

DOI 10.25689/NP.2019.1.90-101

УДК 622.276.6

**ФОРМИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОГО ПОРТФЕЛЯ ГЕОЛОГО-
ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ НЕФТЯНОЙ КОМПАНИИ НА
ОСНОВЕ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ И НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ**

Денисов О.В.

ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина

**APPLICATION OF OPTIMIZATION AND NEURAL NETWORK
ALGORITHMS FOR EFFECTIVE PORTFOLIO OF GEOLOGICAL AND
TECHNOLOGICAL ACTIVITIES FORMATION OF AN OIL COMPANY**

Denisov O.V.

PJSC TATNEFT

E-mail: denisovov@tatneft.ru

Аннотация. В статье представлены результаты исследований применимости статистических, нейросетевых, оптимизационных алгоритмов в решении задач обоснованного подбора геолого-технических мероприятий и формирования портфеля мероприятий нефтяной компании в условиях ограничений на объемы добычи и по направлениям инвестирования. Рассмотрена возможность использования самоорганизующихся карт Кохонена для кластеризации мероприятий по условиям применения и технологиям. На основе накопленной статистики о результативности проведенных мероприятий, их характеристик предложено построение вероятностной модели оценки эффективности планируемого мероприятия на основе байесовских сетей, которая в наглядном виде может быть представлена в виде ациклического направленного графа, отражающего последовательную взаимосвязь входящих в модель параметров. Построенная модель для любого сочетания параметров позволяет получить номограмму вероятностного распределения заданного события, например, вероятности достижения заданной точечной или интервальной оценки удельного показателя эффективности мероприятия. После оценки эффективности планируемого мероприятия может быть поставлена задача формирования оптимального портфеля геолого-технических мероприятий в условиях ограничений на объемы добываемой продукции и капитальные вложения. На основе использования реализованного пакета оптимизационных алгоритмов (метод ветвей и границ, генетические алгоритмы, метод перекрестной энтропии) исследована и решена задача формирования портфеля геолого-

технических мероприятий крупной нефтяной компании в условиях ограничений на объемы добываемой продукции и капитальные затраты по направлениям инвестирования. Реализован программный инструмент формирования эффективного инвестиционного портфеля по блоку разработка и добыча ПАО «Татнефть», позволивший существенно увеличить плановый чистый дисконтированный доход и количество принимаемых в портфель мероприятий при заданных ограничениях на объемы добычи и капитальные затраты.

Ключевые слова: планирование ГТМ, самоорганизующиеся карты Кохонена, байесовские сети, оптимизационные алгоритмы, формирование портфель мероприятий

Abstract. The article presents the result of the research of reasonable selection of geological and technological activities for an activities portfolio formation of an oil company in the context of restrictions on production volume and investment area. The number of statistical, neural network, optimization algorithms has been applied while solving this issue. The possibility of using Kohonen self-organizing maps for clustering activities under the terms of use and technologies is considered. It was proposed to build a probabilistic model for evaluating the effectiveness of the planned activities based on Bayesian networks, which can be visualized as an acyclic directed graph reflecting the consistent interrelation of the parameters included in the model. This model is based on the accumulated statistics of the activities effectiveness and other characteristics. The constructed model allows us to obtain a nomogram of the probability distribution of a given activity for any combination of parameters, for example, the probability of achieving exact or approximate value of the activity effectiveness specific measure. After evaluating the effectiveness of the planned activity, the task of forming an optimal portfolio of geological and technological activities under the restrictions on the production volume and capital expenditures can be set. The issue of forming a portfolio of geological and technological activities for a large oil company has been studied and solved using the implemented package of optimization algorithms (branch and bound method, genetic algorithms, cross-entropy method). The software tool for the effective investment portfolio formation in the "Development and production of oil" block of PJSC TATNEFT has been implemented. The tool has significantly increased the planned net present value and the number of activities taken in the portfolio under restrictions on production volume and capital expenditures.

Key words: geological and technological activities planning, Kohonen self-organizing maps, Bayesian networks, optimization algorithms, activities portfolio formation

С уменьшением доли извлекаемых запасов нефти, увеличением накопленной статистики об условиях применения и успешности геолого-технологических мероприятий все более актуальным становится

направление подбора методик и технологий, обоснованного выбора скважин и объектов для их проведения, оценки качества геологических и гидродинамических моделей на основе статистических методов анализа данных [1]. В настоящее время используется большое количество МУН, среди которых различают следующие типы: тепловые, газовые, химические, гидродинамические и микробиологические. Применимость конкретных методов зависит от многих распределенных параметров конкретной скважины и окружающих физико-емкостных свойств пласта. В связи с этим особую актуальность приобретают исследования, направленные на прогнозирование их эффективности, целью которых является подбор наиболее подходящих методов для конкретных условий.

Первичные исследования накопленных данных о приростах добычи продукции в зависимости от конкретного мероприятия, скважинных и пластовых характеристик производились на основе использования нейросетевых моделей, основанных на самоорганизующихся картах Кохонена [2]. На основе двунаправленных карт Кохонена была произведена кластеризация «входных» характеристик проведенных мероприятий (первый слой карты) и распределенных векторов прироста добычи нефти (второй слой). Несмотря на то, что предположение о возможности прямого прогнозирования приростов добычи и эффективности проведенного мероприятия на таких моделях оказалось необоснованным, тем не менее, указанные нейросетевые модели позволили выявить общие характеристики мероприятий и условия их применения, позволяющие осуществлять рекомендательный подбор подходящих технологий для конкретных горизонтов [3].

Следующим исследовательским этапом было выявление причинно-следственных связей между входным набором атрибутов, связанных с МУН на бобриковско-тульских отложениях, проведенных на магнетательном фоне скважин (группа мероприятий, геологическое

строение участка, технологические параметры МУН) и выходным набором атрибутов, характеризующих эффективность (дополнительная добыча нефти, индекс доходности дисконтированный затрат).

Анализ исходной информации проводился с помощью ряда методов: кластерный анализ, деревья принятия решений, случайный лес, поиск совместного и условного распределения статистики атрибутов с построением статистической модели с применением байесовских сетей.

Все алгоритмы реализовывались на высокопроизводительном вычислительном узле Центра обслуживания бизнеса ПАО «Татнефть» с целью последующего опробования методик обработки данных и сравнения результатов работы.

В качестве наиболее достоверного и обоснованного метода прогнозирования эффективности мероприятия был выбран метод поиска совместного и условного распределения статистики атрибутов модели на основе применения байесовских сетей [4], позволяющий оценивать результаты не только по качеству прогнозирования вероятности достижения заданного точечного или интервального значения целевого показателя, но и с точки зрения физической целесообразности, создаваемых этим методом причинно-следственных статистических цепочек между атрибутами модели.

Для получения модели (расчета графа связей) использовались различные расчетные методы: поиск восхождением к вершине, имитация отжига, поиск с запретами, метод кросс-энтропии [5, 6].

Простое классическое графическое отображение построенной модели может быть представлено в виде:

- ациклического направленного графа. В узлах графа расположены атрибуты (события), связи между узлами свидетельствуют о вероятностной связи между атрибутами;

- набора правил, позволяющих на основе совместного распределения атрибутов рассчитать условную вероятность интересующего нас события при известном или вероятном наборе атрибутов.

На рис. 1 представлен один из вариантов полученного в результате расчетов графического представления модели в виде направленного ациклического графа.

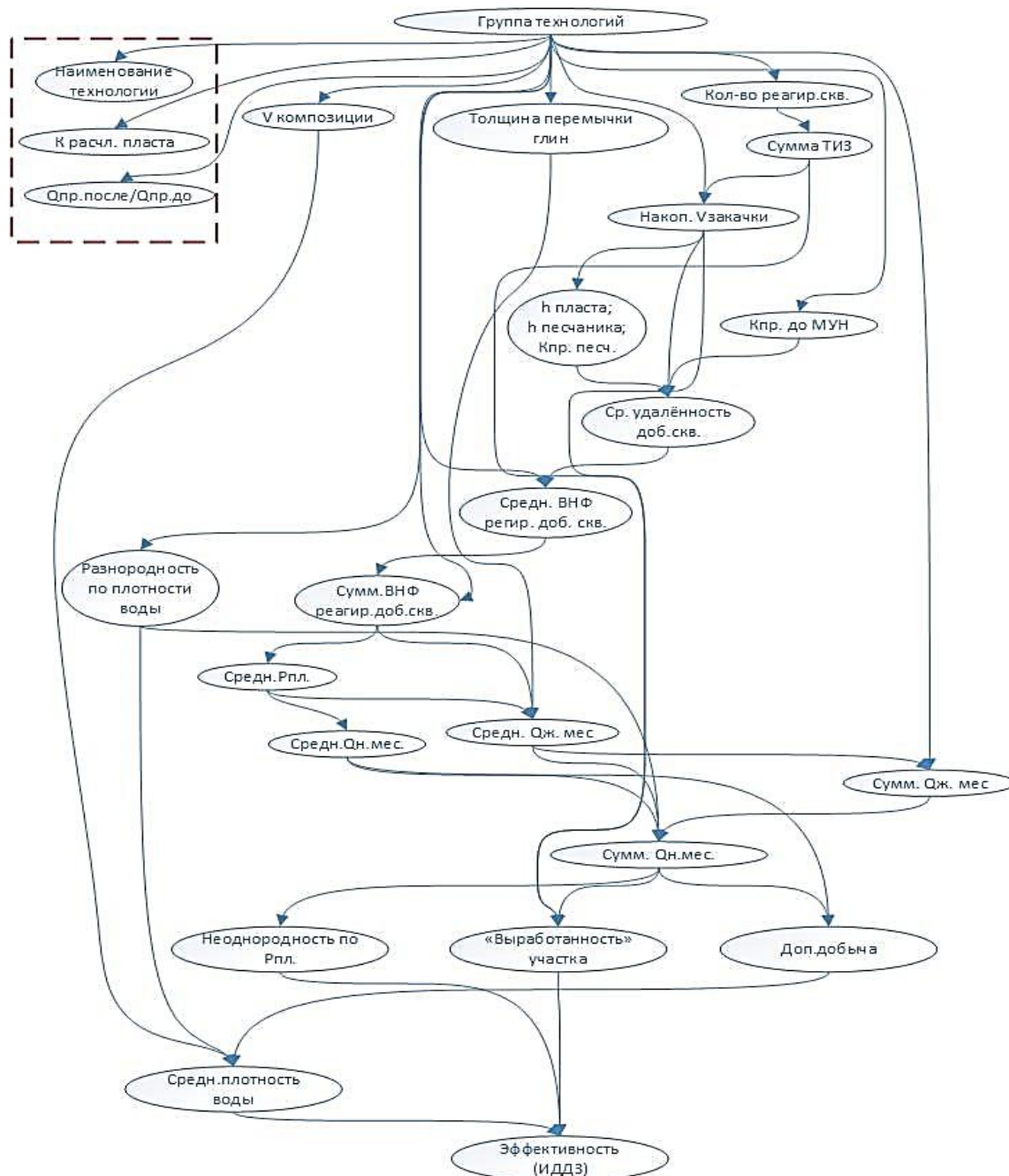


Рис. 1. Графическое представление статистических связей атрибутов модели (байесовская сеть)

Следует отметить, что наличие связи может быть объяснено как физической зависимостью, так и чисто статистической. Эксперт в ходе моделирования может, как убрать ненужные связи, так и добавить новые. На представленном графе связи не редактировались.

Рассчитанная на данных из 584 мероприятий модель не выявила связи между наименованием технологии и эффективностью. В наличии только связь между группой технологий и эффективностью. Это говорит только о том, что исходная выборка не позволяет качественно ранжировать технологии по эффективности (все технологии в среднем одинаковы по эффекту), но группы технологий качественно отличаются друг от друга, а вместе с другими атрибутами модели позволяют давать вероятностную прогнозную оценку результативности мероприятия.

Отметим, что построенная модель дает возможность рассчитывать наглядные распределения вероятности события (например, ИДДз > 1,3) в зависимости от изменения двух каких-либо параметров, входящих в модель, т.к. двумерные зависимости легко могут быть представлены в виде номограмм и отображены на плоскости.

Поясним, что модель распределения вероятности события представляет собой «гиперкуб» в $(n-1)$ -мерном пространстве (где n - количество параметров, входящих в модель), а плоские представления номограмм зависимостей вероятности события от двух параметров – плоский двумерный срез вероятностного «гиперкуба» по указанным параметрам. Следовательно, для параметров, которые имеют прямую и очевидную статистическую взаимосвязь, мы будем получать наблюдаемую и интерпретируемую на номограмме зависимость, а для сложно связанных параметров (параметры связаны через последовательность взаимовлияющих атрибутов) будем получать сложную картину вероятностного поля, которое не может подлежать прямой интерпретации,

но обязательно будет входить в расчет вероятности события для всех входящих в модель атрибутов.

На рис. 2 представлен один из срезов вероятностного гиперкуба построенной модели для параметров толщина пласта и объем используемого агента.

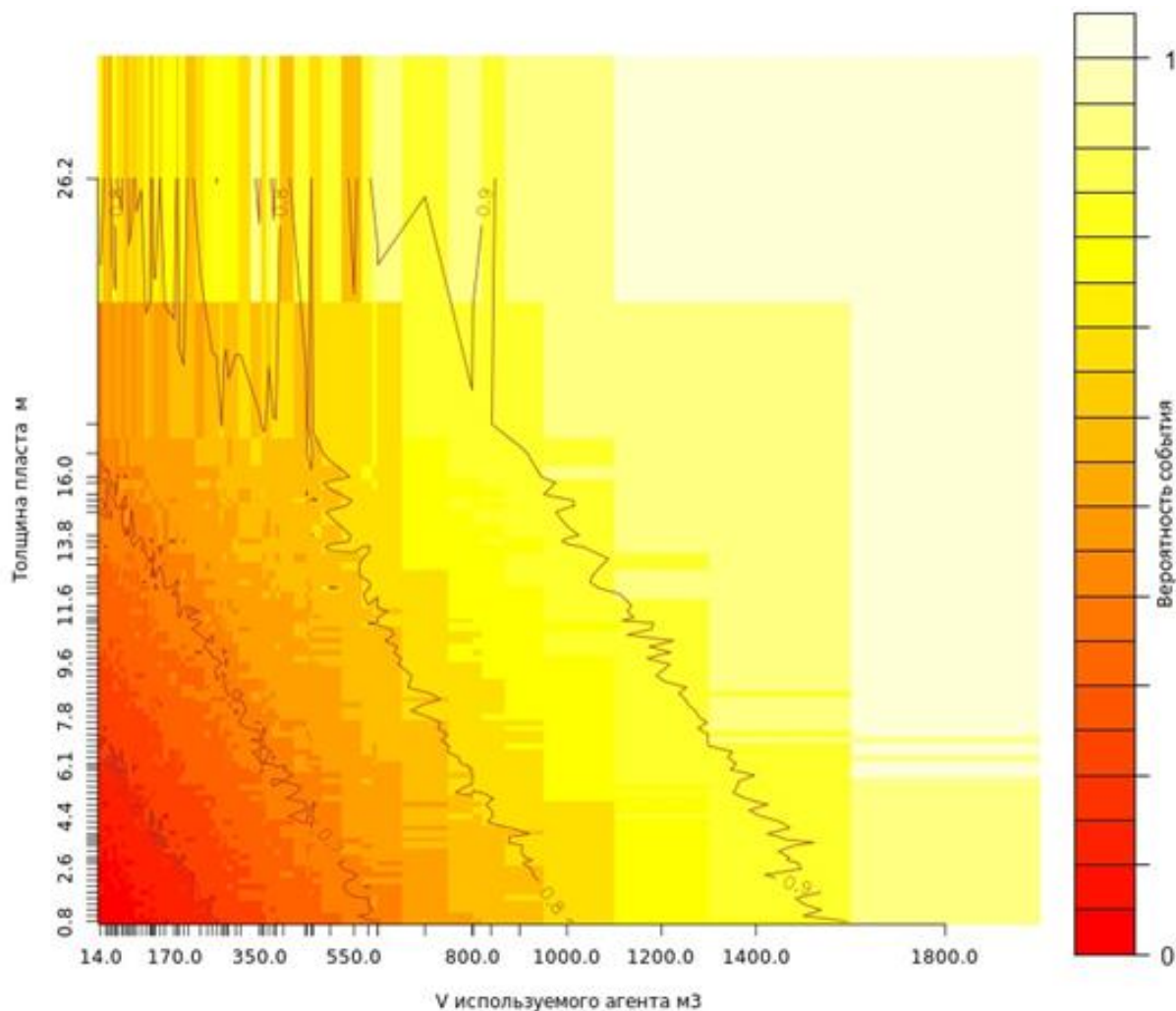


Рис. 2. Поле вероятности успешности мероприятия (событие ИДз>1,3) по параметрам объем используемого агента и толщина пласта

Из номограммы следует, что построенная модель полностью подтверждает интуитивно понятное предположение: «чем больше толщина пласта и объем используемого агента при проведении МУН, тем больше вероятность того, что дисконтированный индекс доходности затрат превысит заданное значение».

Кроме того, были построены все возможные срезы по двум параметрам для полученной модели, которые подтвердили наличие непротиворечивой связи между входящими в модель атрибутами.

Реализованные тестовые расчетные алгоритмы показали теоретическую обоснованность предлагаемых методов анализа данных и построения моделей оценки успешности применяемых технологий, а предложенный способ оценки эффективности мероприятий рекомендован к внедрению в проекте «Получение дополнительной добычи за счёт увеличения темпов разработки, технологий увеличения КИН, оптимизации процесса разработки объектов, приуроченных к тульскому и бобриковскому горизонтам», реализуемому в ПАО «Татнефть».

После вероятностной оценки эффективности планируемых мероприятий, может быть поставлена общая задача формирования оптимального портфеля ГТМ в условиях ограничений на объемы добычи и инвестиции по направлениям [7]:

необходимо найти максимум функционала

$$\sum_{i=1}^N (x_i * NPV_i) \rightarrow \max,$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^N (x_i * Q_{ni}) \leq Q_n, \sum_{i=1}^N (x_i * W_i) \leq W_i,$$

дополнительных ограничениях

$$\sum_{i=1}^N (x_i * W_i^{\text{бурение}}) \leq W^{\text{бурение}},$$

$$\sum_{i=1}^N (x_i * W_i^{\text{ВДС}}) \leq W^{\text{ВДС}}$$

$$\sum_{i=1}^N (x_i * W_i^{\text{ВНС}}) \leq W^{\text{ВНС}} \text{ и т.д., где:}$$

N - количество заявок на проведение ГТМ, x_i - 1 или 0 (выбрана/не выбрана в портфель ГТМ), NPV_i - ЧДД по i -му мероприятию, Q_n - нефть по портфелю, W_i - инвестиции по i -му мероприятию, W - сумма инвестиций по

портфелю, $W^{\text{бурение}}$ - инвестиции на бурение, $W^{\text{ВДС}}$ - инвестиции на ВДС, $W^{\text{ВНС}}$ - инвестиции на ВНС и т.д.

В рамках решения задачи по формированию эффективного портфеля ГТМ в условиях ограничений на объемы добычи на вычислительном кластере были реализованы алгоритмы, которые позволили провести многократное (было проведено более 300 затратных по времени оптимизационных расчётов) переформирование (оптимизация) портфеля по максимизации заданного набора параметров (ЧДД, добыча на 1-2 год и т.д.) при ограничениях на объемы добычи (или инвестиции по направлению). Получены все основные взаимные зависимости удельных показателей эффективности формируемого портфеля в условиях заданных ограничений [8].

В 2017 году в ПАО «Татнефть» были реализованы алгоритмы и информационная система формирования оптимального портфеля ГТМ в условиях ограничений на объемы добычи на основе использования оптимизационных алгоритмов: метода ветвей и границ, генетических алгоритмов и перекрестной энтропии.

Выводы:

1. В результате проведенных исследовательских работ была установлена однозначная непротиворечивость предложенных моделей вероятностной оценки эффективности планируемых мероприятий на основе байесовских сетей, позволяющих производить оценку вероятности достижения точечной или интервальной оценки целевого показателя эффективности мероприятия.
2. Разработана информационная система формирования оптимального портфеля ГТМ крупной нефтяной компании в условиях ограничений на объемы добычи продукции и капитальные затраты по направлениям инвестирования.

3. Реализованные подходы позволили получить расчетный эффект в размере до 1 млрд. рублей при планировании портфеля ГТМ, а количество принимаемых заявок по мероприятиям увеличить на 10 % при тех же ограничениях на объемы добычи и капитальные затраты.

Список литературы:

1. Насыбуллин А.В. Создание и промышленное внедрение методов управления разработкой месторождений на основе методов автоматизированного проектирования / А.В. Насыбуллин, Ф.М. Латифуллин, Д.А. Разживин, Р.З. Саттаров, Р.Р. Ахметзянов, А.С. Султанов // Нефтяное хозяйство . – 2007. – № 7. – С. 88-91.
2. Kohonen, T. Self-Organizing Maps (Third Extended Edition), New York, 2001, 501 pages.
3. Лазарева, Р.Г. Применение нейросетевых подходов в задаче планирования методов увеличения нефтеотдачи пластов. / Лазарева Р.Г., Денисов О.В. // Материалы XX юбилейной международной конференции по вычислительной механике и современным прикладным программным системам – М.: Изд-во МАИ, 2017 г. – С. 151-153.
4. Тулупьев, А.Л. Байесовские сети: логико-вероятностный подход / А.Л. Тулупьев, С.И. Николенко, А.В. Сироткин // Спб.: Наука, 2006. – 607 с.
5. Струченков, В.И. Динамическое программирование в примерах и задачах / В.И. Струченков. – М.-Берлин: Директ-Медиа, 2015. – 275 с.
6. Benham T., Duan Q., Kroese D.P., Lique B. (2017) CEoptim: Cross-Entropy R package for optimization. Journal of Statistical Software, 76(8), 1-29.
7. Артемкина, Л.Р. Проблемы инвестиционного планирования в нефтегазодобывающих компаниях /Л.Р. Артемкина // Управленческие науки, т.7, № 4, 2017 – С. 64-71.
8. Денисов, О.В. Разработка методологии решения задачи и реализация информационного инструмента формирования эффективного инвестиционного портфеля ПАО «Татнефть». / О.В. Денисов, А.В. Чирикин // Тезисы докладов VIII Международной научно-практической конференции «Практические аспекты нефтепромысловой химии», Уфа: Изд-во БашНИПИнефть, 2018 г. – С. 176-178.

References:

1. Nasybullin A.V. *Sozdanie i promyshlennoe vnedrenie metodov upravleniya razrabotkoj mestorozhdenij na osnove metodov avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Development and commercialization of CAD-based reservoir management methods]. A.V. Nasybullin, F.M. Latifullin, D.A. Razzhivin, R.Z. Sattarov, R.R. Ahmetzyanov, A.S. Sultanov. Neftyanoye Khozyaistvo, No. 7, 2007.pp. 88-91. (in Russian)
2. Kohonen, T. Self-Organizing Maps (Third Extended Edition), New York, 2001, 501 pages.
3. Lazareva R.G. *Primenenie nejrosetevyh podhodov v zadache planirovaniya metodov uvelicheniya nefteotdachi plastov* [Application of neural network approaches to solve the task of planning of enhanced oil recovery methods]. Lazareva R.G., Denisov O.V. Proc.

- of XX Anniversary International Conference on computational mechanics and modern application systems. Moscow: Moscow Aviation Inst. Publ., 2017. pp. 151-153. (in Russian)
4. Tulupyev A.L. *Bajesovskie seti: logiko-veroyatnostnyj podhod* [Bayesian network: probabilistic logic approach]. Tulupyev A.L. Nikolenko S.I., Sirotkin A.V. St-Petersburg: Nauka Publ., 2006. 607 p. (in Russian)
 5. Struchenkov V.I. *Dinamicheskoe programmirovaniye v primerah i zadachah* [Dynamic programming in examples and problems] Moscow-Berlin: Direct-Media Publ., 2015. 275 p. (in Russian)
 6. Benham T., Duan Q., Kroese D.P., Lique B. (2017) CEoptim: Cross-Entropy R package for optimization. *Journal of Statistical Software*, 76(8), 1-29.
 7. Artemkina L.R. *Problemy investitsionnogo planirovaniya v neftegazodobyvayushchih kompaniyah* [Problems of investment planning in oil and gas companies] *Upravlencheskie Nauki*, Vol. 7, No. 4, 2017. pp. 64-71. (in Russian)
 8. Denisov O.V. *Razrabotka metodologii resheniya zadachi i realizatsiya informatsionnogo instrumenta formirovaniya effektivnogo investitsionnogo portfelya PAO «Tatneft»* [Working out of a methodology for solving a problem and realization of information tool for forming of efficient PJSC TATNEFT investment portfolio]. Denisov O.V., Chirikin A.V. Abstracts of papers for VIII International Research-to-Practice Conference *Prakticheskie aspekty neftepromyslovoj himii* [Practical aspects of oil-field chemistry]. Ufa: BashNIPIneft Publ., 2018. pp. 176-178. (in Russian)

Сведения об авторах

Денисов Олег Владимирович, заместитель начальника отдела экспертизы и методологического обеспечения бизнес задач, Центр обслуживания бизнеса, Центр информационных технологий, ПАО «Татнефть» имени В.Д. Шашина, г. Альметьевск, Республика Татарстан, Российская Федерация

E-mail: denisovov@tatneft.ru

Authors

Denisov O.V., Deputy Head of Expert Evaluation and Methodological Support of Business Tasks Dpt., Business Service Center, IT Centre, PJSC TATNEFT, Almetьевsk, Republic of Tatarstan, Russian Federation

Денисов Олег Владимирович

423250, Российская Федерация, Республика Татарстан

г. Лениногорск, ул. Булгакова, д.3

Тел. +7 987 227 22 23

E-mail: denisovov@tatneft.ru