

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

DOI 10.21672/2074-1707.2020.52.4.059-065  
УДК 622.276.057, 656.017

## РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ РАЗМЕЩЕНИЯ НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА<sup>1</sup>

Статья поступила в редакцию 10.09.2020, в окончательном варианте – 15.10.2020

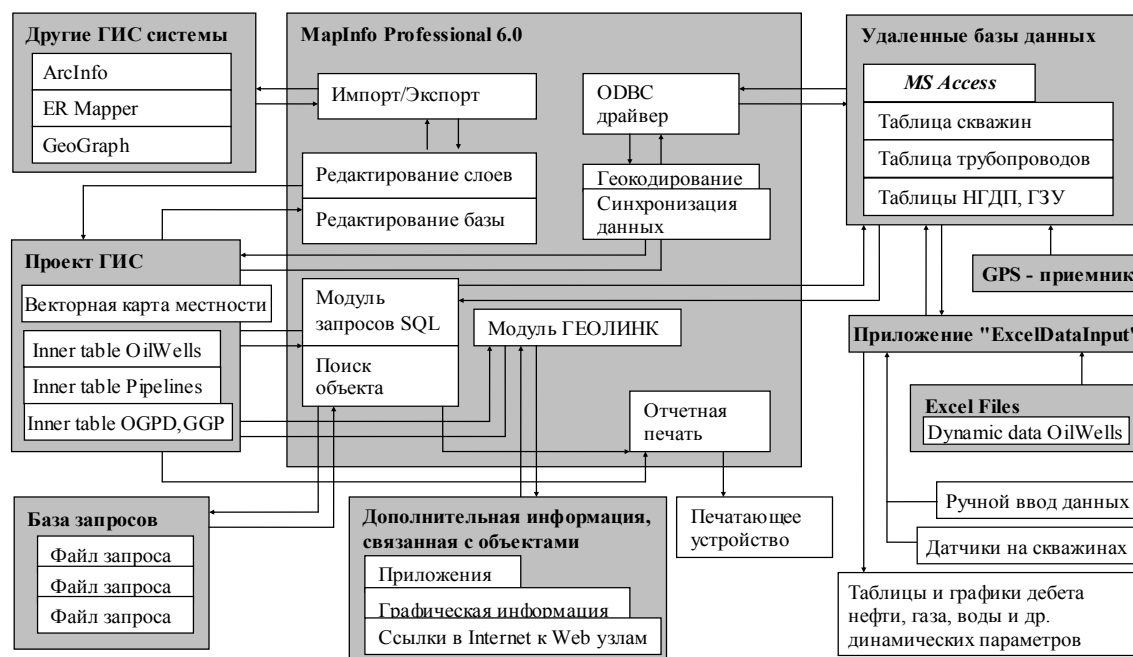
**Литовка Наталья Васильевна**, Кубанский государственный технологический университет, 350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2, старший преподаватель, e-mail: natabedakova@gmail.com

**Видовская Тамара Леонидовна**, ООО «Кубанская нефтегазовая компания – Ильский НПЗ», 350000, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Буденного, 117/2 директор департамента разработки и автоматизации, e-mail: tomiko@list.ru

В данной статье рассматривается геоинформационная система нефтегазодобывающего предприятия, предназначенная для комплексного мониторинга месторождения и отдельных нефтяных скважин. Для решения логистических проблем, актуальных как при эксплуатации действующих месторождений, так и при обустройстве новых площадей, предлагается доработка геоинформационной системы с применением методики оптимального размещения объектов пространственно распределенного комплекса. Одной из перспектив комплексной геоинформационной системы, качественно повышающей эффективность применения, является использование геоинформационной системы в составе систем автоматической идентификации и объединения систем оптимального цифрового управления пространственно распределёнными динамическими объектами.

**Ключевые слова:** геоинформационная система, пространственно распределённый комплекс, методы размещения, алгоритм муравьиной колонии, нефтегазодобывающий комплекс

### Графическая аннотация (Graphical annotation)



<sup>1</sup> Работа поддержана грантом РФФИ № 20-010-00131 А «Повышение экономической эффективности управления на базе цифровой модели предприятия за счёт идентификации термобарометрических процессов взаимодействия с окружающей средой на примере нефтегазовых объектов».

## DEVELOPMENT OF A GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM FOR THE LOCATION OF AN OIL AND GAS PRODUCTION COMPLEX

*The article was received by the editorial board on 10.09.2020, in the final version – 15.10.2020.*

**Litovka Natalya V.**, Kuban State Technological University, 2 Moskovskaya St., Krasnodar, 350072, Russian Federation,

Senior Teacher, e-mail: natabedakova@gmail.com

**Vidovskaya Tamara L.**, Kuban Oil and Gas Company – Ilskiy Refinery LLC, 117/2 Budenny St., Krasnodar, 350000, Russian Federation,

Director of development and automation department, e-mail: tomiko@list.ru

This article examines the geographic information system of an oil and gas production enterprise, designed for integrated monitoring of a field and individual oil wells. To solve logistical problems that are relevant both during the operation of existing fields and in the construction of new areas, it is proposed to refine the geographic information system using the method of optimal placement of objects of a spatially distributed complex. One of the promising applications of the geographic information system, which qualitatively increases the efficiency of its use, is its use as part of automatic identification systems and automated synthesis of systems for optimal digital control of spatially distributed dynamic objects.

**Keywords:** geographic information system, spatially distributed complex, placement methods, ant colony algorithm, oil and gas production complex

**Введение.** Нефтегазовые компании ищут новые способы оптимизации режимов работы объектов, производительности объектов и максимизации общей номинальной стоимости активов. Это обуславливает необходимость исследования системных связей и закономерностей функционирования и развития системы нефтегазовых объектов – окружающей среды и протекающих в ней процессов с целью повышения эффективности управления с использованием современных методов обработки информации. Для решения современных сложных задач необходимы знания в разных областях, а точнее интеграция знаний. Существуют наборы больших данных и методологии, которые оптимально их объединяют. Т.е. необходимо иметь технологию, позволяющую естественным и наглядным образом проводить обработку и анализ больших данных (разнородной и распределенной информации, накопленной годами), а также выполнять визуализацию обработанных данных [9].

Для нефтяных компаний применение информационных систем (ИС), автоматизированных систем (АС) – необъемлемая часть бизнеса. ИС позволяют автоматизировать и оптимизировать бизнес-процессы компании, создают цифровую модель предприятия. Одним из видов современных ИС в настоящий момент времени является геоинформационная система (ГИС). ГИС – новый тип интегрированных ИС, которые, с одной стороны, включают методы обработки данных ранее существовавших АС, с другой – обладают спецификой в организации и обработке данных. В нефтяных компаниях ГИС используют для картографической визуализации работ: поиска нефтегазовых ресурсов, планирования бурильных работ при разработке скважин, определения потенциала нефтегазовых скважин. ГИС помогает визуализировать работы, а именно прокладывать трубопровод, определять местоположение перерабатывающих заводов, управлять объектами компании. ГИС необходима для анализа и накопления данных, полученных во время геологических и сейсмических исследований, аэрофотосъемки, дистанционного зондирования [1, 2, 3].

Рассматриваемая ГИС проводит комплексный мониторинг скважин, но не решает логистических проблем нефтегазодобывающих предприятий, таких как оптимальное определение местоположения нефтегазодобывающего комплекса (НГДП), групповых замерных установок (ГЗУ). Цель данной статьи – доработать существующую ГИС – добавить модуль оптимального размещения объектов пространственно распределенного комплекса нефтегазодобывающих предприятий.

Созданная геоинформационная система обеспечивает:

- создание электронной карты района мониторинга объектов;
- выявление определяющих свойств нефтяных объектов, мониторинг которых необходимо осуществлять постоянно;
- накопление и обновление информации о нефтяных объектах в среде ГИС для дальнейшего анализа, в частности, оптимизации планирования капитальных ремонтов скважин (КРС), учета замеров параметров на скважинах;
- обслуживание внешней базы данных, синхронизацию данных в таблицах;
- выделение интересных объектов и отображение на карте с реальными координатами, что позволяет иметь правильную схему взаимного расположения скважин;
- определение реального расстояния между объектами;
- возможность масштабировать изображение карты, при этом задавать видимость объектов и их описание при различном масштабе.

ГИС разработана с помощью программы MapInfo (система, позволяющая создавать свои приложения, оцифровывать карты, составлять базы данных, работать с полученной информацией) и дополнена написанной утилитой (рис. 1 и 2).

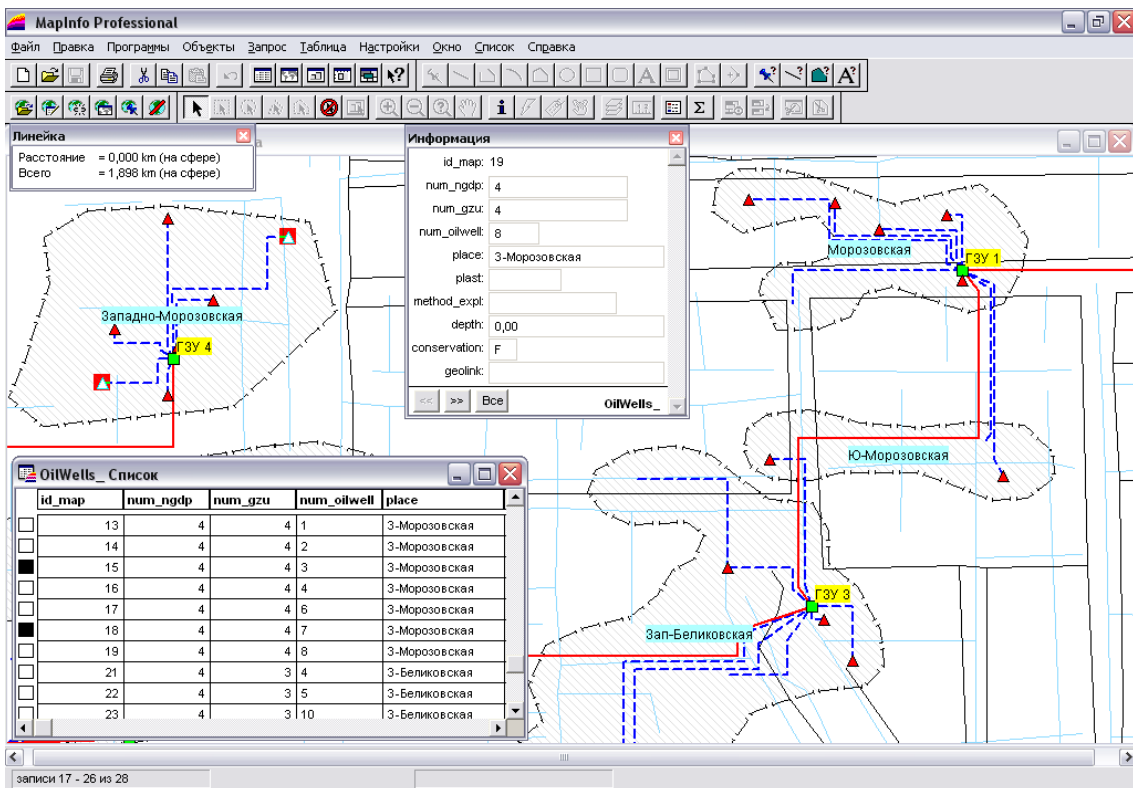


Рисунок 1 – Окно ГИС в среде MapInfo

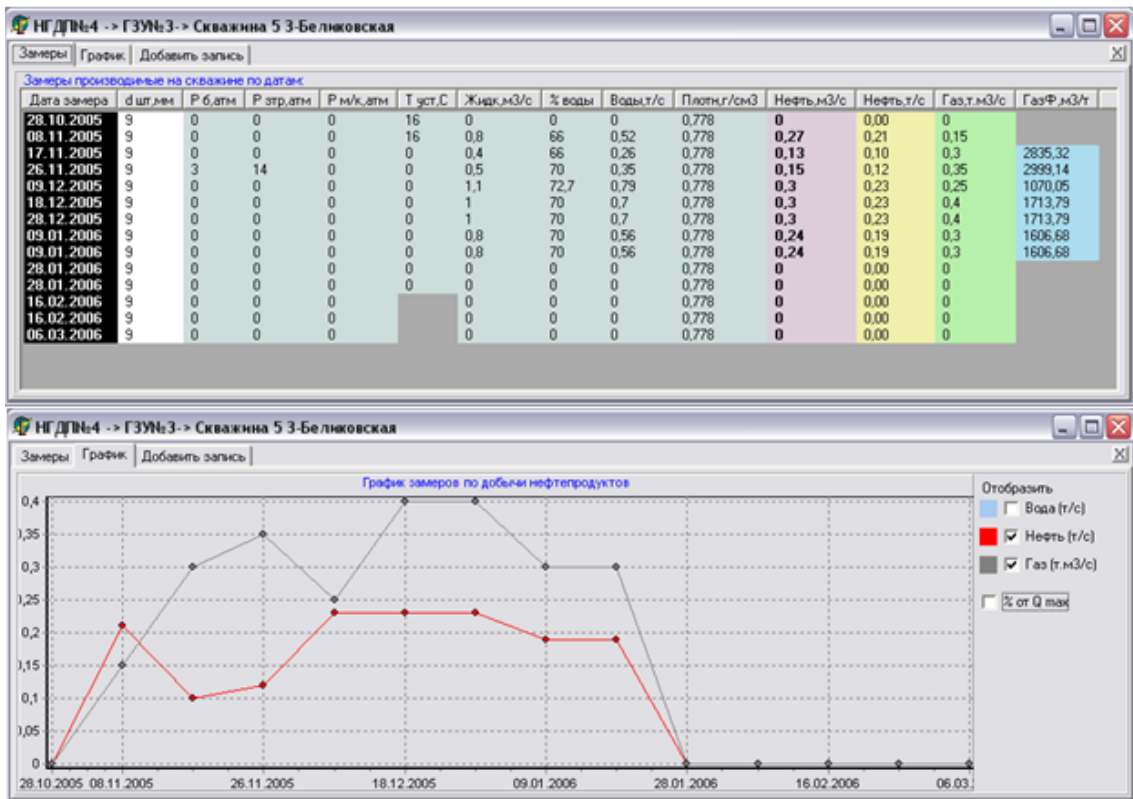


Рисунок 2 – Окна утилиты с таблицей замеров и графиком добычи

На рисунке 3 изображена логическая модель ГИС. Территориальная структура нефтяной компании подразделяется на участки, которые называются НГДП и имеют порядковый номер. На этих участках расположены ГЗУ, в которые транспортируются добытые нефтегазопродукты по трубопроводам от близости расположенных скважин. Для того чтобы контролировать добычу нефти и газа в разных местах насосной установки, операторами скважин регулярно проводятся замеры давления, температуры, дебета нефти и газа, плотности нефти и др.



Рисунок 3 – Схема связей сущностей проекта

Данная геоинформационная система отражает работу существующей конфигурации НГДП и ГЗУ. Для оптимизации логистики связей объектов и построения полной цифровой модели предприятия необходимо определить оптимальное местоположение НГДП и ГЗУ. Сейчас размещение ГЗУ или НГДП осуществляется человеком с учетом накопленного опыта, такое размещение не всегда эффективно.

Для оптимизации и автоматизации процесса размещения объектов можно использовать методику оптимального размещения объектов пространственно распределенного комплекса на основе генетического алгоритма муравьиной колонии. Алгоритм муравьиной колонии для пространственно распределенного предприятия позволяет найти наилучший путь доставки готового продукта или сырья из распределительного центра потребителю или наоборот [5], а именно с помощью алгоритма можно найти оптимальное местоположение для групповой замерной установки по отношению к скважинам или местоположение для НГДП по отношению к ГЗУ. Обоснование выбора генетического алгоритма муравьиной колонии представлено в статье «Роевой интеллект в задачах оптимального размещения объектов пространственно распределенного предприятия» [6].

*Обозначения для решения задачи размещения объектов:*

$m$  – количество мест (географически приемлемых местоположений) возможного размещения ГЗУ (НГДП);

$i$  – номер места возможного размещения ГЗУ (НГДП),  $i \in I, I = 1, \dots, m$ ;

$n$  – количество скважин для ГЗУ (число ГЗУ для НГДП);

$j$  – номер скважины (номер ГЗУ),  $j \in J, J = 1, \dots, n$ ;

$t_{ij}$  – транспортные затраты  $j$  скважины (ГЗУ), расположенной в месте  $i$ ,  $i \in I, j \in J$ ;

$x_{ij}$  – затраты на строительство трубопровода от скважины (ГЗУ)  $j$ , которая обеспечивает ГЗУ (НГДП)  $i$ ,  $i \in I, j \in J$ ;

$c_i$  – затраты на размещение ГЗУ (НГДП) в месте  $i$ ,  $i \in I$ ;

$z_i = \begin{cases} 1, & \text{если ГЗУ (НГДП) открыто в пункте } i; \\ 0, & \text{в ином случае} \end{cases} ; i \in I$ .

Будем придерживаться обозначений:  $z = (z_i), X = (x_{ij}) ; i \in I, j \in J$ .

Для определения местоположений ГЗУ и НГДП будут разные параметры алгоритма и разные запуски.

*Дано:*

$I$  – множество мест доступного размещения ГЗУ (НГДП);

$T = (t_{ij})$  – неотрицательная  $(m \times n)$  матрица транспортных расходов на транспортировку газонефтепродуктов от каждого местоположения скважины до ГЗУ (от каждого ГЗУ до НГДП).

*Необходимо:*

Открыть ровно  $p$  ГЗУ (НГДП).

Получена задача о  $p$ -медиане в целочисленной постановке, а именно целевая функция для вычисления множества оптимальных местоположений ГЗУ (НГДП):

$$F(z, X) = \sum_{i \in I} c_i z_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} t_{ij} x_{ij} \rightarrow \min,$$

$$\begin{cases} \sum_{i \in I} x_{ij}, j \in J & (1) \\ \sum_{i \in I} z_i = p & (2) \\ z_i \geq x_{ij}, i \in I, j \in J & (3) \\ z_i \in \{0,1\}, i \in I & (4) \end{cases}$$

Первое условие (1) означает, что ГЗУ обработают газонефтепродукты от всех скважин. Второе условие (2) – это проверка на количество рабочих ГЗУ (НГДП). Неравенство (3) дает гарантии, что газонефтепродукты будут поставляться только с рабочих скважин.

Известно:

$T = t_{ij}$  – неотрицательная  $m \times n$  матрица с множеством индексов строк  $I$  и множеством индексов столбцов  $J$ ;  $p \leq n$  (натуральное число  $p$ ).

Для каждого непустого подмножества  $I' \subseteq I$  предположим:

$$F(I') = \sum_{j \in J} \min_{i \in I'} t_{ij}. \quad (5)$$

Подзадача заключается в нахождении множества  $I'$  мощности  $p$ , при котором  $F(I')$  минимально:

$$\min_{I' \subseteq I} \{F(I') : |I'| = p\}. \quad (6)$$

Решением  $s$  (допустимое решение) задачи будет булевым вектором  $z$  размерности  $m$  таким, что  $z_i = 1$ , если  $i \in I_s$ , и 0 – в противном случае, где  $I_s$  – множество работающих  $s$  ГЗУ (НГДП).

Будем использовать вектор  $\alpha = (\alpha_i)_{i \in I}$  на положительной координатной плоскости. Вектор  $\alpha$  будет указывать уровень феромона для  $i$ -го ГЗУ (НГДП) на каждой  $k$  итерации алгоритма муравьиной колонии,  $i \in I$  [4, 8].

*Описание алгоритма муравьиной колонии:*

Допустим:

$s^k$  – минимальное значение целевой функции, найденное при выполнении  $k$  итерации;

$z^k$  – булев вектор на итерации  $k$ ;

$f^k$  – значение целевой функции (рекорд на итерации  $k$ );

$\alpha_{\min}$  – параметр, задающий минимальное возможное значение уровня феромона  $\alpha$  для всех  $i \in I$  (вещественное положительное число) [7].

*Шаги алгоритма:*

0. Определение начальный вектор  $\alpha$ ; рекорд  $\hat{f}^I := \infty$ ,

Итерация  $k, k \geq 1$ .

1. С помощью алгоритма искусственного муравья строим  $L$  допустимых решений.

2. Среди найденных решений выбираем  $l$  лучшие по целевой функции с помощью локального поиска.

Выбирается наилучшее местоположение ГЗУ (НГДП) из возможных привлекательных мест расположения.

3. Находим значения  $\alpha^+, i \in I$ .

Определяем вектор (уровень) феромона.

4. Если  $f^k < \hat{f}^k$ , то  $\hat{f}^{k+1} = f^k$ ;  $\hat{s}^{k+1} = s^k$ ;

для ненулевых компонент  $z^k$  предполагаем, что вектор феромона  $\alpha_i^{k+1} = \alpha_{\min}$ , иначе значение целевой функции  $\hat{f}^{k+1} = \hat{f}^k$ ; и минимальное значение целевой функции  $\hat{s}^{k+1} = \hat{s}^k$ .

5. Если достигнут заданный критерий остановки, то выполнение алгоритма завершается.

Переходим на следующую итерацию:  $k := k + 1$ .

Вектор феромона  $\alpha^+$  вычисляется по формуле:

$$\alpha^+ = \frac{\alpha_{\min} + \beta^k (\alpha - \alpha_{\min})}{\beta}, i \in I, \quad (7)$$

где  $\beta \in (0,1)$  – коэффициент затухания (испарение феромона) на итерации  $k$ ;

$\gamma \in ]0, 1]$  – частота совпадения ГЗУ (НГДП)  $i$  и  $l$  лучших решений, выбираемых на шаге 2 итерации  $k$ ;

$Q$  – параметр,  $q \in ]0, 1)$ .

Таким образом, при данных значениях параметров  $\beta$  и  $q$  чем чаще ГЗУ (НГДП)  $i$  попадает в  $l$  лучших решений по значению целевой функции, тем меньше становится соответствующее значение вектора феромона  $\alpha$ ,  $i \in [3, 7]$ .

Ранее в статье упоминается критерий остановки работы алгоритма. Таким критерием может быть: точность к заданной нижней оценке целевой функции, один и тот же результат решения или определенное число итераций [4].

При запуске  $k$  итераций алгоритма муравьиной колонии будет определено множество  $k \times p$  мест размещения ГЗУ (НГДП), и у одного или нескольких значение целевой функции будет минимальным, т.е. будут места расположения с наименьшими транспортными затратами. Места размещения с наименьшими значениями целевой функции будут предположительными локациями размещения ГЗУ (НГДП) [10, 11, 12].

По методике оптимального размещения объектов пространственно распределенного комплекса далее применяется метод штрафных функций для нахождения наилучшего места из тех мест, которые были определены алгоритмом муравьиной колонии. Метод штрафных функций описан в работе «Метод размещения распределительных центров пространственно распределенного комплекса» [4].

**Заключение.** В результате геоинформационная система обеспечивает топ-менеджеров оперативной информацией по скважинам и позволяет принять решение по размещению групповых замерных установок, нефтегазодобывающих комплексов. Модуль оптимального размещения объектов нефтедобывающей промышленности позволит построить более полную цифровую модель предприятия. На современном нефтегазовом цифровом предприятии построение такой модели способствует решению актуальной проблемы интегрированного замкнутого цикла оптимизации производительности: от начальной фазы разработки месторождения до анализа различных стратегий добычи, транспорта и хранения продуктов нефтегазовой промышленности.

#### Библиографический список

1. Географические информационные системы в нефтегазовой промышленности // Материалы первой ежегодной специализированной конференции программных продуктов ESRI и ERDAS из нефтегазовой отрасли. – СибНАЦ, 2002. – 324 с.
2. Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии / В. Я. Цветков. – Москва : Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
3. Геоинформационные системы : учебное пособие / Р. В. Ковин, Н. Г. Марков. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 175 с.
4. Литовка Н. В. Метод размещения распределительных центров пространственно распределенного комплекса / Н. В. Литовка // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. – 2019. – № 2 (241). – С. 59–64.
5. Литовка Н. В. Постановка основных проблем и пути их решения при размещении объектов пространственно распределенного торгового комплекса / Н. В. Литовка // Технические и технологические системы (ТТС-19) : материалы десятой Международной научной конференции. – 2019. – С. 77–81.
6. Литовка Н. В. Роевой интеллект в задачах оптимального размещения объектов пространственно распределенного предприятия / Н. В. Литовка // Научные труды КубГТУ. – 2018. – № 11. – С. 70–80.
7. Видовский Л. А. Методология оптимального размещения объектов торговой сети / Л. А. Видовский, Н. В. Литовка // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2019. – № 154. – С. 104–118.
8. Лореш М. А. Разработка и исследование алгоритмов муравьиной колонии для решения задач оптимального размещения предприятий : дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации. – Омск : ОмГУ, 2006. – 113 с.
9. SawaterInfo: Географические информационные системы (ГИС) // Картографическая информация. – Режим доступа: <http://www.sawater-info.net/bk/13-5.htm>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 07.10.2020).
10. Барзилович Е. Ю. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович, В. А. Каштанов. – Москва : Сов. радио, 1971. – 272 с.
11. Каштанов В. А. Теория надежности сложных систем / В. А. Каштанов, А. И. Медведев. – Москва : Физматлит, 2010. – 608 с.
12. Анализ байесовской оценки показателя надежности установок УЭЦН / Р. Я. Кучумов, А. Г. Меньшиков, С. В. Наместников и др. // Моделирование технологических процессов нефтедобычи : сб. науч. тр. – Тюмень : Вектор Бук, 2003. – Вып. 4. – С. 171–179.

#### References

1. Geograficheskiye informatsionnyye sistemy v neftegazovoy promyshlennosti [Geographic information systems in the oil and gas industry]. *Materialy pervoy yezhegodnoy spetsializirovannoy konferentsii programmnykh produktov ESRI i ERDAS iz neftegazovoy otrasli* [Materials of the first annual specialized conference of ESRI and ERDAS software products from the oil and gas industry]. Siberian Scientific and Analytical Center, 2002, p. 324.
2. Tsvetkov V. Ya. *Geoinformatsionnyye sistemy i tekhnologii* [Geographic information systems and technologies]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 1998. 288 p.
3. Kovin R. V., Markov N. G. *Geoinformatsionnyye sistemy : uchebnoye posobiye* [Geographic information systems: a tutorial]. Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2008. 175 p.
4. Litovka N. V. Metod razmeshcheniya raspredelitelnykh tsentrov prostranstvenno raspredelennogo kompleksa [The method of placing distribution centers of a spatially distributed complex]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Yestestvenno-matematicheskiye i tekhnicheskkiye nauki* [Bulletin of the Adygea State University. Series 4: Natural-mathematical and technical sciences], 2019, no. 2 (241), pp. 59–64.
5. Litovka N. V. Postanovka osnovnykh problem i puti ikh resheniya pri razmeshchenii obektov prostranstvenno raspredelennogo torgovogo kompleksa [Formulation of the main problems and ways to solve them when placing objects of a spatially distributed shopping complex]. *Tekhnicheskie i tekhnologicheskie sistemy (TTS-19) : materialy desyatoy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Technical and technological systems (TTS-19) : materials of the Tenth International Scientific Conference], 2019, pp. 77–81.
6. Litovka N. V. Royevoy intellekt v zadachakh optimalnogo razmeshcheniya obyektov prostranstvenno raspredelennogo predpriyatiya [Swarm intelligence in the problems of optimal placement of objects of a spatially distributed enterprise]. *Nauchnyye trudy KubGTU* [Scientific Works of KubSTU], 2018, no. (11), pp. 70–80.
7. Vidovskiy L. A., Litovka N. V. Metodologiya optimalnogo razmeshcheniya obyektov torgovoy seti [Methodology for the optimal placement of retail network objects]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2019, no. 154, pp. 104–118.
8. Loresh M. A. *Razrabotka i issledovaniye algoritmov muravinoy kolonii dlya resheniya zadach optimalnogo razmeshcheniya predpriyatiy* [Development and research of ant colony algorithms for solving problems of optimal location of enterprises]. Omsk, Omsk State University, 2006. 113 p.
9. CawaterInfo: Geograficheskiye informatsionnyye sistemy (GIS) [CawaterInfo: Geographic information systems (GIS)]. *Kartograficheskaya informatsiya* [Cartographic information]. Available at: <http://www.cawater-info.net/bk/13-5.htm> (accessed 07.10.2020).
10. Barzilovich Ye. Yu., Kashtanov V. A. *Nekotoryye matematicheskiye voprosy teorii obsluzhivaniya slozhnykh system* [Some mathematical questions in the theory of servicing complex systems]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1971.
11. Kashtanov V. A., Medvedev A. I. *Teoriya nadezhnosti slozhnykh system* [Reliability theory of complex systems]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2010.
12. Kuchumov R. Ya., Menshikov A. G., Namestnikov S. V et al. Analiz bayesovskoy otsenki pokazatelya nadezhnosti ustanovok UETSN [Analysis of the Bayesian assessment of the reliability index of ESP installations]. *Modelirovaniye tekhnologicheskikh protsessov nefte dobychi : sbornik nauchnykh trudov* [Modeling of technological processes of oil production : Proceedings]. Tyumen, Vector Buk Publ., 2003, issue 4, pp. 171–179.