

doi:10.25689/NP.2019.3.212-223

УДК 004.9:550.822.3

**КОНЦЕПЦИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ
ЗАГРУЗКИ ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ПЕРСОНАЛА
НА ПЛАТФОРМЕ ИС «РН-ЛАБ» С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА**

Каширских Д.В., Ческидов Р.Н., Вахрушева И.А.

ООО «Тюменский нефтяной научный центр»

**CONCEPT OF COMPUTER-AIDED PLANNING OF LAB EQUIPMENT
AND MAN LOADING BASED ON “RN-LAB” IS PLATFORM TO
OPTIMIZE WORKFLOW**

Kashirskikh D.V., Cheskidov R.N., Vakhrusheva I.A.

LLC «Tyumen Petroleum Research Center»

E-mail: DVKashirskikh@tnnc.rosneft.ru

Аннотация. Статья посвящена проблеме планирования производственного процесса лабораторных центров по исследованию керн и пластовых флюидов. Предложен подход планирования загрузки лабораторного оборудования и персонал на основе метода многопараметрической оптимизации с учетом вероятностного распределения работ и применения принципа оптимальности Парето.

Новизна предложенного подхода планирования заключается в возможности автоматизированного распределения ресурсов и составления плана графика работ таким образом, что любое изменения порядка выполнения работ, отличающееся от рассчитанного, приводит к увеличению сроков выполнения всего объема лабораторных исследований.

Ключевые слова: распределение ресурсов, планирование работ, исследования керн, исследования флюидов, Парето, многопараметрическая оптимизация.

Abstract. The paper discusses the problem of planning of the workflow of laboratories involved in core analyses and PVT-studies. An approach to planning of laboratory equipment and man-loading based on the method of multiparametric optimization considering the probability distribution of activities and application of the Pareto principle of optimality is offered.

The novelty of the offered planning approach consists in the capabilities of computer-aided distribution of resources and making the job schedule in such a manner that any change

of the operating procedures differing from the planned activities would extend the period of the whole volume of lab studies execution.

Key words: distribution of resources, planning of activities, core analyses, PVT studies, Pareto, multiparametric optimization.

Введение

Корректная оценка возможностей лабораторий в части выполнения исследований керна и пластовых флюидов является актуальной и важной задачей на производстве. Создание автоматизированного алгоритма анализа загруженности оборудования и персонала, безусловно, повысит эффективность процесса планирования работы лаборатории.

Корпоративный научно-проектный комплекс (КНПК) ПАО «НК «Роснефть» включает в себя 9 лабораторных центров по всей России со своей организационной структурой, оборудованием и перечнем оказываемых услуг по направлению исследований керна и пластовых флюидов. В корпоративных научно-исследовательских проектных институтах (КНИПИ) ПАО «НК «Роснефть» ежегодно исследуются десятки тысяч метров керна и проводятся сотни тысяч определений петрофизических и минералогических свойств горных пород, необходимых для подсчёта запасов месторождений нефти и газа, моделирования процессов, происходящих в продуктивных пластах и прочих задач нефтяной промышленности. Процесс исследований керна и пластовых флюидов представляет собой значительный комплекс работ, которые необходимо проводить в определенной последовательности, с использованием основного и вспомогательного оборудования и привлечением специалистов и экспертов различной квалификации.

В рамках решения задачи систематизации лабораторных исследований в ПАО «НК «Роснефть» разрабатывается информационная система (ИС) «РН-Лаб». На данный момент она уже включает в себя производственные модули для отдельных лабораторий, а также административные модули, в которых происходит процесс планирования

работ по каждому договору и расчет стоимости проведенных работ. С учётом того, что процесс планирования загрузки оборудования и персонала тесно связан с объёмами работ по заключенным и планируемым договорам, плановым обслуживанием оборудования, графиком отпусков сотрудников и других факторов, функцию анализа загрузки оборудования и персонала целесообразно включить в единую информационную среду ИС «РН-Лаб».

Наиболее важной задачей для создания данной функции является проработка алгоритма анализа и оптимизации производственного процесса Центра исследования керна (ЦИК) с целью прогнозирования выполнения работ и удовлетворение потребностей Заказчиков в срок.

Решение задачи автоматизации процесса планирования работ лаборатории

Планирование работ по исследованию керна и пластовых флюидов должно обеспечивать достижение следующих целей:

- максимально эффективное использование ресурсов ЦИК;
- минимальное время проведения запланированных исследований;
- максимальная удовлетворенность Заказчиков сроками и качеством выполненных работ.

Под ресурсами понимается вся совокупность материальных и трудовых ресурсов ЦИК. Эффективное планирование должно обеспечивать максимальную загрузку оборудования ЦИК с минимумом простоев и максимально эффективное использование рабочего времени сотрудников. При этом все работы должны быть выполнены в кратчайшие сроки.

Задача планирования осложняется тем, что при его проведении, как правило, нет точного перечня работ, которые требуется выполнить. Это связано с тем, что конкретные исследования, интересующие Заказчика, непрерывно уточняются в процессе выполнения работ на скважинах и

зависят от результатов ранее проведенных исследований. При этом Заказчик ставит жесткие сроки выполнения работ, т.к. от исследования керна зависит проведение дальнейших мероприятий по бурению и обустройству скважин.

Таким образом, весь процесс планирования работ осуществляется в условиях неопределенности и зависит от большого количества исходных параметров и допущений [4].

Для достижения вышеуказанных целей, предлагается использовать для планирования работ ЦИК метод многопараметрической оптимизации с учетом вероятностного распределения работ и применения принципа оптимальности Парето [5].

Вероятностное распределение работ должно показать, с какой вероятностью те или иные работы из заранее согласованного перечня работ ЦИК, встречаются у различных Заказчиков. Это должно позволить более точно спрогнозировать перечень исследований, который заинтересует конкретного Заказчика.

Для проведения анализа используются исторические данные по работам, выполненным для конкретных Заказчиков в прошлые годы. При этом следует учитывать, что исследования керна зависят от типов пород, а следовательно – при проведении вероятностного анализа необходимо учитывать этот фактор.

Пусть имеется общий перечень работ ЦИК:

$$W = [w_1, w_2 \dots w_n] \quad (1)$$

где $w_i, i \in 1 \dots n$ - отдельная работа, n – общее количество работ, утвержденных для ЦИК [5].

При анализе исторических данных по отдельным Заказчикам (Z) было выявлено следующее вероятностное распределение отдельных работ w .

$$Z_{P_w} = [P(w_1)_z, P(w_2)_z \dots P(w_n)_z] \quad (2)$$

где, Z_{P_w} - совокупный вектор распределения вероятности появления отдельных работ для отдельного Заказчика Z , $P(w_i)_z$ - вероятность появления конкретной i -ой работы для него ($i \in 1 \dots n$) [7].

Очевидно, что $P(w_i)_z = \frac{m_{iz}}{N_z}$, где $m_{iz}, i \in 1 \dots n$ - количество

выполнений i -ой работы, а N_z - общее число работ, выполненных для Заказчика Z .

При этом, как отмечалось, следует учитывать тип пород, для которых проводились исследования, и, следовательно, вектор (2) приобретает более сложный вид

$$Z_{P_w} = \begin{bmatrix} P(w_1, \varphi_1)_z, P(w_2, \varphi_1)_z \dots P(w_n, \varphi_1)_z \\ P(w_1, \varphi_2)_z, P(w_2, \varphi_2)_z \dots P(w_n, \varphi_2)_z \\ \dots \dots \dots \\ P(w_1, \varphi_k)_z, P(w_2, \varphi_k)_z \dots P(w_n, \varphi_k)_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

где $\varphi_i, i \in 1 \dots k$ - конкретный тип породы, для которого проводятся

работы W , а k - общее количество исследуемых типов пород [3].

Следует учитывать, что работа w в перечне W (1) не является «элементарной» неделимой единицей и состоит из последовательности отдельных элементарных операций, выполняемых определенными работниками на конкретном оборудовании за фиксированное количество времени. Последовательность и продолжительность этих операций для каждой работы описана в технологической карте. В итоге, w должна быть выражена как

$$W = \begin{bmatrix} f(r_1, t_{r1}), f(o_1, t_{o1}) \\ f(r_2, t_{r2}), f(o_2, t_{o2}) \\ \dots\dots\dots \\ f(r_j, t_{rj}), f(o_j, t_{oj}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

где $f(r_i, t_{ri}), i \in 1 \dots j$ - функция, определяющая количество работников и время их задействования для выполнения i -ой операции, $f(o_i, t_{oi}), i \in 1 \dots j$ - функция, определяющая перечень оборудования и время его использования для выполнения i -ой операции, j – общее число элементарных операций, входящих в работу.

Итогом анализа исторических данных проведенных работ для Заказчиков, будет сформированная матрица (3) для каждого Заказчика. После этого предварительный запрос у Заказчика данных по планируемому типу изучаемых пород позволяет спрогнозировать перечень проводимых работ и перейти от матрицы вероятностей (3) к матрице планируемых работ.

$$Z_w = \begin{bmatrix} w_1(\varphi_1)_z, w_2(\varphi_1)_z \dots w_q(\varphi_1)_z \\ w_1(\varphi_2)_z, w_2(\varphi_2)_z \dots w_q(\varphi_2)_z \\ \dots\dots\dots \\ w_1(\varphi_s)_z, w_2(\varphi_s)_z \dots w_q(\varphi_s)_z \end{bmatrix} \quad (5)$$

где $w_x(\varphi_y), x \in 1 \dots q, y \in 1 \dots s$ - конкретная работа, проводимая для определенного типа породы, q - общее количество работ, планируемых к выполнению, s - общее плановое количество типов пород, подлежащих исследованию.

Для того чтобы перейти от планируемого перечня работ (5) к расчету конкретной загрузки оборудования и сотрудников, необходимо помимо

планируемого типа пород, запросить у Заказчиков планируемые объемы изучаемого керна v

С учетом этого отдельная функция $f(o_i, t_i)$ из (4) может быть представлена в виде

$$f(o_i, t_{oi}) = \left[o_i, v * t_{oi_{ed}} \right] \quad (6)$$

где $o_i, i \in 1 \dots j$ - конкретная единица оборудования, используемая для выполнения i -ой операции, а $t_{oi_{ed}}$ - нормативное время выполнения i -ой операции на данном оборудовании для единицы исследуемого материала.

Аналогично представляется функция $f(r_i, t_i), i \in 1 \dots j$

$$f(r_i, t_{ri}) = \left[r_i, v * t_{ri_{ed}} \right] \quad (7)$$

где $r_i, i \in 1 \dots j$ - работник, выполняющий i -ю операцию, а $t_{ri_{ed}}$ - нормативное время выполнения i -ой операции для данного работника, затрачиваемое на единицу исследуемого материала.

Следует обратить внимание, что для (5) с учетом (4), (6) и (7) не может быть применена прямая оптимизация времени выполнения работ

вида $\sum_{i=1}^j (t_{ri} + t_{oi}) \rightarrow \min$. Это связано с тем, что последовательность и

время выполнения работ по технологической карте строго регламентированы и не могут быть изменены. Оптимизации может подлежать только совокупность времени выполнения для разных Заказчиков, а именно.

$$\sum_{z=1}^{Z_{общ.}} \sum_{i=1}^j (t_{riz} + t_{oiz}) \rightarrow \min \quad (8)$$

где $Z_{\text{общ.}}$ - общее планируемое количество Заказчиков.

Возможность применения оптимизации (8) связана с тем, что при выполнении работ для различных Заказчиков становится возможным оптимизировать загрузку оборудования и сотрудников за счет правильного распределения очередности стадий работ и уменьшения простоев.

При этом формула (8) является не только условием минимизирования времени выполнения исследований, но также одновременно является условием максимально эффективного использования ресурсов ЦИК, т.к. сокращение времени простоев автоматически приводит к возможности исследования дополнительных объемов ядра при том же составе оборудования и том же количестве работников.

Вопрос выбора конкретного метода для оптимизации (8) не входит в рамки данной статьи и будет рассмотрен позднее, в других публикациях.

Условия (8) позволяет оптимизировать загрузку оборудования и сотрудников в идеальных условиях отсутствия ограничений на сроки выполнения работ для конкретных Заказчиков. Однако реальная практика показывает, что Заказчик может поставить жесткие сроки исследований, которые необходимо учитывать при проведении оптимизации.

Модифицируем условие (5) в виде $Z_w \rightarrow Z_w(d_z)$, где d_z - предельный срок выполнения работ, установленный Заказчиком z . В этом случае $d_{sz} + \sum_{i=1}^j (t_{riz} + t_{oiz}) \leq d_z$, где d_{sz} - дата начала работ для Заказчика z .

Итоговым условием оптимизации работ по ЦИК в целом при этом будет являться

$$\sum_{z=1}^{Z_{\text{общ.}}} [(d_{sz} + \sum_{i=1}^j (t_{riz} + t_{oiz})) \rightarrow d_z] \rightarrow \min \quad (9)$$

Очевидно, что при такой постановке условия, при близких d_z для различных Заказчиков, может начаться конкуренция за использование ресурсов [1] ЦИК.

Наилучшим для всех в этом случае будет являться нахождение Парето-оптимального решения, при котором сроки окончания исследования для каждого Заказчика не могут быть сдвинуты без того, чтобы это не повлекло ухудшение сроков исполнения для других Заказчиков.

Однако очевидно, что этот чисто математически-оптимальный метод в большей части случаев не может быть применен на практике. Работы разных Заказчиков изначально имеют различные приоритеты по ряду условий в зависимости от области и сроков применения тех или иных результатов лабораторных исследований.

Тем не менее, такой вывод не только не делает ненужным анализ на Парето-оптимальность, но напротив, именно в таких условиях данный анализ становится необходимым, т.к. позволяет создать объективную основу для ведения переговоров с Заказчиками.

С учетом вышеизложенного можно предложить следующий порядок планирования работ ЦИК:

1. На основании статистического анализа данных по отдельным Заказчикам формируется матрица (3).
2. У Заказчиков запрашиваются данные по типам исследуемых пород и предполагаемому объему керна на период планирования, а также по желательной для него дате окончания работ.
3. По собранным данным типов пород формируется матрица (5) наиболее вероятных работ, которая служит основой для прогнозного плана работ.
4. С учетом данных по объему керна и формул 4-7 определяется срок выполнения работ для данного Заказчика.

5. Аналогично п.п. 1-4 собираются и обрабатываются данные по всем Заказчикам.
6. Производится оптимизация по формуле (9) для совокупности Заказчиков. Находится Парето-оптимальное решение.
7. Если это решение для отдельных Заказчиков не является оптимальным – с ними проводятся переговоры по уточнению сроков выполнения работ или обсуждается возможность передачи определенных объёмов исследований на субподряд.
8. В случае изменения приоритетов работ – п.п. 6-7 повторяются с поправкой на приоритеты.

Заключение

Применение описанной методики многопараметрической оптимизации с учетом вероятностного распределения работ и применения принципа оптимальности Парето позволяет:

- с высокой степенью вероятности планировать работы по исследованию керна;
- планировать максимально эффективную загрузку оборудования;
- планировать выполнение работ для всех Заказчиков в максимально короткие сроки;
- получить объективный анализ сроков выполнения работ, которые являются оптимальными для выполнения обязательств по договорам на лабораторные исследования;
- повысить эффективность переговоров с Заказчиками по возможному сроку переноса окончания работ за счет применения математически достоверных аргументов.

Список литературы

1. Колокольцев В.Н. Математическое моделирование многоагентных систем конкуренции и кооперации (Теория игр для всех) – СПб.: Лань, 2012. – 624 с.
2. Ehrgott M. *Multicriteria Optimization*. – Springer, 2005
3. Ehrgott M. and X. Gandibleux *Approximative Solution Methods for Multiobjective Combinatorial Optimization*. – Top, 2004 – 63 с.
4. Gardashova L.A., Balayev R.S., Aliyeva Z.R. Fuzzy information system for oil refinery plant. – Fifth International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft computing. Milan, Italy, 2002 – p. 271 – 275
5. Jie Lu, Guangquan Zhang Da Ruan, Fendjie Wu. *Multi-objective group decision Making*. – Imperial London College Press. 2007. – 390 p.
6. Miettinen Kaisa. *Nonlinear Multiobjective Optimization*. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999. – 299 p.
7. Семенов В.А. Теория вероятностей и математическая статистика. – СПб.: Питер, 2013. – 192 с.
8. Соболев И.М. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Дрофа, 2006. – 175 с.
9. Зак Ю.А. Прикладные задачи многокритериальной оптимизации. – М.: Экономика, 2014 – 455 с.

References

1. Kolokoltsev V.N. *Matematicheskoe modelirovanie mnogoagentnyh sistem konkurencii i kooperacii (Teoriya igr dlya vsekh)* [Mathematic modeling of multi-agent competition and cooperation systems (Game theory for everyone)]. St. Petersburg: Lan Publ., 2012. 624 p. (in Russian)
2. Ehrgott M.. *Multicriteria Optimization*. – Springer, 2005
3. Ehrgott M. and X. Gandibleux *Approximative Solution Methods for Multiobjective Combinatorial Optimization*. – Top, 2004 – 63 с.
4. Gardashova L.A., Balayev R.S., Aliyeva Z.R. Fuzzy information system for oil refinery plant. – Fifth International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft computing. Milan, Italy, 2002 – p. 271 – 275
5. Jie Lu, Guangquan Zhang Da Ruan, Fendjie Wu. *Multi-objective group decision Making*. – Imperial London College Press. 2007. – 390 p.
6. Miettinen Kaisa. *Nonlinear Multiobjective Optimization*. – Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999. – 299 p.
7. Semenov V.A. *Teoriya veroyatnostej i matematicheskaya statistika* [Theory of probability and mathematical statistics]. St. Petersburg: Lan Publ., 2013. 192 p. (in Russian)
8. Sobol I.M. *Vybor optimal'nyh parametrov v zadachah so mnogimi kriteriyami* [Selection of optimal parameters in problems with multiple criteria]. Moscow: Drofa Publ., 2006. 175 p. (in Russian)
9. Zak Yu.A. *Prikladnye zadachi mnogokriterial'noj optimizacii* [Applied problems of multicriteria optimization]. Moscow: Ekonomika Publ., 2014. 455 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Каширских Дмитрий Васильевич, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»,
г. Тюмень, Российская федерация
E-mail: DVKashirskikh@tnnc.rosneft.ru

Ческидов Роман Николаевич, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень,
Российская федерация
E-mail: DVKashirskikh@tnnc.rosneft.ru

Вахрушева Ирина Александровна, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»,
г. Тюмень, Российская федерация
E-mail: IAVahrusheva@tnnc.rosneft.ru

Authors

Kashirskikh D.V., LLC «Tyumen Petroleum Research Center», Tyumen, Russian Federation
E-mail: DVKashirskikh@tnnc.rosneft.ru

Cheskidov R.N., LLC «Tyumen Petroleum Research Center», Tyumen, Russian Federation
E-mail: DVKashirskikh@tnnc.rosneft.ru

Vahrusheva I.A. LLC «Tyumen Petroleum Research Center», Tyumen, Russian Federation
E-mail: IAVahrusheva@tnnc.rosneft.ru

Каширских Дмитрий Васильевич
625002, Российская Федерация
г. Тюмень, ул. Осипенко 79/1
Тел.: (3452) 52-90-90 (6238)
E-mail: DVKashirskikh@tnnc.rosneft.ru