

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2020.3.113-123>

УДК 622.276.1/4.001

Применение оптимизационных алгоритмов при формировании долгосрочной программы геолого-технических мероприятий в условиях ограничений

¹Насыбуллин А.В., ²Чирикин А.В., ²Гирфанов Р.Г., ²Денисов О.В., ²Лазарева Р.Г.

¹Альметьевский государственный нефтяной институт, Альметьевск, Россия

²ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина, Альметьевск, Россия

Application of optimization algorithms in the formation of a long-term program of production enhancement operation under conditions of constraints

¹A.V. Nasybullin, ²A.V. Chirikin, ²R.G. Girfanov, ²O.V. Denisov, ²R.G. Lazareva

¹Almetyevsk State Petroleum Institute, Almetyevsk, Russia

²PJSC TATNEFT, Almetyevsk, Russia

E-mail: arsval@bk.ru

Аннотация. Падение спроса на углеводородное сырье, снижение котировок нефти, введение ограничений на добычу, рост доли месторождений с истощенными запасами и повышение обводненности продукции - все эти факторы ведут к тому, что перед нефтяными компаниями ставится задача корректировки стратегии управления собственными активами.

В статье рассматривается подход к повышению качества управленческих решений при разработке нефтяных месторождений на основе долгосрочного многопериодного планирования геолого-технических мероприятий. Описана методология применения оптимизационных моделей при формировании долгосрочного плана разработки по всем нефтяным объектам компании в условия ограничений на капитальные вложения или добычу нефти на конкретный период. Приведены целевые функции, используемые при построении оптимизационных моделей. Показана эффективность применения нейросетевых алгоритмов и высокопроизводительных вычислений при решении задач большой размерности.

Ключевые слова: геолого-технические мероприятия, планирование, инвестиционный портфель, оптимизационные модели, нейронные сети, высокопроизводительные вычисления

Для цитирования: Насыбуллин А.В., Чирикин А.В., Гирфанов Р.Г., Денисов О.В., Лазарева Р.Г. Применение оптимизационных алгоритмов при формировании долгосрочной программы геолого-технических мероприятий в условиях ограничений//Нефтяная провинция.-2020.-№3(23).-С.113-123. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2020.3.113-123>

Abstract. Hydrocarbons demand and oil prices decreasing, restrictions on oil production, share of depleted reserves and water cut increasing - all these factors face oil companies with the task of adjusting their own asset management strategies.

The article considers an approach of improving the quality of management decisions in oil fields development based on long-term multi-period planning of production enhancement operations. The article describes methodology of applying optimization models to long-term development plan for all oil facilities of the company, considering the restrictions on capital investments or oil production for a specific period. The objective functions used in the optimization models are presented. The effectiveness of neural network algorithms and high-performance computing in solving large-scale problems is shown.

Key words: production enhancement operations, planning, investment portfolio, optimization models, neural networks, high performance computing

For citation: A.V. Nasybullin, A.V. Chirikin, R.G. Girfanov, O.V. Denisov, R.G. Lazareva *Primenenie optimizatsionnykh algoritmov pri formirovanii dolgosrochnoj programmy geologo-tehnicheskikh meroprijatij v usloviyah ograničenij* [Application of optimization algorithms in the formation of a long-term program of production enhancement operation under conditions of constraints]. *Neftyanaya Provintsiya*, No. 3(23), 2020. pp.113-123. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2020.3.113-123> (in Russian)

Текущая ситуация на рынке нефти, связанная с глобальным падением спроса на углеводородное сырье, ставит перед нефтяными компаниями задачу корректировки стратегий управления активами. В характерных для многих нефтепроизводителей условиях, когда растет как доля месторождений с истощенными запасами, так и обводненность продукции, проблемам стратегического планирования уделяется все большее внимание. Стабилизирующим фактором на протяжении последних нескольких лет выступало достигнутое между странами экспортёрами нефти соглашение ОПЕК+, которое по прогнозам Администрации энергетической информации США должно было удерживать уровень цен на нефть сорта Brent в 2020 году в

районе 60,5 долл./барр. [1]. В первом квартале 2020 года участники сделки не достигли согласия по продлению ограничений, что повлекло за собой ценовую дестабилизацию на рынке углеводородного сырья и, в конечном счёте, привело к заключению новой, беспрецедентной сделки по сокращению добычи нефти.

Повышение ограничений до рекордного уровня касается всех нефтяных компаний на территории Российской Федерации, в особенности крупных, и ведет к пересмотру стратегических планов, последующей корректировке запланированной ранее производственной программы выполнения геолого-технических мероприятий (ГТМ). Для достижения поставленных целевых показателей при формировании инвестиционного портфеля нефтегазодобывающими компаниями применяются различные подходы, в том числе, в последнее время набирающие популярность, методы построения оптимизационных моделей для повышения эффективности инвестиций [2].

В статье рассматривается методологический подход к формированию эффективного многопериодного плана выполнения геолого-технических мероприятий на объектах компании ПАО «Татнефть» в условиях ограничений на объёмы добычи нефти. Методика разработана при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014—2020 годы» по теме «Создание технологии долгосрочного планирования инвестиций для эффективной разработки нефтяных месторождений на основе высокопроизводительных вычислений и машинного обучения», соглашение №05.604.21.0253 от 02 декабря 2019 года (RFMEFI60419X0253).

В качестве исходной информации для оптимизационной модели используется множество сгенерированных сценариев разработки по каждому из объектов компании ПАО «Татнефть». Многовариантность формирования обеспечивается размещением планируемых ГТМ по степени значимости

различных технико-экономических показателей и смещением даты начала выполнения мероприятия на временной шкале. Для генерации сценариев и перерасчёта технико-экономических показателей разработаны программные модули генерации сценариев и расчёта технико-экономических показателей на основе прокси-моделей программного комплекса «Лазурит» [3]. Данный программный продукт на основе существующих, постоянно адаптируемых прокси-моделей позволяет сгенерировать достаточное количество обоснованных вариантов сценариев разработки с учётом перераспределения остаточных запасов при изменении структуры плана ввода геолого-технических мероприятий.

В ПАО «Татнефть» разрабатывается несколько сотен объектов с традиционными запасами углеводородов, по которым могут быть сформированы десятки и сотни сценариев их разработки и эксплуатации. Соответственно, вариативность задачи построения долгосрочной производственной программы в целом по компании, отвечающей стратегии развития и ограничениям, очень велика. Для примера, формирование по 200 объектам разработки 100 сценариев даст 200^{100} взаимных комбинаций возможных стратегий. Получается, мы имеем огромный массив значений технико-экономических показателей на каждый год планирования производственной программы и набор заданных ограничений, в качестве которых могут выступать введённые квоты на добычу нефти и различные технологические показатели.

Как известно, самое оптимальное решение может быть найдено путем сплошного перебора, но затраченное на поиск время на несколько порядков превосходит допустимое, даже если проводить расчёты на современных суперкомпьютерах. Поэтому для поиска решения необходимо использовать различные оптимизационные алгоритмы. Одним из способов решения задачи такого рода является использование алгоритмов стохастической оптимизации, к которым относятся методы перекрестной энтропии (англ. Cross-Entropy) [4] и имитации отжига (англ. Simulated Annealing) [5].

В методе перекрестной энтропии используются принципы случайного упорядоченного поиска, когда с каждой пройденной итерацией из N комбинаций формируется выборка n лучших и производится модификация функции распределения случайной величины. Таким образом нахождение варианта близкого к глобальному оптимуму становится достижимо за конечное время.

При решении оптимизационной задачи многопериодного планирования в качестве целевого показателя может выступать сумма чистого дисконтированного дохода (ЧДД) при реализации мероприятий инвестиционной программы. Рассмотрим алгоритм поиска максимального ЧДД при ограничении на добычу нефти.

Целевая функция выглядит следующим образом:

$$\sum_{i=1}^Y \sum_{j=1}^M NPV(x_{ij}) \rightarrow \max$$

где

Y – количество лет планирования;

M – объекты разработки;

$NPV(x_{ij})$ – чистый дисконтированный доход варианта сценария x в i год j объекта разработки.

В качестве дополнительных условий выступает ограничение добычи нефти на первые пять лет планирования. При выполнении расчётов на каждой итерации алгоритма производится расчёт штрафа функции, в рассматриваемом примере он вычисляется по формуле:

$$penalty_i = \max(Q_i - r_i, 0) * f_{\max}$$

где

$penalty$ – значение штрафной функции;

Q_i – суммарная добыча нефти в i -й год по всем объектам разработки;

r_i – установленные ограничения на добычу нефти на i -й год;

$f_{\max}$ – большое число ($1.340781e+154$), применяется для гарантии отбраковки варианта и помещения его в конец списка при получении результатов итерации.

По завершению расчётов итерации формируется массив вариантов, упорядоченный по убыванию значений целевой функции, из которого на следующем шаге будет выбрано n лучших для дальнейшей адаптации алгоритма. Завершение расчётов происходит в том случае, когда дисперсия вектора вероятности функции подбора становится меньше заданного предела в соответствии с настройкой. Результатом работы оптимизационного алгоритма является вектор номеров вариантов, при котором достигается максимальное значение рассчитанного чистого дисконтированного дохода с учётом выполнения всех установленных ограничений.

На рисунке ниже представлены графики для сравнения эффективности применения оптимизационных алгоритмов с подходом на основе ранжирования инвестиционной программы по показателю чистого дисконтированного дохода. Ограничения в обоих случаях накладываются сверху, не более заданных значений.

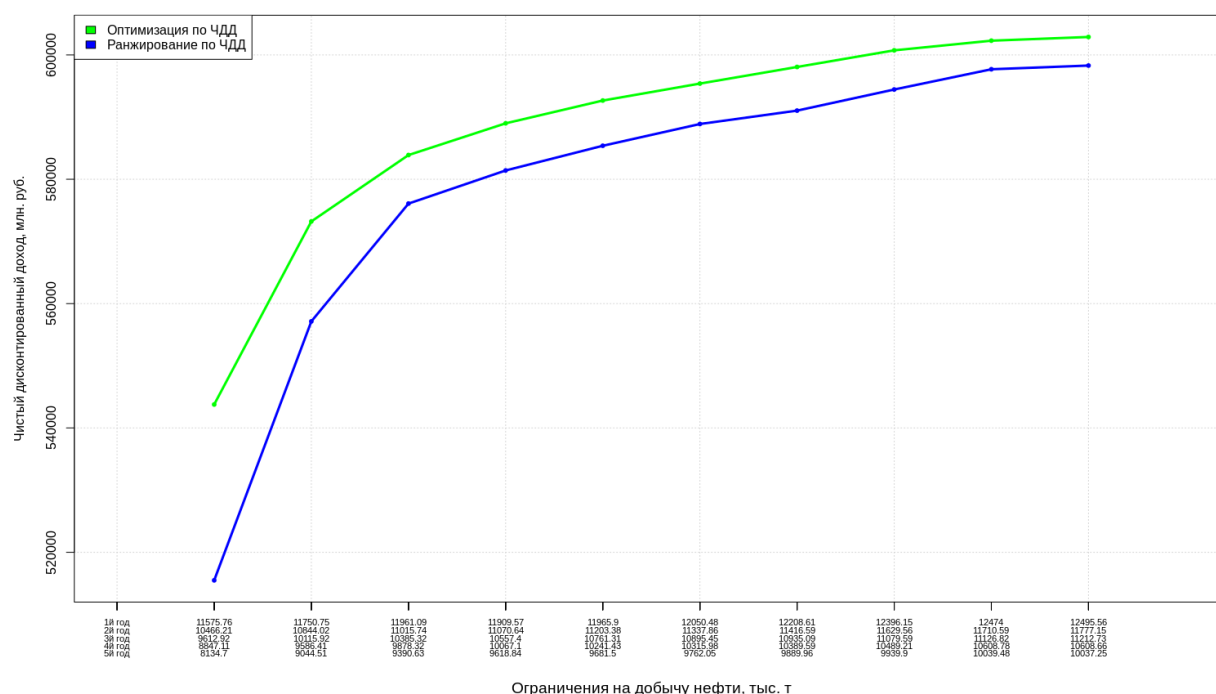


Рис. Сопоставление эффективности применения оптимизационных алгоритмов и методов ранжирования

Как видно из графиков, при наличии множества вариантов стратегий

разработки объектов и применения методов оптимизации возможно достигнуть большего значения показателя ЧДД с идентичными значениями ограничений на добычу нефти по годам относительно базового способа формирования портфеля ГТМ по компании в целом.

Как уже говорилось ранее, размерность задачи очень велика и количество сгенерированных вариантов сценариев может быть увеличено многократно, соответственно, это приведёт к повышению длительности счёта, даже с учётом применения современных оптимизационных алгоритмов и компьютеров. В этом случае для решения задачи следует использовать подходы, позволяющие провести сокращение её размерности. Существующие технологии построения искусственных нейронных сетей позволяют решать задачи кластеризации любых цифровых данных, будь то картинки животных или технологические параметры. В нашем случае это свойство нейросетей нам необходимо при выполнении процесса сокращения объема данных, а, следовательно, и размерности задачи. Для сокращения размерности использовалась самоорганизующаяся карта Кохонена (англ. Self-organized map - SOM) – нейронная сеть с обучением без учителя, являющаяся методом проецирования многомерного пространства в пространство с более низкой размерностью (чаще всего, двумерное) [6]. Это позволило получить из представленного множества сгенерированных вариантов кратно меньшее их количество, объединяя их в группы по схожести значений технико-экономических характеристик. В результате сокращается размерность оптимизационной задачи.

Естественно, сокращение размерности не является решением, повышающим эффективность оптимизационной модели, соответственно были рассмотрены иные варианты повышения скорости расчётов при нахождении экстремума функции. Применение технологии высокопроизводительных вычислений на графических процессорах и использование программно-аппаратной технологии CUDA позволяет существенно повысить скорость

вычислений за счёт возможности распараллеливания на большое количество потоков.

Под многопериодным планированием инвестиционной деятельности компании следует понимать срок до пяти лет. При более длительном сроке успешность планирования начинает снижаться.

Ввиду того, что на текущий момент времени на рынке углеводородного сырья сохраняется профицит продукции и введены ограничения на добычу, формирование долгосрочной инвестиционной программы проведения геолого-технических мероприятий является актуальной задачей. Применение оптимизационной модели позволит сформировать перечень ГТМ на планируемый пятилетний период таким образом, чтобы наиболее эффективным способом снизить инвестиционную нагрузку на текущий год с обязательным выполнением всех взятых на себя обязательств по сокращению добычи нефти, но при этом обеспечить докризисный уровень на последующие годы. Таким образом, решение задачи в такой постановке позволяет обоснованно установить предел проводимых мероприятий по бурению новых скважин в период сохранения ограничений, который позволит компании не потерять уровень добычи в будущем.

Месторождения компании ПАО «Татнефть» находятся на поздней стадии разработки, характеризующейся истощением запасов и высокой степенью обводненности, а, следовательно, многие из них эксплуатируются с учётом льгот. Учитывая также наличие месторождений, находящихся на стадии близкой к началу льготирования, и применяя сценарии многопериодного планирования с использованием оптимизационной модели, может решаться задача по подбору стратегии формирования инвестиционного портфеля с эффективным перераспределением акцентов внимания на льготлируемые объекты с целью повышения рентабельности разработки для Компании в целом.

Выводы.

Расчетные эксперименты показали, что данный подход способствует улучшению механизмов разработки стратегических планов компании в области нефтедобычи путем формирования многопериодного инвестиционного портфеля геолого-технических мероприятий в условиях макро- и микроэкономических ограничений на основе построенных оптимизационных моделей и высокопроизводительных вычислений с плановыми целевыми показателями эффективности не менее двух процентов, относительно существующей схемы планирования ГТМ.

Список литературы

1. Бобылев, Ю.Н. Мировой рынок нефти: основные тенденции // Экономическое развитие России. - 2020. - №2. - С.25-28.
2. Вашкевич, А.А. Оптимизация портфеля проектов геолого-разведочных работ с целью повышения эффективности / А.А. Вашкевич, В.А. Шашель, А.С. Бочков, В.В. Жуков, С.А. Погребнюк, Р.Р. Газалиев, П.Ю. Киселев, Е.Г. Федоров, А.В. Сизых // Нефтяное хозяйство. - 2017. - №12. - С.10-13.
3. Латифуллин, Ф.М. Использование пакета программ АРМ геолога «ЛАЗУРИТ» для геолого-технологического моделирования и планирования геолого-технических мероприятий на объектах разработки ПАО «Татнефть» / Ф.М. Латифуллин, Рам.З. Саттаров, М.А. Шарифуллина // Нефтяное хозяйство. - 2017. - №6. - С.40-43.
4. Tim Benham, Qibin Duan, Dirk P. Kroese, Benoît Liqueur, 2017. CEoptim: Cross-Entropy R Package for Optimization. Journal of Statistical Software. 76, Issue 8. www.jstatsoft.org/index.php/jss/article/view/v076i08/v076i08.pdf.
5. Yang Xiang, Sylvain Gubian, Brian Suomela and Julia Hoeng. Generalized Simulated Annealing for Global Optimization: The GenSA Package. The R Journal. 2013. 5:1. p. 13-28. journal.r-project.org/archive/2013/RJ-2013-002/RJ-2013-002.pdf.
6. Kohonen, T. Self-Organizing Maps (Third Extended Edition), 2001. New York, pp: 501.

References

1. U.N. Bobylev *Mirovoj rynek nefti: osnovnye tendencii* [The main trends in the world oil market]. Ekonomicheskoe razvitie Rossii, No.2, 2020, pp.25-28 (in Russian)
2. A.A. Vashkevich, V.A. Shashel, A.S. Bochkov, V.V. Zhukov, S.A. Pogrebnyuk, R.R. Gazaliev, P.U. Kiselev, E.G. Fedorov, A.V. Sizykh *Optimizaciya portfelya projektov geologo-razvedochnyh rabot s cel'yu povysheniya effektivnosti* [Optimization of prospecting projects portfolio aimed at efficiency improvement]. Neftyanoye Khozyaistvo, No.12, 2017, pp.10-13 (in Russian)

3. F.M. Latifullin, R.Z. Sattarov, M.A. Sharifullina *Ispol'zovanie paketa programm ARM geologa «LAZURIT» dlya geologo-tehnologicheskogo modelirovaniya i planirovaniya geologo-tehnicheskikh meropriyatij na ob"ektah razrabotki PAO "Tatneft"* [Use of LAZURIT software package for geotechnical simulation and well intervention planning for TAT-NEFT's assets]. Neftyanoye Khozyaistvo, No.6, 2017, pp.40-43 (in Russian)
4. Tim Benham, Qibin Duan, Dirk P. Kroese, Benoît Liquet, 2017. CEoptim: Cross-Entropy R Package for Optimization. Journal of Statistical Software. 76, Issue 8. www.jstatsoft.org/index.php/jss/article/view/v076i08/v076i08.pdf.
5. Yang Xiang, Sylvain Gubian, Brian Suomela and Julia Hoeng. Generalized Simulated Annealing for Global Optimization: The GenSA Package. The R Journal. 2013. 5:1. p. 13-28. journal.r-project.org/archive/2013/RJ-2013-002/RJ-2013-002.pdf.
6. Kohonen, T. Self-Organizing Maps (Third Extended Edition), 2001. New York, pp: 501.

Сведения об авторах

Насыбуллин Арслан Валерьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Альметьевский государственный нефтяной институт

Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 2

E-mail: ar sval@bk.ru

Чирикин Александр Владимирович, ведущий бизнес-аналитик, ПАО «Татнефть»

Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 75

E-mail: chirikinav@gmail.com

Гирфанов Руслан Габдульянович, руководитель группы математического моделирования производственных процессов, ПАО «Татнефть»

Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 75

E-mail: girfanov_rg@tatneft.ru

Денисов Олег Владимирович, кандидат технических наук, ведущий бизнес-аналитик, ПАО «Татнефть»

Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 75

E-mail: denisovov@tatneft.ru

Лазарева Регина Геннадьевна, ведущий бизнес-аналитик, ПАО «Татнефть»

Россия, 423450, Альметьевск, ул. Ленина, 75

E-mail: regina.lazareva@gmail.com

Authors

A.V. Nasybullin, Dr.Sc, Professor, Head of the Department for Development and Operation of Oil and Gas Fields, Almeteyevsk State Oil Institute, Almeteyevsk

2, Lenin st., Almeteyevsk, 423450, Russian Federation

E-mail: ar sval@bk.ru

A.V. Chirikin, Leading business analyst, PJSC TATNEFT

75, Lenin st., Almeteyevsk, 423450, Russian Federation

E-mail: chirikinav@gmail.com

R.G. Girfanov, Head of the group of mathematical modeling of production processes, PJSC TATNEFT

75, Lenin st., Almeteyevsk, 423450, Russian Federation

E-mail: girfanov_rg@tatneft.ru

O.V. Denisov, PhD, Leading business analyst, PJSC TATNEFT

75, Lenin st., Almeteyevsk, 423450, Russian Federation

E-mail: denisovov@tatneft.ru

R.G. Lazareva, Leading business analyst, PJSC TATNEFT

75, Lenin st., Almeteyevsk, 423450, Russian Federation

E-mail: regina.lazareva@gmail.com

Статья поступила в редакцию 25.08.2020;

Принята к публикации 23.09.2020;

Опубликована 30.09.2020