

УДК 656.25

П. Е. Булавский, Д. С. Марков, К. И. Крючков

Петербургский государственный университет путей сообщения

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ НА ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Рассмотрено матричное представление формализованной схемы имитационной модели ЭДТД процесса выдачи ТЗ и ТУ, описанного на языке ПЛСА. Предложен метод кодирования матриц матричной имитационной модели процесса выдачи ТЗ и ТУ, позволяющий учитывать качество технической документации, участвующей в ЭДТД. Рассмотрено стратегическое и тактическое планирование серий имитационных экспериментов, обеспечивающих определение необходимого для достижения заданной погрешности количества реализаций имитационной модели. Приведено графическое представление результатов моделирования.

электронный документооборот технической документации, качество технической документации, формализованная схема, имитационное моделирование, матричная модель.

Введение

Современное развитие инфраструктуры ОАО РЖД обуславливает возрастающие потребности в модернизации и техническом перевооружении систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ), что определяет необходимость сокращения сроков их проектирования, строительства и ввода в эксплуатацию. Одним из эффективных путей решения этих задач является разработка и совершенствование системы электронного документооборота технической документации (ЭДТД).

Существенное влияние на все процессы жизненного цикла СЖАТ оказывает качество технической документации. Под качеством понимается весь объем признаков и характеристик технической документации (ТД), который относится к ее способности удовлетворять установленным требованиям [1].

Рассматривается внешнее и внутреннее качество технической документации ($K_{ТД}$). Под внешним качеством понимается способность СЖАТ, построенной на основе данной ТД, удовлетворять потребности различных пользователей. Таким образом учитывается,

что качество СЖАТ как технической системы зависит от технической документации. Внешнее $K_{ТД}$ определяется для каждого пользователя, поэтому для разных пользователей показатели качества могут различаться. Причем показатели внешнего качества обеспечиваются показателями внутреннего, а требования к внутреннему качеству определяются внешним $K_{ТД}$. В большинстве случаев приоритетным является качество выполнения основных функций СЖАТ при допустимом $K_{ТД}$ для других пользователей (например, качественное выполнение перевозочного процесса при приемлемой стоимости эксплуатации системы).

Внутреннее $K_{ТД}$ представляет собой качество с точки зрения реализации технической системы и определяет эффективность и время проектирования, проверки и обработки технической документации, количество ошибок и время их устранения в технической системе. Внутреннее качество ТД определяет критерии внешнего качества СЖАТ. Поэтому для достижения высоких показателей внешнего $K_{ТД}$ необходимо совершенствовать процессы ЭДТД для достижения высоких значений показателей внутреннего качества ТД СЖАТ.

Одним из основополагающих факторов в оценке влияния качества технических документов на характеристики ЭДТД, в первую очередь – временные, от которых существенно зависит эффективность процессов жизненного цикла СЖАТ, является создание имитационных моделей (ИМ) ЭДТД как сложных систем массового обслуживания (ССМО). Имитационное моделирование нашло широкое применение в различных направлениях железнодорожной автоматики и телемеханики [2], [3], в том числе в системах электронного документооборота [4].

В данной статье на основе матричного метода формализации ИМ ССМО [4] предложена имитационная модель алгоритма выдачи технических заданий (ТЗ) и технических условий (ТУ) в среде GPSS World [5]. В качестве основы моделирования и анализа результатов была использована методика количественной оценки качества технической документации [1].

1 Формализованная схема алгоритма выдачи ТЗ и ТУ

На основе анализа технологических цепочек ЭДТД [4] получен алгоритм выдачи ТЗ и ТУ, формализованное описание которого на языке параллельных логических схем алгоритмов (ПЛСА) имеет следующий вид:

$$A_{\text{ТЗТУ}} = V_n \downarrow^1 V_1 \alpha_1 \uparrow^1 V_2 V_3 V_4 \downarrow^2 V_5 \alpha_2 \uparrow^2 V_6 \downarrow^3 V_7 K \alpha_3 \uparrow^3 V_8 \downarrow^4 V_9 \tau_1 \alpha_3 \uparrow^4 \downarrow^7 V_{13} \downarrow^5 V_{14} \tau_2 \alpha_3 \uparrow^5 \downarrow^6 V_{10} \alpha_4 \uparrow^6 V_{11} V_{12} \Pi V_{15} \alpha_5 \uparrow^7 V_{16} V_K,$$

где V_1 – подача запроса на выдачу ТЗ и ТУ;
 V_2 – регистрация запроса в аппарате главного инженера;

V_3 – передача запроса в службу технической политики;

V_4 – передача запроса функциональному заказчику (служба, дирекция);

V_5 – передача запроса причастным службам и дирекциям (службам пути, электрификации и электроснабжения, локомотивного хозяйства, грузовой и коммерческой работы, перевозок);

V_6 – рассмотрение запроса причастными службами и дирекциями (выезд комиссии);

V_7 – формирование ТЗ и ТУ;

V_8 – передача ТЗ и ТУ функциональному заказчику;

V_9 – рассмотрение ТЗ и ТУ функциональным заказчиком;

V_{10} – передача ТЗ и ТУ в аппарат главного инженера;

V_{11} – регистрация ТЗ и ТУ в аппарате главного инженера;

V_{12} – рассмотрение ТЗ и ТУ главным инженером;

V_{13} – передача ТЗ и ТУ в службу технической политики;

V_{14} – рассмотрение ТЗ и ТУ в службе технической политики;

V_{15} – утверждение ТЗ и ТУ у главного инженера;

V_{16} – выдача ТЗ и ТУ проектной организации, ДКРС, ДКСС.

Множество $A = \{\alpha_k\}, k = \overline{1,5}$, включает следующие логические условия:

$$\alpha_1 = \begin{cases} 1 - \text{функциональный заказчик определен;} \\ 0 - \text{не определен;} \end{cases}$$

$$\alpha_2 = \begin{cases} 1 - \text{запрос передан всем причастным службам;} \\ 0 - \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$\alpha_3 = \begin{cases} 1 - \text{срок рассмотрения закончился;} \\ 0 - \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$\alpha_4 = \begin{cases} 1 - \text{оплата произведена;} \\ 0 - \text{в противном случае;} \end{cases}$$

$$\alpha_5 = \begin{cases} 1 - \text{ТЗ ТУ утверждены;} \\ 0 - \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Реализацию операций алгоритма $A_{\text{ТЗТУ}}$ осуществляют следующие структурные подразделения и организации:

U_1 – проектные организации;

U_2 – аппарат главного инженера;

U_3 – служба технической политики;

$U_4(U_{41} - U_{4n})$ – причастные к ЭДТД службы и дирекции дороги;

U_5 – функциональный заказчик.

Выделенным структурным подразделениям поставлены в соответствие выполняемые ими подмножества операторов V алгоритма $A_{ТЗТУ}$:

$U_1 \Rightarrow \{V_1\}$;

$U_2 \Rightarrow \{V_2, V_3, V_{11}, V_{12}, V_{13}\}$;

$U_3 \Rightarrow \{V_4, V_5, V_{14}, V_{15}, V_{16}\}$;

$U_4 \Rightarrow \{V_6, V_7, V_8\}$;

$U_5 \Rightarrow \{V_9, V_{10}\}$.

Для учета $K_{ТД}$, участвующих в электронном документообороте ТД, использованы следующие операции и логические условия:

τ_1, τ_2 – операции, длительность которых зависит от качества ТД;

K – операции, порождающие качество ТД с заданной вероятностью;

Π – операции, повышающие качество ТД;

α_3, α_5 – вероятностные логические условия, вероятность выполнения которых зависит от качества ТД.

Качество технической документации может изменяться в зависимости от воздействия, оказываемого на него соответствующими операциями обработки. В предлагаемом формализованном на ПЛСА алгоритме, при выполнении операции V_{12} (рассмотрение ТЗ и ТУ в аппарате главного инженера), $K_{ТД}$ повышается на заданную величину. То есть можно говорить о том, что при выполнении данной операции вносятся необходимые исправления, за счет чего общее значение $K_{ТД}$ повышается, что приводит к изменению значений вероятностей вероятностных логических условий $\alpha_3, \alpha_5 A_{ТЗТУ}$.

2 Матричная имитационная модель процесса выдачи ТЗ и ТУ

В [4] предложен матричный метод формализации ИМ ЭДТД как ССМО, обеспечивающий независимость моделирующего алгоритма от моделируемых процессов. Ме-

тод реализован в программной среде GPSS WORLD посредством обработки матричной модели ССМО ЭДТД (ММ ССМО).

Настройка ММ ССМО для имитационного исследования процесса выдачи ТЗ и ТУ осуществляется в соответствии с предложенной формализованной схемой. Методика настройки ММ ССМО включает выполнение последовательности определенных процедур [4].

1. Кодирование операций $A_{ТЗТУ}$ присвоением последовательности чисел (V_1 – «1», V_2 – «2», ..., V_{16} – «16»).

2. Кодирование вспомогательных начального V_n и конечного V_k операторов присвоением кодов «999» и «3999» соответственно.

3. Структурные подразделения, выполняющие процессы ЭДТД, представляются в ММ ССМО обслуживающими устройствами и кодируются последовательностью чисел (U_1 – «1», U_2 – «2», ..., U_5 – «5»).

4. Вероятностные логические условия $\alpha_1, \dots, \alpha_5$ описываются двумя булевыми функциями вида

2 B VARIABLE P30 "E" 1

3 B VARIABLE P30 "E" 0

и матрицей $MX\$VER$, содержащей значения вероятностей для $\alpha_1, \dots, \alpha_5$. На основании этих вероятностей осуществляется «розыгрыш» условий, с присвоением параметру P30 значения «1» при положительном и «0» при отрицательном результате. Для условий α_3, α_5 значения вероятностей в соответствующих строках матрицы $MX\$VER$ меняются в соответствии со значениями $K_{ТД}$.

5. Кодирование основной настроечной матрицы $MX\$AOZ$. Для кодирования $MX\$AOZ$ ПЛСА преобразуется в матричную схему алгоритма [4].

$MX\$AOZ$ заполняется по следующим правилам. Первая строка содержит коды операций 1...16 и код конечного оператора «3999», причем кодирование начинается со второго столбца. Первая строка содержит коды обслуживающих устройств 1...5, записываемые в тех столбцах, где находятся коды выполняемых ими операций (в первой строке) в соответствии с формализованной схемой. Первый столбец содержит коды начального

оператора V_n – «999» и операций 1...16. Кодировка столбца начинается с третьей строки. Элементами матрицы являются: «1» – при безусловном переходе, «2» – при переходе по единичному значению α , «3» – при переходе по нулевому значению α , где «2» и «3» – коды булевых функций.

Полученная в результате произведенного кодирования матрица MX\$AOZ представляется в виде таблицы (табл. 1).

6. Заполняется матрица MX\$VER, которая имеет такое же количество строк, как и MX\$AOZ. В столбцах матрицы записываются значения вероятностей, соответствующих вероятностным логическим условиям $\alpha_1 \dots \alpha_5$, имеющимся в данной строке MX\$AOZ.

7. MX\$TIME. В данную матрицу записываются значения времени выполнения работы операторов ПЛСА и соответствующие им значения разброса временных параметров.

В зависимости от $K_{ТД}$ могут происходить изменения значений τ_1 и τ_2 операторов V_9 и V_{14} .

Таким образом, в результате выполненных процедур получена имитационная модель, позволяющая перейти к этапам планирования имитационных экспериментов.

3 Планирование имитационного исследования ЭДТД

Целью исследования одного из важнейших процессов ЭДТД СЖАТ – процесса выдачи ТЗ, ТУ – является определение его эффективности, а именно зависимости вида

$$\hat{T}_{A_{ТЗТУ}} = W(K_{ТД}), \quad (1)$$

где $\hat{T}_{A_{ТЗТУ}}$ – оценка математического ожидания времени выполнения $A_{ТЗТУ}$;

ТАБЛИЦА 1. Кодированная матрица MX\$AOZ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	3999
	1	2	2	3	3	4	4	4	5	5	2	2	2	3	3	3	
999	1																
1	3	2															
2			1														
3				1													
4					1												
5					3	2											
6							1										
7							3	2									
8									1								
9									3				2				
10										3	2						
11												1					
12															1		
13														1			
14										2				3			
15													3			2	
16																	1

$K_{\text{ТД}}$ – качество технической документации, выраженное в процентах;

W – функционал, реализуемый предложенной имитационной моделью.

3.1 Стратегическое планирование

Получение зависимости (1) предполагает проведение серии имитационных экспериментов (СИЭ), в каждом из которых определяется точечная оценка $\hat{T}_{\text{АТЗТУ}}$ при заданном исходном $K_{\text{ТД}}$.

При этом учитывается:

- изменение времени выполнения операций V_9, V_{14} в зависимости от величины $K_{\text{ТД}}$;
- изменение значений вероятностей вероятностных логических условий α_3, α_5 в зависимости от величины $K_{\text{ТД}}$;
- изменение $K_{\text{ТД}}$ при выполнении операций типа K .

3.2 Исходные условия

1. Имитационная модель ММ ССМО, настроенная на моделирование $A_{\text{ТЗТУ}}$

2. Диапазон изменения значений $K_{\text{ТД}}$ в СИЭ принимается 30...80%.

3. Время выполнения операций имеет следующую зависимость: τ при $K_{\text{ТД}} > 50\%$; $1,5\tau$ при $K_{\text{ТД}} > 40\%$; 2τ при $K_{\text{ТД}} > 30\%$.

4. Изменение $K_{\text{ТД}} - \Delta K_{\text{ТД}}$ в процессе моделирования осуществляется на 4% при выполнении операций V_{12} .

5. Значения вероятностей вероятностных логических условий α_3, α_5 имеют следующую зависимость от $K_{\text{ТД}}$:

$$\alpha = \begin{cases} 1 - p = 0,1 \\ 0 - p = 0,9 \end{cases} \text{ при } K_{\text{ТД}} < 35\%;$$

$$\alpha = \begin{cases} 1 - p = 0,3 \\ 0 - p = 0,7 \end{cases} \text{ при } K_{\text{ТД}} < 40\%;$$

$$\alpha = \begin{cases} 1 - p = 0,5 \\ 0 - p = 0,5 \end{cases} \text{ при } K_{\text{ТД}} < 50\%;$$

$$\alpha = \begin{cases} 1 - p = 0,8 \\ 0 - p = 0,2 \end{cases} \text{ при } K_{\text{ТД}} > 50\%.$$

Приведенные количественные значения для $\alpha_3, \alpha_5, \tau, \Delta K_{\text{ТД}}$ получены экспертным путем и подтверждены натурными наблюдениями.

3.3 Tактическое планирование

Задачей тактического планирования СИЭ является определение вида и последовательности проведения ИЭ с конкретными данными для решения задач, сформулированных на этапе стратегического планирования.

На первом этапе исследования проводится оценка достаточного для получения требуемой точности значения $\hat{T}_{\text{АТЗТУ}}$ количества реализаций N в каждом ИЭ. Примем допустимую статистическую погрешность $\Pi_{\hat{T}_{\text{АТЗТУ}}} \leq 1\%$, причем:

$$\Pi_{\hat{T}_{\text{АТЗТУ}}} = \frac{|\hat{T}_{\text{АТЗТУ}}^{\text{СХ}} - \hat{T}_{\text{АТЗТУ}}^{\text{ИЭ}}|}{\hat{T}_{\text{АТЗТУ}}^{\text{СХ}}} \times 100,$$

где $\hat{T}_{\text{АТЗТУ}}^{\text{СХ}}$ – значение, достигнутое при $N \rightarrow \infty$;

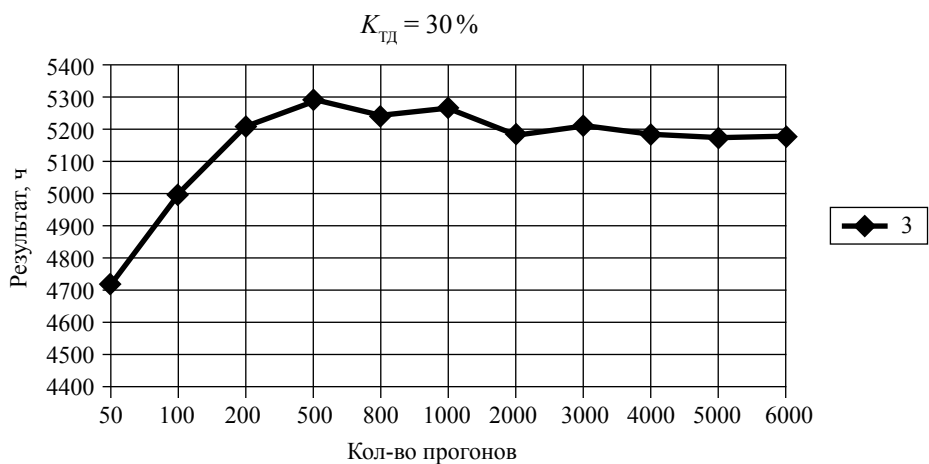
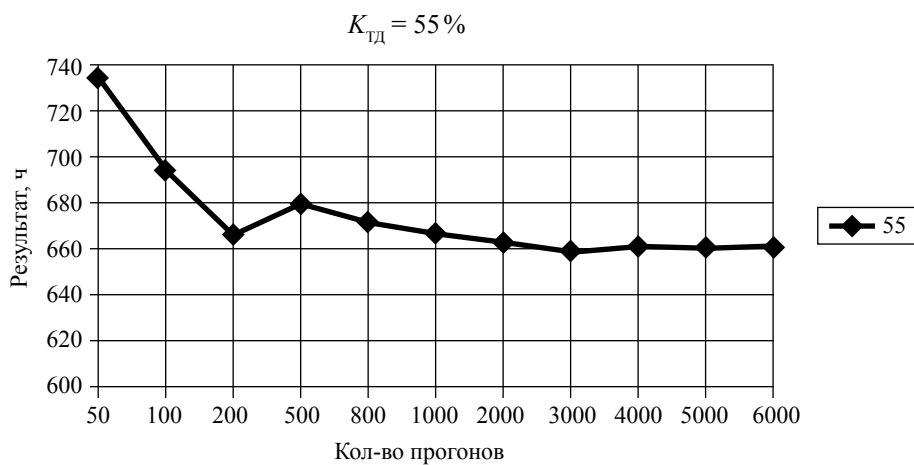
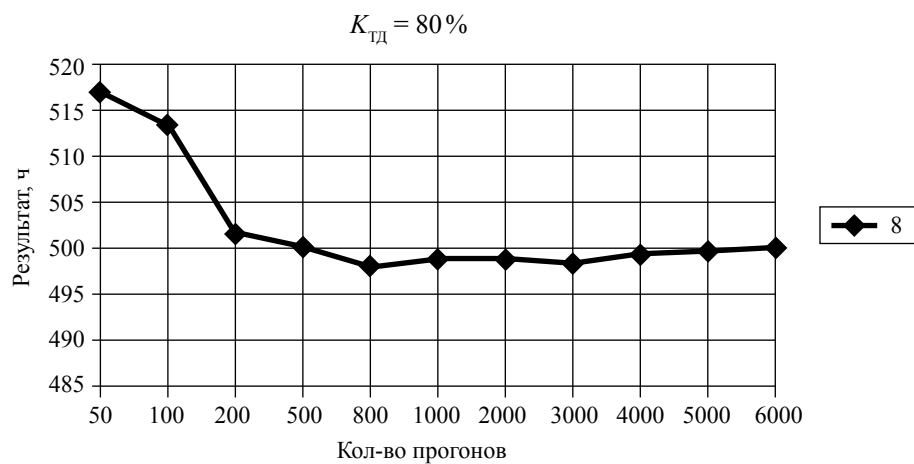
$\hat{T}_{\text{АТЗТУ}}^{\text{ИЭ}}$ – значение в данном ИЭ при данном N .

Определение достаточного количества реализаций ИМ осуществляется по результатам проведенных вспомогательных серий имитационных экспериментов на основе анализа сходимости величины $\hat{T}_{\text{АТЗТУ}} = f(N)$.

Для получения объективного значения N проведены три вспомогательные СИЭ при трех значениях $K_{\text{ТД}}$ из диапазона 30...80%, а именно 30, 55 и 80%. Выбор крайних и средней точек диапазона изменений $K_{\text{ТД}}$ позволяет учесть возможные нелинейности процесса выполнения $A_{\text{ТЗТУ}}$.

Для заданных значений $K_{\text{ТД}}$ при выполнении исходных условий были проведены три СИЭ в диапазоне значений $N = 50...6000$. Результаты – графические представления $\hat{T}_{\text{АТЗТУ}} = f(N)$ при $K_{\text{ТД}} = 30, 55, 80\%$ – приведены на рисунках 1–3 соответственно.

Анализ приведенных графиков на достигнутую погрешность $\Pi_{\hat{T}_{\text{АТЗТУ}}} \leq 1\%$ позволяет сделать вывод о достаточном количестве реализаций $N = 1000$. В связи с этим все экс-

Рис. 1. Время выполнения процессов ЭДТД при $K_{\text{ГД}} 30\%$ Рис. 2. Время выполнения процессов ЭДТД при $K_{\text{ГД}} 55\%$ Рис. 3. Время выполнения процессов ЭДТД при $K_{\text{ГД}} 80\%$

перименты основной СИЭ для получения зависимости $\hat{T}_{A_{ТЗТУ}} = W(K_{ТД})$ реализованы при $N = 1000$.

Заключение

Таким образом, в результате проведенной серии ИЭ получено множество точек $\{\hat{T}_{A_{ТЗТУ}i}; K_{ТД}i\}$, $i = \overline{1,26}$, по которым построен график $\hat{T}_{A_{ТЗТУ}} = W(K_{ТД})$ в заданном диапазоне значений $K_{ТД}$ (рис. 4).

График отражает динамику уменьшения времени прохождения заявки $A_{ТЗТУ}$ при повышении $K_{ТД}$. Качественный анализ количественных оценок результатов моделирования позволяет определять влияние $K_{ТД}$ на время ЭДТД. На графике, представленном на рисунке 4, видно, что при значениях качества ТД менее 40% сроки обработки, утверждения и согласования ТД существенно возрастают, что позволяет сделать вывод о недопустимости использования в ЭДТД технической документации, имеющей значения исходного качества менее 40%. При повышении $K_{ТД}$ с 45 до 75% сроки обработки ТД сокращаются с 6 до 2,5 месяцев. Поэтому для сокращения сроков обработки технической документации необходимо повышать

наиболее существенные показатели качества ТД [1] до достижения значений внутреннего качества ТД 70–75%.

На основе анализа результатов моделирования и структуры формализованной схемы алгоритма $A_{ТЗТУ}$ предложены меры по повышению эффективности рассмотрения запросов, выдачи технических заданий, технических условий, согласованию проектной и рабочей документации, контролю за сроками обеспечения объектов проектно-сметной документацией, контролю за сроками рассмотрения, согласования и передачи заказчику технической документации по объектам капитального ремонта, модернизации и реконструкции, функциональными заказчиками которых являются службы и дирекции.

Анализ операций, выполняемых при реализации алгоритма $A_{ТЗТУ}$ и влияния $K_{ТД}$ на время их выполнения позволил сделать вывод о необходимости модификации алгоритма с целью обеспечения:

- автоматизированного ввода и контроля в электронном виде запросов на выдачу технических заданий, технических условий, проектной документации;
- автоматизированного контроля в электронном виде сроков выдачи технических заданий, технических условий, сроков раз-

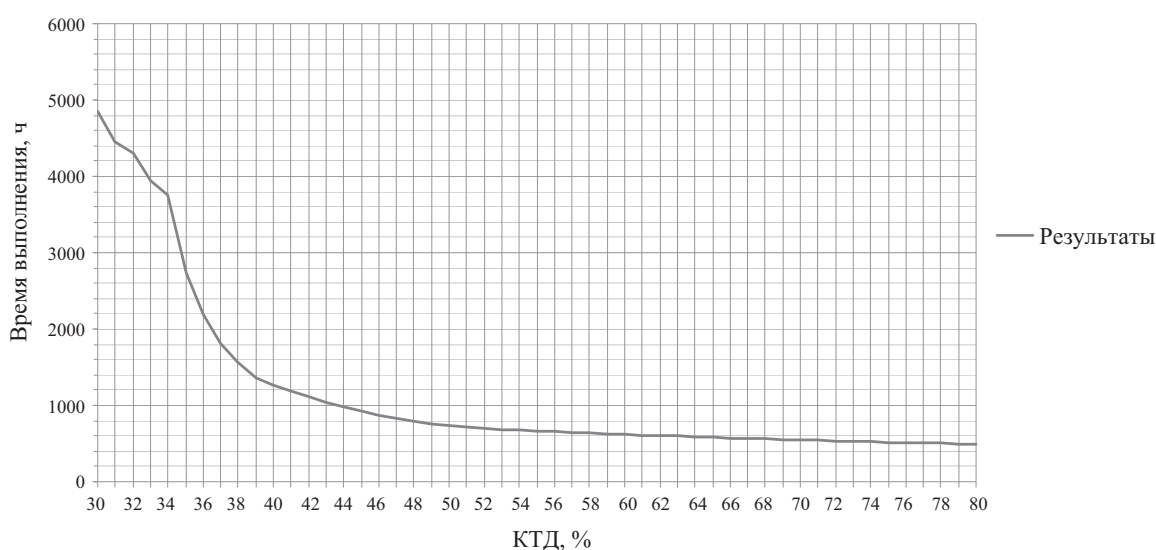


Рис. 4. Зависимости времени выполнения ЭДТД от качества технической документации

работки, согласования и утверждения проектной документации;

– получения справочной информации по обработке запросов на выдачу технических заданий, технических условий, согласовании проектной документации;

– повышения качества и ускорения процессов информационного обмена между аппаратом главного инженера, заказчиками, отделениями, службами, дирекциями и проектными организациями;

– исключения ошибок при передаче и рассмотрении запросов, выдаче технических заданий, технических условий, согласованию проектной документации;

– высокого качества учета выполненных запросов;

– ускорения процессов поиска, обработки и выдачи копий технических заданий и технических условий, отчетов о выполнении запросов и согласовании проектной документации;

– унификации ТУ для однотипных объектов.

Таким образом, применение матричных имитационных моделей как инструмента анализа работы сложных систем ЭДТД железнодорожной автоматики и телемеханики существенно повышает эффективность моделирования, т. к. обеспечивает адаптацию ИМ к изменяющимся процессам ЭДТД посредством кодирования матриц, что значительно сокращает время моделирования и позволяет давать количественные оценки

модифицируемым при разработке и модернизации процессам ЭДТД.

Библиографический список

1. **Оценка** качества технической документации на системы ЖАТ / П. Е. Булавский // Автоматика, связь, информатика. – 2011. – № 8. – С. 37–39.

2. **Применение** комплекса базовых имитационных моделей для решения задач обеспечения надежности и безопасности систем железнодорожного транспорта / М. Н. Василенко, Д. С. Марков, Н. И. Рубинштейн // Материалы Всесоюз. конф. «Моделирование систем и процессов управления на транспорте». – М. : ВНИИЖТ, 1991. – С. 76–79.

3. **Имитационное** моделирование АСУ технологическими процессами на железнодорожном транспорте / М. Н. Василенко, А. В. Грищенко, Д. С. Марков // Материалы научно-техн. конф. «Пути повышения эффективности использования подвижного состава» – Гомель : БелИИЖТ, 1983. – С. 52–53.

4. **Матричный метод** формализации имитационных моделей сложных систем массового обслуживания / П. Е. Булавский, Д. С. Марков // Известия ПГУПС. – 2010. – Вып. № 4. – С. 186–195.

5. **GPSS WORLD** Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. – М. : ДМК Пресс. – 2004. – 317 с.

6. **Синтез** управляющих автоматов / В. Г. Лазарев, Е. И. Пийль. – М. : Энергия, 1978. – 408 с.

УДК 656.25

П. Е. Булавский, С. Б. Мухамедходжаев

Петербургский государственный университет путей сообщения

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПИСАНИЯ СХЕМАТИЧЕСКИХ ПЛАНОВ СТАНЦИЙ С ПОМОЩЬЮ АТРИБУТНОЙ ГРАММАТИКИ

Предложен подход к автоматизации описания схематических планов станций с помощью атрибутивной грамматики, позволяющий формализовать проверку корректности всех типов технической документации, участвующих в электронном документообороте. Определено соответствие элементов и атрибутов элементов схематических планов станций, представленных в отраслевом