

УДК 004.021+625.25

Д. Х. Баратов, д-р техн. наук

*Кафедра «Автоматика, телемеханика и телекоммуникационные технологии на железнодорожном транспорте»,
Ташкентский институт инженеров железнодорожного транспорта, Ташкент*

СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ С УЧЕТОМ ЕГО ВНУТРЕННИХ СОСТОЯНИЙ

В статье исследованы особенности электронного документооборота технической документации железнодорожной автоматики и телемеханики. Рассмотрены задачи синтеза математических моделей электронного документооборота технической документации железнодорожной автоматики и телемеханики. С этой целью изучены реальные процессы создания, проверки и использования технической документации на примере процесса учета и контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, что позволило выявить структурную схему формализованной модели технической документации. Построена модель электронного документооборота технической документации, созданная с применением математического аппарата конечных автоматов. Разработана структурная схема автоматной модели технической документации. Предлагаемая схема формализованной модели технической документации состоит из матриц внешних микроопераций, внутренних микроопераций, создания кода для следующих микрокомпонентов. Количество внутренних состояний микропрограммного автомата полностью определяется количеством элементов логических схем алгоритмов. Размер матриц зависит от количества операторов и условий в логических схемах алгоритмов. Упрощение схемы микропрограммного автомата достигается за счет одновременного выполнения внешних и внутренних микроопераций. Количество микрокоманд определяется числом групп одновременно выполняемых микроопераций. Сформированы микрокоманды по логическим схемам алгоритмов технической документации. Применение предложенной методики построения модели технической документации позволяет разработать достоверное прикладное программное обеспечение для решения задач оперативного документооборота железнодорожной автоматики и телемеханики.

Электронный документооборот технической документации, формальное представление технической документации, логические схемы алгоритмов, структурная схема автоматной модели технической документации, микрокоманды

DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-3-332-355

Введение

Традиционный способ автоматизации электронного документооборота технической документации (ЭДТД) заключается в том, что разработка программного

обеспечения постепенно вынужденно переходит в фоновый режим, поскольку даже незначительные изменения в схеме транспорта и технологического процесса означают необходимость перепрограммирования приложения и большего расхода времени и денег. В результате не хватает времени на обновление обращений исходя из меняющихся условий и требований железнодорожного транспорта [1–3]. Активно развивающиеся системы, связанные с автоматизацией предприятий, в силу высокой трудоемкости требуют обученного персонала. А количество квалифицированных специалистов в области автоматизации растет недостаточно быстро [4]. Задача состоит в том, чтобы создать простой в использовании, надежный инструмент автоматизации, с помощью которого можно не только описывать бизнес-процесс, но и выполнять. Это важно, поскольку чисто описательный инструмент интересен лишь с точки зрения анализа технологических процессов и может использоваться только как часть технического задания при реализации конкретной модели рабочего процесса [5, 6]. Моделирование ЭДТД представлено в работах российских [7–12] и зарубежных авторов [13–18].

На основе разработанных [19–21] логических схем алгоритмов (ЛСА) процесса учета и контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (УКЖАТ) в статье представлена структурная схема автоматной модели технической документации (ТД), сформированы микрокоманды по логическим схемам алгоритмов ТД, рассмотрены задачи упрощения структуры автомата процесса УКЖАТ.

Цель работы – описание и определение автоматной модели документооборота. В качестве объекта моделирования рассматривается электронный документооборот технической документации. Для реализации модели будет использован апробированный аппарат теории автоматов, который адаптирован к современным технологиям программирования. Задача создания и внедрения ЭДТД весьма актуальна. Предприятия и организации железной дороги затрачивают значительные финансовые и временные ресурсы на решение этой задачи.

1. Синтез модели электронного документооборота технической документации на основе абстрактного конечного автомата

Наиболее эффективное решение задач автоматизации процесса УКЖАТ может быть достигнуто путем формализации и применения математических методов оптимизации координации взаимодействия.

Известны методы выявления алгоритмов функционирования сложных систем: метод упрощения работ [22]; составление структурных информационно-временных схем [23], блок-схем и органограмм [24]. Сущность их заключается в пооперационной записи и анализе исследуемого процесса. Общими недостатками с точки зрения исследования УКЖАТ можно считать ограниченное множество условных обозначений операций, сложность, а для ряда методов

[25] и невозможность отображения параллельности процессов УКЖАТ, трудоемкость заполнения бланков обследования.

Существуют языки непосредственного описания дискретных процессов, к которым относятся сети Петри [26], логические схемы алгоритмов (ЛСА) [27], логические схемы требований [28], параллельные логические схемы алгоритмов (ПЛСА) [29].

Устройство железнодорожной автоматики и телемеханики с учетом параллельности процессов может рассматриваться как стационарная динамическая система с дискретным временем. Согласно [24], такая система представляет собой автомат. Значит, для моделирования работы процесса УКЖАТ целесообразно использовать методы теории автоматов.

Автоматный подход [19] заключается в том, чтобы отобразить процесс как систему взаимной автоматизации (один автомат помещается в одно или несколько состояний другого) с возможностью вызова (один автомат вызывается определенным событием из выходного состояния, образованного во время прохождения другого автомата) посредством обмена сообщениями (один автомат принимает сообщение от другого) и по состояниям (один проверяет состояние другого). Внутренняя организация процесса может быть описана последовательностью событий [20]. Количество автоматов, установленных во внутренних состояниях, не ограничено глубиной позиционирования. Это представление позволяет более компактно описывать жизненный цикл программы, модуля и в нашем случае ТД или процесс УКЖАТ. В свою очередь, компактная презентация улучшает внешний вид.

В качестве объекта исследования выбран ЭДТД. Введенная в [20, 21] формулировка используется в качестве основы для автоматной модели.

Формально процесс электронного документооборота технической документации представлен в виде трех ограниченных множеств и взаимосвязей элементов этого множества [6]. Математическое представление процесса приведено в следующем виде:

$$D_T = \{U, P, F\},$$

где D_T – формальное представление ЭДТД; U – множество участников; P – множество процессов; F – состояние технической документации с диапазоном фактических значений.

Установлено ограниченное множество реальных участников рабочего процесса, P в пересмотренной системе рабочего процесса определяется как ограниченное множество процессов, выполняемых участниками. F – ограниченные состояния, которые могут быть приняты ТД после выполнения процедур от P участниками указанного множества U .

Применив теорию автоматов [31–33], определим автомат, который реализует модель ЭДТД.

S (множество состояний) – это множество всех состояний, которые могут быть приняты документом в рамках имитируемого рабочего процесса. Если использовать формулированную запись из [6], это определение будет выглядеть следующим образом: $\{S\} \equiv \{F\}$.

Начальные состояния относятся к множеству состояний в целом, s_0 является исходным множеством состояний S . Поэтому в рамках предлагаемой модели $\{S\} \equiv \{F\}$ можно считать s_0 подмножеством $\{F\}$.

Определим взаимосвязь множества процессов P из определений ЭДТД и множества функций переходных F_p . При построении автоматной модели используются соответствующие элементы множества P : $\{F_p\} \equiv \{P\}$ для определения множества F .

В описанной модели устанавливается идентификация между алфавитом автомата ЭДТД и множеством участников: $\{A\} \equiv \{U\}$.

После синтеза модели $\{U, P, F\}$ получаем автоматную модель ЭДТД:

$$M = (A, S, Z, s_0, F_p, E), \quad (1)$$

где A – входной алфавит; S – внутренний алфавит; Z – выходной алфавит; s_0 – исходный статус; H – функция перехода, определяемая таблицей перехода и обозначающая два множества $A \times S \rightarrow S$; E – функция выхода, определяемая таблицей выходов и обозначающая два множества: $A \times S \rightarrow Z$.

Для данного примера: $A = \{a, b\}$; $S = \{1, 2, 3\}$; $Z = \{0, 1\}$; $s_0 = 1$; $F_p = \{1, 1, 1\}$; $E = \{2, 2, 2\}$.

Применение представленной модели позволяет объединить подходы при разработке и использовании систем электронного документооборота. Внедрение системы ЭДТД позволит сделать процесс хранения техдокументации более предсказуемым, а также снизить влияние исполнительного персонала на конечный результат.

2. Разработка структурной схемы автоматной модели технической документации

На основе микропрограммного автомата (МА) разработана структурная схема формализованной модели ТД.

Схема Wilks-Stinger используется, когда нет строгих требований к скорости управления автоматом при синтезе микропрограмм с наименьшим управлением [34].

Предлагаемая структурная схема формализованной модели ТД состоит из матриц внешних микроопераций М1, внутренних микроопераций М2, создания кода для следующих микрокомпонентов М3. Представленная модель стала новой системной парадигмой представления ТД [35, 36].

Каждая внешняя микрооперация $Z_{V_{gg}}$ является управляющим оператором, а внутренняя $Z_{\alpha_{gg}}$ – управляющим логическим условием, проверяющим усло-

вие α_{qg} , значениями которого будут выполнение ($\alpha_{qg} = 1$, отмечено знаком +) или невыполнение условия ($\alpha_{qg} = 0$, отмечено знаком -). Кругом обозначена схема, которая служит для запроса от $Z_{\alpha_{qg}}$ значения проверяемого им условия (рис. 1).

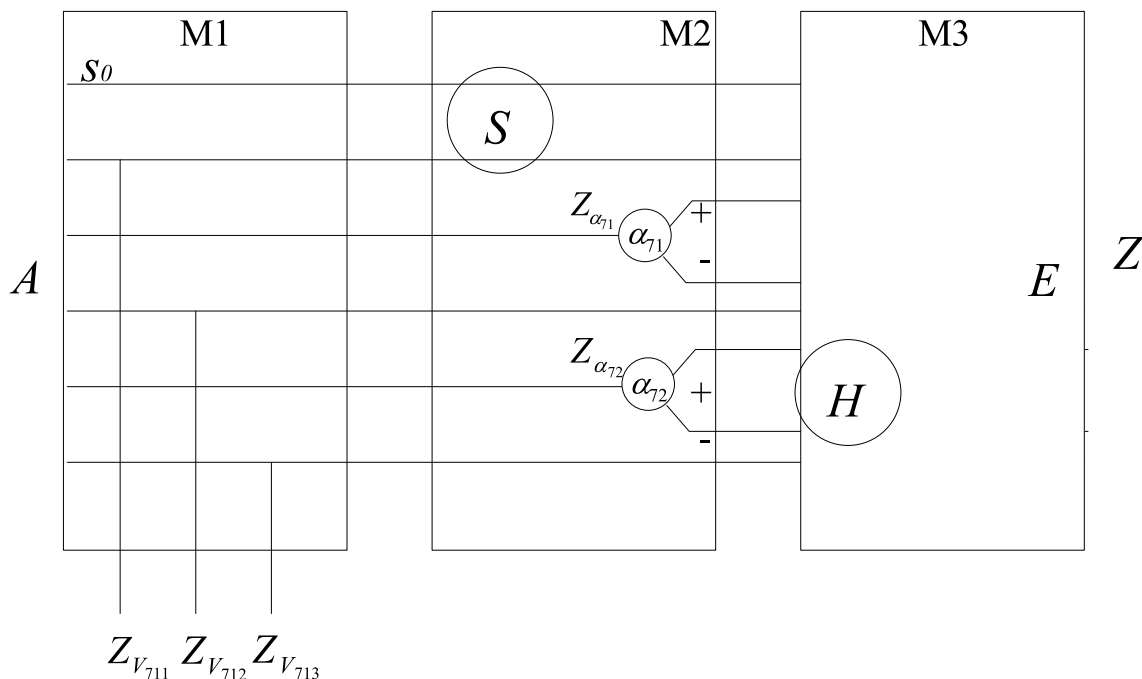


Рис. 1. Структурная схема формализованной модели ТД

Микропрограмму, т. е. последовательность выполнения микроопераций, удобно описать на языке ЛСА, причем с оператором V сопоставляется внешняя микрооперация $Z_{V_{qg}}$, а с логическим условием α_{qg} — внутренняя микрооперация $Z_{\alpha_{qg}}$.

При выполнении этой операции каждая микрокоманда включает только одну микрооперацию (внешнюю или внутреннюю) и только одного оператора или логическое условие во время каждого микротакта. Количество внутренних состояний МА полностью определяется количеством элементов ЛСА. Размер матриц $M1$ и $M2$ зависит от количества операторов и логических условий в ЛСА. В конкретном случае, когда только операторы входят в ЛСА, матрица $M2$ отсутствует. В этом случае в матрице $M3$ каждый раз генерируются последовательные микрокоманды.

При наличии в ЛСА логических условий необходима матрица $M2$, в которой формируются $Z_{\alpha_{qg}}$. При ложном значении проверяемого в $Z_{\alpha_{qg}}$ логического условия (если оно входит в ЛСА без инверсии) порядок выполнения элементов ЛСА нарушается. Затем в $M3$ должно быть сформировано необходимое количество микрокоманд, чтобы правильно выполнить ЛСА.

Если сопоставлять отдельную микрокоманду с каждым элементом ЛСА, для реализации даже очень простого алгоритма потребуется большое число внутренних состояний МА. В то же время нет необходимости выделять внутреннее положение для каждого элемента ЛСА. Некоторые внешние микрооперации могут выполняться не последовательно, а одновременно в одном микротакте. Это происходит, когда операторы, соответствующие этим микрооперациям, работают параллельно. С каждым внутренним состоянием МА сопоставляется группа одновременно выполняемых операторов ЛСА. Это позволяет минимизировать число внутренних состояний МА. Сочетание отдельных микроопераций с течением времени приводит к увеличению скорости, поскольку количество микротактов, необходимых для выполнения алгоритма, уменьшается.

Упрощение схемы МА может быть получено одновременным выполнением внешних и внутренних микроопераций. Тогда число микрокоманд МА будет определяться количеством не элементов ЛСА, а групп одновременно выполняемых микроопераций. Рассмотрим ЛСА технологического процесса учета и контроля устройств железнодорожной автоматики и телемеханики A_T , куда входят планирование и ремонт оборудования, контроль приема и хранения, а также передвижение приборов в ремонтно-эксплуатационном отделе:

$$\begin{aligned}
 A_T = & V_0 V_{711} V_{712} V_{713} V_{714} \downarrow^{717} V_{715} V_{716} V_{717} \downarrow^{715} \\
 & V_{718} \alpha_{711} \uparrow^{711} V_{7110} V_{7111} \overline{\alpha_{712}} \uparrow^{712} \downarrow^{711} V_{719} \omega \uparrow^{715} \\
 & \times \downarrow^{712} \downarrow^{714} V_{7115} \alpha_{713} \uparrow^{713} V_{7116} \alpha_{714} \uparrow^{714} V_{7117} \omega \uparrow^{716} \\
 & \downarrow^{713} V_{7118} \omega \uparrow^{717} \downarrow^{712} V_{7112} V_{7113} V_{7114} V_k
 \end{aligned}$$

Процесс УКЖАТ представляется на языке ЛСА [37]. Основными элементами считаются операторы $V_{qg}, q = \overline{1, Q}, g = \overline{1, G}$, соответствующие элементарным действиям процесса; логические условия $\alpha_k, k = \overline{1, K}$ – вероятность их выполнения зависит от текущего состояния процесса УКЖАТ; представленные стрелками $\alpha_k \uparrow^p, p = \overline{1, P}$, где p – индекс стрелки.

Здесь можно выделить шесть групп одновременно выполняемых микроопераций:

- 1) $A_T = V_0 V_{711} V_{712} V_{713} V_{714} \downarrow^{717} V_{715} V_{716} V_{717} \downarrow^{715} V_{718} \alpha_{711} \uparrow^{711}$
 - 2) $V_{7110} V_{7111} \overline{\alpha_{712}} \uparrow^{712} \downarrow^{711} V_{719} \omega \uparrow^{715}$
 - 3) $\times \downarrow^{712} \downarrow^{714} V_{7115} \alpha_{713} \uparrow^{713} V_{7116} \alpha_{714} \uparrow^{714}$
 - 4) $V_{7117} \omega \uparrow^{716}$
 - 5) $\downarrow^{713} V_{7118} \omega \uparrow^{717}$
 - 6) $\downarrow^{712} V_{7112} V_{7113} V_{7114} V_k$
- (1)

Из (1) следует, что МА будет иметь шесть внутренних состояний. Матрица МЗ (рис. 2) построена при сопоставлении с микрокомандами 1, 2, 3, 4, 5, 6 кодовых комбинаций 001, 010, 011, 100, 101, 110 соответственно.

Мы рассмотрели способ поэтапного масштабирования микрокоманд, и в результате перешли от микрокоманды, которая включает в себя только одну внешнюю или внутреннюю микрооперацию, к микрокоманде, которая включает в себя всю группу внешних и внутренних микроопераций. Чтобы сформировать такие микрокоманды, должен быть реализован микропрограммный автомат в дополнение к ЛСА, предоставляющий информацию о возможности одновременной работы различных операторов и распределении смещений для каждого оператора. Очевидно, что в одну микрокоманду не могут входить оператор V_{qs} и логическое условие α_{qs} , если значение может быть изменено оператором V_{qs} . Задача формирования наименьшего возможного числа микрокоманд ЛСА является сложной.

Считается, что при рассмотрении различных возможных способов построения схемы МА реализуется только один алгоритм. Однако программный способ управления используют именно тогда, когда в автомате необходимо реализовать несколько различных алгоритмов.

Структура графа перехода МА будет во многом зависеть от выбора микрокоманд при сравнении внутренних состояний с микрокомандами.

Особого внимания заслуживают методы кодирования и минимизации числа состояний автомата.

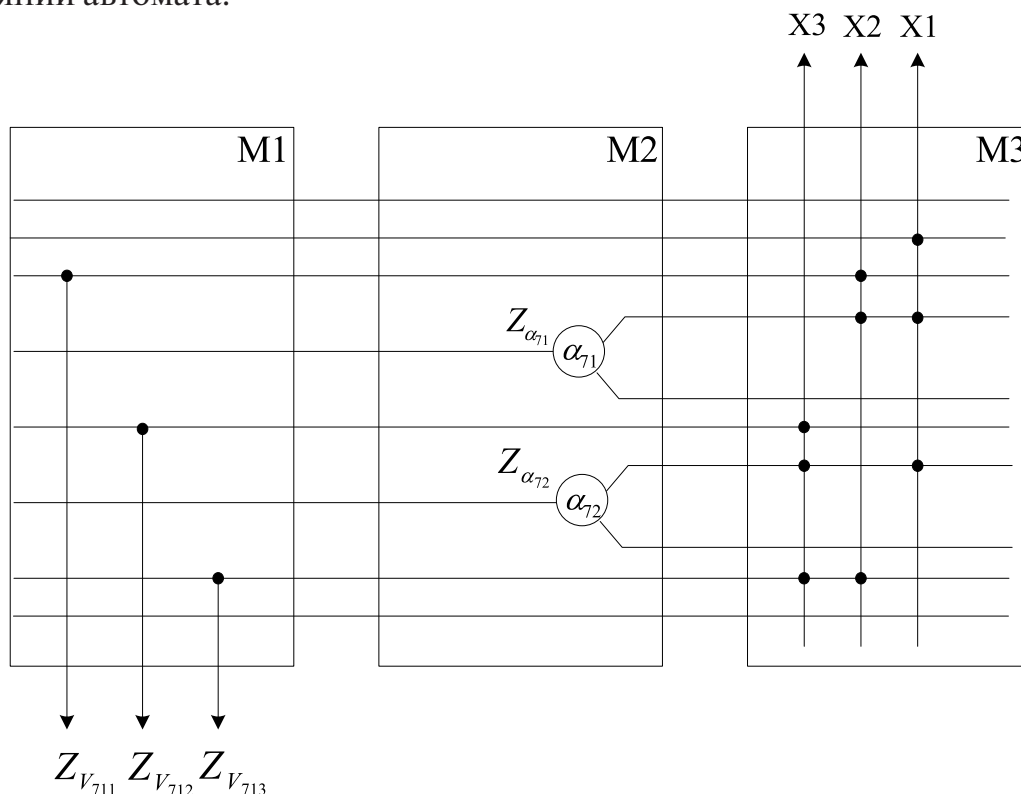


Рис. 2. Структура матрицы МЗ

3. Формирование микрокоманд по логическим схемам алгоритмов технической документации

При использовании схемы алгоритмов для построения МА каждая микрокоманда сопоставляется с внутренним состоянием автомата. В этом контексте задача выбора количества микрокоманд имеет решающее значение, поскольку сложность МА зависит от его решения. Предположим, что производительность МА будет определяться одним ЛСА, при этом значения всех его логических условий (ЛУ) будут изменены только этими операторами ЛСА или останутся неизменными, пока ЛСА не закончится.

Прежде чем объяснять способ образования микрокоманд, необходимо ввести несколько понятий.

Определение 1. Два элемента ЛСА Y_i и Y_j будут противоречивыми, если:

- 1) их нельзя выполнить одновременно;
- 2) Y_i является логическим условием, а Y_j – оператором, причем логическое условие входит в распределение сдвигов оператора Y_j .

Определение 2. Элемент ЛСА МА Y_j , который может быть выполнен непосредственно перед элементом Y_i , назовем предшественником Y_j . Тогда Y_j – последователь Y_i .

Очевидно, у любого элемента ЛСА может быть несколько предшественников. У оператора всегда только один последователь, а у логического условия (двузначного) – два, за счет чего при выполнении ЛСА образуются разветвления.

Элемент ЛСА, который является оператором, всегда имеет только одного последователя, а при логическом условии «двузначное» имеет двух последователей, в результате чего приводит к ветвлению.

Определение 3. Группа элементов ЛСА образует ветвь, если каждый $(i+1)$ элемент этой ветви является последователем i -го элемента (рис. 3).

Один и тот же элемент ЛСА может входить в несколько различных ветвей. Группу элементов ЛСА называют совместимой, если в каждой ветви, образуемой элементами этой группы, не содержатся противоречивые элементы.

Если какой-либо другой элемент ЛСА не соответствует группе, то группа элементов ЛСА, которая соответствует ему, называется максимальной.

Из приведенных выше определений следует, что каждая максимально соответствующая группа элементов ЛСА может интерпретироваться как отдельная микрокоманда. Такая микрокоманда состоит из множества внутренних и внешних микроопераций, но одновременно с определенным множеством значений логических условий выполняются микрооперации, включенные только в одну ветвь микрокоманды.

С каждым внутренним состоянием программного обеспечения связана одна совместимая группа элементов ЛСА. Если первым элементом группы M_j является последователь одного из элементов группы M_i , то МА переходит из одного внутреннего состояния в другое. В этом случае МА выполняет заданный ЛСА.

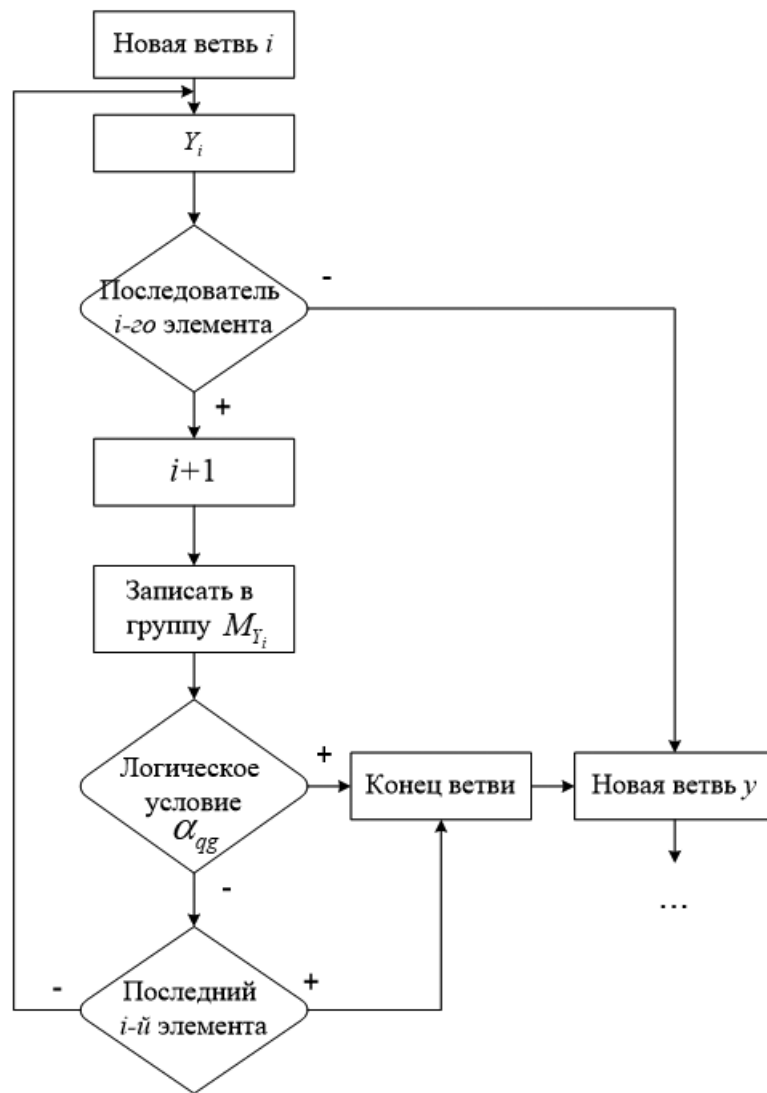


Рис. 3. Последовательность формирования группы M_{Y_i}

Чтобы получить соответствующую группу M_{Y_i} (т. е. ту, что является первым элементом), записывается элемент Y_i ЛСА. Если у Y_i есть один последователь (т. е. Y_i – оператор), он переносится вправо. При наличии двух последователей образуется разветвление и каждый из них выписывается справа от Y_i на отдельной ветви. Этот процесс повторяется для вновь назначенных групповых элементов в каждой ветви.

Если группа M_{Y_i} включает в себя последний оператор ЛСА или требуется ввести элемент ЛСА, который не соответствует по крайней мере одному элементу этой ветви (либо если необходимо записать Y_j , вводя его в другую ветвь группы M_{Y_i}), то направление группы Y_i будет отключено. Во втором случае нужно поставить стрелку Y_j к Y_i . Формирование группы заканчивается после распада всех ее ветвей.

Если первая группа включает не все элементы ЛСА, то вторая будет сформирована начиная с наименьшего по порядку элемента ЛСА, не вошедшего в предыдущую группу. Процесс повторяется, пока каждый элемент ЛСА не будет включен, по крайней мере, в одну группу (рис. 3).

Описанные шаги формирования микрокоманд иллюстрируют предложенный подход, а сам метод универсален для использования в области электронного документооборота [38].

Рассмотрим способ формирования микрокоманд ЛСА A_T :

$$\begin{aligned}
 A_T = & V_0 V_{711} V_{712} V_{713} V_{714} \downarrow^{717} V_{715} V_{716} V_{717} \downarrow^{715} V_{718} \alpha_{711} \uparrow^{711} V_{7110} V_{7111} \downarrow^{716} \\
 & \overline{\alpha_{712}} \uparrow^{712} \downarrow^{711} V_{719} \omega \uparrow^{715} \times \downarrow^{714} V_{7115} \alpha_{713} \uparrow^{713} V_{7116} \alpha_{714} \uparrow^{714} V_{7117} \omega \uparrow^{716} \\
 & \downarrow^{713} V_{7118} \omega \uparrow^{717} \downarrow^{712} V_{7112} V_{7113} V_{7114} V_k.
 \end{aligned} \quad (2)$$

Информация о возможности одновременного выполнения операторов задана в таблице 1. В клетке таблицы на пересечении столбца V_p и строки V_q вставляется знак \vee , если операторы V_p и V_q могут выполняться одновременно в любом из возможных значений ЛСА. В противном случае ставится знак \times .

Зададим следующее распределение сдвигов:

$$V_0 - \{ \alpha_{711} \}.$$

Утверждение 1. В совместной группе ЛСА объединяются непосредственные последовательные элементы.

Образуем максимальные совместимые группы элементов ЛСА A_T . Берем оператор V_0 и приписываем справа его последователя:

$$V_0 \rightarrow [\alpha_{711}]. \quad (3)$$

Так как α_{711} входит в распределение сдвигов оператора V_0 , то ветвь обрывается на предыдущем элементе (т.е. V_0), а α_{711} указывается в квадратных скобках:

$$M_{V_0} = \{ V_0 \rightarrow [\alpha_{711}] \}. \quad (4)$$

Утверждение 2. Элементы, указанные в квадратных скобках в составе совместной группы, не входят в данную группу, а являются начальными элементами других групп.

Создаем наиболее подходящие группы. В этом случае после α_{qg} стрелка верхняя $\overrightarrow{\quad}$ будет означать, что $\alpha_{qg} = 1$, а $\overleftarrow{\quad}$ нижняя — $\alpha_{qg} = 0$.

Таблица 1. Одновременное выполнение операторов ЛСА A_T

V_1	X																		
V_2	X	X																	
V_3	X	X	X																
V_4	X	X	X	X															
V_5	X	X	X	X	X														
V_6	X	X	X	X	X	X													
V_7	X	X	X	X	X	X	X												
V_8	X	X	X	X	X	X	X	X											
V_9	X	V	V	V	V	V	V	V	V										
V_{10}	X	V	V	V	V	V	V	V	V	V									
V_{11}	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X								
V_{12}	X	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V							
V_{13}	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						
V_{14}	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
V_{15}	X	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V				
V_{16}	X	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V			
V_{17}	X	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V		
V_{18}	X	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
V_k	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	
	V_0	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8	V_9	V_{10}	V_{11}	V_{12}	V_{13}	V_{14}	V_{15}	V_{16}	V_{17}	V_{18}

$$M_{V_0} = \{ V_0 \rightarrow V_{711} \rightarrow V_{712} \rightarrow V_{713} \rightarrow V_{714} \rightarrow V_{715} \rightarrow V_{716} \rightarrow V_{717} \rightarrow V_{718} \rightarrow [\alpha_{711}] \}$$

$$M_{\alpha_{711}} = \left\{ \begin{array}{l} \alpha_{711} \\ \rightarrow [V_{719}] \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow V_{7110} \rightarrow V_{7111} \rightarrow \alpha_{712} - \\ \rightarrow [V_{719}] \\ \rightarrow V_{7112} \rightarrow V_{7113} \rightarrow V_{7114} \rightarrow V_k \end{array} \right\}$$

$$\begin{aligned}
 M_{V_{719}} &= \{V_{719} \rightarrow \omega^{715} \rightarrow V_{718} \rightarrow [\alpha_{711}]\} \\
 M_{\alpha_{713}} &= \left\{ \begin{array}{l} V_{7115} \rightarrow \alpha_{713} \\ \rightarrow V_{7116} \rightarrow [\alpha_{714}] \\ \rightarrow [V_{7118}] \end{array} \right\} \\
 M_{\alpha_{714}} &= \left\{ \begin{array}{l} \alpha_{714} \\ \rightarrow V_{7117} \rightarrow \omega^{716} \rightarrow \alpha_{712} \rightarrow [V_{719}] \\ \rightarrow V_{7112} \rightarrow V_{7113} \rightarrow V_{7114} \rightarrow V_k \\ \rightarrow V_{7115} \rightarrow [\alpha_{713}] \end{array} \right\} \\
 M_{V_{718}} &= \{V_{7118} \rightarrow \omega^{717} \rightarrow V_{715} \rightarrow V_{716} \rightarrow V_{717} \rightarrow V_{718} \rightarrow [\alpha_{711}]\} \quad (5)
 \end{aligned}$$

Получено шесть соответствующих групп элементов ЛСА. Сравним каждую из шести совместимых групп с максимальной микрокомандой, т. е. внутренним состоянием МА. В этом случае получаем структурную диаграмму МА, представленную на рисунке 4. Из структурной схемы МА видно, что имеются пересекающиеся микрокоманды, поскольку один и тот же элемент ЛСА находится в различных микрокомандах. Это связано с тем, что полученная система микрокоманд значительно превышает количество операторов и логических условий, которые происходят в исходных ЛСА. В то же время ясно, что микрокомандная система, вызывающая схему МА, может быть точно определена. Таким образом, количество данных элементов ЛСА не может служить признаком сложности схемы МА. Сложность определяется другой ЛСА, которая называется расширенной и обозначается как $U^{A_{qg}}$.

Утверждение 3. *Расширенная ЛСА составлена в соответствии с существующими микрокомандными системами, и количество элементов в точности равно числу операторов и логических условий микрокомандной системы.*

Если в исходной ЛСА A_{qg} нет повторяющихся элементов, то в расширенной ЛСА $U^{A_{qg}}$ одни и те же элементы могут неоднократно повторяться.

Для получения системы микрокоманд (5) расширенная ЛСА будет иметь вид:

$$\begin{aligned}
 U^{A_{qg}} &= V_0 V_{711} V_{712} V_{713} V_{714} V_{715} V_{716} V_{717} V_{718} \downarrow^{715} \\
 &\downarrow^{717} \alpha_{711} \uparrow^{711} V_{7110} V_{7111} \downarrow^{716} \overline{\alpha_{712}} \uparrow^{712} \downarrow^{711} V_{719} V_{718} \quad (6)
 \end{aligned}$$

$$\omega \uparrow^{715} V_{7115} \downarrow^{714} \alpha_{713} \uparrow^{713} V_{7116} \alpha_{714} \uparrow^{714}$$

$$V_{7117} \omega \uparrow^{716} \downarrow^{714} V_{7115} \omega \uparrow^{714} \downarrow^{713}$$

$$V_{7118} V_{715} V_{716} V_{717} V_{718} \omega \uparrow^{717} \downarrow^{712} V_{7112} V_{7113} V_{7114} V_k.$$

Указанная выше расширенная ЛСА содержит 24 элемента вместо 18 в исходной ЛСА (2).

Утверждение 4. В зависимости от заданных условий совместимости элементов ЛСА и выбранного способа формирования микрокоманд по одной и той же ЛСА могут быть получены различные системы микрокоманд и, следовательно, различные расширенные ЛСА.

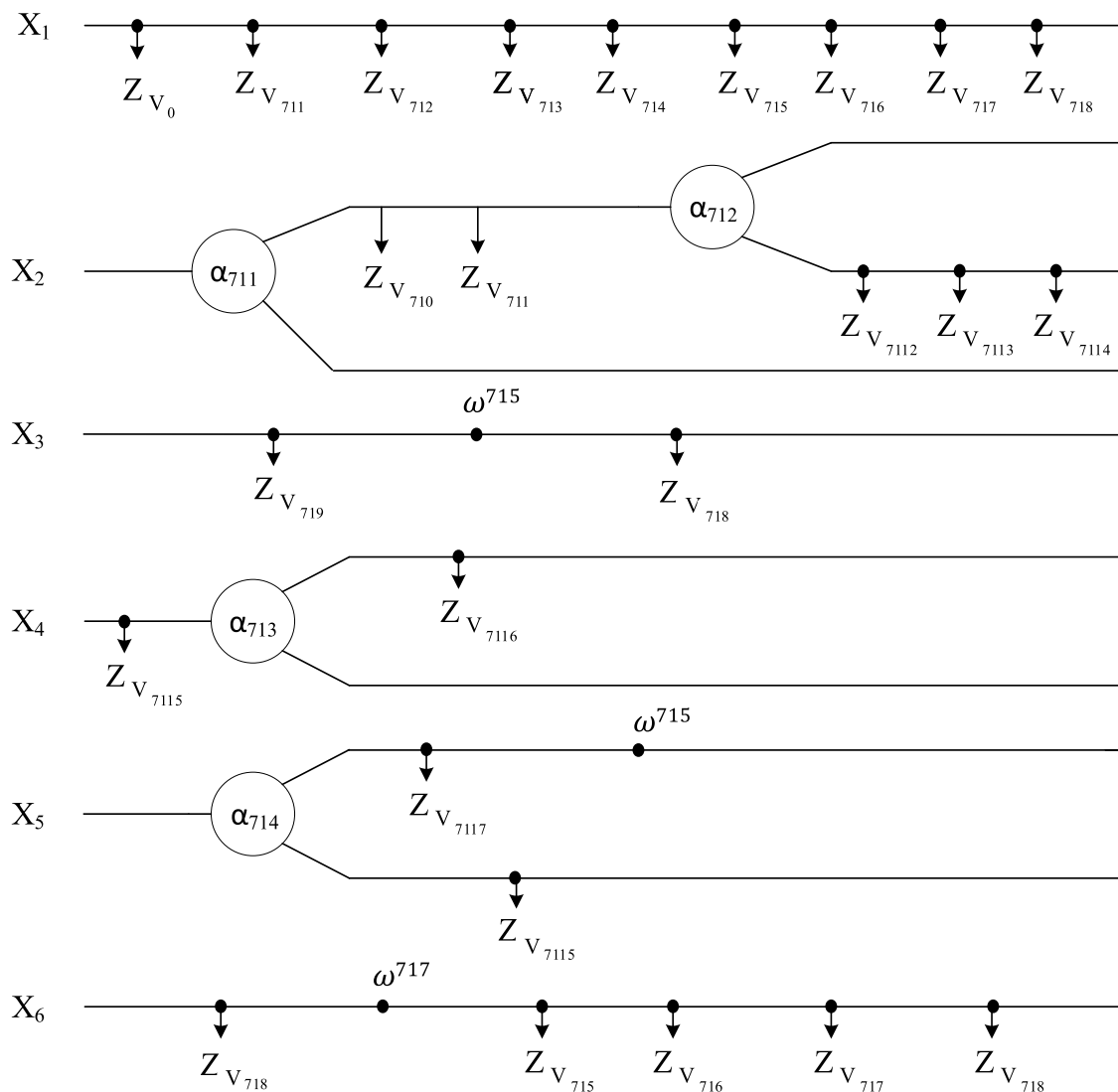


Рис. 4. Структурная схема МА ЛСА A_T

Утверждение 5. Схема МА строится по системе микрокоманд. Каждой схеме МА соответствует своя ЛСА $U^{A_{qs}}$, одна и та же ЛСА U будет соответствовать целому множеству схем МА.

Следовательно, для оценки сложности схемы МА целесообразно использовать расширенную ЛСА.

Обращаемся к системе микрокоманд, получаемой (6), и делаем некоторые изменения, определяя и повторяя общие части некоторых из них. В результате можем получить систему микрокоманд:

$$M_{V_0} = \{V_0 \rightarrow V_{711} \rightarrow V_{712} \rightarrow V_{713} \rightarrow V_{714} \rightarrow \downarrow^3 V_{715} \rightarrow V_{716} \rightarrow V_{717} \rightarrow \downarrow^1 V_{718} \rightarrow [\alpha_{711}]\}$$

$$M_{\alpha_{711}} = \left\{ \alpha_{711} \left| \begin{array}{l} \rightarrow V_{7110} \rightarrow V_{7111} \rightarrow [\alpha_{712}] \\ \rightarrow [V_{719}] \end{array} \right. \right\}$$

$$M_{\alpha_{712}} = \left\{ \alpha_{712} \left| \begin{array}{l} \rightarrow [V_{719}] \\ \rightarrow V_{7112} \rightarrow V_{7113} \rightarrow V_{7114} \rightarrow V_k \end{array} \right. \right\}$$

$$M_{V_{719}} = \{V_{719} \rightarrow 1\}$$

$$M_{\alpha_{713}} = \left\{ \downarrow^2 V_{7115} \rightarrow \alpha_{713} \left| \begin{array}{l} \rightarrow V_{7116} \rightarrow [\alpha_{714}] \\ \rightarrow [V_{7118}] \end{array} \right. \right\}$$

$$M_{\alpha_{714}} = \left\{ \alpha_{714} \left| \begin{array}{l} \rightarrow V_{7117} \rightarrow [\alpha_{712}] \\ \rightarrow 2 \end{array} \right. \right\}$$

$$M_{V_{7118}} = \{V_{7118} \rightarrow 3\}. \quad (7)$$

Для перехода к одинаковым частям микрокоманд применены пронумерованные стрелки, как в ЛСА. На рисунке 5 приведена схема МА, построенная по этой системе микрокоманд.

Рассмотрим преобразование микрокоманд в упрощенную схему МА. В отличие от схемы на рисунке 5, в схеме МА появились дополнительные элементы ИЛИ, соответствующие неоднократному обращению к одному и тому же элементу ЛСА. Кроме того, такая же микрооперация должна быть выполнена для различных внутренних состояний МА, которые могут вызвать определенные трудности при кодировании внутреннего состояния автомата.

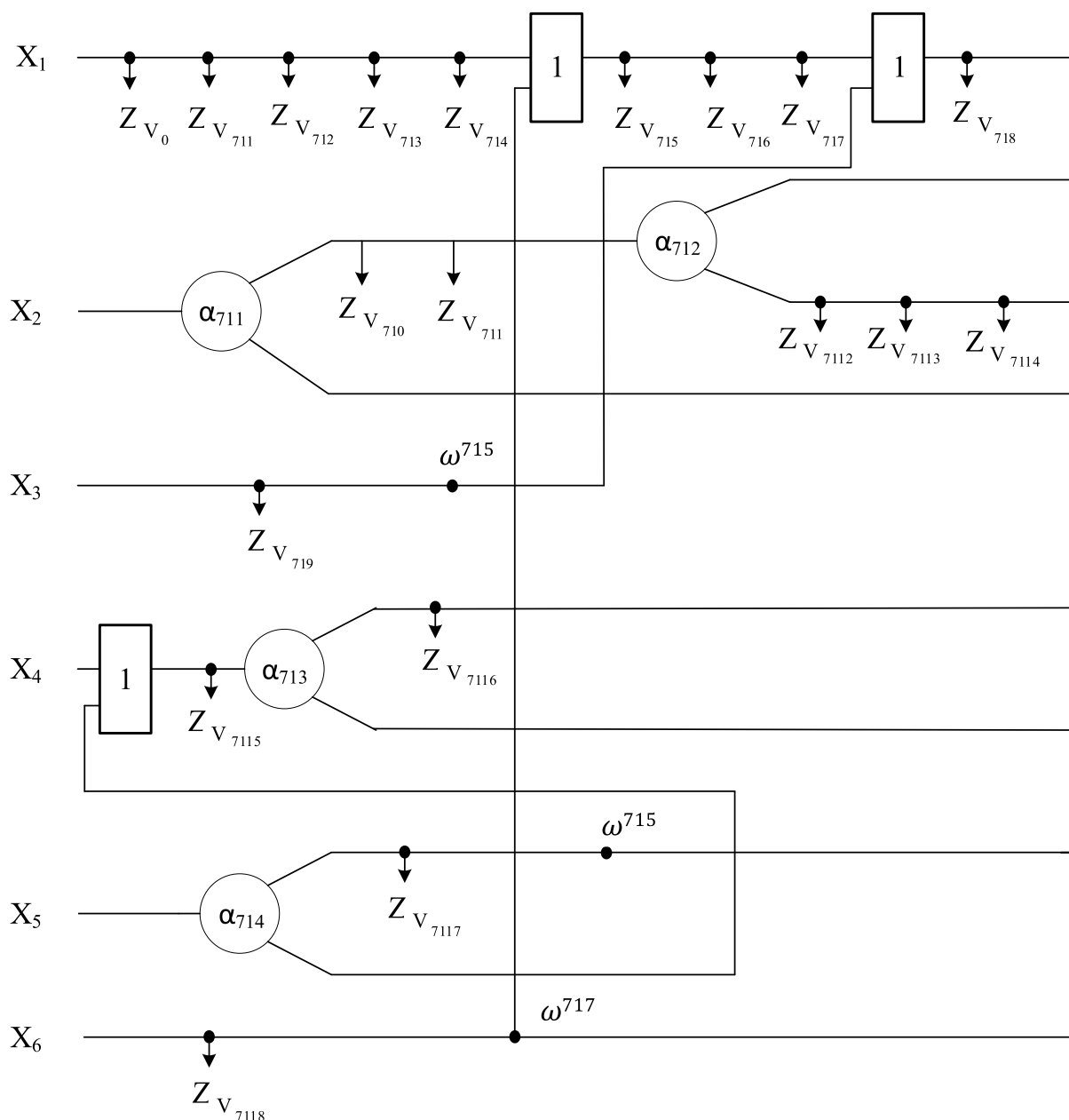


Рис. 5. Схема МА с одинаковыми частями микрокоманд ЛСА A_r

Внутреннее состояние этого автомата позволяет осуществлять кодирование следующим образом:

$$x_1 = 000, x_2 = 001, x_3 = 010, x_4 = 011, x_5 = 101, x_6 = 110.$$

Если микрооперация $z_{V_{718}}$ выполнена, то автомат может быть в первом, третьем или шестом внутреннем состоянии, т. к. эта операция является частью трех микрокоманд.

Повторное обращение к одной и той же внешней микрооперации не упрощает схему матрицы $M1$, а делает ее многоступенчатой, поскольку общее количество выполнения любой микрооперации не уменьшается.

Микрокоманда сравнивалась с максимальной группой соответствующих ЛСА элементов. При этом достигаются максимальные действия, т. е. выполняется минимальное количество циклов ЛСА МА, а МА имеет внутренние состояния, которые минимальны или близки к нему. Однако комбинационная часть автомата при этом может быть не минимальной. Использование в качестве микрокоманд не максимальных групп совместимых элементов ЛСА может привести к упрощению матриц $M1$ и $M2$ схемы МА.

В (7), выделив в отдельную микрокоманду общие части максимальных совместимых групп, получим следующую систему микрокоманд:

$$M_{V_0} = \{ V_0 \rightarrow V_{711} \rightarrow V_{712} \rightarrow V_{713} \rightarrow V_{714} \rightarrow V_{715} \rightarrow V_{716} \rightarrow V_{717} \rightarrow V_{718} \rightarrow [\alpha_{711}] \}$$

$$M_{\alpha_{711}} = \left\{ \alpha_{711} \left| \begin{array}{l} \rightarrow V_{7110} \rightarrow V_{7111} \rightarrow [\alpha_{712}] \\ \rightarrow [V_{719}] \end{array} \right. \right\}$$

$$M_{\alpha_{712}} = \left\{ \alpha_{712} \left| \begin{array}{l} \rightarrow [V_{719}] \\ \rightarrow V_{7112} \rightarrow V_{7113} \rightarrow V_{7114} \rightarrow V_k \end{array} \right. \right\}$$

$$M_{V_{719}} = \{ V_{719} \rightarrow [V_{718}] \}$$

$$M_{\alpha_{713}} = \left\{ V_{7115} \rightarrow \alpha_{713} \left| \begin{array}{l} \rightarrow V_{7116} \rightarrow [\alpha_{714}] \\ \rightarrow [V_{7118}] \end{array} \right. \right\}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\alpha_{714}} &= \left\{ \alpha_{714} \left[\begin{array}{l} \rightarrow V_{7117} \rightarrow [\alpha_{712}] \\ \rightarrow V_{7115} \rightarrow [\alpha_{713}] \end{array} \right] \right\} \\
 M_{V_{7118}} &= \{ V_{7118} \rightarrow [V_{715}] \} \\
 M_{V_{715}} &= \{ V_{715} \rightarrow V_{716} \rightarrow V_{717} \rightarrow V_{718} \rightarrow \} \\
 M_{V_{718}} &= \{ V_{718} \rightarrow [\alpha_{711}] \}. \tag{8}
 \end{aligned}$$

Использование этой системы микрокоманд упрощает комбинированную часть МА. Ситуация похожа на событие, которое возникает при синтезе автомата классического типа: увеличение внутреннего состояния автомата приводит к упрощению его комбинированной схемы.

Однако в настоящее время нет алгоритма, который позволяет получить минимальную схему МА от заданного ЛСА.

Заключение

В статье предложен способ построения структурной схемы формализованной модели ТД образования микросхем, эффективного для решения задач электронного документооборота [39].

Представленную модель можно использовать при автоматизации не только процессов УКЖАТ, но и электронного документооборота в целом. Применение предложенной методики построения модели ТД позволяет разработать достоверное прикладное программное обеспечение для решения задач оперативного документооборота.

Предлагаемая структурная схема формализованной модели ТД учитывает матрицы внешних и внутренних микроопераций, а также матрицы формирования кода следующей микрокоманды. Упрощение схемы МА достигается за счет одновременного выполнения внешних и внутренних микроопераций. Число микрокоманд МА определяется не числом элементов ЛСА, а количеством групп одновременно выполняемых микроопераций.

Разработан метод упрощения схемы МА, позволяющий одновременно осуществлять минимизацию и кодирование автомата с учетом различных требований, связанных с документооборотом хозяйств автоматики и телемеханики. При сопоставлении микрокоманд достигается максимальное быстродействие, т. е. ЛСА выполняется за минимальное число тактов работы МА, а сам МА имеет минимальное или близкое к нему число внутренних состояний.

Использование в качестве микрокоманд не максимальных групп совместимых элементов ЛСА привело к упрощению матриц схемы МА. Применение системы микрокоманд упрощает комбинационную часть МА.

Изложенные в статье методы формирования модели ТД представляются перспективными для решения задач электронного документооборота.

Библиографический список

1. *Baratov D. Kh.* Functional Support of the Automated Accounting System and Control of Devices in Railway Automation Telemechanics / D. Kh. Baratov, A. Kh. Boltaev, E. T. Astanaliyev // International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology. – 2019. – Vol. 6, Iss. 3. – P. 8572–8580.
2. *Шаманов В. И.* Обобщенная математическая модель процесса эксплуатации систем автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов // Автоматика на транспорте. – 2016. – Т. 2, № 2. – С. 163–179.
3. *Aripov N. M.* Questions intellectualization of management of transportation processes for railways / N. M. Aripov, D. X. Baratov // Міжнародний науковий журнал. – 2016. – № 9. – С. 53–55.
4. *Булавский П. Е.* Иерархическая многоматричная формализация имитационной модели электронного документооборота технической документации / П. Е. Булавский, Д. С. Марков; под ред. Вл. В. Сапожникова // Актуальные вопросы развития систем железнодорожной автоматики телемеханики: сб. науч. трудов. – СПб.: ПГУПС, 2013. – С. 52–59.
5. *Василенко М. Н.* Мониторинг и управление проектированием и строительством систем СЦБ / М. Н. Василенко, П. Е. Булавский, Б. П. Денисов // Автоматика, связь и информатика. – 2009. – № 12. – С. 5–7.
6. *Булавский П. Е.* Концептуальная модель электронного документооборота технической документации / П. Е. Булавский // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2011. – № 1 (32). – С. 60–63.
7. *Мамиконов А. Г.* Методы разработки автоматизированных систем управления / А. Г. Мамиконов. – М.: Энергия, 1973. – 336 с.
8. *Арипов Н. М.* Формализация электронного документооборота железнодорожной автоматики и телемеханики на основе имитационного моделирования / Н. М. Арипов, Д. Х. Баратов, Э. К. Аметова // Вестник ТашИИТ. – 2017. – № 2–3. – С. 90–97.
9. *Седых Д. В.* Отраслевой формат технической документации на устройства железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Седых, Д. В. Зуев, М. А. Гордон // Автоматика на транспорте. – 2017. – № 2. – С. 270–279.
10. *Марков Д. С.* Концепция и инструментальные средства динамического порционного моделирования сложных систем массового обслуживания / Д. С. Марков, А. А. Лыков, Соколов В. Б., Константинова Т. Ю. // Сборник: Транспортные интеллектуальные системы. – 2017. – С. 49–58.
11. *Василенко М. Н.* Решение задачи контроля проектных работ / М. Н. Василенко, Д. В. Зуев, Д. В. Седых, А. Ю. Яворская // Автоматика, связь, информатика. – 2017. – № 2. – С. 8–11.
12. *Степанов М. Ф.* Математическое моделирование интеллектуальных самоорганизующихся систем: реализация механизма планирования действий / М. Ф. Степанов,

- A. М. Степанов // Информационные технологии и нанотехнологии. – 2018. – С. 1681–1688.
13. *Guo F.* Electronic Document Management Systems for the Transportation Construction Industry / F. Guo, C. T. Jahren, Y. Turkan // International Journal of Construction Education and Research. – 2019. – P. 1–16.
 14. *Sun M. T.* The architecture and models for document security reasoning in an electronic document management system / M. T. Sun, J. L. Hou // Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers. – 2003. – Т. 20, N 4. – P. 305–316.
 15. *Sokolov S. S.* Methods and models of designing the secure system of electronic document management in transport logistic cluster / S. S. Sokolov, A. S. Karpina, V. D. Gaskarov // Vestnik of Astrakhan State Technical University. – 2016. – № 3. – P. 40–52. – (Management, Computer Sciences and Informatics)
 16. *Afonso C. M.* The moderator role of Gender in the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT): A study on users of Electronic Document Management Systems / C. M. Afonso, J. L. Roldán Salgueiro, M. J. Sánchez Franco, M. d. l. O. y González // En 7th International Conference on Partial Least Squares and Related Methods. – 2012. – P. 1–8.
 17. *Yatin S. F. M.* Electronic Document Management System: Malaysian Experience / S. F. M. Yatin, A. A. M. Ramli, H. Shuhaimi, H. Hashim, W. Ab K. W. Dollah, M. K. Zaini, M. R. A. Kadir // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. – 2015. – Т. 9, N 3. – P. 82–89.
 18. *Aurelia P.* A document management system modeling / P. Aurelia, T. Ana // ANALELE UNIVERSITĂȚII DIN ORADEA. – 2008. – P. 1479.
 19. *Арипов Н. М.* Методика построения математической модели электронного документооборота технической документации железнодорожной автоматики / Н. М. Арипов, Д. Х. Баратов // Автоматика на транспорте. – 2017. – Т. 3, № 1. – С. 98–111.
 20. *Baratov D. K.* Formalization of electronic technical document management of railway automatics and telemechanics / D. K. Baratov, N. M. Aripov // Europäische Fachhochschule. – 2016. – N 8. – P. 33–35.
 21. *Baratov D. K.* Formalized Methods of Analysis and Synthesis of Electronic Document Management of Technical Documentation / D. K. Baratov, N. M. Aripov, D. K. Ruziev // 2019 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS). – 2019. – P. 1–9.
 22. *Вернебург Р.* Реализация математических моделей на ЭВМ / Р. Вернебург. – М.: Прогресс, 1969. – 189 с.
 23. *Мамиконов А. Г.* Методы разработки автоматизированных систем управления / А. Г. Мамиконов. – М.: Энергия, 1973. – 336 с.
 24. *Мамиконов А. Г., Авен О. И, Кульба В. В.* Формализованное представление результатов анализа и проектирование автоматизированных систем управления / А. Г. Мамиконов, О. И. Авен, В. В. Кульба. – М.: Институт проблем управления, 1970. – 57 с.
 25. *Шеннон Р.* Имитационное моделирование систем – искусство и науки / Р. Шеннон. – М.: Мир, 1978. – 418 с.
 26. *Таль А. А.* Иерархия и параллелизм в сетях Петри / А. А. Таль // Автоматика и телемеханика. – 1982. – № 7. – С. 113–122.
 27. *Лазарев В. Г., Пийль Е. И.* Синтез управляющих автоматов / В. Г. Лазарев, Е. И. Пийль. – М.: Энергия, 1978. – 408 с.
 28. *Рогинский В. Н.* Основы дискретной автоматики / В. Н. Рогинский. – М.: Связь, 1975. – 432 с.
 29. *Янов Ю. И.* О логических схемах алгоритмов / Ю. И. Янов // Проблемы кибернетики. – 1958. – Вып. 2. – С. 75–127.

30. *Калман Р. Э.* Очерки по математической теории систем / Р. Э. Калман, П. Л. Фалб, М. А. Арбиб. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 400 с.
31. *Долинский М.* Технология разработки алгоритмически сложных цифровых схем с помощью автоматического синтеза микропрограммных автоматов / М. Долинский, И. Коршунов, А. Толкачев, И. Ермолаев, В. Литвинов // Компоненты и технологии. – 2003. – № 8. – С. 124–128.
32. *Клебан В. О.* Применение конечных автоматов в документообороте / В. О. Клебан, Ф. А. Новиков // Научно-техническом вестнике СПбГУ ИТМО. – 2008. – Вып. 53. – С. 286–295.
33. *Сапожников В. В.* Самопроверяемые дискретные устройства / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников. – СПб: Энергоатомиздат, 1992. – 224 с.
34. *Wilkes M. V.* Micro-programming and the design of the control circuits in an electronic digital computer / M. V. Wilkes, J. B. Stringer // Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society. – UK.: Cambridge University Press, 1953. – Vol. 49, N 2. – P. 230–238.
35. *Furth S.* Semantification of large corpora of technical documentation / S. Furth, J. Baumeister // Enterprise Big Data Engineering, Analytics, and Management. – 2016. – P. 171–200.
36. *Aguilar A.* A hamming distance and fuzzy logic-based algorithm for P2P content distribution in enterprise networks / A. Aguilar, C. Lozoya, L. M. Orona // Peer-to-Peer Networking and Applications. – 2019. – Vol. 12, N 5. – P. 1323–1335.
37. *Baratov D. X.* The issues of creating a formalized model of the technical documentation / D. X. Baratov // Міжнародний науковий журнал Інтернаука. – 2017. – № 4 (1). – С. 22–23.
38. *Сапожников В. В.* Основы теории надежности и технической диагностики / В. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов. – М.: Лань, 2019. – 588 с.
39. *Mendoza A. R.* Electronic document management system implementing internet of things (IOT) / A. R. Mendoza, C. Alvarez, H. M. Castillo, M. Manongsong, A. Santiago // International Journal of Advanced Research in Computer Science. – 2019. – Vol. 10, N 2. – С. 10–15.

D. Kh. Baratov

*The department of "Automation, Remote Control and Telecommunications in Railway Transport",
Tashkent Railway Engineering Institute, Tashkent*

SYNTHESIS OF MODELS OF TECHNICAL DOCUMENTATION ELECTRONIC MANAGEMENT WITH REGARD TO ITS INTERNAL STATE

The paper examines the specific features of technical documentation electronic management for railway automation and remote control. The problems of synthesis of mathematical models of technical documentation electronic management for railway automation and remote control are discussed. For this purpose, the real processes of creation, verification and use of technical documentation were studied using the example of the process of monitoring and management of railway automation and remote control devices, which made it possible to outline the structure of a formalized model of technical documentation. A model of technical documentation electronic management has been built

using the mathematical apparatus of finite automata. A structural diagram of an automaton model of technical documentation has been developed. The proposed scheme of a formalized model of technical documentation consists of matrices of external micro-operations, internal micro-operations, and code generation for the subsequent micro-components. The number of internal states of the microprogram automaton is fully determined by the number of elements in logic circuits of algorithms. The size of the matrices depends on the number of operators and conditions in logic circuits of algorithms. The microprogram automaton scheme is simplified through the simultaneous execution of external and internal micro-operations. The number of micro-commands is determined by the number of groups of simultaneously executed micro-operations. Micro-commands have been formed according to the logic circuits of technical documentation algorithms. The use of the proposed methodology for building a technical documentation model enables the development of reliable applied software for solving the problems of operational document management for railway automation and remote control.

Technical documentation electronic management, formal presentation of technical documentation, logic circuits of algorithms, structural diagram of an automaton model of technical documentation, micro-commands

DOI: 10.20295/2412-9186-2020-6-3-332-355

References

1. Baratov D. Kh., Boltaev A. Kh. & Astanaliev E. T. (2019) Functional Support of the Automated Accounting System and Control of Devices in Railway Automation Telematics. *International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology*, 2019, vol. 6, iss. 3, pp. 8572–8580.
2. Shamanov V.I. (2016) Obobshchennaya matematicheskaya model' protsessy ekspluatatsii sistem avtomatiki i telemekhaniki [Generalized mathematical model of the operation process of automation and remote control systems]. *Avtomatika na transporte [Automatic Equipment in Transport]*, 2016, vol. 2, no. 2, pp. 163–179. (In Russian)
3. Aripov N. M. & Baratov D. X. (2016) Questions intellectualization of management of transportation processes for railways. *Mizhnarodniy nauchiy zhurnal [International scientific journal]*, 2016, no. 9, pp. 53–55.
4. Bulavskiy P. E. & Markov D. S. (2013) Iyerarkhicheskaya mnogomatrixnaya formalizatsiya imitatsionnoy modeli elektronnoy dokumentooborota tekhnicheskoy dokumentatsii [Hierarchical multi-matrix formalization of the simulation model of technical documentation electronic management]. *Aktual'nyye voprosy razvitiya sistem zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki. Sb. nauch. trudov [Actual problems of railway automation and remote control systems development. Scientific proceedings]*. Ed. by V.I. V. Sapozhnikov. Saint Petersburg, PGUPS Publ., 2013, pp. 52–59. (In Russian)
5. Vasilenko M. N., Bulavskiy P. E. & Denisov B. P. (2009) Monitoring i upravleniye proyektirovaniyem i stroitel'stvom sistem STsB [Monitoring and management of design and construction of signals and interlocking systems]. *Avtomatika, svyaz' i informatika [Automation, communication and computer science]*, 2009, no. 12, pp. 5–7. (In Russian)
6. Bulavskiy P. E. (2011) Kontseptual'naya model' elektronnoy dokumentooborota tekhnicheskoy dokumentatsii [Conceptual model of technical documentation electronic management]. *Transport Rossiyskoy Federatsii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike [Transport of the Russian Federation. A magazine of science, economy and practice]*, no. 1, pp. 60–63. (In Russian)

7. Mamikonov A. G. (1973) Metody razrabotki avtomatizirovannykh sistem upravleniya [Methods for the development of automated control systems]. Moscow, Energiya Publ., 1973, 336 p. (In Russian)
8. Aripov N. M., Baratov D. Kh. & Ametova E. K. (2017) Formalizatsiya elektronnoy dokumentatsii zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki na osnove imitatsionnogo modelirovaniya [Formalization of electronic document management for railway automation and remote control based on simulation]. *Bulletin of TashREI [Tashkent Railway Engineering Institute]*, 2017, no. 2–3, pp. 90–97. (In Russian)
9. Sedykh D. V., Zuyev D. V. & Gordon M. A. (2017) Otrasleyevoy format tekhnicheskoy dokumentatsii na ustroystva zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki [Sectoral format of technical documentation for railway automation and remote control devices]. *Avtomatika na transporte [Automatic Equipment in Transport]*, 2017, no. 2, pp. 270–279. (In Russian)
10. Markov D. S., Lykov A. A., Sokolov V. B. & Konstantinova T. Yu. (2017) Kontseptsiya i instrumental'nyye sredstva dinamicheskogo portsiionnogo modelirovaniya slozhnykh sistem massovogo obsluzhivaniya [Concept and tools of dynamic portion modeling of complex mass service systems]. *Collected papers: Transportnyye intellektual'nyye sistemy [Intelligent transport systems]*, 2017, pp. 49–58. (In Russian)
11. Vasilenko M. N., Zuyev D. V., Sedykh D. V. & Yavorskaya A. Yu. (2017) Resheniye zadachi kontrolya proyektnykh rabot [Solving the problem of design work control]. *Avtomatika, svyaz', informatika [Automation, communication, computer science]*, 2017, no. 2, pp. 8–11. (In Russian)
12. Stepanov M. F. & Stepanov A. M. (2018) Matematicheskoye modelirovaniye intellektual'nykh samoorganizuyushchikhsya sistem: realizatsiya mekhanizma planirovaniya deystviy [Mathematical modeling of intelligent self-organizing systems: Action planning mechanism implementation]. *Information Technology and Nanotechnology*, 2018, pp. 1681–1688. (In Russian)
13. Guo F., Jähren C. T. & Turkan Y. (2019) Electronic Document Management Systems for the Transportation Construction Industry. *International Journal of Construction Education and Research*, 2019, pp. 1–16.
14. Sun M. T. & Hou J. L. (2003) The architecture and models for document security reasoning in an electronic document management system. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, 2003, vol. 20, no. 4, pp. 305–316.
15. Sokolov S. S., Karpina A. S. & Gaskarov V. D. (2016) Methods and models of designing the secure system of electronic document management in transport logistic cluster. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*, 2016, no. 3, pp. 40–52. – (Management, Computer Sciences and Informatics).
16. Afonso C. M. et al. (2012) The moderator role of Gender in the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT). A study on users of Electronic Document Management Systems. *En 7th International Conference on Partial Least Squares and Related Methods*, 2012, pp. 1–8.
17. Yatin S. F. M. et al. (2015) Electronic Document Management System: Malaysian Experience. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2015, vol. 9, no. 3, pp. 82–89.
18. Aurelia P. & Ana T. A document management system modeling. *ANALELE UNIVERSITĂȚII DIN ORADEA*, 2008, pp. 1479.
19. Aripov N. M. & Baratov D. Kh. (2017) Metodika postroyeniya matematicheskoy modeli elektronnoy dokumentatsii tekhnicheskoy dokumentatsii zheleznodorozhnoy avtomatiki [Methods for building a mathematical model of technical documentation electronic]

- management for railway automation]. *Avtomatika na transporte [Automatic Equipment in Transport]*, 2017, vol. 3, no. 1, pp. 98–111. (In Russian)
20. Baratov D. K. & Aripov N. M. (2016) Formalization of electronic technical document management of railway automatics and telemechanics. *Europaische Fachhochschule*, 2016, no. 8, pp. 33–35.
 21. Baratov D. K., Aripov N. M. & Ruziev D. K. (2019) Formalized Methods of Analysis and Synthesis of Electronic Document Management of Technical Documentation. *IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)*, 2019, pp. 1–9.
 22. Verneburg R. (1969) Realizatsiya matematicheskikh modeley na EVM [Implementation of mathematical models on a computer]. Moscow, Progress Publ., 1969, 189 p. (In Russian)
 23. Mamikonov A. G. (1973) Metody razrabotki avtomatizirovannykh sistem upravleniya [Methods for the development of automated control systems]. Moscow, Energiya Publ., 1973, 336 p. (In Russian)
 24. Mamikonov A. G., Aven O. I. & Kul'ba V. V. (1970) Formalizovannoye predstavleniye rezul'tatov analiza i proyektirovaniye avtomatizirovannykh sistem upravleniya [Formalized presentation of analysis results and design of automated control systems]. Moscow, Institute of Management Problems Publ., 1970, 57 p. (In Russian)
 25. Shannon R. E. (1978) Imitatsionnoye modelirovaniye sistem – iskusstvo i nauki [Systems Simulation: The Art and Science]. Moscow, Mir Publ., 1978, 418 p. (In Russian)
 26. Tal' A. A. (1982) Iyerarkhiya i parallelizm v setyakh Petri [Hierarchy and parallelism in Petri nets]. *Avtomatika i telemekhanika [Automation and Remote Control]*, 1982, no. 7, pp. 113–122. (In Russian)
 27. Lazarev V. G. & Piy'l' E. I. (1978) Sintez upravlyayushchikh avtomatov [Synthesis of control automata]. Moscow, Energiya Publ., 1978, 408 p. (In Russian)
 28. Roginskiy V. N. (1975) Osnovy diskretnoy avtomatiki [Foundations of discrete automation]. Moscow, Svyaz' Publ., 1975, 432 p. (In Russian)
 29. Yanov Yu. I. (1958) O logicheskikh skhemakh algoritmov [On logic circuits of algorithms]. *Problemy kibernetiki [Problems of Cybernetics]*, 1958, iss. 2, pp. 75–127. (In Russian)
 30. Kalman R. E., Falb P. L. & Arbib M. A. (2004) Ocherki po matematicheskoy teorii sistem [Topics in Mathematical System Theory]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2004, 400 p. (In Russian)
 31. Dolinskiy M., Korshunov I., Tolkachev A., Ermolayev I. & Litvinov V. (2003) Tekhnologiya razrabotki algoritmicheskoi slozhnykh tsifrovyykh skhem s pomoshch'yu avtomaticheskogo sinteza mikroprogrammnykh avtomatov [Technology for the development of algorithmically complex digital circuits using automatic synthesis of micro-program automata]. *Komponenty i tekhnologii [Components & Technologies]*, 2003, no. 8, pp. 124–128. (In Russian)
 32. Kleban V. O. & Novikov F. A. (2008) Primeneniye konechnyykh avtomatov v dokumentooborote [The use of finite-state automata in document management]. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics published by ITMO University*, 2008, iss. 53, pp. 286–295. (In Russian)
 33. Sapozhnikov V. V. & Sapozhnikov V. B. (1992) Samoproveryayemye diskretnyye ustroystva [Self-checking discrete devices]. Saint Petersburg, Energoatomizdat, 1992, 224 p. (In Russian)
 34. Wilkes M. V. & Stringer J. B. (1953) Micro-programming and the design of the control circuits in an electronic digital computer. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*. UK, Cambridge University Press, 1953, vol. 49, no. 2, pp. 230–238.
 35. Furth S. & Baumeister J. (2016) Semantification of large corpora of technical documentation. *Enterprise Big Data Engineering, Analytics, and Management*, 2016, pp. 171–200.

36. Aguilar A., Lozoya C. & Orona L. M. (2019) A hamming distance and fuzzy logic-based algorithm for P2P content distribution in enterprise networks. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 2019, vol. 12, no. 5, pp. 1323–1335.
37. Baratov D. X. (2017) The issues of creating a formalized model of the technical documentation. *Mizhnarodniy nauchiy zhurnal Internauka [International scientific journal Internauka]*, 2017, no. 4, pp. 22–23.
38. Sapozhnikov V. V., Sapozhnikov V. V. & Efanov D. V. (2019) Osnovy teorii nadezhnosti i tekhnicheskoy diagnostiki [Reliability and technical diagnostics theory fundamentals]. Moscow, Lan' Publ., 2019, 588 p. (In Russian)
39. Mendoza A. R. et al. (2019) Electronic document management system implementing internet of things (IOT). *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 2019, vol. 10, no. 2, pp. 10–15.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Д. С. Марковым
Поступила в редакцию 28.03.2020, принята к публикации 12.04.2020*

БАРАТОВ Дилшод Хамидуллаевич – доктор технических наук, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте» Ташкентского института инженеров железнодорожного транспорта

e-mail: baratovdx@yandex.ru

© Баратов Д. Х., 2020