

с увеличением коэффициента заполнения по намотке уменьшаются расстояния между стержнями однослойной обмотки, вследствие чего увеличиваются размеры вылетов лобовых частей. Их длина достигает более 50% длины стержня, что ведет к увеличению расхода активных материалов.

Заключение

Новая технология «МагТранСити» позволяет достичь скорости городского общественного транспорта, в 2,5–4 раза превышающей скорость трамвая и троллейбуса и в 2–2,5 раза скорость поезда метро. Удельная мощность

составляет 230–270 (В·А)/Н. По сравнению с наземным электрическим транспортом потребляемая энергия на 1 км пути на 20–25% ниже, а для метро – в 3 раза.

Библиографический список

1. FTA-CA-26-7025.2005. *General Atomics Low Speed Maglev Technology Development Program* (Supplemental #3). Final Report.
2. Campbell, M., Cardwell, D.A. (1995). *Cryogenics*, 37, 567–575.
3. Glebov, I.A., Shakhtarin, V.N., Antonov, Yu. F. (1978). *Proceedings of the 6th international conference on magnet technology*, Bratislava, 276–286.

УДК 656.25

П. Е. Булавский, Д. С. Марков

Петербургский государственный университет путей сообщения

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИНТЕЗА ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ НА ОСНОВЕ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ

Предложена формализация электронного документооборота технической документации (ЭДТД) на устройства железнодорожной автоматики. Описано применение международных стандартов для представления моделей обследования технологических процессов ЭДТД систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

электронный документооборот технической документации, технический документ, отраслевой формат, обобщенная формализованная схема, параллельные логические схемы алгоритмов.

Введение

Повышение эффективности проектирования, строительства и эксплуатации систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ) требует комплексного внедрения электронного документооборота технической документации (ЭДТД), обеспе-

чивающего применение новых принципов стандартизации технической документации и организации взаимодействия проектных, строительных, эксплуатационных и ремонтных организаций.

Синтез систем ЭДТД СЖАТ весьма сложен ввиду его существенных особенностей:

зависимость безопасности движения поездов от качества и своевременности подготовки технической документации; территориальная распределенность средств ЭДТД СЖАТ; временная продолжительность реализации проектов СЖАТ и большое количество участвующих в них организаций, решающих разнородные задачи; взаимосвязь документов, заключающаяся в создании документов-последователей на основе данных, содержащихся в документах-предшественниках. Очевидно, что решение сложного комплекса задач синтеза ЭДТД может осуществляться только на основе количественных оценок принимаемых решений с использованием современных методов формализации описания сложных дискретных процессов, методов математического и, в частности, имитационного моделирования. В [1] предложены методы формализации имитационных моделей (ИМ) ЭДТД СЖАТ на основе матричных схем алгоритмов в среде *GPSS World* [2]. Применение метода ИМ предполагает также наличие формализованного представления разрабатываемых и моделируемых процессов.

1 Формализация ЭДТД

Формализация ЭДТД, включающая описание технических документов (ТД) и их состояний, процессов их создания и обработки, участников (подсистемы и технические средства), выполняющих указанные процессы, предложена в [3] в виде:

$$D_T = \{Y, P, \Phi\},$$

где D_T – формальная модель электронного документооборота; Y – множество участников ЭДТД; P – множество процессов, выполняемых в условиях ЭДТД; Φ – множество состояний документов с допустимыми областями значений.

С учетом указанных выше особенностей для эффективного решения задач синтеза ЭДТД СЖАТ важное значение приобретают требования, ограничения и качество нормативно-технической документации, а также

мониторинг качества ТД и своевременности выполнения процессов с целью контроля и управления ЭДТД. Тогда процесс, выполняемый в условиях ЭДТД:

$$P = \{T_{\text{ц}}, H, M\},$$

где $T_{\text{ц}}$ – множество технологических цепочек, составляющих процесс ЭДТД; H – требования нормативно-технической документации; M – мониторинг качества ТД и своевременности выполнения процессов ЭДТД.

В [4] выделяется целый ряд проблем теоретического, методического и прикладного характера, препятствующих активному внедрению средств автоматизации по моделированию бизнес-процессов и, в частности, документооборота технической документации. К теоретическим проблемам относится отсутствие целостной системы определений, понятийного аппарата и теоретической базы. К теоретическим проблемам нужно отнести отсутствие общих принципов записи и представления информации, содержащейся в технической документации, стандартизации информационных потоков и отсутствие подходов к количественной оценке результатов организации электронного документооборота.

В соответствии с этим на основе материалов исследований [5] были сформулированы основные термины и определения в области ЭДТД СЖАТ и принципы проведения операционных исследований методом имитационного моделирования.

Технический документ (ТД) – это структурированный документ, имеющий логические связи с другими техническими документами, ограничения по построению в соответствии с нормативно-справочной информацией и описывающий техническую систему или ее часть.

Комплект технических документов (КТД) – подмножество технических документов, с которым выполняются операции технологической цепочки.

Технический документ-предшественник – документ, на основе или с использованием

элементов, атрибутов и связей которого создается данный документ.

Технический документ-последователь – документ, создаваемый на основе или с использованием элементов, атрибутов и связей данного документа.

Отраслевой формат технической документации на устройства СЦБ – структурированный документ, в котором определены все возможные элементы ТД; все типы связей между элементами и все атрибуты, отражающие все возможные свойства элементов, связанных с базой данных элементов.

Качество технической документации – весь объем признаков и характеристик ТД, которые относятся к их способности удовлетворять установленным требованиям.

Внешнее качество ТД – способность СЖАТ, построенной на основе данной ТД, удовлетворять потребностям внешних пользователей.

Внутреннее качество ТД – свойство процесса технической реализации системы управления СЖАТ, определяющее эффективность и время создания, проверки и обработки ТД, количество ошибок и время их устранения в СЖАТ.

Технологическая цепочка – процесс обработки КТД ЭДТД согласно логически взаимосвязанной, функционально полной последовательности операций.

Обобщенная формализованная схема (ОФС) – форма, определяющая состав и вид представления данных, структурно-алгоритмическое и параметрическое описание процессов, внешней среды и системы ЭДТД как сложной системы массового обслуживания.

Структурно-алгоритмическое отображение ЭДТД – формализованное описание технологических цепочек в виде алгоритмов обслуживания заявок на языке параллельных логических схем алгоритмов (ПЛСА), элементов системы как обслуживающих устройств и дисциплины обслуживания заявок обслуживающими устройствами.

Параметрическое отображение ЭДТД – математическое описание вероятностно-временных параметров внешней среды и процесса обслуживания заявок (ТД, КТД) в ЭДТД.

Транзакт (заявка) – динамический объект GPSS, представляющий собой технический документ или комплект технических документов, с которым выполняются операторы согласно алгоритму обслуживания заявок в имитационной модели ЭДТД.

Частный алгоритм обслуживания заявок (ЧАОЗ) – последовательность логических условий и операторов, выполняемых с транзактами по алгоритму технологической цепочки в имитационной модели ЭДТД.

Множество частных технологических алгоритмов образуют многоуровневый иерархический алгоритм обслуживания транзактов в имитационной модели ЭДТД.

Матричная формализация ЧАОЗ (МЧАОЗ) – формализованное описание ЧАОЗ на языке матричных схем алгоритмов с указанием обслуживающих устройств, выполняющих операторы ЧАОЗ в имитационной модели ЭДТД.

Моделирующий алгоритм – алгоритм обработки МЧАОЗ, заключающийся в продвижении транзакта от оператора к оператору в соответствии со значениями элементов МЧАОЗ.

На основе предложенной в [3] концепции формализации процессов ЭДТД с учетом расширений представления документооборота технической документации и понятийного аппарата в виде сформулированной выше системы определений разработана обобщенная формализованная схема (ОФС) описания процессов и систем, участвующих в ЭДТД.

2 Применение международных стандартов для описания технологических процессов

В соответствии с ОФС в [6] дано описание результатов обследования автоматизируемых технологических процессов в виде графов. Такое описание достаточно полно и информативно, но недостаточно наглядно для восприятия техническим персоналом и для документирования. Кроме того, графовое представление процессов ЭДТД, ввиду указанных недостатков, затрудняет переход от материалов обследования к имитационному моделированию процессов ЭДТД.

В связи с этим предлагается использовать стандарты *IDEF* [7] и реализовывать формализованные подходы к автоматизации перевода сформированных на основе обследования моделей деятельности предприятия в виде программных модулей, дающих возможность автоматизированной корректировки моделей процессов для различных исходных условий с целью получения количественных оценок системо-технических решений.

Стандарты функционального *IDEF*-моделирования обеспечивают некоторую формализацию представления результатов обследования и на этой основе – анализа функциональной и информационной структуры систем.

Структура блока в стандарте *IDEF0* включает в себя следующие элементы: собственно блок с именем исполняемой функции, вход, выход, управление и механизм [7]. Однако, с точки зрения представления функциональной структуры ЭТД СЖАТ в *IDEF*, важное значение в соответствии с предложенной концепцией представления ЭТД имеют ограничения по созданию и обработке технических документов, касающихся требований нормативно-справочной информации – Н и выполнения функций контроля и мониторинга процессов ЭТД – М.

Расширенная структура блока в *IDEF0* для ЭТД СЖАТ приведена на рис. 1.

Предложенная структура расширенного функционального блока позволяет строить *IDEF0*-диаграммы для ЭТД, отражающие все особенности и свойства документируемых в ЭТД процессов.

Пример реализации *IDEF0*-диаграммы, описывающей электронный документооборот технической документации при проектировании СЖАТ, приведен на рис. 2.

Представление в стандарте *IDEF0* позволяет обеспечить подробное описание процессов, отображаемых на рис. 2. На рис. 3 показана детализация описания процесса согласования и утверждения проектно-сметной документации.

Аналогичным образом в результате исследования процессов ЭТД получены *IDEF0*-диаграммы для всех функциональных блоков *IDEF0* (рис. 2). Полученные *IDEF0*-диаграммы позволяют преодолеть недостатки графового описания процессов ЭТД, однако, как и последние, являются статическими, что затрудняет автоматизацию перехода от *IDEF0*-диаграмм к программной реализации имитационных моделей ЭТД. Для решения этой задачи применяются два основных подхода. В стандарте *IDEF3* предложены средства графического представления бизнес-процессов, информационных потоков, их сопровождающих, взаимоотношений между

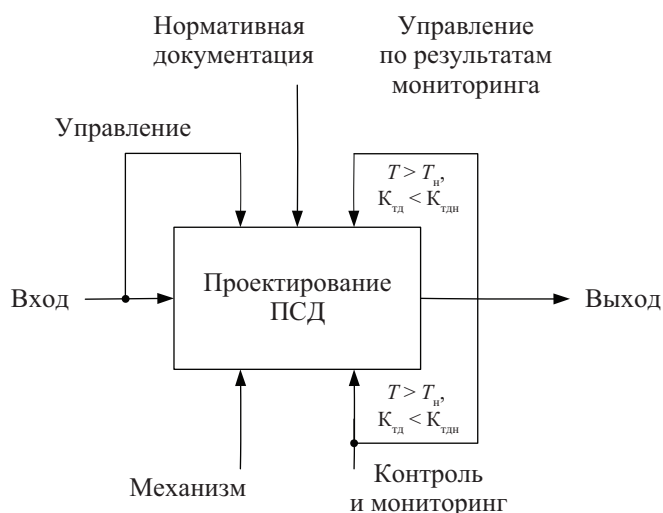


Рис. 1. Расширение функциональных блоков в *IDEF0* для ЭТД:
 T – фактическое время обработки ТД; T_n – нормативное время обработки ТД;
 $K_{тд}$ – фактическое качество ТД; $K_{тдн}$ – нормативное качество ТД

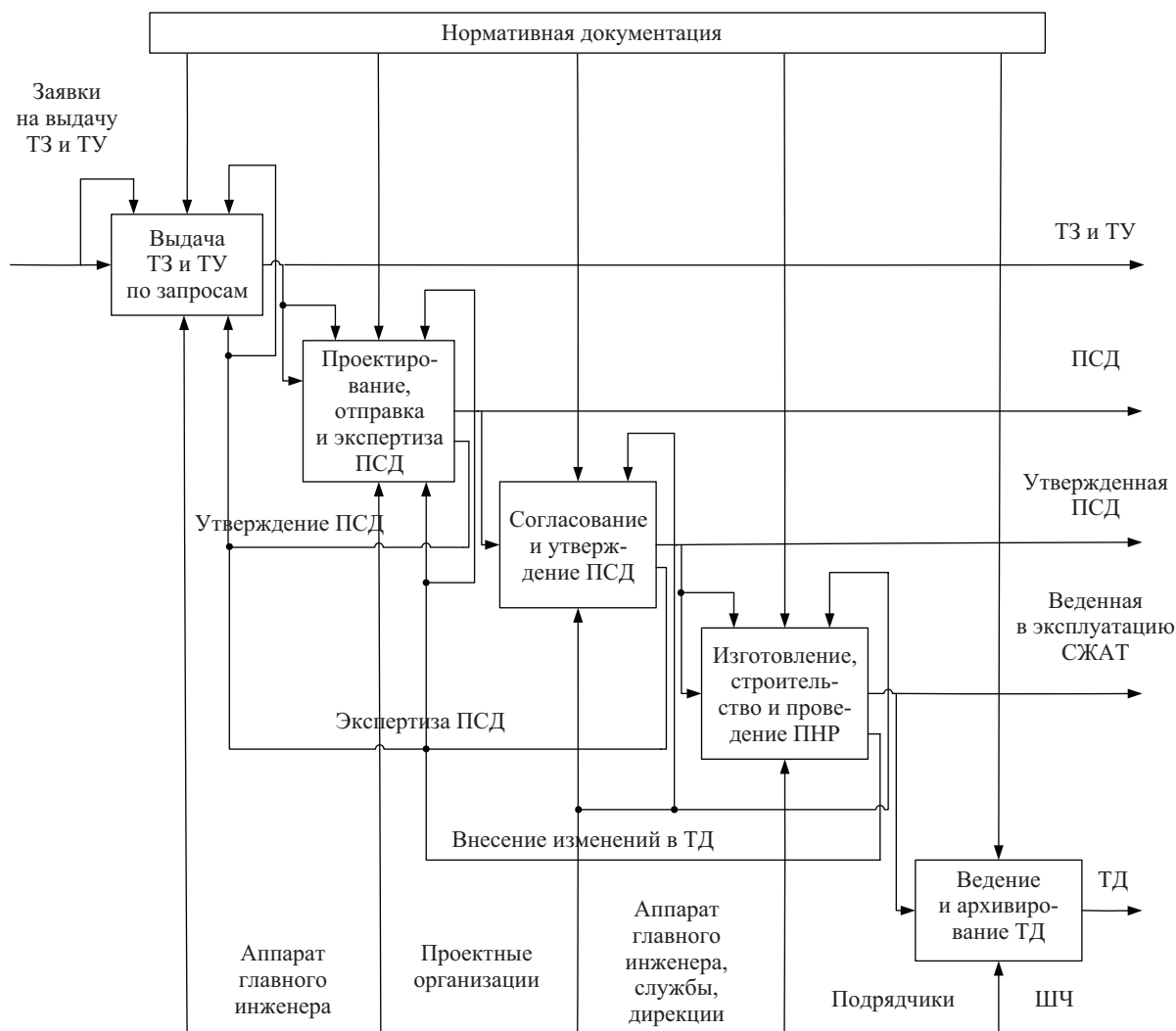


Рис. 2. IDEF0-диаграмма электронного документооборота технической документации:
 ТЗ – техническое задание; ТУ – технические условия; ПСД – проектно-сметная документация;
 ПНР – пусконаладочные работы; ТД – техническая документация; ШЧ – дистанция
 сигнализации, централизации и блокировки

объектами и операциями, выполняемыми ими в текущем времени. Второй подход заключается в использовании различных модификаций сетей Петри.

С точки зрения моделирования и анализа процессов ЭДТД СЖАТ основным недостатком первого подхода является неоднозначность и расплывчатость формулировок, а в конечном счете отсутствие формализованной методики перехода от статических IDEF0-диаграмм к имитационной модели. С другой стороны, сети Петри и особенно их последние модификации излишне формализованы, что только затрудняет синтез ИМ конкретных

приложений, в частности ЭДТД. Кроме того, оба подхода основаны, в том или ином виде, на графическом описании процессов, что эффективно для представления материалов исследования и результатов моделирования, но существенно ограничивает, а то и делает невозможным синтез адекватных и легко адаптируемых для конкретных приложений ИМ.

Необходимо отметить, что процессы ЭДТД носят массовый характер, по сути, являются дискретными и протекают непрерывно во времени. Это позволило авторам формализовать ЭДТД как ССМО и разработать

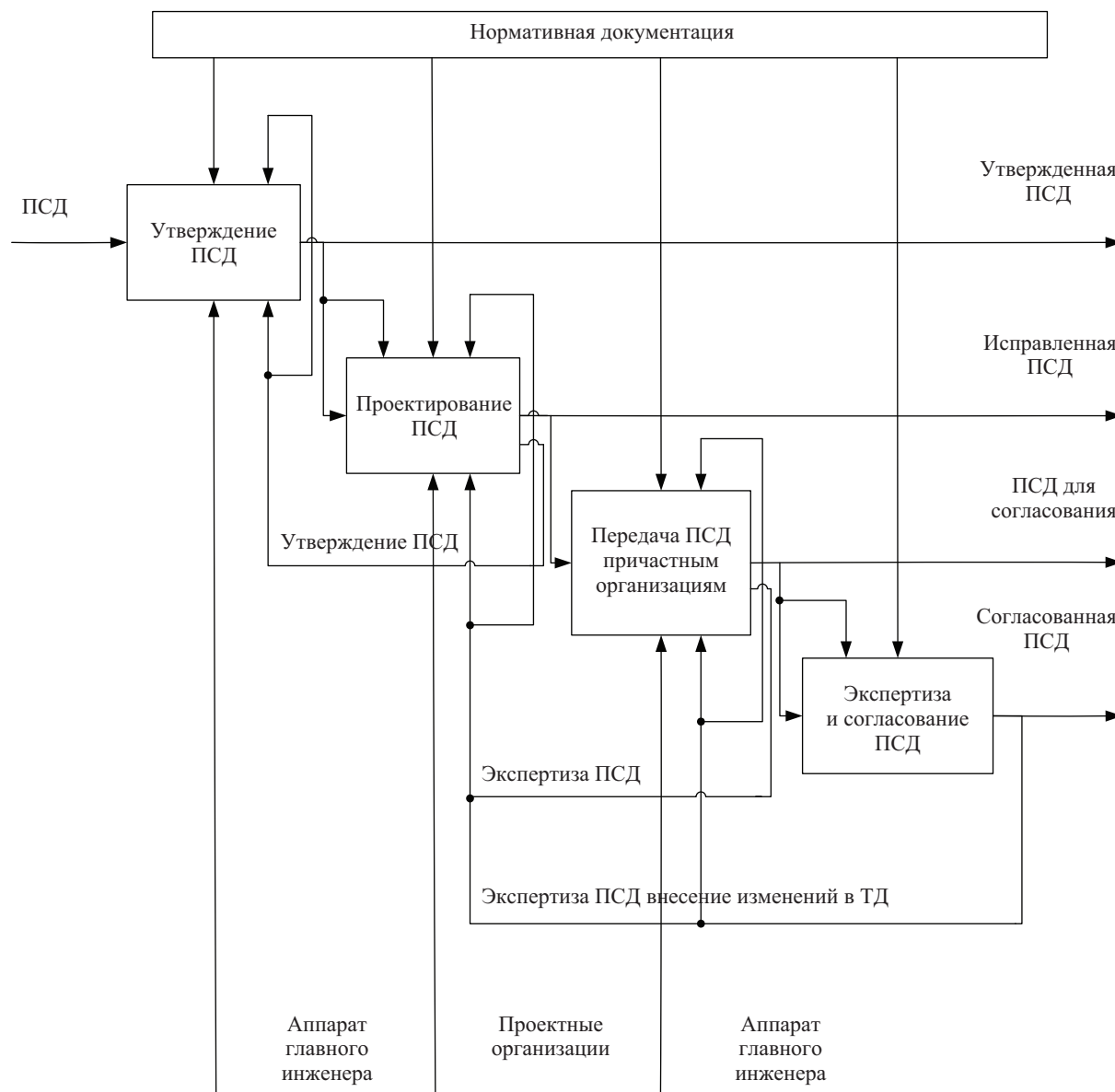


Рис. 3. IDEF0-диаграмма согласования и утверждения проектно-сметной документации

эффективные матричные методы формализации ИМ, что дало возможность в значительной мере преодолеть недостатки обоих указанных выше подходов к описанию дискретных бизнес-процессов.

В связи с этим для повышения эффективности синтеза и применения ИМ необходимой представляется разработка средств автоматизированного перехода от результатов обследования в виде IDEF0-диаграмм к формализации описания процессов ЭДТД, а именно множеству ЧАОЗ, на языке параллельных логических схем алгоритмов (ПЛСА). Такая

разработка должна базироваться на результатах применения матричных и многоматричных методов формализации имитационных моделей процессов ЭДТД [6], основанных на формализмах ПЛСА и ССМО.

3 Автоматизация синтеза матричных имитационных моделей

На рис. 4 приведены необходимые для решения сформулированной выше задачи средства (алгоритмы, программы, методики)

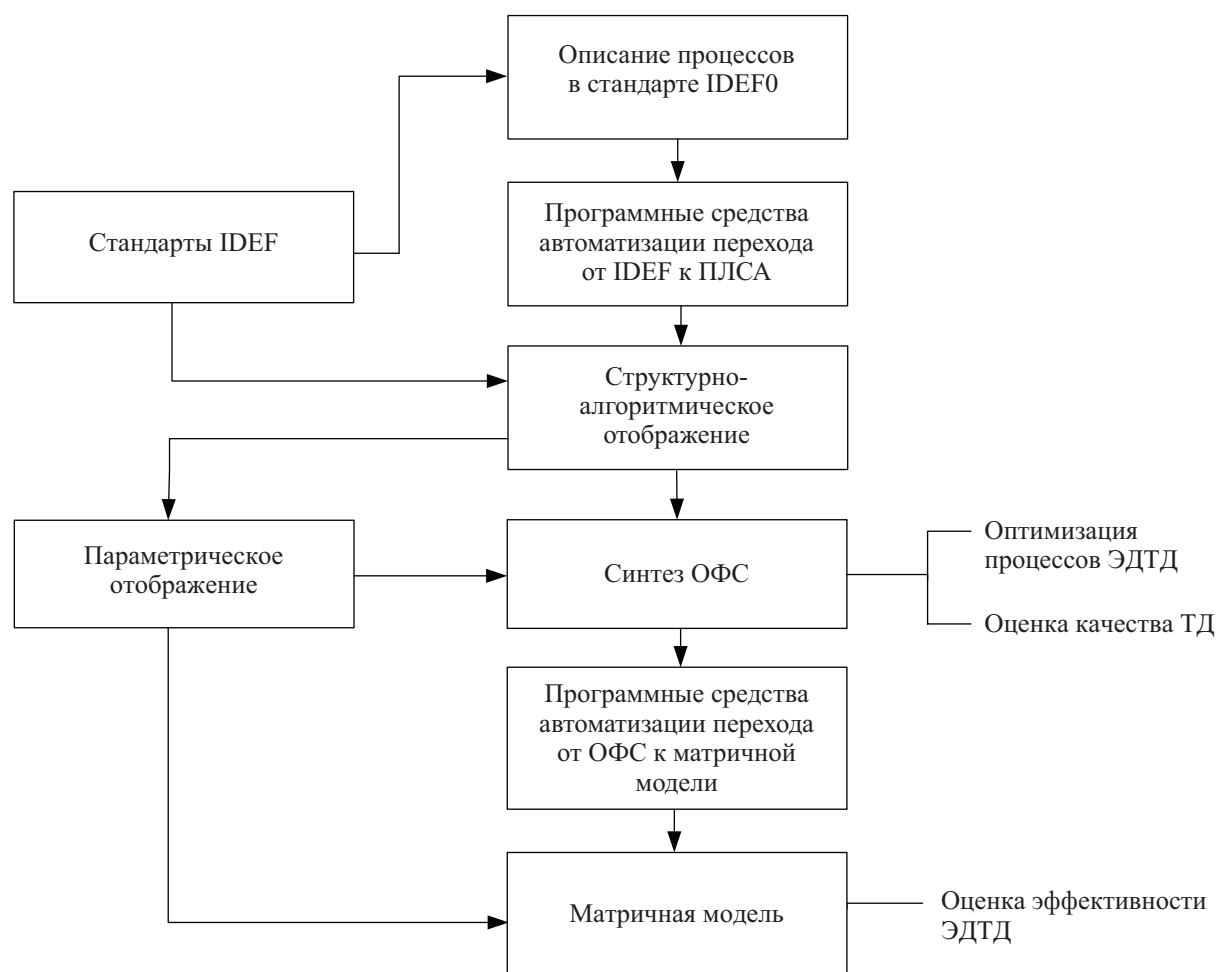


Рис. 4. Автоматизация синтеза электронного документооборота технической документации СЖАТ

с указанием последовательности их применения для синтеза ИМ ЭДТД. Основой автоматизированных процедур синтеза ИМ является ОФС, включающая структурно-алгоритмическое и параметрическое отображение ЭДТД.

Для синтеза ОФС необходимо разработать алгоритмы и программные средства автоматизированного перехода от *IDEF0*-диаграмм к формализованному описанию процессов ЭДТД на ПЛСА. С этой целью на основе анализа *IDEF0* должен быть составлен алфавит операторов и логических условий для ЧАОЗ технологических цепочек и тем самым выполнен автоматизированный переход к описанию процессов ЭДТД на ПЛСА. Кроме того, *IDEF0* позволяют каждому оператору ПЛСА поставить в соот-

ветствие выполняющее его подразделение (участника ЭДТД) или техническое средство и таким образом сформировать множество обслуживающих устройств, т. е. синтезировать структурно-алгоритмическое отображение ЭДТД как ССМО.

Для синтеза параметрического отображения необходимо использовать стандартные пакеты статистической обработки данных исследования деятельности подразделений ЭДТД в соответствии с алфавитом операторов и вероятностных логических условий ЧАОЗ. Аналогичным образом формализуется параметрическое отображение внешней среды как математическое описание потоков ТД и КТД. Полученная таким образом ОФС позволяет перейти к синтезу ИМ ЭДТД.

Следует напомнить, что ИМ синтезируется на основе матричной формализации и, следовательно, для реализации автоматизированных процедур перехода от ОФС к ИМ должны быть разработаны методы и программные средства преобразования ПЛСА в матричные схемы алгоритмов. Параметрическое отображение вводится в соответствующие матрицы базы данных ИМ ЭДТД [1].

На основе ОФС осуществлен синтез методики оценки качества ТД [8], методики оценки эффективности программного обеспечения средств организации ЭДТД, методики оптимизации процессов ЭДТД по приоритетным параметрам.

Для исследования эффективности ЭДТД с учетом качества ТД, качества программного обеспечения средств его организации и оптимизации процессов ЭДТД синтезировано формализованное описание всех существенных факторов, влияющих на процессы обмена технической документацией. Многоматричная модель, соответствующая синтезированной ОФС, обеспечивает оценку эффективности ЭДТД и качества ТД для различных вариантов его структурной организации.

Заключение

Для создания автоматизированных систем моделирования процессов ЭДТД и решения указанных проблем необходимо разработать:

- методики и программные средства автоматизированного получения ПЛСА на основе моделей, представленных в стандартах *IDEF*;

- методики и программные средства автоматизированного перехода от ПЛСА к многоматричной формализации процессов ЭДТД;

- методики и программные средства автоматизированного параметрического отображения операторов, логических условий ПЛСА и параметров внешней среды;

- методики и программные средства автоматизированной настройки ИМ на полу-

ченные алгоритмическое и параметрическое описание процессов ЭДТД;

- методику планирования экспериментов для количественной оценки качества организационной структуры предприятий, описанной в стандартах *IDEF0*, *IDEF1* с помощью применения матричных имитационных моделей;

- технологию сопровождения процессов ЭДТД, обеспечивающую количественную оценку качества технической документации при его организации на основе предложенной в [8] методики.

Библиографический список

1. **Матричный** метод формализации имитационных моделей сложных систем массового обслуживания / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Известия ПГУПС. – 2010. – № 4. – С. 63–74.
2. **Моделирование** систем. Инструментальные средства GPSS World / В. Д. Боев. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2004. – 368 с.
3. **Концептуальная** модель электронного документооборота технической документации / П. Е. Булавский // Транспорт Российской Федерации. – 2011 – № 1. – С. 60–63.
4. **Графовая модель** композитного документооборота / М. Ю. Круковский // Математические машины и системы. – 2005. – № 3. – С. 149–163.
5. **Организация** электронного документооборота при проектировании систем автоматики и телемеханики / М. Н. Василенко, Б. П. Денисов, П. Е. Булавский, В. Г. Трохов // Известия ПГУПС. – 2007. – № 1. – С. 16–29.
6. **Электронный** документооборот технической документации / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Автоматика, связь, информатика. – 2012. – № 2. – С. 2–5.
7. **ГОСТ Р 50.1.028–2001**. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. – Москва, 2001. – 54 с.
8. **Оценка** качества технической документации на системы ЖАТ / П. Е. Булавский // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 8. – С. 37–39.