



**УКРАИНСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
АКАДЕМИЯ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

**ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕСАМИ ПЕРЕВОЗОК**

**Кафедра «Железнодорожные станции и узлы»**

**А.Н. Огарь, Д.С. Лючков, Е.С. Щурова**

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ  
по дисциплине «САПР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ  
СТАНЦИЙ И УЗЛОВ»**

**Часть II**

**Харьков 2009**

Огарь А.Н., Лючков Д.С., Щурова Е.С.  
Автоматизированное проектирование железнодорожных станций и узлов: Конспект лекций. – Харьков: УкрГАЗТ, 2008. – Ч. 2. – 78 с.

В конспекте лекций рассматриваются принципы и технология автоматизированного проектирования железнодорожных станций, узлов и отдельных их элементов. Данная учебно-методическая разработка рекомендуется для использования студентам дневной и безотрывной формы обучения факультета УПП, слушателей ФПК и ИППК.

Ил. 10, табл.8, библиогр.: 8 назв.

Конспект лекций рассмотрен и рекомендован к печати на заседании кафедры «Железнодорожные станции и узлы» 4 апреля 2006 г., протокол № 7.

Рецензент

доц. Д.И. Мкртычян

А.Н. Огарь, Д.С. Лючков, Е.С. Щурова

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ  
по дисциплине «САПР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ  
СТАНЦИЙ И УЗЛОВ»  
Часть II

Ответственный за выпуск Огарь А.Н.

Редактор Ибрагимова Н.В.

---

Подписано к печати 05.11.07 г.

Формат бумаги 60x84 1/16 . Бумага писчая.

Условн. печатн. лист. 4,75. Уч.-изд.лист. 5,0.

Заказ № Тираж 200. Цена

---

Издательство УкрГАЗТа, свидетельство ДК 2874 от 12.06.2007 г.  
Типография УкрГАЗТа,  
61050, Харьков - 50, пл. Фейербаха, 7

**ФАКУЛЬТЕТ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК**

**Кафедра «Железнодорожные станции и узлы»**

**А.Н. Огарь, Д.С. Лючков, Е.С. Щурова**

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ**

**по дисциплине**

**«САПР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ»**

**Часть II**

**Харьков 2009**

Огарь А.Н., Лючков Д.С., Щурова Е.С.  
Автоматизированное проектирование железнодорожных станций  
и узлов: Конспект лекций. – Харьков: УкрГАЗТ, 2008. – Ч. 2. –  
77 с.

В конспекте лекций рассматриваются принципы и  
технология автоматизированного проектирования  
железнодорожных станций, узлов и отдельных их элементов.  
Данная учебно-методическая разработка рекомендуется для  
использования студентам дневной и безотрывной формы  
обучения факультета УПП, слушателей ФПК и ИППК.

Ил. 10, табл.8, библиогр.: 8 назв.

Конспект лекций рассмотрен и рекомендован к печати  
на заседании кафедры «Железнодорожные станции и узлы»  
4 апреля 2006 г., протокол №8.

Рецензент

доц. Д.И. Мкртычян

## ЛЕКЦИЯ 10

### АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

#### 10.1 Исследования в направлении автоматизации проектирования станций и узлов

В 1962-1963 годах в бывшем СССР проводился целый ряд научно-технических совещаний, посвященных теоретическим и практическим аспектам применения ЭВМ при проектировании станций и узлов. Коллективами ведущих отраслевых проектных организаций разработаны различные программные решения, которые показали принципиальную возможность эффективного применения ЭВМ для подсчетов объемов земляных работ по поперечным профилям полотна, определения элементов продольного профиля главного пути в пределах станции в увязке с подходами. В 1963 году ЦНИИС наметил разработку программ для расчета координат путевого развития станции.

В 1975 году ЦНИИС издал руководство по расчету станций методом моделирования на ЭВМ. Основой описания схемы станции является деление на элементы.

Значительный объем работы был перенесен с этапа непосредственной разработки схемы на подготовительный этап. Применение программы становилось возможным только при корректном заполнении целого ряда бланков, расчетных формул, таблиц, проведении кодировки элементов путевого развития станции.

В 1980-е годы был продолжен этап накопления количественного материала. В этот период алгоритмизированные знания приобретают форму законченных структур, которые свидетельствуют о том, что сложились достаточно ясные и определенные представления о проблеме компьютерного моделирования схем станций. Многие из них стали использоваться как методики автоматизированного расчета и проектирования.

На данном этапе наблюдается отход от метода кодированного представления параметров и символической адресации, и большинство работ развивают подход координатного ввода элементов станций. При этом проектировщик выполняет все расчеты, связанные с определением положения центров стрелочных переводов, предельных столбиков, сигналов, вершин углов поворота. Полученные результаты используются как исходные данные для вычерчивания путевого развития отдельных пунктов. Реализация этого метода автоматизации проектирования станций, как показывает опыт, малоэффективна из-за значительных затрат времени на подготовку массива координат.

Третий этап условно можно определить как период с 90-х годов по настоящее время. Значительных продвижений в направлении автоматизации проектирования железнодорожных станций за последние десять лет не наблюдается. Анализ полученных результатов показывает, что исследователи столкнулись с весьма нетрадиционной проблемой, охватывающей многочисленные трудноформализуемые аспекты проектирования. Качество проектного решения при традиционных подходах определяется, прежде всего, уровнем квалификации проектировщика. Навыки и опыт профессионала решают проблему увязки структуры схемы станции с многочисленными внутренними и внешними факторами, а описательных процедур опыта проектировщика пока не существует.

В этот период начинает формироваться единый алгоритмический подход к интерпретации требований проектирования и правил реализации станционных структур в проектировании. Получают развитие так называемые SCADA-системы, способствующие внедрению автоматизированных форм сквозной разработки проектов, охватывающие все его этапы и позволяющие получать интегрированные решения. В 2000 году с помощью SCADA-системы на основе топографической съемки была создана детализированная мнемосхема станции «Карьерная» Михайловского горно-обогатительного комбината и некоторых других промышленных предприятий. Электронные схемы станций позволяли отслеживать положение состава и

одиноким локомотивом на экране дисплея в точке с координатами, определяемыми мобильными GPS-приемниками через глобальную спутниковую навигационную систему.

Самым важным фактором, препятствующим быстрому созданию эффективной системы автоматизированного проектирования железнодорожных станций, является эвристичность самого процесса построения схемы отдельного пункта. Тем не менее, благодаря целому ряду теоретических работ растет познавательная направленность полученных результатов.

Примерно в эти же периоды времени за рубежом проводятся аналогичные исследования. Характерным для них является последовательное накопление материала по проблеме разработки транспортной САПР. При этом преобладает методическая проработка математических методов формального описания структур путевого развития. Использование комбинаторных, топологических, матричных, графовых моделей для отображения существенных признаков и корректного графического представления технического оснащения станций и узлов позволило сформулировать ряд канонических требований, предъявляемых к математическим аналогам реальных схем отдельных пунктов. Анализ этих работ показывает, что наблюдаются два пути, по которым зарубежные ученые проводили свои исследования в области автоматизации проектирования железнодорожных станций:

- 1) техническое конструирование путевого развития;
- 2) технико-технологическое моделирование элементов и процессов.

Решая проблемы САПР, отечественные и зарубежные ученые не замыкались только на оптимизации геометрических свойств проектируемых объектов, а связывали разрабатываемые модели с технологией.

По причине такой двойственной ориентации исследований в области САПР железнодорожных станций ученым до настоящего времени не удалось получить законченного решения.

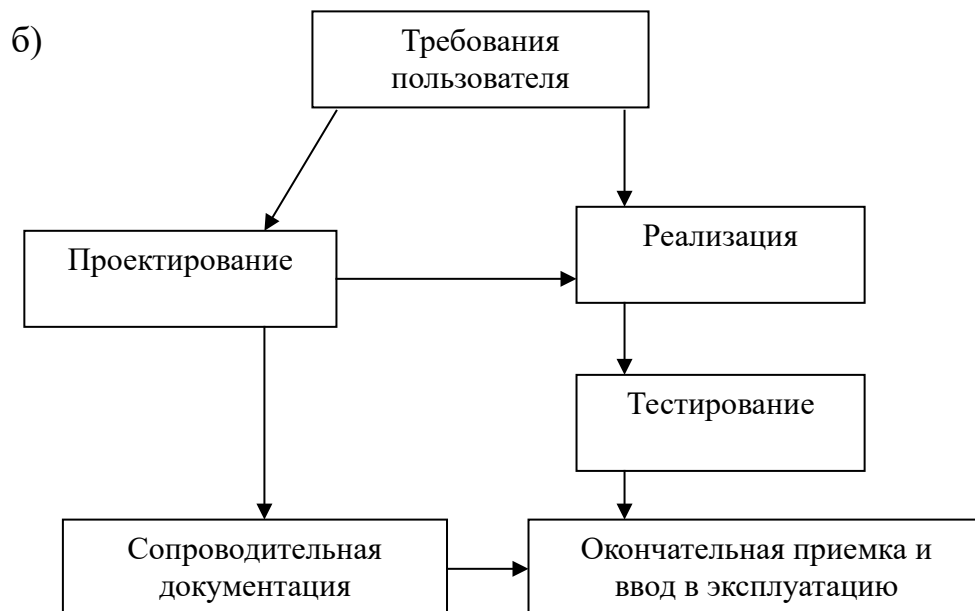
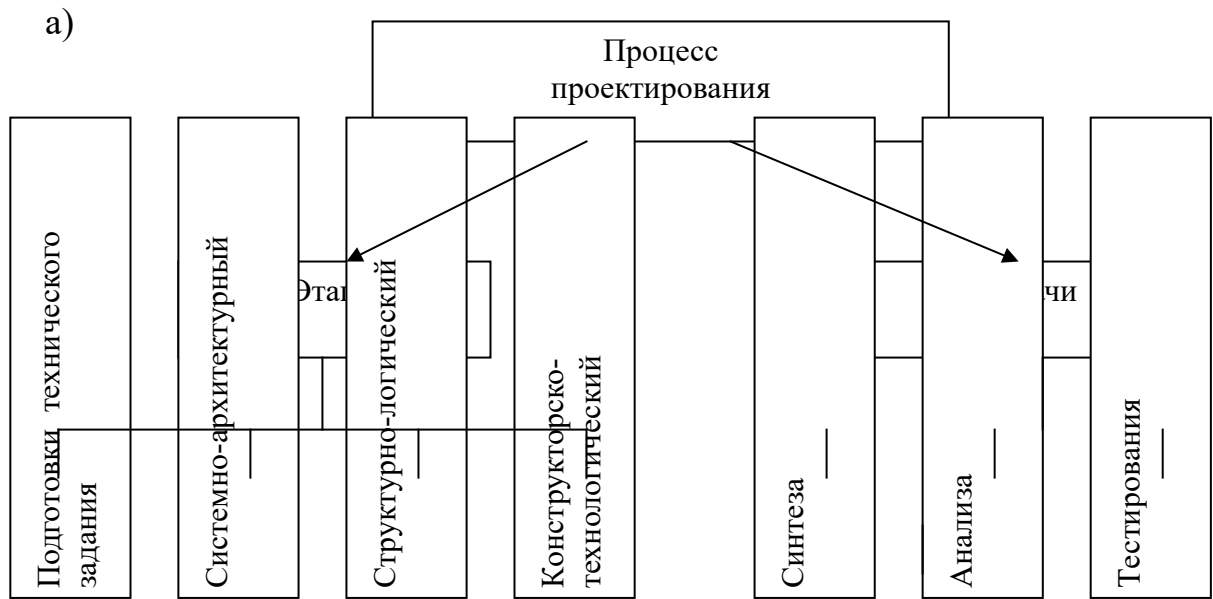
Эвристика систем автоматизации проектирования в настоящее время связывается с необходимостью активного и непосредственного использования «живого опыта» проектировщика, его непосредственного участия в процессе завершения и анализа проектного решения. В этом случае автоматизированные методы становятся вторичными и используются как средство и инструмент воспроизведения результата деятельности человека.

По сути эвристическая направленность процесса проектирования разъединяет цели проектировщика и программной среды САПР.

По причине отсутствия методов формализации опыта, знаний и навыков профессионала система автоматизации подменяется прямым использованием этого опыта. Обратная связь с программной оболочкой, как правило, уже не восстанавливается, так как проектировщик завершает проектное задание самостоятельно. Однако, как показывает анализ, даже на сложных аналитических этапах проектного процесса может и должна поддерживаться тесная связь между проектировщиком и программной средой САПР.

Особенностью существующих подходов к проектированию объектов является методологическая ориентация на традиционные методы. Анализ различных исследований в области транспортных САПР показывает, что при изучении различных проблем автоматизации проектирования используется схема этапной дифференциации процесса разработки проектного решения (рисунок 10.1).





а) характеристика этапов и задач; б) схема реализации проекта

Рисунок 10.1 – Методология подхода к проектированию объектов

## 10.2 Возможности типовых пакетов САПР для использования их при автоматизации проектирования станций

В зависимости от ориентации на решение определенных задач программы компьютерного моделирования, функционирующие в настоящее время, можно отнести к одному из четырех классов:

- автоматизации машиностроительного черчения;
- конструирования печатных плат и электронных схем;
- автоматизации строительного проектирования и архитектурных работ;
- комплексного проектирования макроструктур.

Анализ возможностей этих пакетов показывает, что большинство из них в различной степени могут быть приспособлены для решений задач автоматизации проектирования схем железнодорожных станций. В арсенале средств пакеты САПР имеют геометрические примитивы, которые могут быть в элементном или блочном представлении идентифицированы как участок пути, стрелочный перевод, поездной или маневровый сигнал, другие элементы путевого развития и технического оснащения отдельного пункта. Крупные пакеты САПР типа AutoCAD, MicroStation, CADDY имеют встроенные языки программирования, которые позволяют расширить существенные возможности автоматизированных систем проектирования, максимально приспособивая их для решения конкретных узкоспециализированных задач.

Однако следует отметить, что перепрофилирование структуры САПР общего назначения является эффективным, если проблема проектирования носит систематический характер, то есть решение достигается путем использования логико-математических методов, выражаемых правильными, завершенными формализованными аналогами типовой среды. При этом отсутствует либо минимизирована стохастическая составляющая, используются эффективные методы подавления шумов.

Разрабатываемая САПР ЖС относится к системам эвристического типа, для которых необходимо развивать базовую структуру анализа входных данных, так как подобной системы ни одна типовая САПР изначально не имеет. Сложность заключается в том, что речь идет об интеграции в существующую САПР чужеродных для нее элементов. Так, достаточно трудно установить связь между функцией отрисовки линии и процедурой распознавания ее как объекта, способного принять поезд установленной длины, обеспечивающего пропуск маневрового локомотива, имеющего специализацию, исключаящую обслуживание поездопотоков другого направления.

При взаимном сочетании нескольких графических элементов, воспроизводящих структуру горловины или парка станции, необходима активизация модулей оптимизации путевого развития, обеспечивающих максимальное сокращение нерабочих длин путей, рациональную укладку стрелочных переводов, контроль междупутий.

Система должна грамотно анализировать действия проектировщика, не выполнять бездумно каждое его требование, а трассировать указание через соответствующую схему оценки возникающей проектной ситуации перед удовлетворением заказа пользователя.

Основная идея САПР ЖС состоит в том, чтобы разработать живую, интерактивную среду общения проектировщика и программы. Пользователю нужен грамотный помощник. А не безвольный исполнитель, неспособный анализировать свои и чужие действия. Понятие грамотный для пакета САПР ЖС трансформируется в понятие «адаптивный».

Анализируя существующие САПР машиностроительного профиля, можно отметить, что практически любая из них может быть основой для транспортной системы автоматизированного проектирования. Затраты времени на создание модели объекта на экране дисплея средствами САПР машиностроения оказываются минимальными. Компьютерный прототип масштабируется, к нему применены функции «резиновой нити», модель может быть спроецирована на любую плоскость. Возможность типовой САПР при наличии соответствующих модулей расширения

позволяет анимировать изображение. Можно наблюдать динамическую картинку последовательного изменения связей элементов станции при ее этапном развитии.

Однако, несмотря на внешнее сходство задач автоматизации проектирования автомобилей и схем железнодорожных станций, САПР машиностроения следует отнести к системам количественного анализа, а создаваемый САПР транспортного профиля – к системам качественного синтеза, которым для эффективного функционирования требуется применение особых квалиметрических подходов.

Возможности типовых САПР оказываются достаточно полными для расчета и графического моделирования схем железнодорожных станций, но не обеспечивают интерактивный контроль со стороны проектировщика за ходом процесса проектирования. Слабой стороной промышленных систем автоматизированного проектирования является только фактический визуальный мониторинг развития структуры объекта. Внедряется стандартный прием компьютерного моделирования: что проектирую, то и вижу на экране. В результате оказывается, что прямыми методами типовых САПР нельзя разработать целостную структуру визуальной формы и технологического содержания железнодорожной станции. Требуется серьезная перестройка базовой среды и дополнение ее активными модулями специализированного содержания.

## ЛЕКЦИЯ 11

### **ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НОРМАТИВНО-СПРАВОЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТАНЦИЙ**

#### **11.1 Анализ инструктивной документации по проектированию схем отдельных пунктов**

Предметные знания выражаются при помощи естественного языка, который является основой и исходным материалом для разработки логически стройной модели интерпретации предметных знаний. Естественный язык, обладая богатой гаммой выразительных средств описания окружающего мира, вместе с тем наполняет его широким спектром трудноуловимых различий многозначного характера.

Нормативные данные обладают еще более определенными характеристиками, интерпретируя сведения фактографического характера, имеющие определенные числовые эквиваленты. Лексика инструктивных положений базируется на особых правилах выбора языковых средств отражения своего содержания. При этом предпочтение отдается не яркости и глубине выражения, а точности и определенности, ясности и однозначности, лаконичности и количественной интерпретации. Инструктивным положениям присуща концентрация смыслового содержания в одной или нескольких фразах. Соответствующие требования выражаются довольно сжато. Термины, используемые при этом, как правило, контекстно-независимы, т.е. повторное их применение в других положениях несет, как правило, ту же семантическую нагрузку.

Анализ основных положений инструктивных документов проектирования отдельных пунктов железнодорожного транспорта показывает, что в них достаточно часто используются семантически нечеткие словоформы типа «как правило», «технически оснащенные», «разрешается», «большой поток», «постепенно», которые не могут храниться в компьютерной базе знаний в обычном их представлении. Они должны пройти определенную обработку, состоящую в сужении смыслового

содержания и уточнении предмета, события или действия, на которые указывают.

Поэтому в действительности процесс формализации представляется как реализация многофазной процедуры селекции основного содержания исходных посылок, фактов, утверждений и умозаключений.

## **11.2 Формирование множества проектных требований по признаку доминирующего фактора**

Изучение инструктивных положений показывает их широкую разноплановость с точки зрения привлечения средств формализованного описания. Наряду с рекомендациями количественного характера (длина и ширина пассажирских платформ, количество приемо-отправочных путей в парках) инструктивные положения охватывают типовые схемные решения отдельных пунктов, технологические требования, а также слабоформализуемые выражения. По признаку доминирующего фактора в отдельном положении инструктивных указаний проектирования станций предлагается выделить 3 класса проектных требований:

- количественные;
- геометрические;
- технологические.

Доминанты  $Dom(i)$  относятся соответственно к классам количественных ( $i=1$ ), геометрических ( $i=2$ ) и технологических ( $i=3$ ) требований.

Доминанта  $Dom(2)$  имеет непосредственное отношение к процессу проектирования и определяет внешний вид, геометрическое начертание путевой схемы. Из этой категории требований можно выделить следующие подкатегории:

- 1) использующие типовые схемы;
- 2) использующие безусловные типовые требования описательного характера, приводящие к однозначным схемным решениям;
- 3) использующие условные (вариантные) требования описательного характера, приводящие к множеству схемных решений.

Доминанта  $Domin(1)$  определяет количественные параметры проектирования. С точки зрения формализации разрабатывается некоторая функция, результатом действия которой является одна или несколько количественных характеристик.

$Domin(3)$  носит сугубо описательный характер технологического назначения, как правило, косвенно связанный с соответствующими требованиями технического плана.

### **11.3 Классификация нормативных требований по составу элементов**

Исследования показывают, что для эффективной работы САПР ЖС необходимо разрабатывать 3 специфические по структуре базы:

- нормативных данных, жестко закрепленных по численному значению (default-база);
- данных, подключаемых и работающих в прозрачном для пользователя режиме (латентная база);
- графических данных, включающих в себя типовые схемы станций, рациональные увязки горловин, парков и пр.

Default-база. Создание такой базы заключается в разработке множества переменных проектирования, принимаемых САПР по умолчанию. К этим информационным единицам пользователь имеет доступ и может изменить их значение в некотором диапазоне, определенном программно. База организована как совокупность записей, состоящих из двух полей – одного текстового константного содержания, второго – вариантного,

преимущественного числового формата.

Латентная база. Общим между default- и латентной базами является то, что программа САПР обращается к этим данным в процессе автоматизированного проектирования без участия пользователя. В этот конкретный момент обращение к базе блокируется, что приводит к невозможности доступа проектировщика к полям баз с целью просмотра или изменений полей. Данные default-базы оказываются открытыми для изменения в диапазоне предлагаемого допустимого набора конкретных значений. Латентная база в обычном режиме не видна для пользователя. Лишь после активизации соответствующего окна визуализации базы посредством ввода определенного парольного набора с клавиатуры проектировщику предлагается перечень переменных латентной базы. Она также имеет в своем составе константы, которые могут быть только пересмотрены.

Графическая база. В графическую базу данных САПР ЖС вводятся типовые схемы отдельных пунктов. Они рассматриваются как шаблоны, используемые в качестве заготовок при проектировании требуемого путевого развития и технического оснащения. Данные схемы заносятся в графическую базу и хранятся как жесткая конструкция, не имеющая никаких возможностей для изменения пользователем.

#### **11.4 Классификация языковых конструкций нормативных требований проектирования**

Изучение нормативных положений показало, что используется более 300 различных языковых конструкций недостаточно определенного смыслового содержания. В зависимости от подхода к их формальному представлению предлагается выделить несколько типизированных классов.

1 Шкалометрические параметры. Отбор параметров, принадлежащих к классу шкалометрических, производится по принципу тематической классификации. Слова, обозначающие предметы, события, факты, находящиеся между собой в



отношениях сходства или смежности, принадлежат одной тематической группе. Тематическая группа слов имеет заглавное слово, которое обобщает охватываемые им слова и представляет их в качестве видовых понятий или частей целого. Элементы тематической группы могут быть ранжированы по степени интенсивности некоторого признака. В этот класс включаются эмпирические характеристики, измеряющиеся посредством некоторой шкалы, что позволяет перевести проблему оценки языковых форм в плоскость количественного анализа. В соответствии с этой шкалой все лексемы, отождествляющие некоторые близкие по смыслу состояния системы, процесса или события, регистрируемые ИПСУ, группируются в одну категорию.

2 Алетические параметры. В инструкциях по проектированию станций имеется достаточно обширное множество неоднозначно определяемых элементов, характеризующих возможность или необходимость выполнения нормативных требований с различной степенью категоричности. Модальные языковые конструкции можно сгруппировать в категорию алетических высказываний. Алетические лексемы: «разрешается», «может быть», «допускается», «рекомендуется», «следует», «необходимо» и др. – используются как самостоятельные языковые единицы, несущие определенную смысловую нагрузку, так и в сочетании с лингвистическими конструкциями, ограничивающими императивные свойства результирующего образования. Например, «допускается, как правило», «разрешается в исключительных случаях», «следует по возможности».

3 Фокусные параметры. Этот класс языковых конструкций относится к трудноформализуемым сочетаниям. Даже входящие в одну категорию, они достаточно различны по смысловому содержанию. Их объединяют только условная семантическая направленность. Предлагается классифицировать 8 категорий фокусных параметров (таблица 11.1).

Таблица 11.1 - Характеристика фокусных параметров

Фокус	Перечень параметров ИПСУ
1	2
Превосходная степень достигаемого уровня	Наиболее полно Наилучшая Наибольшая Основное назначение Массовая Особо сильно Резко выраженные Наиболее рационально Комплексное развитие Полное взаимодействие Коренное переустройство
Гравитационные	Концентрация Компактность Кооперирование Сгущенное прибытие Сосредоточение по возможности
Благоприятные	Поточность Плавность Удобство Надежность Безопасность Защита Рациональность Оснащенность
Неблагоприятные	Ограниченная Неточная Стесненная Малодеятельные Затруднительно
Связь с другими параметрами	Аналогично Такое же Впоследствии В сочетании Соответствующим Переходный этап

### Окончание таблицы 11.1

1	2
Нормированные	Эксплуатационные условия Нормы проектирования Характер работы Допустимая загрузка Нормальная работа Достаточная длина Определяемые расчетом Принятая система обслуживания Современные технологические процессы Установленной длины
Динамичные	Возможные изменения на перспективу Несколько отличается Удлинение участков обращения Перспективная норма
Акцентирующие	Особое внимание Особые задания Основные Особенности графика Меньшее число

4 Сетецентрические параметры. Этот класс нечетко определенных языковых понятий, используемых в инструкциях, может быть формализован только построением семантических сетей и разработкой соответствующих правил, определяющих содержание таких лингвистических конструкций. К классу сетецентрических относятся: «и т.д.», «и т.п.», «а также», «не препятствует», «кроме того», «независимо», «резервировать» и др.

Программная среда САПР по сравнению с проектировщиком обладает одним серьезным недостатком: она лишена опыта и практических навыков, которыми обладает профессионал. Ликвидировать этот изъян можно только одним-единственным способом – вооружить программу определенной системой воспроизведения опыта проектирования, которой для среды САПР является насыщенная база предметных знаний.

## ЛЕКЦИЯ 12

### ПУТЕВОЕ РАЗВИТИЕ СТАНЦИЙ КАК ОБЪЕКТ САПР

#### 12.1 Формирование алфавита модульных конструктивов и их идентификация

Автоматизированное проектирование путевого развития железнодорожных станций предполагает наличие некоторой исходной базы конструктивов. Как показывают проведенные исследования, это множество оказывается достаточным при включении в него только двух элементов — стрелочного перевода и участка пути, которые способны обеспечить формирование схемы отдельного пункта любого уровня сложности (от горловины парка до железнодорожного узла).

Схема взаимодействия базовых конструктивов требует задания следующих характеристик:

- типа элемента проектирования (стрелочный перевод или участок пути);
- номера выходной точки присоединения этого элемента к существующей структуре;
- номера выходной точки элемента структуры, к которой производится присоединение;
- порядкового номера элемента горловины, к которому производится присоединение;
- индекса ориентации (левосторонний или правосторонний стрелочный перевод, положительная или отрицательная кривизна участка пути);
- порядкового номера элемента проектирования.

Общее выражение, описывающее состояние элемента проектирования в момент присоединения к существующей структуре, определяется как многомерный объект, обладающий некоторыми свойствами тензора. По определению, если для каждой прямоугольной системы координат  $Oxy$  имеется совокупность векторов  $P_x, P_y$ , преобразующихся в векторы  $p'_x, p'_y$ , отвечающие другой системе координат  $O'x'y'$  по формулам

$$p'_x = p_x \cos(x, x') + p_y \cos(y, x');$$

$$p'_y = p_x \cos(x, y') + p_y \cos(y, y'),$$

то совокупность этих векторов определяет новую величину, называемую афинным ортогональным тензором,

$$П = ip_x + jp_y.$$

Компоненты тензора  $П$  играют роль переводных коэффициентов, позволяющих переходить от одной системы координат к другой.

Учитывая специфичность проявления объекта в условиях векторного представления элементов схем отдельных пунктов, в дальнейшем будем пользоваться характеристическим понятием  $\beta$ -тензора. Общая схема формирования  $\beta$ -тензора представлена на рисунке 12.1.

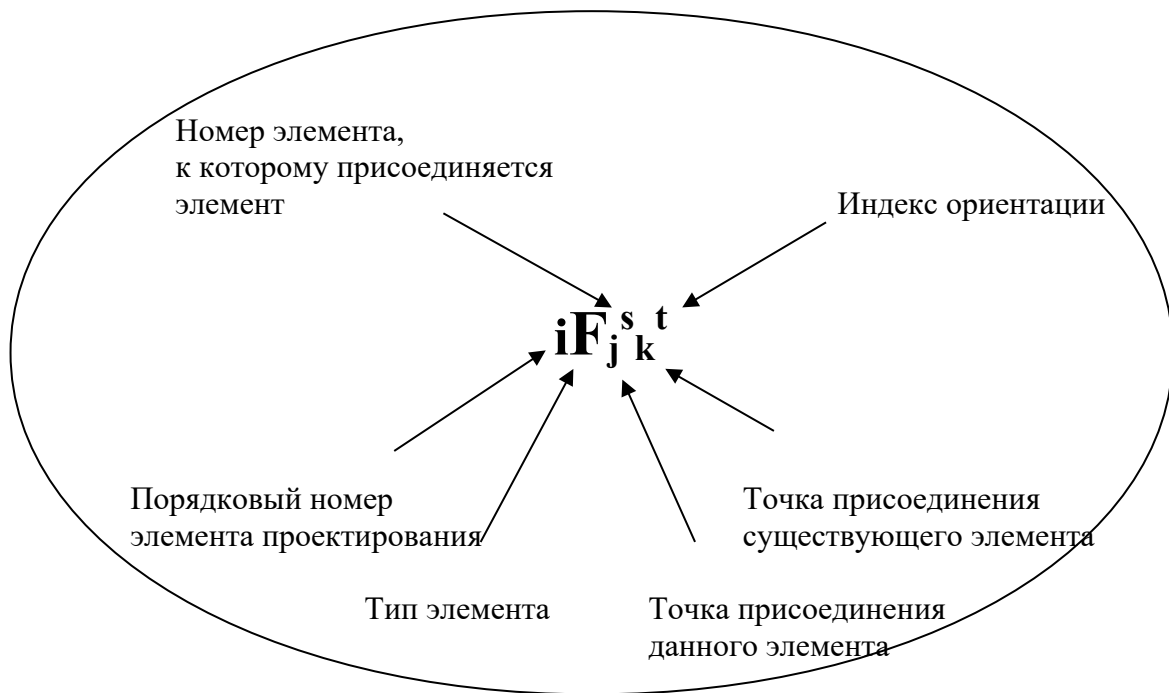


Рисунок 12.1 – Структура тензорного объекта «стрелочный перевод»

Имя  $\beta$ -тензора  $F$  соответствует элементу алфавита базы проектирования  $F = \{STR, PUT\}$  и определяет координаты центра

стрелочного перевода или параметры участка пути.

Основной индекс  $i$  определяет порядковый номер элемента проектирования. Ковариантные индексы  $j, k$  характеризуют точки присоединения; контравариантные индексы  $s, t$  — соответственно номер элемента, к которому производится присоединение, и индекс ориентации.

При расчетах индекс ориентации принимается:

– 0, если стрелочный перевод левосторонний ( $STR = \text{Left}$ ) или участок пути ( $PUT$ ) криволинейный с обходом от начала кривой к концу по часовой стрелке;

– 1, если стрелочный перевод правосторонний ( $STR = \text{Right}$ ) или участок пути ( $PUT$ ) криволинейный с обходом от начала кривой к концу против часовой стрелки;

– 2, если участок пути прямолинейный.

Разработанный формальный объект позволяет при помощи шести параметров корректно описать элемент проектирования и его место в станционной структуре любой сложности. Однако возникают сложности при задании стартовых индексов первого элемента проектирования. Поэтому предлагается принять следующие постулаты:

1) нумерация элементов локальна по отношению к общей структуре парков, станции, узла, т.е. в некоторой большой структуре возможно выделение субструктуры, в которой назначается свой стартовый элемент, и нумерация в следующей субструктуре может повторяться;

2) первый элемент всегда присоединяется к нулевой выходной точке нулевого элемента проектирования. При этом возможна такая запись:

$STR_{1,0}^{0,0}$  — левосторонний стрелочный перевод с присоединением выходной точкой 1 является стартовым;

3) запись цепочки связи желательна в порядке назначения их номеров;

4) начальной точкой присоединения кривой считать выходную точку 1, а конечной точкой — выходную точку 2 независимо от ориентации, кривизны, длины и других

параметров участка пути.

В дальнейшем характеристический  $\beta$ -тензор описания нескольких элементов проектирования будет определяться понятием X-тензор. Для любой структуры горловины или станции в целом количество X-тензоров равно числу элементов в данной структуре.

Ценность представляет выделение из совокупности X-тензоров ( $\sum$ X-тензоров) группы, отвечающей за формирование съезда, одиночного соединения путей, перекрестного съезда и т.п.

Определим  $\sum$ X-тензор для одиночного соединения двух путей и обыкновенного съезда (рисунок 12.2).

В обоих случаях по 5 расчетных элементов: стрелочный перевод и 4 участка пути (рисунок 12.2, а); 2 стрелочных перевода и 3 участка пути (рисунок 12.2, б).

Соответствующие совокупности X-тензоров выглядят следующим образом:

$$1STR_{1,0}^{0,1} \rightarrow 2PUT_{1,2}^{1,2} \rightarrow 3PUT_{1,3}^{1,2} \rightarrow 4PUT_{1,2}^{3,1} \rightarrow 5PUT_{1,2}^{4,2}; \quad (12.1)$$

$$1STR_{1,0}^{0,1} \rightarrow 2PUT_{1,2}^{1,2} \rightarrow 3PUT_{1,3}^{1,2} \rightarrow 4STR_{3,2}^{3,1} \rightarrow 5PUT_{1,2}^{4,2}. \quad (12.2)$$

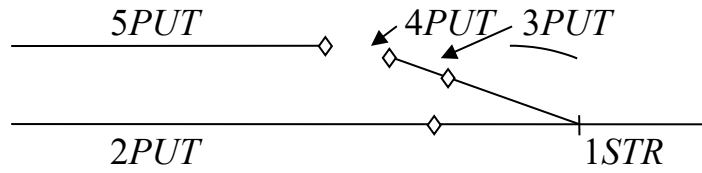
Оба  $\sum$ X-тензора имеют идентичные 3 первых тензора. Однако задача состоит в том, чтобы формулы (12.1) и (12.2), располагаемые в любом порядке, идентифицировать как одиночное соединение двух путей или обыкновенный съезд. Результат проектирования может быть представлен как

$$1PUT_{1,0}^{0,2} \rightarrow 2PUT_{1,2}^{1,0} \rightarrow 3PUT_{1,2}^{2,2} \rightarrow 4STR_{3,2}^{3,1} \rightarrow 5PUT_{1,2}^{4,2}. \quad (12.3)$$

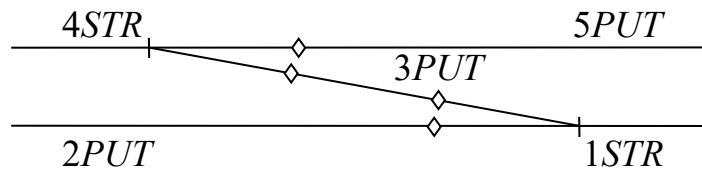
Это тоже запись одиночного соединения двух путей при переобозначении номеров элементов ( $5 \rightarrow 1$ ,  $4 \rightarrow 2$ ,  $1 \rightarrow 4$ ,  $2 \rightarrow 5$ ). Если обход объекта выполняется с переобозначением:  $2 \rightarrow 1$ ,  $1 \rightarrow 2$ , то  $\sum$ X-тензор следующий:

$$1PUT_{1,0}^{0,2} \rightarrow 2STR_{2,2}^{1,1} \rightarrow 3PUT_{1,3}^{2,2} \rightarrow 4PUT_{1,2}^{3,1} \rightarrow 5PUT_{1,2}^{4,2}. \quad (12.4)$$

а)



б)



а — соединение двух путей; б — обыкновенный съезд

Рисунок 12.2 – Элементное содержание

Формулы (12.1), (12.3), (12.4) определяют один объект: одиночное соединение двух путей. Однако это не единственная возможность формальной реализации данного соединения. При его конструировании элемент 3 может не учитываться, т.е. после элемента 1 выбирается и устанавливается сразу элемент 4. Группа  $\sum X$ -тензоров трансформируется из 5-объектной в 4-объектную и представляется выражениями

$$\begin{aligned}
 & 1STR_{1,0}^{0,1} \rightarrow 2PUT_{1,2}^{1,2} \rightarrow 3PUT_{1,3}^{1,1} \rightarrow 4PUT_{1,2}^{3,2}; \\
 & 1PUT_{1,0}^{0,2} \rightarrow 2PUT_{1,2}^{1,0} \rightarrow 3STR_{3,2}^{2,2} \rightarrow 4PUT_{1,2}^{3,2}; \\
 & 1PUT_{1,0}^{0,2} \rightarrow 2STR_{2,2}^{1,1} \rightarrow 3PUT_{1,3}^{1,1} \rightarrow 4PUT_{1,2}^{3,2}.
 \end{aligned} \tag{12.5}$$

Выражения (12.1), (12.3), (12.4) и (12.5) содержат общий признак, присущий всем 6 уравнениям, который указывает на принадлежность этих формул к одиночному соединению двух путей. Для решения этой задачи необходимо определить процедуру распознавания  $m$ -объектной подзаписи из  $n$ -объектной записи  $\sum X$ -тензоров. При этом должно соблюдаться условие  $m \in \{4,5\}$ ,  $m \in n < n_{\max}$ , где  $n_{\max}$  — максимальное значение числа элементов в структуре, определяемое, как правило,



технологическими потребностями.

Алгоритм распознавания соединения двух путей работает следующим образом: из всей совокупности тензоров некоторого макрообъекта проектирования (горловина, парки, станция) выбирается 4-объектный  $\sum X$ -тензор вида

$$aPUT_{1,2}^{n,2} \rightarrow bPUT_{1,3}^{n,2} \rightarrow cPUT_{1,2}^{b,1(0)} \rightarrow dPUT_{1,2}^{c,2} \quad (12.6)$$

или 3-объектный  $\sum X$ -тензор вида

$$aPUT_{1,2}^{n,2} \rightarrow bPUT_{1,3}^{n,1(0)} \rightarrow cPUT_{1,2}^{b,2}, \quad (12.7)$$

где  $a, b, c, d$  — некоторые числа, характеризующие макрообъект проектирования.

В общем случае третий тензор выражения (12.6) и второй тензор выражения (12.7) могут определять участки прямых:  $cPUT_{1,2}^{b,2}$  и  $bPUT_{1,3}^{n,2}$ , а последние тензоры выражений (12.6) и (12.7) могут отсутствовать все. При этом формируется одиночное соединение двух путей под углом

$$aPUT_{1,2}^{n,2} \rightarrow bPUT_{1,3}^{n,2}. \quad (12.8)$$

Данная запись является идентифицирующей формой для одиночного соединения двух путей. Поиск необходимой совокупности  $\sum X$ -тензоров из всего объема записей макрообъекта проектирования выполняется по простой схеме набора отдельных тензоров согласно последовательности (12.6), (12.7) или (12.8).

Алгоритм распознавания структуры соединения элементов как обыкновенного съезда определяется поиском последовательности  $\beta$ -тензоров вида

$$mPUT_{1,2}^{(m-1),2} \rightarrow (m+1)STR_{2,2}^{m,1(0)} \rightarrow (m+2)PUT_{1,3}^{(m+1),2} \rightarrow (m+3)STR_{3,2}^{(m+2),1(0)} \rightarrow (m+4)PUT_{1,2}^{(m+3),2}, \quad (12.9)$$

где  $m$  — номер первого элемента  $\sum X$ -тензора, идентифицирующего обыкновенный съезд.

Финальная последовательность  $\sum X$ -тензора представляет собой выборку из выражения (12.9):

$$mSTR_{2,2}^{(m-1),1(0)} \rightarrow (m+1)PUT_{1,3}^{m,2} \rightarrow (m+2)STR_{3,2}^{(m+1),1(0)}. \quad (12.10)$$

## 12.2 Карта маршрутов автоматизированного проектирования путевого развития железнодорожной станции

По мере развития структуры путевого развития целесообразно вести протокол выполнения отдельных операций по укладке стрелочных переводов и участков пути. Последовательность выбора определенных элементов из базы доступных конструктивов может быть определена картой маршрутов проектирования (МП).

МП может быть представлен как:

- 1) формализованная запись имен подпрограмм, следующих в порядке их использования (метаобраз);
- 2) графическая интерпретация результатов работы визуально упорядоченных проектных процедур (графический образ);
- 3) абстрактная схема (граф-схема, автомат и др.), характеризующая в обобщенном виде направление развития структуры (абстрактный образ).

Исследования показывают, что для целей программного протоколирования этапов развития структуры отдельных пунктов должны использоваться все три представленные интерпретации маршрута проектирования. МП — это путь, связывающий начальную и конечную точки локального проектного решения и повторяющий движение указательного устройства, используемого пользователем при последовательной укладке элементов проектирования посредством САПР.

Предлагается классифицировать элементы маршрутов следующим образом:

1) *по отношению к формируемой структуре станции:*

а) начальные, характеризующие исходный этап формирования структуры станции. Как правило, это участки главного пути, по умолчанию связываемые с перегонем и начинающиеся от знака «Граница станции»;

б) внутренние, определяющие промежуточный этап проектирования. Все выходные точки этих маршрутов связаны с точками других маршрутов;

в) конечные — маршруты, не имеющие дальнейшего развития. Завершение структуры связано либо с выходом по главному пути на перегон за знак «Граница станции», либо с невозможностью развития по другим причинам (укладка тупикового пути, сбрасывающего остряка, примыкание подъездного пути без указания его путевого развития и др.);

г) замыкающие — маршруты, выходящие на точки ранее запроектированного путевого развития данного отдельного пункта;

2) *по характеру:*

а) действительные — маршруты, совпадающие с геометрическим образом путевого развития (осью пути, стрелочного перевода);

б) виртуальные — маршруты, не имеющие реального аналога и связывающие два последовательно запроектированных элемента, пространственно разделенные другими элементами;

3) *по форме:*

а) одиночные — действительные или виртуальные маршруты, имеющие один канал своего движения;

б) ветвящиеся — действительные или виртуальные маршруты, имеющие несколько параллельных или сходящихся (расходящихся) каналов движения;

4) *по направлению:*

а) прямые — действительные маршруты проектирования, совпадающие с направлением начального маршрута или

расположенные под некоторым незначительным углом за счет поворота в кривой;

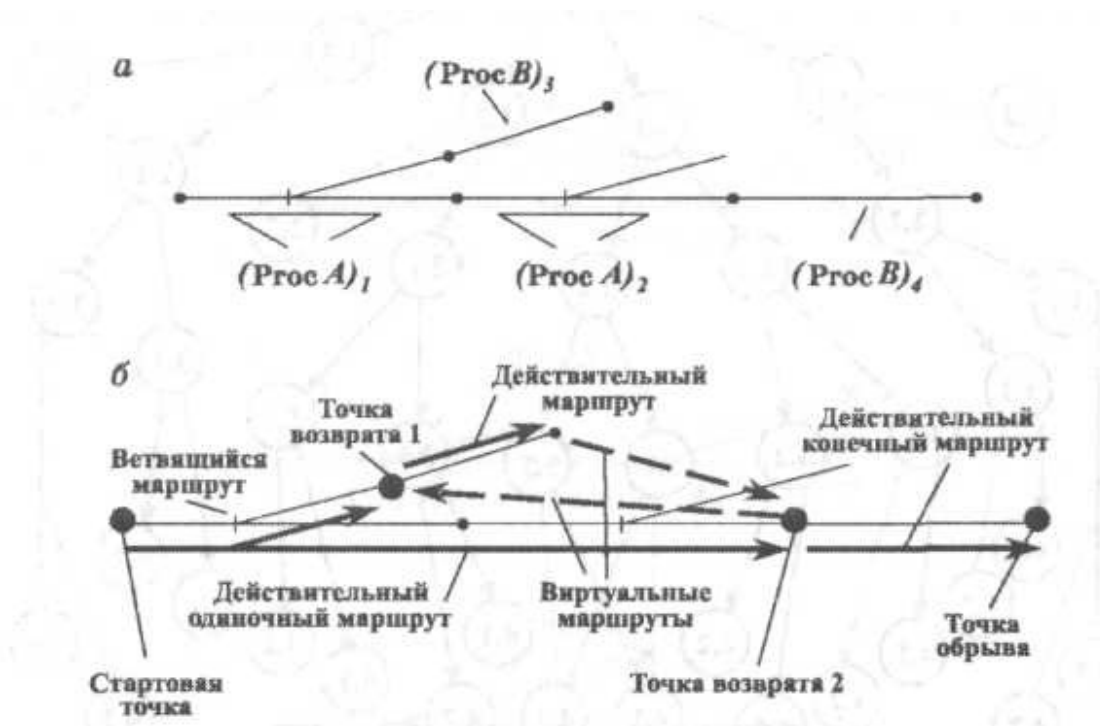
б) обратные — действительные маршруты, противоположные по направлению своего развития относительно начального маршрута.

Иллюстрация различных свойств МП согласно предлагаемой классификации приведена на рисунке 12.3.

Маршрут проектирования данной структуры имеет следующий образ:

$$\begin{aligned} &(\text{Proc } A)_1 \rightarrow (\text{Proc } A)_2 \rightarrow (\text{Proc } B)_3 \rightarrow \\ &\rightarrow (\text{Proc } B)_4 = \text{concat} (\text{Proc } S_i)_j, \end{aligned} \quad (12.11)$$

Формула (12.11) отражает операцию конкатенации (соединения) по определенному правилу отдельных проектных процедур ( $\text{concat} (\text{Proc } S_i)_j$ )  $i$ -го базового примитива  $j$ -го шага проектирования. При этом имеет значение порядок следования отдельных  $\text{Proc } S_i$ .



*a* — схема соединения базовых примитивов;

*б* — основные элементы маршрута проектирования

### Рисунок 12.3 – Последовательные этапы развития структуры станции

Очевидно, что отдельные участки маршрутов можно характеризовать одновременно несколькими признаками. Например, участок маршрута от стартовой точки до точки возврата 2 (см. рисунок 12.3, б) определяется как действительный одиночный прямой маршрут.

Сопоставление всех признаков маршрутов проектирования на предмет их возможного бесконфликтного сочетания позволяет разработать общую древовидную структуру, вершинами которой являются отдельные классификационные признаки.

## ЛЕКЦИЯ 13

### ШАБЛОНЫ, МОДУЛЬНЫЕ КОНСТРУКТИВЫ И ВАРИАТИВНЫЕ ОБЪЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ СТАНЦИЙ

#### 13.1 Формирование множества шаблонов и модульных конструктивов, генерирующих схемы станций

При автоматизации проектирования железнодорожных станций выбор оптимальной схемы размещения устройств с учетом всех факторов является алгоритмически сложным, имеющим древовидную структуру возможных вариантов решения. С использованием типовых шаблонов (своеобразных «заготовок») проектное решение достигается за незначительный промежуток времени. Если в качестве шаблона применяется аналог типовой схемы станции, то положение приемо-отправочных, сортировочных, транзитных парков, локомотивного хозяйства закреплено за определенными точками. Поиск лучшего решения производится путем рекомбинации модулей сопоставимой или более низкой степени сложности.

Шаблон, применяемый для конструкции схемы станции, представляется как неделимый объект, и устройства, входящие в него, закрепляются на определенных точках без возможности

изменения их положения. Поэтому необходимо рассмотреть лишь схемы разрешенного сочетания шаблона  $(Pat)_k$  с внешними (не входящими в шаблон  $(Pat)_k$ ) устройствами  $D_j$  на  $S_i$  точках. В этом отношении целесообразным может оказаться разработка таблиц предпочтения, в соответствии с которыми разрешается (=), рекомендуется (+) или запрещается (-) некоторое сочетание  $(Pat)_k \wedge D_j \wedge S_i$  (таблица 13.1).

Таблица 13.1 – Сочетание мест взаимного размещения  $S_i$  шаблонов  $(Pat)_k$  и внешних устройств станции  $D_j$

Шаб- лон	Устройство $D_1$					Устройство $D_2$					Устройство $D_3$					Устройство $D_k$				
	$S_1$	$S_2$	...	$S_{i-1}$	$S_i$	$S_1$	$S_2$	...	$S_{i-1}$	$S_i$	$S_1$	$S_2$	...	$S_{i-1}$	$S_i$	$S_1$	$S_2$	...	$S_{i-1}$	$S_i$
$(Pat)_1$	-	+		00	0	=	=		+	0	-	-		+	0	+	-		0	0
$(Pat)_2$	+	-		=	0	-	=		+	0	+	=		=	=	-	+		=	=
$(Pat)_3$	=	-		+	0	+	-		-	-	=	+		-	-	+	-		-	-
...																				
$(Pat)_k$	+	=		=	-	+	-		-	-	-	=		+	-	=	=		=	+

Данная таблица может быть составлена проектировщиком или соответствующим образом настроенной программой. Особенностью таблицы 13.1 является то, что глобальная область действия множества  $D_j$  накладывается на локальную область действия множества  $S_i$ . Это значит, что составляется единый список устройств, проектируемых на всех отдельных пунктах. Нумерация точек их привязки  $S_i$  по отношению к конкретному шаблону  $(Pat)_k$  различается при переходе от  $(Pat)_k$  к  $(Pat)_{k+1}$ . Исследования показывают, что несопоставимость в мощности технического оснащения станций, особенности размещения отдельных устройств на отдельных пунктах, различающихся по характеру выполняемой работы, не позволяют канонизировать потенциальные точки расположения устройств. Поэтому  $S_i$  нумеруют по-разному в различных шаблонах  $(Pat)_k$ . Заполнение граф  $S_i$  знаком «0» в таблице 13.1 указывает на тот факт, что в данном  $(Pat)_k$  точка  $S_p$  с номером  $p$  отсутствует.

Так как нумерация мест размещения  $S_i$  устройств  $D_j$  является локальной по отношению к множеству шаблонов  $(Pat)_k$ , то порядок обхода этих точек на схеме большого значения не имеет. Однако при автоматизации процесса разработки таблицы 13.1 целесообразно предложить алгоритм последовательного пересчета всех возможных мест расположения станционных устройств.

Точки  $S_i$  можно определять по отношению к выбранному объекту привязки  $O_1$  и координатным осям. Таким объектом считается шаблон типовой схемы станции  $(Pat)_k$ ; при наличии шаблонов малого охвата — пассажирское здание либо пункт продажи билетов для отдельных пунктов с незначительным путевым развитием, а при отсутствии пункта продажи билетов — пассажирские платформы. Если главные пути объемлют устройства станции, то за ось  $OX$  принимается ось, совпадающая с вектором преимущественного направления роспуска вагонов на горке.

Устройства станции на конкретной схеме занимают определенную площадь, различающуюся по размерам и геометрическому начертанию. В модельном представлении эта площадь стягивается в ячейку, местоположение которой определяется центром тяжести соответствующей геометрической фигуры, контурно очерчиваемой по данному элементу  $D_j$ .

Как правило, изменения в положении устройств, связанные с поиском лучшего варианта, следует ожидать после того, как проектировщик получил некоторый «набросок», черновой рисунок, а в ряде случаев — полноценную схему.

При обобщении правил проектирования и ввода в базу знаний САПР ЖС дополнительных сведений (порядок проведения операций за несколько полурейсов, особенности движения маневровым порядком по главным путям, пропуск грузовых поездов через пассажирский район и т.д.) можно ожидать инициативы от управляющей программы, которая способна предложить варианты разрешения создавшейся конфликтной ситуации.

Использование принципа функционального разделения устройств позволяет создать модификации структурных схем с формированием разделяемых транспортных потоков различных

категорий и сохранением технологической связи элементов.

### **13.2 Формирование вариативных объектов проектирования путевого развития станций**

Элементная база проектирования железнодорожных станций ограничивается незначительным набором примитивов. Тем не менее, как было показано ранее, такой подход позволяет проектировать достаточно сложные в техническом отношении конструктивы путевого развития. Однако часто возникает необходимость оперировать не статичным элементом, закрепляемым в данной точке, а некоторым динамическим набором, различающимся ориентацией, длиной, цветом, типом, толщиной линии. При вызове такого вариационного набора из базы могут моделироваться различные проектные ситуации, что обогащает процесс проектирования в целом. На экране дисплея возникают альтернативные структуры соединений стрелочных переводов, длин путей, которые предлагаются проектировщику для выбора в конкретной узловой точке. Причем эти динамические формы (вариативные объекты) не просто вызываются по порядку из базы, а в зависимости от существующей структуры путевого развития визуализируются из числа разрешенных состояний. Например, при вызове пользователем нового стрелочного перевода с укладкой его в определенной фиксированной точке происходит конструирование схемы соединения двух смежных переводов, а на экран дисплея вызываются лишь бесконфликтные соединения. Проектировщик имеет возможность просмотреть их на экране и выбрать требуемую схему.

При проектировании участка пути соответствующий вариативный объект визуально имитирует элемент с указанием длины и радиуса (для кривых). Причем укладка пути требуемой длины происходит в динамическом режиме отслеживания пройденного пути манипулятором «мышь». Дальнейшее наращивание структуры путевого развития в выбранной точке происходит с автоматическим определением угла присоединения участка пути.

Благодаря органичной внутренней структуре вариативные объекты способны в незаметном для проектировщика режиме



проводить рекогносцировку сложившейся проектной ситуации и предлагать наиболее эффективные возможности дальнейшего развития схемы станции. В качестве латентных примитивов в структуру вариативных форм «защиты» сведения о марке крестовины стрелочного перевода, типе рельсов, радиусе кривых и др.

Следует отметить, что существует прообраз вариативных объектов в виде динамических элементов проектирования, которые интегрированы в типовые пакеты САПР и присутствуют в виде «резиновой линии» при построении отрезка, процедур поиска точки касания кривой или окружности, точки пересечения и др. Однако это инструмент удобства отрисовки конструктивов, экономии времени, достижения точности соединения элементов. Вариативные объекты САПР ЖС, кроме указанных функций, ориентированы на специфику проектирования схем отдельных пунктов железнодорожного транспорта. Данный класс сложных объектов наделяется возможностью сканирования структуры близлежащих элементов, что позволяет анализировать обширные области путевого развития с точки зрения различных критериев технического и технологического характера.

Особенностью реализации вариативных объектов является виртуализация потенциального множества состояний данного элемента. Реально существует только один объект в виде блока, записанного в файл (стрелочный перевод) или формируемого функциональными множествами встроенного языка программирования (участок пути). Остальные состояния генерируются программно путем изменения отдельных параметров базового объекта. Двухмерная геометрия процесса проектирования незначительно нагружает аппаратные ресурсы ПЭВМ и позволяет практически мгновенно имитировать новые положения элемента в программном режиме. Для этого разработаны соответствующие процедуры, которые обсчитывают перспективную проектную ситуацию с участием виртуальных кандидатов на новый элемент.

Исследования показали, что класс вариативных объектов проектирования железнодорожных станций должен ориентироваться на базовые конструктивы. Приемлемый сервис достигается при наличии всего лишь трех действительных

вариативных объектов конструирования: прямого участка пути ( $V_1$ ), участка пути в кривой ( $V_2$ ) и стрелочного перевода ( $V_3$ ).

Формирование потенциального положения любого  $V_i$  объекта начинается с точки  $X_1$ , которая указывается проектировщиком как узловой пункт дальнейшего развития схемы. Если намечается укладка участка пути, то программно отслеживается расстояние  $d_l$  от указателя манипулятора «мышь» на экране дисплея до точки  $X_1$ .

С изменением  $d_l$  динамически изменяется длина требуемого участка пути  $L$ , визуально представляемая другим цветом и типом линии на рабочем поле экрана под начальным углом  $\alpha_1$ . Конечная точка сопровождается дополнительным текстовым окном с указанием текущей длины участка  $L$ .

Программно фиксируется лишь фактическое расстояние  $d_l$ , поэтому указатель манипулятора может находиться в любом положении по отношению к точке  $X_1$ . Нажатием левой кнопки «мыши» пользователь останавливает работу процедуры. В результате полученный участок прямого и криволинейного пути регенерируется цветом и типом линии, установленными для текущего слоя формирования схемы станции.

Действительный вариативный объект  $V_3$  работает несколько иначе. Процесс присоединения к точке  $X_1$  предваряет программный анализ предыдущего элемента  $J_0$ , стыкующегося с выбранным стрелочным переводом. Из базы  $J_0$  считываются тип примитива, тип рельсов, другие параметры. Исходя из этой информации формируется множество допустимых ориентаций присоединяемого перевода. По сигналу нажатой левой кнопки «мыши» проектируется соединение  $J_0 + J_{1j}$  с учетом схемы взаимного расположения стрелочных переводов. Выбор определенной схемы производится пользователем после нажатия клавиши <ENTER> на клавиатуре.

Для всех трех действительных вариативных объектов разработаны их статичные аналоги. При этом динамическое отслеживание мгновенных позиций заменяется вводом определенных значений длины  $L$  или положения перевода  $J_{1j}$ . Жизнедеятельность вариативного объекта ограничивается промежутком времени между вызовом процедуры альтернативных решений в точке  $X_1$  до фиксации пользователем

варианта выбора. После закрепления определенного положения на схеме вариативные объекты ничем не отличаются от статичных форм, полученных путем вычерчивания отрезков и кривых линий методами типового пакета САПР.

Кроме трех действительных вариативных объектов в САПР ЖС целесообразно использовать мнимый вариативный объект. Этот инструмент имитирует работу обычной линейки, позволяя определить расстояние между заданными точками, не внося никаких видимых изменений в существующее путевое развитие отдельного пункта. Его использование позволяет оперативно отслеживать расстояние от фиксированной до текущей точки в динамическом режиме регистрации. Данный вариативный объект работает в двух режимах: автоматического построения перпендикуляра от участка пути, на котором выбирается исходная схема, и вычисления длины виртуального отрезка в направлении, заданном проектировщиком.

### **13.3 Особенности разработки САПР железнодорожных станций**

После определения структуры базовых примитивов и механизма их взаимодействия основной задачей является практическое применение полученных объектов для проектирования элементов конкретных схем отдельных пунктов. Рассматриваются два основных направления реализации данной проблемы:

- разработка автономной программы, включающей в себя только функциональные возможности САПР железнодорожных станций;

- использование типового пакета автоматизированного проектирования (AutoCAD) с адаптацией программных ресурсов для решения узкоцелевых задач построения схем станций.

Целесообразно использование типовых САПР, которые легче приспособить для решения специфических задач, чем формировать САПР ЖС «с нуля», занимаясь реализацией

сложных проблем универсального характера (разрабатывать графическую оболочку взаимодействия с пользователем, контролировать граничные и конфликтные ситуации общего характера и др.). Модульная структура существующих типовых САПР позволяет за непродолжительный срок, используя нормализованные сведения, получить достаточно работоспособную систему автоматизированного проектирования путевого развития железнодорожных станций. Достаточно включить в состав типового пакета около 150 небольших специальных функций на языке AutoLISP, рассчитывающих координаты элементов, выдающих на экран диагностические сообщения различного характера, контролирующих выполнение нормативных требований проектирования и др., как возникает новый, достаточно специфический пакет, который с полным основанием можно назвать системой автоматизированного проектирования железнодорожных станций.

Более 100 функций в типовой среде AutoCAD можно отключить, так как они не используются при проектировании станций ни при каких условиях. Изъятие таких подпрограмм приведет к сокращению общего загрузочного кода и, как следствие, может повыситься эффективность работы всего прикладного пакета в целом. Вместе с реструктуризацией содержания изменяется внешний вид среды САПР. Каждой дополнительной функции соответствует графическая панель с интуитивно-понятным назначением. Достаточно активизировать эту панель простым нажатием на нее с помощью манипулятора «мышь», и сразу же реализуется требуемая операция.

По мере развития схемы станции чаще начинают использоваться определенные функции САПР ЖС, отвечающие за вызов новых и редактирование существующих элементов. Поэтому эти инструменты располагаются «под рукой» проектировщика.

Многие функции реализованы в латентном режиме (вызов шаблонов, формирование карты маршрутов), которые существуют в виде определенных программных структур, работающих в фоновом режиме и не проявляющих себя в процессе проектирования. Так функционируют многие процедуры формирования исходных данных и инструментов

редактирования.

В целом встроенные возможности типового пакета САПР, обеспечивающие настройку среды и другие общесистемные функции, помогают целевой подсистеме автоматизации проектирования схем отдельных пунктов реализовать базовые возможности по формированию корректной структуры с минимальными затратами времени.

Разрабатываемый пакет автоматизации проектирования железнодорожных станций относится к так называемым click-системам, которые функционируют посредством передачи управляющего воздействия от проектировщика через манипулятор «мышь» графическим панелям, символизирующим собой определенную операцию. Отказ от командной строки как средства вызова функций вычислительной среды позволяет сократить время ожидания ответа пользователя. Одновременно проектировщик освобождается от необходимости запоминать большое количество команд. Стильное изображение на графической кнопке, имеющее смысловую ориентацию, подсказывает пользователю ее назначение. Если проектировщик не уверен в том, что данная панель выполняет определенное действие, то достаточно задержать указатель манипулятора на несколько секунд на определенной кнопке. В результате этой операции высветится краткая подсказка рядом с кнопкой и обстоятельное пояснение внизу экрана.

## **ЛЕКЦИЯ 14**

### **Формирование технико-технологических макрообъектов проектирования**

#### **14.1 Структура макрообъекта проектирования**

Технико-технологическим макрообъектом проектирования будем называть агрегированный элемент, формально представляющий собой результат воздействия некоторой технологической операции на объект. Считаем, что под действием

технологической операции  $D_i$  объект  $S_i$  изменяет свое состояние  $C_k$ . Можно определить соответствующие множества  $D$ ,  $S$  и  $C$ :

1) множество объектов

$S = \{\text{локомотив(ы), вагон(ы), поезд(а), пассажир(ы), груз(ы), ...}\};$

2) множество технологических операций

$D = \{\text{прием, отправление, сортировка, подача, уборка, экипировка, ремонт, отстой, расстановка, сборка, мойка, погрузка, выгрузка, перестановка, осмотр, отцепка, прицепка, вытягивание, надвиг, роспуск, осаживание, окончание формирования, опробование тормозов, посадка, высадка, ...}\};$

3) множество элементов путевого развития

$C = \{\text{пути: главный, приема, отправления, сортировки, транзитные, сортировки, погрузки-выгрузки, вытяжной, экипировки, ремонта, тупик; горка, грузовой район, подъездной путь, ЛХ, ВЧД, парк, ...}\}.$

Изменение состояния объекта — это его перемещение, приводящее к генерации соответствующего путевого развития (например, подача на подъездной путь), либо преобразование свойств (мойка локомотива, посадка пассажиров). При развитии структуры отдельного пункта в САПР ЖС предполагается контролировать технологическую целостность посредством некоторой бинарной операции, где каждый  $fs_i$ -й объект из выделенного  $D$ -множества проецируется на  $fc_i$ -й элемент  $C$ -множества элементов путевого развития посредством связи  $S_i D_i$ -й технологической операции:

$$D_i \\ fs_i \rightarrow fc_i.$$

Мощность  $D$ -,  $C$ - и  $S$ -множеств определяется сложностью структуры проектируемого отдельного пункта на  $t$ -м этапе проектирования.

При использовании технологических макрообъектов можно разработать процедуры контроля по обеспечению требований нормативных документов проектирования.

Для каждой технологической операции, выполняемой на отдельном пункте, разрабатываются шаблоны трансформации

$fs_i \rightarrow fc_i$ , которые накладываются на схему станции. Таким образом можно проверить работоспособность полученного проектного решения, выявить узкие места, ограничивающие пропускную и перерабатывающую способность станционных устройств.

## 14.2 Принципы функционирования технико-технологических объектов при проектировании схем отдельных пунктов

Представляется необходимым выработать концепцию создания и использования единой технико-технологической основы формирования расширенных модулей проектирования (РМП). Понятие РМП  $\Delta_i\theta_j$  включает в себя структурные элементы путевой схемы отдельного пункта любого уровня сложности  $\Delta_i$ , которые имеют присущее этой форме технологическое содержание  $\theta_j$  (таблица 14.1).

Таблица 14.1 – База данных модулей проектирования САПР железнодорожных станций

Наименование $\Delta_i$	Обозначение	Технологическое содержание $\theta_j$
Стрелочный перевод	STR	Tech{STR}
Участок пути (пути парка)	PUT(n)	Tech{PUT(n)}
Горловина парка	STR(n <sub>1</sub> ) + PUT(n <sub>2</sub> )	Tech{STR(n <sub>1</sub> ) + PUT(n <sub>2</sub> )}
Парк	STR(n <sub>1</sub> ) + PUT(n <sub>2</sub> ) + STR(n <sub>3</sub> )	Tech{STR(n <sub>1</sub> ) + PUT(n <sub>2</sub> ) + STR(n <sub>3</sub> )}
...	...	...

Конкретный перечень технологических операций модульного конструктива определяется характером работы проектируемого отдельного пункта, взаимным расположением устройств и другими факторами. Множество модулей проектирования, из которых состоит путевое развитие станции, формирует интегрированную среду технико-технологических структур САПР (ТТС САПР). Однако на пути ее создания лежит ряд определенных трудностей, связанных с особенностями

процесса проектирования железнодорожных станций.

Анализ перечня операций, выполняемых на отдельном пункте, показывает, что многие из них требуют значительного по протяженности и разнородного по структуре путевого развития. Например, для выполнения операции *«прием пассажирского поезда на станцию»* необходимо задействовать входной участок станции (главные пути) и пассажирский район со всеми приемо-отправочными путями, потенциально способными принять составы данной категории. Этот структурный элемент путевого развития ограничивается соответствующими выходными сигналами.

Второй важной особенностью ТТС САПР является повторное использование уже запроектированного путевого развития для выполнения других операций. Так, главные и некоторые пути пассажирского района могут быть использованы для пропуска грузовых поездов. Для исключения редупликации следует разработать своеобразные процедуры-фильтры, способные распознать проектную ситуацию и защитить запроектированное путевое развитие от дублирующих элементов.

Логическая интерпретация исполнения технологической операции иногда приводит к двойственным ситуациям. Например, *«обгон поездным локомотивом состава по свободному пути»* воспринимается как:

1) принципиальная возможность исполнения такой операции независимо от занятости путей другими поездами и группами вагонов;

2) проверка способности технического оснащения станции выполнить данную операцию при любом поездном положении на станции (в том числе и при самом неблагоприятном).

Аналогичные разрешения проблемы двойственности выполнения операции могут иметь место и при некоторых других технологических операциях (подача вагонов на подъездной путь, перестановка в парк отправления и др.). Предлагается считать первый путь решения проблемы двойственности этапом проектирования, а второй путь — постпроектированием или анализом проектного решения.



Опыт применения программных систем автоматизации проектирования общего назначения показывает, что реализация элементов ТТС САПР должна учитывать вектор действия технологических операций. Результатом их исполнения является, как правило, изменение положения транспортных единиц (прием поезда, перестановка группы вагонов, уборка локомотива) — категория  $F_1$  — или изменение их состояния (выгрузка грузов, экипировка состава, посадка пассажиров) — категория  $F_2$ . Категория  $F_1$  имеет ярко выраженное направление, совпадающее с перемещением объекта и связанное с соответствующим путевым развитием. Это приводит к необходимости проектирования схемы в направлении исполнения соответствующей технологической операции. Однако многие операции имеют несовпадающие и даже пересекающиеся векторы. В связи с такой особенностью возникает задача выбора исходного направления развития схемы отдельного пункта. Это направление предлагается считать совпадающим с суммарным вектором действия всех технологических операций, выполняемых на проектируемом путевом развитии. Наряду с этим начальную точку отсчета и вектор развития плана отдельного пункта может определять и проектировщик. Если схема станции (тип, взаимное расположение устройств) не определена, используется правило развития структуры в направлении приема на станцию максимального потока поездов всех категорий.

Конструирование путевого развития станции должно гарантировать неразрывность геометрического образа и технологических операций. Важно определить способ контроля, который может указать места разрыва путевого развития. Сплошность среды проектирования — это отсутствие разрывов геометрического и технологического характера смежных конструктивов. При этом выходные точки предыдущего модуля покрываются входными точками последующего модуля с продолжением незавершенных технологических операций. Могут быть следующие случаи нарушения сплошности среды:

- а) разрыв геометрической целостности при корректном

продолжении технологической операции.

В данном случае должна существовать программная возможность устранения разрыва геометрического образа схемы станции, которая реализуется автоматически, если пользователь отказывается от разрыва геометрической целостности структуры. При подтверждении проектировщиком смещенного слияния модулей  $T_k$  и  $T_{k+1}$  программа САПР не должна препятствовать данному указанию. Путь 1 модуля  $T_k$  может быть главным путем, объемлющим все подсистемы станции, путь 5 модуля  $T_{k+1}$  — ходовым, связывающим парк ПП и ПО. Однако практически модули  $T_k$  и  $T_{k+1}$  могут иметь различное количество точек входа и выхода. Поэтому геометрически целостными считаем такие модули, для которых все выходные точки  $T_k$  покрываются входными точками  $T_{k+1}$  (при этом некоторые входные точки  $T_{k+1}$  могут быть висячими);

б) разрыв технологического характера при сплошности геометрического образа;

в) нарушение сплошности среды проектирования технического и технологического характера. Разрывы подобного рода должны гарантированно идентифицироваться средствами САПР с выдачей на экран соответствующих диагностических сообщений. Однако контроль сплошности не предполагает ограничение действий проектировщика. Пользователь имеет широкие возможности, позволяющие ему запроектировать необходимое путевое развитие отдельного пункта. Но при разрывах среды проектирования восполнять недостающие связи пользователь обязан самостоятельно.

Анализ существующих схем станций и возможных этапных решений по их воспроизведению средствами САПР показывает, что практически ни одна из них не может быть запроектирована без нарушений сплошности. Встречные и пересекающиеся маршруты передвижения вагонопотоков на станции инициируют соответствующие направления технологических операций. Тем не менее, это надежный инструмент при сегментировании путевого развития станции, когда требование сплошности среды должно выполняться на нескольких смежных модулях, охватываемых технологической операцией.

Для эффективной работы ТТС САПР необходимо ввести ряд постулируемых положений:

1) емкость путевого развития модуля проектирования определяется его технологическими возможностями;

2) укладка нового модуля проектирования приводит к началу или продолжению (завершению) технологической операции;

3) технологические операции инвариантны по отношению к любым геометрическим преобразованиям данного модуля проектирования;

4) связь отдельных модулей проектирования не только на уровне геометрической, но и технологической целостности приводит к более устойчивому состоянию всей системы;

5) наличие технологического содержания путевого развития позволяет системе адаптироваться к различным ситуациям;

6) построение рабочей схемы станции приводит к выполнению всех требований технологического характера;

7) использование ТТС САПР позволяет провести этапы проектирования в пакетном режиме, что следует из предыдущего постулата;

8) технологические операции пересекаются на некотором узле путевого развития при выполнении  $D$ -операции и репликации;

9) категория технологических операций  $F_2$  (приводящих к изменению состояния транспортных средств) требует для своей реализации, кроме основного путевого развития, проектирования комплекса сопряженных технических устройств;

10) увеличение мощности путевого развития неадекватно росту числа выполняемых на нем технологических операций;

11) технические элементы проектирования (стрелочные переводы, участки путей и их многочисленные комбинации) относятся к разряду комбинаторно-упорядоченных структур;

12) множество модулей проектирования ТТС САПР является открытым и упорядоченным;

13) завершение проектного цикла стимулирует механизм

генерации и оценки вариантных решений.

В процессе разработки ТТС САПР необходимо применять интеллектуальные алгоритмы сложного анализа бесконфликтного выполнения некоторого множества технологических операций на разворачиваемом путевом развитии. Учитывая объективные причины нарушения сплошности среды проектирования, в системе САПР ЖС в полном объеме используются практические навыки и опыт проектировщика. Синтез высокоорганизованных адаптивных программных решений и знаний, интуиции проектировщика позволяет выдвинуть гипотезу о возможности создания гибридной интеллектуальной системы автоматизации проектирования железнодорожных станций (ГИСАПРЖС).

Подобные структуры в полном объеме имеют возможности саморазвития, клонируя в себе способности и опыт проектировщика путем внесения в память решений, принятых человеком при разработке схем, их анализа и выбора наиболее эффективного путевого развития отдельного пункта.

## **ЛЕКЦИЯ 15**

### **ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТИПА РАЗДЕЛЬНОГО ПУНКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ**

#### **15.1 Разработка критерия соответствия мощности технического оснащения станции абстрактному объекту**

Проектируемое путевое развитие станции должно обеспечивать эффективное выполнение всех технологических операций по обслуживанию поступающих поездопотоков различных категорий. Выполнить эти операции в рациональном режиме может определенный отдельный пункт. Таким образом, по исходным размерам движения, как правило, можно установить наименование, тип требуемого отдельного пункта и параметры его устройств. Преобразование количественных параметров входного потока в соответствующее схемное решение представляет интерес с точки зрения реализации пакетного режима системы автоматизированного проектирования

железнодорожных станций.

Для идентификации разъездов, обгонных пунктов и станций по размерам движения каждому отдельному пункту  $P_i$  можно поставить в соответствие ряд технологических операций  $M_{ij}$ , который выделяет его из множества  $\{P\}$ . Причем из всех технологических операций принимаются во внимание только те, которые однозначно характеризуют тот или иной отдельный пункт (таблица 15.1).

Таблица 15.1 – Перечень технологических операций на отдельных и остановочных пунктах

Наименование отдельных пунктов	Основные операции при обслуживании поездопотока													
	грузового					пассажирского								
	транзитного			местного		дальнего			местного			пригородного		
	пропуск	прием б/п	прием с/п	погр.-выгр.	техн. обл.	пропуск	посадка-высадка	техн. обл.	пропуск	прием	техн. обл.	пропуск	прием	техн. обл.
Блок-пост	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Пролодной светофор	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	-	-
Разъезд	+	<<	<<	<<	-	+	-	-	+	<<	-	-	+	-
Обгонный пункт	+	-	-	-	-	+	-	-	-	<<	-	-	+	-
Промежуточная станция	+	<<	<<	<<	<<	+	-	<<	+	+	-	-	+	-
Участковая станция	<<	>>	+	+	+	+	-	+	+	+	<<	-	+	<<
Сортировочная станция	-	+	>>	+	+	+	-	-	+	<<	-	-	+	-
Грузовая станция	+	<<	>>	>>	+	+	-	<<	+	+	-	-	+	-
Пассажирская станция	+	<<	<<	<<	-	+	<<	>>	+	>>	+	-	>>	+
Пассажирская техническая	+	-	-	-	-	<<	+	-	<<	-	>>	<<	-	>>

станция														
Остановочный пункт	+	-	-	-	-	+	-	-	+	-	-	-	+	-
Индекс операции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Операция  $M_{ij}$  определяется условным обобщающим параметром, который называется индексом  $Ind(j)$ , объединяющим в себе, кроме основной, другие сопутствующие операции. Например,  $Ind(4)$  (погрузка-выгрузка) включает подачу на пункт местной работы, расстановку, сборку вагонов, уборку на станцию, а также ожидание выполнения этих операций;  $Ind(11)$  — техническое обслуживание пассажирских составов местного сообщения (охватывает уборку поезда с пассажирского парка и перестановку в технический парк или на техническую станцию, экипировку, ремонт, отстой, подачу на посадку и т.д.).

Раздельные пункты в таблица 15.1 располагаются в основном в порядке увеличения мощности путевого развития и технического оснащения или сложности технологического исполнения, кроме остановочного пункта, который по определению раздельным пунктом не является, но имеет техническое оснащение (платформу) и выполняет работу по обслуживанию пригородных пассажиров. Знак «<<» указывает на незначительный объем выполнения данных операций, символом «>>» отмечена преобладающая операция, «+» и «-» — соответственно наличие и отсутствие определенных технологических операций.

Набор признаков «+», «-», «>>», «<<» некоторым образом идентифицирует тип раздельного пункта. Однако точную границу целесообразного сооружения данного  $P_k$  указать достаточно сложно из-за существенного влияния большого количества факторов, которые в конкретной ситуации могут внести существенные коррективы в жесткую систему идентификации. Так, при некотором соотношении транзитного без переработки, с переработкой и местного потоков может оказаться целесообразным проектировать участковую, сортировочную или грузовую станцию (даже с учетом того, что каждый из перечисленных раздельных пунктов специализируется по переработке одного потока). Достаточно размытой является

граница между зонами проектирования сортировочной с большим объемом местной работы и грузовой станциями. Аналогичные сложности имеют место при идентификации отдельных пунктов с незначительным объемом работы (разъездов, обгонных пунктов, промежуточных станций).

Инструктивные документы по проектированию станций и узлов не определяют однозначно требования и условия проектирования того или иного отдельного пункта. Как правило, рекомендации имеют достаточно неопределенный характер. Например:

*«на разъездах должны быть запроектированы устройства, обеспечивающие ... в необходимых случаях производство в небольших объемах грузовых и пассажирских операций»;*

*«на обгонных пунктах ... устройства, обеспечивающие в необходимых случаях производство пассажирских операций»;*

*«на промежуточных станциях ... в необходимых случаях устройства, обеспечивающие экипировку маневровых локомотивов»;*

*«к участковым следует относить станции, основным назначением которых является формирование участковых и сборных поездов, обработка транзитных поездов, смена локомотивов, бригад ...»;*

*«к сортировочным следует относить станции, основной работой которых является сортировка вагонов по назначениям ...»;*

*«пассажирские станции следует проектировать для обслуживания городов с большим числом пассажирских поездов, начинающих и кончающих движение на данной станции ...»;*

*«грузовые станции следует предусматривать, как правило, для обслуживания крупных и крупнейших городов при значительном объеме грузовой работы ...».*

И лишь некоторые инструктивные положения определяют сферы целесообразного проектирования пассажирских технических и грузовых станций:

*«для формирования, очистки, ремонта, экипировки и*

*стоянки пассажирских составов и вагонов следует проектировать технические парк при обработке 4—5 составов конечного дальнего сообщения в сутки и технические станции при большем числе составов»;*

*«обслуживание морских и речных портов при перевалке грузов с железной дороги ... следует предусматривать ... с числом причалов менее 4 при расстоянии до 20 км ... — с предпортовой сортировочной станции ...; при числе причалов 4 и более применяются схемы обслуживания: при расстоянии между портом и сортировочной станцией до 7—8 км и размерах грузооборота до 10 млн т в год ... — из районных парков, а при расстоянии 13 км и более и грузообороте 15 млн т в год и более — с портовой станции».*

Реальный учет объективных и субъективных факторов, использование отечественного и мирового опыта проектирования и эксплуатации объектов железнодорожного транспорта помогают проектировщикам в поиске эффективного варианта структуры, мощности путевого развития и технического оснащения отдельного пункта. В этом случае использование экспертного метода позволит количественно интерпретировать содержание таблицы 15.1. При этом внимание должно быть обращено на трансформацию в численный диапазон понятий «незначительный (значительный) объем работы», «преобладающая операция», «выполнение технологических операций в некотором объеме».

Для решения этой задачи можно оценить общие затраты времени на выполнение операций согласно таблице 15.1 по следующей формуле:

$$T_i = \sum_{j=1}^b N_{ij} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^c t_{ijk},$$

где  $T_i$  — общая продолжительность операций на  $i$ -м отдельном пункте, ч;

$N_{ij}$  — количество поездов  $j$ -й индексной операции  $i$ -го пункта;



$t_{ijk}$  — продолжительность выполнения соответствующих операций с учетом  $k$ -х сопутствующих операций категории  $j$ .

Неопределенность входных параметров, размытость их значений в пределах некоторого интервала не всегда позволяют решить задачу идентификации типа отдельного пункта прямой экспертной оценкой. Каждый входной параметр имеет свой вес и значимость, влияющие в большей или меньшей степени на конечный результат. Весовые коэффициенты изменяются в различных внешних условиях.

## 15.2 Принципиальные схемы реализации обучающих структур

Подобные задачи, как показывает практика, достаточно однозначно алгоритмизируются в терминах теории обучающих систем. Формально обучающая система представляется в виде множества связанных между собой элементов  $A_i$ , каждый из которых имеет входы и выход (рисунок 15.1).

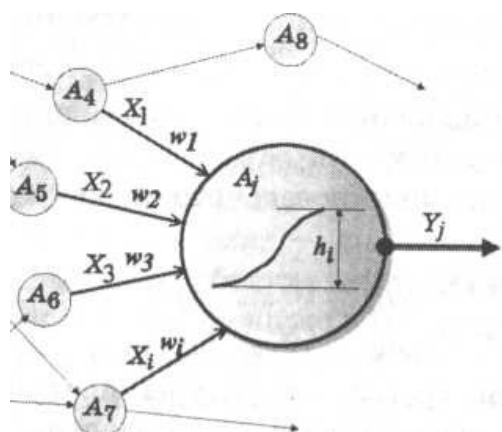


Рисунок 15.1 – Принципиальная схема функционирования обучающей сети

Сигнал входа обладает некоторым весом  $\omega_i$ , определяющим его вклад в общее значение выходного сигнала  $y$ ,

формирующегося с помощью некоторой передаточной функции. В качестве передаточной функции используется выражение  $Y = \sum_i x_i \omega_i$ .

Выходной сигнал элемента  $A_j$  принимает определенное значение, которое расценивается как указатель на тип проектируемого раздельного пункта в зависимости от превышения  $Y$  некоторого порога  $h_k$ , т.е.

$y = \text{«разъезд»}$ , если  $h_{k-1} \leq x_i \omega_i < h_k$ ,

$y = \text{«промежуточная станция»}$ , если  $h_k \leq x_i \omega_i < h_{k+1}$ ,

$y = \text{«участковая станция»}$ , если  $h_{k+1} \leq x_i \omega_i < h_{k+2}$ ,

$y = \text{«сортировочная станция»}$ , если  $h_{k+2} \leq x_i \omega_i < h_{k+3}$  и т.д.

Таким образом, элемент  $A_j$ , принимающий сигналы от входных рецепторов  $x_i$ , формирует выходной импульс  $y$  по определенному правилу. Значения  $x_i \omega_i$  сравниваются с пороговой величиной  $h_j$ , где  $j$  — номер идентифицируемого раздельного пункта. Находится такое  $h_j$ , что

$$h_{j-1} \leq x_i \omega_i < h_j.$$

Так как все узловые точки  $h_j$  проиндексированы (т.е. им сопоставлены соответствующие наименования раздельных пунктов), то  $h_{j-1}$  может указывать на искомый тип станции (разъезд, обгонный пункт, остановочный пункт и др.). Учитывая специфику обработки грузовых и пассажирских поездов, на стадии передачи входных сигналов через  $A$  исходные данные по этим категориям составов разделяют и направляют на субэлементы  $A_{11}$  и  $A_{21}$ . При формировании соответствующих сигналов  $(x_i \omega_i)_{сп}$  и  $(x_i \omega_i)_{нас}$  происходит их сравнение с пороговыми значениями  $h_{ij}$ .

После разработки структуры данную сеть необходимо обучить. Это означает, что весовые коэффициенты  $\omega_i$  должны быть так подобраны, чтобы при определенных входных параметрах  $x_i$  на выходе идентифицировался тип раздельного пункта  $y$ , не противоречащий выводам эксперта и опыту практики. Обучение происходит посредством решения ряда задач

с различными  $x_i$ , задания значений  $\omega_i$  и оценки результата передаточной функции  $f(x_i, \omega_i)$ .

## ЛЕКЦИЯ 16

### РАЗРАБОТКА ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЕЗДОПОТОКОВ В САПР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

#### 16.1 Принципиальная модель взаимодействия структуры путевого развития и технологических операций

Для эффективного выполнения технологических операций на станции необходимо запроектировать взаимоувязанный комплекс технических устройств и сооружений. Учитывая тот факт, что технологические линии обслуживания поездопотоков различных назначений могут быть совмещены с соответствующим техническим оснащением, можно определить целый ряд трансформационных структур, переводящих некоторым образом операции в путевое развитие. С точки зрения автоматизации проектирования железнодорожных станций такой подход может обеспечить генерацию вариантных схемных решений  $R_j$ , которые реализуют выполнение заданного набора технологических операций  $G_j$ . При этом следует отметить, что множество  $G_j$  порождает  $R_j$  ( $G_j \rightarrow R_j$ ). Однако в общем случае обратное соответствие нарушается, так как на одном и том же путевом развитии могут быть исполнены различные последовательности технологических операций. Поэтому акцентируем внимание на задаче нахождения алгоритма трансформации множества  $G_j$  в  $R_j$ . Связанная система  $G_j \rightarrow R_j$  интерпретируется как структура, определяющая содержание технико-технологического макрообъекта проектирования. Элементная база этой системы достаточно сложна и разнотипна. Из ее состава можно выделить четыре класса подмножеств  $G_{ik} \rightarrow R_{js}$  с различной степенью связи:

1)  $P_1$  — сильно связанные (прием транзитного поезда нечетного направления и специализированный путь парка приема для грузовых поездов нечетного направления, отправление

пригородного состава четного направления и специализированный путь пассажирского парка, вытягивание состава из парка приема и вытяжной путь, выгрузка вагонов и погрузочно-выгрузочный путь);

2)  $P_2$  — слабо связанные (подача группы вагонов на подъездной путь и вытяжной путь станции, отстой локомотивов в ожидании подачи под поезд и специализированный путь парка отправления, перестановка вагонов под сдвоенные операции на грузовом районе и погрузочно-выгрузочный путь);

3)  $P_3$  — не связанные (подача поездного локомотива под поезд и специализированный путь парка отправления грузовых поездов, экипировка поездного локомотива и специализированный путь для приема пассажирских поездов);

4)  $P_4$  — запрещенные (прием пассажирского поезда и вытяжной путь, ремонт поездного локомотива и специализированный путь для приема пассажирских поездов, погрузка вагонов и путь сортировочного парка).

Логичной схемой дальнейшего развития идеи отождествления элементов станции с технологическим содержанием является разработка модели выполнения последовательности операций с привязкой к определенному техническому оснащению. Данный процесс имитирует развитие путевой схемы по мере обслуживания поездопотоков различных категорий. Скорость формирования станционной структуры в общем случае оказывается меньше скорости выполнения технологических операций по причине повторного или многократного использования одних и тех же элементов  $R_{js}$  для различных  $G_{ik}$ .

## **16.2 Модель процесса обслуживания поездопотоков с генерацией путевого развития**

Удобной схемой представления процесса технологического обслуживания, влекущего за собой ряд преобразований станционной структуры, является технограф.

Технограф представляет собой ориентированный граф

последовательности технологических операций, выполняемых на отдельных пунктах железнодорожного транспорта. Множество данных операций достаточно велико, и технограф охватывает весь перечень в теоретическом плане, а практически оказывается, что любой граф операций на некоторой станции  $A$  является сечением полного технографа, который представляется как многомерный объект с вершинами в узлах некоторой решетки (рисунок 16.1).

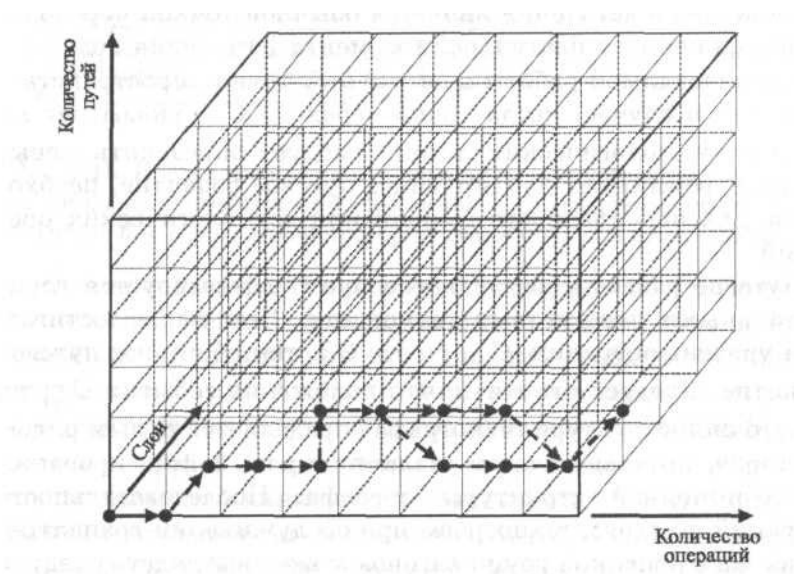


Рисунок 16.1 – Общая структура технографа

Для решения поставленной задачи размерность технографа можно снизить до трех, рассматривая плоскостные срезы множества технологических операций, выполняемых на различных путях станции. Разделение уровней на слои позволяет отслеживать различные технологические линии обработки поездов, вагонов, грузов или варианты схемы обслуживания.

Подобная реализация технографа ориентирует пользователя на заполнение узлов решетки по принципу возрастания номера операции (ось  $OX$ ), количества участвующих путей (ось  $OZ$ ) и соответствующего слоя событий (ось  $OY$ ). Считаем, что точка перехода к новому слою фиксирует изменение характера работы (переход от обслуживания состава поезда к обслуживанию группы вагонов с их передислокацией — подача на грузовой

район, подъездной путь; от обслуживания группы вагонов к обслуживанию одного вагона — выгрузка вагона с производством всех сопутствующих операций и др.). Учитывая тот факт, что различные вагоны одного состава претерпевают различные операции (например, в транзитном поезде с отцепкой-прицепкой), на технографе появляются точки ветвления, приводящие к разделению технологических линий. Однако появление точки ветвления не указывает на необходимость формирования путевого развития, допускающего параллельное выполнение технологических операций. Так как точка ветвления является обычной точкой перехода, то она фиксирует наступление момента изменения содержания производимой работы в различных точках пространства. И только в случае, когда точка перехода  $C_{xyz}$  указывает на слияние технологических линий, следует определять меры, которые формируют дублирующее путевое развитие, необходимое для параллельного выполнения технологических операций.

### 16.3 Формирование матрицы сопряжения технологических операций и элементов путевого развития

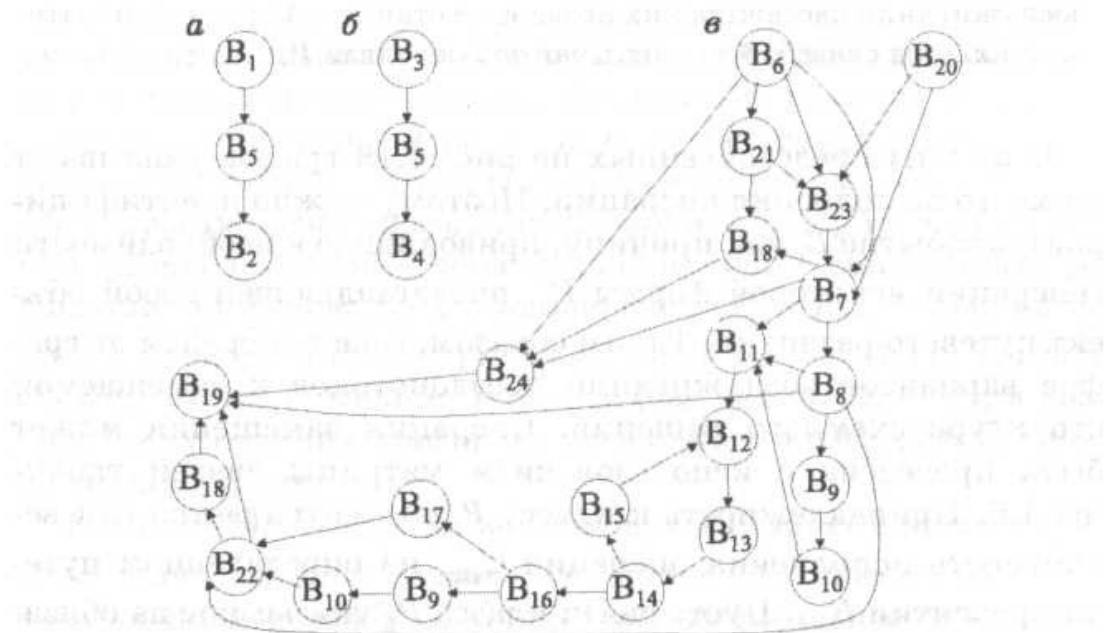
Основной целью формирования отображений  $G_i \rightarrow R_j$  является определение классов непересекающихся отношений  $P_i$ , которые регламентируют ( $P_1$ ), рекомендуют ( $P_2$ ), допускают ( $P_3$ ) или исключают ( $P_4$ ) связи различных технологических операций и путевого развития, при выполнении данной операции. Семантика отношений  $P_i$  характеризует вероятность принадлежности связи  $R_{js} \leftarrow G_{ik}$  к данному конкретному типу.

Пусть на некоторый раздельный пункт  $A$  поступают  $X_i$  поездов  $i$ -й категории ( $i = 1$  — пассажирские,  $i = 2$  — пригородные,  $i = 3$  — грузовые транзитные с отцепкой групп,  $i = 4$  — сборные). Кроме того, осуществляется работа на грузовом районе и примыкающем подъездном пути с возможностью выполнения сдвоенных операций. Всю станционную работу производит маневровый локомотив, приписанный к данной станции. По составу работ необходимо определить соответствующие связанные подмножества  $G_{ik} \subseteq G_i$  и

$$R_{js} \subseteq R_j.$$

Принадлежность бинарного отношения  $(G_{ikn} P_w R_{jsm})$  к  $\omega$ -му классу определяем экспертным способом, используя опыт проектирования эффективных структур путевого развития станций. Состав формируемых подмножеств фиксируем соответствующими связями  $P_w$  согласно таблице 16.1.

Определим цепочки последовательности технологических операций, связанных переходами  $P_i$ . Для предлагаемого примера варианты графы имеют следующие виды (рисунок 16.2).



а — пассажирские; б — пригородные; в — грузовые

Рисунок 16.2 – Графы вариантов обслуживания поездопотоков различных категорий на станции А

Вершины представленных на рисунке 16.2 графов указывают на место выполнения операций. Поэтому можно идентифицировать событие  $V_i$  как причину, приводящую к необходимости генерации некоторой формы  $U_j$ , представляющей собой объект путевого развития. Таким образом, можно перейти от графов вариантов обслуживания поездопотоков к замещаемой структуре схемного решения. Операция замещения может быть проведена с использованием матрицы связей таблицы 16.1. Принадлежность к классу  $P_i$  рассматривается как вероятность исполнения операции

$G_{ikm}$  на определенном путевом развитии  $R_{jsn}$ .

Таблица 16.1 – Матрица связей технологических операций и парковых элементов

Перечень технологических операций	Элементы путевого развития станции							
	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_6$	$U_7$	$U_8$
	Специализированный путь приема пассажирских	Специализированный путь приема грузовых поездов	Вытяжной путь	Соединительный путь	Технологический тупик	Погрузочно-выгрузочный путь	Выставочный путь	Сортировочный путь
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Прием пассажирского поезда ( $B_1$ )	$P_1$	$P_3$	$P_4$	$P_3$	$P_4$	$P_4$	$P_4$	$P_4$
Отправление пассажирского поезда ( $B_2$ )	$P_1$	$P_3$	$P_4$	$P_3$	$P_4$	$P_4$	$P_4$	$P_4$
Прием пригородного поезда ( $B_3$ )	$P_1$	$P_3$	$P_4$	$P_3$	$P_4$	$P_4$	$P_4$	$P_4$
Отправление пригородного поезда ( $B_4$ )	$P_1$	$P_3$	$P_4$	$P_3$	$P_4$	$P_4$	$P_4$	$P_4$
Посадка и высадка пассажиров ( $B_5$ )	$P_1$	$P_3$	$P_4$	$P_3$	$P_4$	$P_4$	$P_4$	$P_4$
Прием транзитного поезда ( $B_6$ )	$P_3$	$P_1$	$P_4$	$P_3$	$P_4$	$P_4$	$P_4$	$P_4$
Отцепка группы вагонов ( $B_7$ )	$P_4$	$P_1$	$P_3$	$P_3$	$P_3$	$P_3$	$P_3$	$P_2$
Перестановка группы на другой путь ( $B_8$ )	$P_4$	$P_1$	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_1$	$P_1$	$P_2$
Вытягивание на вытяжной путь ( $B_9$ )	$P_4$	$P_1$	$P_1$	$P_2$	$P_2$	$P_3$	$P_3$	$P_1$



Окончание таблицы 16.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Расформирование ( $B_{10}$ )	$P_4$	$P_1$	$P_1$	$P_2$	$P_2$	$P_3$	$P_3$	$P_1$
Подача на подъездной путь ( $B_{11}$ )	$P_4$	$P_2$	$P_2$	$P_2$	$P_3$	$P_1$	$P_1$	$P_3$
Расстановка на подъездном пути ( $B_{12}$ )	$P_4$	$P_3$	$P_3$	$P_1$	$P_3$	$P_1$	$P_2$	$P_3$
Грузовая операция ( $B_{13}$ )	$P_4$	$P_3$	$P_4$	$P_2$	$P_3$	$P_1$	$P_3$	$P_3$
Сборка на подъездном пути ( $B_{14}$ )	$P_4$	$P_3$	$P_4$	$P_3$	$P_3$	$P_1$	$P_3$	$P_3$
Сдвоенные операции ( $B_{15}$ )	$P_4$	$P_3$	$P_2$	$P_2$	$P_3$	$P_1$	$P_1$	$P_3$
Уборка вагонов в парк ( $B_{16}$ )	$P_4$	$P_2$	$P_2$	$P_2$	$P_3$	$P_1$	$P_3$	$P_1$
Перестановка под поезд ( $B_{17}$ )	$P_4$	$P_1$	$P_3$	$P_2$	$P_4$	$P_3$	$P_3$	$P_1$
Прицепка локомотива ( $B_{18}$ )	$P_4$	$P_1$	$P_3$	$P_2$	$P_3$	$P_3$	$P_3$	$P_2$
Отправление поезда ( $B_{19}$ )	$P_4$	$P_1$	$P_4$	$P_2$	$P_4$	$P_4$	$P_4$	$P_2$
Прием сборного поезда ( $B_{20}$ )	$P_4$	$P_1$	$P_4$	$P_2$	$P_4$	$P_3$	$P_3$	$P_3$
Отцепка локомотива ( $B_{21}$ )	$P_4$	$P_1$	$P_3$	$P_2$	$P_3$	$P_3$	$P_3$	$P_3$
Отцепка маневрового локомотива ( $B_{22}$ )	$P_4$	$P_1$	$P_1$	$P_2$	$P_2$	$P_3$	$P_3$	$P_3$
Прицепка маневрового локомотива ( $B_{23}$ )	$P_4$	$P_1$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_2$	$P_2$	$P_2$
Ожидание операции ( $B_{24}$ )	$P_1$	$P_1$	$P_1$	$P_2$	$P_1$	$P_1$	$P_1$	$P_1$

## 16.4 Выбор структуры схемообразующих технологических операций

Для обслуживания грузового движения по станции *A* выделяем следующие технологические линии:

1) прием и отправление транзитных поездов (скрещение и обгон)

$$B_6 \rightarrow B_{24} \rightarrow B_{19};$$

2) прием и отправление транзитных поездов с перецепкой поездных локомотивов

$$B_6 \rightarrow B_{21} \rightarrow B_{18} \rightarrow B_{24} \rightarrow B_{19};$$

3) прием и отправление транзитных поездов с переломом массы:

а) с перестановкой отцепки на другой путь:

— отцепка с головы состава поездным локомотивом

$$B_6 \rightarrow B_7 \rightarrow B_8 \rightarrow B_{18} \rightarrow B_{19};$$

— отцепка с хвоста состава маневровым локомотивом:

• без перецепки поездного локомотива

$$B_6 \rightarrow B_{23} \rightarrow B_7 \rightarrow B_8 \rightarrow B_{22} \rightarrow B_{19};$$

• с перецепкой поездного локомотива

$$B_6 \rightarrow B_{21} \rightarrow B_{23} \rightarrow B_7 \rightarrow B_8 \rightarrow B_{22} \rightarrow B_{18} \rightarrow B_{19};$$

б) с расформированием отцепки и подачей на подъездной путь

$$B_6 \rightarrow B_7 \rightarrow B_9 \rightarrow B_{10} \rightarrow B_{11} \rightarrow B_{12} \rightarrow B_{13} \rightarrow B_{14} \rightarrow B_{16} \rightarrow B_9 \rightarrow B_{10} \rightarrow B_{17} \rightarrow B_{22} \rightarrow B_{18} \rightarrow B_{19}.$$

Следует рассматривать не все технологические операции, а только схемообразующие. Следовательно, фиксировать необходимо только такие переходы  $C_{xyz}$ , которые связываются с перемещением подвижного состава.

Классификационная таблица 16.2 охватывает укрупненный ряд технологических операций, генерирующих путевое развитие.

Таблица 16.2 – Перечень схемообразующих технологических операций

Наименование операции	Генерируемое путевое развитие
Прием поезда	Путь приема
Уборка поездного локомотива	Соединительный путь, ходовой путь, путь отстоя, экипировки, ремонта
Подача маневрового локомотива	Вытяжной, соединительный, ходовой пути
Вытягивание состава	Вытяжной, соединительный пути
Расформирование	Сортировочные пути
Подача (уборка) на грузовой район (подъездной путь)	Пути грузового района (подъездного пути)
Перестановка подвижного состава	Выставочный путь, пути отстоя, экипировки, ремонта
Отправление поезда	Путь отправления

Отдельные операции являются прерогативой путей, другие выполняются с занятием только горловин, третьи требуют использования и путей, и горловин. По данному признаку выделяем классификационную структуру подмножеств  $G_i$ , формируемых по признаку внешнего вида путевого развития, на котором производятся технологические операции с поездами различных категорий.

В зависимости от состава поезда, прибывающего на станцию, выполняется тот или иной ряд технологических операций. Случайность данного процесса указывает на возможность использования в качестве аппарата математического описания марковских цепей. Считаем, что переход к следующей  $(i+1)$ -й операции определяется некоторым

вероятностным параметром  $P_{i+1}$  и зависит только от предыдущего состояния. Предыстория достижения данного состояния (шаги  $i-1, i-2, i-3...$ ) никоим образом не влияет на дальнейшее развитие процесса, а зависит исключительно от достигнутого уровня  $i$  и вероятности перехода  $P_{i+1}$  к уровню  $(i+1)$ .

Независимо от вероятности перехода к следующей технологической операции развить схему следует по всем направлениям  $P_{ij}$ , исходящим из состояния  $K_i$ . Техническое оснащение станции должно обеспечивать проведение любой операции, необходимость которой может наступить с любой вероятностью  $P_{ij} > 0$ . И если в данной конкретной реализации Марковской цепи переходов формируется определенный набор операций, то в другой реализации (т.е. при обслуживании другого состава грузового поезда) может возникнуть иная ситуация с альтернативным набором операций.

Таким образом, вероятностная цепь технологических операций влечет за собой фиксированный набор схемных решений, вытекающих из необходимости выполнения всех технологических операций. Поэтому усеченный граф схемообразующих состояний марковской цепи принимаем за конструктивную основу генерации путевого развития отдельного пункта, обеспечивающего обслуживание прибывающих грузовых поездов.

Программное проектирование путевого развития на основе анализа процесса выполнения технологических операций значительно упрощается, если используются готовые блоки горловин, парков и целых станций, при помощи которых конструируется необходимая схема. Данный подход снимает ряд сложных проблем, связанных с укладкой и увязкой расчетного количества путей для приема заданного числа поездов. Однако применение шаблонных конструкций должно быть аргументировано определенными требованиями, условиями, правилами, нормами и т.д. В соответствующей базе данных САПР необходимо хранить множество подобных объектов. И чем больше сборочных элементов в конструкции (путей, стрелочных переводов), тем больше разновидностей этих конструкций должно находиться в базе данных.

## ЛЕКЦИЯ 17

# ОСНОВЫ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ САПР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

## 17.1 Общая схема формирования плоскости с контрольными точками

Так как любая схема отдельного пункта может быть воспроизведена по координатам контрольных точек отдельных элементов проектирования, то воспользуемся проецируемой плоскостью ( $\beta$ -плоскость), на которую переносятся все значимые узлы путевого развития станции, изображенной на рабочем чертеже ( $\alpha$ -плоскость). Причем контрольные точки наследуют свойства элемента, к которому они принадлежат (рисунок 17.1).

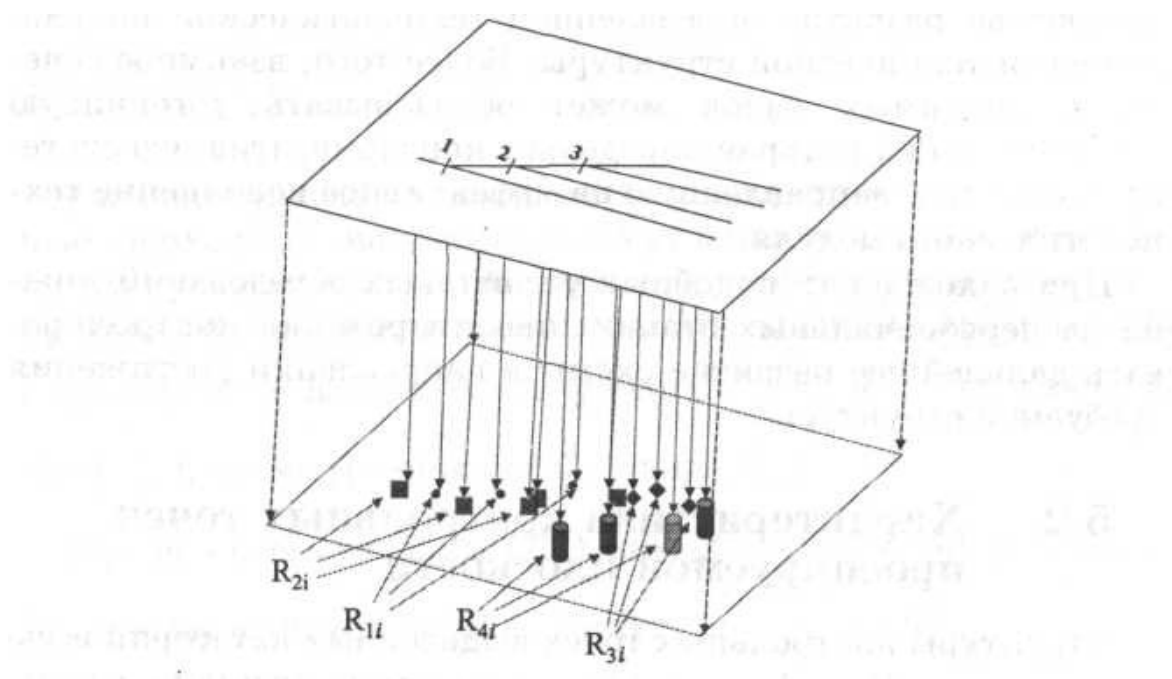


Рисунок 17.1 – Схема трансформации контрольных точек  
путевого развития на проецируемую плоскость

Выделяется четыре категории контрольных точек, имеющих принципиальное различие и содержащих различную информацию:

- коагулятивные узлы ( $R_1$ ) (координаты центров стрелочных переводов, сигналов, предельных столбиков);
- выходные точки, фиксирующие границы стрелочного перевода ( $R_2$ ). При этом смежные элементы имеют перекрывающиеся точки, которые на  $\beta$ -плоскости вырождаются в элемент с аддитивными характеристиками родительских точек;
- опорные точки, определяющие начало, конец кривой и вершину угла поворота ( $R_3$ );
- гравиметрические точки, указывающие на положение центра тяжести элемента с однородной планарной или пространственно распределенной структурой (участки прямых, площадки и склады хранения грузов, пассажирские платформы) ( $R_4$ ).

## 17.2 Характеристика контрольных точек плоскости

Классификационная структура всех контрольных точек  $\beta$ -плоскости представлена в таблице 17.1.

Таблица 17.1 – Характеристика контрольных точек  $\beta$ -плоскости

Категории точек	Объекты категории	Аргументы объектов
1	2	3
Коагулятивные $R_1$	Стрелочный перевод $R_1^1$	Марка $r_{11}^1$
		Тип рельса $r_{12}^1$
		Номер эпюры $r_{13}^1$
		Сторонность $r_{14}^1$
		Угол $r_{15}^1$
	Сигнал $R_1^2$	Назначение $r_{11}^2$
		Схема установки $r_{12}^2$
		Вид $r_{13}^2$
	Предельный столбик $R_1^3$	

Окончание таблицы 17.1

1	2	3
Выходные $R_2$	Выходные $R_2^1$	Номер точки $r_{21}^1$
		Фантомный признак $r_{22}^1$
Опорные $R_3$	Начало кривой $R_3^1$	Угол касательной $r_{31}^1$
	Конец кривой $R_3^2$	Угол касательной $r_{31}^2$
	Вершина угла поворота $R_3^3$	Тип рельса $r_{31}^3$
		Радиус кривой $r_{32}^3$
		Ориентация кривой $r_{33}^3$
		Наличие переходной кривой $r_{34}^3$
Назначение пути $r_{35}^3$		
Гравиметрические $R_4$	Прямой участок пути $R_4^1$	Длина $r_{41}^1$
		Тип рельса $r_{42}^1$
		Назначение $r_{43}^1$
	Платформа $R_4^2$	Назначение $r_{41}^2$
		Длина $r_{42}^2$
		Ширина $r_{43}^2$
	Склады $R_4^3$	Назначение $r_{41}^3$
		Длина $r_{42}^3$
		Ширина $r_{43}^3$
		Высота $r_{44}^3$
		Дополнительный идентификатор $r_{45}^3$
	Прочие устройства $R_4^4$	Назначение $r_{41}^4$
		Длина $r_{42}^4$
		Ширина $r_{43}^4$
		Высота $r_{44}^4$
		Дополнительный идентификатор $r_{45}^4$

### 17.3 Базовые операции в пространстве точек плоскости

Основными действиями в пространстве модели являются:

- сложение ( $\oplus$  -операция);
- порождение ( $\otimes$  -операция);
- погашение ( $\langle \times \rangle$  -операция);

- вычитание ( $\dashv$ -операция);
- дополнение ( $\vdash$ -операция);
- сопряжение ( $\Uparrow$ -операция);
- деформация ( $\circ$ -операция);
- лонгирование ( $\Leftrightarrow$ -операция).

Под сложением подразумевается конкатенация двух модулей проектирования, приводящая к появлению общей точки сопряжения. Считаем, что входная точка присоединяемого  $(p+1)$ -го элемента покрывает выходную точку существующего  $p$ -го элемента. Результатом  $\oplus$ -операции является интегрированный объект с закрепляемой структурой составляющих его элементов. Целесообразно сохранение таких параметров, как тип рельса, марка крестовины, радиус кривой, так как неразличимость свойств внутри получаемого объекта привела бы к невозможности возврата к предыдущему шагу проектирования.

Операция порождения ( $\otimes$ ) является *интраполярным* действием, которое возникает спонтанно, не в результате присоединения нового элемента, а лишь постольку, поскольку стрелочный перевод и криволинейный участок пути выбираются как модуль проектирования из базы и помещаются в определенную рабочую область экрана дисплея.

В связи с необходимостью исключения из схемы одного или нескольких сигналов вводится операция погашения ( $\langle \times \rangle$ ) (ластик-операция) формализованного объекта  $R_{ij}^2$ .

Операция вычитания ( $\dashv$ ) характеризует исключение  $p$ -го модуля из существующей структуры запроектированного путевого развития  $\Omega$ .

Результатом вычитания может быть формирование новой стационарной структуры с закреплением точек обрыва (исключение первого рода) либо реализация схемы стягивания разорванных объектов и ликвидации последствия операции исключения модуля проектирования (исключение второго рода). В последнем случае решение может быть успешным (стягивание последующего  $(p+1)$ -го модуля в точку обрыва предыдущего  $(p-1)$ -го без висячих точек), частично успешным (стягивание с уменьшением числа висячих точек) и безуспешным.

Операция дополнения ( $\vdash$ ) применяется при



проектировании различных устройств, образы которых представляются гравиметрическими точками.

Отличительной особенностью этой операции является опосредованная связь с путевым развитием. При сооружении платформ, складов отсутствует прямой контакт с другими  $R_i$ .

Операцию сопряжения ( $\uparrow$ ) можно отнести к специфическому проявлению операции порождения новых объектов. Результатом сопряжения двух элементов является криволинейный участок пути с возможными прямыми вставками, обеспечивающими касательное соединение сопрягаемых объектов.

Важным свойством этой операции является манипуляция объектами как резиновыми нитями. Сопрягаемые участки буквально натягиваются на виртуальный криволинейный шаблон, обеспечивая плавное изменение угла поворота.

Операция деформации ( $^\circ$ ) связана с изменением места расположения объектов при сохранении их топологических признаков. Данное действие связано с вычитанием объектов. При деструктуризации схемы и проведении операции исключения второго рода устранение обрыва путевого развития становится возможным благодаря перемещению следующего (и связанных с ним) объекта в точку исчезнувшего (делетированного) элемента. Если делетированным является стрелочный перевод, то операция деформации может не производиться, а освободившееся место занимает участок прямого или криволинейного пути.

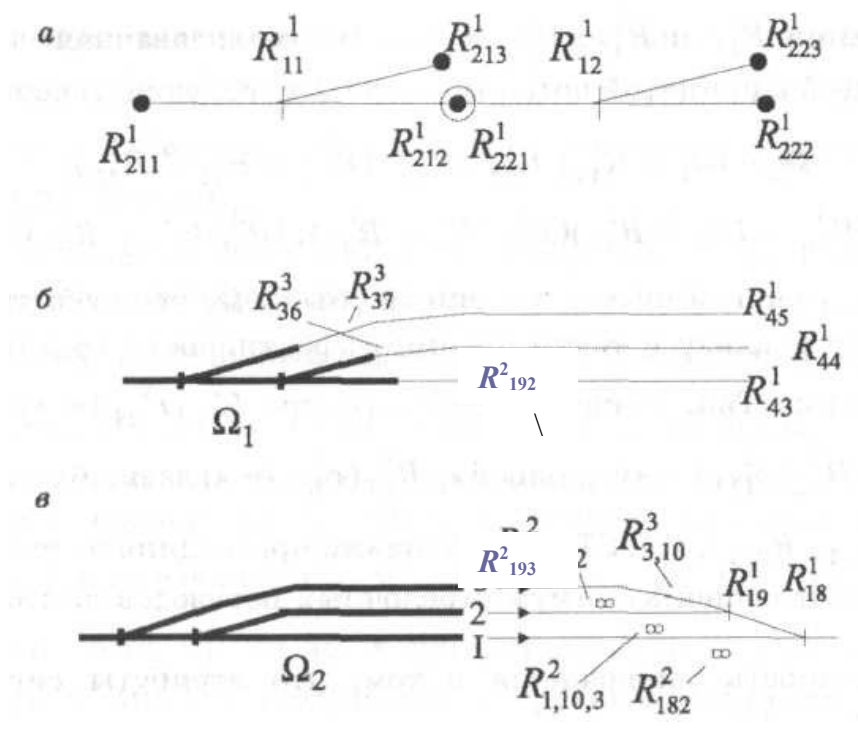
Операция лонгирования ( $\Leftrightarrow$ ) служит для вычисления расстояния между точками. Эта операция не связана с изменением схемы путевого развития, однако часто используется при оценке различных вариантов присоединения новых элементов к существующей структуре. Расстояние можно вычислять не только между фиксированными точками центров стрелочных переводов, сигналов и предельных столбиков, но и между гравиметрическими коллапс-элементами.

## 17.4 Алгоритм формирования структур путевого развития и

## технологического содержания в пространстве объектов

При выборе модулей проектирования из базы исходных элементов параллельно формируются две модели схемы отдельного пункта: геометрическая — в плоскости чертежа на экране дисплея и абстрактная — в проективной  $\beta$ -плоскости. Путем проведения ряда операций, которые определены для объектов, практически в незаметном для проектировщика режиме можно проводить достаточно сложный анализ получаемой структуры и оперативно подсказывать пользователю целесообразные направления дальнейшего развития структуры, а также выполнять другие действия по уточнению схемы, автоматическому устранению мелких погрешностей и ошибок проектировщика и пр.

Рассмотрим три последовательных этапа развития некоторой стрелочной структуры (рисунок 17.2).



*a* — горловина; *б* — пути парка; *в* — парк станции

Рисунок 17.2 – Модельное представление развития парковой структуры

Соединение двух стрелочных переводов порождает

композиционный объект  $\Omega_1$ , включающий в себя выходные точки, предельные столбики и сигналы:

$$\Omega_1 = \left( (R_{11}^1 \oplus R_{12}^1) \otimes_{i=1}^3 (R_{11i}^2, R_{12i}^2) \right) \text{ (порождение сигналов);}$$

$$(R_{11}^1 \oplus R_{12}^1) \otimes (R_{11}^3, R_{12}^3) \quad \text{(порождение предельных столбиков);}$$

$$R_{11}^1 \otimes_{i=1}^3 R_{21i}^1;$$

$$R_{12}^1 \otimes_{i=1}^3 R_{22i}^1 \quad \text{(порождение выходных точек);}$$

$$(R_{11}^1 \oplus R_{12}^1) \langle \times \rangle (R_{212}^1, R_{221}^1) \quad \text{(погашение выходных точек).}$$

Для выполнения операции погашения элементов (в данном случае выходных точек №2 STR1 и №1 STR2) необходимо определить номера присоединяемых точек, являющихся аргументами  $R_{11}^1$  и  $R_{12}^1$ . Для примера рисунка 9, а

$$R_{11}^1(r_{161}^1) = 2; \quad R_{12}^1(r_{162}^1) = 1;$$

$$\langle \times \rangle (R_{21(r_{161}^1)}^1; R_{22(r_{162}^1)}^1).$$

Следует обратить внимание на то, что соединение  $(R_{11}^1 \oplus R_{12}^1)$  предполагает корректное взаимное расположение смежных стрелочных переводов. Возможно автоматическое распознавание схемы соединения по анализу  $R_{11}^1 r_{161}^1$  и  $R_{12}^1 r_{162}^1$  с последующим фоновым расчетом длины прямых вставок между переводами. Поэтому  $\oplus$ -операция неявно предполагает связь объектов в соответствии с нормами проектирования.

Пусть дальнейшее наращивание структуры  $\Omega_1$  заключается в последовательном соединении объектов  $R_{43}^1, R_{44}^1, R_{45}^1$  и сопряжении  $R_{11}^1$  и  $R_{45}^1; R_{12}^1$  и  $R_{44}^1$ . Формализованная запись операций в принятой нотации выглядит следующим образом:

$$\Omega_1 = \left\{ \Omega_1 \oplus R_{43}^1; R_{44}^1, R_{45}^1; (R_{37}^3 = R_{11}^1 \uparrow R_{45}^1); (R_{36}^3 = R_{12}^1 \uparrow R_{44}^1); (R_{37}^3 \otimes_{i=1}^2 R_{37}^i); (R_{36}^3 \otimes_{i=1}^2 R_{36}^i) \right\}.$$

Полученный интегрированный объект  $\Omega_1$  может быть подвергнут анализу с точки зрения эффективности соединения элементов.

Данная структура  $\Omega_1$ , состоящая из семи модулей проектирования, представляет собой достаточно сложную систему элементов, обладающую значительными технологическими возможностями. Так как  $R_{43}^1(r_{433}^1) = \langle \text{главный} \rangle$ ,  $R_{43}^1(r_{433}^1) = \langle \text{нечетный} \rangle$  (рисунок 17.2, б), то погашается сигнал, устанавливаемый у выходной точки №1 STR2:  $\langle \times \rangle R_{12}^2$ .

Операции в проективной плоскости активизируются при соединениях:

$$R_{4i}^1 \oplus R_{4j}^1 \text{ (стрелочный перевод и прямой участок пути);}$$

$$R_{3i}^1 \oplus R_{4j}^1 \text{ (криволинейный и прямой участки пути).}$$

Элементом-катализатором, как правило, является участок пути, обладающий определенными технологическими признаками («назначение»  $r_{43i}^1$  и «специализация»  $r_{44i}^1$ ). Однако изолированный  $R_{4j}^1$  не несет существенной технологической нагрузки и лишь в соединении с другими модулями проектирования начинает наполнять схему  $\Omega_k$  конкретным содержанием.

Пусть интегральная форма  $\Omega_1$  развивается как объект, представленный на рисунке 17.2, в. Присоединение  $R_{18}^1$  к  $R_{43}^1$  происходит после деформации последнего объекта до стандартной полезной длины пути:

$$R_{18}^1 \oplus (R_{43}^1 \circ (r_{413}^1 = l_{\text{пол}})).$$

Далее следует привязка элементов по следующей схеме:

$$(R_{19}^1 \oplus R_{18}^1) \langle \times \rangle (R_{283}^1, R_{291}^1);$$

$$R_{44}^1 \circ (r_{414}^1 = l_{\text{пол}});$$

$$R_{3,10}^3 = R_{45}^1 \uparrow R_{39}^1;$$

$$R_{3,10}^3 \otimes (R_{3,10}^1, R_{3,10}^2).$$

Ряд операций на проективной плоскости выполняется в

фоновом режиме. При деформации  $R_{44}^1$  до стандартной полезной длины нарушается связь  $R_{43}^1$  с  $R_{18}^1$ . Поэтому  $R_{43}^1 \circ (r_{413}^1 = l_{нол} + \Delta l)$  следует из  $R_{44}^1 \circ (r_{414}^1 = l_{нол})$ . Более того, абстрактная модель должна анализировать ситуацию с элементами  $R_{37}^1, R_{45}^1, R_{3,10}^2$ , которые генерируют прямо-отправочный путь 3, обеспечивающий прием поездов нечетного направления. Аналогичная проблема возникает с  $R_{36}^1$  и  $R_{44}^1$ , которые трансформируются в прямо-отправочный путь 2. Корректная технико-технологическая структура формируется в результате следующей последовательности операций:

$L_3 = R_{11}^3 \Leftrightarrow R_{1,10,2}^2$  — расстояние между предельным столбиком стрелочного перевода  $R_{11}^1$  и выходным сигналом, устанавливаемым перед переводом  $R_{19}^1$  (полезная длина пути 3);

$L_2 = R_{12}^3 \Leftrightarrow R_{1,10,3}^2$  — расстояние между предельным столбиком стрелочного перевода  $R_{12}^1$  и выходным сигналом, устанавливаемым перед переводом  $R_{19}^1$  (полезная длина пути 2);

$L_1 = R_{12}^3 \Leftrightarrow R_{182}^2$  — расстояние между предельным столбиком стрелочного перевода  $R_{12}^1$  и выходным сигналом, устанавливаемым перед переводом  $R_{18}^1$  (полезная длина пути 1).

$$\min(L_3, L_2, L_1) \circ (r_{41i}^1 = l_{нол}).$$

Последнее действие указывает на связанную операцию деформации, т.е. растяжение или сжатие  $\min(L_3, L_2, L_1)$  ведет за собой параллельное смещение всей структуры элементов  $R_{18}^1, R_{19}^1, R_{3,10}^2$  и всех порождаемых ими объектов (сигналов, предельных столбиков и пр.).

Таким образом формируется модуль проектирования более высокого уровня интеграции — парк станции.

## ЛЕКЦИЯ 18

### ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМОВ

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРОЕКТИРОВЩИКА И САПР ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ**

### **18.1 Особенности диалога пользователя и САПР при проектировании схем железнодорожных станций**

В условиях автоматизации процесса разработки схем отдельных пунктов роль проектировщика остается по-прежнему решающей. Существующие особенности формирования отдельных станционных структур, их зависимость от конкретных факторов топографического, климатического, экономического, экологического характера не позволяют надеяться на создание (по крайней мере, в ближайшем обозримом будущем) высокоинтеллектуальной САПР, способной самостоятельно принимать решения на всех этапах проектного процесса.

Как показывает практика использования систем автоматизации в других отраслях, программная ориентация проектирования приводит к возрастанию роли «человеческого фактора». Опыт и навыки профессионала не могут заменить никакие, даже самые изощренные нейрокомпьютерные алгоритмы, моделирующие поведение проектировщика в различных условиях. Поэтому САПР занимает лишь место грамотного помощника, обладающего уникальным инструментом сверхбыстрого расчета локальных задач и не менее быстрым предоставлением любой информации в справочном режиме. Реализация трудноформализуемых операций, связанных с комплексной оценкой варианта схемного решения, учетом технологических особенностей работы, предоставляется проектировщику.

Передача функций управления от программной среды пользователю производится посредством организации диалога. Интерактивное взаимодействие рассматривается как способ, снимающий проблему формализации опыта проектировщика.

Принадлежность САПР железнодорожных станций к эвристическим системам автоматизации накладывает существенные ограничения на характер взаимодействия пользователя и программной среды. Начальный этап проектирования связан с вводом исходных данных. Для

получения качественной модели отдельного пункта требуется ввести более 50 параметров. Реализация наиболее простой схемы «запрос—ответ» приводит к значительным затратам времени при последовательной программной фиксации каждой характеристики. Однако для модулей проектирования отдельных пунктов характерна параметрическая связь формы объекта и его содержания, т.е. стрелочный перевод как элемент базы САПР связывается с определенной маркой крестовины, типом рельса, допускаемой нагрузкой. Выбирая этот объект для укладки в определенной точке рабочего поля чертежа, проектировщик автоматически инициализирует соответствующие исходные данные. Такая скрытая форма диалога может быть определена как режим латентной регистрации. Как показывают проведенные исследования, связанные с реализацией данного режима в конкретных рабочих процедурах САПР, латентная регистрация позволяет сократить продолжительность программных запросов на 15—35 %.

Второй особенностью диалога среды САПР железнодорожных станций и проектировщика является необходимость наличия загрузочного блока исходных данных, определяющих константные значения параметров на всем протяжении процесса проектирования. В результате изучения различных вариантов формирования содержания загрузочных параметров предлагался следующий набор характеристик (таблица 18.1).

Таблица 18.1 – Перечень загрузочных параметров САПР железнодорожных станций

Наименование параметра	Значение параметра
Категория линии	I
Условия проектирования	Нормальные
Скорость движения пассажирских поездов	100 км/ч
Радиус станционных путей	200 м
Нормальные междупутья	5,30 м
Количество главных путей	1

Эти параметры образуют структуру, позволяющую определять значения характеристик по умолчанию (default mode). Практически это означает, что проектировщик может

использовать данные без прямого контакта с программной средой. Однако часто возникает необходимость корректировки ряда параметров загрузочной базы. Поэтому должна быть реализована возможность локальной адаптации содержания этих структур со стороны пользователя. Следовательно, и в случае программного задания значений параметров сохраняется потенциальный диалог взаимодействующих сторон на любом этапе проектного процесса.

Наряду с наращиванием схемы отдельного пункта параллельно может развиваться процесс реструктуризации путевого развития. Сложность программной поддержки этих двух направлений формирования проектного решения заключается в том, что удаление модуля проектирования из существующей схемы, как правило, влечет за собой разрывы целостности схемы, приводящие к нарушению (и даже разрушению) технологических цепочек при обслуживании поездопотоков различных категорий.

Так как инициатива дезинтеграции схемы путевого развития принадлежит пользователю, то программная оболочка САПР должна поддерживать самый тесный контакт с проектировщиком.

## **18.2 Изучение конфликтных ситуаций при диалоге программной среды и проектировщика**

Понятие «конфликт» является частым атрибутом диалога как результат неприятия рекомендаций противной стороной. Считаем, что инициатива в диалоге всегда принадлежит проектировщику, поэтому возникающий конфликт носит относительный характер. Он всегда разрешим (в исключительных случаях соответствующий программный запрос подавляется), при наступлении конфликта ограничиваются уточняющие вопросы программной оболочки (не более трех на одну конфликтную ситуацию).

Вероятность наступления конфликтной ситуации зависит от интеллектуальности среды САПР, этапа проектирования и сложности путевого развития отдельного пункта. Конфликт из



диалога исключается при реализации режима электронного кульмана, т.е. простым предоставлением соответствующего инструментария для отрисовки кривых без программного анализа возникающих структур. При достижении завершающих этапов проектирования и формировании сложных в техническом отношении станций (сортировочных, пассажирских) также может возникнуть рассогласованность в действиях программы и проектировщика. Различное сочетание факторов, инициирующих конфликт, приводит к следующим результирующим позициям (рисунок 18.1).

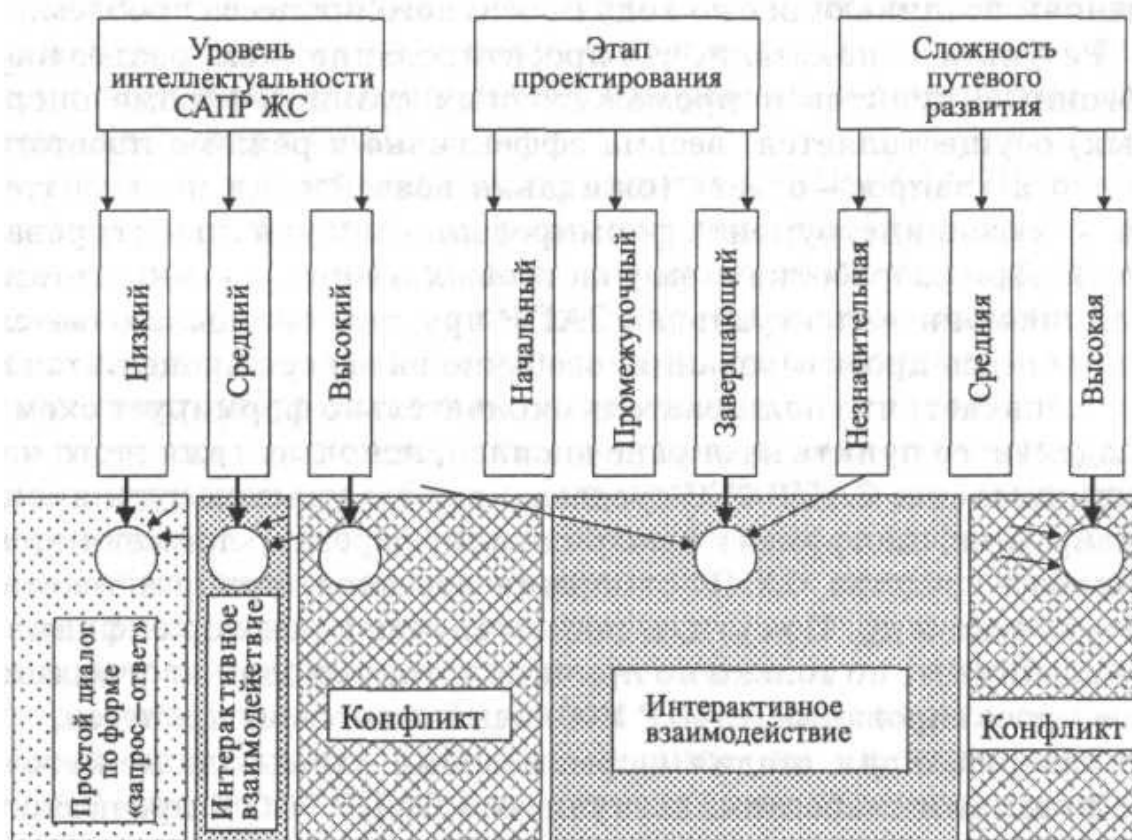


Рисунок 18.1 – Общие схемы возникновения конфликтных ситуаций

Для изучения степени слаженности (бесконфликтности) работы проектировщика и среды САПР железнодорожных станций была использована демонстрационная программа,

разработанная на основе типового пакета AutoCAD при проектировании различных типов отдельных пунктов: с незначительным путевым развитием (разъезды, обгонные пункты), средней сложности (промежуточные станции) и высокой сложности (участковые и сортировочные станции). Экспертным путем оценивалась возможность совместного развития структуры отдельного пункта с разрешением возникающих по ходу проектного процесса проблем.

Результаты показали, что проектирование схем разъездов, обгонных пунктов и промежуточных станций (кроме опорных) осуществляется весьма эффективно в режиме простого диалога «запрос—ответ» (ожидание воздействия пользователя — вызов инструмента формирования модуля проектирования). При разработке схем участковых и сортировочных станций низкоинтеллектуальная САПР практически выключается из процесса проектирования, особенно на завершающем этапе. Это означает, что пользователь окончательно формирует схему отдельного пункта на экране дисплея, используя для этого нетипичные для САПР железнодорожных станций средства: вместо участка пути активизируется инструмент вычерчивания отрезка, применяются типовые средства САПР отсечения отрезков, вставки текста, штриховки и др. По сути, в данном случае прямого конфликта не возникает, но только по причине того, что один из участников проектирования исключается из процесса.

Завершающая стадия формирования схемы промежуточной станции слабоинтеллектуальной САПР железнодорожных станций и проектирование всех типов станций среднего уровня достигается устойчивым интерактивным взаимодействием. Отсутствие конкретной модели такой САПР не позволяет привести количественные оценки. Однако добавление некоторых функций к разработанной программе автоматизированного проектирования переводит САПР железнодорожных станций в категорию среднеинтеллектуальных (анализирующих ситуацию и реализующих скрытые от проектировщика функции).

Интерактивное взаимодействие пользователя с программной средой характеризуется интенсивным обменом сообщениями по схеме «пинг-понг». Данная форма является наиболее

эффективной при оптимизации увязки путей в горловине и поисках рациональной схемы размещения устройств на станции.

Высокий уровень интеллектуальности САПР железнодорожных станций характеризуется практически полным охватом функций анализа текущего схемного решения. При этом преобладает критический подход к любому действию проектировщика. Такая гипотетическая САПР может использовать принцип самодовлеющего анализа, когда любое решение, в том числе и ее собственное, пропускается через ряд процедур поиска ошибок и противоречий. В результате можно получить интерактивную схему с бесконечным циклом вычислений, совершенно непригодную для использования в САПР.

С другой стороны, интеллектуальная САПР (ИСАПР) требует перераспределения контрольных функций. Приоритет в ведении диалога, всеобщий анализ всех возникающих решений однозначно указывают на изменение роли программной оболочки в проектировании. Так как пользователь обладает правами «администратора системы», управляющего процессом, то любая попытка проектировщика вступить в диалог с высокоинтеллектуальной средой по поводу возможного изменения сценария дальнейшего развития схемы станции со стороны САПР может быть негативно охарактеризована как нецелесообразная мера, имеющая лучшую альтернативу. И если пользователь не смиряется со своим пассивным положением, то возникает неустранимый конфликт. В данном случае диалог как таковой также отсутствует. Получив задание на проектирование, ИСАПР полностью контролирует ситуацию до момента выдачи результата. Интеллектуальная среда проектирования может исключить человека как звено в процессе выработки проектного решения и должна квалифицироваться как система автоматического проектирования.

Таким образом, проектировщик сохраняет приоритетное положение только при взаимодействии с САПР низкого и среднего уровня интеллектуальности. Так как диалог есть

своеобразным способом формализации опыта пользователя, то нет оснований считать САПР низкого уровня менее эффективной системой, чем высокоорганизованная среда, включающая в себя трудноформализуемые знания.

### **18.3 Реализация пакетного и интерактивного взаимодействия в САПР железнодорожных станций**

Обмен сообщениями между проектировщиком и программной средой САПР может происходить с различной интенсивностью и различным размером самого сообщения (пакета). Для САПР железнодорожных станций характерным является высокая интенсивность передачи контроля в тандеме «пользователь — программа» и незначительный размер пакета (практически один запрос). Получение задания на проектирование системой автоматизации может производиться в ходе пакетного или интерактивного взаимодействий программной среды и пользователя. Пакетный режим характеризуется сосредоточенным вводом исходных данных, как правило, предваряя проектирование, задает общую установку и изначально ориентирует САПР железнодорожных станций на создание конкретного образа отдельного пункта. Размер пакета определяется количеством требуемых параметров в одном или нескольких последовательных запросах, выдаваемых оболочкой САПР на экран дисплея.

Пакет предполагает концентрацию запросов программы, приводящую к интенсификации последующего этапа проектирования. От проектировщика требуется заполнение определенной пакетной формы, включающей перечень необходимых для задания параметров. Исследования показывают, что целесообразно выделить несколько типов пакетных форм: 1) фиксированные; 2) слабофиксированные; 3) нечеткие.

Фиксированная пакетная форма включает последовательность количественных характеристик, объединенных некоторой тематической направленностью.

Слабофиксированная пакетная форма допускает включение параметров без проверки их ограничивающих краевых значений. В САПР железнодорожных станций таких параметров не менее 35 %. Многие исходные параметры варьируются в широких пределах, отслеживать которые нецелесообразно. Например, характеристика входного потока является типичным примером слабофиксированной формы пакета.

Нечеткая пакетная форма представляет собой список параметров, не имеющих фиксированных значений. Данная форма диалога присуща наиболее продвинутому САПР, способным оперировать различными лингвистическими структурами.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

- 1 Автоматизация инженерно–графических работ /

Г.А. Красильникова, В.В. Самсонов, С.М. Тарелкин. – СПб.: Питер, 2001. – 256 с.

2 Головнич А.К. Автоматизация проектирования железнодорожных станций. – Гомель: БелГУТ, 2001. – 198 с.

3 Правдин Н.В., Головнич А.К., Вакуленко С.П. Основы автоматизации проектирования железнодорожных станций: Монография / Под общ. ред. Н.В. Правдина. – М.: Маршрут, 2004. – 400 с.

4 Негрей В.Я., Луговцов М.Н., Перегуд Я.А. Автоматизация проектирования железнодорожных станций и узлов. – Гомель: БелГУТ, 1998. – 78 с.

5 Сологуб Н.К., Осьминин А.Т. Автоматизированное проектирование железнодорожных станций. – Куйбышев, 1990. – 83 с.

6 Компас-График. Практическое руководство. Часть 1. АО Аскон., 1999. – 355 с.

7 Компас-График. Практическое руководство. Часть 2. АО Аскон., 1999. – 322 с.

8 Огар О.М., Лючков Д.С., Чеклов В.Ф. Методичні вказівки для самостійної підготовки студентів до практичних занять з дисципліни “Системи автоматизованого проектування залізничних станцій та вузлів” для студентів спеціальності “Організація перевезень та управління на транспорті” / Харків: УкрДАЗТ, 2004. – 25 с.



