

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ БУРОВОЙ КОМПАНИИ В УСЛОВИЯХ МАССОВОГО СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИН

**Калянов Г.Н.**

*(Институт проблем управления РАН, Москва)*

kalyanov@ipu.ru

**Титов Н.Н., Шибeko В.Н.**

*(ООО «НВП МОДЕМ», Москва)*

titov@nvp-modem.ru

*Данная статья посвящена вопросам разработки системы взаимосвязанных алгоритмов планирования работы буровой компании по выполнению производственных задач с использованием имеющихся ресурсов и их фактической загруженности. Предложен подход к решению задач календарного планирования, основанный на оптимальной последовательной стратегии распределения ресурсов.*

Ключевые слова: теория расписаний, оптимальная последовательная стратегия, календарное планирование.

### **Введение**

Планирование является неотъемлемым атрибутом управления работой любой крупной буровой компании, имеющей территориально-распределенную структуру с вертикально-иерархической формой управления. Планирование играет важную роль и в ходе переговорной компании с Заказчиком об определении объемов и конкретных заданий (контрактов) на бурение скважин. Промедление и принятие ошибочных (неэффективных) решений на этом этапе взаимоотношений буровой компании и Заказчика может привести к большим финансовым потерям для каждой из сторон.

Экономическая целесообразность решения задач планирования очевидна. Это не только максимизация загрузки и использования имеющихся ресурсов, минимизация простоев техники и буровых бригад, но и эффективное средство построения экономических прогнозов привлекательности тех или иных управленческих решений, а самое главное в руках руководства буровой компании появляется конкретный инструмент контроля хода выполнения своих контрактных обязательств перед Заказчиком. По сути дела необходимо разработать программно-алгоритмический инструмент, функционирующий в современных информационных технологиях, который позволял бы сбалансировано решать задачу использования производственных ресурсов с целью выполнения конкретного планового задания (пакета контрактов).

### **Математическая модель планирования**

К основным производственным ресурсам буровой компании следует отнести: парк буровых установок (БУ), буровые бригады (ББ) и вышкомонтажные бригады (ВМБ). Разделим основные производственные ресурсы на два класса: «технические» (БУ) и «трудовые» (ББ и ВМБ). Под понятием «работа» будем понимать полный цикл строительства скважины, оканчивающийся демонтажем буровой установки, а под совокупностью работ следует иметь в виду «Программу строительства скважин» (ПСС).

Задача оптимизации планирования строительства скважин в буровых компаниях, с точки зрения прикладной математики, может быть отнесена к разряду задач теории расписаний [1], которая исследует задачи упорядочивания или, другими словами, определяет последовательность (временную очередность) выполнения совокупности работ с использованием совокупности каких-либо средств. При оптимизации процессов планирования, помимо сохранения временной преемственности с текущим планированием, необходимо обеспечить:

- выбор и формализация критериев эффективности планирования работ для каждого класса ресурсов;
- количественные показатели загрузки ресурсов планирования («сбалансированность» планирования);
- обоснование привлечения дополнительных ресурсов и объемов строительства;

- учет экономических факторов (стоимость строительных работ, стоимость перемещения БУ и т.п.);
- учет сезонных факторов;
- учет организационных факторов (сроков подготовки строительных площадок, наличие «дорожной» карты, сроков получения разрешительной документации, выбор субподрядчиков, сроков заключения договорных отношений, сроков разработки и согласования проектно-сметной документации и т.д.).

Для полноты модели исследуемой задачи необходимо формализовать взаимное расположение во времени и пространстве объектов упорядочивания (буровые установки и скважины). Если предположить отсутствие «изолированных» скважин и дороги (пути) носят двухсторонний характер (туда и обратно за одинаковое время), тогда можно определить симметричную матрицу достижимости объектов, элементы которой представляют собой оценки времени переброски БУ от одной скважины на другую по оптимальному пути, найденному с помощью простой «навигационной» процедуры на «дорожной» карте. Сезонность переброски БУ учитывается с помощью аргументированного увеличения или уменьшения соответствующих элементов матрицы достижимости.

## 2. Планирование перемещения буровых установок

Исходя из общей постановки задачи планирования строительства буровых скважин, необходимо «предложить» каждой буровой установке список (расписание) скважин для их последовательного строительства. Имеем  $K$  - установок и  $M$  – скважин. Общее число возможных вариантов организации работ

$$N_{\text{вар}}(M, K) = M! \cdot \sum_{L=2}^K \frac{(M+1)!}{(L-1)! \cdot (M-L+2)!}.$$

Очевиден экспоненциальный рост числа возможных вариантов с увеличением номинальных значений величин  $K$  и  $M$ , что не позволяет решать данные задачи простым перебором. В этом случае можно рекомендовать квазиоптимальный алгоритм распределения буровых установок, основанный на последовательной процедуре. Суть оптимальной последовательной стратегии заключается в том, чтобы освобождающиеся ресурсы (буровые установки) распределять сразу и «наилучшим» образом среди «свободных» скважин. Такой подход успешно применяется в задачах оптимизации распределения поисковых ресурсов [2]. Понятно, что, рассматривая только одну «освободившуюся» буровую установку и подбирая ей «свободную» скважину, мы рискуем принять далеко не лучшее решение, последствия которого, могут сказаться позднее. Можно улучшить качество принимаемого решения, если наряду с данной установкой учесть еще и другие, которые освободятся в ближайшее время и решить задачу совместного распределения группы установок.

Но прежде, необходимо определиться с количественной мерой, связанной с принятием текущего решения о строительстве конкретной скважины конкретной буровой установкой. Последовательная стратегия, которая бы минимизировала бы только время переброски установки на место нового бурения, не учитывает возможность «последствия», а именно тот факт, что в результате «сезонности» может возникнуть «ситуация» попадания установки (после окончания бурения) в зону вынужденного простоя, что естественно скажется на интегральных характеристиках общей стратегии планирования. Поэтому, предлагается для каждого освободившейся БУ рассчитывать не только время достижимости «свободной» скважины, но и оценивать факт попадания буровой установки после окончания строительства в зону «вынужденного» простоя и время нахождения в таком состоянии. В результате в ближайшем временном интервале определяется список «свободных» БУ и формируется матрица эффективности, первая строка которой относится к анализируемой БУ.

Таким образом, задача выбора очередной скважины для освободившегося БУ сводится к классической задаче о «назначениях», которая при больших значениях  $K$  и  $M$  решается с помощью известного «венгерского» метода. Повторяя процедуру последовательного распределения «освобождающихся» БУ, можно сформировать конкретный план (расписание), согласно которому, каждой БУ соответствует определенная последовательность скважин, стоящих в очередь на строительство.

Другим привлекательным моментом в использовании оптимальной последовательной стратегии является тот факт, что в случае «недозагрузки» плана, можно ввести новые дополнительные скважины для обеспечения полной годовой загрузки парка БУ и, добившись выполнения данного плана, вновь провести последовательное планирование, и так до тех пор, пока не сформируется сбалансированный план работ. Когда дополнительных скважин в наличие нет, то надо последовательно умень-

шать количество БУ и избавляться от услуг менее современной и малопроизводительной буровой техники.

### 3. Календарное планирование работы буровых бригад

Исследуем вопрос достаточности основных производственных ресурсов (технических и трудовых) для формирования сбалансированного календарного плана работ буровой компании. Выделим временной интервал планирования  $[T_n, T_k]$  и зафиксируем основные производственные ресурсы буровой компании. Понятно, что исследовать надо случай напряженного (плотного) планирования, т.е. использование на постоянной основе всего парка БУ и при этом задействовать по возможности все свои буровые и вышкомонтажные бригады.

Квазиоптимальный алгоритм распределения парка БУ, основанный на оптимальной последовательной стратегии планировании с анализом последствий, [3] формирует расписания работы для каждой буровой установки. Интервал планирования разбивается на последовательно сменяющие друг друга интервалы бурения и вышкомонтажных работ различной протяженности. На рис.1 схематично изображен вариант полной временной загрузки парка БУ, состоящего из 10 установок.

Проведем анализ обеспеченности трудовыми ресурсами данного варианта загрузки технических ресурсов и сформулируем простую процедуру распределения ресурсов в интервале планирования. Построим гистограмму загруженности парка БУ, а именно выборочное распределение числа одновременно работающих буровых установок. Далее проводим анализ полученного распределения, при этом особое внимание уделяем «хвостам» распределения. Этот анализ позволяет выбрать необходимое число собственных буровых бригад и бригад, привлекаемых со стороны для выполнения плана. Отметим, что в силу особенности технологии строительства скважин распределение ВМБ зеркально повторяет распределение буровых бригад, поэтому достаточно анализировать только последний тип бригад.

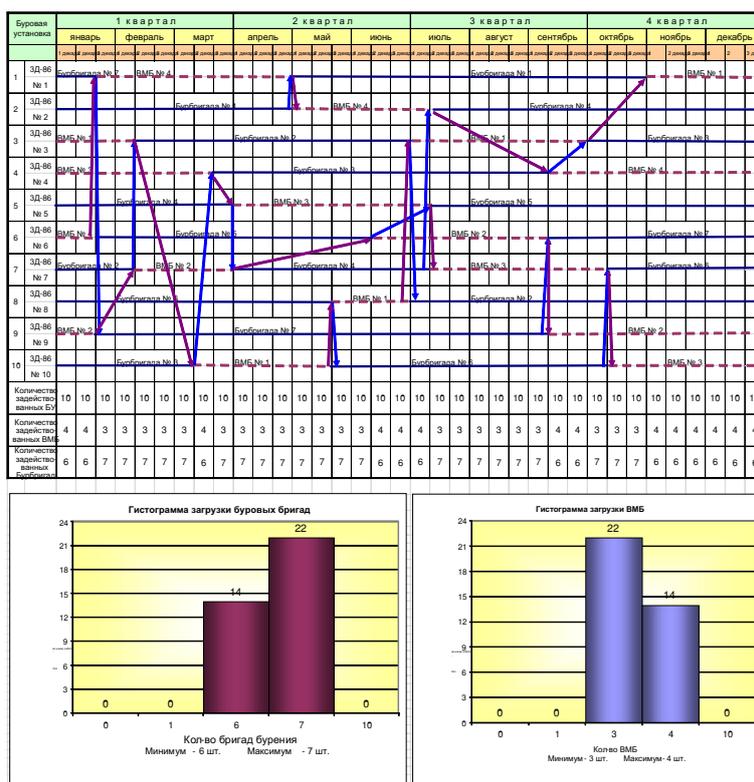


Рис.1. Вариант полной временной загрузки парка БУ

Экономическая целесообразность диктует критерий выбора (назначения) той или иной бригады на строительство конкретной скважины. Понятно, что предпочтение должно отдаваться более опытной и квалифицированной бригаде, имеющей положительный опыт строительства аналогичных скважин. Поэтому, следующий шаг заключается в ранжировании буровых бригад по уровню квалификации.

Рассмотрим простейшую процедуру распределения ББ по строящимся скважинам, а именно: последовательно, с учетом ранга бригады, выбираем «свободные» буровые по критерию минимального времени простоя и с учетом необходимого времени на переброску бригады на объект. Распределение ВМБ не требует учета квалификации и получается путем элементарного расчёта (предполагается, что сумма одновременно работающих вышкомонтажных и буровых бригад равна общему числу буровых установок, учитываемых в планировании).

В результате формируется расписание работ для каждой бригады. Таким образом, имея гистограмму загрузки парка буровых установок можно ответить на вопрос обеспеченности планируемых работ трудовыми ресурсами. Если в буровой компании нет проблем с привлечением бригад к подобным видам работ, то этот аспект планирования не актуален. Но вопрос равномерной и интенсивной загрузки собственных буровых и вышкомонтажных бригад, для компании имеет большое значение с точки зрения экономии финансов, поэтому в рамках предложенного алгоритма это требование необходимо учитывать. Если в результате планирования перемещения БУ формируется «глобальная» гистограмма, то никаких проблем с загруженностью собственных бригад не будет. Самый плохой случай, когда гистограмма имеет не один, а несколько максимумов. Например, гистограмма имеет широкую U-образную форму. Это самый неприятный случай для организации буровых и вышкомонтажных работ. Использовать собственные трудовые ресурсы, при таком варианте планирования строительства скважин, скорее всего, неэффективно, т.к. неизбежно будут возникать большие перерывы в работе, и буровая компания будет работать в основном в одном из двух режимах: либо все буровые установки в работе, либо на объектах (скважинах) трудятся одни вышкомонтажные бригады. Подобная «аритмия» даже, если она запланирована, неизбежно приведет к увеличению финансовых затрат, ибо потребуются задействовать одновременно  $K$  - буровых бригад, а также еще и  $K$  - ВМБ. Вынужденное время планируемых простоев всех бригад составит ровно половину календарного времени  $(T_k - T_n) * K$ .

Второй - «идеальный» случай, когда в работе всегда находится  $K_0$  - буровых установок ( $1 < K_0 < K$ ). Для организации работ будет достаточно  $(K_0 + 1)$  - ББ и  $(K - K_0 + 1)$  - ВМБ. Общее количество бригад  $K + 2$ , а суммарное время планируемых простоев не зависит от величины  $K$  и составляет  $(T_k - T_n) * 2$ .

В результате работы последовательного алгоритма календарного планирования формируется расписание работ. Для каждой скважины "S" имеем:

$$\{N_{ВМБ}, [t_{НБ}, t_{КБ}]; (N_{БУ}, N_{ББ}), [t_{НБ}, t_{КБ}]\}$$

при условии  $\{t_{НБ} \geq T_{ВКЛ}(S); t_{НБ} \geq t_{КБ}\}$ , где  $S \in \{S_1, S_2, \dots, S_M\}$  - совокупность «строящихся» скважин;  $M$  - общее количество;

$N_{ВМБ}$  - номер вышкомонтажной бригады;

$N_{БУ}$  - номер буровой установки;

$N_{ББ}$  - номер буровой бригады;

$[t_{НБ}, t_{КБ}]$  - интервал проведения вышкомонтажных работ;  $[t_{НБ}, t_{КБ}]$  - интервал бурения;

$T_{ВКЛ}(S)$  - расчетное время, когда можно начать работы по строительству скважины "S".

Данный алгоритм планирования обеспечивает рациональную по времени загрузку имеющихся ресурсов, а общая стратегия направлена на скорейшее выполнение плановых заданий. При этом в процессе работы алгоритма формируются очереди на ресурсы и тем самым возникают плановые простои техники и бригад. Последовательная схема работы алгоритма позволяет оперативно корректировать ситуацию, вводя при необходимости дополнительные ресурсы или увеличивать плановое задание.

### Литература

1. ТАНАЕВ В.С., ГОРДОН В.С., Я.М. ШАФРАНСКИЙ Я.М. *Теория расписаний. Одностадийные системы*. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. -384 с.
2. ХЕЛЛМАН О. *Введение в теорию оптимального поиска*. Пер. с англ./под ред. Н.Н. Моисеева М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. -248 с.

3. ЖУРАВСКИЙ А.А., ТИТОВ Н.Н., ШИБЕКО В.Н. *Разработка квазиоптимального алгоритма планирования строительства скважин в крупных буровых компаниях.* / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2007.- №6-с. 19-21.