

## Результаты численного эксперимента по созданию алгоритма принятия проектных решений в строительной практике

*Д.А. Федоров, О.В. Ашихмин*

*Тюменский индустриальный университет*

**Аннотация:** В статье рассматриваются возможности, которые появляются при использовании методов интеллектуального анализа данных в строительстве. Производится численный эксперимент по созданию алгоритма принятия проектных решений при производстве работ нулевого цикла, а именно – при устройстве ограждающих конструкций бровки котлована. Выполняется сравнение данных, полученных в программном продукте Deductor Studio, с фактически использованными при строительстве жилого дома.

**Ключевые слова:** строительство, земляные работы, информационные технологии, дерево решений, принятие проектных решений, анализ данных, машинное обучение, Data Mining, Deductor.

Прогресс в информационном программировании данных, а именно – совершенствование способов анализа и обработки информации, привел к тому, что у большинства строительных организаций появилась возможность собирать большое количество данных в единую структуру и в дальнейшем выполнять её подробный анализ с помощью специальных методов машинного обучения, которые ещё называют «методы интеллектуального анализа данных». В связи с этим появилась потребность в высококвалифицированных в данной области знаний специалистах. С помощью машинного интеллекта обработки информации появилась возможность выявлять неизвестные правила и связи в данных после выполнения анализа для принятия в результате более грамотных и логичных проектных решений [1-3].

Существуют специализированные программные комплексы, с помощью которых можно решать задачи интеллектуального анализа данных. Одним из таких является аналитическая система «Deductor Studio», пользующаяся особой популярностью в последние годы [4]. «Deductor Studio» - аналитическая программа, суть работы которой заключается в

обработке (подробном анализе) входной (исходной) информации и предложении, в конечном итоге, каких-либо решений. С помощью программы можно импортировать и анализировать данные. Главное преимущество – визуальное представление всего цикла работы алгоритмов с последующей возможностью их экспорта.

Весь объем данных, полученный из сторонних источников, обычно накапливается в хранилище данных. Программа может работать и без хранилища, т.е. напрямую [5].

Методы машинного интеллекта выступают в роли совокупности разного рода способов обработки данных [6].

В реальности существуют разные методы машинного анализа, основными из которых являются:

- регрессивный (закономерности перемещения неизвестного параметра);
- распределение (разбиение) на классы;
- кластерные (распределение объектов на группы в зависимости от их параметров);
- ассоциативный (связи между различными событиями).

При распределении или разбиении объектов на классы производится анализ свойств самих объектов. Стоит отметить, что та область, к которой может быть отнесен объект, определена до этого [7, 8]. В настоящее время используется много подобных методов, но более практичным и эффективным является метод «дерево решений» или «дерево решающих правил», который выступает в виде иерархических систем. Они способны к интерпретации шаблонов (типовых структур) данных [9-11].

За основу исследования взят нулевой цикл производства строительно-монтажных работ при строительстве жилого квартала «Вознесенский» в г.

Тюмень, а именно – операции по производству земляных работ (устройство ограждающих конструкций бровки котлована).

На начальном этапе исследования сформирована база данных (таблица) в программе Microsoft Office Excel, в которой содержатся следующие граничные условия:

- уровень грунтовых вод (УГВ): выше дна котлована, ниже дна котлована;
- глубина котлована:  $< 5 \text{ м.}, > 5 \text{ м.}$ ;
- приток воды: слабый, интенсивный;
- характеристики грунта: связный, несвязный;
- внешние факторы: плотная застройка (стесненные условия), новое строительство («в поле»);
- температура грунта:  $< 0^{\circ}\text{C}, > 0^{\circ}\text{C}$ ;
- сезонный подъем грунтовых вод: без подъема, с подъемом воды выше отметки пола.

Основные мероприятия по устройству ограждающих конструкций котлована (подземных частей зданий):

- устройство буронабивных свай;
  - устройство грунтоцементных свай;
  - устройство ограждений с забиркой;
  - устройство шпунтового ограждения;
  - устройство «стены в грунте»;
  - устройство буросекущих свай;
  - устройство бурокасательных свай;
  - устройство берм;
  - устройство откосов под прямым углом;
  - устройство откосов под углом  $< 90^{\circ}$ ;
  - химическое закрепление;
-

- цементация;

- заморозка;

Специальные (сопутствующие) мероприятия:

- анкерная крепь;

- устройство расстрелов (распорок);

- устройство нагелей;

- устройство полимерных георешеток;

- устройство габионов;

- водопонижение с использованием иглофильтров;

- водопонижение с помощью электроосмоса;

- организация открытого водоотлива;

- устройство периметрального дренажа.

Исходная (входная) информация импортируется в программный комплекс «Deductor Studio Academic» в формате MS DOS. В итоге мы можем наблюдать список определенных закономерностей, которые принимают вид: «если условие ..., то результат ...» (рис.1).

Условие	Следствие	Поддержка	Достоверность
ЕСЛИ		1100	176
Глубина котлована = < 5		240	72
Температура грунта = < 0	химическое закрепление	64	32
Температура грунта = > 0		176	40
Характеристики грунта = несвязный	заморозка	96	24
Характеристики грунта = связный	заморозка	80	16
Глубина котлована = > 5		860	104
Температура грунта = < 0		192	32
Приток воды = интенсивный	бурокасательные сваи	80	16
Приток воды = слабый	бурокасательные сваи	112	16
Температура грунта = > 0		668	72
Приток воды = интенсивный		280	36
Внешние факторы = новое стро...	бермы	224	28
Внешние факторы = плотная за...	бурокасательные сваи	56	8
Приток воды = слабый		388	36
Внешние факторы = новое стро...		308	28
Характеристики грунта = не...	бермы	176	16
Характеристики грунта = св...	бермы	132	12
Внешние факторы = плотная за...	бурокасательные сваи	80	8

Рис. 1. – Дерево решений для определения мероприятий по устройству ограждающих конструкций и откосов котлована

С помощью способа визуализации данных «значимость», возможно выявить, как исходная информация влияет на значение выходных данных. Например, определим значимость при следующих входных факторах: глубина котлована  $> 5$  м., температура грунта  $< 0$  °С, приток воды – интенсивный (рис.2).

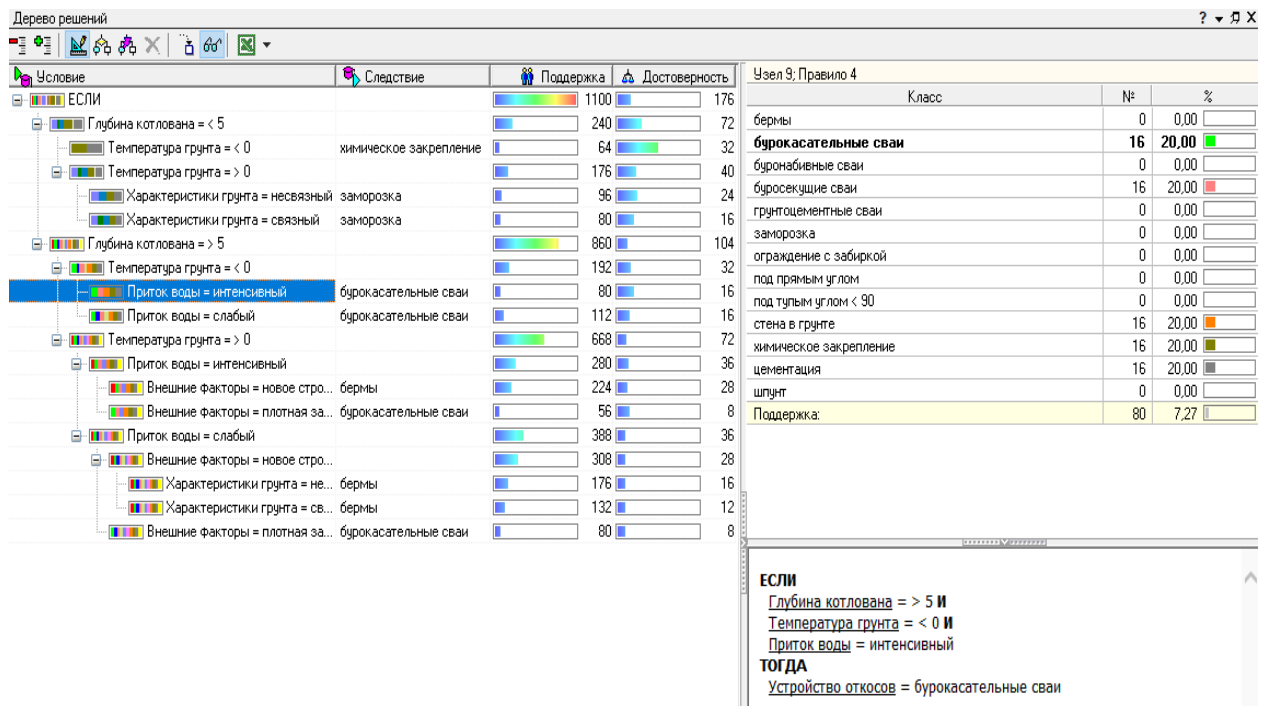


Рис. 2. – Значимость атрибутов в полученном дереве решений

В данном случае мы видим одинаковую значимость устройства бурокасательных и буросекущих свай, «стены в грунте», химического закрепления и цементации. Это говорит о том, что выбор оптимального варианта будет зависеть от технико-экономических показателей, желаний и предпочтений заказчика (застройщика).

Для анализа принятых проектных решений программное средство позволяет увидеть правила, по которым выбиралось то или иное мероприятие.

Наглядно можно убедиться в нелинейности зависимости исходных данных и полученными результатами. Таким образом оценивается качество модели в целом.

Построим дерево решений для определения специальных мероприятий по устройству ограждающих конструкций бровки котлована.

Результатом является дерево решений, изображенное на рис.3.

Дерево решений		Поддержка	Достоверность
Условие	Следствие		
ЕСЛИ		1100	72
УГВ = выше дна		550	64
Температура грунта = < 0		128	64
Сезонный подъем воды = без подь...	электроосмос или иглофилтры	64	64
Сезонный подъем воды = с подье...	электроосмос или иглофилтры, периметральный дренаж	64	64
Температура грунта = > 0		422	42
Сезонный подъем воды = без подь...		211	42
Приток воды = интенсивный		92	30
Глубина котлована = < 5	габионы, электроосмос или иглофилтры	22	18
Глубина котлована = > 5	расстрелы (распорки), электроосмос или иглофилтры	70	30
Приток воды = слабый		119	42
Глубина котлована = < 5	габионы, открытый водоотлив	22	18
Глубина котлована = > 5	расстрелы (распорки), открытый водоотлив	97	42
Сезонный подъем воды = с подье...		211	42
Приток воды = интенсивный		92	30
Глубина котлована = < 5	габионы, электроосмос или иглофилтры, периметральный дренаж	22	18
Глубина котлована = > 5	расстрелы (распорки), электроосмос или иглофилтры, периметральный дренаж	70	30
Приток воды = слабый		119	42
Глубина котлована = < 5	габионы, открытый водоотлив, периметральный дренаж	22	18
Глубина котлована = > 5	расстрелы (распорки), открытый водоотлив, периметральный дренаж	97	42
УГВ = ниже дна		550	72
Сезонный подъем воды = без подьем...		275	72
Температура грунта = < 0	нет	64	64
Температура грунта = > 0		211	72
Глубина котлована = < 5	габионы	44	36
Глубина котлована = > 5	расстрелы (распорки)	167	72
Сезонный подъем воды = с подьемом...		275	72
Температура грунта = < 0	периметральный дренаж	64	64
Температура грунта = > 0		211	72
Глубина котлована = < 5	габионы, периметральный дренаж	44	36
Глубина котлована = > 5	расстрелы (распорки), периметральный дренаж	167	72

Рис. 3. - Дерево решений для определения специальных мероприятий при устройстве ограждающих конструкций бровки котлована

Проверим достоверность работы программы, сравнив полученные результаты с фактическими. Для выбора мероприятия по определенным параметрам отследим значимость атрибутов и просмотрим правила выбора решений на реальном примере.

При строительстве жилого квартала «Вознесенский» на площадке строительства наблюдались следующие условия: УГВ выше дна котлована, температура грунта  $> 0^{\circ}\text{C}$ , сезонный подъем воды присутствовал, приток воды – слабый, глубина котлована  $< 5$  м., грунт связный, внешние факторы –

новое строительство. Мероприятия, выполненные фактически: водопонижение (открытый водоотлив), устройство откосов под углом  $< 90^{\circ}$ .

Данные реальные процессы достаточно точно прослеживаются в дереве решений численного эксперимента, изображенном на рис.4.

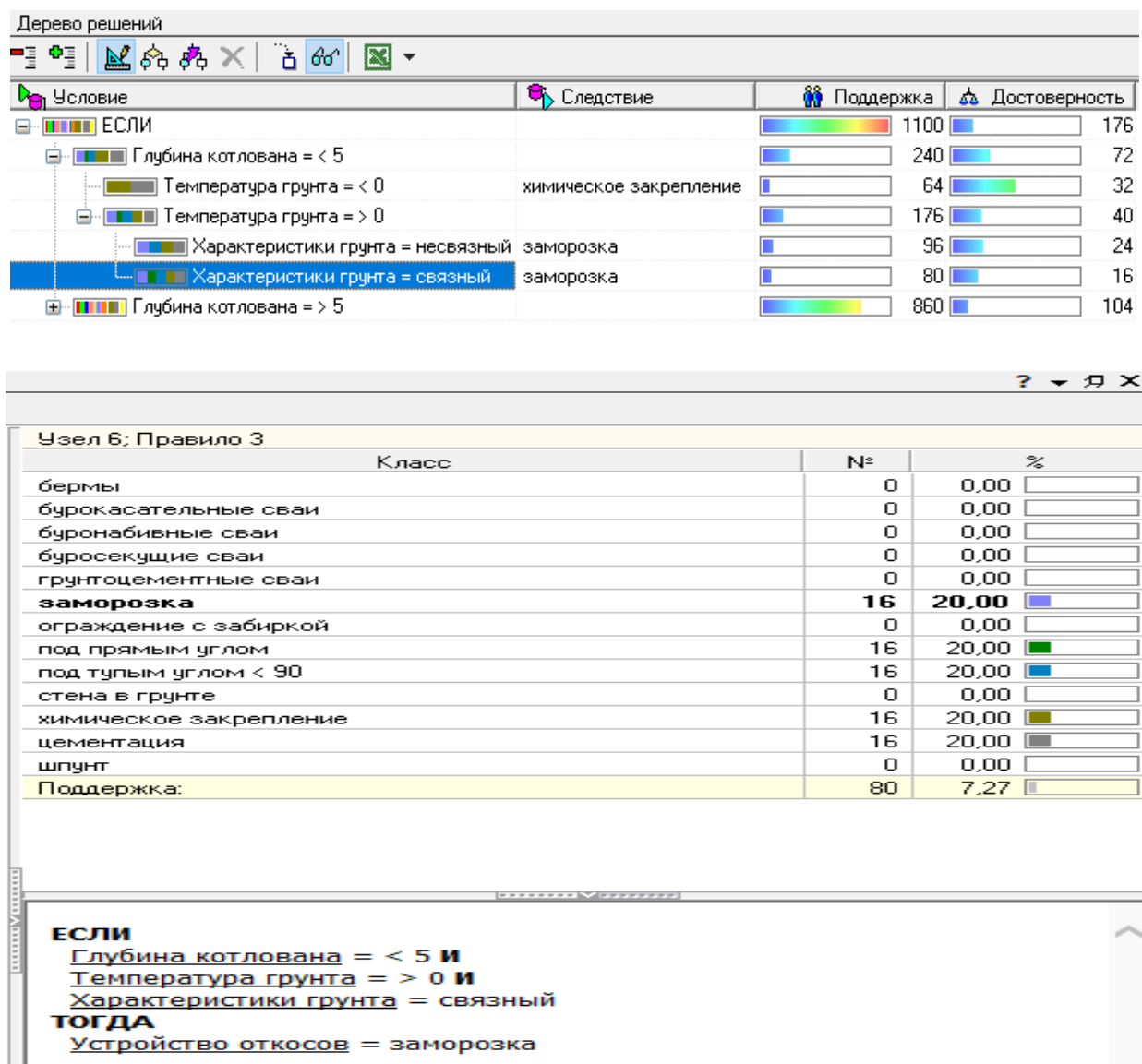


Рис. 4. – Дерево решений для определения мероприятий по устройству ограждающих конструкций

Как мы видим, мероприятия могут использоваться следующие: заморозка, устройство откосов под прямым углом и углом  $< 90^{\circ}$ , химическое закрепление и цементация. Исходя из технико-экономических показателей, фактически выполнено устройство откосов под углом  $< 90^{\circ}$ .

Построим дерево решений для определения специальных мероприятий (рис.5).



Рис. 5. – Дерево решений для определения специальных мероприятий

Теоретически из всех возможных мероприятий могут быть выполнены следующие: устройство габионов, открытый водоотлив и периметральный дренаж. Фактически выполнен открытый водоотлив и периметральный



дренаж. Устройство габионов теоретически возможно, но мероприятие не производили, исходя из предпочтений заказчика.

В итоге проведенного численного эксперимента из трех предложенных программой вариантов два мероприятия были реализованы на практике в реальных условиях.

Таким образом, мы получили визуализированный результат работы алгоритма принятия проектных решений для устройства ограждающих конструкций бровки котлована при строительстве ЖК «Вознесенский».

Использованные принципы и алгоритмы принятия проектных решений можно применять при производстве других видов строительных работ на протяжении всех этапов строительства объектов.

Данный цифровой эксперимент показывает, что для получения быстрого и достоверного варианта решения достаточно иметь исходную (опытную) базу данных (в нашем случае – таблицу) и апробированное программное средство составления дерева решений, например, АП «Deductor Studio Academic».

### Литература

1. Cao L., S. Yu Philip, Zhang C., Zhang H. Data Mining for Business Application / Springer Science + Business Media. 2008. 299 p.
2. Ризаев И.С., Рахал Я. Интеллектуальный анализ данных для поддержки принятия решений. Казань: МОиН РТ, 2011. 172 с.
3. Кирпичников А.П., Осипова А.Л., Ризаев И.С. Повышение аналитических возможностей баз данных // Вестник Казанского Технологического ун-та. т.15. №3. 2012. С. 157-160.
4. Ризаев И.С., Мифтахутдинов Д.И. Применение аналитической платформы Deductor для анализа данных // Актуальные вопросы современных математических и естественных наук. № 2. 2015. С. 56-59.



5. Назначение и основные возможности аналитической платформы Deductor Studio. DOCPLAYER : официальный сайт. URL: [docplayer.ru/49814110-Naznachenie-i-osnovnye-vozmozhnosti-analiticheskoy-platfomy-deductor-studio.html](http://docplayer.ru/49814110-Naznachenie-i-osnovnye-vozmozhnosti-analiticheskoy-platfomy-deductor-studio.html).

6. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference and Prediction / New York: Springer Science + Business Media. 2009. 746 p.

7. Прокопенко Н.Ю. Системы поддержки принятия решений : учебное пособие. Нижний Новгород : ННГАСУ. ЭБС АСВ. 2017. 189 с.

8. Боронина Л.Н., Сенук З.В. Основы управления проектами : [учеб. пособие]. М-во образования и науки Рос. Федерации. Екатеринбург : УрФУ. Изд-во Урал. ун-та. 2016. 134 с.

9. Власов Д.А. Реализация метода дерева в моделировании процесса принятия решений // Вопросы экономики и управления. 2016. № 2 (4). с. 34.

10. Микони С.В. Теория принятия управленческих решений. СПб.: Лань. 2015. 448 с.

11. Побегайлов О.А., Погорелов В.А. Модель интеграции строительного производства // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1777](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1777)

### References

1. Cao L., S. Yu Philip, Zhang C., Zhang H. Springer Science + Business Media. 2008. 299 p.

2. Rizaev I.S., Rakhal Ya. Intellektual'nyy analiz dannykh dlya podderzhki prinyatiya resheniy [Data mining for decision support]. Kazan': MOiN RT, 2011. 172 p.

3. Kirpichnikov A.P., Osipova A.L., Rizaev I.S. Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo un-ta. t.15. №3. 2012. pp. 157-160.



4. Rizaev I.S., Miftakhutdinov D.I. Aktual'nye voprosy sovremennykh matematicheskikh i estestvennykh nauk. № 2. 2015. pp. 56-59.

5. Naznachenie i osnovnye vozmozhnosti analiticheskoy platformy Deductor Studio [Purpose and main features of the Deductor Studio analytical platform]. DOCPLAYER: ofitsial'nyy sayt. URL: [docplayer.ru/49814110-Naznachenie-i-osnovnye-vozmozhnosti-analiticheskoy-platformy-deductor-studio.html](http://docplayer.ru/49814110-Naznachenie-i-osnovnye-vozmozhnosti-analiticheskoy-platformy-deductor-studio.html)

6. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. New York: Springer Science + Business Media. 2009. 746 p.

7. Prokopenko N.Yu. Sistemy podderzhki prinyatiya resheniy [Decision support systems]: [ucheb. posobie]. Nizhniy Novgorod : NNGASU. EBS ASV. 2017. 189 p.

8. Boronina L.N., Senuk Z.V. Osnovy upravleniya proektami [Fundamentals of project management]: [ucheb. posobie]. M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federatsii. Ekaterinburg: UrFU. Izd-vo Ural. un-ta. 2016. 134 p.

9. Vlasov D.A. Voprosy ekonomiki i upravleniya. 2016. № 2 (4). p. 34.

10. Mikoni S.V. Teoriya prinyatiya upravlencheskikh resheniy [Management decision-making theory]. SPb.: Lan'. 2015. 448 p.

11. Pobegaylov O.A., Pogorelov V.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1777](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1777)