

## Разработка программной платформы для автоматического конфигурирования систем наземного обустройства месторождений на основе онтологических моделей

*И.Н. Глухих, К.З. Нониева, Д.А. Лисс, М.О. Писарев, С.О. Сбродов, А.О.*

*Шестакова*

*Тюменский Государственный Университет, Центр Системного Инжиниринга,  
Тюмень*

**Аннотация:** В статье представлено создание программной платформы для автоматического конфигурирования систем наземного обустройства с использованием онтологических моделей, интеллектуальных алгоритмов подбора объектов и генерации вариантов. Приведена математическая постановка задачи конфигурации, архитектура приложения и пользовательский интерфейс для занесения проектных данных и получения результата подбора объектов с высокой степенью детализации. Разработанный прототип в перспективе может стать инструментом поддержки в работе системных инженеров и технологов на этапе концептуального проектирования при вариативной проработке конфигурации нефтегазовой системы с учетом требований.

**Ключевые слова:** Концептуальное проектирование, обустройство месторождений, системный инжиниринг, онтологический инжиниринг, онтология нефтегазовой системы, функционально-ориентированная онтология, автоконфигурирование нефтегазовой системы, формализация процедуры конфигурирования системы, разработка программной платформы, интеллектуальные системы поддержки принятия решений.

### Введение

Повышение сложности нефтегазовых проектов, связанное с увеличением доли трудноизвлекаемых запасов и внедрением новых технологий, влечет за собой адаптацию существующих подходов на этапах разработки и обустройства месторождений. Одним из таких этапов с большим количеством итеративных расчетов для выбора оптимального варианта на стыке таких направлений, как геология, разработка, бурение, поверхностное обустройство и экономика, является концептуальное проектирование месторождений [1]. Применение интеллектуальных систем поддержки принятия решений на ранних этапах разработки месторождений позволит повысить качество проработки проекта при минимизации временных и стоимостных затрат [2,3].

В данной статье представлена разработка программной платформы по автоматическому конфигурированию систем на основе онтологических моделей для автоматизации задач подбора объектов инфраструктуры. Основу приложения составляет пользовательский интерфейс для ввода требований по проекту и вывода результата конфигурирования системы, программная часть для обработки запросов и алгоритмов, онтологическая модель знаний о системе обустройства. Тестирование приложения проведено в рамках конфигурирования модульной кустовой площадки с целью генерации вариантов компоновки установки и отбора оптимального варианта на основе требований и ограничений.

### **Концепция разработки и архитектура программной платформы**

В рамках конфигурирования нефтегазовой системы поставлена задача по подбору нефтегазовых объектов на основе условий эксплуатации и требований стейкхолдеров, опираясь на интеллектуальные алгоритмы параметрического выбора объектов и онтологическую базу знаний.

В качестве основного метода для описания нефтегазовых объектов выбрано онтологическое моделирование, входящее в арсенал искусственного интеллекта для работы со слабо формализованными сведениями об объектах и отношениях между ними [4]. Онтология позволяет решать прикладные задачи в различных сферах деятельности, что отмечено многими авторами, которые используют данный инструмент для удобного хранения знаний на естественном языке и их последующего использования [5-7].

Онтология, как средство представления знаний, содержит в себе некоторые концепты предметной области и отношения между ними [8]. Для того, чтобы от просто хранилища знаний перейти к инструменту решения прикладных задач, необходимо подобрать такой состав этих концептов и отношений, который позволит разработать алгоритмы вывода на данной онтологии ожидаемых решений [9,10]. Такая онтология, состав которой

---

обусловлен областью прикладных задач, в данной статье названа функционально-ориентированной.

Функционально-ориентированная онтология для задач конфигурирования системы представляется кортежем  $O$ :

$$O = \langle K, R, E, A, P \rangle,$$

где  $K = \{k_i | i = 1, 2, 3, \dots\}$  – множество концептов, заданных в виде описания классов предметных сущностей, включая: объекты, процессы, функции, продукты, ресурсы, расчетные модели, требования, стейкхолдеры и т.д.;

$E = \{e_i | i = 1, 2, 3, \dots\}$  – множество экземпляров классов;

$A = \{a_i | i = 1, 2, 3, \dots, n\}$  – множество атрибутов ;

$P$  –  $n$ -мерное пространство значений атрибутов из множества  $A$ ;

$R = \{r_i | i = 1, 2, 3, \dots\}$  – множество отношений.

В множестве  $R$  выделены, в частности, отношения:

$r_1$  – отношение «Быть атрибутом (свойством)»,  $r_1 : K \times A \rightarrow \{0, 1\}$ , где  $r_1(k_i, a_j) = 1$  означает, что  $j$ -й атрибут из множества  $A$  присутствует в описании класса, т.е.  $i$ -го элемента из множества  $K$ ,  $0$  – атрибут не является атрибутом класса;

$r_2$  – отношение «Быть экземпляром»,  $r_2: K \times E \rightarrow \{0, 1\}$ , где  $r_2(k_i, e_j) = 1$  означает, что  $j$ -й экземпляр является экземпляром класса  $k_i$ .

$r_3$  – отношение «Часть -целое»,  $r_3: K \times K \rightarrow \{0, 1\}$ , где  $r_3(k_i, k_j) = 1$  означает, что  $j$ -й класс является частью класса  $k_i$ .

$r_4$  – отношение «Род-вид»,  $r_4: K \times K \rightarrow \{0, 1\}$ , где  $r_4(k_i, k_j) = 1$  означает, что  $j$ -й класс является видом класса  $k_i$ .

При этом мы полагаем, что выполняется ряд условий (аксиом) построения онтологической модели, согласно которым формируется иерархия отношений на множествах элементов  $K$ ,  $E$ , которая может быть проиллюстрирована так, как это показано на рис. 1.



Рис. 1. – Иерархия отношений в онтологической модели

В множестве K выделяется одна (или более) входных вершин  $k_{in}$ , которая обозначает составную систему и при этом не является частью более крупных сущностей, относительно которых решается задача конфигурирования.

Алгоритм конфигурирования сложной системы с использованием предложенной функционально-ориентированной онтологии включает в себя следующие основные шаги:

1) Для выбранной точки входа определяется  $\langle k_{in}, Kr3 \rangle$ , где  $Kr3$  – подмножество вершин, связанных с  $k_{in}$  отношением «Часть-целое»  $r3$ .

На данном шаге определяется предварительный состав конфигурируемой системы (состав классов).

2) Для каждой  $k_j \in Kr3$  по отношению  $r4$  производится отбор  $\langle k_j, Kj4 \rangle$ , где  $Kj4$  подмножество вершин, связанных с  $k_j$  отношением  $r4$  «Род-вид».

На данном шаге определяется множество возможных вариантов  $V_K$  конфигурируемой системы с различными видами ее составных элементов, которое образуется комбинацией элементов  $K_j$  при разных  $j$ .

3) Формирование множества вариантов экземпляров  $V_E = \{V_1, V_2, V_3, \dots\}$ , каждый из которых отличается от других хотя бы одним экземпляром. Варианты собираются из элементов  $e \in E$  по отношению  $r_2$  «Быть экземпляром» так, что  $r_2(k, e) = 1$  для всех  $k \in K_j$ .

4) Выбор варианта  $V^* \subseteq V_E$  такого, что  $V^* = \operatorname{argmax}\{F(V)\}$ , где  $F$  – комплексный критерий выбора, значение которого рассчитывается по значениям атрибутов экземпляров, входящих в состав данного варианта. В частности, критерием выбора является стоимостной критерий, значение которого определяется, как суммарная стоимость экземпляров, входящих в вариант конфигурируемой системы.

В более сложном случае выбор варианта становится комбинацией таких обобщенных критериев, как стоимость и степень соответствия требованиям. При этом значение второго определяется путем сравнения параметров у экземпляров, входящих во множество вариантов, с теми диапазонами значений параметров, которые определены требованиями к системе.

Архитектура программной платформы по конфигурированию нефтегазовой системы, включающая в себя онтологическую базу знаний и программный прототип для реализации алгоритмов, представлена на рис. 2.

Программная разработка системы по автоматическому конфигурированию проведена на языке программирования python 3.10 с использованием библиотеки для работы с файлами в формате owl - Owlready2. В качестве инструмента для создания онтологической базы знаний использован общедоступный редактор онтологий Protégé 5.5.0.

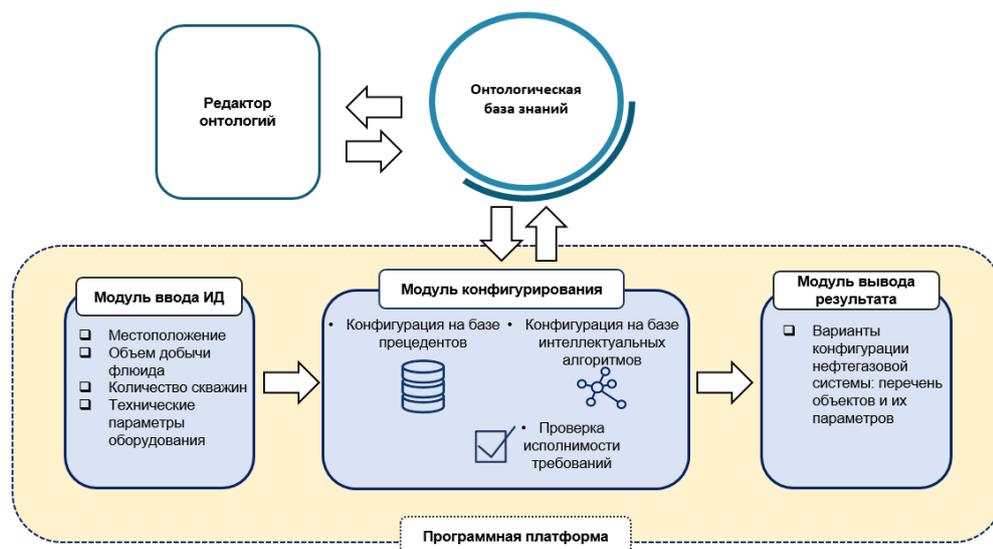


Рис. 2. – Архитектура программной платформы по конфигурированию нефтегазовой системы

### Программная реализация

Онтологическая база знаний, к которой обращается прототип для конфигурации нефтегазовой системы, включает в себя несколько разновидностей онтологических слоев, представленных на рис. 3, с определенным набором концептов и отношений между ними.

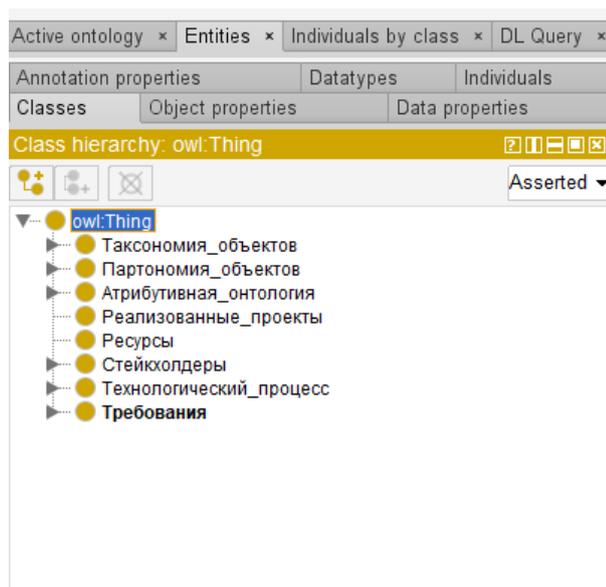


Рис. 3. – Структура онтологической базы знаний

Так, на рис. 4 представлена онтология «Партономия», содержащая в себе объекты и отношения между ними по типу «часть-целое», для пошаговой декомпозиции системы до уровня неделимых компонентов.

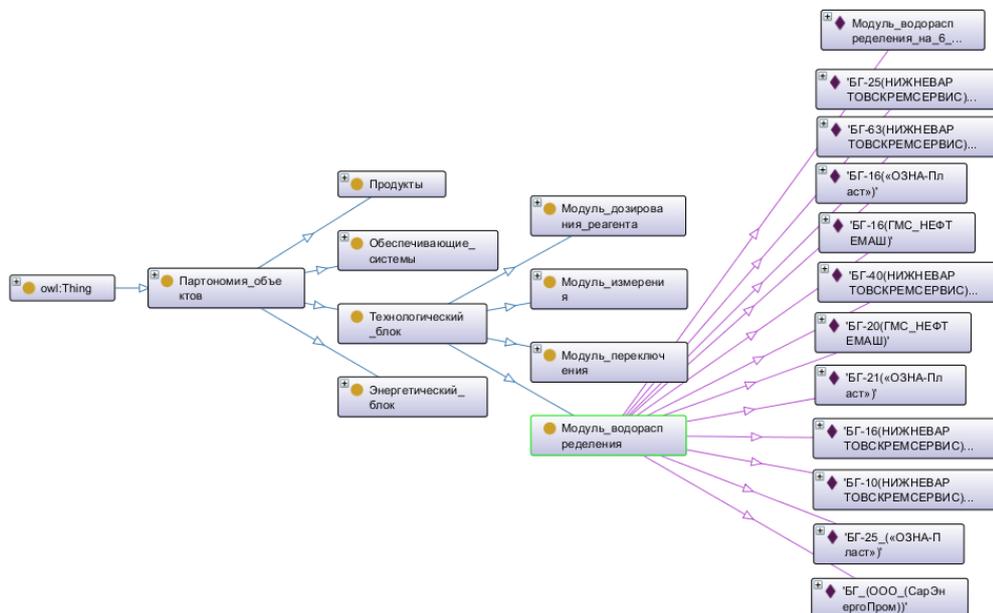


Рис. 4. – Фрагмент онтологии «Партономия» в рамках описания модульной кустовой площадки

Программная платформа включает в себя модуль ввода исходных данных по проекту и модуль вывода результата генерации вариантов конфигурации нефтегазовой системы, а также модуль конфигурирования для обращения к базе знаний и проведения инженерных расчетов.

Форма для ввода данных о существенных условиях эксплуатации и требований стейкхолдеров, а также для вывода результатов конфигурации системы представлена на рис. 5. Сначала пользователь вводит исходные данные по проекту для формирования перечня объектов, после чего уточняет подбор вводом данных по параметрам экземпляров. Полнота вводимых пользователем исходных данных сокращает пространство выбора, тем самым повышая точность подбора подходящих вариантов конфигурации.

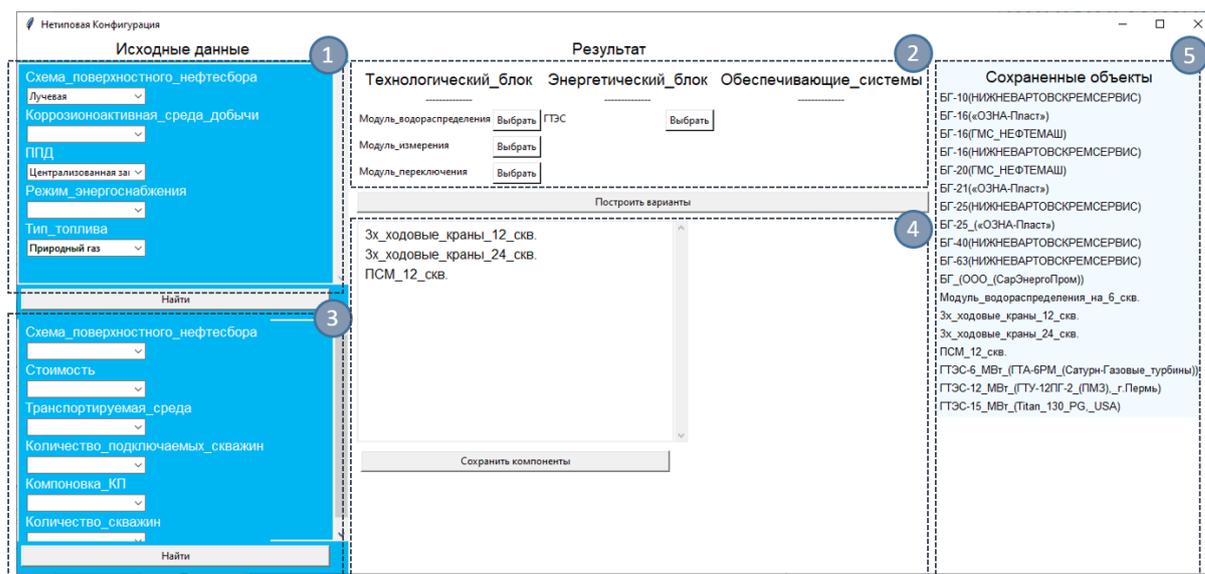


Рис. 5. – Пользовательский интерфейс для ввода исходных данных и просмотра результата конфигурации системы

Процесс вывода конфигурации системы, представленный нумерацией на рис. 5, в соответствии с приведенным выше алгоритмом включает в себя следующие этапы:

1. Ввод исходных данных по проекту, включающих существенные условия эксплуатации и требования стейкхолдеров к объектам наземной инфраструктуры.

2. Вывод результата формирования верхнеуровневого перечня объектов, удовлетворяющего исходным данным, введенным пользователем.

3. Ввод параметров объектов для подбора типов и экземпляров оборудования, занесенных в базу знаний на основе информации от заводоизготовителей.

4. Вывод результата формирования детализированного перечня типов объектов и экземпляров.

5. Формирование сводного перечня экземпляров объектов, удовлетворяющего данным пользователя, вводимых на всех этапах конфигурации системы.

После ввода всех необходимых параметров формируются варианты конфигурации нефтегазовой системы с сортировкой по стоимостному критерию, как представлено на рис. 6.



Вариант 1	Стоимость: 4236426.0 руб.	<b>Технологический_блок</b> Модуль_водораспределения БГ-10(НИЖНЕВАРТОВСКИЕСЕРВИС) Модуль_переключения ПСМ_12_св.	<b>Энергетический_блок</b> ГТЭС ГТЭС-6_МВт_(ГТА-6РМ_(Сатурн-Газовые_турбины))
Вариант 2	Стоимость: 4236426.0 руб.	<b>Технологический_блок</b> Модуль_водораспределения БГ-16(«ОЗНА-Пласт») Модуль_переключения ПСМ_12_св.	<b>Энергетический_блок</b> ГТЭС ГТЭС-6_МВт_(ГТА-6РМ_(Сатурн-Газовые_турбины))
Вариант 3	Стоимость: 4236426.0 руб.	<b>Технологический_блок</b> Модуль_водораспределения БГ-16(ГМС_НЕФТЕМАШ) Модуль_переключения ПСМ_12_св.	<b>Энергетический_блок</b> ГТЭС ГТЭС-6_МВт_(ГТА-6РМ_(Сатурн-Газовые_турбины))
Вариант 4	Стоимость: 4236426.0 руб.	<b>Технологический_блок</b> Модуль_водораспределения БГ-16(НИЖНЕВАРТОВСКИЕСЕРВИС) Модуль_переключения ПСМ_12_св.	<b>Энергетический_блок</b> ГТЭС ГТЭС-6_МВт_(ГТА-6РМ_(Сатурн-Газовые_турбины))
Вариант 5	Стоимость: 4236426.0 руб.	<b>Технологический_блок</b>	<b>Энергетический_блок</b>

Рис. 6. – Пользовательский интерфейс для просмотра вариантов конфигурации нефтегазовой системы с сортировкой по стоимости

### Заключение

Таким образом, разработанная программная платформа позволяет автоматизировать процесс конфигурации нефтегазовой системы на этапах концептуального проектирования, что приведет к снижению трудоемкости задач, и, как следствие, ускорит сроки ввода в эксплуатацию за счет ранней многовариантной проработке проекта. Применение онтологической базы знаний в решении прикладных задач открывает возможности для сохранения,

воспроизведения и преемственности инфраструктурных решений, что повышает качество и вероятность успешной реализации проекта.

Важной особенностью предлагаемой разработки является то, что она работает с онтологической базой знаний, которая создается, редактируется, и сохраняется в формате owl-файла общедоступным графическим редактором онтологий Protégé. Наряду с универсальным алгоритмом вывода и предложенной структурой функционально-ориентированной онтологии, это позволяет использовать платформу для работы с другими онтологическими моделями и решения задач конфигурирования в разных областях.

### Литература

1. Батрашкин В.П., Исмагилов Р.Р., Панов Р.А., Можчиль А.Ф., Гильмутдинова Н.З., Дмитриев Д.Е. Интегрированное концептуальное проектирование как инструмент системного инжиниринга // Нефтяное хозяйство, 2016, №12. С. 80-83.
2. Яковлев В.В., Хасанов М.М., Ситников А.Н., Прокофьев Д.О., Пустовских А.А., Маргарит А.С., Симонов М.В., Перец Д.С. Направления развития когнитивных технологий в периметре Блока разведки и добычи компании «Газпром нефть» // Нефтяное хозяйство, 2017, №12. С. 6-9.
3. Шушаков А.А., Билинчук А.В., Павлечко Н.М., Халиков Ф.Н., Сулейманов А.Г., Ситников А.Н., Слабечкий А.А., Тепляков Н.Ф., Сарапулов Н.П., Шестаков Д.А., Мансафов Р.Ю. «ЭРА: Добыча» – интегрированная платформа для повышения эффективности эксплуатации механизированного фонда скважин // Нефтяное хозяйство, 2017, №12. С. 60-63.
4. Dong L. Knowledge Graph and Machine Learning: A Natural Synergy, Presentation at Stanford Seminar on KGs. Stanford University, 2020.
5. Baclawski K., Bennett M., Berg-Cross G., Schneider T., Sharma R., Singer J., Sriram R.D. Ontology summit 2020 communiqué: Knowledge graphs // Applied ontology. 2021. №16 (2). pp. 229-247.

6. Hagedorn T., Bone M., Kruse B., Grosse I., Blackburn M. Knowledge Representation with Ontologies and Semantic Web Technologies to Promote Augmented and Artificial Intelligence in Systems Engineering // *Insight*. 2020. №23 (1). URL: [incose.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/inst.12279](https://incose.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/inst.12279)

7. Mabkhot M., Al-Samhan A., Hidri L. An Ontology-Enabled Case-Based Reasoning Decision Support System for Manufacturing Process Selection // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2019. № 1. pp. 1-18.

8. Цвелик Е.А. Метод построения иерархии критериев на основе онтологического анализа систем // *Инженерный вестник Дона*, 2013, №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1971](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1971)

9. Литовкин Д.В., Донцов Д.С., Ромах Е.И., Аникин А.В. Автоматизация преобразования базовых элементов ORM2-диаграммы в OWL2-онтологию // *Инженерный вестник Дона*, 2022, №6. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7769](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7769)

10. Мохов В.А., Сильнягин Н.Н. Интегрированный алгоритм когнитивной оценки и выбора оптимального варианта онтологической модели // *Инженерный вестник Дона*, 2014, №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/600](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/600)

### References

1. Batrashkin V.P., Ismagilov R.R., Panov R.A., Mozhchil' A.F., Gil'mutdinova N.Z., Dmitriev D.E. 2016. №12. pp. 80-83.

2. Jakovlev V.V., Hasanov M.M., Sitnikov A.N., Prokof'ev D.O., Pustovskih A.A., Margarit A.S., Simonov M.V., Perec D.S. 2017. №12. pp. 6-9.

3. Shushakov A.A., Bilinchuk A.V., Pavlechko N.M., Halikov F.N., Sulejmanov A.G., Sitnikov A.N., Slabeckij A.A., Tepljakov N.F., Sarapulov N.P., Shestakov D.A., Mansafov R.Ju. 2017. №12. pp. 60-63.

4. Dong L. Knowledge Graph and Machine Learning: A Natural Synergy, Presentation at Stanford Seminar on KGs. Stanford University, 2020.



5. Baclawski K., Bennett M., Berg-Cross G., Schneider T., Sharma R., Singer J., Sriram R.D. 2021. №16 (2). pp. 229-247.
6. Hagedorn T., Bone M., Kruse B., Grosse I., Blackburn M. Insight. 2020. №23 (1). URL: [incose.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/inst.12279](https://incose.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/inst.12279)
7. Mabkhot M., Al-Samhan A, Hidri L. Advances in Materials Science and Engineering. 2019. № 1. pp. 1-18.
8. Cvelik E.A. Inzhenernyj vestnik Dona. 2013. №4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1971](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/1971)
9. Litovkin D.V., Doncov D.S., Romah E.I., Anikin A.V. Inzhenernyj vestnik Dona. 2022. №6. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7769](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2022/7769)
10. Mohov V.A., Sil'njagin N.N. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. №11. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/600](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/600)