в очереди одной скважины:

$$t_{ож} = \frac{L}{\mu \cdot n} = \frac{3,082}{4 \cdot 0,0083} = 92,8 \text{ ч.}$$

6. Время ожидания очереди всех скважин в течение года:

$$t_{ожид}^2 = t_{ож} \cdot N_{ск} = 92,8 \cdot 220 = 203232 \text{ ч} =$$

$$= 2,32 \text{ года.}$$

7. Суммарные годовые затраты на простой бригад в денежном выражении:

Таблица 2

Результаты расчета по ремонтным бригадам

| Показатели                            | $n = 4$ | $n = 5$ | $n = 6$ | $n = 7$ |
|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| $P_0$                                 | 0,037   | 0,046   | 0,048   | 0,049   |
| $P_3$                                 | 0,523   | 0,243   | 0,102   | 0,039   |
| $N_0$                                 | 0,842   | 1,767   | 2,695   | 3,671   |
| $L$                                   | 3,082   | 1,525   | 1,013   | 0,758   |
| $t_{ож}, ч$                           | 92,8    | 36,747  | 13,56   | 13,046  |
| $t_{j_i}^U, год$                      | 2,32    | 0,92    | 0,34    | 0,326   |
| $\sum Z_{пр}^{бр}, тыс. д.е.$         | 1010    | 2120    | 3234    | 4405    |
| $\sum Z_{пр}^{ск}, тыс. д.е.$         | 6496    | 2576    | 952     | 913     |
| $\sum Z_{пр}^{бр} + \sum Z_{пр}^{ск}$ | 7506    | 4696    | 4186    | 5318    |

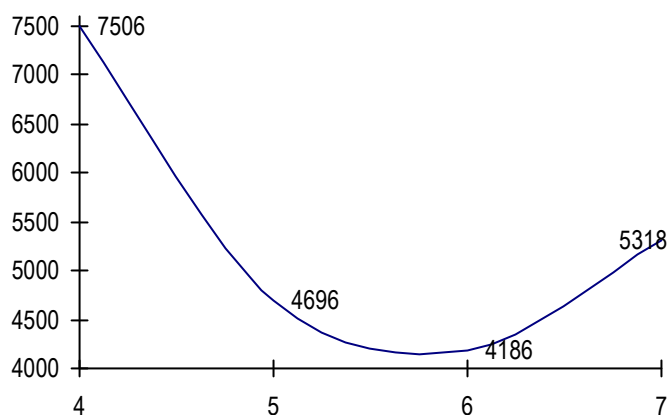


Рис. График изменения суммарных потерь от простоя ремонтных бригад и скважин

$$\begin{aligned} \sum Z_{пр}^{бр} &= Z_{пр}^{бр} \cdot N_0 = \\ &= 1200 \cdot 0,842 = 1010 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

8. Суммарные годовые затраты на простой скважин в денежном выражении:

$$\begin{aligned} \sum Z_{пр}^{ск} &= Z_{пр}^{ск} \cdot N_0 = \\ &= 2,32 \cdot 2800 = 6496 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

9. Общие годовые затраты на простой бригад и скважин:

$$\begin{aligned} \sum Z_{пр}^{бр} + \sum Z_{пр}^{ск} &= \\ &= 1010 + 6496 = 7506 \text{ тыс. руб.} \end{aligned}$$

Представим все расчеты в виде таблицы и определим оптимальное число ремонтных бригад (табл. 2).

Таким образом, сравнивая суммарные денежные затраты на простой бригад и скважин, видим, что наименьшие затраты достигаются при количестве бригад  $n = 6$ .

График изменения суммарных затрат от простоя бригад и скважин представлен на рисунке.

В заключение отметим, что применение теории массового обслуживания позволяет рассчитать оптимальную норму обслуживания для одной бригады, т.е. определить количество скважин, которое может обслужить одна ремонтная бригада в течение планового периода с наименьшими суммарными потерями за ее простой и простой обслуживаемых скважин.

Поступила в редакцию 19.04.2011 г.