

**Жуковицкий И.В.**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой

**Косолапов А.А.**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры электронных вычислительных машин Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. академика В. Лазаряна

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ**

### **Проектирование информационных систем реального времени на железнодорожных станциях с использованием автоматной модели**

Традиционно информационная поддержка работы железнодорожных станций реализуется мощными автоматизированными системами. В Украине, например, для этих целей используется системы управления грузовыми перевозками АСК ВП УЗ-Е и АСУ СС (для сортировочных станций) [1]. Информация из этих систем используется руководителями, диспетчерами другими работниками сферы управления железнодорожного транспорта для анализа и прогнозирования ситуации на железнодорожном полигоне, принятия решений по управлению движением поездов, управлению работой железнодорожных станций и т.д. Известны подобные системы, в других странах Европы, США и т.д. [2,3]. Основная задача подобных систем – сбор данных, формирование статистической информации, прогнозирование, составление планов и т.п. Слабым звеном этих систем остается отображение ситуации на станции в реальном масштабе времени.

Актуальным остаются вопросы автоматизации ввода информации в подобные системы и рациональное использование информации, которое в этих системах накапливается. Для железнодорожных станций разрабатываются информационные системы, в которых отображаются текущее состояние технологического процесса на станции [4]. Для ввода информации о текущем состоянии технологического процесса возможно исполь-

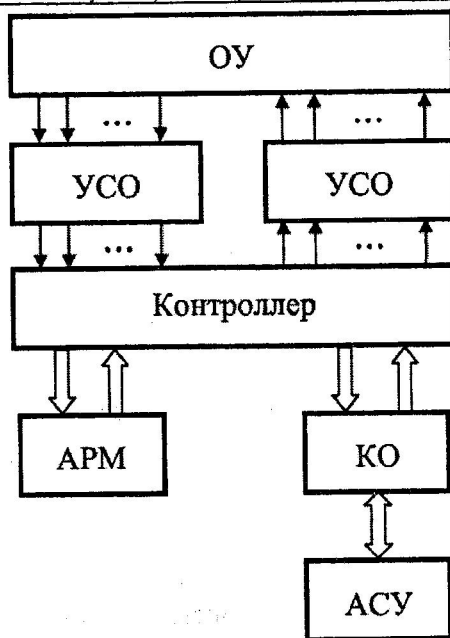
зование сигналов от напольного оборудования (рельсовых цепей, стрелок, путевых датчиков и т.п.). Такие сигналы могут приходиться в информационную систему на разных фазах технологического процесса. Правильная интерпретация таких сигналов, сопоставление их с конкретной фазой технологического процесса является важной и актуальной задачей при проектировании алгоритмов работы информационной системы.

Решением таких задач в течение ряда лет занимались ученые Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна [4]. Автоматический ввод информации был реализован с использованием сигналов напольного оборудования (рельсовых цепей, стрелок, светофоров и т.п. Для правильной интерпретации введенных сигналов необходимо было построить адекватную модель технологического процесса на станции [5].

Вопросами построения имитационных моделей работы железнодорожных станций в течение длительного времени занимаются ученые многих стран, где развито железнодорожное сообщение [6,7]. Используются и разные механизмы моделирования. Так в ряде работ показано использование для моделирования работы железнодорожных станций сетей Петри [8,9]. В [6] рассматривается целый комплекс собственных программных моделей, описывающих значительную часть аспектов работы станции. В [10] описана возможность использования для моделирования работы станции автоматной модели.

Имитационные модели используются для внесистемного анализа работы станции, построения тренажеров оперативно-диспетчерского персонала, они позволяют определить рациональный ход технологического процесса, дать предложения по улучшению путевого развития станций.

Для построения на железнодорожных станциях информационных систем, работающих в реальном масштабе времени, требуется особый подход к моделированию. В имитационных моделях входные сигналы формируются искусственно – программными компонентами или оператором системы. В системах реального времени входные для модели сигналы – реальные сигналы от напольного оборудования, от систем более высокого уровня, в некоторых случаях – от оперативного персонала станции (рис. 1).



ОУ – объект управления; УСО – устройства связи с объектом; КО – коммутационное оборудование; АСУ – АСУ верхнего уровня.

Рис. 1 – Контроллер, управляющий технологическим процессом

Информационная система реального времени на станции отслеживает ряд технологических процессов. Для каждого из них должна быть своя модель. В работе ставится задача разработать унифицированную методику создания автоматной модели, которая позволяет отследить в реальном масштабе времени каждый технологический процесс на станции, обладающий заданными свойствами. Более того, эта модель должна быть реализована стандартными программными компонентами. Для этого необходимо создать механизм проектирования таких компонентов.

Мы будем рассматривать технологические процессы, которые имеют четко выраженные дискретные состояния, переход между которыми происходит под воздействием определенных сигналов или при возникновении каких-либо событий. На железнодорожных станциях таким образом можно представить большую часть технологических процессов. Например, состояние “осмотр состава” инициируется сигналом “включение ограждения”, а переход к состоянию “завершение обработки состава” происходит

под воздействием сигнала “выключение ограждения”. Систему управления таким технологическим процессом можно, при этом, представить в виде классического представления абстрактного автомата [11], т.е. в виде шестикомпонентного вектора  $S = (A, Z, W, \delta, \lambda, a_1)$ , где:

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_M\}$  – множество состояний (алфавит состояний);

$Z = \{z_1, z_2, \dots, z_N\}$  – множество входных сигналов (входной алфавит);

$W = \{w_1, w_2, \dots, w_K\}$  – множество выходных сигналов (выходной алфавит);

$\delta$  – функция переходов, которая парам состояние – входной сигнал  $(a_m, z_n)$  ставит в соответствие состояние автомата:  $a_s = \delta(a_m, z_n)$ ,  $a_s \in A$ ;

$\lambda$  – функция выходов, которая парам состояние – входной сигнал  $(a_m, z_n)$  ставит в соответствие выходные сигналы автомата:  $w_k = \lambda(a_m, z_n)$ ,  $w_k \in W$ ;

$a_1 \in A$  – начальное состояние автомата.

В качестве алфавита состояний можно представить множество (конечное) состояний технологического процесса.

Множеству входных сигналов (входному алфавиту) можно поставить в соответствие множество входных сигналов и сообщений, поступающих в контроллер (сигналы от рельсовых цепей, контроля положения стрелок, сообщения от АСУ верхнего уровня и т.п.), а также множество событий, возникающих в результате сочетаний этих сигналов и сообщений (например, “открылся входной светофор + занятие входной рельсовой цепи + поступление сообщение о прибытии поезда их АСУ верхнего уровня”).

В качестве выходного алфавита можно представит множество действий, которые выполняет контроллер в ответ на входные сигналы (для информационной системы – это сообщения, пересылаемые в АРМ и в АСУ верхнего уровня, а для информационно-управляющей системы – это еще и набор управляющих сигналов, посылаемых контроллером на исполнительные механизмы).

В отличие от классического представления абстрактного автомата [11], который работает в дискретном времени, принимающем целые неотрицательные значения, автомат, представляющий реальный технологический процесс, работает в непрерывном времени. Сигналы, поступающие на его вход, приходят в случайные моменты времени. Для приведения этого ав-

томата к каноническому виду эти моменты времени можно представить в виде конечного дискретного нумерованного набора (массива), т.е.  $t = t_0, t_1, t_2, \dots$

Задача разработчика – четко определить набор состояний технологического процесса, входной и выходной алфавит. Задача эта неоднозначная и успех ее во многом определяется искусством разработчика, знания им всех тонкостей технологического процесса.

В качестве примера приведем часть автоматного представления информационной подсистемы парка прибытия, являющейся составной частью системы СКАТ СС (информационно-управляющей системы сортировочной станции [12]).

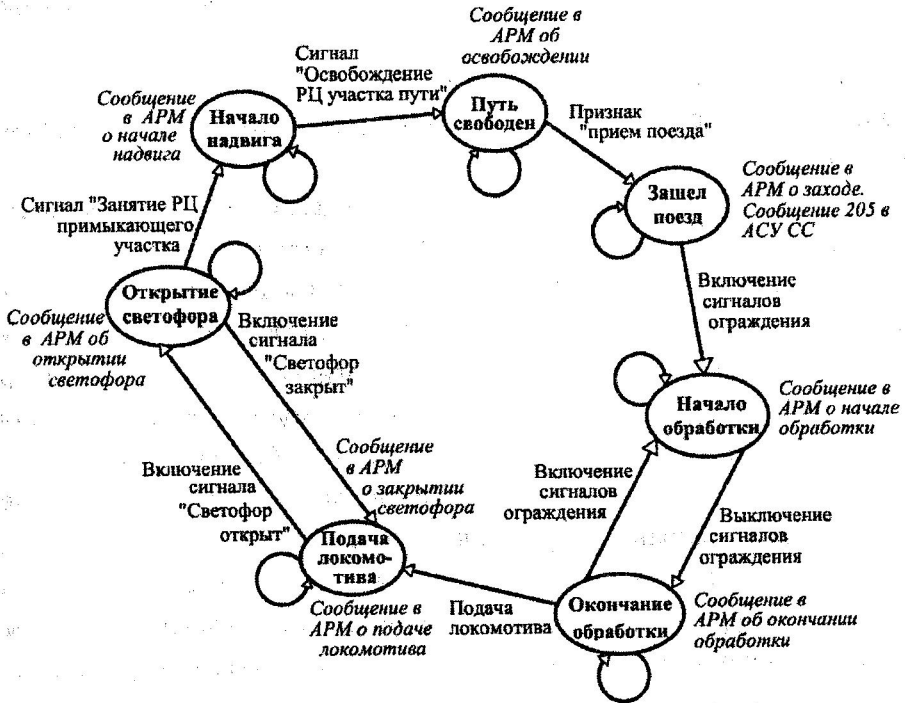


Рис. 2 – Часть автоматного представления информационной подсистемы парка прибытия

В этом примере технологический процесс обработки прибывшего состава на пути парка прибытия представлен в виде асинхронного автомата

Мили, т.е. выходной сигнал определяется состоянием автомата и входным сигналом, который перевел автомат в данное состояние.

Вершины графа представляют состояния автомата, а точнее – состояния технологического процесса обработки поезда в парке прибытия. В начале стрелок, указывающих переходы из одного состояния в другое, приведены сигналы, инициирующие этот перевод, а в конце стрелок, курсивом, указаны те действия (выходные сигналы автомата), которые выполняются информационно-управляющей системой при этом переходе.

Можно допустить, что существуют технологические процессы, которые описываются асинхронным автоматом Мура, т.е. их выходной сигнал определяется только их состоянием, независимо от входного сигнала, который перевел их в данное состояние.

В классической теории автоматов, абстрактное представление необходимо для последующего структурного синтеза. Так как мы рассматриваем заранее известную техническую структуру (рис. 1), следующим этапом после автоматного представления технологического процесса будет этап синтеза программного продукта, реализующего это представление в контроллере.

Рассмотрим фрагмент асинхронного автомата Мили (рис. 3). Будем считать, что множество входных сигналов, которые не переводят автомат в другое состояние, не вырабатывают выходных сигналов.

Для каждого состояния  $a_i$  определим множество входных сигналов  $\tilde{Z}_i \subseteq Z$ ,  $\tilde{Z}_i = \{z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ik_i}\}$ , которые переводят автомат из состояния  $a_i$  в любое другое состояние  $a_j \in A$ , в соответствии с таблицей переходов, причем  $a_j \neq a_i$ , а  $k_i$  – количество таких сигналов (очевидно, что  $k_i \leq N$ ).

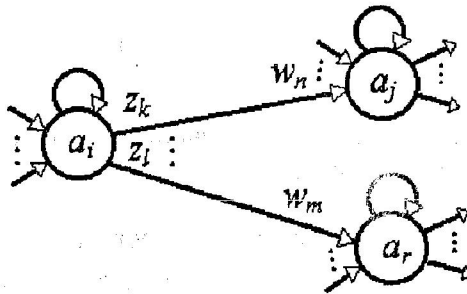


Рис. 3 – Фрагмент асинхронного автомата Мили

Можно предложить формальный алгоритм перехода от графа автомата (например, рис. 3) к схеме алгоритма управляющей программы (рис. 4), которая запускается при поступлении какого либо сигнала  $z \in Z$  (напомним, что под термином “входной сигнал” мы договорились понимать, как реальные сигналы, поступающие от напольного оборудования, так и сообщения, поступающие от АСУ верхнего уровня, а также события, возникающие в результате сочетаний этих сигналов и сообщений).

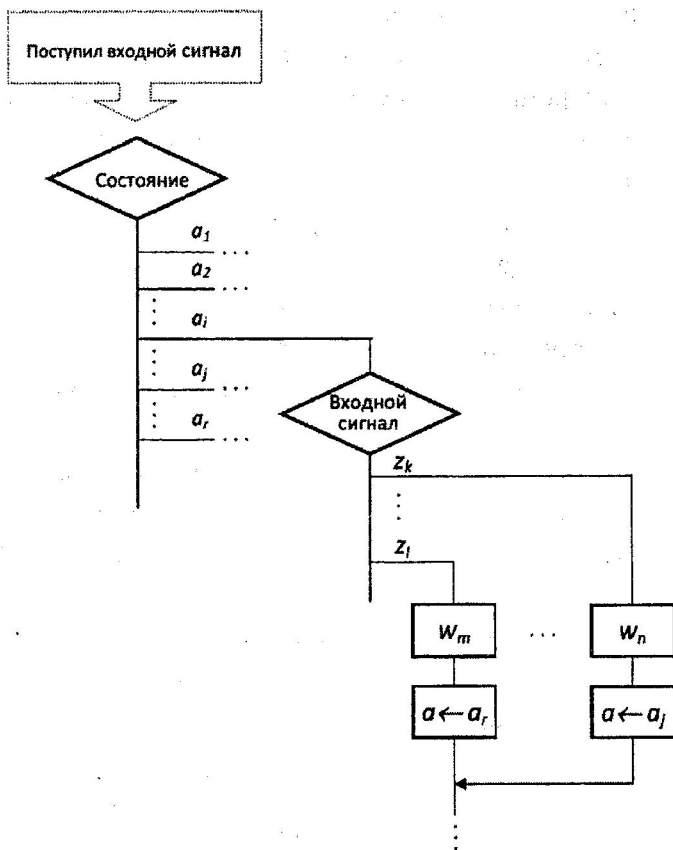


Рис. 4 – Фрагмент схемы алгоритма реакции системы (соответствующей автомату рис. 3) на входной сигнал

Прежде всего, анализируется текущее состояние автомата (с состоянием автомата ассоциируется состояние технологического процесса, так, например, как это показано на рис. 2). Для каждого состояния анализируется входной сигнал. Если для  $i$ -го состояния пришел входной сигнал  $z_k \in \tilde{Z}_i$ , то

выполняется ветвь алгоритма, в которой реализуются действия, соответствующие выходному сигналу  $w_n$ , а затем текущему состоянию присваивается значение  $a_j$  ( $w_n$  и  $a_j$  определяются по таблицам выходов и переходов автомата соответственно).

Таким образом, имея в качестве исходных данных соглашения об алфавите состояний, о входном и выходном алфавите, таблицы выходов и переходов автомата, а также набор множеств  $Z_i \subseteq Z$  ( $i = 1, 2, \dots, M$ ) можно по приведенным выше правилам формально составить алгоритм реакции системы на поступление какого-либо входного сигнала.

Блоку, в котором реализуются действия, соответствующие выходному сигналу  $w$  (рис. 4) можно поставить в соответствие вызов соответствующей процедуры. При этом можно реализовать универсальную программную реализацию вышеназванного алгоритма. А настройка под конкретный автомат выполняется в модуле, где описываются исходные данные автомата (таблицы), а также процедуры, реализующие действия, соответствующие выходным сигналам.

Подобная методика была использована при проектировании программного обеспечения для информационной системы сортировочной станции Нижнеднепровск-узел. Данная система была разработана в короткие сроки и успешно прошла испытания на лабораторном полигоне университета.

## **2. Системный анализ, проектирование и совершенствование систем автоматизации сортировочных станций: комплексный подход**

### **2.1 Общие требования к методологии проектирования систем реального масштаба времени**

По определению [13] «системой реального времени является такая система, корректность функционирования которой определяется не только правильностью выполнения вычислений, но и тем, в какой момент времени получен необходимый результат. Если требования по времени не выполняются, то считается, что произошел отказ системы. Для того, чтобы система могла удовлетворять требованиям, предъявляемым к системам реального времени, аппаратные, программные средства и алгоритмы ра-

выполняется ветвь алгоритма, в которой реализуются действия, соответствующие выходному сигналу  $w_n$ , а затем текущему состоянию присваивается значение  $a_j$  ( $w_n$  и  $a_j$  определяются по таблицам выходов и переходов автомата соответственно).

Таким образом, имея в качестве исходных данных соглашения об алфавите состояний, о входном и выходном алфавите, таблицы выходов и переходов автомата, а также набор множеств  $Z_i \subseteq Z$  ( $i = 1, 2, \dots, M$ ) можно по приведенным выше правилам формально составить алгоритм реакции системы на поступление какого-либо входного сигнала.

Блоку, в котором реализуются действия, соответствующие выходному сигналу  $w$  (рис. 4) можно поставить в соответствие вызов соответствующей процедуры. При этом можно реализовать универсальную программную реализацию вышеназванного алгоритма. А настройка под конкретный автомат выполняется в модуле, где описываются исходные данные автомата (таблицы), а также процедуры, реализующие действия, соответствующие выходным сигналам.

Подобная методика была использована при проектировании программного обеспечения для информационной системы сортировочной станции Нижнеднепровск-узел. Данная система была разработана в короткие сроки и успешно прошла испытания на лабораторном полигоне университета.

## **2. Системный анализ, проектирование и совершенствование систем автоматизации сортировочных станций: комплексный подход**

### **2.1 Общие требования к методологии проектирования систем реального масштаба времени**

По определению [13] «системой реального времени является такая система, корректность функционирования которой определяется не только правильностью выполнения вычислений, но и тем, в какой момент времени получен необходимый результат. Если требования по времени не выполняются, то считается, что произошел отказ системы. Для того, чтобы система могла удовлетворять требованиям, предъявляемым к системам реального времени, аппаратные, программные средства и алгоритмы ра-

боты системы должны гарантировать заданные временные параметры реакции системы. Время реакции не обязательно должен быть очень маленьким, но оно должно быть гарантированным (что соответствует предъявляемым требованиям)”. То есть основные требования к системам реального времени можно графически отобразить следующим образом (рис. 5) [12].

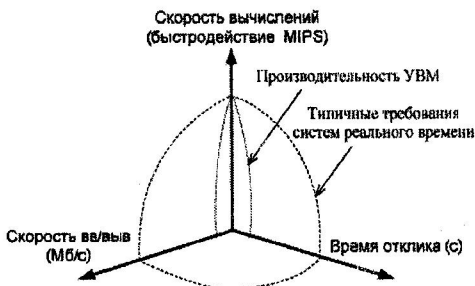


Рис. 5 – Пространство требований для систем реального времени

Методология проектирования информационных систем должна опираться на следующие основные положения. Во-первых, для сложных информационных систем на первый план выходит задача многоуровневой структурной оптимизации, которая должна решаться на нескольких уровнях: уровне инфраструктуры объектов автоматизации (топологии размещения объектов), информационной и технической структуры [5]. Во-вторых, как унифицированная единица объема работы, выполняемой в системе, предлагается использовать “ $\varphi$ -транзакцию” как разветвленную последовательность выполняемых системных и прикладных программ с момента поступления заявки в систему до момента завершения ее обработки, связанной или с занесением информации в базу данных, или с выдачей управляющего воздействия, или отображением информации для персонала системы [10].

Методика проектирования сложных систем должна опираться на комплекс математических и имитационных моделей. Имитационное моделирование применяется для решения сложных задач оценки режимов функционирования распределенных систем. Эти же модели могут затем использоваться для отладки программного обеспечения системы.

Методика должна опираться на средства автоматизации выполнения основных и наиболее трудоемких проектных процедур с формированием базы проектных решений в соответствующей проблемной области.

## 2.2 Формирование научно-методологического комплекса системного интегратора (КСИ – Э)

Научно-методический комплекс системного интегратора КСИ – это набор математических моделей, методов, программных инструментальных средств, объединенных в инженерную методику системного анализа, проектирования и совершенствования информационно-управляющих систем реального масштаба времени сортировочных станций.

Эта методика является развитием и обобщением научно-методического подхода к проектированию сложных систем, который разрабатывается на кафедре ЭВМ ДНУЖТ уже на протяжении десятков лет. Он нашел применение при разработке таких систем как АСУРСГ (ст. Ясиноватая), АСУМД (ст. Пермь-Сортировочная, Россия), ИУКСС (ст. Нижнеднепровск-Узел), ИПС СС (ст. Орехово-Зуево, Россия), система аналитических серверов АСУ ГП УЗ, корпоративная информационная сеть ДНУЖТ и других информационно-управляющих систем [8].

В разработанной методике учтены описанные в [9] современные принципы и требования к технологиям создания сложных информационных систем. Эта методика применяется итеративно при выполнении последовательности стадий, которые относятся к системному проектированию и включают (в соответствии с [1]): стадии формирования требований к системе, разработка концепции построения автоматизированной системы, техническое задание, эскизный и технический проект.

Критерии оптимизации систем реального масштаба времени разделяют согласно [12] на качественные эксклюзивные критерии (X), качественные критерии поэтапного использования (G) и количественные критерии (Q) (рис. 6).

Доминирующими критериями и ограничениями в процессе проектирования АСУ реального масштаба времени являются временные качественные (X0, G0) и количественные (Q1, Q1.1, Q1.2, Q1.3, Q1.4) характеристики. Они дополняются критериями Q2 (Capacity reserves) по обеспечению необходимых резервов производительности, пропускной способности, емкости

Критерии проектирования систем реального времени		
Качественные критерии (X, G)		Количественные критерии (Q)
Эксклюзивные критерии (X)	Критерии поэтапного использования (G)	
X0. Своевременность (Timeliness)	G0. Своевременность (Timeliness)	Q1. Своевременность (Timeliness)
X1. Функциональная корректность	G1. Готовность (Availability)	
X2. Постоянная готовность (Readiness)	G2. Надежность (Reliability)	Q1.1. Эталонные тесты продолжительности выполнения (бенчмарки)
	G3. Безопасность (Safety)	Q1.2. Время реакции системы на события
	G4. Защита (Security)	Q1.3. Время до выявления и исправления ошибок
X3. Выполнение всех физических ограничений	G5. Целостность (Integrity)	Q1.4. Среднее время между отказами (MTBF), среднее время до отказа (MTTF) и среднее время восстановления (MTTR)
X4. Возможность лицензирования - выдача свидетельства	G5.1 Эксплуатационная надежность (Robustness)	Q2. Резервы производительности, пропускной способности, емкости (Capacity reserves)
	G5.2 – Сложность, простота (Complexity (simplicity))	
	G6. Ремонтопригодность (Maintainability)	Q3. Полные проектные стоимости (верхние расходы - "the bottom line")

Рис. 6 – Критерии оптимизации систем реального времени

(рис. 6) и, конечно, Q3 – полные проектные стоимости (верхние расходы – “the bottom line”).

Стандарту ISO число количественных критериев ограничено двумя метриками: время реакции (продолжительность ответа) и число транзакций, которые нужно обработать в период времени [14].

Рассмотренные критерии и положены в основу разработанной методики.

Концептуальную основу методологии составляют следующие положения.

1. Процесс анализа и проектирования сложных систем представляет в виде последовательно-итерационной схемы поэтапного поиска рациональных проектных решений с использованием эвристических методов оптимизации, которая может быть настроена или связана с последовательностью ранних стадий, этапов, задач информационной технологии проектирования АС по ГОСТ 34.

2. База знаний методологии представляется в виде набора онтологий сортировочных станций, сортировочных горок и комплекса программно-технических средств промышленных компьютеров Advantech [7, 11], на которые ориентированы разработки систем автоматизации сортировочных станций в Германии, России и Украины [3].

3. Методология является адаптивной к набору исходных данных, имеющихся у разработчика при анализе и проектировании конкретной системы. Это означает, что в базе знаний активизируется та последовательность проектных этапов и процедур, для которых есть все необходимые данные (или в базе знаний, или введены проектировщиком в режиме диалога).

4. Реализация методологии представляется в виде программы CSI комплекса системного интегратора, программы CSProject для построения и расчета информационно-временных характеристик  $\varphi$ -транзакций компьютерных систем реального масштаба времени, программы OPTIFLOW распределения информационных потоков в системах реального времени, программы ОПТИКОС оптимизации информационно-управляющих систем, программы GAOSIS генетического алгоритма оптимизации структур информационных систем и программы PRIORY выбора приоритетов потоков заявок в информационных системах [8].

5. Исходные данные и результаты системного анализа и проектирования выдаются в таблично-графических формах.

Исходными данными для создания системы являются:

блок 1 – характеристика объекта автоматизации: описание организационно-технологических характеристик проектируемой системы, включающий технологические подсистемы, их структуры, участки, потоки и характеристики сигналов на участках, средства механизации и оборудование низовой автоматики, топология их размещения, помещения на станции, показатели надежности устройств, последовательность технологических операций, оперативный персонал системы, периферийное оборудование, которое должно обслуживаться АСУ;

блок 2 – характеристика функционирования АСУ (с позиций заказчика): функции, задачи, алгоритмы или программы, которые должна выполнять проектируемая система; для новых систем это описание будет на уровне функций и задач; для систем, которые совершенствуются или модернизи-

2. База знаний методологии представляется в виде набора онтологий сортировочных станций, сортировочных горок и комплекса программно-технических средств промышленных компьютеров Advantech [7, 11], на которые ориентированы разработки систем автоматизации сортировочных станций в Германии, России и Украины [3].

3. Методология является адаптивной к набору исходных данных, имеющихся у разработчика при анализе и проектировании конкретной системы. Это означает, что в базе знаний активизируется та последовательность проектных этапов и процедур, для которых есть все необходимые данные (или в базе знаний, или введены проектировщиком в режиме диалога).

4. Реализация методологии представляется в виде программы CSI комплекса системного интегратора, программы CSProject для построения и расчета информационно-временных характеристик  $\varphi$ -транзакций компьютерных систем реального масштаба времени, программы OPTIFLOW распределения информационных потоков в системах реального времени, программы ОПТИКОС оптимизации информационно-управляющих систем, программы GAOSIS генетического алгоритма оптимизации структур информационных систем и программы PRIORY выбора приоритетов потоков заявок в информационных системах [8].

5. Исходные данные и результаты системного анализа и проектирования выдаются в таблично-графических формах.

Исходными данными для создания системы являются:

блок 1 – характеристика объекта автоматизации: описание организационно-технологических характеристик проектируемой системы, включающий технологические подсистемы, их структуры, участки, потоки и характеристики сигналов на участках, средства механизации и оборудование низовой автоматики, топология их размещения, помещения на станции, показатели надежности устройств, последовательность технологических операций, оперативный персонал системы, периферийное оборудование, которое должно обслуживаться АСУ;

блок 2 – характеристика функционирования АСУ (с позиций заказчика): функции, задачи, алгоритмы или программы, которые должна выполнять проектируемая система; для новых систем это описание будет на уровне функций и задач; для систем, которые совершенствуются или модернизи-

руются, – это разработанные алгоритмы или программы для оценки частотного состава операций (команд); для всех уровней с разной степенью полноты и точности задаются компоненты информационного обеспечения (массивы); для каждого сигнала (заявки) указываются управляющие действия или сообщения, что выдаются персоналу; описание оформляется в виде  $\varphi$ -транзакций в диалоге с программой CSI;

блок 3 – описание технических средств автоматизации: управляющие ЭВМ, микроконтроллеры, средства ввода-вывода, нормализации и коммутации сигналов, устройства питания, конструктивы, сетевое оборудование, программное обеспечение, показатели надежности и стоимости устройств;

блоки 4, 5, 6, 7 – описывают критерии и ограничения в бизнесе (Q2, Q3 - показатели ресурсосбережения, расходы, потери, стоимость системы, показатели надежности, которые необходимо обеспечить), технологические (элементы топологии, каналы), функциональные (Q1, Q2) и технические (загруженность процессоров, каналов, стоимость программно-технических средств, унификация решений);

Проектирование системы начинается по трем взаимосвязанным направлениям. Первое - блоки 8, 9, 10, 11: оптимизация структуры коммуникаций на объекте автоматизации по критерию минимизации суммарной длины коммуникаций с фиксированными каналами (построение минимального остовного дерева). Второе – блоки 12, 13, 14, 15: оптимизация информационной структуры АСУ по критерию минимизации прироста суммарного информационного потока при уменьшении количества информационных связей в структуре [4]. Третье направление – блоки 16,17,18: выбор вариантов децентрализации функций в иерархической структуре по критериям минимизации суммарных потерь или стоимости системы [2]

В рамках первого и третьего направлений формируются в соответствующие онтологии сортировочной станции и горки и комплекса программно-технических средств [6]

Первая онтология используется в блоках 9, 10, 11, 19, 24, 25, 29. Вторая онтология – в блоках 17, 18, 24, 25, 29.

На основе сформированных трех и более вариантов структуры выбирается (с участием заказчика, который представляет текущие бизнес-

интересы, или приоритеты), вариант технической структуры (блок 19) для предварительно выбранного типа процессора (блок 17).

На втором направлении на основе исходных данных (блок 2) формируются  $\varphi$ -транзакции (блок 12), описанные в [10] и рассчитываются их временные и информационные характеристики (блок 13) для оптимизации информационной структуры (блок 15). Кроме того, рассчитываются частотный состав операций, используемых в системе, и производительность процессоров в метриках MIPS и в  $\varphi$ -транзакциях (в tps или tpm) для поиска оптимальных иерархических структур (блок 18).

Для выбранного варианта технической структуры  $\varphi$ -транзакции распределяются по подсистемам и оценивается их загрузка (блоки 20, 21). Если это ограничение выполняется, для распределенной АСУ для каждой  $\varphi$ -транзакции рассчитывается время реакции системы, выбирается оптимальный приоритет и вычисляются требования к пропускной способности каналов (блок 22). Далее, при выполнении временных ограничений (блок 23), на основе данных блока 13 выбирается подсистема для размещения центральной базы данных в децентрализованной АСУ (блок 24).

На следующем этапе (блок 25) для каждой подсистемы выполняется функционально-логическая и конструктивная компоновка соответствующего компьютерного комплекса с использованием онтологии КПСА (блок 16). Кроме этого выбирается технология и средства связи в системе. Эти средства должны соответствовать требованиям по пропускной способности каналов (блок 22). Для полученной технической структуры выполняется оценка коэффициентов готовности и, если они не обеспечиваются (блок 26), выбирается схема резервирования слабого элемента (блок 27).

Если требуемая надежность обеспечена, то для АСУ выполняется унификация проектных программно-технических решений и составляются спецификации, рассчитываются стоимости комплексов и всей системы в целом, потребляемая мощность и эксплуатационные показатели системы (блок 29). Результаты проектирования рассматривает заказчик (блок 30) и, если они его устраивают, системное проектирование завершается и начинается разработка программного обеспечения (блок 32). Если "Нет", выбирается направление перепроектирования (блок 32). С этого же места может начинаться и совершенствование или модернизация системы.



Разработанный научно-методический комплекс системного интегратора (КСИ) используется не только для системного проектирования и совершенствования систем автоматизации сортировочных станций, но и в учебном процессе при изучении дисциплин “Проектирование информационно-управляющих комплексов”, “Принципы проектирования систем”, а также в курсовом и дипломном проектировании.

### **Выводы**

При проектировании информационных и информационно-управляющих систем реального времени для железнодорожных станций технологические процессы на станциях удобно представить в виде классического конечного автомата (Миля или Мура). При этом алфавиту состояний соответствует множество (конечное) состояний технологического процесса, входному алфавиту соответствует множество входных сигналов и сообщений, поступающих в контроллер системы. Выходному алфавиту соответствует множество действий, которые выполняет контроллер системы в ответ на входные сигналы. Такое представление технологического процесса позволяет формализовать проектирование программного обеспечения для контроллера информационной или информационно-управляющей системы.

Проведенное исследование методик проектирования АСУ в промышленности и на железнодорожном транспорте показало отсутствие комплексных подходов к системному исследованию и проектированию АСУ реального масштаба времени. В работе определены основные количественные критерии проектирования систем реального времени: своевременность (Timeliness), производительность, пропускная способность, емкость (Capacity reserves) и полные проектные стоимости (верхние расходы – “the bottom line”).

Предложен разработанный концептуальный подход к построению распределенных систем управления и научного обоснования управленческих и проектных решений на основе использования совокупности ресурсоберегающих моделей и методов в задачах поиска рациональных технических структур автоматизации сортировочных горок, что позволит снизить субъективность и уровень ошибок при создании новых или совершенствовании действующих систем автоматизации; концептуальный подход реали-

зован в виде научно-методического и программного комплекса системной интеграции КСИ (Ξ).

## Литература

1. Косолапов, А.А. Резервы архитектуры автоматизированной системы управления грузовыми перевозками Украинских железных дорог / А.А. Косолапов, И.В. Жуковицкий // Залізничний транспорт України. – № 1. – Киев, 2013. – Р. 10–13.
2. Cherneva, G. & Andonov, A. & Hubenov, Z. The problem of synthesis of functionally steady information systems in railway transport. 5th International Scientific Conference “Theoretical and Practical Issues in Transport” (11-12 February 2010, Pardubice, Czech Republic). <http://hdl.handle.net/10195/37758>
3. Константинов, Д. Дослідження перспективних систем диспетчерського управління на основі сучасних інформаційних технологій / Д. Константинов, М. Мисько // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2013, вип. 140 – Р. 91–96.
4. Шафит, Е.М. Совершенствование автоматизированных систем управления технологическими процессами на сортировочных станциях / Е.М. Шафит, И.В. Жуковицкий, Ю.А. Косорига, В.В. Елисеев // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2003. – № 5. – С.53–55.
5. Жуковицкий, И.В. Синтез программного обеспечения информационно-управляющих систем на основе теории абстрактных автоматов / И.В. Жуковицкий // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2001. – № 5. – Р. 39–41.
6. Вернигора, Р. Моделирование работы систем станционной автоматики в эргатических имитационных моделях железнодорожных станций [Текст] / Р. Вернигора, В. Малашкин // Сб. науч. трудов Днепропетр. нац. ун-та ж.д. тр-та “Транспортные системы и технологии перевозок”. – 2011. – № 2. – Р. 31–37.
7. Szybs, G. Railway Simulation with the CASS NDRA Simulation System. Journal of Computing and Information Technology. – 2001. – Vol. 9. – № 2. – Р. 133–142.
8. Нагорный, Е.В. Моделирование функционирования комплекса “Сортировочная станция – прилегающие участки” с помощью сетей Петри [Текст] / Е.В. Нагорный, Е.А. Алешинский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2000. – № 2. – Р. 98–103.
9. Milinkovic, S. & Markovic, S. & Veskovic, M. & et al. A fuzzy Petri net model to estimate train delays. Simulation Modelling Practice and Theory. – 2013. – № 33. – Р. 144–157.

10. Bobrovskiy, V. I. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata [Text] / V. I. Bobrovskiy, D. N. Kozachenko, R. V. Vernygora // Transport Problems, Vol. 9, Issue 3 – The Silesian University of Technology, Faculty of Transport, Katowice, Poland – 2014. – p. 57–66.
11. Баранов, С.И. Синтез микропрограммных автоматов - Л.: Энергия, 1979. – 232 p.
12. Шафит, Е.М. Развитие технической структуры автоматизированных систем управления технологическими процессами на станциях. Система СКАТ-СС / Е.М. Шафит, И.В. Жуковицкий, А.А. Косолапов // The 7-th international scientific conference of railway experts/ Proceedings. Yugoslavia, Vrnjacka Banja, October 04-06, 2000. С 145-146
13. ГОСТ 34.003-90 [Текст] // Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. 1990.
14. Егоров Б.В., Косолапов, А.А. Инновационные подходы к развитию техники и технологий: монография / [авт. кол. : Егоров Б.В., Косолапов А.А. и др.]. в 2 томах. Т. 2 — Одесса : Куприенко С.В., 2015. — 171 с. (ISBN 978966-2769-66-1).
15. Косолапов, А.А. Ключевая роль транспорта в современном мире : монография [Текст] / [авт. кол. : Косолапов А.А., Блохин А.Л., Боряк К. Ф. и др.]. — Одесса : КУПРИЕНКО СВ, 2013. — 163 с. - ISBN 978-966-2769-16-6.
16. Косолапов А.А. Многоуровневая структурная оптимизация в составе инженерной методики проектирования корпоративных информационных систем [Текст] / А.А. Косолапов // Математичне моделювання. Науковий журнал. Дніпродзержинськ: - Мін. освіти, ДДТУ. 2000. № 1(4). — С. 57–60.
17. Косолапов А.А. Многоуровневая структурная оптимизация в составе инженерной методики проектирования корпоративных информационных систем [Текст] / А.А. Косолапов // Автоматика-2000. Міжнародна конференція з автоматичного управління, Львів, 11-15 вересня 2000: Праці в 7-ми томах.- Львів: Державний НДІ інформаційної інфраструктури. 2000. Т. 6. — С. 274–278.
18. Косолапов А.А. Онтологічні моделі в задачах автоматизації сортувальних станцій [Текст] / А.А. Косолапов // Искусственный интеллект. 2013. № 45. — С. 15.
19. Косолапов А.А. Онтологічні моделі в задачах автоматизації сортувальних станцій [Текст] / А.А. Косолапов, Ю.О. Пшінько // Сборник научных трудов SWorld “Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития “2013”. Транспорт. Иваново: МАРКОВА А.Д. ЦИТ: 313-0511. 2013. Т. 2. № 3. — С. 42–50.

20. Косолапов А.А. Розвиток наукових основ побудови і експлуатації систем автоматизації залізничних сортувальних станцій. 05.22.20 - Експлуатація та ремонт засобів транспорту: Автореферат на здобуття наукового ступеня д.т.н. [Текст] / А.А. Косолапов. — Дніпропетровськ : Міністерство освіти і науки, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2014. — 49 с.
21. Косолапов А.А. Системные принципы построения технической структуры автоматизированной информационной системы университета [Текст] / А. А. Косолапов // Информационная инфраструктура высших учебных заведений. - Сборник научных трудов. - Санкт-Петербург. - 98 с. 1999. Т. 2. — С. 48–50.
22. Косолапов А.А. Фі-транзакція як основна модель для оцінки інформаційно-часових характеристик сервіс-орієнтованих комп'ютерних систем [Текст] / А.А. Косолапов // Сб. научных трудов SWorld. - Иваново : МАРКОВА АД, ЦИТ 414-301. 2014. Т. 1. № 4(37). — С. 22–26.
23. Automation Device and Computing 2012-2013 [Електронний ресурс] / Режим доступу : <http://support.advantech.com.tw/OnlineResources/SubIndex.aspx?bu=99B2E2BE-A7E3-4C58-9E35-B4F48A952AC7&type=eCatalog>. : Advantech, 2013.
24. Gumzej R. Real-time Systems Quality of Service. Introducing Quality of Service Considerations in the Life-cycle of Real-time Systems / R. Gumzej, W. A. Halang. — London : Springer-Verlag London Limited, 2010. — 145 p.
25. Panzieri F. Системы реального времени: основные понятия [Електронний ресурс] / F. Panzieri, R. Davoli. Laboratory for Computer Science. University of Bologna. Режим доступу : <ftp://ftp.cs.unibo.it/pub/TR/UBLCS> // Техническое описание UBLCS-93-22. Октябрь. 1993.
26. Stephen Blacketer S. ISO 9001:2001 Quality Management System - System Development Methodologies MBP5002. 22nd November 2001, вер. 1.0.2. / Stephen Blacketer — London : ISO, 2001. — 6 p.