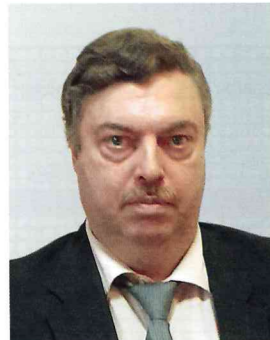


# ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ДЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА



**КУДАШЕВ**  
Илья Эдуардович,  
ОАО «Ленметрогипротранс»,  
отдел электротехнических  
систем, инженер, Россия,  
Санкт-Петербург



**БУЛАВСКИЙ**  
Петр Евгеньевич,  
Петербургский государственный  
университет путей сообщения  
Императора Александра I,  
кафедра «Автоматика и  
телемеханика на железных  
дорогах», профессор, д-р техн.  
наук, Россия, Санкт-Петербург



**ВАЙСОВ**  
Олег Кахрамонович,  
Петербургский государственный  
университет путей сообщения  
Императора Александра I,  
кафедра «Автоматика и  
телемеханика на железных  
дорогах», аспирант, Россия,  
Санкт-Петербург



**ПЕНТЕГОВ**  
Дмитрий Александрович,  
ОАО «Ленметрогипротранс»,  
отдел электротехнических  
систем, заместитель  
начальника, Россия,  
Санкт-Петербург

**Ключевые слова:** проектирование устройств автоматики и телемеханики для метрополитена, формализация процесса проектирования, параллельные логические схемы алгоритмов (ПЛСА), имитационное моделирование, технологические карты

**Аннотация.** Приведен анализ множества реальных технологических карт, формализован процесс и показаны особенности проектирования устройств автоматики и телемеханики для метрополитена. Представлен граф, описывающий создание технической документации для стадии «рабочая документация», а также выполнена формализация построения алгоритмов, входящих в граф. Для дальнейшей автоматизации, имитационного моделирования, оценки времени выполнения и качества реальных процессов проектирования проведен синтез моделирующего алгоритма с помощью параллельных логических схем алгоритмов.

■ В последние годы вопросы эффективного управления процессами проектирования сложных автоматизированных технологических комплексов (АТК) становятся особенно актуальными в связи с ростом городов и, как следствие, необходимостью увеличения темпов строительства объектов инфраструктуры, в том числе метрополитена. При заключении контрактов заказчик отдает предпочтение тем компаниям, которые при равных показателях

опыта выполнения проектных работ, реализуют поставленную задачу в кратчайшие сроки и с наилучшим качеством.

Разработка полного комплекта проектной и рабочей документации для нового объекта представляет собой самый сложный технологический процесс со множеством участников и малой типизацией. Особенно стоит отметить такой сложный раздел инженерных систем, как «Автоматика движения поездов». Он характеризуется

наличием наукоемких, нетиповых процессов, среди которых: расчеты пропускной способности линии, разработка принципиальных схем сборной и исполнительной группы маршрутно-релейной централизации, схем светофоров, различных вариантов рельсовых цепей и др. В связи с этим, вопросы повышения эффективности процессов проектирования и повышения качества проектной документации для метрополитена стоят на данный момент наиболее

остро и определяют конкурентное преимущество проектных организаций.

Большинство технологических карт, описывающих процессы проектирования, были составлены еще в прошлом столетии. Они не учитывают современные возможности электронного документооборота и систем автоматизированного проектирования (САПР), а также требуют выявления технологических неточностей путем визуализации с помощью методологий представления бизнес-процессов [1]. Таким образом, для повышения конкурентоспособности организаций, занимающихся разработкой технических документов, становится очевидной необходимость формализации существующих процессов проектирования с целью дальнейшей автоматизации, имитационного моделирования, анализа и повышения эффективности.

В соответствии со стандартом ISO серии 9001:2015 для повышения качества выпускаемой продукции предприятиям необходимо применять процессный подход к менеджменту, анализируя при этом как качество самого процесса производства, так и продукции [2].

Вопросы моделирования АТК, а также оценки эффективности процессов создания проектной документации, использования для этого информационных систем поднимаются в исследованиях не первый год. В работах [3, 4] обоснована важность процессного подхода при проектировании сложных технических систем на основе системы менеджмента качества, где качество выпускаемой продукции имеет ключевую стратегическую цель и главный фактор конкурентоспособности. Подчеркивается необходимость анализа функционирования процессов внутри организации с четким позиционированием контрольных точек в конце каждого алгоритма функционирования.

Вопросы формализации процессов проектирования и эксплуатации микропроцессорных систем железнодорожной автоматики и оценки их технологической эффективности, а также показателей трудоемкости и стоимости работ представлены в [5, 6].

В [7] рассматривается применение системы электронного документооборота как средства реализации информационного обеспечения процессного подхода в рамках функционирования всего жизненного цикла устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, а также принцип и преимущества формализации процессов с помощью параллельных логических схем алгоритмов (ПЛСА).

В рамках процессного подхода наиболее важными показателями при разработке проектной документации для систем автоматики и телемеханики должны оставаться показатели надежности и безопасности. В работе [8] дается определение качеству технической документации, классификация, а также количественный метод оценки через использование отраслевого формата технической документации (ОФ-ТД).

Несмотря на довольно объемные исследования процессов всех этапов жизненного цикла устройств железнодорожной автоматики, особенности применения процессного подхода при проектировании устройств автоматики для метрополитена остаются нераскрытыми. Следовательно, необходимо формализовать процесс проектирования с учетом особенностей и требований метрополитена для дальнейшего анализа и реинжиниринга.

■ Согласно Постановлению Правительства РФ № 87 [9] (далее постановление) проектная документация на такой линейный объект как метрополитен должна состоять из 10 разделов, в которых отражены все технические аспекты проектируемого объекта. Основные технические решения на системы автоматики и телемеханики предусматриваются в разделе 3: «Технологические и конструктивные решения линейного объекта. Искусственные сооружения». Постановление предусматривает две стадии проектирования (проектная и рабочая документация), которые для процесса проектирования систем автоматики и телемеханики отличаются друг от друга глубиной проработки.

В соответствии с п.3 общих положений постановления проектная документация должна состоять из текстовой и графической части. Стадия «рабочая

документация» отличается более детальной проработкой и должна отражать реализацию в ходе строительства основных технических решений, принятых на стадии «проектная документация». В связи с большей сложностью разработки именно рабочей документации целесообразно рассмотреть именно процесс рабочего проектирования.

Сегодня процессы проектирования в некоторых проектных организациях (отделах) формализуются в виде технологических карт, в которых отражена последовательность выполнения операций и временные характеристики. Завершением очередного процесса проектирования является выдача задания в смежный отдел.

Для работ по автоматизации и имитационному моделированию первостепенной задачей является описание алгоритма разработки и взаимодействия в целом, а также представления его в наглядном виде, позволяющем оптимизировать процессы. Для этой цели необходимо произвести анализ технологических карт.

Технологическая карта (ТК) представляет собой документ, отражающий последовательность функционирования проектного предприятия при разработке той или иной системы. За контрольные точки принимаются моменты выдачи производственных заданий из отдела в отдел. Основными недостатками ТК являются: малая информативность; отсутствие детализации процесса внутри структурного подразделения; технические документы рассматриваются лишь как приложения к заданиям между отделами; невозможность видеть процесс в целом; отсутствие возможности визуализации и анализа вносимых в процессы изменений.

Для объединения данных из ТК в единую структуру произведен анализ ТК предприятия и составлена сводная таблица, отражающая влияние процессов на разработку документации по маркам чертежей АДП (автоматика движения поездов) и РЭП (резервированное электропитание). Фрагмент этой таблицы приведен в табл. 1.

На основании сводной таблицы построен граф проектирования устройств автоматики и телеме-



ханики (см. рисунок). Каждый из процессов создания проектной продукции представлен кругом – процессом.

На момент начала разработки основного комплекта рабочих чертежей должно быть получено положительное заключение Государственной экспертизы, подтверждающее соответствие принятых технических решений заданию на разработку проектной документации и техническим условиям службы СЦБ на проектирование устройств АТДП.

Процесс рабочего проектирования начинается с составления главным инженером проекта (ГИП) рабочего графика проектирования (РГП), где планируется выполнение всех разделов и этапы выдачи промежуточных результатов из отдела в отдел. Процесс передачи осуществляется по форме «задания» из отдела в отдел, которое визирует ГИП, фиксируя завершение промежуточного этапа. На рисунке процесс разработки РГП представлен кругом – процессом V1.

Выполнение марок основных комплектов рабочих чертежей АДП и РЭП можно разделить на несколько этапов.

Выполнение расчетов пропускной способности перегонов и расстановка сигнальных точек АРС

Таблица 1

Процесс	Описание процесса	Результат процесса для отдела автоматики	Владелец процесса	Длительность, дней
V10	Согласование планировочных решений, разработанных на стадии «проектная документация», для рабочего проектирования.	Инженеры отдела автоматики оценивают изменения, произошедшие с помещениями релейной АТДП и электроцифровой ИБП на этапе «рабочая документация», а также проверяют площади на соответствие техническим условиям (ТУ).	Отдел автоматики	15

(РПС). На данном этапе актуализируются расчеты, выполненные на стадии «проектная документация» с учетом замечаний, возникших на этапе прохождения Государственной экспертизы. Одной из отличительных особенностей выполнения РПС в условиях метрополитена на стадии «рабочая документация» (из-за различий фактического плана и профиля пути от проектных решений) является перерасчет по факту проходки тоннелепроходческого щита.

На рисунке выполнение комплекта РПС представлено процессами V18, V20. Этот этап заключается в построении кривой скорости и выборе режима тяги для оптимального проследования перегонов. Согласно пороговым скоростям (в соответствии с выбранной системой) рассчитываются длины

тормозных путей. В соответствии с СП 120.13330.2012 [10] при расчетах должны закладываться запасы времени на восприятие кодового сигнала составом и машинистом. Графики зависимости времени от расстояния T(s) на перегонах выполнены для головы и хвоста 1-го поезда и головы 2-го поезда. С учетом максимальных значений кривой скорости и интервала попутного следования осуществляется актуализация сигнальных точек АРС на перегоне, границ рельсовых цепей (взяты со стадии «проектная документация»).

Создание исходных данных для РПС смежными отделами на рисунке представлено следующими процессами:

актуализация инженерной схемы сооружений (процессы V5, V7, V8);

разработка комплекта чертежей «Трасса линии» (процессы V3, V12, V14–V16);

актуализация эксплуатационной схемы пускового участка (процессы V4, V9);

разработка схемы расположения зеркал обратного вида (процессы V2, V13);

определение мест разрыва контактного рельса на перегоне (процесс V17).

Выполнение принципиальных и монтажных схем основного комплекта рабочих чертежей. Основные технические решения были приняты на стадии «проектная документация». На стадии «рабочая документация» они актуализируются, а также разрабатывается полностью вся рабочая и монтажная документация в объеме, необходимом для реализации технических решений в ходе строительства [9]. По итогам РПС актуализируются схематический план станции и таблица взаимозависимости стрелок, сигналов и маршрутов, кабельный план (процесс V23). Также разрабатывается весь основной комплект рабочих чертежей (процесс V24).

Создание исходных данных для основного комплекта на рисунке представлено следующими процессами:

РПС, выполненное на предыдущем этапе (V18);

актуализированные объемно-планировочные решения (V6, V10, V11);

поперечные сечения тоннелей с габаритом и верхним строением пути (V19).

В сравнении с железнодорожным транспортом проектирование для метрополитена имеет специфические особенности увязки между инженерными системами. Практически каждый м<sup>2</sup> тоннеля и станции отведен

под определенные цели, что требует тщательной проработки отдельных участков, камер съездов, пунктов технического обслуживания, кабельных сбоек во всех проекциях (процессы V21, V22, V24). При этом материалы проработки не входят в основной комплект рабочих чертежей, но их выполнение занимает большой промежуток времени.

Выполнение комплектов диспетчерской централизации и контроля. В ходе разработки принципиальных схем кнопочных и исполнительных реле ЭЦ, светофоров, рельсовых цепей, увязки, стрелок определяется перечень сигналов телесигнализации (ТС) и телеуправления (ТУ), которые необходимы и достаточны для удаленного управления станцией и контроля за движением поездов (процесс V26), а также перечень сигналов о техническом состоянии устройств (V33).

Разработка комплекта резервированного электропитания (РЭП). Этот этап на рисунке представлен процессами V37, V38.

Наиболее наглядным методом изучения и анализа существующего процесса проектирования является имитационное моделирование. В работе [11] рассмотрены основные преимущества структурно-алгоритмического способа формализации АТК с целью дальнейшей реализации в среде моделирования.

Язык описания конечных автоматов с возможностью распараллеливания (ПЛСА) цепочек алгоритмов позволяет выразить процесс проектирования строчной записью. При этом явно видна вся структура последовательной работы процессов, представленных на рисунке. Каждый элементарный процесс заканчивается элементарным логическим условием,

при истинности которого алгоритм продолжается, при ложности – элементарный процесс выполняется повторно.

На основании методологии и алфавита описания, предложенных в [7], для формализации схемы процесса проектирования раздела АДП станции с путевым развитием используем:

$V_i$  – элементарное действие (операция) над техническим документом из множества  $D$ .  $V = \{V_i\}$ ,  $i = 1, m$  – совокупность всех элементарных операций в процессе проектирования;

$\alpha_k \cdot \uparrow^p$  – бинарное логическое условие,  $k = 1$ . Обозначение  $\uparrow^p$  после  $\alpha_k$  означает переход (в случае, если  $\alpha_k = «0»$ ) к обозначению  $\uparrow^p$ , где  $p = 1, n$  – количество условных переходов, принимает значение «0» и «1».

Для каждого из процессов определено конечное условие, которым он будет заканчиваться. Составлена таблица условий переходов, фрагмент которой представлен в табл. 2.

К примеру, процесс разработки ГИПом рабочего графика проектирования формализуется как  $\downarrow_1 V_1 \cdot \alpha_1 \uparrow_1$ .

Затем, введя операторы параллельности в соответствии с [12], получена формализованная запись процесса разработки и согласования РПС:

$$\begin{aligned}
 & \Pi_1 = \\
 & \downarrow_1 V_1 \alpha_1 \uparrow^1 R_1 \omega \rightarrow^{36} \downarrow^{36} V_2 \alpha_2 \uparrow^2 x \\
 & x \downarrow^{13} V_{13} \alpha_{13} \uparrow^{13} \omega \leftarrow^{43} \rightarrow^{36} \downarrow^{36} V_3 \alpha_3 \uparrow^3 x \\
 & x \downarrow^{12} V_{12} \alpha_{12} \uparrow^{12} \downarrow_{14} V_{14} \alpha_{14} \uparrow^{14} \downarrow_{15} V_{15} x \\
 & x \alpha_{15} \uparrow^{15} \downarrow_{16} V_{16} \alpha_{16} \uparrow^{16} \omega \leftarrow^{43} \rightarrow^{36} \downarrow_{17} V_{17} x \\
 & x \alpha_4 \uparrow^4 \downarrow_{18} V_{18} \alpha_{18} \uparrow^{18} \omega \leftarrow^{43} \rightarrow^{36} \downarrow_{19} V_{19} x \\
 & x \downarrow_{20} V_{20} \alpha_{20} \uparrow^{20} \omega \leftarrow^{43} \rightarrow^{36} \downarrow_{21} V_{21} x \\
 & x \alpha_{17} \uparrow^{17} \downarrow_{18} V_{18} \alpha_{18} \uparrow^{18} \downarrow_{20} V_{20} \alpha_{20} \uparrow^{20} x \\
 & x \downarrow_{29} V_{29} \alpha_{29} \uparrow^{29} \downarrow_{36} V_{36} \alpha_{36} \uparrow^{36}
 \end{aligned}$$

Знак x является знаком переноса строчки.

Имея алгоритм, выраженный с помощью ПЛСА, можно произвести анализ эффективности процесса выполнения и качества технической документации следующими методами:

смоделировать алгоритм с помощью языка моделирования GPSS и определить временные характеристики каждого процесса, получив, таким образом, динамическое визуальное отражение технологических карт в соответствии с [1];

проанализировать и классифи-

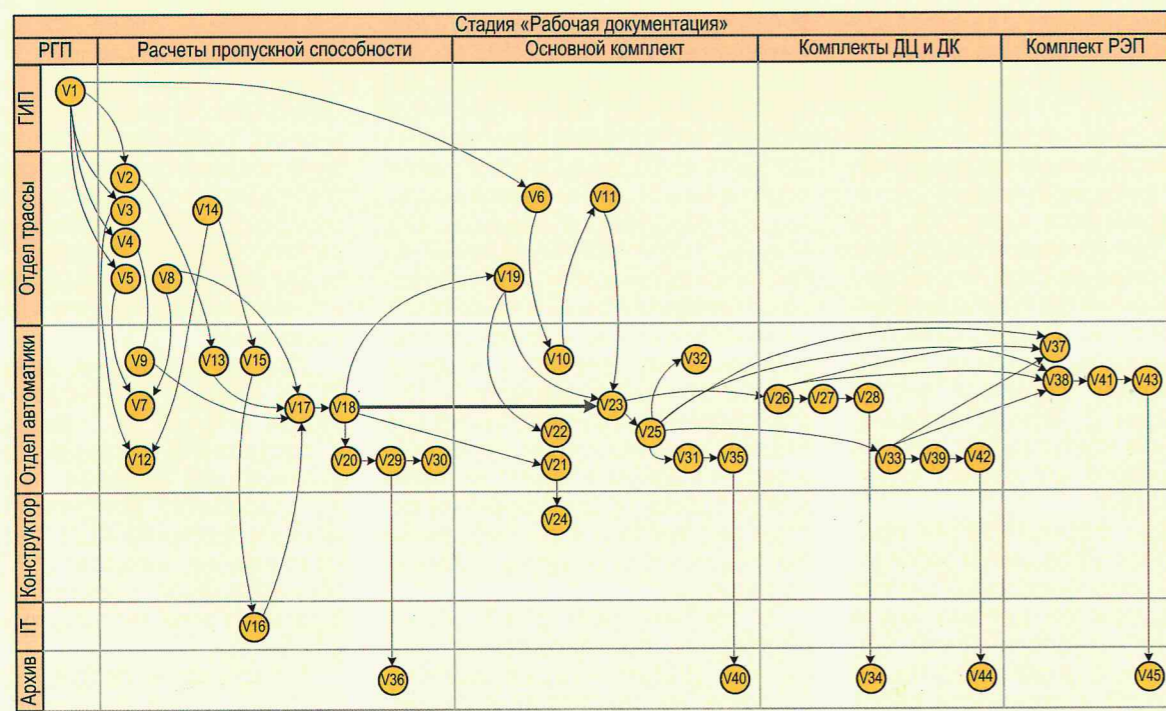


Таблица 2

Обозначение элементарного логического условия	Описание
$\alpha_1$	Рабочий график проектирования выдан в отделы $\alpha_1 = \begin{cases} 1 - \text{выдан} \\ 0 - \text{не выдан} \end{cases}$
$\alpha_2$	Чертеж платформенного участка станции со сходными, зеркалами и знаками остановки первого вагона (ОПВ) выдан в отдел автоматики $\alpha_2 = \begin{cases} 1 - \text{выдан} \\ 2 - \text{не выдан} \end{cases}$



цировать ошибки/замечания на всех этапах выполнения комплектов проектной и рабочей документации на устройства автоматики и телемеханики для метрополитена, а также выявить особенности и разработать классификацию коэффициентов качества;

введя коэффициенты качества ТД, можно увеличивать/сокращать время выполнения процесса, анализируя эффективность повышения того или иного коэффициента.

Затем необходимо произвести синтез модифицированной структуры процессов проектирования с учетом выявленных зависимостей от коэффициентов качества, а также автоматизировать отдельные участки планирования и проектирования.

Таким образом, в дальнейшем анализ процессов проектирования устройств автоматики для метрополитена позволит сократить время и повысить качество и эффективность процесса создания проектной технической документации на устройства СЦБ, а также эффективно использовать современные технологии автоматизации проектирования и применять вычислительные средства для оптимизации процессов взаимодействия. Стоит отметить, что данный подход коррелирует с методологией УРРАН, применяемой в ОАО «РЖД» и также направлен на сокращение стоимости жизненного цикла систем ЖАТ в рамках этапа проектирования и пусконаладочных работ путем повышения

качества проектной технической документации и сокращения временных характеристик процессов проектирования [13].

Таким образом, формализация проектирования устройств автоматики и телемеханики для станций метрополитена с путевым развитием на основе технологических карт в строчную запись с помощью языка параллельных логических схем, которая является моделирующим алгоритмом для написания кода на языке моделирования, помогает провести анализ временных характеристик и качества технической документации.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Повышение безопасности технологических процессов на основании представления их технологических карт в виде блок-схем нотации «WFD» / А.Н. Митрофанов, А.Н. Чивардов, С.А. Митрофанов, Ю.В. Донсков // Наука и образование транспорта. 2019. № 1. С. 390–394.

2. ГОСТ Р ИСО 9001-2015. Системы менеджмента качества. Требования. Введ. 01.11.2015. Изм. 01.02.2020. М.: Стандартиформ, 2018. 23 с.

3. Ахтулов А.Л., Леонова А.В., Ахтулова Л.Н. Методика оценки качества процессов проектирования сложных технических устройств // Омский научный вестник. 2013. № 3 (123). С. 87–91.

4. Baratov D.X. The issues of creating a formalized model of the technical documentation // Міжнародний науковий журнал Інтернаука. 2017. №. 4 (1). С. 22–23. URL: <https://www.inter-nauka.com/issues/2017/4/2321>.

5. Об особенностях оценки технологической эффективности процесса проектирования систем железнодоро-

рожной автоматики / И.Д. Давыдов, А.В. Горелик, А.М. Алешкин, В.С. Федоров // Наука и бизнес : пути развития. 2019. № 10 (100). С. 14–18.

6. Алатырева А.С., Горелик В.Ю., Савченко П.В. Оценка качества технологических процессов разработки и проектирования систем железнодорожной автоматики // Наука и техника транспорта. 2019. № 1. С. 97–103.

7. Булавский П.Е. Концептуальная модель электронного документооборота технической документации // Транспорт Российской Федерации. 2011. № 1 (32). С. 60–63.

8. Булавский П.Е. Методика оценки качества технической документации на устройства СЦБ // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2011. № 1. С. 142–153.

9. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию : постановление Правительства РФ от 16.02.2008 г. № 87 (в ред. от 09.04.2021). Доступ через СПС «КонсультантПлюс» (дата обращения: 24.03.2021).

10. СП 120.13330.2012. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 (с изменениями № 1–4). Введ. 01.01.2013. Изм. 24.12.2019. М.: Минрегион России, 2012. 259 с.

11. Марков Д.С., Булавский П.Е. Матричный метод формализации имитационных моделей сложных систем массового обслуживания // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2010. № 4. С. 186–196.

12. Лазарев В.Г. Синтез управляющих автоматов. М.: Энергия, 1978. С. 408.

13. Внедрение методологии УРРАН в хозяйстве АТ / В.А. Гапанович, Б.Ф. Безродный, А.В. Горелик, Д.В. Шалягин // Автоматика, связь, информатика. 2012. № 4. С. 12–15.

### Комплексный подход и единые принципы разработки с сопровождением на всех этапах жизненного цикла

