

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ТРАНСПОРТУ

УДК 00.49

**П. Е. Булавский, А. Д. Манаков,
Р. А. Ковалев, П. А. Василенко**

ОБ ИНТЕГРАЦИИ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ ПРИНЦИПИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

Дата поступления: 18.04.2018

Решение о публикации: 13.09.2018

Аннотация

Цель: По данным отчетов Служб автоматики и телемеханики в одной дистанции железнодорожной сигнализации, централизации и блокировки хранится и сопровождается в среднем от 20 до 100 тысяч листов схемной документации формата А4 в бумажном виде. **Методы:** Использование бумажного носителя требует больших экономических затрат и по современным меркам является крайне неэффективным. Не первый год активно идет процесс перевода технической документации в электронный вид в основном силами сотрудников отделов технической документации. Большое количество документации хранится в отсканированном виде – в растровых изображениях, однако редактирование в таком формате крайне затруднительно и является неэффективным. Не малая часть документации переведена в электронные форматы редакторов, не имеющие соответствующего спецификации элементов железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) представления. Данные форматы не позволяют работать с отдельными элементами и фрагментами принципиальной электрической схемы как с целым объектом, обладающим характерными параметрами, что необходимо для представления электрической схемы в виде модели для реализации комплексного анализа и автоматизированной экспертизы. **Результаты:** В статье приведен анализ методов распознавания растровых изображений с учетом специфики принципиальных электрических схем ЖАТ. Установлена необходимость поиска полюсов электрических элементов ЖАТ для решения задачи поиска структуры принципиальной электрической схемы, а также отделения текстовой информации и ее классификации для поиска соответствующих каждому распознаваемому элементу электрических параметров. **Практическая значимость:** Сделан вывод о необходимости интеграции нескольких методов распознавания для решения задачи распознавания всех составляющих принципиальной электрической схемы ЖАТ.

Ключевые слова: Распознавание принципиальных электрических схем, распознавание растровых изображений, перевод технической документации, техническая документация ЖАТ, методы распознавания.

Petr E. Bulavskiy, D. Eng. Sci., associated professor, pbulavsky@gmail.com; **Alexander D. Manakov**, D. Eng. Sci., professor, manakoff_2@mail.ru; ***Roman A. Kovalev**, postgraduate student, romanlisper@gmail.com; **Petr A. Vasilenko**, student, vasilenko.p.al@gmail.com (Emperor

Summary

Objective: According to the data obtained from the reports of Automation and Telemechanics Services, one STsB (Signalling, Centralization and Blocking) division stores and maintains on average from 20 to 100 thousand A4-format pages of technical documentation in paper form.

Methods: The use of hard copy demands heavy economic expenditures and is highly ineffective nowadays. For the first year active digitalization of technical documentation is held mostly by efforts of technical documentation department members. A large amount of documentation is kept as scanned copies – bit-map images. It should be mentioned that editing of such a format is quite complicated and inefficient. A sufficient part of documentation is digitalized in editors' formats, which do not possess the presentation which would conform to the specificity of RAT elements. The given formats do not allow working with separate elements and fragments of electrical schematic diagram as a whole object, possessing characteristic parameters, which is necessary for the presentation of electrical schematic diagram as a model for complex analysis and computer-aided expertise implementation. **Results:** The analysis of bit-map images recognition methods with regard to the specificity of RAT electrical schematic diagrams was given. Conclusions were made on the necessity to search for the poles of RAT electric elements in order to solve the search problem of electrical schematic diagram structure. The separation of text information and its classification is also required in order to search for electric parameters corresponding to each recognizable element. **Practical importance:** As a result, the conclusion was made on the necessity of integrating several recognition methods in order to solve the task of recognizing all components of RAT electrical schematic diagram.

Keywords: Detection of electrical schematic diagrams, detection of bit-map images, digitization of technical documentation, technical documentation on RAT circuits, recognition methods.

Введение

Согласно инструкции по ведению бумажной технической документации (ТД) на устройства систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) [1] и инструкции на устройства проводной и радиосвязи, а также пассажирской автоматики [2], ТД на действующие системы должна храниться в печатном виде и подтверждается в принятом порядке. Все изменения в ТД вносятся в бумажный оригинал и фиксируются с помощью штампов и подписей причастных должностных лиц.

Основными недостатками бумажного формата являются:

- 1) низкая скорость доступа к информации и ее поиска;
- 2) невозможность одновременной работы с одним набором ТД удаленно;
- 3) необходимость удаленно согласовывать и проверять актуальность внесенных правок во всех копиях ТД;
- 4) необходимость хранения нескольких копий бумажной ТД (на рабочем месте, контрольные экземпляры, архив).

В хозяйстве железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) проводятся работы по переводу ТД в электронный вид. Электронное представле-

ние ТД позволяет реализовать гибкий и быстрый доступ к данным, удобное хранение и возможность внесения изменений без потери качества документа, а при использовании специальных средств разграничения доступа (электронная подпись) электронный формат может обеспечить высокую безопасность и защищенность от несанкционированного или случайного внесения некорректных изменений.

В настоящее время имеется большое число сканированных в электронный вид (растровый формат) ТД. Внесение изменений в таком формате является затруднительным процессом и не соответствует современным требованиям. Растровый формат не позволяет оперировать с отдельными элементами принципиальных электрических схем (ПЭС) с набором специфичных характеристик (атрибутов).

А. Б. Погребняком [3] был произведен анализ объема ТД на устройства автоматики и телемеханики, находящийся в работе и на хранении в организациях ЖАТ. Использовался специальный оценочный коэффициент для среднестатистических станции и перегона. Для анализа была выбрана ШЧ7 Октябрьской железной дороги, которая на тот момент обслуживала 27 станций и 26 перегонов. Рассматривались следующие основные типы документов: ПЭС, монтажные схемы, схематические планы, таблицы взаимозависимостей, а также схемы технологических процессов.

При пересчете на формат листов А4 получилось, что общий объем ТД составляет приблизительно 172 000 листов, из которой основной документацией являются приблизительно 42 000 листов. Содержание ПЭС в основной ТД составляет 28 %. В конце анализа в [3] приведена сводная таблица среднестатистических данных (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Данные по объемам ТД на устройства СЦБ

Величина	Объем ТД, лист формата А4
Объем ТД на среднестатистические станцию и перегон	6300–9100
Объем ТД на стрелку	177–257
ТД по всей сети железных дорог России	$(43,5–62,8) \cdot 10^6$

Т. А. Тележенко [4] было подсчитано приблизительное время, необходимое на создание разных типов ТД проекта. Данные были получены в результате экспертных оценок и хронометража времени специалистов Октябрьской, Северной и Московской железных дорог. Учитывая, что при переносе ТД в электронный вид приходится заново создавать документ в специализированных редакторах, то можно ориентироваться на приведенные в [4] данные для случая получения ТД с нуля при условии использования специализиро-

ванных программных средств. На долю ПЭС в проекте базовый показатель составляет порядка 6 ч.

Дополнительно был проведен анализ количества ПЭС для проектов ЖАТ, введенных в электронный вид в системе АРМ-ВТД. В результате анализа была сформирована сводная таблица, отображающая общее число ПЭС в проекте и число ПЭС в различных категориях для проектов второго и третьего парков станции Санкт-Петербург–Сортировочный–Московский (табл. 2).

ТАБЛИЦА 2. Количество введенных в АРМ-ВТД ПЭС для проектов второго и третьего парков станции Санкт-Петербург–Сортировочный–Московский

Вид схем	Количество листов ПЭС в формате А3	
	Второй парк	Третий парк
Схемы установки и разделки маршрутов	32	45
Схемы реле выдержки времени и комплектов мигания	4	3
Схемы включения выходных и маршрутных светофоров	85	104
Схемы маршрутных указателей	14	–
Схемы включения маневровых светофоров	25	29
Схемы управления и замыкания стрелок	47	63
Схемы блоков изолированных участков	16	20
Схемы рельсовых цепей	80	98
Кодирование рельсовых цепей	29	18
Схемы увязки	49	25
Схемы электрообогрева контактной системы стрелочных приводов	5	8
Схемы ограждения составов	6	11
Схемы переездной сигнализации	16	–
Схемы резервирования и контроля перегорания предохранителей	14	16
Схемы устройств тактовой синхронизации	–	39
Общее число схем	422	479

Стоит заметить, что в настоящее время часть ТД уже переведена в электронный вид, но все еще существенная ее часть хранится в бумажном виде. До недавнего времени ТД переводилась без применения какой-либо стандартизированной методики, что дало возможность использования разных форматов описания ТД, каждый из которых представляет информацию в определенном виде, не всегда редактируемом. Это не позволяет реализовать единый процесс ведения ТД со всеми плюсами и возможностями современных средств автомати-

зации. Встречаются случаи, когда проектные организации передают ТД в редактируемых электронных форматах, таких как формат PDF, или в форме векторной графики, которая является лишь графической составляющей документа.

Таким образом, учитывая уже проведенные исследования, а также собственные изыскания (анализ проекта реконструкции второго парка станции Санкт-Петербург–Сортировочный–Московский – приблизительно 1200 листов ПЭС формата А4), можно сделать следующие выводы:

1) перевод ТД в редактируемые электронные форматы даже для одного проекта занимает существенное время опытного специалиста;

2) эффективный перевод ТД в электронный вид в глобальном масштабе с использованием только средств проектирования крайне неэффективен;

3) доля ПЭС в общем объеме ТД является существенной и автоматизация ее перевода позволит повлиять на эффективность процесса перевода ТД в электронный вид;

4) автоматическое распознавание одной схемы ПЭС снижает время ее ручного рисования до суммы времени распознавания и времени постредактирования и, следовательно, зависит и от скорости процесса автоматического распознавания, и от качества результатов его работы;

5) возможность параллельного или фонового распознавания, в том числе на удаленных серверах или в нерабочее время сотрудника, дает возможность свести время перевода ПЭС к времени постредактирования и составления распознанных документов в соответствующие проекты.

Когда возникает потребность в использовании систем автоматизированного проектирования (САПР), требуется составлять имеющиеся схемы с нуля, что является весьма трудозатратным процессом. Задачу автоматизированного переноса ПЭС из сканированного формата в один из форматов САПР предлагается назвать *распознаванием ПЭС*.

Подходы к распознаванию ПЭС

Распознавание ПЭС – процесс переноса графического отображения ПЭС в набор элементов с атрибутивной информацией и связей между ними, результат которого – представление ПЭС в редактируемом электронном формате. С точки зрения решения задачи распознавания, ПЭС – это графическое изображение, служащее для отображения электрической цепи с помощью условных графических и буквенно-цифровых обозначений.

Можно выделить следующие подходы и методы, применение которых необходимо рассмотреть для решения задачи распознавания:

1) организация перебора вида объекта под различными углами, масштабами, смещениями и т. д. Для символов текста необходимо перебирать шрифт и свойства шрифта [5];

2) поиск контура объекта и исследование его свойства (связность, наличие углов, петли и т. п.) [6];

3) внедрение искусственных нейронных сетей [7], что требует большого количества примеров задачи распознавания (с подготовленными ответами) и использование структуры нейронной сети, учитывающей специфику данной задачи.

С точки зрения теории распознавания простой двухполюсник, если он имеет свое уникальное изображение, можно выделить в отдельный класс многими методами, как математически точными, так и вероятностными. Однако, чтобы отнести его к классу двухполюсников, в который также входит и другой элемент, к примеру, на рис. 1, необходимо провести дополнительный анализ, основанный не только на графическом представлении объекта, но и на выделении общих свойств элементов. Печатные символы, в отличие от элементов ПЭС, нет необходимости разделять на отдельные классы по принципу связи с другими символами, а рукописные символы текста при распознавании условно можно считать двухполюсниками, т. е. соединенными с соседними символами не более чем двумя связями.



Рис. 1. Пример элемента-двухполюсника

Важность разделения по принципу количества полюсов (в дальнейшем точек соединения) становится очевидной при рассмотрении соединений распознаваемых объектов. На рис. 2 приведены текстовые выражения, состоящие из нескольких символов-букв.

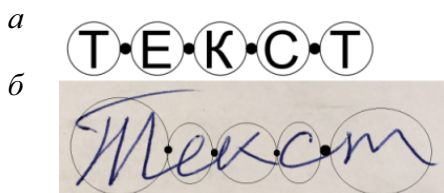


Рис. 2. Структура текстового выражения (а) на основании изображения (б)

Каждый символ-буква находится внутри окружности, которая связана с другими окружностями черными точками. Сложно представить ситуацию, когда какой-либо символ выражения связан более чем с двумя символами выражения (рис. 3), однако такое возможно, но при решении задач распознавания текста обычно является частным случаем нестандартного составления выражений.

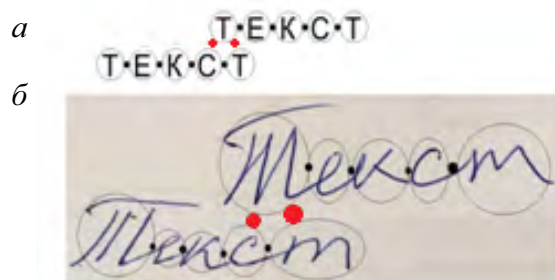


Рис. 3. Возможная ошибочная структура связи (а) текстовых выражений изображения (б)

Фрагмент ПЭС на рис. 4, на котором присутствуют элементы с разным количеством точек соединения, дает возможность увидеть на сколько важно правильно выделить полюса элементов при распознавании. На рис. 4 элементы ПЭС нарисованы тонкими линиями. Структура фрагмента такова, что в отличие от текстовых выражений нельзя последовательно связать каждый следующий элемент с одним предыдущим, а последовательность связей не существенна, так как неважно, какой элемент идет первый в цепочке, а какой последний. Это делает затруднительным семантический анализ распознаваемой структуры. Данное отличие элементов ПЭС от символов текста не позволяет использовать методы распознавания текста напрямую для фрагментов ПЭС.

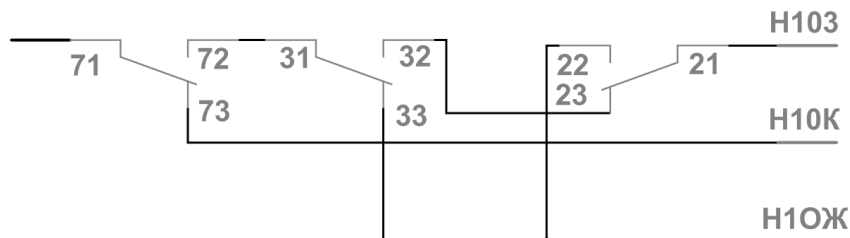


Рис. 4. Фрагмент ПЭС

Уточним понятие распознавания ПЭС следующим образом: **распознавание ПЭС** – определение типовых элементов со свободными связями по заданному изображению, их связей и атрибутивной информации.

Математические принципы распознавания ПЭС

С точки зрения теории распознавания образов графический объект, которым является изображение ПЭС, можно считать функцией $f(x, y)$ на плоскости, где функция $f(x, y)$ выражает в каждой точке изображения его определенную характеристику. Если переводить изображения ПЭС в монохромный

вид, то такой характеристикой может выступать яркость точки изображения в количественном соотношении, а если рассматривать частный случай – бинарное изображение, то функция $f(x, y)$ может быть равна 1 или 0 в каждой определенной точке изображения. В этом описании изображение ПЭС идентично изображению текста. Однако существенными являются содержимое ПЭС и, как было показано выше, его отличие от блоков текста. Структурные связи внутри ПЭС и влияние расположения элементов ПЭС на расположение прочей информации, такой как атрибуты элементов ПЭС, сводят ПЭС к сложно структурированной графической структуре.

После выделения отдельного элемента ПЭС, безусловно, его функция $f(x, y)$ может быть использована для анализа принадлежности данного элемента к одному из классов любым из известных для распознавания образов методом, к примеру с помощью сравнения функции $f(x, y)$ с заранее заданными функциями, исследованием свойств контура элемента или с применением искусственных нейронных сетей.

Построение графа скелета изображения и поиск информативных характеристик используются многими методами теории распознавания (см., например, алгоритм в [8]) и подходят для распознавания отдельных элементов ПЭС. Однако подобные методы имеют несколько существенных недостатков:

- необходимость реализации дополнительных методов выделения элементов ПЭС и большая зависимость от специфики таких методов;
- неустойчивость к наложению текста и сильное усложнение анализа в случаях появления лишних узлов графа;
- сложные для оператора анализ неудачных случаев распознавания и расширение системы распознавания.

Оппозиционными для точных алгебраических методов выступают методы вероятностные. К ним относятся методы, в которых применяются модели, основанные на нейронных сетях. Распознать целиком такую сложную структуру как чертеж с помощью нейронной сети почти невозможно, но отдельные элементы могут быть успешно распознаны.

Проблема выделения отдельных элементов ПЭС с учетом сложной структуры связей между ними и наличия текстовой информации, а также возможных шумов делает процесс обучения нейронной сети крайне затруднительным. К тому же от нейронной сети требуется точно выделять дополнительный класс нераспознанной графики, чтобы правильно структурировать поступающую информацию. В случае распознавания таблиц или текста вычленение отдельных ячеек или символов является более простым и достаточно изученным процессом, чтобы можно было опираться на него для дальнейшего применения нейронной сети, потому данные методы больше подходят для этих видов ТД.

Попытки создания универсальной системы распознавания логических диаграмм, к которым можно отнести принципиальные схемы, ведутся с пер-

вых дней создания систем распознавания графики [9]. В основном такие системы решают задачу векторизации, давая в результате аппроксимацию растрового изображения векторным аналогом. Например, в [10] предлагается система чтения логических диаграмм, которая анализирует характеристики замкнутых областей (петля) изображения символа для его идентификации. В одной фигуре содержатся несколько типичных символов, по которым решается соответствие данной фигуре. Шаблоны подготавливаются для всех примитивных петель и используются при многоуровневом поиске по дереву эвристик. В данном случае появляются определенные сложности в анализе и создании базы шаблонов, так как оператору распознавания необходимо собственноручно выделять важные характеристики каждого элемента ПЭС и учитывать возможные коллизии, особенно для случаев наложений текста, закрашенных областей или разных толщин линий, а также малого отличия начертаний похожих элементов, к примеру, как на рис. 5. Также возникают сложности с начертаниями элементов, не содержащих петель.

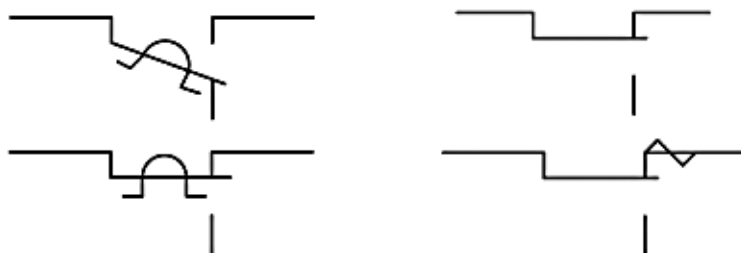


Рис. 5. Схожие элементы ПЭС

Заключение

Исходя из сказанного, можно сделать вывод об актуальности задачи распознавания ПЭС для хозяйства ЖАТ, а также о применимости современных подходов к решению такой задачи. С точки зрения авторов, требуется совместить существующие методы и разработать новые для успешного решения данной проблемы. На практике хорошо показал себя метод, описанный в [11], в котором процесс выделения структуры схемы производится на основании совокупности векторизованного представления ПЭС и анализа отдельных областей изображения.

Библиографический список

1. Инструкция по ведению технической документации железнодорожной автоматики и телемеханики. – Утв. Распоряжением ОАО «РЖД» № 2080р от 18.08.2015 г.

2. ЦШ/1. Инструкция по содержанию технической документации на устройства проводной связи, радиосвязи и пассажирской автоматики от 1989 г. – М. : Транспорт, 1989. – 18 с.
3. Погребняк А. Б. Методы и технологии построения специализированного информационного обеспечения систем железнодорожной автоматики / А. Б. Погребняк. – СПб. : ПГУПС, 2003. – 215 с.
4. Тележенко Т. А. Методы и алгоритмы сокращения ошибок проектов железнодорожной автоматики и телемеханики / Т. А. Тележенко. – СПб. : ПГУПС, 2009. – 118 с.
5. Muda N. Optical character recognition by using template matching (alphabet) / N. Muda, N. Kamariah, N. Ismail, S. Azami, A. Bakar, J. Mohamad, Z. Fakulti // Intern. Journal of Computer Science Engineering and Information Technology Research (IJCSEITR). – 2013. – Vol. 3, issue 4. – P. 227–232.
6. Lee S. Recognizing hand-written electrical circuit symbols with attributed graph matching / S. Lee, H. S. Barid, H. Bunke, K. Yamamoto // Structured Document Analysis. – Berlin : Springer-Verlag, 1992. – P. 340–358.
7. Ripley B. D. Pattern Recognition and Neural Networks / B. D. Ripley. – Cambridge : Cambridge University Press, 1996. – 416 p.
8. Maner A. An expert system for general symbol recognition / A. Maner, R. K. Ward // Pattern Recognition Journal. – 1999. – Vol. 33. – P. 1976–1988.
9. Cheng T. A symbol recognition system / T. Cheng, J. Khan, H. Liu, D. Yun // Second Intern. conference on Document Analysis and Recognition. IEEE Comput. Soc. Press ICDAR'93. – 1993. – P. 918–921.
10. Okazaki A. An automatic circuit diagram reader with loop-structure-based symbol recognition / A. Okazaki, T. Kondo, K. Mori, S. Tsunekawa, E. Kawamoto // IEEE Transactions on PAMI. – 1988. – P. 331–341.
11. Василенко М. Н. Метод выделения структуры принципиальной электрической схемы железнодорожной автоматики и телемеханики при распознавании печатной документации / М. Н. Василенко, Р. А. Ковалев // Автоматика на транспорте – 2017. – Т. 3, № 1. – С. 88–97.

References

1. *Instruktsiya po vedeniyu tekhnicheskoy dokumentatsii zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemachenics* [Instruction on maintenance of technical documentation of railroad automation and telemechanics]. Po rasporyazheniyu OAO “RZhD” [Under authority of OAO “Russian Railways”] no. 2080p dated 18.08.2015. (In Russian)
2. *TsSh/1. Instruktsiya po sodержaniyu tekhnicheskoy dokumentatsii na ustroistva provodnoy svyazy, radio svyazy i passazhirskoy avtomatiki, 1989* [TsSh/1. Instruction on maintenance of technical documentation on devices of wire communication radio communication and passenger automation, 1989]. Moscow, Transport Publ., 1999, 18 p. (In Russian)
3. Pogrebnyak A. B. *Metody i tekhnologii postroyeniya spetsializirovannogo informatsionnogo obespecheniya system zheleznodorozhnoy avtomatiki* [Methods and technologies of special-purpose data support design for the systems of railroad automation]. Saint Petersburg, PGUPS Publ., 2003, 215 p. (In Russian)

4. Telezhenko T.A. *Metody i algoritmy sokrashcheniya oshibok proektov zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Methods and algorithms of design faults reduction of railroad automation and telemechanics]. Saint Petersburg, PGUPS Publ., 2009, 118 p. (In Russian)
5. Muda N., Kamariah N., Ismail N., Azami S., Bakar A. & Mohamad J. Optical character recognition by using template matching (alphabet). *Intern. Journal of Computer Science Engineering and Information Technology Research (ITCSEITR)*, 2013, vol. 3, issue 4, pp. 227–232.
6. Lee S., Barid H. S., Bunke H. & Yamamoto K. Recognizing hand-written electrical circuit symbols with attributed graph matching. *Structured Document Analysis*. Berlin, Springer-Verlag Publ., 1992, pp. 340–358.
7. Ripley B.D. *Pattern recognition and neural Networks*. Cambridge, Cambridge University Press, 1996, 416 p.
8. Maher A. & Ward R. K. An expert system for general symbol recognition. *Pattern Recognition Journal*, 1999, vol. 33, pp. 1976–1988.
9. Cheng T., Khan J., Liu H. & Yun D. A symbol recognition system. *Proceedings of the Second International Conference on Document Analysis and Recognition*. IEEE Comput. Soc. Press ICDAR'93, 1993, pp. 918–921.
10. Okazaki A., Kondo T., Mori K., Tsunekawa S. & Kawamoto E. An automatic circuit diagram reader with loop-structure-based synibol recognition. *IEEE Transactions on PAMI*, 1988, pp. 331 –341.
11. Vasilenko M.N. & Kovalev R.A. Metod vydeleniya struktury printsipialnoy elektricheskoy skhemy zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniky pry raspoznavanii pechatnoy dokumentatsii [The method for differentiating the structure of electric schematic diagram of railroad automation and telemechanics in the process of paper documentation recognition]. *Avtomatika na transporte* [Transport automation], 2017, vol. 3, no. 1, pp. 88–97. (In Russian)

БУЛАВСКИЙ Петр Евгеньевич – д-р техн. наук, доцент, pbulavsky@gmail.com; МАНАКОВ Александр Демьянович – д-р техн. наук, профессор, manakoff_2@mail.ru; *КОВАЛЕВ Роман Александрович– аспирант, romanlisper@gmail.com; ВАСИЛЕНКО Петр Алексеевич – студент, vasilenko.p.al@gmail.com (Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I).