

Алгоритм оцифровки технологических графиков обработки поездов на железнодорожных станциях



Живко ЯНЕВ



Никита ЛУГОВСКИЙ



Юрий ПАЗОЙСКИЙ



Сергей КАЛИНИН

**Живко Янев¹, Никита Владимирович Луговский²,
Юрий Ошарович Пазойский³, Сергей Владимирович Калинин⁴**

^{1, 3} Российский университет транспорт, Москва, Россия.

^{1, 2, 4} Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (АО «НИИАС»), Москва, Россия.

¹ ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0856-341X>; РИНЦ SPIN-код: 8538-7511; РИНЦ AuthorID: 1092590.

³ РИНЦ SPIN-код: 5355-5945; РИНЦ AuthorID: 403168.

⁴ РИНЦ SPIN-код: 4957-2295; РИНЦ AuthorID: 1236784.

✉ ¹ zivkoacter@yahoo.com.

АННОТАЦИЯ

Изменяющиеся объемы перевозок грузов вызывают необходимость в ускоренном продвижении грузопотоков, в том числе за счет изменения технологии пропуска поездов по инфраструктуре железнодорожного транспорта. В таких условиях требуется создать цифровые модели, цель которых – воспроизвести работу оригинала. Полученные результаты работы цифровой модели послужат обоснованием для последующей разработки вариантов работы моделируемого объекта, направленных на выполнение перспективных показателей работы железнодорожного транспорта.

В связи с этим, в рамках проведенного исследования разработан алгоритм оцифровки технологических графиков

обработки поездов. Цель разработанного алгоритма – согласно его структуре сформировать программу, обеспечивающую оперативный автоматизированный учет технологии работы оригинальных объектов железнодорожного транспорта в условиях трансформации аналоговой информации в ее цифровой тип. Программным, структурным и системным методами был создан алгоритм, в основе которого – машинная модель обучения. Оценка точности определения подаваемой технологической операции оценивается чистотой информационного узла, а для эксперимента были оцифрованы более 120 технологических графиков обработки поездов различных железнодорожных станций.

Ключевые слова: цифровая модель железнодорожной станции, оцифрованный технологический график обработки поезда, стоп-слово, лемматизация, мультиклассовая классификация (случайный лес), векторизация текста, метод TF-IDF, коэффициент Джини.

Для цитирования: Янев Ж., Луговский Н. В., Пазойский Ю. О., Калинин С. В. Алгоритм оцифровки технологических графиков обработки поездов на железнодорожных станциях // Мир транспорта. 2024. Т. 22. № 4 (113). С. 13–21. DOI: <https://doi.org/10.30932/1992-3252-2024-22-4-2>.

**Полный текст статьи в переводе на английский язык публикуется во второй части данного выпуска.
English translation of the full text of the article is published in the second part of the issue.**

ВВЕДЕНИЕ

Необходимость в быстром обслуживании поездов, в том числе при переориентации объемов перевозок грузов, требует внесения корректировок в технологию работы железнодорожных станций [1]. В связи с этим, необходимо оперативно обосновывать корректность предлагаемых мероприятий по изменению конфигурации инфраструктуры или технологии работы железнодорожных станций. Это возможно путем создания цифровых моделей железнодорожных станций, состоящих из блока цифровой инфраструктурной модели железнодорожной станции и блока, описывающего технологию обработки поездов и включенных в него ресурсных элементов. Подробная структура цифровой модели железнодорожной станции представлена в работе [2]. Предложенные блоки должны обеспечить высокий уровень идентичности поведения оригинала в виртуальном мире, который за счет создания цифровых инфраструктурных моделей и оцифрованных технологических графиков обработки поездов позволит в ускоренном или оперативном режиме проводить планирование и организацию работы железнодорожных станций, что является весьма актуальной задачей, стоящей перед железнодорожным транспортом, особенно в России.

В работах [3; 4] дается определение цифровой модели (цифрового двойника¹) железнодорожной станции, согласно которому цифровые модели в целом предназначены для моделирования поведения оригинала в условиях изменяющихся исходных величин и технологии работы.

Цифровые модели железнодорожной станции также могут быть использованы для разработки сценариев поведения объектов в рамках оперативного управления железнодорожным транспортом. Авторы в работах [5–7] пришли к выводу, что информационная база технологических параметров должна включать технологические нормативы работы железнодорожных станций для последующего оперативного прогнозирования.

В работе [8] авторы приводят перечень департаментов компании ОАО «РЖД», в которых в первую очередь подлежат внедрению и использованию цифровые и квантовые

инструменты в целях улучшения сервиса клиентов посредством повышения уровня принятия оперативных решений. В исследовании отмечается важность использования цифровых модулей в процессе планирования работы станции, что подтверждает актуальность разработки модуля по оцифровке технологического графика обработки поездов.

Для моделирования поведения существующей железнодорожной станции (оригинала) в условиях постоянного изменения исходных величин и технологии работы требуется максимально оперативное внесение корректировок в технологические графики обработки поездов.

Ввиду этого *целью* данного исследования является разработка порядка действий по оцифровке технологических графиков обработки поездов с минимальными временными потерями в автоматизированном виде.

Предлагаемый алгоритм должен обладать универсальностью для последующего использования на этапах подготовки масштабных концепций и проектов по цифровой трансформации компаний [9].

С помощью *структурного подхода* была описана архитектура алгоритма оцифровки технологических графиков обработки поездов, а также его содержательная часть, состоящая из пяти основных блоков: загрузки исходной информации, байтовой трансформации, лемматизации, векторизации и выдачи готового оцифрованного технологического графика обработки поездов.

Системный подход позволил сформировать перечень требований, предъявляемых к разработанному алгоритму.

Методом программирования блоки наделены необходимой функциональностью, а также проведен ряд экспериментов по оцифровке с использованием разработанной программы соответствующих технологических графиков обработки поездов. По результатам работы программы оценивается чистота информационного узла, формируются цифровые технологические цепочки, последние загружаются в программу многоуровневой системы управления для последующего моделирования работы железнодорожной станции.

При внесении корректировок или описании технологии работы существующих или вновь созданных цифровых моделей железнодорожных станций технологам-модел-

¹ Цифровые двойники РЖД. Как используют цифровой двойник на российских железных дорогах [Электронный ресурс]: <https://twins.rzddigital.ru/twins>.

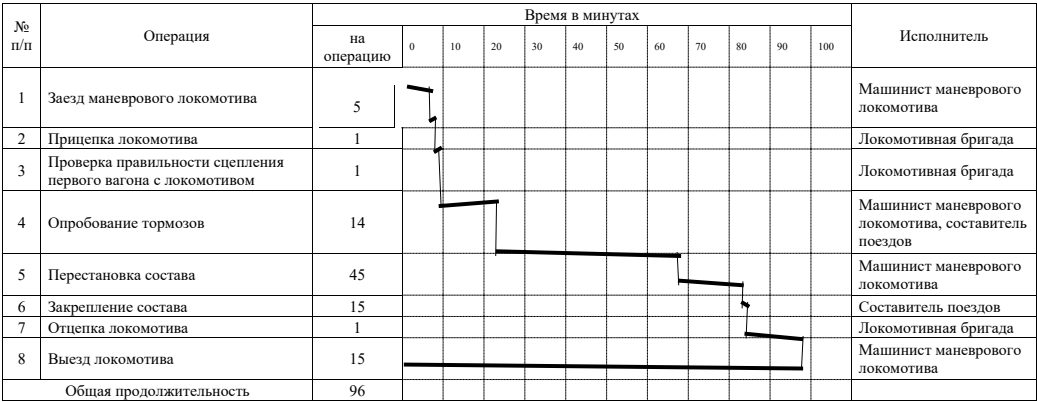


Рис. 1. Пример технологического графика обработки поезда [выполнено авторами].

лерам² требуется от нескольких часов до нескольких суток для воссоздания технологического поведения реальной железнодорожной станции. В связи с этим, в данной статье предложен алгоритм формирования и трансформации технологических графиков обработки поездов в их цифровой тип. В результате работы алгоритма будет получен оцифрованный технологический график обработки поезда³.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На входе вводится исходный файл, в котором изложены технологические графики обработки поезда (рис. 1).

Технологические графики обработки поездов приведены в нормативных документах каждой железнодорожной станции (техпроцесс, техкарта). Они могут быть представлены в виде рисунка, графика или таблицы с указанием продолжительности и очередности выполнения соответствующих операций.

Программа, разрабатываемая согласно предложенному алгоритму (рис. 2), должна обладать следующим функционалом:

- распознавать получаемую информацию двух типов (текст и изображение);

² Технолог-моделлер – сотрудник, имеющий компетенции и навыки в области организации работы железных дорог, опыт создания цифровых моделей железнодорожных объектов, общий стаж работы которого не менее двух лет. – прим. авт.

³ Оцифрованный технологический график обработки поезда – цифровой двойник аналогового технологического графика обработки поезда, полученный в результате работы специализированного алгоритма, учитывающего нормативную продолжительность и очередность выполнения операций с поездом или иными объектами на железнодорожной станции. – прим. авт.

- преобразовывать полученный тип информации в байтовый формат;
- обрабатывать текстовые предложения и изображения для обучения модели машинного обучения;
- векторизовать текст с помощью метода TF-IDF (Term Frequency-Inverse Document Frequency; выбор метода TF-IDF объясняется тем, что, например, метод Word2vec больше подходит для векторизации текста в нейронных сетях, а также по причинам, описанным ниже);
- создавать оцифрованный технологический график обработки поезда.

После ввода исходной информации в виде текста или изображения по предложенному на рис. 2 алгоритму производится отбор нужной информации путем удаления стоп-слов⁴ из предложения. После очистки обрабатываемого текста от стоп-слов, предложенный алгоритм запускает механизм лемматизации⁵ [11].

Алгоритм оцифровки технологического графика обработки поезда работает на программе, написанной с помощью языка программирования Python.

Для распознавания информации, получаемой из технологического графика обработки поезда, алгоритм должен включать две функции:

- функция чтения данных из текста – если технологический график представлен в виде таблицы или документа с текстом, то

⁴ Стоп-слово – это ненужное для алгоритма векторизации текста слово в виде предлога, союза, частицы и т.п., создающее избыточность информации в информационной среде [10] – прим. авт.

⁵ Лемматизация – это процесс приведения всех изменяемых форм слова к единому значению, снижающий вариативность одного и того же слова для повышения качества анализа текста. – прим. авт.



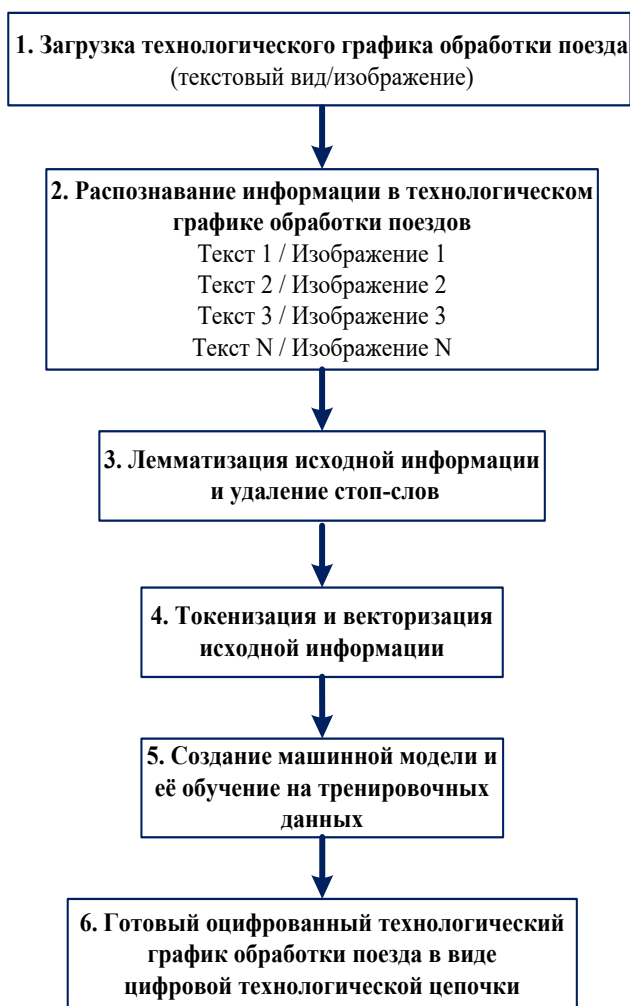


Рис. 2. Алгоритм оцифровки технологического графика обработки поезда [выполнено авторами].

```

def read_tables_from_docx(docx_file):
    # Load the Word document
    doc = Document(docx_file)

    all_tables = []

    # Iterate through all tables in the document
    for table in doc.tables:
        table_data = []

        # Iterate through each row in the table
        for row in table.rows:
            row_data = []

            # Iterate through each cell in the row
            for cell in row.cells:
                # Get the text in each cell and append to row_data
                row_data.append(cell.text)

            # Append the row data to table_data
            table_data.append(row_data)

        # Append the table data to all_tables
        all_tables.append(table_data)

    return all_tables
  
```

Рис. 3. Фрагмент функции чтения данных из текста технологического графика обработки поезда аналогового формата [выполнено авторами].

```
def extract_images_from_docx(docx_file):
    doc = Document(docx_file)
    images = []

    for s in doc.inline_shapes:
        blib = s._inline.graphic.graphicData.pic.blipFill.blip
        rId = blib.embed
        document_part = doc.part
        image_part = document_part.related_parts[rId]
        image_bytes = image_part.blob
        images.append(image_bytes)

    return images
```

Рис. 4. Фрагмент функции чтения данных из рисунка технологического графика обработки поезда [выполнено авторами].

функция принимает вид, представленный на рис. 3;

– функция чтения данных из изображения – если технологический график представлен в виде изображения или растровой графики, то функция принимает вид, представленный на рис. 4.

После восприятия информации программой из двух типов источников (текст или рисунок) запускается подсистема преобразования соответствующей информации в байтовый вид, как это представлено на рис. 5.

На успешную безошибочную работу предложенного алгоритма обработки текста влияет токенизация и векторизация текста [12]. Токенизация производится в целях

разделения названия технологической операции на отдельные слова с сохранением порядка их расположения. Векторизация текста необходима для обеспечения высокой степени восприятия подаваемой информации моделью машинного обучения. Метод TF-IDF [13; 14] был выбран по ряду причин, так как он:

- учитывает важность слова в контексте документа;
- выявляет ключевые слова;
- устраняет часто встречающиеся слова;
- хорошо масштабируется (может применяться к большим корпусам текстов).

Векторизация произведена с применением метода TF-IDF согласно формуле (1):

№ п/п	Название операции	Продолжительность операции	Цифровой знак
1	Заезд маневрового локомотива	5	...
2	Прицепка маневрового локомотива	1	...
3	Проверка правильности сцепления первого вагона с маневровым локомотивом	1	...
4	Опробование тормозов	14	...
N

Рис. 5. Пример (фрагмент) трансформации соответствующей технологической операции в байтовый вид [выполнено авторами].



базмак	бланк	бригада	вагон	вручение	выезд	высадка	вытпгивание	горючий	готовность	...	гтал	технический	тормоз	тормозной т
0	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0
1	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.357503	0.0	0.000000	0.000000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.707167	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0
...
108	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0	0.000000	0.775470	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0
109	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0
110	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0	0.000000	0.000000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0
111	0.0	0.0	0.0	0.335162	0.0	0.000000	0.000000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0
112	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0	0.449994	0.535262	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000000	0.0

113 rows × 100 columns

Рис. 6. Результаты токенизации и векторизации текста технологического графика обработки поезда [выполнено авторами].

$w_{x,y} = tf_{x,y} \times \log(\frac{N}{df_x})$, (1)

где $w_{x,y}$ – ценность слов;
 $tf_{x,y}$ – доля повторений слова x в одном предложении по отношению к общему числу таких слов x во всех предложениях;

N – количество предложений в выборке;
 df_x – количество предложений из общей выборки, содержащих слово x .

Векторизация текста – это преобразование токенов в числа. Данное действие необходимо для дальнейшего обучения, дообучения и кор-

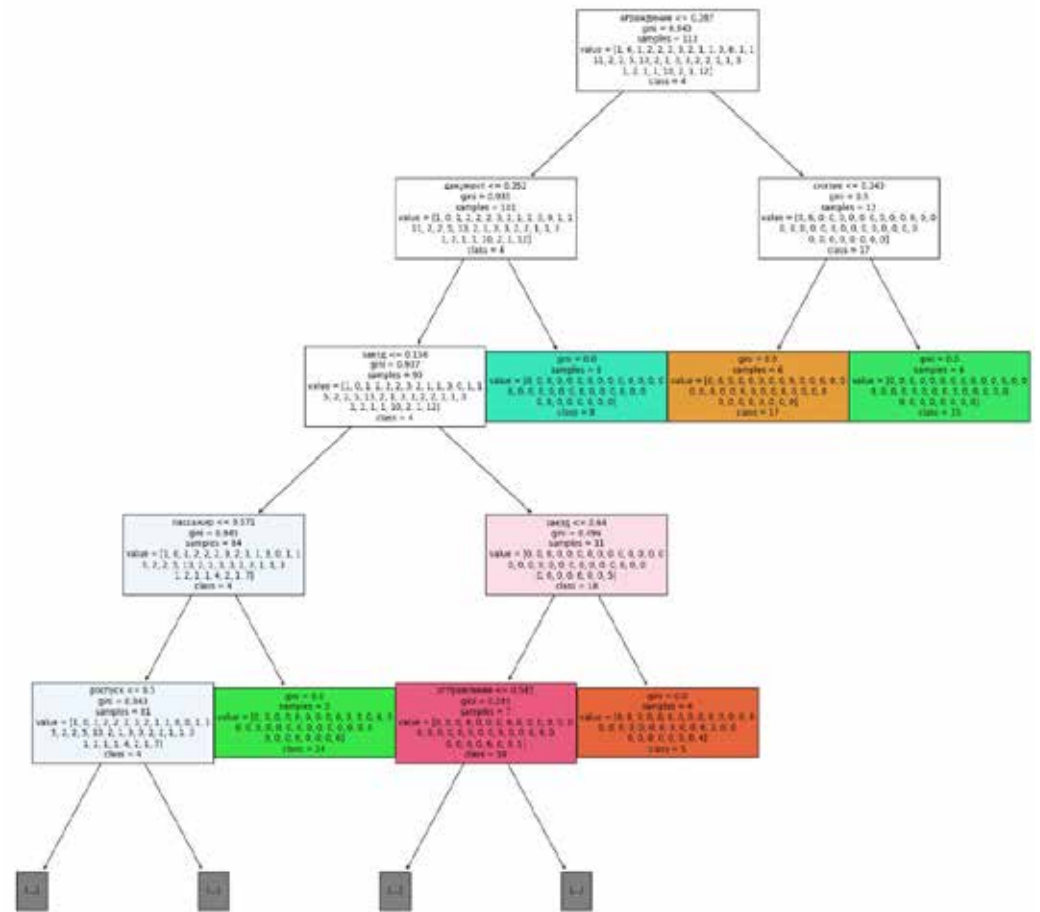


Рис. 7. Структура модели машинного обучения с использованием мультиклассовой классификации («случайный лес») [выполнено авторами].

```

parameters={'max_depth': [2,5,7,10], 'n_estimators': [10,50,100], 'min_samples_split': [10,20,30], 'min_samples_leaf': [10,20,30]}

scoring = {'accuracy': 'accuracy',
           'precision': 'precision_macro',
           'recall': 'recall_macro',
           'f1': 'f1_macro'}

clf = RandomForestClassifier()

grid_search_cv_clf=GridSearchCV(clf, parameters, cv=5,scoring = scoring,refit='accuracy')#добавляем еще кросс-валидацию с пятью ф
grid_search_cv_clf.fit(vectorize_text, numeric_labels)
best_params = grid_search_cv_clf.best_params_

```

Рис. 8. Перечень параметров, показывающих точность машинной модели обучения [выполнено авторами].

ректировки работы алгоритма в процессе работы модели машинного обучения.

После успешной токенизации и векторизации текста, технологический график обработки поезда из рис. 5 принимает вид, представленный на рис. 6.

Получить корректный результат работы модели машинного обучения возможно при обработке большого количества тренировочных данных. Поэтому следует выбрать соответствующую модель машинного обучения, которая поможет сформировать набор навыков, компетенций и знаний, направленных на изготовление оцифрованного технологического графика обработки поезда.

Тренировка модели машинного обучения в рамках данного исследования проводилась с использованием мультиклассовой классификации («случайный лес»), которая обеспечивает хорошую обработку больших данных, устойчивость переобучения и работу с разнообразными данными. Структура модели машинного обучения представлена на рис. 7.

В предложенной структуре модели машинного обучения мультиклассовой классификацией был использован параметр «Gini impurity» (коэффициент или показатель неоднородности (неопределенности) Джини) [15; 16]. Он измеряет вероятность того, что случайно выбранный элемент из множества будет неправильно классифицирован, если он был случайно помечен в соответствии с распределением меток в узле. Для узла с множеством элементов, принадлежащих к различным классам, «Gini impurity» вычисляется следующим образом: Если все элементы в узле принадлежат к одному классу, «Gini impurity» будет равен 0, что указывает на лучшую возможную чистоту узла. Если же элементы равномерно распределены по различ-

ным классам, «Gini impurity» будет близок к 0,5, что указывает на максимальную неопределенность или разнородность чистоты узла [15; 16].

Точность модели машинного обучения по оцифровке технологического графика обработки поезда может быть сформирована на основании параметров (глубина деревьев, количество деревьев, минимальное количество выборок и минимальное количество листов разделения), приведенных на рис. 8.

ВЫВОДЫ

В результате работы модели машинного обучения были проведены 127 экспериментов по оцифровке технологических графиков обработки поездов. На рис. 9 представлены итоговые параметры оценки качества модели машинного обучения по оцифровке технологического графика обработки поезда.

Оценка точности модели машинного обучения по оцифровке технологического графика обработки поезда на тренировочных данных приведена на рис. 10 и составила 0,938 у.е., что соответствует высокому уровню точности определения, восприятия и преобразования получаемой информации.

В результате работы предложенного алгоритма получен оцифрованный технологический график обработки поездов в виде цифровой технологической цепочки, использующейся в процессе моделирования работы железнодорожной станции (рис. 11).

Предложенный алгоритм оцифровки технологического графика обработки поезда может быть использован для:

– обработки и передачи приказов, распоряжений и телеграмм на борт локомотива, а также диспетчерскому персоналу (предложенный алгоритм по переработке аналоговой информации универсальный, поэтому позво-



```
best_params
{'max_depth': 5,
 'min_samples_leaf': 10,
 'min_samples_split': 10,
 'n_estimators': 100}
```

Рис. 9. Численные значения параметров модели, обеспечивших наилучшие значения метрик точности в проведенных опытах [выполнено авторами].

```
accuracy_score(clf.predict(vectorize_text), numeric_labels)
0.9380530973451328
```

Рис. 10. Оценка точности искусственного интеллекта модели машинного обучения по оцифровке технологического графика обработки поезда [выполнено авторами].

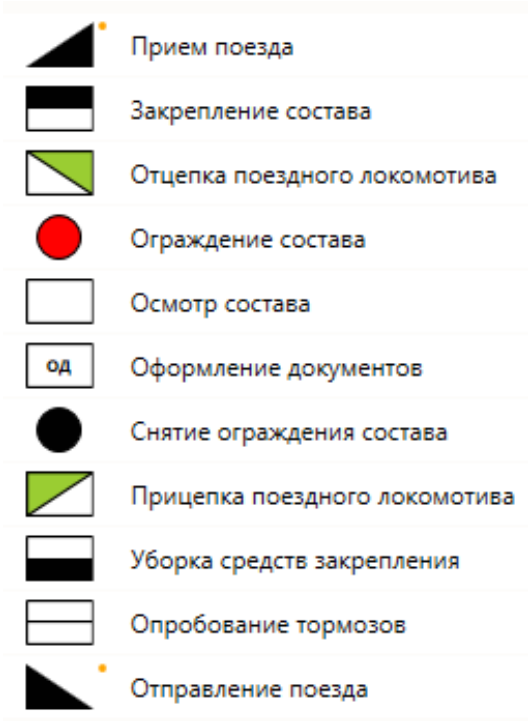


Рис. 11. Пример цифровой технологической цепочки [выполнено авторами].

ляет оцифровать документы, обеспечивающие заблаговременное предупреждение поездной бригады о предстоящих внештатных ограничениях, влияющих на ходовую скорость поезда);

- разработки технологических графиков обработки поездов на железнодорожных станциях необщего пользования (технологические графики обработки поездов на железнодорожных станциях необщего пользования хранятся в аналоговом виде. На этапе описания технологии работы таких объектов требуется создавать цифровые технологические

цепочки вручную. Данный процесс занимает по времени от одной недели до двух месяцев, в зависимости от масштабности моделируемого объекта. Сокращение временных затрат на описание технологии работы в этом случае будет достигнуто с использованием предложенного алгоритма и программного модуля по оцифровке технологических графиков обработки поездов);

- формирования технологических цепочек обработки поездов в рамках проектов создания «цифровых железнодорожных станций» (многовариантный режим работы объекта

в процессе моделирования требует оперативного изменения временных норм по выполнению технологических графиков. Изменение технологических графиков обработки поездов, а также вписанных временных норм может быть выполнено с использованием предложенного программного модуля и алгоритма).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чигрин Н. С., Борисенков Е. С., Грешенштейн А. П. Характеристика проблем перевозок грузов железнодорожным транспортом в восточном направлении // Техника и технология транспорта. – 2023. – № 4 (31). EDN: ZKSCJKE.

2. Янев Ж. О структуре цифровой модели железнодорожной станции // Транспортное дело России. – 2024. – № 3. – С. 186–190. EDN: OJZHAY.

3. Костенко В. В., Богданович Д. Е. Практическое применение цифровой модели для технико-экономического обоснования реконструкции железнодорожной станции // Бюллетень результатов научных исследований. – 2021. – № 1. – С. 61–73. DOI: 10.20295/2223-9987-2021-1-61-73.

4. Головнич А. К. Детерминация понятия «цифровой двойник» в 3SD-моделях железнодорожных станций // Техник транспорта: образование и практика. – 2023. – № 4 (2). – С. 184–192. DOI: <https://doi.org/10.46684/2687-1033.2023.2.184-192>.

5. Ерофеев А. А. Нормативно-справочная информация в системе поездообразования // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: наука и транспорт. – 2007. – № 1–2 (14–15). – С. 54–59. EDN: YSDPLF.

6. Лысыков М. Г., Олышанский А. М., Розенберг Е. Н., Розенберг И. Н. Патент № 2723051 С1 Российская Федерация, МПК В61В 1/00. Система оперативного управления движением транзитных поездов: № 2019131595: заявл. 08.10.2019: опубл. 08.06.2020 / заявитель Акционерное общество «Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте». EDN: UTJFTN.

7. Костенко О. А., Пархоменко Н. В. Принципы построения программной цифровой модели сортировочной станции и ее исследование на ЭЦВМ // Кибернетика и транспорт. – М.: Наука, 1967. – С. 118–133.

8. Khomonenko, A., Khalil, M. M. Quantum computing in controlling railroads. In: E3S Web of Conferences: International Scientific Conference Transport Technologies

in the 21st Century (TT21C-2023) «Actual problems of Decarbonization of Transport and Power Engineering: Ways of Their Innovative Solution», Rostov-on-Don, Russia, 05-07.04.2023, Vol. 383. A. Bieliatynskiy and A. N. Guda (Eds.). – Rostov-on-Don, Russia: EDP Sciences, 2023. – с. 01010. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338301010>.

9. Lakemond, N., Holmberg, G., Pettersson A. Digital Transformation in Complex Systems. IEEE Transactions on Engineering Management, 2024, Vol. 71, pp. 192–204. DOI: 10.1109/tem.2021.3118203.

10. Потюпкин А. Ю., Чечкин А. В. Искусственный интеллект на базе информационно-системной избыточности. – М.: ООО «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2019. – 384 с. ISBN 978-5-907064-44-7.

11. Жердева М. В., Артюшенко В. М. Стемминг и лемматизация в lucene.net // Вестник Московского государственного университета леса. – Лесной вестник. – 2016. – Т. 20. – № 3. – С. 131–134. EDN: WKNMTN.

12. Чельшев Э. А., Оцоков Ш. А., Раскатова М. В., Щеголев П. Сравнение методов классификации русскоязычных новостных текстов с использованием алгоритмов машинного обучения // Вестник кибернетики. – 2022. – № 1 (45). – С. 63–71. DOI: 10.34822/1999-7604-2022-1-63-71.

13. Оськина К. А. Оптимизация метода классификации текстов, основанного на TF-IDF, за счет введения дополнительных коэффициентов // Вестник Московского государственного лингвистического университета. Гуманитарные науки. – 2016. – № 15 (754). – С. 175–187. EDN: OPWIAU.

14. Полякова А. С., Липинский Л. В., Поплаухина М. А. [и др.] Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021681722 Российская Федерация. Интеллектуальная система для решения задач анализа естественного языка на основе процедуры векторизации текста с помощью моделей машинного обучения, генетического алгоритма и метода TF-IDF: № 2021681149: заявл. 17.12.2021: опубл. 24.12.2021; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева». EDN: GVNFKK.

15. Disha, R. A., Waheed, S. Performance analysis of machine learning models for intrusion detection system using Gini Impurity-based Weighted Random Forest (GIWRF) feature selection technique. Cybersecurity, 2022, Vol. 5, Iss. 1, pp. 1–22. DOI: 10.1186/s42400-021-00103-8.

16. Demetriou, D., Michailides, C., Onoufriou, T., Papanastasiou, G. Coastal zone significant wave height prediction by supervised machine learning classification algorithms. Ocean Engineering, 2021, Vol. 221, art. 108592. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.108592. ●

Информация об авторах:

Янев Живко – старший преподаватель кафедры железнодорожных станций и транспортных узлов Российского университета транспорта; главный специалист по имитационному моделированию Научно-технического комплекса цифрового моделирования (НТК ЦМ) им. В. И. Уманского Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (АО «НИИАС»), Москва, Россия, zivkoacter@yahoo.com.

Луговский Никита Владимирович – аналитик Научно-технического комплекса цифрового моделирования (НТК ЦМ) им. В. И. Уманского Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (АО «НИИАС»), Москва, Россия, lnvlnikit@gmail.com.

Пазойский Юрий Ошарович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой железнодорожных станций и транспортных узлов Российского университета транспорта, Москва, Россия, razoyskiy@mail.ru.

Калинин Сергей Владимирович – заместитель начальника Научно-технического комплекса цифрового моделирования (НТК ЦМ) им. В. И. Уманского Научно-исследовательского и проектно-конструкторского института информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (АО «НИИАС»), Москва, Россия, hart82@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 29.03.2024, одобрена после рецензирования 10.09.2024, принята к публикации 08.10.2024.

