2 / 2004

ТРАНСПОРТ УРАЛА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

1 Ефимов Александр Васильевич — главный редактор, ректор УрГУПС.
2 Сай Василий Михайлович — зам. главного редактора, проректор по научной работе (УрГУПС).
3 Асадченко Виталий Романович — зам. главного редактора, д.т.н., профессор (УрГУПС).
4 Силуков Юрий Дмитриевич — д.т.н., профессор (УГЛТУ).
5 Багин Юрий Иванович — д.т.н., профессор (УГТУ-УПИ).
6 Урманов Рифат Нурович — д.т.н., профессор (УрГУПС).

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1 Аккерман Геннадий Львович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
2 Александров Александр Эрнстович — к.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
3 Антропов Владимир Алексеевич — д.э.н., УрГУПС (Екатеринбург)
4 Аржанников Борис Алексеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
5 Афанасенко Анатолий Ильич — д.т.н., УГГУ (Екатеринбург)
6 Бачурин Николай Сергеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
7 Баутин Сергей Петрович — д.ф.-м.н., УрГУПС (Екатеринбург)
8 Галкин Александр Геннадьевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
9 Глушко Марат Иванович — д.т.н., УО ВНИИЖТ (Екатеринбург)
11 Готлиб Борис Михайлович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
12 Грицык Валерий Иванович — д.т.н., РГУПС (Ростов-на-Дону)
13 Ковалев Рудольф Николаевич — д.т.н., УГЛТУ (Екатеринбург)
14 Козлов Петр Алексеевич — д.т.н. (Москва)
15 Коротаев Владимир Николаевич — д.т.н., ПГТУ (Пермь)
16 Коркунова Ольга Владимировна — к.ф.н., УрГУПС (Екатеринбург)
17 Кузнецов Константин Борисович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
18 Лапшин Василий Федорович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
19 Наговицын Виктор Степанович — к.т.н. (Москва)
20 Павлюков Александр Эдуардович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
21 Паршин Анатолий Васильевич — к.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
22 Пикалин Юрий Анатольевич — д.э.н. (Свердловская железная дорога)
23 Попов Валерий Евгеньевич — д.т.н., НПП «Спектр» (Екатеринбург)
24 Рачек Светлана Витальевна — д.э.н., УрГУПС (Екатеринбург)
25 Резник Леонид Григорьевич — д.т.н., ТГНГУ (Тюмень)
26 Самуйлов Валерий Михайлович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
27 Сергеев Борис Сергеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
28 Скоробогатов Семен Макеевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
29 Смольянинов Александр Васильевич — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
30 Ставров Адольф Павлович — д.т.н, ЮУГТУ (Челябинск)
31 Тимофеева Галина Адольфовна — д.ф.-м.н., УрГУПС (Екатеринбург)
32 Умняшкин Владимир Алексеевич — д.т.н., УДГУ (Ижевск)
33 Федотова Татьяна Николаевна — к.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)
34 Ялышев Юрий Иванович — д.ф.-м.н., УрГУПС (Екатеринбург)
35 Яровой Юрий Иванович — д.т.н., УрГУПС (Екатеринбург)

В НОМЕРЕ:

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТРАНСПОРТА

Козлов П. А. / ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ В РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКЕ 2

Сергеев Б. С., Наговицын В. С. / ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВО И ПАТЕНТОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НИОКР 9

Аккерман Г. Л. / КРИВЫЕ УЧАСТКИ ПУТИ КАК ПОДСИСТЕМА ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ 14

Асонов А.М., Ильясов О.Р. / ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ПРОБЛЕМА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА 20

СТРОИТЕЛЬСТВО МЕТРОПОЛИТЕНОВ

Яровой Ю.И. / СТРАТЕГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТНОМ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В ПРОЕКТЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА г. ЕКАТЕРИНБУРГА 31

ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ТРАНСПОРТ

Лапшин В.Ф. / ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАГОНОВ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ . . 38

Павлюков А.Э., Миронов А.А., Занкович А.В. / ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЕСКОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ БУКС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА 44

Волынский Д.Н. / ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА 53

Фирстов С. В., Логунова Г. В. / ДОРОЖНЫЙ ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗКАМИ — ОСНОВНОЕ ЗВЕНО В СОЗДАНИИ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ 61

Казаков А.Л. / НЕКОТОРЫЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА С УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ В ПНЕВМАТИЧЕСКИХ МАГИСТРАЛЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА 70

АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ

Багин Ю. И., Ильин А. В. СОСТАВНОЙ КОЛЕСНЫЙ ТРАКТОР С ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ 75

«Транспорт Урала». Научно-технический журнал.
620039, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66. Тел. (343) 245-31-88, e-mail: VSay@nis.usurt.ru
Учредитель: Уральский государственный университет путей сообщения.

Козлов П. А.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ В РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКЕ



Козлов Петр Алексеевич,
д.т.н., ген. директор
ЗАО «Транспортный алгоритм»

Дальнейшее развитие традиционных АСУ не даст ни технологического, ни экономического эффекта. Нужна серьезная смена технической политики. Попробуем это обосновать.

1. УПРАВЛЕНИЕ И УПРАВЛЯЕМОСТЬ

Транспорт призван обеспечить экономические связи страны надежными и эффективными связями. Рыночная экономика более динамична. Следовательно, транспорту необходима также более гибкая технология. Для этого необходимо не только совершенствовать систему управления, но и повышать управляемость транспортной системы. Это двуединый процесс, в котором последняя часть, к сожалению, не осознается, ей не посвящаются исследования, и даже упоминания о ней вызывают сопротивление специалистов. Возникает необходимость глубоко в этом разобраться.

2. ТРАНСПОРТ КАК СИСТЕМА И ПОДСИСТЕМА

Сложный объект существует в двух ипостасях — как система и как элемент системы более высокого уровня. Эта двойственность положения требует от объекта развития прямо противоположных свойств. Как система он должен уметь активно сохранять себя при разрушающем действии внешней среды, эффективно поддерживать свои основные параметры, стремиться достигать свою цель, которая всегда частично не совпадает с целью надсистемы. Как элемент объект должен уметь активно подстраиваться под закономерности надсистемы, как бы забыв о своих собственных целях. Исследования показывают, что эти противоположные свойства развиваются преимущественно по очереди.

Руководителям, сформировавшимся на предыдущем этапе, трудно увидеть необходимость перехода к следующему.

В дорыночный период железнодорожный транспорт развивался в основном как весьма независимая система. Этому способствовало веское обстоятельство — он был предельно перегружен, и поэтому являлся узким местом. На этом этапе транспорт отрабатывал эффективные способы функционирования для себя. Минимуму собственных затрат на перевозки служили и основные формы организации — организация вагонопотоков и график движения поездов. Основные теоретические исследования посвящались повышению пропускной способности участков и перерабатывающей способности станций. Абстрактно железнодорожный транспорт того времени можно представить как некую разветвленную трубу для пропуска однородных (для него!) потоков.

На этом этапе сформировалась технология организации вагонопотоков и поездопотоков. Об управлении грузопотоками в интересах клиентов говорить было нельзя. Не подошло время — раз. Сверхперегрузка не давала возможности поструйного управления потоками — два. Государственная экономика, где затраты и потери не очень считали, — три.

Отсутствие поструйного управления грузопотоками приводило к тому, что к потребителям грузы приходили в неудобном режиме. Поэтому потребители обрастали запасами и создавали резервы перерабатывающей способности грузовых фронтов. Технология перевозок была неповоротливой, ибо один режим, без переходных процессов, всегда безболезненный. Документы, определяющие взаимодействие железнодорожного транспорта и клиентов, тоже имели перекос в пользу первого. Во многом это было объективно из-за сверхперегрузки.

Итак, надсистеме приходилось подстраиваться под систему, народному хозяйству — под работу транспорта. Это приводило к большим потерям на стыке транспорт — производство.

Если на первом этапе основная задача — перевозки: больше, быстрее, дешевле, то на втором — это уже транспортное обслуживание. Или, еще точнее, обеспечение экономических связей страны эффективными и надежными транспортными связями.

Транспортная связь — это не единичная перевозка, а совокупность, обеспечивающая нормальное экономическое взаимодействие. Скажем, равномерный подвод руды от группы разноудаленных отправителей. Экономическое отличие этих задач: в первом случае снижаются собственные затраты транспорта на перевозку, во втором — полная транспортная составляющая, включая стыковые потери. В функции «перевозки» стыковые потери относятся на производство, в функции «транспортное обслуживание» — на транспорт. Только во втором случае можно говорить о доставке груза «от двери до двери». Функции управления потоками по приоритетности выстраиваются так:

— управление грузопотоками;
— управление вагонопотоками;
— управление поездопотоками.

Управление грузопотоками — это новая функция. Согласованный подвод грузов к портам, пограничным переходам, крупным потребителям потребует изменения технологии перевозок — она должна стать более гибкой.

Транспорт должен научиться работать в разных режимах. Управление потоками потребует новой, более детальной системы мониторинга движения грузов, а также создания единой информационной среды железнодорожного транспорта с портами, потребителями, зарубежными транспортными системами.

В этом случае транспорт может даже опережать требования экономики. Многие экономические связи не осуществляются, потому что не обеспечены надлежащими транспортными связями. Можно сделать опережающий анализ и сделать опережающее предложение. Именно в этом смысле «транспорт может стать локомотивом экономики».

3. СУЩНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ

Автоматизация управления на транспорте, в особенности на железнодорожном, требует вложения огромных средств. Поэтому нужно четко понимать основные задачи управления, чтобы получить соответствующую отдачу.

Рассмотрим это для железнодорожного транспорта с общесистемных позиций. Управление является функцией состояния.

В общем случае состояние $S(t)$ описывается как

$$S(t) \equiv (\widetilde{S}(t), \overset{\nu}{S}(t)),$$

где $\widetilde{S}(t)$ — состояние инфраструктуры;

$\overset{\nu}{S}(t)$ — наполнение инфраструктуры, т.е. потоки в сети и вагоны (составы) в межоперационных простоях.

Выделим состояние и наполнение инфраструктуры.

Состояние инфраструктуры:

$$\widetilde{S}(t) \equiv (\{U_i(t)\}, \{Q_j(t)\}),$$

где $U_i(t)$ — пропускная способность канала в момент t;

$Q_j(t)$ — вместимость бункера (число путей в парке и т.п.).

Наполнение инфраструктуры

$$\overset{\nu}{S}(t) \equiv (\{u_i(t)\}, \{q_j(t)\}),$$

где $u_i(t)$ — поток i-го канала;

$q_j(t)$ — заполнение j-го бункера (число вагонов в парке и т.п.).

Одной из важнейших задач управления является поддержание устойчивого состояния системы, то есть ее работоспособности. Устойчивое состояние можно описать как

$$S^*(t) \equiv (\{U^*_i(t)\}, \{Q^*_j(t)\}),(\{u^*_i(t)\}, \{q^*_j(t)\}).$$

В устойчивом состоянии система работает с согласованными технологическими параметрами (величина потоков и число локомотивов, загрузка сортировочных горок и др.).

Эффективное управление должно уводить состояние от опасных границ.

Опасные границы:

а) для инфраструктуры:

$$\forall i | \underline{U_i} \le U_i \le \overline{U_i},$$

$$\forall j | \underline{Q_j} \le Q_j \le \overline{Q_j};$$

б) для наполнения:

$$\forall i | \underline{u_i}(t) \le u_i(t) \le \overline{u_i}(t),$$

$$\forall j | \underline{q_j}(t) \le q_j(t) \le \overline{q_j}(t).$$

Состояние инфраструктуры — это совокупность состояний ее основных элементов

$$U_i(t) \equiv (\{S^{\alpha}_i(t)\}, \{S^{\beta}_i(t)\}, \{S^{\gamma}_i(t)\}),$$

где $S^{\alpha}_i(t)$ — состояние путевого хозяйства;

$S^{\beta}_i(t)$ — состояние устройств автоматики и связи;

$S^{\gamma}_i(t)$ — состояние локомотивного хозяйства (возможность обеспечения локомотивами движения на участке), включая расположение локомотивов на полигоне.

Тогда все многообразие управления на железнодорожном транспорте сводится, по сути, к четырем основным типам:

1. $\widetilde{Y} \equiv \{\widetilde{y}_k\}$ — решения по поддержанию состояния инфраструктуры, близкого к устойчивому,

где $\widetilde{y}_k$ — решения по поддержанию путевого хозяйства, устройств автоматики и связи, локомотивного хозяйства, в том числе «переброска» локомотивов.

2. $\overset{\rho}{Y} \equiv \{\overset{\rho}{y}_n\}$ — решения по поддержанию ритмов работы сети, то есть нормативного наполнения инфраструктуры.

3. $\overset{\backprime}{Y} \equiv \{\overset{\backprime}{y}_m\}$ — решения по управлению грузопотоками, так как

$$\overset{\backprime}{u}_i(t) \equiv \{\overset{\backprime}{u}_i(t)\},$$

где $\grave{u}_i^i(t)$ — струя грузопотока. Так что при одном и том же потоке $u_i(t)$ на участке (полигоне) множество грузовых струй $\grave{u}_i(t)$ может быть разным.

4. $\grave{Y} \equiv \{\grave{y}_p\}$ — управление потоками порожняка. Так как поток порожняка $u_i(t)$ может состоять из разных струй вагонов $\{u_q^i(t)\}$, т.е.

$$u_i(t) \equiv \{u_q^i(t)\}.$$

И для этих типов необходимо вырабатывать критерии и методы и строить информационную среду.

4. СОВРЕМЕННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СРЕДА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Чтобы обеспечить технологическую «прозрачность», была создана сложная информационная среда.

Для получения адекватной модели перевозочного процесса необходимо в реальном времени собирать и обрабатывать информацию, непрерывно поступающую более чем от 20 тыс. АРМ и 15 тыс. устройств автоматики по всей стране.

Объем передаваемой и обрабатываемой информации существенно вырос за последнее время. Это потребовало резкого усиления сети передачи данных и мощности вычислительных центров. На железнодорожном транспорте была построена масштабная телекоммуникационная сеть. В основе — оптоволоконная магистраль большой пропускной способности, дублируемая системой спутниковой связи.

Переработка громадного объема информации потребовала обновления вычислительной инфраструктуры. Основу вычислительных ресурсов ГВЦ МПС составляют мэйнфреймы IBM 9672 под управлением OS/390. Все данные размещаются на нескольких дисковых массивах общей емкостью более 4 Тбайт. Более 10 Тбайт отведено на архивную память в роботизированных комплексах. Требования к вычислительным комплексам непрерывно растут. Совокупная процессорная мощность за 4 года увеличилась в 2,9 раза, а общий объем дисковой памяти в 5,9 раз.

В этой мощной и сложной телекоммуникационной среде функционирует ряд прикладных информационных систем железнодорожного транспорта (рисунок 1).



Рисунок 1 — Основные системы и проекты информатизации

Базу для функционирования большинства информационных систем составляет повагонная модель перевозочного процесса ДИСПАРК. Ведется мониторинг десятков параметров о вагоне, его дислокации, состоянии и выполняемых с ним операциях. На базе ДИСПАРК реализован комплекс информационных технологий, в том числе:

— контроль национального парка вагонов;

— контроль эффективности работы выделенных родов подвижного состава;

— мониторинг использования вагонов стран СНГ и Балтии в России и российских вагонов в этих странах;

— мониторинг работы арендованных и собственных вагонов компаний-операторов;

— обеспечение эффективной системы ремонта вагонов не по стандартным временным интервалам, как было ранее, а по реальному пробегу;

— контроль за соблюдением сроков доставки грузов;

— контроль за вагонами на подъездных путях предприятий.

Система ДИСПАРК позволила обеспечить автоматизированный контроль за соблюдением технологического процесса по всей сети железных дорог. Реализован ряд запретов: документы на вагон и поезд готовятся соответствующими АРМами. Естественно, автоматизированы различные виды отчетности.

5. ЗАДАЧИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ

Усложнение производственных и транспортных систем ведет к нелинейному росту потоков информации. Возрастает динамика процессов, и сжимается время для принятия диспетчером решения. Поэтому автоматизация информационных процессов неизбежна. На современном этапе требования к системам информатизации можно сформулировать следующим образом:

— автоматизация не отдельных рабочих мест и отдельных функций, а разработка сквозных комплексных информационных технологий, полностью поддерживающих бизнес-процессы отрасли;

— ориентация на новые программно-технические средства и современную сеть передачи данных;

— стандартизация интерфейсов между информационно-технологическими комплексами;

— максимально автоматический ввод данных;

— централизация ведения нормативно-справочной информации;

— создание динамических моделей перевозочного процесса для контроля и управления;

— применение современных средств аналитической обработки информации для поддержки принятия решений;

— переход от информационных к управляющим системам на базе оптимизационных моделей.

Информатизация должна обеспечить переход к новым технологиям управления процессами перевозок, увеличить размах и эффективность управления и в конечном счете повысить эффективность работы железнодорожного транспорта.

Существующие системы далеко не полностью соответствуют современным требованиям. Они создавались без единого плана, в разное время, различными разработчиками.

Основные проблемы:

а) отдельные системы плохо стыкуются и не создают единой информационной среды;

б) устаревшие программные и технические средства. Системы в основном в ДОСе и на Ассемблере;

в) недостаточная типизация решений;

г) недостаточно аналитических приложений;

д) нужны не только информационные, но и системы автоматизированного управления.

Сейчас ведется работа по перестройке систем в новой программно-технической среде.

Из разрозненных систем должна быть построена единая модель перевозочного процесса (ЕМПП) в современной программно-технической среде и на современных принципах (рисунок 2).

ЕМПП должна содержать необходимые данные для автоматизации управления. Все формируемые управляющие воздействия (планы, нормы, регулировочные распоряжения, указания, запреты и прочие решения по управлению перевозочным процессом) фиксируются в ЕМПП с электронной подписью лица, ответственного за принятие данного решения.

ЕМПП будет служить базой для корпоративного информационного хранилища. В хранилище накапливается историческая информация о ходе перевозочного процесса.

При помощи аналитических приложений, работающих с данными из хранилища, формируются показатели перевозочного процесса и оценки параметров транспортных связей по результатам их наблюдения на достаточно продолжительном промежутке времени. Эти оценки необходимы для контроля, а также для расчетных и прогнозных моделей.

6. ПЕРЕХОД К АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ УПРАВЛЯЮЩИМ СИСТЕМАМ

Современные АСУ являются, по сути, информационными системами. В настоящее время назрел переход к системам автоматизированного управления потоками. Во-первых, стало нужно управлять, во-вторых, стало можно управлять.

Относительно «нужно». В рыночной экономике затраты стали считать. А при таком транспортном обслуживании потери на стыке транспорт — производство могут быть сопоставимы с тарифом.



Рисунок 2 — Единая модель перевозочного процесса (ЕМПП)

Относительно «можно». Исчезла сверхзагрузка железных дорог. Появилась возможность поструйного управления вагонопотоками.

Поструйное управление резко усложняет задачу принятия решений. Первое: резко возрастает многовариантность. Второе: вследствие сильной структурной и функциональной связности транспортной системы диспетчеру невозможно предвидеть последствия принимаемых решений. Третье: большой набор управляющих воздействий нельзя реализовать при современной малоподвижной технологии. Нужна новая, более гибкая.

Итак, на повестке дня две очень сложные задачи: создание систем автоматизированного управления (САУ) и разработка гибкой, многовариантной технологии.

Системы САУ должны строиться как двухуровневые: вверху — модели строгой оптимизации, внизу — имитационная модель. Верхний уровень выбирает наилучшие решения, нижний проверяет их реализуемость. На верхнем должны быть динамические потоковые модели, так как придется оптимизировать переходные процессы. По-видимому, лучшей моделью в настоящее время является метод динамического согласования производства и транспорта (рисунок 3).

Здесь в функционале три составляющие:

J_1 — затраты на пропуск потоков u_{ij};

J_2 — затраты на простои вагонов x_{ij};

J_3 — затраты на корректировку w_i ритмов отправления вагонов с грузом или порожняка.

Метод рассчитывает оптимальную динамическую схему потоков при заданных ритмах работы отправителей и получателей и параметров транспортной сети. Если управление потоками не может обеспечить работу потребителей в нужных им ритмах, то рассчитывается необходимая корректировка ритмов отправителей. Это важно в таких задачах, как согласованный подвод грузов к портам, пограничным переходам, крупным потребителям, а также в задаче поструйного подвода порожняка.

Система имитационного моделирования должна быть ориентирована на отображение транспортных объектов и процессов и хорошо стыковаться с моделями верхнего уровня. Этим свойствам отвечает разработанная в УрГУПСе имитационная система ИСТРА.

Вторая задача — построение гибкой технологии. Это весьма масштабная проблема. Она включает более сложные технологические формы — многовариантный план формирования, гибкий график движения и управляемую схему обслуживания поездов локомотивами. Новая технология существенно отличается от современной, рассчитанной на стабильные экономические связи, необходимо существенно скорректировать показатели работы железных дорог (таблица 1).



Рисунок 3 — Метод динамического согласования производства и транспорта

Таблица 1 — Отличия существующей и новой технологии

	Существующая	Новая
1) Основная задача	Перевозки с выполнением объемных показателей	Обеспечение надежных и эффективных транспортных связей между производителями и потребителями (в том числе согласованный подвод грузов к портам, крупным потребителям и др.)
2) Поток	Рассматривается как однородный	Рассматривается как многоструйный с поструйным управлением
3) Оптимум	Наилучший стабильный режим	Оптимальный динамический процесс
4) Управление	Поддержание выбранного режима	Выбор режима в зависимости от ситуации
5) План формирования	Стабильный	Гибкий
6) Схема пропуска поездов	Стабильная	Гибкая, по разным режимам



Рисунок 4 — Автоматизированные аналитические системы

В современных условиях многоуровневое диспетчерское управление сводится, по сути, к поддержанию одного режима работы. Смена режима без глубокой технологической проработки невозможна.

При этом вначале необходимо выполнить профессиональный анализ существующей технологии, ее несоответствие современным условиям. Ведь если вагон 79% времени стоит, и в основном в межоперационных простоях, то что-то здесь не так. Необходимо создать автоматизированные аналитические системы на базе информационного хранилища (рисунок 4).

Системы должны выдавать различные технологические анализы: долгосрочные, реакцию системы на те или иные решения и т.п.

Новая технология требует построения рациональных технологических процессов сотен станций. Это весьма трудоемкий процесс. Поэтому необходимо создавать системы автоматизированного построения технологических процессов. Технологический анализ может показать наличие узких мест инфраструктуры. Нужно разрабатывать системы автоматизированной оценки эффективности инвестиций на базе имитационных моделей. Особенно это важно при согласованном развитии транспортных узлов.

7. ГЛАВНЫЙ ВЫВОД

Дальнейшее развитие информационных технологий в традиционном понимании — ручное управление на базе автоматизированных информационных систем при сохранении старой технологии — значительного эффекта не даст. Одновариантная технология делает управляемость транспортной системы низкой. В административно-командной системе управления транспортом набор технологических управляющих решений весьма беден. Дальнейшее развитие информационной среды для существующей технологии не нужно. Если решений мало, не нужно детальное знание состояния системы и ее реакции. Только повышение управляемости транспортной системы за счет их технологий позволит обеспечить надежные транспортные связи в динамической рыночной экономике и резко увеличить эффективность работы железных дорог. Без этого под новыми информационными технологиями будет пониматься все больше картинок на мониторах диспетчерских компьютеров.

Сергеев Б. С., Наговицын В. С.

ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВО И ПАТЕНТОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НИОКР

Большое число технических решений, выражаемое в том числе и количеством патентов, вызывает определенные трудности при выполнении конкурентоспособных НИОКР. Высокая профессиональная подготовка и опыт разработчиков не всегда определяют прогрессивный уровень и перспективность выполненных работ.



Сергеев Борис Сергеевич,
д.т.н., профессор,
Засл. изобретатель РСФСР, УрГУПС



Наговицын Виктор Степанович,
к.т.н. (Москва)

Это в определенной степени подтверждается тем фактом, что всеми отраслевыми вузами и НИИ железнодорожного транспорта получено 162 и 36 патентов на изобретения соответственно [1], что для суммарной численности научно-технических сотрудников всех организаций (8925) человек [1, 2] является относительно невысоким показателем. В сравнении с этим следует отметить, что в передовых НИИ и КБ военно-промышленного комплекса (ВПК) в период их расцвета (70-е годы) в удельном отношении он был большим. В последние годы в области автоматики, информатики и связи на железнодорожном транспорте сложившаяся ситуация может быть объяснена, в частности, таким далеко не негативным фактором, как ориентация на внедрение на сети дорог зарубежной аппаратуры. Прогрессивные процессы требуют разработки новых систем, устройств и аппаратуры, эксплуатационно-технические характеристики которых должны не только соответствовать современным мировым показателям, но и иметь потенциально лучшие параметры. В наибольшей степени это относится к фундаментальным научно-техническим исследованиям, направленным на перспективное внедрение. Однако в силу сложившегося за последние два десятилетия объективного регресса отечественной науки и техники невозможно достичь мирового уровня разработок традиционными методами, за счет собственного научно-технического потенциала. Не является радикальным и использование опыта предприятий отечественного ВПК в силу его отставания от аналогичного зарубежного опыта [3].

По-видимому, в создавшихся условиях наиболее оптимальным является изучение достигнутого зарубежного научно-технического уровня разработок и последующий критический анализ полученных данных. Определенной трудностью на этом пути является отсутствие во многих случаях в зарубежной технической документации конкретных и принципиальных схем аппаратуры, чертежей, технологий и т.д. Из мировых технических решений наибольшей информационной емкостью и прогрессивностью обладают патентные фонды развитых стран Запада (США, Германии, Франции, Великобритании) и Японии и публикации в периодической научно-технической литературе. Существенную помощь при анализе передовых технических решений оказывают сети Internet. Результатом выполнения патентных исследований должны стать новые разработки, а не реализация мелких усовершенствований известных устройств, не приводящих к радикально качественным улучшениям характеристик.

Проведение патентных исследований является обязательным и общепринятым этапом работы при выполнении НИОКР, на что указывается в соответствующих государственных стандартах [4, 5]. Не анализируя формально-нормативную сторону вопросов выполнения патентных исследований, оговариваемых указанными стандартами, рассмотрим процессы научно-технического творчества коллективов разработчиков НИОКР, которые могут привести к различным итоговым результатам.

Можно определить наиболее типичные примеры выполнения работы, которые существенно отличают-

ся друг от друга и могут приводить к различным последствиям в показателях качества технического решения. Выполним анализ этих направлений, которые представим в виде упрощенных сетевых графиков. Сетевые графики широко применяются при разработке различных промышленных устройств и систем, в том числе и на предприятиях ВПК. Представление разработки или исследования в подобном виде дает возможность, с одной стороны, наглядно отобразить временную и организационную последовательность промежуточных этапов работы, с другой — позволяет задавать и в последующем контролировать исполнение промежуточных этапов, варьировать во времени промежуточные этапы работ и обеспечить достаточно точное планирование сроков окончания работы.

На графиках рисунков 1 и 2 показаны примеры простого и более сложного процессов выполнения НИОКР соответственно, определяющих их связь с проведением патентных исследований и созданием изобретений. Здесь для наглядности изложения приведены условные численные данные параметров графиков: даты выполнения промежуточных этапов работы (события), их трудоемкость Q в человеко-днях и продолжительность этапов работы T в календарных днях.

Первый пример (график рисунка 1) характеризуется следующей последовательностью действий. Разработчик на основании утвержденного и полученного технического задания (ТЗ) и при наличии у него определенных профессиональных знаний и опыта выбирает реализацию (работа между событиями 01-02) того или иного технического решения (ТР). Причем большой профессиональный опыт однозначно не определяет достаточно высокого качества созданного ТР, так как имеющиеся у разработчика прошлые стереотипы могут ограничивать его научно-технический кругозор. Кроме того, наличие большого объема профессиональных знаний специалистов старшего поколения вызывает вполне объяснимое стремление применить их в НИОКР. В этом заключается одно из отличий и потенциальных преимуществ молодого поколения специалистов, которые не связаны в работе имеющимися личными научно-техническими достижениями, а потому стремятся найти собственные пути решения проблемы, иногда нестандартными методами, что может приводить к реализации принципиально новых, возможно наиболее оптимальных и перспективных ТР.

После выбора ТР выполняются макетирование, предварительные исследования и лабораторные испытания (события 02-03), подтверждающие его работоспособность и получение предполагаемых преимуществ.

Следующий этап (события 03—04) — практическая разработка устройства, включающего в себя ТР. В эту работу входят, в частности, выбор и исследование рабочих режимов элементов, доведение устройства до требуемых показателей выходных параметров, серийнопригодности и последующее изготовление опытных образцов с проведением соответствующих нормативных испытаний. Заключительные этапы НИОКР (события 04—05—06) — изготовление опытных образцов, проведение государственных или ведомственных испытаний и внедрение на сети дорог.

После подтверждения работоспособности ТР (события 02-03) могут начинаться работы по его патентованию (события 03-07). Формально это должно осуществляться патентными поверенными или специалистами патентных подразделений организации. В соответствии с нормативными актами Федерального института промышленной собственности РФ (ФИПС) при подаче заявки на изобретение должны быть выполнены патентные исследования, которые реально

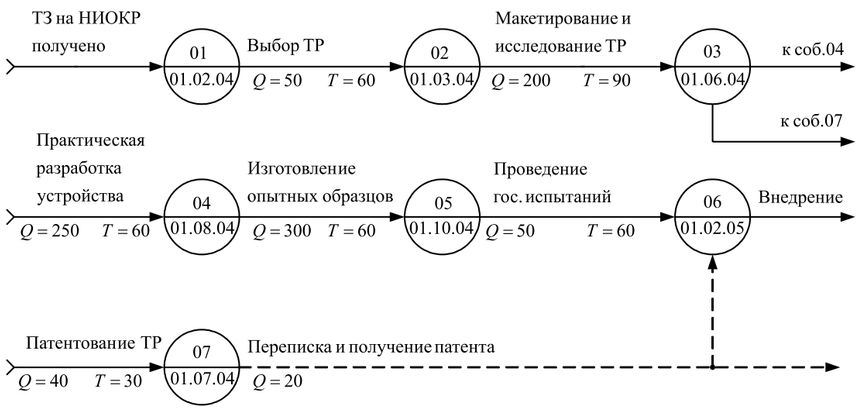


Рисунок 1 — Сетевой график первого примера выполнения НИОКР

практически и в большинстве случаев выполняются формально и упрощенно лишь с целью нахождения аналогов и прототипов заявляемого ТР. В настоящее время в связи с появлением нового патентного законодательства оформление документов заявки на изобретение воспринимается специалистами с большим энтузиазмом, так как внедрение запатентованных ТР влечет за собой возможность получения значимого денежного вознаграждения. Если заявляемое ТР будет признано изобретением, то ФИПС выдает патент на способ или устройство (после события 07). Желательно, чтобы патент был получен до момента начала внедрения или полномасштабного изготовления продукции.

Описанный процесс наиболее типичен и обладает рядом недостатков.

Рассмотрим второй пример выполнения НИОКР, показанный на сетевом графике рисунка 2. После получения утвержденного ТЗ выполняется анализ отечественного и зарубежного опыта в данной области техники (патентные исследования — события 01—02). В этой работе предполагается анализ не только патентной документации, но и ознакомление с доступными научно-техническими публикациями.

Выполненный анализ дает возможность определить общие тенденции развития исследуемой области техники и позволяет выбрать прогрессивные и наиболее рациональные ТР, количество которых в общем случае может быть значительным (k технических решений — события 02—03). При этом возможно также прогнозирование новых направлений в развитии той или иной области науки и техники или отмирание старых [6].

Следующий этап работ — анализ k технических решений и создание N новых технических решений (события 03—04) — особенно важен и требует наиболее высокой квалификации и профессионального опыта специалистов. Он заключается в критическом анализе найденных решений, определении их преимуществ и недостатков. Можно остановиться на этих решениях, приняв их за истину в последней инстанции и успокоившись во мнении, что в выполняемой НИОКР использованы последние мировые достижения. Однако это противоречит общепринятой этике исследователя, обязанностью которого является творчество и опережающий прогресс в области своей специальности. Поэтому основной задачей этого этапа работы является поиск путей устранения найденных недостатков, то есть совершенствование известных устройств. Эта работа наиболее трудоемка и значительна по объему, так как из количества k найденных и пригодных для применения технических решений можно получить, например, N новых решений, где $N > k$, а иногда и $N >> k$. Это обусловлено тем, что каждому из найденных известных ТР множества k может соответствовать несколько новых решений, входящих в результирующее множество N.

Обоснованность такого подхода к созданию новых ТР подтверждается, в частности, тем, что суммарное количество патентов таких стран, как США, гораздо больше, чем в России, включая авторские свидетельства СССР. Причем большая часть патентов США имеет многозвенные формулы изобретения, состоящие из 5—7, а иногда и более пунктов. Необходимо отметить, что разработчику, создавшему всего одно изобретение, гордиться рано, так как «идеальных» технических решений не бывает и практически каждое из них обладает не только преимуществами, но и своими недостатками. Кроме того, создание одного оригинального и патентоспособного ТР и последующее исследование

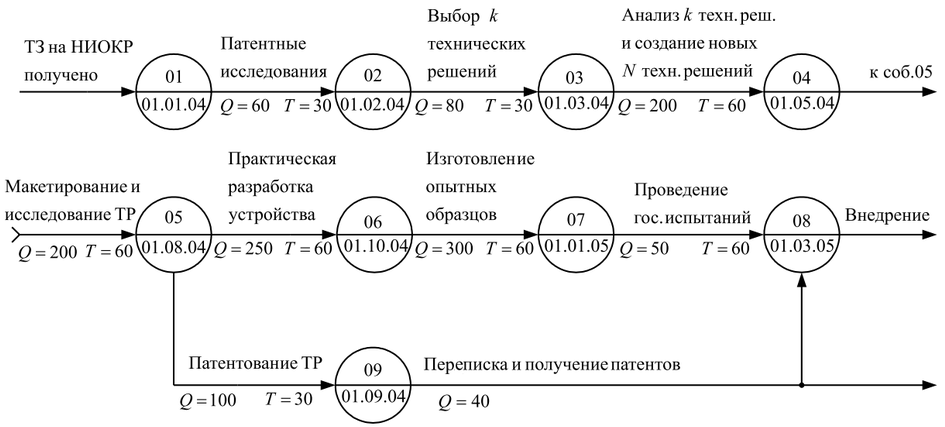


Рисунок 2 — Сетевой график второго примера выполнения НИОКР

процессов его работы сужает научно-технический кругозор разработчика.

Трудоемкость выполненной работы компенсируется гарантированным увеличением профессиональной квалификации специалиста, сопричастностью к мировому уровню разработок и появлением возможности обоснованной критики зарубежных технических решений. Это создает условия большей психологической научно-технической комфортности разработчика, удовлетворяет честолюбие специалиста и повышает его интеллектуальную ценность.

Далее по сетевому графику рисунка 2 идут работы (события 04-05-06-07-08), аналогичные показанным на графике рисунка 1 как события 04-05-06.

Созданные и обладающие потенциальной прогрессивностью ТР подлежат патентованию (события 05-09), несмотря на то что внедряется, возможно, лишь одно или несколько, но меньшее, чем N.

Целесообразность подобного подхода обоснована тем, что выполненный критический анализ и созданные, но не используемые на сегодняшний день решения являются, с одной стороны, вкладом в научно-технический прогресс, обеспечивая возможности их использования, с другой — они могут быть применены в НИОКР, выполняемых, например, для несколько иных, но подобных разработок. Одновременно с этим разработка серии оптимальных технических решений создает условия интеллектуальной интервенции творческой личности на исследуемую область науки и техники. Иными словами, в определенном интервале времени создаются условия невозможности разработки аналогичных, но более совершенных устройств другими специалистами, в том числе и зарубежными. Длительность этого интервала времени зависит от объективного научно-технического устаревания объектов разработки, причины появления и последствия которого изложены в [7]. Такой процесс определяет необходимость непрерывной работы специалистов в выбранной области науки и техники, остановка которой приводит к научно-технической деградации с соответствующими негативными последствиями.

Сравнение первого и второго направлений выполнения работы, кроме отмеченных особенностей, определяет и ряд других.

При равных условных научно-технических возможностях коллективов разработчиков между длительностью выполнения НИОКР по первому направлению работ $t^{(1)}_{\text{НИОКР}}$ и по второму $t^{(2)}_{\text{НИОКР}}$ обычно выполняется соотношение

$$t^{(1)}_{\text{НИОКР}} < t^{(2)}_{\text{НИОКР}},$$

поэтому выбор первого направления работ во многих случаях является определяющим, особенно при сжатых сроках разработки.

При разработке новых технических решений практически невозможно достичь 100%-й вероятности получения на каждое из них положительного решения ФИПС о выдаче патента, что условно иллюстрируется пунктирной линией графика рисунка 1. Поэтому подача заявки на серию технических решений повышает вероятность получения патента (или патентов) России. При этом появляется возможность использования в НИОКР отобранных из созданной серии и действительно прогрессивных ТР, патентоспособность которых признается экспертизой ФИПС на мировом уровне. Продолжением этой работы может стать патентование наиболее прогрессивных и экономически выгодных технических решений за рубежом.

Возрастание численных значений параметров k и N приводит к увеличению сроков выполнения НИОКР, что является, разумеется, недостатком, но объективно повышает прогрессивность созданных технических решений. В наибольшей степени это касается коллективов молодых разработчиков, научно-технический и патентный профессионализм которых относительно невелик, а анализ мирового патентного фонда требует от них больших затрат времени. В настоящее время противоречие между прогрессивностью разработки и сроками ее выполнения разрешается иногда за счет использования опыта специалистов старшего поколения в части научно-технических и патентных исследований, полученного в результате нескольких десятилетий предыдущей творческой работы. В таком случае необходима преемственность поколений, для чего требуется создание определенного организационно-психологического климата в коллективе.

Второе направление работ подразумевает обязательное изучение, а в некоторых случаях и заимствование зарубежных научно-технических достижений, что находится в полном соответствии с мировыми опытом, например Японии после Второй мировой войны. Отечественная военная промышленность также широко использовала информацию США и Германии по ядерному и ракетному оружию, танкостроению и авиации и др. Это позволило нашей стране сократить сроки разработок, получить определенный экономический эффект и исключить ошибки и неудачи, которые были совершены предшественниками. Однако полученный при этом качественный, временной и экономический выигрыш был полностью скомпенсирован расходами на получение требуемой информации и ее анализ.

Надо признать, что Россия на современном этапе развития во многом потеряла лидирующие позиции. Интеллектуальная собственность, которую наша страна приобрела за десятилетия, предшествующие 80-90-м годам, в значительной степени устарела. В полной мере это относится также и к отечественным предприятиям ВПК.

Железнодорожный транспорт за последнее время ориентируется на использование опыта изготовления и разработки аппаратуры предприятий ВПК, производственные мощности и научно-технические возможности которых ввиду конверсии оказались незагруженными и невостребованными [3]. В то же время некоторые НИИ и КБ железнодорожного транспорта при выдаче ТЗ на разработку аппаратуры считают, что наилучшие разработки будут сделаны на предприятиях ВПК. Очевидно, что по сравнению с профессионализмом НИИ и КБ железнодорожного транспорта это утверждение во многих случаях справедливо, однако это не относится к мировому уровню научно-технических и технологических достижений. Поэтому в ТЗ, выдаваемых на предприятия ВПК, необходимо в обязательном порядке предусматривать выполнение патентных исследований, оговариваемых в нормативных документах [4, 5]. Их результаты должны отражать не только формальную сторону вопроса, то есть наличие аналогичных зарубежных ТР. Необходимо показать, что в процессе патентного поиска и разработки действительно созданы патентоспособные объекты современной и прогрессивной интеллектуальной собственности. Их отсутствие будет свидетельствовать о невысоком профессиональном уровне коллектива, которому выдается ТЗ.

Таким образом, в процессе выполнения НИОКР необходимо проведение полноценных и полномасштабных работ по патентным исследованиям, в результате которых должны быть созданы оригинальные технические решения, позволяющие сделать определенный прорыв в той или иной области науки и техники.

Литература

1. Перемышлев В. Золушка отраслевой науки: Интервью с Б. Левиным // Гудок. — 24.04.2004. — № 71 (23092). — С. 5.

2. Наговицын В.С. Повышать эффективность отраслевой науки // Железнодорожный транспорт. — 2001. — № 1. — С. 18-23.

3. Шалимов Л.Н., Манько Н.Г., Сергеев Б.С. Проблемы конверсии оборонного предприятия // Экономика и производство. — 2001.— № 3. — С. 8-12.

4. ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе: Структура и правила оформления. — М.: Межгосударственный техн. комитет по стандартизации МТК191.— 2001. — 16 с.

5. ГОСТ Р 15.011-96. Патентные исследования: Содержание и порядок проведения. — М.: Госстандарт России, 1996. — 24 с.

6. Сергеев Б.С. Эволюционное развитие электроники // Наука и оборонный комплекс — основные ресурсы Российской модернизации: Мат. межрегиональной науч.-практ. конф. — Екатеринбург: УрО РАН, 2002. — С. 400-405.

7. Наговицын В.С., Сергеев Б.С. Что определяет интеллектуальный потенциал коллектива // Мир транспорта. — 2004. — № 1.— С. 106-111.

АЛЬБОМ



АСАДЧЕНКО В.Р.
АВТОМАТИЧЕСКИЕ ТОРМОЗА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В альбоме приведены основные теоретические положения по реализации тормозных сил и связанных с этим закономерностей и процессов, а также требования к тормозным системам и приборам. Описаны устройство, принцип действия и обслуживание автоматических тормозов подвижного состава железных дорог России и перспективы их развития.

Альбом предназначен для студентов вузов, техникумов, колледжей и учащихся образовательных учреждений железнодорожного транспорта, осуществляющих начальную профессиональную подготовку, и для инженерно-технических работников, связанных с эксплуатацией и обслуживанием тормозов подвижного состава.

Аккерман Г. Л.

КРИВЫЕ УЧАСТКИ ПУТИ КАК ПОДСИСТЕМА ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ



Аккерман Геннадий Львович,
д.т.н., профессор УрГУПС

Железнодорожная линия, как любая транспортная система, состоит из множества элементов, находящихся в определенных отношениях. Условно ее можно разделить на три подсистемы: территорию, транспортную инфраструктуру, подвижной состав.

Территория как подсистема — это часть окружающей среды, влияющей на строительные и эксплуатационные затраты железной дороги, и район тяготения, от которого зависит распределение перевозок во времени и пространстве.

Транспортная инфраструктура состоит из узлов (станций) и линейных связей (перегонов) и в значительной степени определяется характеристикой территории. Функционально она делится на подсистемы: трассу (план, профиль); земляное полотно, включая мосты, тоннели, эстакады; верхнее строение пути.

Железная дорога и, в первую очередь, ее инфраструктура должны обеспечивать, помимо своей основной функции, транспортные связи, возможность саморазвития, благоприятную экологию, экономичность.

При проектировании инфраструктуры и ее содержания возможны два принципиальных подхода: а) максимизация эксплуатационных характеристик при заданных ресурсах и б) минимизация затрат при заданных характеристиках.

Первый принцип, как правило, превалирует при содержании инфраструктуры, второй — при ее проектировании.

Экологичность можно характеризовать временем, в пределах которого сосуществуют инфраструктура и территория (окружающая среда), не нарушая экологической безопасности последней.

Понятно, что чем продолжительней этот период, тем транспортная инфраструктура безопасней экологически.

В развитии инфраструктуры можно выделить следующие этапы (рисунок 1).

На стадии проектирования учет взаимодействия инфраструктуры и территории (внешней среды) выполняется на основе прогностических оценок; при модернизации осуществляется корректировка «облика» инфраструктуры, если был превышен прогностический горизонт или не оправдались прогностические оценки.

На стадии эксплуатации идет непрерывная адаптация инфраструктуры к воздействию среды, в том числе и силовому. Однако рассогласованность между возможностями инфраструктуры и влияющими факторами внешней среды (чаще всего экономическими) настолько велика, что для ее согласования требуются значительные дополнительные резервы. При этом рационально модернизацию начинать раньше, чем это диктуется техническими или экономическими потребностями.

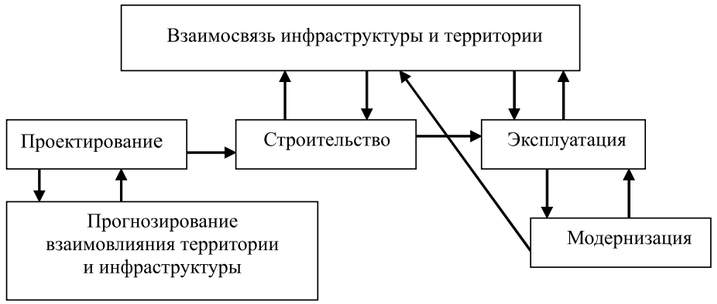


Рисунок 1 — Блок-схема развития инфраструктуры

Этап проектирования инфраструктуры определяет ее облик надолго (иногда на сотни лет вперед).

Однако план и профиль железной дороги преобразуются не так

часто, а ведь трасса — фактически заданная траектория движения поездов (несмотря на значительные изменения со временем скорости, массы, интенсивности движения).

Обычно в понятие «окружающая среда» включают и природные, и экономические факторы.

Природные факторы определяются рельефом, гидрологией, геологией, природно-климатическими условиями и т.п. Экономические факторы зависят от многих обстоятельств, но в данной работе мы будем рассматривать их зависимость от района тяготения.

Окружающая среда влияет на основные свойства инфраструктуры, на ее эффективность; это характеризуется реакцией структуры (ее выходными характеристиками). По отношению к трассе за ее реакцию можно принять длину, коэффициент развития, наличие кривых участков пути, скорости движения поездов, потребные ресурсы на строительство, эксплуатацию и модернизацию.

Обозначим вектор параметров реакции через $R = R(t)$, где за t можно принять время или длину.

Входные параметры (параметры воздействия) обозначим $B = B(t)$, тогда

$$R(t) = R(B(t); C(t), \qquad (1)$$

где $C(t)$ — совокупность параметров, характеризующих «облик» транспортной инфраструктуры.

Отклонения от ожидаемых параметров $B(t)$ назовем возмущениями, которые являются часто источником неопределенности. Отсюда, если $B(t)$ свойственна неопределенность, то эта неопределенность «переносится» и на $R(t)$. Уже отмечалось, что влияющие факторы среды объединяются понятием «территория». Чем меньше территория, тем уже спектр воздействующих факторов.

Назовем территорию, в пределах которой возможно варьирование положением трассы без потери оптимального варианта, сферой варьирования. В пространстве такая сфера описывается эллипсом, фокусы которого лежат в конечных точках трассы А и В (рисунок 2). Наибольшая ширина сферы варьирования (малая ось эллипса) f и его площадь S определяются:

$$f = l_0\sqrt{\lambda^2 - 1};$$
$$S = \frac{l_0^2\lambda}{4\pi}\sqrt{\lambda^2 - 1}. \qquad (2)$$

Здесь l_o — кратчайшее расстояние между точками А и В (геодезическая линия); λ — коэффициент развития; L — длина трассы.

При $\lambda = 1$ сфера варьирования стягивается в прямую.

Значение коэффициента λ зависит от длины и извилистости трассы, т.е. от наличия кривых участков пути и обусловливается при заданных параметрах железной дороги характером и неоднородностью территории, значением района тяготения.

Для железных дорог λ обычно меньше 1,3.

Изменение величины λ от длины трассы показано на рисунке 3.

Для трассы железной дороги L' < 10 км, L'' < 60-70 км.

Функция $\lambda = f(L)$ зависит от степени неоднородности территории.

Обычно территория — это пространство с однородным фоном, в котором расположены неоднородные области (рисунок 2).

Возможны случаи, когда фон более или менее благоприятен для строительства, чем рассматриваемые области. В качестве таких областей могут выступать образования с различными природными характеристиками: рельефными, геологическими и т.п., а также запретные области (заказники, заповедники, охранные зоны и т.д.).

Качественная оценка неоднородности территории характеризуется ее энтропией H:

$$H = H_1 + H_2, \qquad (3)$$

где H_1 — энтропия, характеризующая неоднородность областей территории; H_2 — энтропия, характеризующая неравномерность расположения областей.

Вообще энтропия определяется по известной формуле

$$H = -\sum_{i=1}^{i=n} P(A_i)\log_2 P(A_i), \qquad (4)$$

где $P(A_i)$ — вероятность попадания трассы в A_i область; n — количество областей.

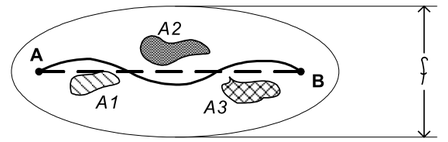


Рисунок 2 — Сфера варьирования

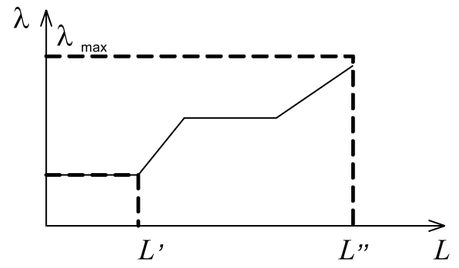


Рисунок 3 — Зависимость коэффициента развития линии от длины трассы

Так, для северных районов Тюменской и Томской областей H = 2,5-3,8.

С увеличением энтропии усложняется начертание трассы. Принципиальная зависимость коэффициента развития линии, а значит, и количества кривых участков пути от энтропии изображена на рисунке 4.

При возрастании неоднородности территории λ растет и приобретает максимальное значение при $H_{кр}$, далее при возрастании H, λ может даже уменьшаться. Значения $H_{кр}$ и λ_{max} зависят от конкретных условий.

Исследования показали, что учет неопределенности факторов окружающей среды приводит к увеличению потребного ресурса. К примеру, при заданном уровне вероятности достижения цели 0,9 требуется увеличение ресурса примерно в 1,5 раза, а при вероятности 0,96 — в 1,7 раза.

Влияние природных факторов на трассу железной дороги оценим основными аффинными и проективными преобразованиями: поворотом вокруг оси на угол φ, изменением масштаба по осям S, параллельным переносом на величину D и другими.

Если при этом с учетом точности расчетов изменится реакция системы, тогда значения φ, S, D и др. могут приниматься за характеристику возмущений рассматриваемых природных факторов. Чем меньше эти величины, тем больше возмущения.

Примем каждый из n факторов природного воздействия как координату конца вектора в n-мерном пространстве. Разделим трассу на m-1 частей, тогда воздействующие факторы определятся матрицей

$$B = \begin{Bmatrix} B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1i} & \dots & B_{1n} & 1 \\ \dots & & & & & & \\ B_{j1} & B_{j2} & \dots & B_{ji} & \dots & B_{jn} & 1 \\ \dots & & & & & & \\ B_{m1} & B_{m2} & \dots & B_{mj} & \dots & B_{mn} & 1 \end{Bmatrix},$$

где B_{ji} — природный i-й фактор в j-й точке трассы.

С помощью основных аффинных и проективных преобразований получим матрицу преобразований T:

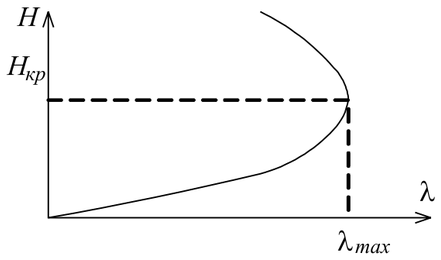


Рисунок 4 — Зависимость коэффициента развития линии от энтропии

$$T = \begin{Bmatrix} T_{11} & T_{12} & \dots & T_{1i} & \dots & T_{1,n+1} \\ \dots & & & & & \\ T_{i1} & T_{i2} & \dots & T_{ii} & \dots & T_{i,n+1} \\ \dots & & & & & \\ T_{n+1,1} & T_{n+1,2} & \dots & T_{n+1,j} & \dots & T_{n+1,n+1} \end{Bmatrix}.$$

Матрица измененных факторов B^* определится как $B^*=B^*T$.

После сравнения реакций системы $R(B)$ и $R(B^*)$ делается вывод о значимости природных воздействий.

При $| R(B) — R(B^*) | > \xi$ влияние факторов значимо.

Здесь ξ — точность расчета.

За реакцию системы принимаем любой удобный параметр выхода: стоимость, мощность линии, объем работ и т.п.

С помощью аффинных и проективных преобразований легко поддается оценке влияние на трассу рельефа, геологии, гидрогеологии и др. факторов.

Ниже приводится пример оценки воздействия на трассу рельефа местности. Положение трассы на местности при разбиении ее на m-1 частей характеризуется координатами ее точек: X, Y, Z. Матрица B примет вид

$$B = \begin{Bmatrix} X_1 & Y_1 & Z_1 & 1 \\ X_2 & Y_2 & Z_2 & 1 \\ \dots & & & 1 \\ X_m & Y_m & Z_m & 1 \end{Bmatrix}.$$

Аффинные и проективные преобразования будут определены следующими матрицами.

Поворот вокруг оси X на угол θ:

$$T(\theta) = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & cos\theta & sin\theta & 0 \\ 0 & -sin\theta & cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}.$$

Поворот вокруг оси Y на угол φ:

$$T(\varphi) = \begin{Bmatrix} cos\varphi & 0 & -sin\varphi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ sin\varphi & 0 & cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}.$$

Изменение масштаба по осям в S_x, S_y, S_z раз.

$$T(S_x, S_y, S_z) = \begin{Bmatrix} S_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & S_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{Bmatrix}.$$

Параллельный перенос на величины D_x, D_y, D_z:

$$T(D_x, D_y, D_z) = \begin{Bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ D_x, & D_y, & D_z & 1 \end{Bmatrix}.$$

После комбинированного преобразования $B^*= B$ x $T_1T_2...T_k$, если таких преобразований k (некоторые могут повторяться несколько раз).

В таблице 1 приведены оценки влияния рельефа на двух участках трассы: со сложным рельефом (участок 1) и с более простым рельефом (участок 2). За реакцию системы принято относительное изменение объема земляных работ: $\triangle Q/Q$, где Q — объем работ по исходной трассе. Точность расчета ξ = 4,5%.

Из таблицы 1 видно, что наиболее чувствителен к изменению рельефа параллельный перенос: оценка уменьшилась в 10 раз, причем для сложного рельефа оценка в 1,5÷10.

Любая трасса железнодорожной линии состоит (в идеале) из прямых и круговых кривых с постоянной кривизной и переходных кривых, кривизна которых изменяется на современных железных дорогах России пропорционально длине (клотоида или радиоидальная спираль) или пропорционально абсциссе (кубическая парабола) от 1/r в начале и конце круговой кривой до 0 на прямой.

Как отмечалось, количество кривых и их характеристики (радиус, угол поворота, длина) зависят от свойств территории. На межконтинентальной железнодорожной линии «Прыжок кенгуру» в Австралии имеется направление длиной 528 км, на котором нет ни одной кривой. В то же время на участке Свердловск — Пермь Свердловской железной дороги число кривых более 45%. На участках Чусовская—Губаха, Чусовская—Лаки Пермского отделения Свердловской железной дороги кривых более 75%, причем свыше 80% имеют радиус менее 700 м, а на участке Калино—Кын из почти 90% кривых радиусом до 700 м 44% составляют кривые радиусом от 300 до 400 м. Для сравнения: диапазон изменения радиусов кривых согласно нормам — 4 000 ±150 м. Кривые участки пути отличаются от прямых тем, что из-за кривизны, не равной нулю, возможно ограничение скорости, а при прохождении их поездом возникают дополнительные усилия в контакте колесо—рельс и увеличенные ускорения, действующие на пассажира.

Равнодействующая ускорений α определится:

$$\alpha = \sqrt{(\sum \alpha_n)^2 + (\sum \alpha_{пр})^2 + (\sum \alpha_b)^2}, \qquad (5)$$

где α_n, $\alpha_{пр}$, $\alpha_в$ — ускорения, действующие в данный момент на пассажира: поперечные, продольные, вертикальные соответственно.

По данным Г.Н. Шахунянца, $\alpha_{пр}$<1,3 м/с^2; $\alpha_{верт} \le$ 0,3-0,8 м/с^2. Последнее значение — при скорости выше 160 км/ч.

Из-за колебания исправного вагона при движении по исправному пути обычно $\alpha_{пр}$ менее 0,25 м/с^2.

В таблице 2 приведены полные ускорения, которые действуют на пассажира при прохождении вагоном прямого и кривого участков пути.

Из таблицы видно, что ускорение при движении в кривой возрастает более чем в 1,5—2 раза.

Из-за возрастающих усилий между колесом и рельсом в кривых:

— обратно пропорционально квадрату радиуса увеличивается износ рельсов и расходы по содержанию пути;

— обратно пропорционально 1/4 степени радиуса возрастает одиночный выход рельсов.

Отсюда — чем меньше радиус кривых, тем ярче проявляются эти недостатки.

Для компенсации центробежного ускорения в кривой выполняется возвышение наружного рельса,

Таблица 1 — Изменение оценок воздействия рельефа, соответствующих ξ = 4,5

Оценка	Ед. измерения	Обозначение	Участок 1	Участок 2
Угол поворота	град	φ	1	4
Изменение масштаба		S_x	0,9	0,6
Параллельный перенос	км	D_x	1	10

Таблица 2 — Ускорение, действующее на пассажира при движении вагона на прямой и кривой, м/сек^2

Режим движения	Участок	
	прямая	кривая, $a_{неп.}$ = 1,5 м/с^2
Движение с максимальным разгоном или замедлением	1,7	2,4
Движение, близкое к равномерному	0,72	1,9

равное 150 мм. Максимальная величина возвышения для железных дорог России равняется 150 мм. Так как по одной и той же колее идут поезда с разными скоростями, то для более быстрых (как правило, пассажирских) поездов центробежное ускорение компенсируется не полностью: появляется непогашенное ускорение, которое не должно превышать допустимого (0,7 м/с^2). Исходя из этого, скорости таких поездов в кривых и на подходах к ним должны ограничиваться.

Величина возвышения наружного рельса в кривой — это один из важнейших параметров, влияющий на динамику взаимодействия колеса с рельсом, косвенным показателем которой может служить боковой износ рельса.

Однако наши исследования (да и практика) эксплуатации кривых показывают, что возвышения не всегда соответствуют скоростям проходящих поездов. Так, анализ возвышений на трех дистанциях пути Пермского отделения Свердловской железной дороги показал, что существующие возвышения наружного рельса не только полностью компенсируют центробежную силу практически во всем диапазоне скоростей, но и создают силу, направленную внутрь кривой. Только малая часть поездов (около 3%), движущаяся со скоростями более 40 км/ч, имеет непогашенное ускорение. На этих кривых поезда движутся в режиме тяги. Среднее непогашенное ускорение в реальном диапазоне скоростей — 0,06 м/с^2. Составляющая силы тяги, направленная поперек пути, гасит незначительную некомпенсированную центробежную силу. Такая ситуация складывается для большинства исследуемых кривых. Согласно [1], предельные нормативные величины непогашенного ускорения для грузовых поездов при максимальных скоростях движения + 0,15; + 0,3 м/с^2, для минимальных (в зависимости от способа расчета) -0,3; -0,4 м/с^2. Для пассажирских поездов: + 0,7 м/с^2 и в исключительных случаях +1 м/с^2. Возвышение по [1] «определяется исходя из условий минимизации воздействия на путь грузовых поездов при обеспечении максимальных скоростей пассажирских поездов для данных условий».

Таким образом, для большинства анализируемых кривых установленные возвышения наружного рельса избыточны. То есть алгоритмы, заложенные в расчет возвышения наружного рельса, не всегда соответствуют реальности.

За последние годы методики определения возвышения неоднократно менялись. В «Руководстве…» [1] учтен ряд таких несоответствий. Но принятую модель расчета необходимо совершенствовать. Например, «Руководство…» рекомендует при изменении серии локомотива, веса или режима ведения поезда в некоторых случаях использовать скоростемерные ленты. Но их еще нет, эти «новации» только предполагается ввести. Кроме того, пока скоростемерные ленты будут обрабатываться вручную, ценность и надежность такой информации крайне низка. Необходимо от расчета возвышения для условного поезда перейти к учету массы отдельного вагона и режима движения поезда, т.к. последнее влияет на условия движения экипажа по рельсовой колее, а значит, и на силы взаимодействия между колесом и рельсом.

Успеха при поставленных условиях можно достичь, создав имитационную модель для определения возвышения наружного рельса с учетом вероятности появления тех или иных входных параметров модели. Учитывая большой объем исходной информации, иногда ее отсутствие в базе данных или разбросанность по различным файлам и значительную расчетную работу, без информационных технологий не обойтись. Особенно важно знание адекватной реальным процессам величины возвышения наружного рельса при введении высокоскоростных и тяжеловесных поездов. Опыт показывает, что при пропуске тяжеловесных поездов в ряде случаев может происходить отрихтовка пути в наружную сторону кривой.

Скорость поезда, его масса при выбранном возвышении наружного рельса определяют силовое взаимодействие между колесом и рельсом. Усугубляет положение наличие на рельсах боковых неровностей. В качестве последних могут приниматься:

— разность смежных стрел изгиба;

— изменение ширины колеи;

— боковая неравножесткость пути в рассматриваемой точке вдоль рельса.

Последние три вида неровностей можно рассматривать как неодинаковость псевдострел изгиба.

В этом случае псевдострела изгиба f_{nc} определится:

$$f_{nc} = d_i + 0{,}5(S_i - S_{cp}) + Z_i, \qquad (6)$$

где d_i — износ в i-й точке рельса, мм; S_{cp}, S_i — средняя ширина колеи на кривой и ширина колеи в данной точке, мм; Z_i — упругое отжатие головки рельса, мм.

Z_i характеризует боковую жесткость пути в данной точке i.

Z_i зависит от направляющей силы и боковой жесткости пути. К примеру, при направляющей силе 8 т Z_i = 5,24 мм.

Таким образом, все боковые неровности в кривой можно свести к разности смежных суммарных стрел f_{Σ}

$$f_{\Sigma_i} = f_i + f_{nc}, \qquad (7)$$

где f_i — стрела изгиба, $f_i = \varphi$.

Анализ ряда кривых по Свердловской железной дороге показал, что относительная разница между суммарной стрелой изгиба f_{Σ} и стрелой изгиба f_i колеблется для крутых кривых от 3 до 11%, для пологих — от 13 до 20%, что значительно выходит за точность расчета. Разброс значений, который характеризуется среднеквадратическим отклонением, для значений f_{Σ} больше, чем f_i, что значительно увеличивает воздействие колеса на рельс.

Отсюда разность суммарных стрел $\triangle f_{\Sigma}$ в среднем больше, чем $\triangle f_i$:

$$\triangle f_{\Sigma_i} = f_{\Sigma_i} - f_{\Sigma_i - 1},$$

$$f_i = f_i - f_{i-1}. \qquad (8)$$

Т.к. стрелы изгиба различны в разных точках, то неодинакова и кривизна в этих точках ($\frac{1}{r_i}$), а значит, и непогашенные ускорения, которые в этих точках кривой могут резко отличаться, что приводит к неравномерности бокового износа. Разница может достигать 50%.

Этому же способствует периодическое изменение силового воздействия колеса на рельс с возможным возникновением резонансных явлений.

Наши исследования на трех дистанциях пути Свердловской железной дороги показали, что в диапазоне скоростей поезда от 10 до 50 км/ч резонанс может наступить при длинах волн изменения f_{Σ} от 19 до 25 м (около 15% всех обследованных кривых). В интервале скоростей от 50 до 70 км/ч резонанс наступает при длинах волн от 25 до 27 м, что составляет менее 5% кривых. Следовательно, если поезд будет двигаться со скоростью более 50 км/ч, то в 95 случаях из 100 в рассматриваемых условиях резонанс не наступит.

Однако здесь есть опасность дальнейшего увеличения волны изменения f_{Σ}, т.е. явления резонанса со временем могут проявиться и при увеличивающихся скоростях поездов.

С учетом многообразия факторов, влияющих на параметры кривых (на их состояние), должна решаться на более высоком уровне проблема мониторинга пути, основанного, помимо традиционных методов и приборов, на разработанных в последнее время программно-аппаратных комплексах, использующих системы GPS и гироскопы высокой точности, информационные технологии с обработкой не только «путейских» данных о подвижном составе, характере и режимах ведения поездов, их скоростях.

В заключение необходимо отметить:

— кривые участки железнодорожного пути обусловлены сложностью территории. Количество кривых (сложность трассы) можно охарактеризовать коэффициентом ее развития. В статье дается зависимость коэффициента развития от характеристики территории, которая может оцениваться энтропией и показателями аффинных и проективных преобразований;

— кривые при их эксплуатации — одни из самых сложных участков пути. Рассмотрены основные параметры, характеризующие условия функционирования кривых, их взаимосвязь и взаимовлияние.

Литература

1. Руководство по определению возвышения наружного рельса в кривых. — М.: ОАО «РЖД»; Департамент пути и сооружений; ВНИИЖТ,2004. — 35 с.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОЛЕС

Для железных дорог Северной Америки единственным показателем механических свойств материала колес является твердость. Для колес класса С твердость находится в пределах 321 — 363 НВ. Согласно Российскому стандарту (ГОСТ 10791-89) временное сопротивление разрыву материала колес грузовых вагонов марки 2 должно быть не менее 911 — 1107 МПа, относительное удлинение — не менее 8%, поверхностная твердость — не менее 290 НВ, твердость на глубине 30 мм — не менее 255 НВ.

В настоящее время для ликвидации существенной разницы в твердости колес грузовых вагонов и рельсов принимаются меры по:

- совершенствованию технологии термообработки обода цельнокатаных колес;
- увеличению содержания углерода в колесной стали до уровня рельсовой стали и, следовательно, повышению ее твердости до 320 — 400 НВ;
- внедрению технологий поверхностного упрочнения колес (плазменной, лазерной, наплавки).

Остаточные напряжения являются главным параметром, определяющим склонность колес к повреждениям. Неправильный режим термообработки приводит к хрупкому разрушению колес.

Харрис У. Дж., Захаров С.М., Ландгрен Дж., Турне Х., Эберсен В. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса / Пер. с англ. — М.: Интекст, 2002.— 408 с.

Асонов А.М., Ильясов О.Р.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ПРОБЛЕМА ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА



Асонов Александр Михайлович,
д.б.н., УрГУПС



Ильясов Олег Рашитович,
к.т.н., УрГУПС

В статье рассматривается проблема защиты водных объектов от негативного воздействия поверхностного стока с селитебных территорий. Отмечена специфика образования последнего, предложены новая концепция очистки поверхностного стока и биосооружение в виде аккумуляционного фитофильтра (АФФ) для ее реализации. Приведены результаты исследований АФФ, подтверждающие эффективность и перспективность предлагаемой технологии.

Россия — одна из наиболее богатых природными водами стран мира. Реки и озера, болота и ледники, подземные горизонты, атмосферная и почвенная влага, прибрежные и континентальные моря — все это в совокупности образует единый государственный водный фонд.

Справочные данные [1] указывают, что по территории нашей страны протекает свыше 2,5 миллиона рек. Подавляющее большинство из них (94,9%) имеют длину 25 км и менее. Число средних рек, длиной от 101 до 500 км, составляет 2833, или 0,1%, число больших — 214, или 0,008%.

Следует отметить, что большинство рек (90,4%) несут свои воды в Северный Ледовитый и Тихий океаны. В Азово-Черноморском и Каспийском бассейнах, где проживает свыше 65% населения России, насчитывается всего 193942 реки, или 7,5%. Пять крупнейших рек России имеют водосборную площадь, превышающую 1000 тыс. км^2. Прежде всего это Обь, собирающая воды с обширного бассейна площадью 2990 тыс. км^2. Затем идут Енисей, Лена и Амур, чьи площади водосбора составляют соответственно 2580, 2490 и 1855 тыс. км^2. Волга — первая по величине река Европы — среди российских рек занимает лишь пятое место по площади водосбора (1360 тыс. км^2).

Самой большой по протяженности рекой является Енисей, имеющий длину около 6000 км (если считать за исток Селенгу). Длина Оби, если за ее исток принять р. Иртыш, составляет 5570 км, длина Лены и Амура превышает 4000 км. Волга, Колыма, Урал имеют протяженность более 2000 км.

На территории России формируется около 10% мирового речного стока — 4043 км^3 в год. Дополнительный сток из сопредельных государств равен 227 км^3. В стране насчитывается более 2,7 миллиона озер, в них сосредоточено около 26,5 тыс. км^3 пресных вод.

Среди крупнейших по стоку воды рек мира Енисей, Лена, Обь, Амур и Волга занимают соответственно пятое, седьмое, двенадцатое, четырнадцатое и пятнадцатое место (таблица 1).

Сегодня в России имеется 2650 водохранилищ, каждое объемом свыше 1 млн м^3, в том числе 103 крупнейших (объемом свыше 100 млн м^3). Их полезный объем достигает 342 км^3.

Можно отметить, что соседствующие с Россией страны Центральной Азии испытывают острый дефицит пресной воды. Там вода стала поводом для межгосударственных разногласий. Природа разместила основные источники воды на территории Киргизии, а основные водопотребители находятся в Узбекистане и Казахстане. Парламент Киргизии потребовал от Узбекистана плату за воду. Пока эти разногласия не разрешились. Проблема безводия вынуждает государства Средней Азии и Казахстана обратиться к идее советской поры о строительстве гигантского канала (почти 2500 км) по переброске части обской воды в эти регионы.

Таблица 1 — Крупнейшие реки мира

Река	Площадь водосбора, тыс. км^2	Средний многолетний годовой сток, км^3
Амазонка	7000	3785
Конго	3690	1261
Ганг	2000	1230
Янцзы	1808	1006
Енисей	2580	630
Миссисипи	3220	599,3
Лена	2490	532
Замбези	1330	504,6
Паранга	4250	469,9
Ориноко	1085	441,6
Макензи	1760	441,6
Обь	2990	400
Нигер	2090	378,5
Амур	1855	344
Волга	1360	251
Дунай	817	202,9

В этих условиях становится очевидным, что сегодня вода превращается в стратегический ресурс, требующий к себе должного внимания, бережного и экономного отношения.

В производственно-социальном комплексе страны используется около 200 км^3 воды в год. При этом 73 км^3 покрывается за счет отбора из природных источников, а 133 км^3 (около 67%) — за счет инженерного воспроизводства в оборотных, повторно-последовательных и замкнутых системах водообеспечения [2].

Огромные водные ресурсы не гарантируют поддержания экологического благополучия для населения большинства регионов страны. Территориальная неравномерность распределения вод, многолетняя изменчивость речного стока, сильное загрязнение большинства мелких и крупных водоисточников под влиянием антропогенного пресса затрудняет обеспечение населения и народного хозяйства страны необходимым количеством воды и, что наиболее важно, воды требуемого качества. Цифры, приводимые во многих официальных источниках, свидетельствуют, что сегодня каждый второй житель России использует для питья воду, не соответствующую санитарно-гигиеническим требованиям.

Основным источником пополнения поверхностных водных объектов являются атмосферные осадки. В процессе их контакта с воздушной средой и земной поверхностью формируется качественный состав поверхностного стока. Учитывая, что он представляет основную составляющую речного стока, проблема улучшения качества воды в поверхностных водоисточниках в основном зависит от решения проблемы стока с водосборных территорий. В связи с небывалым по размаху и интенсивности хозяйственным освоением природных ресурсов, строительством и увеличением производственных мощностей действующих промышленных и агропромышленных предприятий, ростом городов и населенных пунктов постоянно возрастает антропогенное воздействие на территорию водосборов, включая и водоисточники.

Сегодня ни у кого не возникает сомнения о коррелируемости состояния водосбора с количественными и качественными характеристиками водных объектов, находящихся на его территории.

Рассматривая проблемы водосбора, следует отметить, что на его территории формируется два вида сточных вод. Первый образуется в результате производственного процесса (производственные сточные воды) или хозяйственно-бытовой деятельности (хозбытовые сточные воды). Выпуск сточных вод данной категории в окружающую среду осуществляется, как правило, после очистки на локальных, общезаводских и городских очистных сооружениях.

Второй вид сточных вод — поверхностный сток с селитебных территорий — образуется в результате контакта атмосферных осадков (дождь, снег) с

загрязнениями, находящимися в атмосферном воздухе и на водосборе. Поверхностный сток с городских территорий, включая территории промышленных предприятий, загрязнен веществами органического и минерального происхождения, находящимися во взвешенном, коллоидном и растворенном состоянии. Качественный состав поверхностного стока по данным [3, 4] представлен в таблице 2.

Способы снижения негативного воздействия двух вышеназванных видов сточных вод на поверхностные водные объекты принципиально отличаются.

В первом случае за счет совершенствования технологии основного производства, перехода на безводные или маловодные технологии, внедрения систем глубокой очистки сточных вод в оборотном водоснабжении и перехода на замкнутые системы обеспечения можно свести негативные для водоисточника последствия от сброса производственных вод к минимуму.

Во втором случае сезонность и неравномерность образования дождевых и талых вод, их значительный объем делают невозможным полную утилизацию поверхностного стока на промышленных объектах, например, для пополнения систем оборотного и замкнутого водоснабжения. Эти особенности поверхностного стока с селитебных территорий указывают на отсутствие альтернативы его сбросу в водные объекты.

Анализ научной и технической литературы свидетельствует, что более 90% городов, имеющих ливневую канализацию, не имеют очистных сооружений, и, следовательно, талые, дождевые и поливомоечные сточные воды попадают в природные водоисточники без очистки. Исследования РосНИИВХ [5] показали, что годовая масса взвешенных веществ, поступающая в реки Исеть и Пышму с территории г. Екатеринбурга с талым стоком составляет 4935 т, с дождевым — 12300 т, тогда как со сточными водами, прошедшими очистку на городских очистных сооружениях, — 2894 т. Поступающие в водоисточники суммарные загрязнения талого и дождевого стока в период их образования (6 месяцев) равны по взвешенным веществам 2872 т/мес., по нефтепродуктам — 62,5 т/мес. и $БПК_{20}$ — 200 т/мес. Эти же показатели у промышленных и хозбытовых сточных вод, прошедших очистку на городских очистных сооружениях, равны 241, 50 и 301 т/мес. соответственно.

Количество загрязнений, выносимых с городских территорий поверхностным стоком, а также их концентрации зависят от многих факторов, в частности, от частоты уборки улиц, интенсивности движения автотранспорта, плотности населения, наличия и профиля промышленных предприятий, степени благоустройства селитебных территорий, продолжительности и интенсивности снеготаяния и дождей и т.д.

Поверхностный сток, сформировавшийся на техногенной территории, загрязняется веществами, содержащимися в почве. Так, по данным [4], поверхностный сток с территорий предприятий цветной металлургии может содержать ионы меди — до 100, цинка — до 15, кадмия — до 40, аммония — до 5, титана — до 3, свинца — до 3, мышьяка — до 75, фтора — до 200 мг/дм^3. Мониторинг, выполненный Уральской гидрогеологической экспедицией [6], позволяет отметить негативное влияние воздушных выбросов крупных предприятий на состояние водосборной территории. Исследование снега на территории г. Екатеринбурга указывает на наличие аномальных концентраций тяжелых металлов. Обобщенные и усредненные данные по загрязнению территории города металлами, находящимися в нерастворимом осадке (пыли), приведены в таблице 3.

Данные таблицы 3 свидетельствуют о значительном загрязнении снега тяжелыми металлами во всех районах города.

Наличие более 20 территорий с аномально высокими нагрузками по металлам, превышающими среднегодовые показатели в 2—3 раза, указывает на местные источники поступления металлов, а на не иногородние, за счет воздушного переноса пыли.

В Уральском регионе концентрация промышленного производства в 2—3 раза выше среднего по стране. По выбросам в атмосферу регион занимает первое место в России. На каждого жителя Свердловской области приходится 600 кг/год газодымовых отходов. Влияние промышленных центров сказывается на расстоянии 200—300 км, а рядом с ними нередко образуются техногенные пустыни [3].

Таблица 2 — Качественный состав поверхностного стока

Поллютанты	Концентрации, мг/дм^3	
	[3]	[4]
Взвешенные вещества	4 — 23000	1200 — 1600
Нефтепродукты	7 — 350	25 — 30
$БПК_{20}$	40 — 120	60 — 220
Азот NH_4	3 — 5	1
Фосфор	2 — 4	5

Таблица 3 — Среднее содержание и среднесуточные выпадения тяжелых металлов на территории г. Екатеринбурга*

Металлы	Показатели	Фон		Зоны загрязнения		
		региональный	пригородный	центральная	южная	аномальные
Медь	Содержание в пробе, мг/кг пыли	210	199	347	278	-
	Площадная нагрузка, мг/м^2 сут · 10^{-3}	4,95	21,9	53	39	136,7
Цинк	Содержание в пробе, мг/кг пыли	93	232	316	206	-
	Площадная нагрузка, мг/м^2 сут · 10^{-3}	2,19	25,5	48	29	50,4
Свинец	Содержание в пробе, мг/кг пыли	64,0	48,0	100	58	-
	Площадная нагрузка, мг/м^2 сут · 10^{-3}	1,51	5,27	15	8,2	35,3

** Определены в нерастворимом осадке (пыли) талой воды.*

Средние за год концентрации пыли, оксида углерода, аммиака в городах Урала на 35% выше, чем в Европейской части РФ [8]. По данным Госкомстата РФ и снегомерных съемок в Свердловской, Челябинской и Курганской областях за 1997—1998 гг., наибольший вклад в суммарные выбросы загрязняющих веществ дают выбросы оксида углерода — 30,3%, диоксида серы — 28,2%, твердые — 23,6% и оксиды азота — 10,2% [7].

К основным источникам загрязнения окружающей среды относится автомобильный транспорт. Доля его выбросов соизмерима с выбросами от промышленных предприятий. Только за последнее 10-летие объем атмосферных загрязнений, приходящихся на долю автомобилей, увеличился более чем в 4 раза и достиг 1/3 общего загрязнения атмосферы Земли.

Автомобильные двигатели загрязняют атмосферу отработавшими газами (65%), газами, выделяемыми из картера двигателя (20%), углеводородами, образующимися в карбюраторе (9%), и испарениями из топливных баков (6%). Кроме того, к загрязнителям воздуха относится пыль, образующаяся от износа автомобильных шин, асбестовая пыль от тормозных колодок и муфт сцепления, а также пыль от истирания покрытий дорог [8].

Отработавшие газы автомобильных двигателей содержат около 200 веществ, большинство которых токсичны (таблица 4).

В настоящее время в карбюраторных двигателях в качестве антидетонатора применяется тетраэтилсвинец. Отсюда в 1 л этилированного бензина содержится 0,4-0,8 г металлического свинца. Содержание свинцовой пыли в отработавших газах автомобиля, по различным данным, колеблется от 0,07 до 400 мг/м^3. При норме расхода высокосортного бензина около 10 л на 100 км и интенсивности движения на отдельных автомобильных магистралях от 25 тыс. авт/сут. ежедневное выделение токсичных свинцовых соединений составляет от 500 до 750 г/км. Первая зона накопления свинца формируется в непосредственной близости от дорог (10—30 м), где его содержание в почве составляет 450 мг/кг, вторая — на расстоянии до 150 м с гораздо меньшим содержанием [9].

Выполненные нами исследования [10] распределения тяжелых металлов в талой воде из снега, отобранного на территории с аномальными концентрациями, позволили установить, что основная часть металлов (60%) адсорбирована взвешенными ве-

Таблица 4 — Состав отработавших газов автомобилей (по И.Л. Варшавскому)

Компоненты	Единицы измерения	Состав выхлопа двигателей	
		карбюраторных	дизельных
Азот N_2	%	74-77	76-78
Кислород O_2	%	0,3-8	2-18
Пары воды H_2O	%	3-5,5	0,5-4
Двуокись углерода CO_2	%	5-12	1,0-10
Окись углерода CO	%	0,5-12	0,01-0,5
Окислы азота NO_x	%	0,007-0,8	0,0002-0,5
Углеводороды неканцерогенные C_nH_m	%	0,2-3	0,009-0,5
Альдегиды	%	0,0-0,2	0,01-0,009
Сажа	г/м^3	0,0-0,4	0,01-1,1
Бенз(а)пирен-3,4	мкг/ м^3	До 10-20	До 10

ществами и может быть задержана технологиями по очистке сточных вод от взвеси методами отстаивания и фильтрации (таблица 5). Однако около 40% металлов находится в тонкодисперсном или ионном виде, что требует для их выделения из воды более сложных физико-химических методов обработки.

Следует отметить, что, несмотря на сравнительно небольшую ширину полосы интенсивного загрязнения, влияние транспорта на качество талого и дождевого стока достаточно велико. Отмечено, что вдоль дорог формируются полиэлементные аномалии тяжелых металлов и других токсичных веществ. При этом их концентрации превышают местный фон в 10—15 раз.

Очевидно, разрабатывая технологию очистки талой и дождевой воды с селитебных территорий, следует предусматривать эффективную очистку от взвешенных веществ, что будет способствовать совместному удалению не только основной доли тяжелых металлов, но и адсорбированных на взвеси нефтепродуктов и биогенных (азот фосфор и калий) веществ.

Таблица 5 — Распределение тяжелых металлов ТМ в талой воде с селитебных территорий с аномальными концентрациями

Пробы	Концентрация, мг/дм^3									Отношение ТМ в фильтрате / ТМ во взвеси		
	Cu^{2+}			Zn^{2+}			Pb^{2+}					
	в фильтрате	без взвеси	общая	в фильтрате	без взвеси	общая	в фильтрате	без взвеси	общая	Cu^{2+}	Zn^{2+}	Pb^{2+}
1	0,022	0,100	0,122	0,050	0,022	0,072	0,030	0,013	0,043	18/82	30/70	30/70
2	0,040	0,022	0,062	0,020	0,022	0,042	0,010	0,013	0,023	35/65	52/48	43/57
3	0,040	0,018	0,058	0,075	0,025	0,0100	0,015	0,025	0,040	31/69	25/75	37/63
4	0,040	0,064	0,104	0,075	0,064	0,139	0,015	0,032	0,047	61/39	46/54	68/32
5	0,040	0,030	0,070	0,075	0,018	0,893	0,015	0,009	0,024	32/68	38/62	22/78
6	0,087	0,042	0,129	0,038	0,060	0,098	0,028	0,008	0,036	32/68	38/62	22/78

Для очистки поверхностного стока, образующегося только в теплый период года, наиболее целесообразно использовать биоинженерные системы, технология очистки в которых максимально приближается к природным процессам биорегенерации водных объектов. Биологическая очистка на ботанических площадках с высшей водной растительностью (ВВР) достаточно глубоко проработана как в научном, так и в практическом аспектах [11, 12]. Для данной категории ботанические площадки обладают целым комплексом достоинств по сравнению с сооружениями промышленного типа. Они естественным образом вписываются в природу, очищая при этом широкий спектр загрязняющих веществ (взвешенные вещества минерального и органического происхождения, серные и азотные соединения, фосфаты, тяжелые металлы, патогенная микрофлора). Следует отметить высокую стабильность процесса очистки, даже при изменении режима поступления стоков и их качества, и минимальные эксплуатационные затраты.

Однако и у этих сооружений имеются недостатки, главным из которых следует признать относительно низкую скорость очистки воды. Время очистки на этих сооружениях находится в пределах 7—10 суток, что определяется скоростью биохимических процессов окисления, сорбции и отстаивания поллютантов. Учитывая значительные объемы талого и дождевого стока, поступающего эпизодически, ботанические площадки должны иметь значительные размеры, что достаточно трудно осуществить в пределах городской территории. Кроме того, ботанические площадки осуществляют свои функции глубокой очистки сточных вод только в вегетационный период (конец мая — начало сентября). Талый и позднеосенний сток не получает должной обработки и сбрасывается в природные водные объекты недостаточно очищенным. Это снижает их природоохранный эффект и не позволяет использовать в качестве единственного сооружения защиты водоисточников от загрязнения поверхностным стоком.

Учитывая специфику образования поверхностного стока, нами предложена новая концепция его очистки. Ее суть заключается в использовании для этой цели физико-химических методов очистки сточных вод, позволяющих с достаточно высокими скоростями добиться изъятия загрязнений на уровне предельно допустимых концентраций (ПДК), а деструкцию и утилизацию последних выполнять биологическим методом с использованием высшей водной растительности и микрофлоры.

Реализуя данную концепцию, нами предложена конструкция очистного сооружения для глубокой очистки поверхностного стока в виде двухступенчатого агрегатопонного комплекса — аккумуляционного фитофильтра (АФФ) [13]. Обе ступени фитофильтра имеют фильтрующую загрузку из природных сорбционных материалов (клиноптилолита или опоки). Фильтрующая загрузка (высота слоя 0,4 м), кроме своей основной задачи (задержание взвеси, нефтепродуктов, ионов биогенных веществ и тяжелых металлов), выполняет функцию твердого субстрата, в который высаживаются высшие водные растения (ВВР) — тростник. В отличие от обычных конструкций биоплощадок с горизонтальным движением очищаемой воды, жидкость в фитофильтре движется в вертикальном направлении. На первой ступени — сверху вниз, на второй — снизу вверх. Такое движение жидкости в АФФ позволяет вести не только глубокую очистку сточных вод с использованием физико-химических методов очистки (фильтрация, сорбция, адгезия, ионные обмены), но и осуществлять интенсивную биодеструкцию и утилизацию органических и биогенных веществ, ионов тяжелых металлов с помощью ризосферы ВВР. Последняя в процессе жизнедеятельности растений, т.е. в вегетационный период, выделяя продукты жизнедеятельности (углекислый газ, аминокислоты, сахара и т.д.), изменяет состав прикорневой зоны непосредственно, путем выделения углекислого газа ($CO_2 + H_2O = H^+ + HCO_3$), и косвенно, создавая благоприятные условия для ризосферной флоры (бактерии, грибы, актиномицеты, водоросли).

В марте—апреле, когда температура талого стока находится в пределах 2—5°С, очистка происходит за счет процессов отстаивания, сорбции и ионного обмена. Взвешенные и, частично, коллоидные вещества извлекаются из сточных вод при фильтрации через субстраты. Вещества, находящиеся в ионном виде (биогены, тяжелые металлы) извлекаются за счет ионного обмена на зернистой загрузке из природных ионообменных минералов — клиноптилолита или опоки. При потеплении, с началом вегетационного периода, в развитии ВВР и активизации жизнедеятельности микрофлоры АФФ начинается активная деструкция задержанных фильтром органических веществ и перевод катионов биогенов и тяжелых металлов с сорбента в раствор. Последние из раствора усваиваются растениями, происходит биологическая регенерация фильтрующего слоя АФФ.

Принципиальное отличие процесса очистки сточных вод на ботанических площадках с горизонтальным движением воды от аккумуляционного фитофильтра заключается в том, что в первом случае возможность повышения гидравлической нагрузки на сооружение лимитируется скоростью биохимической деструкции загрязнений, в то время как в новой конструкции ботанической площадки гидравлическая нагрузка лимитируется скоростями реакции флокуляции, сорбции, ионного обмена и фильтрации, т.е. процессов, протекающих в десятки раз быстрее, чем биологичес-

кие. В этом случае технологический процесс очистки сточных вод в АФФ осуществляется с высокими скоростями в любой период их образования, в том числе и в холодный (весна, осень). Деструкция и утилизация аккумулированных сорбентом загрязнений биоагентами (тростник, микрофлора, почвенные животные и т.д.) осуществляется в благоприятных для их жизнидеятельности условиях (температура, свет, наличие повышенной концентрации питательных веществ и т.д.).

Высокие скорости очистки воды в процессе фильтрации поверхностного стока через твердый субстрат фитофильтра, представленного в виде природных ионообменных материалов, позволяют значительно (50—100 раз) сократить размеры ботанических площадок, а также уменьшить площади территорий, занятые под пруды-усреднители.

Особенностью аккумуляционного фитофильтра является замена в нем малоэффективных по отношению к катионам металлов и биогенных веществ фильтрующих субстратов (песок) на природные сорбенты — клиноптилолит и опоку.

Природные сорбенты — это горные породы и минералы, обладающие адсорбционными или ионообменными свойствами. По характеру проявления сорбционных свойств и строению природные сорбенты делятся на две группы — кристаллические и аморфные. К кристаллическим сорбентам прежде всего относятся природные цеолиты, представляющие собой водные алюмосиликаты щелочных и щелочноземельных металлов. Одним из распространенных цеолитов, имеющим наибольшее практическое значение в процессах водоочистки, является клиноптилолит $(Na_2K_2Ca)O \cdot Al_2O_3 \cdot 10\ SiO_2 \cdot 8H_2O$ [14, 15].

Клиноптилолит обладает высокой избирательностью к ионам больших размеров (Rb^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Ba^{2+}, Sr^{2+}), а также проявляет достаточно сильное сродство к ионам Zn^{2+}, Cu^{2+}, Pb^{2+}, Cd^{2+}. Эти катионы эффективно извлекаются клиноптилолитом из сточных вод. Клиноптилолит относится к микропористым адсорбентам (размеры пор — 0,3—0,6 мм).

К группе аморфных природных сорбентов относятся дисперсные кремнеземы, представляющие собой осадочные опал-кристабалитовые породы. Один из самых распространенных их видов — опоки, сложенные аморфным кремнеземом (опалом) с примесью глинистого вещества, скелетных частей организмов, минеральных зерен (кварца, полевых шпатов, глауканита). Сорбционная способность опок обусловлена преобладающим присутствием аморфного кремнезема с гидратированной поверхностью. Для этого типа сорбентов характерна в основном поверхностная сорбция. Благодаря значительной удельной поверхности (50—60 м²/ч для фракций 2—6 мм) сорбционная емкость опоки может быть сопоставлена с таковой у активированных углей. Химический состав опоки и клиноптилолита представлен в таблице 6.

В настоящее время природные сорбенты — цеолиты и опоки — находят широкое применение во многих отраслях хозяйственного комплекса, в том числе в области охраны окружающей среды.

С целью изучения возможности использования природных сорбентов в АФФ в качестве фильтрующей загрузки (твердый субстрат) нами были выполнены исследования сорбционной емкости клиноптилолита и опоки в статических и динамических условиях. В исследованиях использовались клиноптилолит Читинского месторождения и опока Сухоложского месторождения Свердловской области. Размер фракций сорбентов — 1,0—3,0 мм. При изучении сорбционной емкости обоих сорбентов в статических условиях имитат стока имел следующий состав, мг/дм³: $Fe_{общ}$ — 535, Zn^{2+} — 519, Cu^{2+} — 434, pH 4,1. Обменная емкость клиноптилолита составила 0,483, а опоки — 0,159 мг-экв/г.

При исследовании сорбционной емкости сорбентов в динамических условиях имитат сточных вод, содержащий (по отдельности) ионы тяжелых металлов в концентрациях, мг/дм³: $Fe_{общ}$ — 3, Zn^{2+} — 15, Cu^{2+} — 8, фильтровался со скоростью 0,3 м/ч. Это обеспечивало контакт жидкости с фильтрующей загрузкой 15 минут.

Результаты исследований по изучению обменной емкости сорбентов в динамических условиях представлены в таблице 7.

Изменение качества фильтрата с ростом поступивших на сорбент загрязнений представлено на рисунке 1.

Таблица 6 — Химический состав клиноптилолита и опоки

Адсорбент	Состав,%					
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O, Ka_2O
Клиноптилолит (сокирницкий)	68,64	11,50	1,57	0,89	2,38	3,17
Опока (саратовская)	82,80	6,60	4,95	0,78	1,18	-

Таблица 7 — Обменная емкость сорбентов в динамических условиях*

Адсорбент	Сорбционная емкость, мг-экв/г		
	$Fe_{общ}$	Cu^{2+}	Zn^{2+}
Клиноптилолит	0,014	0,134	0,1
Опока	0,036	0,100	0,1

** Обеспечивает очистку от поллютантов до концентраций не более ПДК для водоемов хозяйственного назначения*

Выполненные исследования показали высокую степень очистки имитатов поверхностного стока при скорости фильтрации 0,3 м/ч через клиноптилолит и опоку: по $Fe_{общ}$ — 86 — 99 и 92 — 97%, по Zn^{2+} — 89 — 99 и 97 — 99,5%, по Cu^{2+} — 97 — 99 и 99,6 — 99,9% соответственно. Качество доочищенных сточных вод от ионов тяжелых металлов с помощью природных сорбентов соответствует требованиям, предъявляемым к водным объектам хозяйственно-бытового назначения. При выборе сорбента следует руководствоваться только экономическими соображениями (стоимость, удаленность и разработанность месторождения, транспортные расходы).

Исследования по использованию природных ионообменных сорбентов в качестве фильтрующего материала были продолжены на пилотных моделях АФФ. Фильтрующий материал в виде клиноптилолита и опоки использовался в качестве твердого субстрата (минеральная загрузка) АФФ. В качестве биозагрузки использовался тростник.

Результаты исследований экологической толерантности растений, произрастающих на загрязненных тяжелыми металлами ионообменных материалах, свидетельствуют, что допустимым условием их жизнедеятельности является твердый субстрат с загрязнениями, составляющими 50—70% от его статической обменной емкости.

Пилотная модель одноступенчатого аккумуляционного фитофильтра состояла из шести АФФ, представляющих собой полиэтиленовые ванны, снабженные распределительными подающими и дренажными, отводящими имитаты поверхностного стока трубопроводами, вкопанные в землю на полную глубину. Это обеспечивало постоянство температурного режима для корневой системы тростника, высаженного в твердый субстрат в виде природных сорбентов — клиноптилолита и опоки и их смеси (1:1). Фракционный состав сорбентов 1—3 мм. Кроме естественных дождевых осадков на каждый фитофильтр подавался имитат поверхностного стока с концентрацией поллютантов в пределах, мг/дм³: N — NH^*_4 — 3,5 — 5,5; P — PO^{3-}_4 — 0,3 — 1,1; K^+ — 8,8 — 31,5; $Fe_{общ}$ — 5.5 — 30,4; Zn^{2+} — 2,9 — 4,9; Cu^{2+} — 0,5 — 4,1; Pb^{2+} — 1,1 — 2,5; нефтепродукты — 15 — 30. Имитат поверхностного стока подавался в объеме 30 дм³ за фильтроцикл, что обеспечивало скорость фильтрации в пределах 0,3 м/ч. Количество фильтроциклов (2 раза в неделю) соответствовало среднемноголетнему количеству средних по продолжительности и интенсивности дождей, выпадающих в вегетационный период на территории г. Екатеринбурга.

Результаты двухлетних исследований работы одноступенчатой модели АФФ представлены в таблице 8. Полученные данные свидетельствуют, что степень очистки стока от биогенных элементов (БЭ) ниже, чем от ионов тяжелых металлов. Удаление азота аммонийного и фосфора наиболее эффективно идет на субстрате из опоки. Концентрация калия из имитата лучше снижается при фильтрации через субстрат из клиноптилолита.

Учитывая достаточно высокий норматив по калию даже для водоемов рыбохозяйственного назначения ($ПДК_{р.х.}$ 50 мг/дм³), это его преимущество перед опокой не имеет особого значения. Следует также отметить, что, несмотря на достаточно высокую эффективность извлечения ионов тяжелых металлов (89,3—98,8%) на АФФ, их остаточная концентрация значительно превышает предельно допустимую концентрацию не только для водных объектов рыбохозяйственного, но и хозяйственно-бытового (питьевого) назначения.

С целью повышения качества очистки воды дальнейшие исследования были продолжены на двухступенчатой пилотной установке АФФ. Результаты годовых испытаний показали ее преимущество перед одноступенчатой моделью аккумуляционного фитофильтра. Качество стока по всем исследованным ингредиентам соответствовало $ПДК_{х.б.}$, а по свинцу — и $ПДК_{р.х.}$. Вторая ступень дополнительно снимает около 10% азота аммония, а ее эффективность по отношению к первой ступени составляет 30—40%. Эффективность второй ступени по отношению к первой при очистке от тяжелых металлов и нефтепродуктов составила 30—85 и 70—95% соответственно.

Изучение биорегенерационного эффекта позволило установить, что аммонийный азот, который аккумулируется АФФ, усваивается полностью. Это, в свою очередь, увеличивает рабочую обменную емкость сорбентов для очистки стоков от тяжелых металлов.

Таблица 8 — Эффективность работы одноступенчатых АФФ

Вариант минеральной загрузки — твердый субстрат		Средняя концентрация, мг/дм³ Средняя концентрация в фильтрате, мг/дм³ Средний процент очистки						$pH_{исх}$ $pH_{филтр}$
		$N\text{-}NH^{+}4$	$P\text{-}PO_3^{+}4$	K^{+}	$Fe_{общ}$	Zn^{2+}	Cu^{2+}	
Клиноптилолит	$К_1$	5,05 1,36 73,1	0,86 0,59 31,4	26,0 9,48 63,5	22,85 2,45 89,3	2,383 0,026 98,8	1,330 0,070 94,7	6,5 6,8
	$К_2$	5,05 1,29 74,4	0,86 0,44 48,8	26,0 9,82 62,2	22,85 1,78 92,2	2,383 0,028 98,8	1,330 0,057 95,0	6,5 6,8
Опока	$О_1$	5,02 0,92 81,7	0,80 0,115 85,6	26,0 12,84 50,6	23,7 0,733 96,8	2,388 0,039 98,6	1,146 0,024 97,9	6,5 6,7
	$О_2$	5,02 0,90 82,1	0,80 0,093 88,4	26,0 12,33 52,6	23,17 2,02 91,3	2,388 0,044 98,2	1,146 0,020 98,3	6,5 6,7
Смесь	$С_1$	5,04 1,06 79,0	0,82 0,216 73,7	25,56 9,77 61,8	23,09 1,95 91,6	2,391 0,071 97,0	1,127 0,030 97,3	6,5 6,7
	$С_2$	5,04 1,30 74,2	0,82 0,27 67,1	25,56 9,36 63,4	23,09 1,23 94,7	2,391 0,046 98,1	1,127 0,101 91,0	6,5 6,7
$ПДК_{р.х.}$, мг/дм³		0,39	0,2	50	0,1	0,01	1,0	6,5 — 8,5
$ПДК_{х.б.}$, мг/дм³		1,0	-	-	0,5	1,0	1,0	6,5 — 8,5

Согласно данным исследования, наилучшие показатели качества очищенной воды достигаются в вариантах с биозагрузкой. Остаточная концентрация поллютантов в последних в 1,5—5,0 раз меньше, чем в вариантах без ВВР.

Следует отметить, что тяжелые металлы в естественных условиях проведения экспериментов достаточно сильно удерживались сорбентами и слабо десорбировались тростником. На это указывает низкое содержание тяжелых металлов (железа, меди, цинка, свинца) в зеленой массе и корнях тростника. Химическая регенерация сорбентов подтверждает сохранение в них основной массы тяжелых металлов, задержанных при очистке имитатов поверхностного стока.

В настоящее время проводятся исследования по интенсификации десорбции ионов тяжелых металлов с природных сорбентов и их регенерации с помощью высшей водной растительности.

Таблица 9 — Сравнение вариантов водоохранных сооружений

Показатели	Биопруд	Ботаническая площадка	Аккумуляционный фитофильтр
Производительность за сезон, м³	50000	50000	50000
Площадь сооружения, м²	23000	54000	700
Удельные капитальные затраты на очистку, руб./м³	42,5	51,9	15,2

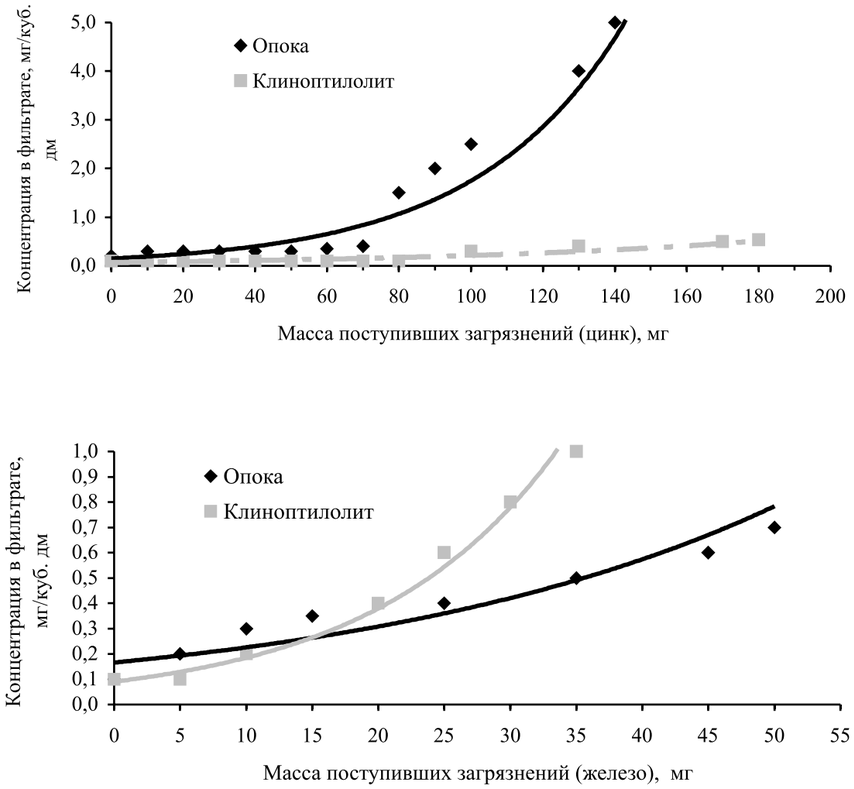


Рисунок 1 — Динамика качества фильтрата в зависимости от массы поступивших на сорбент загрязнений

Выполненная по методике Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды (1990 г.) оценка предотвращенного ущерба, наносимого водным объектам загрязненными стоками с селитебных территорий, показала, что при очистке дождевых и талых вод с использованием АФФ общий предотвращенный экологический ущерб составит 17500 руб./га.

Технико-экономическая оценка эффективности АФФ в сравнении с другими сооружениями биоочистки поверхностного стока представлена в таблице 9.

В заключение следует отметить:

— Россия, несмотря на значительные запасы водных ресурсов, испытывает трудности в обеспечении населения и народного хозяйства водой в необходимом количестве. Качество большинства рек не соответствует санитарно-гигиеническим и экологическим требованиям, предъявляемым к водоисточникам санитарными нормативами и водным законодательством;

— качество водных ресурсов во многом определяется состоянием водосбора и решением проблемы глубокой очистки поверхностного стока, концентрирующего в себе поллютанты техногенного происхождения;

— предлагаемые авторами концепция защиты водоисточников от загрязнения поверхностным стоком и конструкция очистного сооружения, ее реализация в виде аккумуляционного фитофильтра (АФФ) наиболее соответствуют специфике образования талого и дождевого стока;

— выполненные исследования по очистке сточных вод на АФФ с использованием в качестве фильтрующей загрузки природных ионообменных сорбентов (клиноптилолита и опоки), а биозагрузки — тростника, показывают их эффективность и перспективность в решении проблемы защиты водных объектов от загрязнения талым и дождевым стоком с селитебных территорий.

Литература

1. Черняев А.М., Прохорова Н.Б. Водные ресурсы, их использование и охрана. — Екатеринбург: Изд-во РосНИИВХ, 2002. — 300 с.

2. Беляев С.Д., Прохорова Н.Б., Черняев А.М. Государственная водная политика: цель, основные направления реализации и принципы // Водное хозяйство. — 1999. — № 1. — С. 3 — 13.

3. Молоков М.В., Шифрин В.Н. Очистка поверхностного стока с территорий городов и промышленных площадок. — М.: Стройиздат, 1977. — 100 с.

4. Дикерский В.С., Курганов А.М., Нечаев А.П. Отведение и очистка поверхностных сточных вод. — Л.: Стройиздат, 1990. — 250 с.

5. Водохозяйственное обустройство рек бассейна Оби в границах Свердловской области с целью устранения негативных экологических и социально-экономических последствий наводнений, маловодья и хозяйственного освоения территории (КЦП «Обь»): Отчет о НИР /РосНИИВХ; руководитель А.М. Черняев. — Екатеринбург, 1997. — 300 с.

6. Информационный отчет о результатах геолого-экологического картирования Свердловского промышленного узла масштаба 1:50000 за период 1991 — 1996 гг. Геохимические исследования снегового покрова на территории Свердловского промузла. Результаты химического анализа снеговых вод. Книга 2. Текст. Отчет о НИР/ Отв. исполнитель Широков Г.П. — Екатеринбург, 1996. — 151 с.

7. Колоярцев В.А. К вопросу о загрязнении поверхностного стока на территории промышленных предприятий // Проектирование водоснабжения и канализации. (Отечественный опыт): Реферативная информация. — М., 1978. — Сер. XX. — Вып. 8. — С. 122.

8. Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я. Цветение воды и эвтрофирование. — Киев: Наукова думка, 1978. — 24 с.

9. Эдвин У., Герлдрайх. Загрязнение воды кишечной патогенной микрофлорой // Микробиология загрязненных вод. — М.: Медицина, 1976. — 175 с.

10. Разработка методических рекомендаций по защите водных объектов от загрязнения талым и дождевым стоком с селитебных территорий: Отчет о НИР / РосНИИВХ; руководитель Асонов А.М. — Екатеринбург, 2001. — 78 с.

11. Попов А.Н. Прогноз и регулирование качества поверхностных вод (на примере Урала): Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — Екатеринбург, 1995. — 40 с.

12. Бондаренко В.В. Охрана водных объектов от загрязнения сточными водами и рассредоточенным стоком с помощью биоинженерных систем: Автореф. дис. ...д-ра техн. наук. — Екатеринбург, 2000. — 38 с.

13. Патент РФ. Фитофильтр для очистки сточных вод/ Асонов А.М., Ильясов О.Р. № 2149836 от 21.10.1988 г. Бюл. № 15 от 27.05. 2000 г.

14. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. — М.: Мир, 1976. — 784 с.

15. Тарасевич Ю.И. Природные сорбенты в процессах очистки воды. — Киев: Наукова думка, 1981. — 205 с.

Яровой Ю.И.

СТРАТЕГИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТНОМ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В ПРОЕКТЕ ГЕНЕРАЛЬНОГО ПЛАНА Г. ЕКАТЕРИНБУРГА



Яровой Юрий Иванович,
д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Механика деформируемого твердого тела, основания и фундаменты» УрГУПС,
член Российского и международного общества по механике грунтов и геотехническому строительству (РОМГГиФ, ISSMGE), председатель Уральского отделения Тоннельной ассоциации России (ТАР)

В полуторамиллионном городе в настоящее время остро стоят проблемы транспортных и инженерных коммуникаций, одним из путей решения которых может быть широкомасштабное освоение подземного пространства (ОПП). В 2003 г. автор в составе творческого коллектива Уральского отделения Тоннельной ассоциации России принимал участие в разработке раздела «Схема комплексного освоения подземного пространства в проекте Генерального плана МО г. Екатеринбург до 2025 г.» [1].

В этом документе подземные сооружения (транспортные и коммуникационные тоннели, метрополитены, гаражи, парковки и т.п.) рассматриваются как система объектов комплексного, многофункционального назначения. В целях рационального использования земельных ресурсов предлагается организовать подземную застройку по многоярусному принципу на глубину до 50 м, что соответствует тенденции развития крупнейших городов мира [2].

Подземное строительство связано с внедрением в природную геологическую среду и нарушением ее равновесия. Реакция среды — горное давление на конструкции сооружения и угроза затопления его подземными водами. В период производства горнопроходческих работ возникают процессы образования мульды сдвижения (обусловлены упруго-пластическим деформированием контура незакрепленной выработки при экскавации породы, аналог — подработка территории при добыче полезных ископаемых) и депрессии (оседание поверхности за счет устранения взвешивающего действия воды в пределах депрессионной воронки, а также суффозионных явлений) [3].

Экологическая безопасность освоения подземного пространства и снижение техногенной нагрузки на природные геосистемы при пользовании недрами регламентируется законами Российской Федерации. Под экологией (от греческого oikos — дом, жилище, место пребывания) в данном случае понимается сохранение и защита существующей городской застройки и инфраструктуры от неблагоприятных геотехнических процессов. При освоении подземного пространства безопасность в значительной степени обусловлена гидрогеомеханическими характеристиками массива горных пород, параметрами системы «строящееся подземное сооружение — массив — соседние сооружения» и строительными технологиями.

Особое внимание должно уделяться проведению высококачественных инженерно-геологических изысканий. Обязателен гидрогеомеханический анализ и прогноз влияния подземного строительства на существующую городскую инфраструктуру и наоборот (в зависимости от очередности возведения), разработка и реализация защитных мероприятий в случае необходимости. Знание природных условий в месте сооружения подземного объекта, их учет при проектировании и выборе технологии строительства, принятие решений, обеспечивающих устойчивость и водонепроницаемость обделок подземных сооружений, прогноз деформаций земной поверхности и защита городской инфраструктуры при проведении строительных работ являются важнейшими условиями промышленной и экологической безопасности возведения подземного объекта.

Особенности природных условий изучались с использованием геологической карты г. Свердловска М 1:10000 (авторы Б.И. Кузнецов, Н.А. Севергина

и др., 1963—1968 гг.); схемы инженерно-геологических и гидрогеологических условий на базе государственной геологической карты М 1:20000 (лист 0-41 XXV Екатеринбург, 1998 г.); схемы сейсмического районирования МО г. Екатеринбург [4]; базы данных, созданной по материалам инженерных изысканий и результатам проходки тоннелей I очереди строительства метрополитена [3].

Город Екатеринбург расположен в наиболее пониженной части Среднего Урала, в 15 км от водораздела. Рельеф района среднехолмистый эрозионно-денудационный. Вытянутость холмов определяется общим субмеридиональным простиранием пород и тектонических структур, контурами массива ультраосновных пород. Естественный рельеф в значительной степени изменен строительной планировкой.

Абсолютные отметки поверхности, например, по трассам метрополитена в направлении север-юг имеют перепад 44 м, запад—восток 20 м. Главной гидрографической единицей является река Исеть, долина которой простирается по средней части города с северо-запада на юго-восток. Река Исеть имеет мелкие притоки: Ольховку, Мельковку, Основинку, Монастырку, Черемшанку, а также ряд безымянных ручьев. Все они в настоящее время на большей части их протяжения взяты в трубы и находятся под слоем насыпных грунтов.

В геологическом строении города принимают участие разнообразные, в значительной степени метаморфизованные, палеозойские осадочно-вулканогенные образования, древняя (мезозойская) кора выветривания, четвертичные породы и жильные образования. Характерно наличие двух структурных этажей: нижнего и верхнего. Нижний этаж представлен литифицированными и метаморфизованными осадочными и вулканно-осадочными образованиями, интрузивными и эффузивными магматическими породами.

Самое широкое распространение имеют силурийские отложения (третий период палеозойской эры — 330—400 лет назад), представленные разнообразными по минералогическому составу порфиритами, туфами и диабазами, кристаллическими сланцами. В невыветрелом состоянии упомянутые коренные породы в соответствии с ГОСТ 25100-95 [5] относятся к скальным грунтам прочным и средней прочности. Толща сложена в складки при широком развитии разрывных нарушений: разломов, трещин, сланцеватости и кливажа.

Кровля нижнего этажа характеризуется большой изменчивостью с образованием карманов выветривания глубиной до 70 м и гребней, выходящих иногда на поверхность. Верхний этаж представлен горизонтами коры выветривания (элювиальные грунты), делювиальными, аллювиальными и озерно-болотными отложениями (слабые грунты). Прочностные и деформационные характеристики контактирующих скальных пород и дисперсных грунтов, заполняющих карманы выветривания и разломы, разнятся между собой на порядок и более.

Особенности геологического строения местности обусловливают различное распространение и морфологию остаточной коры выветривания. В связи с этим в структуре коры выветривания по характеру распространения слоев различной выветрелости выделяются площадная, линейная и сложные структуры [6]. Площадная структура характеризуется относительно небольшой мощностью выветренной зоны, приурочена к однородным магматическим и осадочным породам с четко выраженной изометричностью в плане и вертикальной зональностью слоев с различными физико-механическими свойствами. Как правило, с ростом глубины от поверхности увеличиваются прочностные и деформационные свойства дисперсных грунтов, а также количество крупнообломочных включений сверху вниз. При линейной структуре образуются узкие клинообразные формы тел продуктов выветривания, развивающиеся на большую глубину вдоль контактов пород. Сложные структуры, сочетающие признаки линейной и площадных структур, приурочены к местам больших тектонических нарушений в однородных массивах с наличием вертикальной и горизонтальной зональности. Отличительная особенность сложных структур — пилообразный вид инженерно-геологического разреза из-за частой смены выветрелых и невыветрелых грунтов на небольших расстояниях. На рисунке 1 показан типичный инженерно-геологический разрез на одном из участков перегонных тоннелей Екатеринбургского метрополитена (номера пикетов условные), относящийся к линейно-трещиноватой структуре.

Как показал опыт проходки тоннелей и станций I очереди строительства метрополитена, при расположении подземной выработки в прочных скальных грунтах влияние мульды сдвижения на поверхности практически не ощущается. При пересечении тоннелями карманов выветривания возможно образование вокруг выработок областей предельного равновесия, развитие на поверхности в мульде сдвижения и депрессии значительных по абсолютной величине осадок. В наиболее неблагоприятных условиях с точки зрения развития деформаций оказываются здания и сооружения сложной в плане формы (Г, Н и П -образные), расположенные вблизи контакта. Участки с линейной и сложной структурой коры выветривания наиболее опасны при формировании мульды сдвижения и депрессии, т.к. основанием фундаментов противоположных углов здания могут служить, например, скала и суглинок. В этом случае даже при небольших абсолютных величинах осадок фундаментов здания возможны недопустимые величины относительных осадок, что приводит к появлению трещин в стенах и т.п.

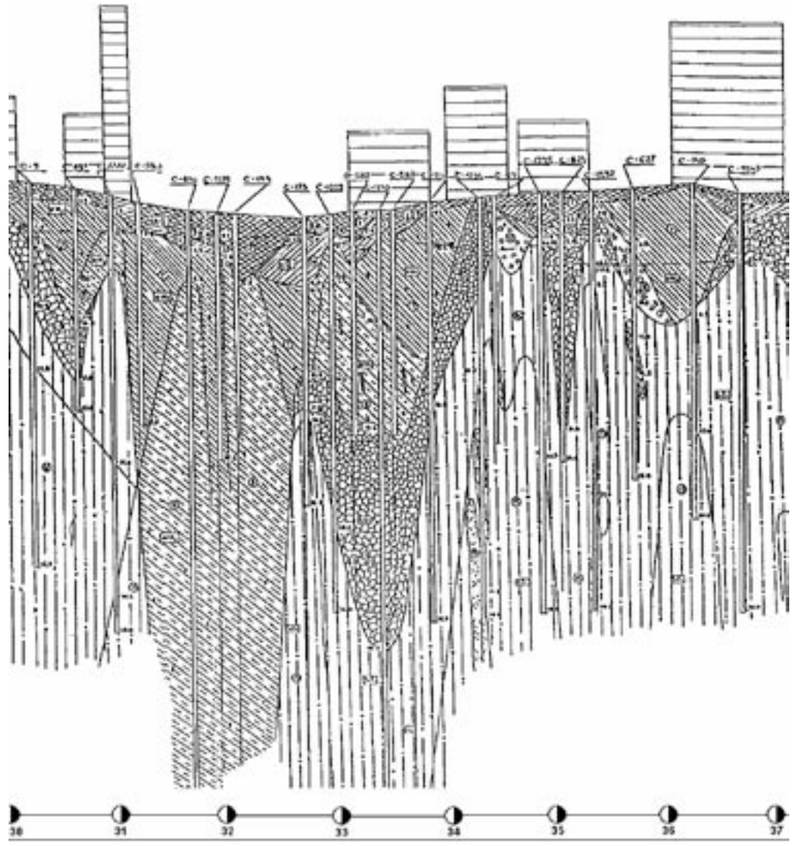


Рисунок 1 — Инженерно-геологический разрез участка перегонного тоннеля Екатеринбургского метрополитена

Гидрогеологические условия города определяются развитием трещинно-грунтового водоносного горизонта в коренных породах. Почти повсеместно выделяются два уровня подземных вод: верхний — на глубине 3—5 м от дневной поверхности — приурочен к рыхлым четвертичным отложениям и элювию, залегает на слабофильтрующих прослоях; основной водоносный горизонт располагается в трещинной зоне скальных пород. Оба горизонта гидравлически связаны между собой. Трещинные воды, как правило, имеют ненапорный характер, получают питание за счет инфильтрации атмосферных осадков и утечек из подземных водонесущих коммуникаций. Глубина залегания трещинно-грунтового горизонта подземных вод зависит от высотного положения участков: обычно на глубине 3—10 м, с увеличением до 15—20 м на наиболее возвышенных местах. Форма движения подземных вод — сложно построенный грунтовый поток со значительными вариантами градиентов и направлений. Общее направление движения — к долине р. Исети.

Основной особенностью трещинного водоносного горизонта является его весьма высокая неоднородность по водопроницаемости и анизотропия фильтрационных свойств. Например, коэффициенты фильтрации изменяются от сотых и тысячных долей до 10—20 м/сут; на вскрываемых опытными скважинами 15—30-метровых интервалах водовмещающих пород фильтруют лишь отдельные участки длиной 1—9 м при числе фильтрующих участков в скважине 2—3; отношение радиусов

влияния меридионального и широтного направлений в депрессионной воронке составляет 1,5—3. Такие коэффициенты анизотропии фильтрации в плане обусловлены субмеридиональной трещиноватостью коренных пород и соответствуют фильтрационной стратификации верхних горизонтов скальных массивов [7].

Известно, что мощность трещинно-грунтового горизонта в районе г. Екатеринбурга редко превышает 70 м, она должна уточняться по результатам изысканий для каждого выделенного участка подземного строительства. В целом территорию города можно рассматривать как подтопленную. Этому способствуют утечки из городских водонесущих коммуникаций. На всем протяжении трассы первой очереди строительства метрополитена действует водоотлив, а при больших водопритоках в подземные выработки осуществляется предварительное строительное водопонижение с помощью глубоких скважин. Длительная работа систем водопонижения и водоотлива вызывает развитие суффозионных процессов в пылевато-глинистых грунтах. Например, длительная (в течение более 5 лет) инфильтрация воды в выработку левого перегонного тоннеля на участке между ул. Большакова—Щорса (по экономическим причинам проходческие работы прекращены, гидроизоляция в полном объеме не выполнена, произведена сухая консервация тоннеля) вызвала развитие суффозионных процессов в пылевато-глинистых грунтах, о чем свидетельствует характер деформаций зданий в этом районе.

Опыт строительства первой очереди метрополитена показал, что наибольшие деформации земной поверхности как вследствие сдвижения пород, так и водопонижения, наблюдались именно вблизи мест пересечения тоннелями вышеупомянутых малых рек, протекающих, как правило, в местах разрывных нарушений в земной коре.

По степени сейсмоопасности территория г. Екатеринбурга является сейсмоопасным участком земной поверхности, где возможны землетрясения и сейсмические воздействия силой 6—7 и более 7 баллов [4]. Это обстоятельство обязательно должно учитываться при проектировании и строительстве объектов освоения подземного пространства в соответствии с требованиями СНиП II-7-81* [7].

ПРОГНОЗНЫЕ РАСЧЕТЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ЗДАНИЙ ПРИ ОСВОЕНИИ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Методика прогнозных расчетов, кроме использования общих положений гидрогеомеханики и построения соответствующих расчетных схем, имеет ярко выраженный региональный характер вследствие особенностей природных и горно-технологических условий возведения подземного объекта. В настоящее время сложилось три основных направления в разработке методов прогнозных расчетов:

1 — эмпирический метод аналогий, использующий результаты инструментальных наблюдений за развитием мульды сдвижения и их статистическую обработку;

2 — аналитический, опирающийся на замкнутые решения краевых задач механики грунтов и горных пород;

3 — численные, построенные на структурном анализе и численных решениях механики сплошных сред.

Каждое из этих направлений имеет рациональную область применения в зависимости от особенностей природных условий, степени их изученности, глубины заложения подземного сооружения и технологии его возведения, нагрузки на поверхности и т.п. Учет влияния глубокого водопонижения на изменение напряженно-деформированного состояния (НДС) массива, деформации земной поверхности и зданий, особенно в условиях неоднородного геолого-литологического строения толщи, значительно усложняет задачу, зачастую переходящую в самостоятельную проблему.

В методике прогнозных расчетов, разработанной в НИЛ «Геотехника» УрГУПС под руководством автора, с целью прогнозирования деформаций в зоне строительства метрополитена в Екатеринбурге используется метод сопряжений аналитических и численных решений [9]. На первом этапе с помощью аналитических решений ряда гидрогеомеханических задач, граничные условия которых учитывают перечисленные выше региональные особенности, устанавливаются границы и параметры мульды сдвижения и депрессии на большой площади (в пределах прогнозируемой депрессионной воронки). На втором — структурный анализ наиболее опасных мест с использованием метода конечных элементов (МКЭ), что позволяет сузить область конечно-элементной модели и рассмотреть совместную работу наземной конструкции и деформирующегося основания. Методика реализована в авторском пакете прикладных программ АРМ «Прогноз» [3]. Для конечно-элементного анализа НДС массива совместно с фундаментами существующих зданий используется лицензионный пакет «PLAXIS», версия 7.1. Рисунки 2—4 иллюстрируют существо расчетных схем и методик расчета. Такой подход позволяет преодолеть трудности, связанные с перечисленными выше сложными природными условиями. Учитывается технология производства работ. Например, применение буровзрывного или механического способа рыхления пород, предварительное строительное водопонижение или водоотлив из подземных выработок и их совместное действие, в том числе при анизотропии фильтрационных свойств грунтовой толщи. Достигается конечная цель всех прогнозных расчетов — оценить влияние подземных работ на конструкции существующих зданий и сооружений (с учетом особенностей устройства их фундаментов) и на элементы инфраструктуры (магистральные водо- и теплопроводы и т.п.), разработать соответствующие способы защиты. Практическое применение предложенных способов прогноза и разработка на их основе мероприятий по защите зданий и сооружений в Екатеринбурге и Челябинске показали свою достаточную эффективность.

Проведенные исследования, имеющийся опыт гидрогеомеханического анализа и разработки защитных мероприятий позволили сделать следующие выводы и рекомендации для обеспечения экологической безопасности при широкомасштабном освоении подземного пространства, предусматриваемом Генеральным планом развития города.

1. В целом природные условия г. Екатеринбурга, влияющие на способы освоения подземного пространства, оцениваются как весьма сложные, что обусловлено наличием многочисленных тектонических нарушений земной коры и повсеместным распространением элювиальных грунтов. Неоднородность литологического строения толщи, значительные водопритоки в горные выработки и котлованы для подземных сооружений предопределяют выбор способов ведения горнопроходческих и строительных работ. Однако сложность природных условий хотя и затрудняет, но не исключает возможность освоения подземного пространства на всей территории города.

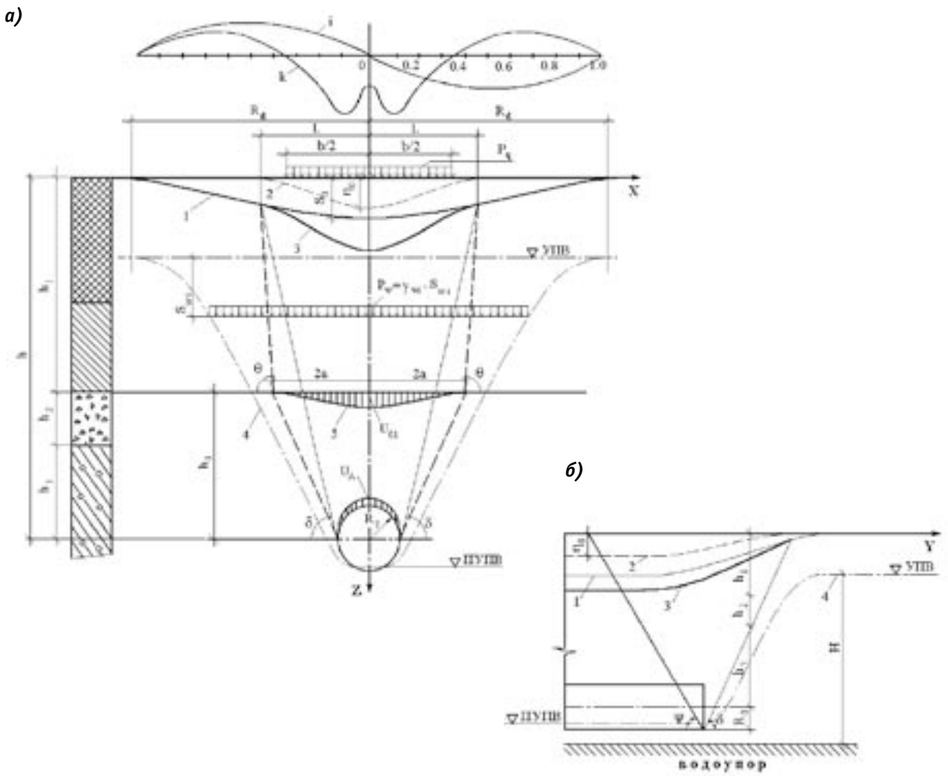


Рисунок 2 — Схема развития оседания и деформаций земной поверхности (а) — развитие мульды в главном поперечном сечении; (б)— развитие мульды в главном продольном сечении:
1 — мульда депрессии; 2 — мульда сдвижения; 3 — мульда суммарных перемещений; 4 — кривая депрессии; 5 — «граница упругой лунки». ПУПВ — пониженный уровень подземных вод; h — осадки; i— наклоны; K — кривизна; P_q — поверхностная нагрузка от фундаментов зданий и сооружений; P_w — дополнительное бытовое давление, возникающее на сниженном горизонте подземных вод, при падении его в i-й точке на величину S_{wi}; γ_w — удельный вес воды.

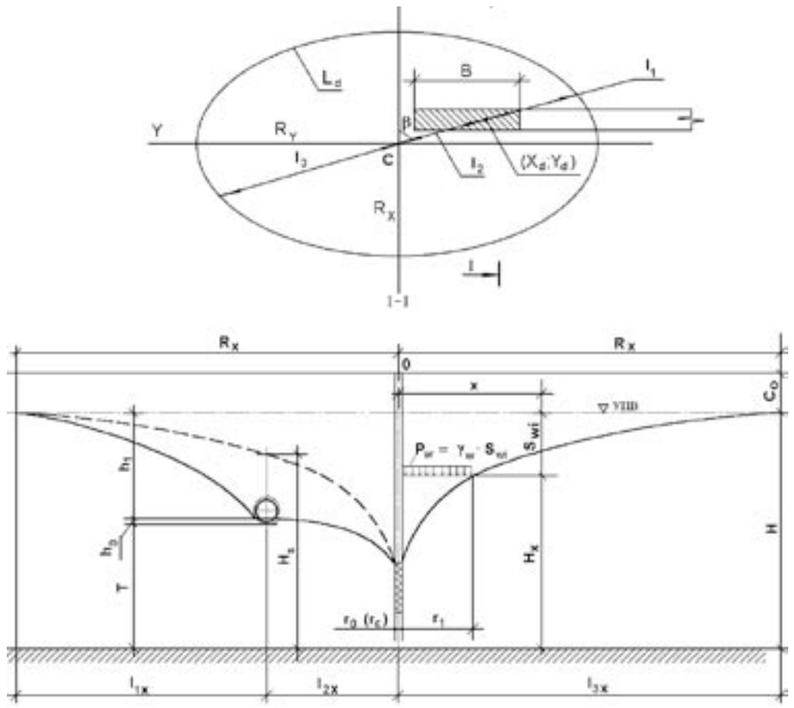


Рисунок 3 — Схема депрессионной воронки при совместном действии строительного водопонижения и дренажа

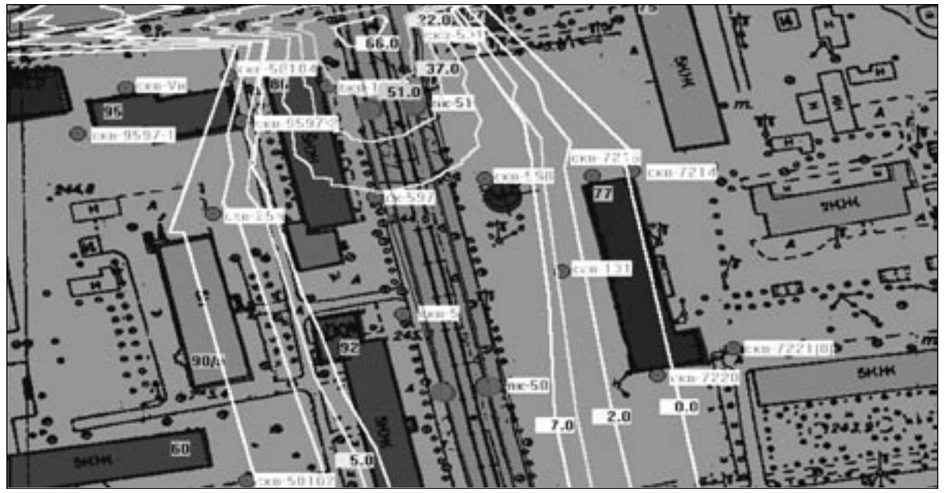


Рисунок 4 — План изолиний осадок в районе II пускового участка строящегося метрополитена в г. Екатеринбурге

2. Наиболее сложными с точки зрения влияния подземного строительства на окружающую городскую застройку являются участок от ул. Щорса до ул. Декабристов, центральная часть города от ул. Декабристов до правого берега городского пруда и от пер. Красный до ул. Челюскинцев. Весьма сложен узел сочленения улиц Ясной, Посадской, Московской. Здесь располагается болотистая низина, существовало озерко — исток р. Монастырки. Улица Большакова проложена в долине этой реки, представляющей собой субширотную флексурно-разрывную зону [4].

3. Имеющийся опыт освоения подземного пространства, в первую очередь перегонных тоннелей и станций метрополитена, показал, что примерно 75% всех деформаций зданий и сооружений, произошедших вблизи трассы, вызваны образованием мульды депрессии при строительном водопонижении и водоотливе из горных выработок. Процессы сдвижения горных пород наиболее ощутимы при проходке тоннелем контактных зон скальных и дисперсных пород. Динамические воздействия на конструкции зданий при производстве буро-взрывных работ на небольшой глубине, например, при проходке экскалаторных тоннелей служат дополнительным отрицательным фактором влияния, особенно на здания, уже претерпевшие деформации и потерявшие целостность по другим причинам.

4. Сохранность зданий и сооружений, элементы городской инфраструктуры на поверхности при освоении подземного пространства на застроенной территории может быть обеспечена при выполнении специальных планировочных, горно-технологических или конструктивных мероприятий, которые должны быть разработаны в проекте подземного сооружения на основании прогнозного расчета и реализованы до или в процессе его строительства.

5. Прогнозные расчеты деформаций земной поверхности и зданий в зоне освоения подземного пространства являются частью инженерных изысканий и должны выполняться в две стадии: к ТЭО и рабочему проекту.

6. Имеющиеся технические решения позволяют осуществить защиту зданий с достаточной степенью надежности. Однако при дальнейшем развитии подземного строительства на территории г. Екатеринбурга необходимо ориентироваться на применение современной горнопроходческой техники и технологий мирового уровня. Сюда относится: проходка тоннелей глубокого и мелкого заложений механизированными проходческими комплексами (ТПМК) с гидропригрузом; автоматизированные комплексы для бурения шпуров и установки крепи в забоях; применение новых типов обделок из сборного и монолитного высокомарочного железобетона; новых гидроизоляционных материалов и способов гидроизоляции.

7. Предварительное строительное водопонижение как один из специальных методов производства горнопроходческих работ должно быть сведено к минимуму за счет применения других способов водоподавления, например, устройства противофильтрационных завес и своевременной гидроизоляции подземных сооружений с использованием современных материалов. Любое прогнозируемое понижение УПВ на глубину более 5 м, в том числе и при проектировании пристенных дренажей, должно оцениваться с точки зрения влияния на деформации земной поверхности и зданий.

Литература

1. Схема комплексного освоения подземного пространства в проекте Генерального плана МО «Город Екатеринбург» до 2025 года»: Раздел / Лыжина Н.В, Ляхов С.В., Пелевин Л.И., Половов Б.Д., Попов А.В., Яровой Ю.И. //Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений: Труды международной конф. 18-20 мая 2004. — Екатеринбург, 2004. — С. 31–36

2. Организация освоения подземного пространства. Свершения и надежды / Левченко А.Н., Лернер В.Г., Петренко Е.В., Петренко И.Е; Под ред. Е.В. Петренко. — М.: ТИМР, 2002.— 406 с.

3. Яровой Ю.И. Прогноз деформаций земной поверхности и защита городской застройки при строительстве метрополитенов на Урале / УрГАПС. — М.: ТИМР, 1999. — 258 с.

4. Схематическое сейсмическое районирование территории Екатеринбурга: Отчет о НИР. — № 01/066 Ек от 20/08/01 / УрГУПС, Уральский региональный центр экологической эпидемиологии / ГОУНПП «Уралсейсмонтр».— Екатеринбург, 2001. — 72 с.

5. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. — М.: Изд-во стандартов, 1996.— 31 с.

6. Швец В.Б. Элювиальные грунты как основания сооружений. — М.: Стройиздат, 1993. — 200 с

7. Тагильцев С.Н. Основы гидрогеологического анализа фильтрационной структуры скальных массивов: Автореф. дис. …д-ра техн. наук.— Екатеринбург, 2001.— 42 с.

8. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах.*

9. Яровой Ю.И. Метод сопряжения решений в прогнозных расчетах деформаций земной поверхности и зданий при освоении подземного пространства // Метро и тоннели. — 2002.— № 6. — С. 33–35.

Лапшин В.Ф.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СРОКА ЭКСПЛУАТАЦИИ ВАГОНОВ МЕТОДАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ



Лапшин Василий Федорович,
д.т.н., УрГУПС

Предложена методика имитационного моделирования при определении срока эксплуатации вагонов для перевозки коррозионно-активных грузов, рассмотрена реализация математической модели применительно к вагонам бункерного типа, используемым для перевозки минеральных удобрений.

Одной из главных задач развития вагонного хозяйства железных дорог является разработка и внедрение методов прогнозирования сроков службы вагонов, поиск путей повышения их эксплуатационной надежности. Решение этой задачи требует реализации комплекса вопросов, связанных с анализом технического состояния конструкций вагонов, их диагностики, а также теоретических исследований по прогнозу их ресурса. При перевозке коррозионно-активных грузов (кислот, минеральных удобрений и др.) вследствие коррозии элементов конструкций вагонов изменяется их напряженное состояние. В свою очередь, рост напряжений усиливает коррозию металла, что приводит к существенному снижению несущей способности, уменьшению эксплуатационной надежности и сокращению срока службы вагонов.

Анализ работ, посвященных исследованию конструкций вагонов, взаимодействующих с коррозионно-активными средами, показал, что основным подходом при исследовании влияния коррозионных повреждений на напряженно-деформированное состояние (НДС) конструкций кузовов вагонов является уменьшение площади поперечного сечения элементов пропорционально величине коррозионного износа. Действующие нормативные методы расчетов на прочность и долговечность конструкций вагонов [1] не учитывают вида и уровня напряженного состояния, температуры, концентрации и агрессивности перевозимого груза, условий эксплуатации подвижного состава, конструктивных особенностей кузовов вагонов и многих других факторов, влияющих на скорость коррозии.

Задачи такого типа являются нелинейными и многопараметрическими, требуют построения расчетных моделей, учитывающих особенности взаимодействия с коррозионно-активной средой, нелинейное деформирование элементов конструкций, условие наступления предельного состояния, особенности конструктивного исполнения [2].

Одним из путей повышения эксплуатационной надежности вагонов является организация системы прочностного мониторинга вагонных конструкций. Основные положения концепции прочностного мониторинга рассмотрены в работе [3]. По аналогии с [3] под прочностным мониторингом будем понимать контроль и управление состоянием конструкции вагона (с позиций прочности) с целью обеспечения его эксплуатационной надежности в течение заданного срока службы. Рассмотрим общую схему имитационного моделирования сложной динамической системы, какой является вагон.

Для определения безопасного срока эксплуатации вагона в работе используется подход, позволяющий реализовать поблочное описание системы с объединением через численные данные, отображающие входные и выходные параметры частных моделей. Целесообразность разбиения сложной системы на блоки связана с тем, что частные модели системы описываются зачастую разнородными математическими зависимостями и не позволяют объединить в единую систему функциональные зависимости, описывающие различные физические явления.

Теоретическая основа имитационного моделирования — математическая модель поведения конструкций при взаимодействии с коррозионно-активными средами [2], базирующаяся на технологии конечно-элементного анализа и феноменологическом подходе описания кинетики разрушения материалов:

$$\begin{cases} [K(x,y)]\cdot\{u(x,y)\}=\{Q(x,y)\} \\ \dfrac{dY_i}{dt}=y_i(t,x) \\ S=H(A(t,p),B(t)) \end{cases}, \qquad (1)$$

где x = {C, T, P, σ, p, S,...} — вектор, отражающий условия взаимодействия элементов конструкции с перевозимыми грузами;

p — функция, определяющая вид перевозимого груза;

Y = {L, Φ_k, R,...} — вектор, отражающий состав обобщенной модели и учитываемых факторов;

C, T, P — параметры перевозимого груза, соответственно концентрация, температура и давление агрессивного груза;

σ — напряжения в элементах конструкции вагона, возникающие от эксплуатационных нагрузок;

Φ_k — функция, определяющая характер взаимодействия элементов конструкции с перевозимым грузом. В зависимости от характера взаимодействия конструкции с коррозионно-активной средой может быть использована модель коррозионного износа или модель накопления коррозионной поврежденности. В качестве структурных параметров Φ_k могут приниматься: глубина коррозионного износа, параметр поврежденности;

L — функция снижения защитных свойств покрытий с течением времени;

R — функция, определяющая условие наступления предельного состояния;

S — функция (профиль) жизненного цикла, отражающая режимы эксплуатации вагона и изменения в конструкции вагона, вызванные эксплуатационными нагрузками и проведением плановых и текущих видов ремонта;

H — оператор выбора режима эксплуатации;

$A(t, p)$ — вектор режимов эксплуатации вагона. Из-за естественного разброса свойств вагонов и различных условий их эксплуатации показатели прочности лежат в широких пределах. Поэтому для учета особенностей эксплуатации вагонов и их интенсивности в общую математическую модель вводится функция жизненного цикла. Анализ процессов эксплуатации вагона показывает, что эти процессы представляют собой упорядоченную во времени последовательность типовых режимов эксплуатации. В одних режимах это изменение является целенаправленным, в других зависит от условий эксплуатации;

$B(t)$ — вектор, отражающий изменения в конструкции, вызванные действием эксплуатационных нагрузок и проведением плановых и текущих видов ремонта.

Рассмотрим реализацию предложенной модели применительно к вагонам бункерного типа, используемым для перевозки минеральных удобрений.

Общая математическая модель для этого случая в операторной форме может быть представлена совокупностью разрешающих уравнений метода конечных элементов (МКЭ) (2), уравнения коррозионного износа (3), уравнения, описывающего кинетику изменения мгновенной прочности (4), уравнения снижения защитных свойств покрытий (5):

$$[K]_{\Delta t}\{u\}=\{Q\}_{\Delta q}, \qquad (2)$$

$$\begin{cases} \dfrac{d\delta}{dt}_{\Delta t}=f(C,T,\sigma,t) \\ \delta_{t=0}=0 \end{cases}, \qquad (3)$$

$$\begin{cases} \dfrac{dR}{dt}_{\Delta t}=f(C,T,\sigma,t) \\ \sigma_э \le R_{\Delta t} \end{cases}, \qquad (4)$$

$$\begin{cases} \dfrac{dD}{dt}_{\Delta t}=f(A_з(C,\sigma,T),t) \\ D_{t=0}=0; D_{t=t_u}=D_к \end{cases}, \qquad (5)$$

где $[K]$ — матрица жесткости;
$\{u\}$ — вектор возможных перемещений;
$\{Q\}$ — вектор приложенных к системе нагрузок;
R — мгновенная прочность;
Δt — шаг по времени;
Δq — шаг по нагрузке;
δ — величина коррозионного износа;
$\sigma_э$ — эквивалентное напряжение, определяемое по теории удельной потенциальной энергии формоизменения (гипотеза Губера — Мизеса — Генки);
$A_з(C, \sigma, T)$ — обобщенный показатель качества защитных покрытий;
D — показатель стойкости противокоррозионного покрытия, изменяется от 1 в момент времени t_0 до D_k при $t = t_u$, где t_u, — период, в течение которого сохраняются защитные свойства покрытия.

В общем случае кинетические уравнения (3), (4), (5) зависят от концентрации агрессивной среды C, температуры T, напряженного состояния элемента σ и срока эксплуатации вагона t. Явный вид этих уравнений определяется отдельно для каждой конкретной задачи, в зависимости от конструкции вагона и перевозимого груза.

При решении задач прочности конструктивные элементы представляются как физически нелинейные системы. Решение строится в нелинейно-упругой постановке на базе метода Ньютона — Рафсона, основанного на шаговой процедуре, с использованием полилинейной аппроксимации диаграмм деформирования материала.

Задача определения напряженно-деформированного состояния элементов в условиях коррозионного износа сводится к последовательному решению уравнений МКЭ (2). Методика расчета включает два этапа.

Первый этап — решение нелинейной задачи мгновенного деформирования с пошаговым нагружением конструкции величиной Δq. После достижения заданного уровня нагрузки осуществляется переход ко второму этапу — учету коррозионного износа.

На втором этапе задается шаг по времени Δt . По уравнению (3) для каждого элемента конструкции определяется величина коррозионного износа δ в течение времени Δt . Текущее значение остаточной толщины уменьшается на величину коррозионного износа, после чего повторяется решение нелинейной задачи мгновенного деформирования (этап 1) при новых жесткостных параметрах конструкции. Цикл расчетов повторяется до тех пор, пока выполняется условие прочности.

При оценке долговечности элементов конструкций, работающих под воздействием коррозионно-активных сред, в общем случае считается, что состояние любой точки конструкции оценивается мгновенной прочностью (4), равной напряжению, требующемуся для ее разрушения в данный момент времени. Долговечность элементов конструкций определяется следующим образом: на каждом шаге по времени Δt определяются эквивалентные напряжения во всех характеристических точках конечно-элементной конструкции (узлах конечных элементов). Время, по истечении которого хотя бы в одной из характеристических точек конечно-элементной модели конструкции выполняется условие (4), принимается за долговечность элемента конструкции.

Общая методика, описываемая операторными уравнениями (2), (3), (4), распространяется на конструкции, поверхности которых имеют непосредственный контакт с коррозионно-активной средой. При оценке долговечности конструкций с противокоррозионными защитными покрытиями в общую методику расчета дополнительно вводится математическая модель долговечности защитных покрытий в виде (5). В принятой модели считается, что под защитным слоем не возникает коррозионного изнашивания металла до времени, в течение которого сохраняются защитные свойства покрытия. В период работы защитного покрытия не происходит проникновения агрессивной среды в слой защитного материала.

Методика расчета долговечности элементов конструкций с противокоррозионными защитными покрытиями включает два этапа.

Первый этап: по уравнению (5) определяется степень понижения защитных свойств в течение времени. Цикл расчетов повторяется до тех пор, пока сохраняются защитные свойства покрытия. Долговечность противокоррозионного покрытия принимается равной времени сохранения защитных свойств.

Второй этап — решение задачи напряженного состояния элементов в условиях коррозионного изнашивания элементов конструкции путем последовательного решения разрешающих уравнений МКЭ (2) с учетом (3), (4).

Для оценки долговечности защитных покрытий может быть использована методика, учитывающая снижение защитных свойств покрытий через обобщенный показатель качества защитных покрытий [4]. Значение обобщенного показателя качества защитных покрытий находится из выражения

$$A_з = \sum_{i=1}^{n_ф} k_i a_i \ , \qquad (6)$$

где $n_ф$ — количество факторов, влияющих на долговечность покрытий;

a_i — относительная оценка степени разрушения в результате действия i-го фактора;

k_i — коэффициент весомости учитываемых i-х факторов.

Оценка адекватности и точности предлагаемой методики путем сравнения результатов численных решений МКЭ с результатами стендовых экспериментов и данными известных численных решений показала, что расхождение результатов теоретических и экспериментальных исследований составляет не более 13% [5].

На основе рассмотренной методики выполнена оценка срока эксплуатации вагона-минераловоза модели 11-740 без противокоррозионной защиты внутренних и наружных поверхностей. Для решения конечно-элементной задачи использован метод раздельной генерации сетки на поверхности геометрической модели с использованием восьмиузловых конечных элементов Серендипова типа [6] — с промежуточными узлами на сторонах конечного элемента (КЭ). Это позволило увеличить размеры КЭ при аппроксимации подкрепляющих элементов кузова, имеющих малые размеры стенок.

Функция коррозионного износа элементов конструкции вагона при перевозке минеральных удобрений была представлена в виде совокупности зависимостей вида $f = \delta(t)$.

Для каждого элемента определялись частные значения $\delta_i(t_0)$, $\delta_i(t_1)$, $\delta_i(t_2)$, …, $\delta_i(t_з)$ в моменты времени t_0, t_1, t_2, …, $t_з$ (где i — индекс, обозначающий текущий номер элемента в конструкции кузова; $t_з$ — срок эксплуатации вагона). В качестве частных функций коррозионного износа принимались однозначные зависимости износа элементов от времени, полученные по результатам обработки натурных обследований вагонов-минераловозов [7].

Такое представление функции коррозионного износа обусловлено тем, что в процессе эксплуатации вагоны-минераловозы используются для перевозки различных минеральных удобрений (фосфорных, калийных, азотных, комбинированных и т.д.), отличающихся химической активностью по отношению к металлу конструкции кузова. Кроме того, различные элементы конструкции кузова имеют разную интенсивность коррозионного изнашивания, обусловленную характером взаимодействия с агрессивной средой и воздействием эксплуатационных факторов.

При разработке конечно-элементной модели кузова за основу была принята пластинчатая идеализация элементов конструкции вагона-минераловоза. Использование пластинчатой модели кузова позволило учесть конструктивные особенности вагона бункерного типа, взаимное влияние кузова и рамы, конструктивные эксцентриситеты в зонах соединения элементов, эксцентричное присоединение обшивки к несущим элементам конструкции. При этом вводились следующие идеализации:

— не учитывалось скругление в зоне перехода от торцевой стены к боковым стенам;

— не учитывалось влияние загрузочных люков на общее напряженно-деформированное состояние;

— крышка разгрузочного люка заменялась сплошным листом с жесткостью, эквивалентной жесткости крышки реальной конструкции;

— давление груза на крышки разгрузочных бункеров груза передавалось на кузов в местах их шарнирного крепления к нижней обвязке;

— при построении крыши исключались скругления в зоне приварки среднего листа с крайними листами крыши.

Введение этих идеализаций позволило значительно повысить экономичность модели без ущерба для ее адекватности и точности проводимых расчетов. Геометрическая модель кузова вагона-минераловоза представлена на рисунке 1.

Для практической реализации алгоритма расчета прочности и долговечности вагона-минераловоза с учетом коррозионного износа элементов кузова были разработаны пакетные файлы обработки данных на языке параметрического моделирования APDL, реализующие пошаговое решение по времени задачи МКЭ.

Для качественной оценки влияния коррозионного износа на изменение напряженного состояния элементов конструкции вагона выполнен анализ распределения полей напряжений в моменты времени t = 0, 4, 8, 12 лет (рисунок 2).

Анализ расчетных данных прочности тонкостенных элементов показал, что максимальный уровень напряжений в листах обшивки наблюдается в местах приварки к несущим элементам каркаса кузова. Величина эквивалентных напряжений в этих зонах на 29 — 37% больше, чем в середине листов. Рост напряжений в листах обшивки у подкреплений (в зоне приварки к элементам каркаса), вызванный коррозионным изнашиванием, больше, чем в середине листов. За 12 лет эксплуатации уровень напряжений у стоек боковой стены увеличился на 41%, в то время как в середине пролетов обшивки — на 28%.

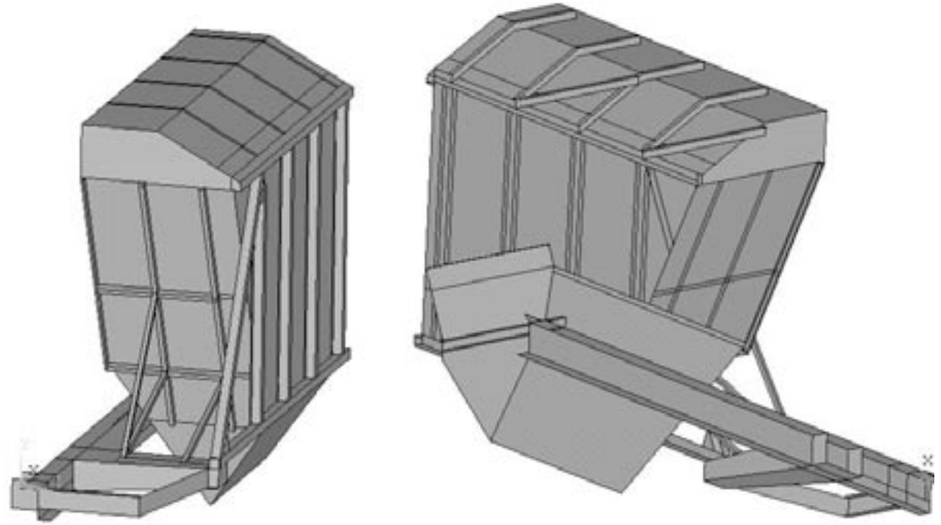


Рисунок 1 — Геометрическая модель кузова вагона-минераловоза

Расчетами показано, что срок эксплуатации тонкостенных элементов кузова вагона находится в диапазоне 8 — 12 лет. Наибольшее влияние коррозионный износ оказывает на нагруженность обшивки боковых стен в зоне приварки к стойкам и нижней обвязке. В этих элементах после 8 лет эксплуатации эквивалентные напряжения превышают предел текучести материала. Полученные результаты подтверждаются данными эксплуатационных испытаний [7]. Так, после 7 — 9 лет эксплуатации наблюдаются необратимые деформации листов обшивки, а после 11 — 12 лет при плановых видах ремонта вагона производят ее полную или частичную замену.

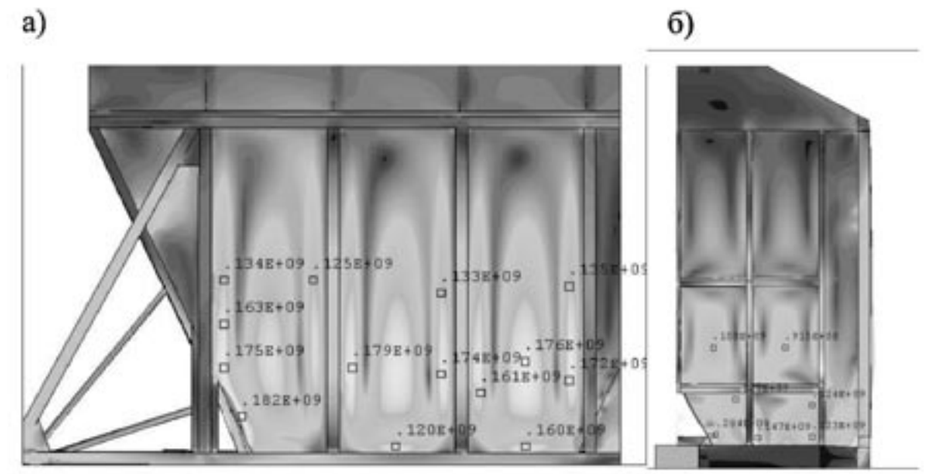


Рисунок 2 — Распределение полей эквивалентных напряжений в элементах кузова вагона-минераловоза: а — боковая стена; б — торцевая стена

Таблица 1 — Предельно допустимые значения толщины и сроков эксплуатации элементов кузова

Наименование элемента	Толщина, мм	Срок эксплуатации, лет
Обшивка боковых стен в зоне приварки к стойкам и нижней обвязке	2,4	8
Обшивка боковых стен в середине пролета	2,3	12
Обшивка торцевых стен	3,2	16
Лист крыши в зоне приварки к верхней обвязке	1,2	8
Стенки разгрузочных бункеров	3,3	10
Листы продольного и поперечного коньков	3,3	10

Полученные зависимости были использованы при оценке предельных значений толщин элементов кузова вагона в эксплуатации, которые определялись по кинетическим зависимостям роста напряжений до достижения условия прочности. Значения предельных толщин приведены в таблице 1.

Анализ табличных данных свидетельствует о том, что назначение плановых видов ремонта должно производиться исходя из технического состояния вагона, с заменой и ремонтом тонкостенных элементов.

Оценка прочностных свойств несущих элементов рамы кузова показала, что максимальные напряжения возникают в шкворневом узле рамы. Такое распределение напряжений объясняется конструктивным исполнением хребтовой балки, обусловленным созданием продольных коньков.

Численные данные свидетельствуют, что увеличение коррозионного износа на 20% приводит к росту эквивалентных напряжений на 18,5%. При уменьшении площади поперечного сечения хребтовой балки максимальные напряжения в зоне приварки шкворневой балки имеют локальный характер и составляют: по III расчетному режиму — 274 МПа; по I расчетному режиму — 309 МПа.

В результате проведенных исследований установлено, что несущая способность кузова вагона-минераловоза определяется состоянием тонкостенных элементов. По данным численных экспериментов разработаны рекомендации по совершенствованию кузовов вагонов-минераловозов [7]: увеличение толщины крайнего листа крыши, усиление дуг и поперечных стяжек, а также использование сменных (в процессе эксплуатации) элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы для расчета и проектирования новых и модернизированных вагонов железных дорог МПС 1520 мм (несамоходных). — М.: ВНИИЖТ-ВНИИВ, 1997. — 310 с.

2. Лапшин В.Ф. Математическая модель при расчете вагонных конструкций с коррозионными повреждениями // Совершенствование конструкции, технологии и организации ремонта и технического обслуживания вагонов: Межвуз. темат. сб. науч. тр. / Омский гос. ун-т путей сообщения. — Омск, 2000. — С. 104 — 108.

3. Лапшин В.Ф. Мониторинг остаточной прочности вагонных конструкций по коррозионно-механическим параметрам // Вестник Академии транспорта / Уральское межрегиональное отделение. — Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та. — 2001. — № 3 — 4. — Часть 2. — С. 225 — 228.

4. Лапшин В.Ф., Буткин М.Г. Прогнозирование долговечности противокоррозионных покрытий // Железнодорожный транспорт. — 2003. — № 1. — С. 48 — 49.

5. Бачурин Н.С., Буткин М.Г., Лапшин В.Ф., Смольянинов А.В. Математическая модель для оценки прочности и долговечности вагонов при перевозке коррозионно-активных грузов // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты: Тезисы докладов III Международной научно-технической конференции. — СПб., 2003. — С. 136–138.

6. Секулович М. Метод конечных элементов / Пер. с серб. Ю.Н. Зуева; Под ред. В.Ш. Барбакадзе. — М.: Стройиздат, 1993. — 664 с.

7. Лапшин В.Ф. Повышение эксплуатационной надежности вагонов-минераловозов // Железнодорожный транспорт. — 2002. — № 1. — С. 26–30.

Павлюков А.Э., Миронов А.А., Занкович А.В.

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ БЕСКОНТАКТНОГО ТЕПЛОВОГО КОНТРОЛЯ БУКС ПОДВИЖНОГО СОСТАВА



Павлюков Александр Эдуардович,
д. т. н., профессор кафедры «Вагоны» УрГУПС



Миронов Александр Анатольевич,
директор ЗАО «НПЦ Инфотэкс»



Занкович Александр Владленович,
ведущий инженер ФГУП ОКБ «Новатор»

Разработана модульная диагностическая модель теплового контроля буксовых узлов железнодорожных вагонов. Модель позволяет виртуально производить оценку уровня сигнала на приемнике инфракрасного излучения при различных внешних температурных условиях, скоростях движения вагона и других факторах.

При решении задачи безопасности движения поездов особое место отводится применению бесконтактных напольных систем тепловой диагностики букс в движущихся поездах. В настоящее время на сети дорог РФ находится в эксплуатации несколько разновидностей систем бесконтактного контроля состояния буксовых узлов на ходу состава. Некоторые из них отработали в эксплуатации длительное время и как морально, так и технически устарели. Возникает вопрос о модернизации этих систем или полной замене на другие устройства. Однако, при совершенствовании аппаратной части систем контроля нагрева букс до сих пор применяются отдельные принципы их контроля, разработанные еще для букс на подшипниках скольжения. Решение этих задач требует дополнительных исследований.

Выполненный краткий анализ теоретических работ показывает, что исследования в данной области проводились в основном для изучения отдельных свойств работы буксового узла, например: температурных режимов при стационарных или аварийных темпах нарастания температур с учетом различных граничных условий. Подчеркивая значимость выполненных теоретических и экспериментальных исследований, можно заключить, что разработке комплексной диагностической модели, которая позволяла бы производить оценку уровня сигнала на приемнике инфракрасного (ИК) излучения при различных внешних температурных условиях, скоростях движения вагона и других факторах, уделялось внимания недостаточно.

Основываясь на анализе теоретических и экспериментальных подходов к исследованию тепловых режимов буксовых узлов, на известных теоретических положениях, предлагается следующая структурная схема имитационной диагностической модели теплового контроля буксового узла (рисунок 1). Общая модель представляет совокупность модулей и подмодулей, связанных через выходные данные, являющихся внешними или граничными факторами для других модулей.

Далее рассмотрим процесс формирования моделей в каждом модуле.

Модуль 1. Для определения тепловыделения в работающем подшипнике воспользуемся зависимостью, полученной в [1]:

$$dQ = P_{б.} f_{np} \frac{D_n}{D_к} v_n d\tau \,, \qquad (1)$$

где $P_б$ — нагрузка на буксу; f_{np} — приведенный коэффициент трения; D_n — диаметр подшипника (диаметр центров роликов); $D_к$ — диаметр колеса; v_n — скорость движения поезда, м/с; d_τ — время работы подшипника, с.

Модуль 2. Для оценки тепловых процессов от источника тепла и распределения температурных полей в буксе использован метод конечных элементов (МКЭ).

Уравнение теплопереноса в частных производных, записанное в векторно-матричном виде, выразится следующим образом [2]:

$$\rho C\left(\frac{\partial T}{\partial t} + \{V\}^T \{L\} T\right) + \{L\}^T \{q\} = \{\ddot{q}\}, \qquad (2)$$

где ρ — плотность; C — теплоемкость; T — температура; t — время; $\{V\}$ — вектор скорости передачи тепла; $\{L\}$ — векторный оператор дифференцирования; $\{q\}$ — вектор теплового потока; $\{\ddot{q}\}$ — генерация тепла в единице объема.



Рисунок 1 — Схема имитационной диагностической модели теплового контроля буксового узла

Уравнение (2) в матричной форме, приведенное к методу конечных элементов, записывается следующим образом [2]:

$$[K]\{T\} + [C]\{\dot{T}\} = \{Q\}, \qquad (3)$$

где $[K]$ — матрица теплопроводности; $[C]$ — матрица удельных теплоемкостей; $\{T\}$ — узловые температуры; $\{\dot{T}\}$ — скорость изменения температуры; $\{Q\}$ — вектор узлового теплового потока.

Для аппроксимации геометрии буксового узла применительно к тепловому анализу был выбран объемный 10-узловой конечный элемент в виде тетраэдра (рисунок 2).

Выбор данного типа элемента обусловлен тем, что такая форма максимально достоверно аппроксимирует объемную геометрию исследуемого узла. Применительно к аналитической программной среде ANSYS, в которой разрабатывалась модель, общее количество элементов составило более 150000.

Для построения модели использовался следующий путь. В программном комплексе SolidWorks методом твердотельного моделирования разработана объемная геометрическая модель сборки буксового узла (рисунок 3) и передана в программный комплекс ANSYS. При этом элементы рамы тележки исключались с целью упрощения тепловых расчетов как не оказывающие существенного влияния на результат.

Для расчета в модели задаются свойства среды, плотность, теплопроводность, теплоемкость. Для задания свойств воздушной прослойки между крышкой и торцом оси и в других зазорах буксового узла использовался эквивалентный коэффициент теплопроводности в воздушных зазорах.

Теплоотдача при свободной конвекции в замкнутом ограниченном пространстве рассматривается как процесс передачи тепла путем теплопроводности [3]:

$$q = \lambda_{эк} \frac{\Delta t}{\delta} (Вт/м^2),$$

где $\lambda_{эк} = \varepsilon_к \times \lambda$, Вт/м·^{0}С, где λ — коэффициент теплопроводности воздуха (0,028) [3];

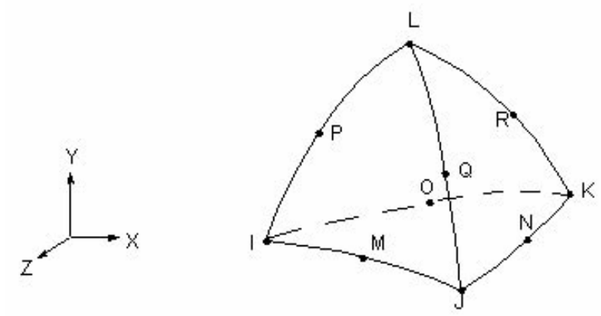


Рисунок 2 — Форма применяемого конечного элемента

$\Delta t = t_{ст1} - tc_{т2}$ = 25 ^{0}С — температура между одной стенкой и другой, разделенных воздушной средой (принято условное значение 25);

δ = 0,026 м — толщина прослойки, через которую проходит теплопередача.

В зависимости от величины ($Gr \times Pr$) коэффициент $\varepsilon_к$ имеет следующие значения:

($Gr \times Pr$)	<1000	(1-1000)10^3	10^8 — 10^{10}
$\varepsilon_к$	1	0,105 $(G_r \times P_r)$0,3	0,4 $(G_r \times P_r)$0,2

где $t = \frac{t_{ст1} + t_{ст2}}{2}$ — средняя температура воздуха в прослойке, принимаем 50 ^{0}С;

Pr — число Прандтля, согласно [3] принимается 0,7;

$Gr = \frac{g\delta^3}{\nu^2}\beta\lambda_{эк}$, критерий Грасофа, где g=9,81м/с^2 – ускорение свободного падения; δ = 0,026 м; ν = 20x10^6 м^2/с — кинематическая вязкость воздушной среды; β = 0,004 1/ ^{0}С — коэффициент объемного расширения воздуха.

В качестве внешних возмущений может быть использовано задание температуры на конкретную зону, выраженную областью конечных элементов, либо функцией температуры от времени, либо конечной температурой. Для тестирования модели могут быть использованы те и другие варианты, в том числе экспериментально полученные зависимости, а для реализации модели диагностики — зависимость (1).

Подмодуль 2.1. Учитывая, что буксовый узел работает в условиях обтекания воздушным потоком от движения и соответственно с этим его влияния на тепловой режим узла, была разработана модель для расчета обтекания встречным потоком воздуха буксового узла. Модель является блоком (рисунок 1) общей диагностической модели и разрабатывалась с целью определения внешних граничных условий для последующего теплового расчета. Выходными данными расчета на данной модели являются скорости потока на поверхностях буксового узла, а также распределение коэффициентов теплоотдачи на поверхности буксового узла.

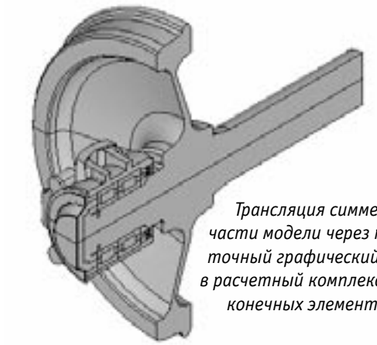
Задача моделирования состоит в определении коэффициентов теплоотдачи и их распределения по поверхности корпуса буксы и крышки при различных начальных температурах тела, температурах и скорости набегающего потока.

Основным критерием подобия при расчете омывания тел набегающим потоком газа или жидкости является критерий Рейнольдса [4]:

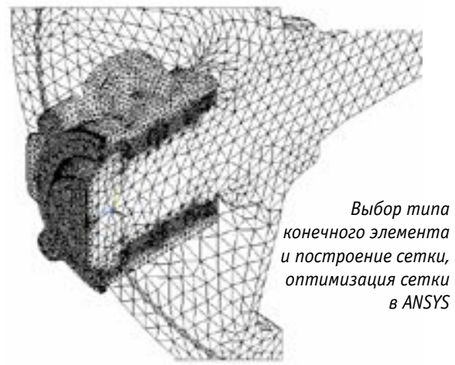
$$Re = w_0 \cdot d/\nu, \qquad (4)$$



Разработка трехмерной модели буксового узла и прилежащих деталей



Трансляция симметричной части модели через промежуточный графический формат в расчетный комплекс метода конечных элементов ANSYS



Выбор типа конечного элемента и построение сетки, оптимизация сетки в ANSYS

Рисунок 3 — Схема разработки и построения конечно-элементной модели для расчета поля температур

где w_0 — скорость набегающего потока; d — внешний диаметр — характерный размер; v — кинематическая вязкость газа или жидкости.

Если Re < 5, то обтекание цилиндра является безотрывным; Re > 5 — пограничный слой, образующийся на передней половине цилиндра, в кормовой части отрывается от поверхности цилиндра, и позади него образуются два симметричных вихря; Re >10^3 — вихри периодически отрываются от цилиндра и уносятся потоком, образуя за цилиндром вихревую дорожку.

Принимая в расчетах упрощенно корпус буксы за цилиндр, а смотровую крышку буксы за плоскую пластину, необходимо считать, что обтекание происходит в строго турбулентном режиме, так как набегающий поток воздуха является сильно турбулизированным при скорости набегающего потока 10 км/ч и более (соответствует диапазону скоростей движения вагона). При этих скоростях Re >10^5, а при таких числах Re пограничный слой считается строго турбулентным. При этом значении Re считается возможным для нахождения искомого распределения α_φ использование зависимости из [4] $\alpha_\varphi / \alpha_{сред}$ от угла от лобовой точки (рисунок 4).

В соответствии с [4] изменение коэффициента теплоотдачи по окружности цилиндра показано на рисунке 5. При этом средний по поверхности коэффициент теплоотдачи $\alpha_{сред}$ рассчитывается по критериальной зависимости из [8]:

$$Nu_{ж,d} = (\alpha_{сред} * d)/\lambda_ж = 0{,}25\ Re^{0.6}_{ж,d}\ Pr^{0.38}_{ж} (Pr_{ж}/Pr_c)0{,}25, \qquad (5)$$

где $Nu_{ж,d}$ — критерий Нуссельта; $\lambda_ж$ — коэффициент теплопроводности воздуха; $Pr_{ж}$ — число Прандтля

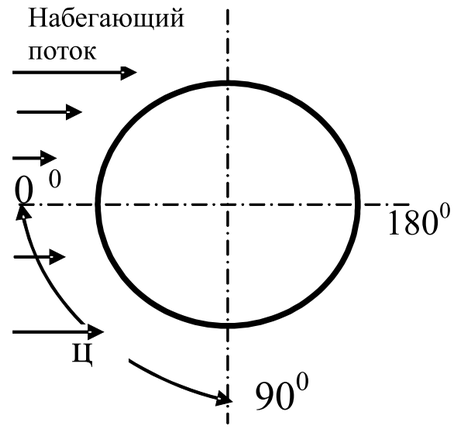


Рисунок 4 — Схема, поясняющая образование угла φ

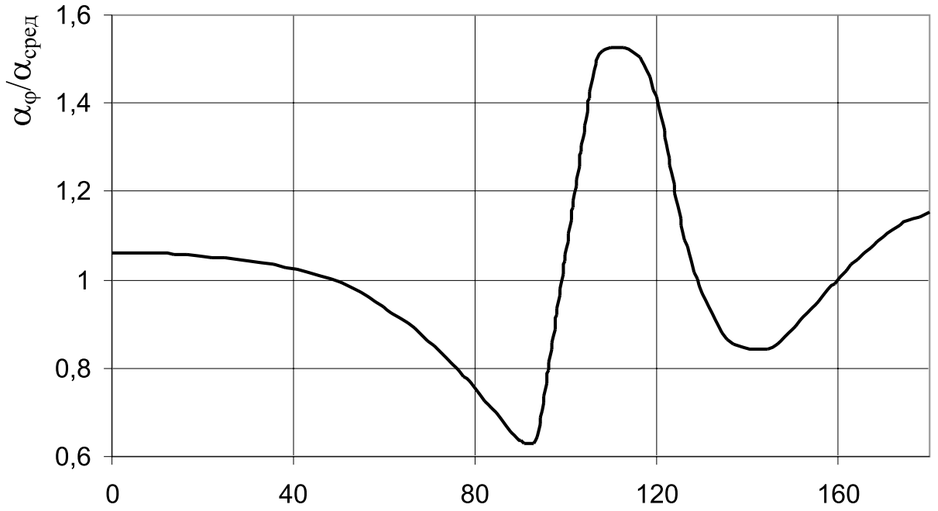


Рисунок 5 — Изменение коэффициента теплоотдачи по окружности цилиндра ($\alpha_{сред}$ — средний по поверхности коэффициент теплоотдачи)

набегающего потока воздуха; Pr_c — число Прандтля воздуха в пограничном слое у стенки цилиндра.

Изменение коэффициента теплоотдачи по цилиндрической части корпуса буксы при различных скоростях движения показано на рисунке 6. Все параметры, входящие в формулы (4) и (5), а именно коэффициент теплопроводности, коэффициент кинематической вязкости, число Прандтля воздуха, зависят от температуры.

Для пластины (в нашем случае крышки буксы) коэффициент теплоотдачи по поверхности определяется по формуле [4]:

$$Nu_{ж,d} = 0{,}0296\ Re^{0{,}8}_{ж,x}\ Pr^{0{,}43}_{ж}(Pr_{ж}/Pr_c)^{0{,}25}, \qquad (6)$$

где x — расстояние от края пластины до расчетной точки на поверхности пластины.

Критерий Рейнольдса для пластины рассчитывается аналогичным образом по формуле (4), только за характерный размер принимается расстояние x от края пластины.

В результате получены зависимости изменения коэффициентов теплоотдачи, приведенные на рисунке 7.

Модуль 3. Конечной целью диагностической модели является определение уровня сигнала ИК-излучения с зоны сканирования с учетом температуры корпуса, свойств внешней среды, скорости движения и динамических перемещений буксовых узлов.

Так как приемник ИК-излучения предназначен для обнаружения перегретых букс, то под уровнем сигнала следует понимать соответствие формы и размера сигнала температуре поверхности буксы. На уровень сигнала влияет температура окружающей среды и положение буксы относительно приемника в момент получения сигнала. Приемник установлен неподвижно вблизи пути, направление и угол его обзора неизменны. Положение же буксы при движении вагона непрерывно изменяется вследствие вертикальных и горизонтальных перемещений колесной пары.

Для удобства назовем зону контроля приемником ИК-излучения его «лучом» (рисунок 8), а участок поверхности буксы, находящийся в зоне контроля, — «пятном».

Форма и расположение «пятна» на поверхности буксы находится решением задачи пересечения поверхности с образующими конуса, вершиной которого является центр приемника, а угол конуса равен углу «зрения» приемника.

Используя векторные преобразования через матрицы направляющих косинусов и введя дополнительные системы координат, находим координаты точек «пятна» от «луча» на поверхности корпуса буксы, попадающей в зону обзора. По найденным координатам определяется площадь «пятна» на корпусе буксы в заданные моменты времени (шаг интегрирования или заданное число шагов), при этом корпус буксы имеет положение, которое определяется на модели движения вагона в данный момент времени. По площади «пятна» в каждый заданный момент времени определяется средняя интегральная температура, которая

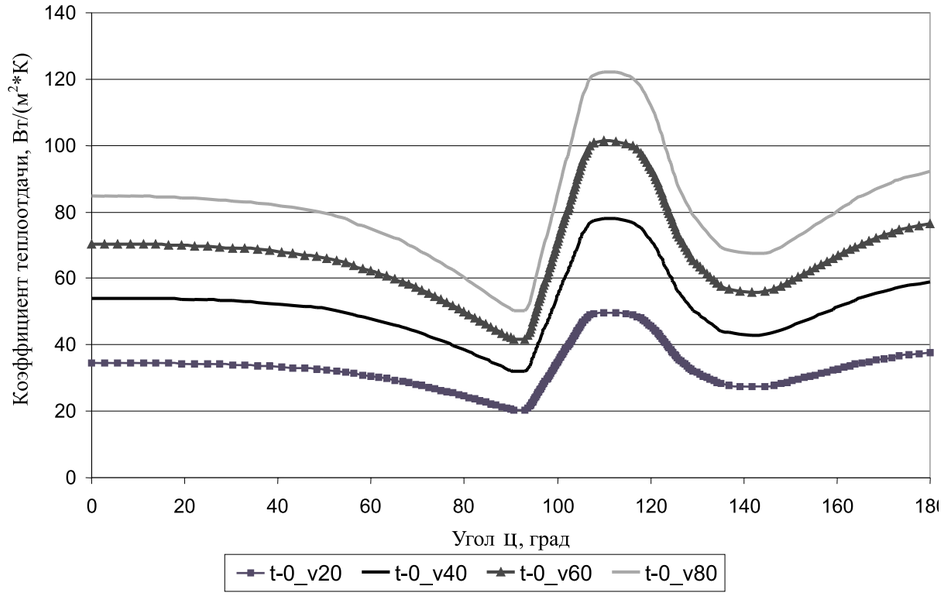


Рисунок 6 — График изменения коэффициента теплоотдачи по цилиндрической части корпуса буксы в зависимости от угла φ при скоростях движения вагона 20, 40, 60, 80 км/ч

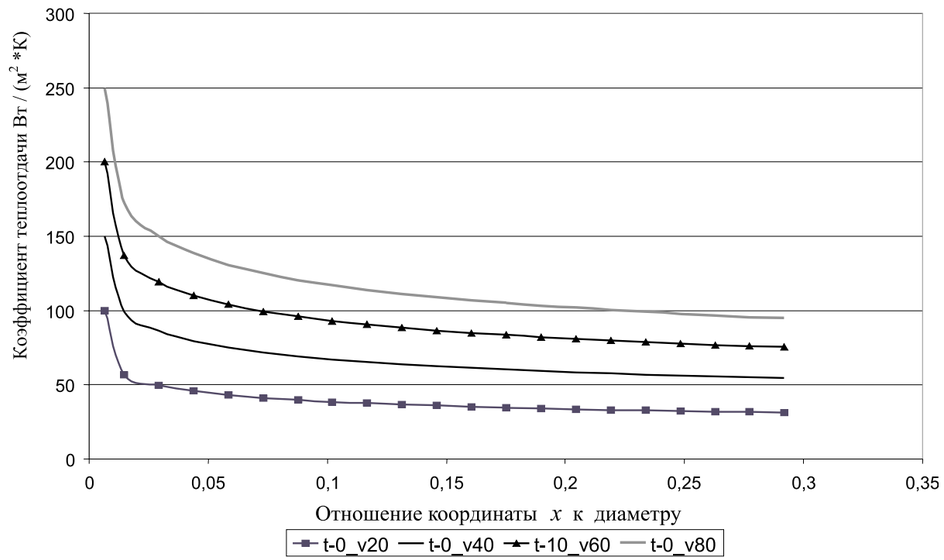


Рисунок 7 — График изменения коэффициента теплоотдачи по крышке корпуса буксы в зависимости от угла φ при скоростях движения вагона 20, 40, 60, 80 км/ч и температуре окружающего воздуха 0 °С

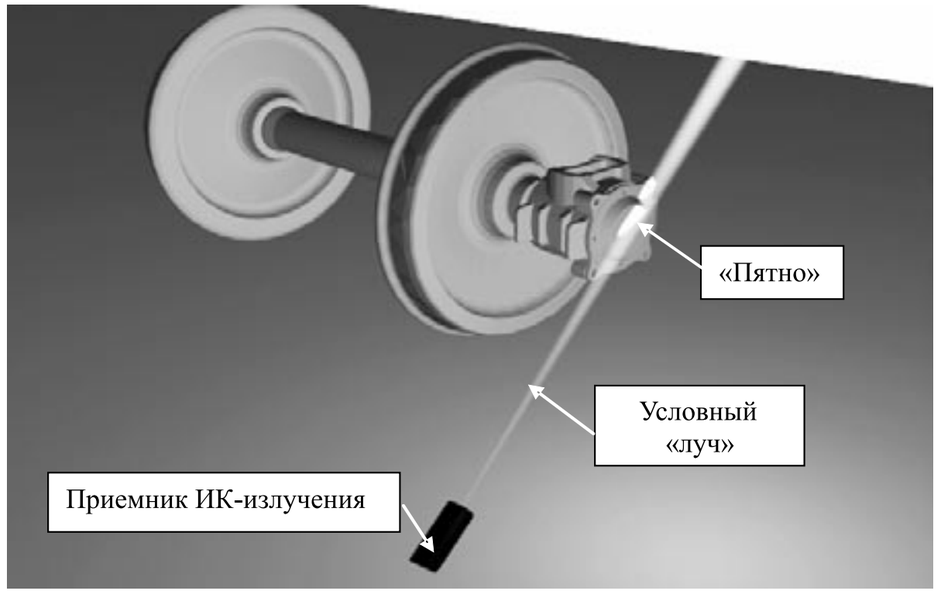


Рисунок 8 — Схема принятых обозначений процессов при сканировании приемником ИК-излучения при проезде колесной пары

вычисляется по результатам моделирования температурного поля работающего буксового узла. Средняя интегральная температура (СИТ) находится путем численного суммирования рассчитанных температур по конечным элементам, попадающим в «пятно»:

$$СИТ_{пятна} = \frac{\sum_{i=1}^{n} (S_i \times t_i)}{\sum S_i},$$

где t_i — рассчитанное значение температуры в i-м конечном элементе, находящемся в данный момент времени в «пятне»; n — общее количество конечных элементов, находящихся в данный момент времени в «пятне»; S_i — площадь i-го конечного элемента, находящегося в данный момент времени в «пятне».

По полученным значениям интегральных температур в каждый момент времени находится текущее значение осциллограммы сигнала, пропорционального считанной температуре. На основе разработанного алгоритма создано программное обеспечение на языке Delphi.

Подмодуль 3.1. Буксовый узел при движении вагона совершает динамические перемещения, вызванные неровностями пути, неравномерной жесткостью пути, автоколебательными процессами сил сухого трения в гасителях колебаний и другими причинами. Данные перемещения являются внешними факторами, влияющими на уровень сигнала на приемнике ИК-излучения, которые необходимо учитывать при создании диагностической модели. Выходными данными исследования движения являются вертикальные и горизонтальные перемещения буксовых узлов, которые являются входными данными для расчета зоны сканирования корпуса буксы приемником ИК-излучения.

Поскольку создание модели движения вагона представляет собой отдельную емкую задачу, то в данной работе использована математическая модель движения грузового вагона, разработанная авторами работ [5-7] с использованием аналитической программной среды «Универсальной механизм» [8]. При этом программа построения сигнала (модуль 3) работает параллельно компьютерному моделированию движения вагона посредством обмена данными на каждом шаге.

Подмодуль 3.2. Геометрическая модель для определения траектории зоны сканирования приемника ИК-излучения при диагностике разработана для визуализации результатов, полученных в модуле 3.

Модульный принцип моделирования позволяет верифицировать модель по частям. При разработке рассматриваемой диагностической модели по результатам испытаний на стенде была подтверждена достоверность модели распределения температурных полей (модуль 2), а также достоверность определения траектории зоны сканирования приемника ИК-излучения (модуль 3) с помощью специальных натурных испытаний.

Апробация диагностической модели выполнялась при создании систем теплового контроля нового поколения. При этом производилась оценка уровня сигнала на приемнике ИК-излучения у существующих систем контроля (КТСМ-01, КТСМ-01Д) с направлением приемника на крышку буксы (рисунок 9) и у но-

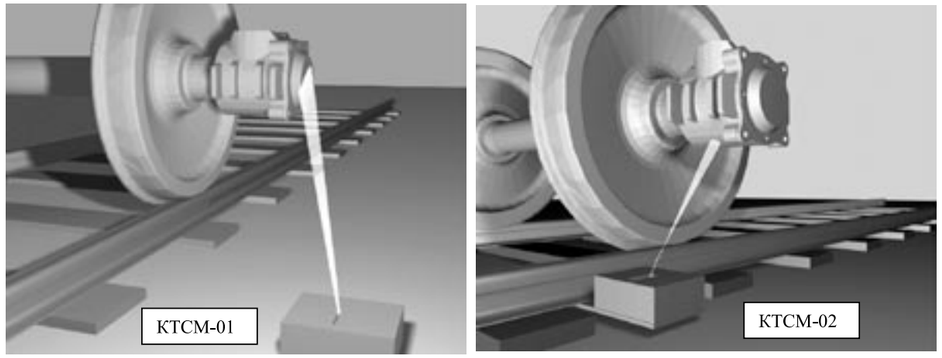


Рисунок 9 — Различная направленность приемника ИК-излучения у средств теплового контроля КТСМ-01 и КТСМ-02

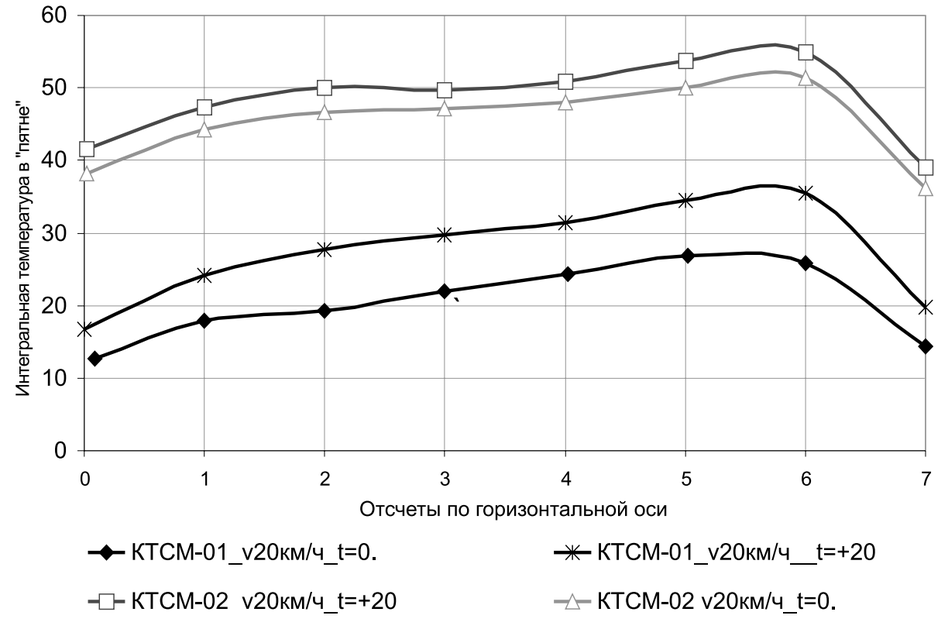


Рисунок 10 — Графики тепловых сигналов на приемнике ИК-излучения (в интегральной температуре) при разных ориентациях

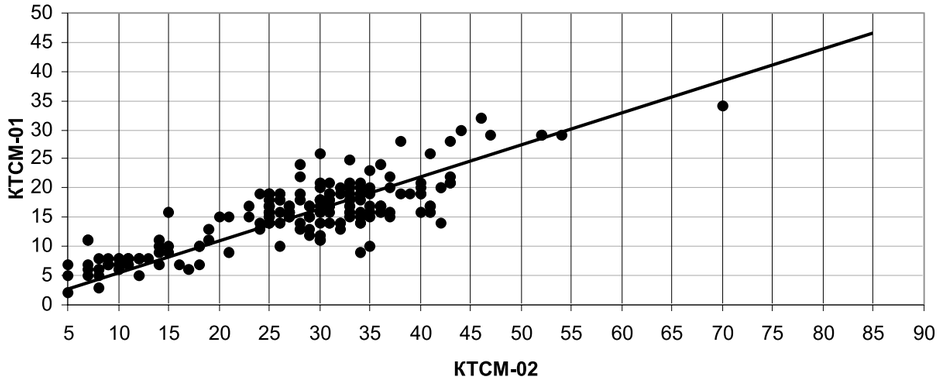


Рисунок 11— Соотношение тепловых сигналов от КТСМ-02 и КТСМ-01, полученное в результате статистической обработки данных от систем

вых (КТСМ-02), в которых приемник сориентирован на нижнюю стенку корпуса буксы.

Выполненные теоретические исследования на модели позволили получить графики сигналов при контроле буксового узла. Исследования сигнала проводились для нагретой до рабочего стационарного теплового режима буксы, температуре наружного воздуха 0 ^{0}C и 20 ^{0}C при скорости 20 км/ч. Графики полученных сигналов для рассматриваемых ориентаций приемника ИК-излучения показаны на рисунке 10.

Как следует из графика на рисунке 10, расчетный уровень сигнала на приемнике ИК-излучения при новой ориентации в 1,8—2,1 раза выше. Достоверность полученных результатов была подтверждена результатами эксплуатации систем КТСМ-01 и КТСМ-02. На рисунке 11 приведен график соответствия уровней тепловых сигналов КТСМ-02 и КТСМ-01, построенный в результате статистической обработки большого массива фактических данных от той и другой аппаратуры. Из графика на рисунке 11 видно, что реальные уровни тепловых сигналов, вырабатываемые приемниками ИК-излучения КТСМ-02, выше, чем от КТСМ-01, в 1,8—2 раза. Этот факт подтверждают результаты проведенных теоретических исследований на модели (см. рисунок 10), что свидетельствует об адекватности диагностической модели и возможности ее использования на стадии создания средств теплового контроля и оценки эффективности их работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Трестман Е.Е., Лозинский С.Н., Образцов В.Л. Автоматизация контроля буксовых узлов в поездах. — М., 1983. — 352 с.

2. ANSYS Theory Reference. Release 5.5, Edited by Ph.D. Peter Kohnke. — Canonsburg: ANSYS Inc., 1998.

3. Краткий физико-технический справочник / Под. ред. К.П. Яковлева — М.: ГИФМЛ, 1962. — Т. 3 — 688 с.

4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. — Изд. 2-е. — М.: Энергия, 1969. — 440 с.

5. Погорелов Д.Ю., Павлюков А.Э., Юдакова Т.А. Разработка математической модели железнодорожного экипажа в программной среде автоматизированного синтеза уравнений движения // Информационные технологии в моделировании и управлении: Труды II Международной науч.-практ. конф., 20-22 июня 2000 г. — С-Пб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. — С. 298–300

6. Павлюков А.Э., Юдакова Т.А., Котов С.В. Моделирование условий повышения связанности рамы перспективной тележки грузовых вагонов //Безопасность движения поездов: Труды Второй науч.-практ. конф. — М.: МИИТ, 2000. — С.IV-24–IV-25.

7. Погорелов Д.Ю., Павлюков А.Э., Юдакова Т.А., Котов С.В. Моделирование контактных взаимодействий в задачах динамики систем тел //Динамика, прочность и надежность транспортных машин: Сб. тр. /Под ред. Б.Г. Кеглина. — Брянск: Изд. БГТУ, 2002. — С.11–23

8.Погорелов Д.Ю., Павлюков А.Э., Юдакова .Т.А., Котов С.В.// Введение в моделирование динамики систем тел: Учеб. пособие. — Брянск: Изд-во БГТУ, 1997. — 156 с.

Волынский Д.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ В КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА



Волынский Дмитрий Николаевич,
к.т.н., УрГУПС

Несанкционированное получение информации и воздействие на информацию, циркулирующую в системе управления железнодорожным транспортом, телекоммуникационных и корпоративных сетях отрасли, может привести к дезорганизации управления ФЖТ, значительному экономическому ущербу и другим нежелательным последствиям [1].

Федеральный железнодорожный транспорт (ФЖТ) находится на ранней стадии информатизации, и это его положение может быть выгодно использовано для решения проблем защиты информации. Проблема защиты информации и взаимосвязанная с ней проблема обеспечения информационной безопасности отрасли и ее корпоративных систем и сетей имеют несколько аспектов: нормативно-правовой, организационный и технический (технологический).

Постановление коллегии МПС от 01.04.99 в области повышения безопасности корпоративной информации предусматривает разработку и внедрение высокоэффективных методик и средств обеспечения защиты информации в корпоративных сетях железнодорожного транспорта. Приоритет должен быть отдан отечественным разработкам.

Безопасность информации — это состояние (обобщенное свойство) ее защищенности от дестабилизирующего воздействия внешней среды (человека и природы) и внутренних угроз системы или сети, в которой она находится, т.е. конфиденциальность, целостность и доступность информации [1].

Под доступом к информации понимается ее прием, ознакомление, ее обработка, в частности копирование, модификация (подмена) или уничтожение.

Информационно-технические способы осуществления угроз включают в себя радиоэлектронные способы (перехват информации через электромагнитные поля и излучения; радиоэлектронное подавление линий связи и систем управления; перехват, дешифрование и навязывание сообщений и команд управления); манипулирование информацией — дезинформация, скрытие и т.п.

Для эффективной защиты информации необходимо использовать три барьера защиты: энергетический, структурный и собственно информационный, однако на железнодорожном транспорте активно применяется лишь внутренний — информационный барьер. Внешние барьеры защиты — энергетический и структурный — могут быть усилены путем применения новых способов отображения информации на сигнал-переносчик при модуляции. При этом специфика железнодорожного транспорта, создающего крайне высокий уровень индустриальных электромагнитных помех, требует нестандартных подходов к решению проблемы защиты информации при обеспечении высокой помехоустойчивости.

Высокая помехоустойчивость и энергетическая скрытность — противоречивые требования к системе передачи информации, поскольку первое предполагает увеличение отношения сигнал/помеха (с/п), а второе — наоборот, уменьшение этого отношения. Следует искать компромиссное решение проблемы.

Увеличивать энергетическую скрытность можно, снижая спектральную плотность энергии канальных сигналов, прежде всего путем расширения их спектра. В современной литературе этот метод называют Spread Spektrum. Для защиты информации это условие необходимо, но недостаточно. Такие виды широкополосной модуляции, как М-ичная ортогональная модуляция (МОК), фазоимпульсная модуляция (PPM), квадратурная амплитудная модуляция (QAM) и др., хотя и снижают спектральную плотность в среднем, не устраняют ярко выраженные (колоколообразные) участки спектра.

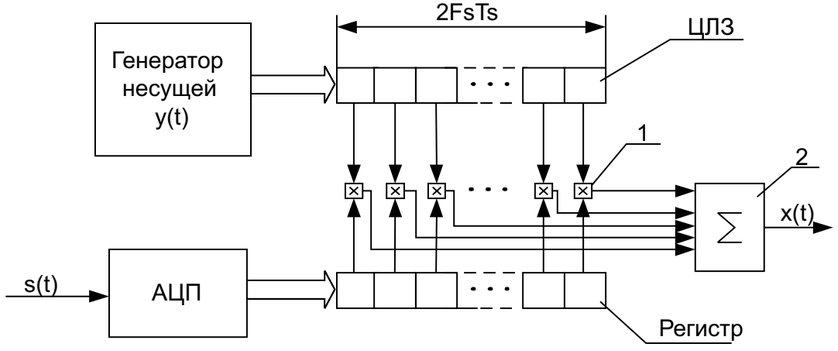
Известен и другой способ расширения спектра, использующий шумоподобную несущую, например система SS-MS-MA, в которой используются ортогональные расширяющие коды Уолша–Адамара, однако применение подобных детерминированных кодов снижает структурную скрытность канальных сигналов, поэтому система уязвима со стороны структурных преднамеренных помех.

Сочетание энергетической и структурной скрытности имеет место в менее известном способе импуль-

сной частотно-временной модуляции шумовой несущей. В этом способе центральная частота постоянно излучаемой шумовой несущей изменяется по закону модулирующего сигнала. Отметим, что данный вид модуляции является однопараметрическим, что снижает его потенциальную помехоустойчивость.

В конце 70-х годов А.И. Самойловым и Д.Н. Волынским был предложен новый вид модуляции шумоподобной несущей путем ее свертки с модулирующим сигналом [2]. При свертке все отсчеты «длинного» отрезка модулирующего сигнала отображаются на всех отсчетах сложного несущего колебания, как показано на рисунке 1. В каждом отсчетном значении сигнала в канале содержится информация обо всем отрезке (обо всех параметрах) модулирующего сигнала.

Такая модуляция является мультипараметрической, а учитывая, что свертка — классическая линейная операция, модуляция была названа линейно-параметрической, или кратко — линейный модем (ЛМ). Целенаправленно формируя несущее колебание, можно решать различные задачи при организации связи: эффективно увеличивать помехоустойчивость за счет



1 - Умножители сигналов

2 - Сумматор

ЦЛЗ - цифровая линия задержки

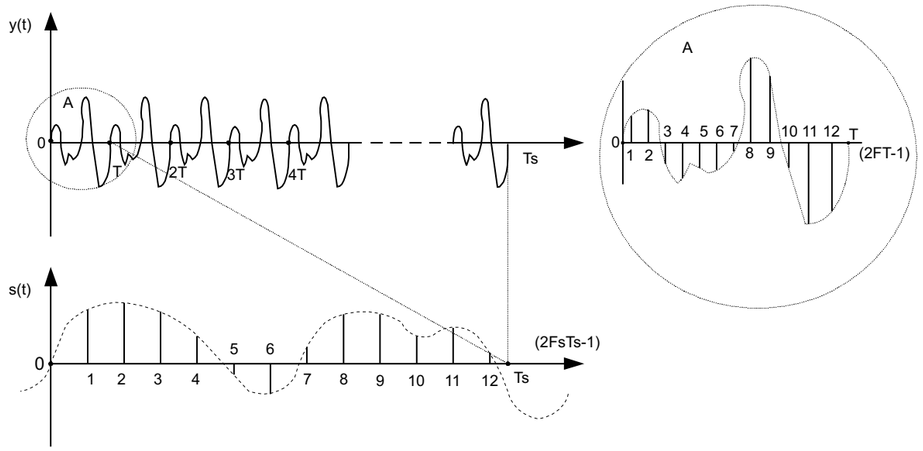


Рисунок 1 — Пояснение линейно-параметрической модуляции (ЛПМ)

адаптации к искажающему действию канала и помех; благодаря отсутствию порогового эффекта помехоустойчивости работать при отношениях с/п, много меньших единицы; а главное — обеспечить энергетическую и структурную скрытность при высокой помехоустойчивости.

Возможность формировать спектр канального сигнала так, чтобы он не имел выраженных демаскирующих участков, и накопление сигнала позволяют снизить спектральную плотность до крайне малых значений. Структурная скрытность канального сигнала обусловлена тем, что несущее колебание никогда не присутствует в канале в чистом виде, а лишь в свертке с модулирующим сигналом, который, как и несущее колебание, неизвестен перехватчику информации. Не зная хотя бы одного компонента свертки, невозможно произвести демодуляцию (аналогично по сумме невозможно однозначно определить слагаемые).

Для практической реализации ЛМ сегодня имеется сравнительно доступная элементная база, прежде всего, цифровые сигнальные процессоры и программируемые логические интегральные схемы, однако требуется решить ряд теоретических и технических задач, в частности разработать метод синтеза адаптированного несущего колебания с заданными характеристиками.

Конкретный выбор несущего колебания $y(t)$ предопределяет импульсную характеристику $g(t)$ демодулятора. А именно — матрицы, составленные из отсчетных значений несущего колебания и импульсной характеристики демодулятора путем циклических перестановок, должны быть обратными [3]:

$$[y] = [g]^{-1}. \qquad (1)$$

Помехоустойчивость системы и выигрыш отношения с/п могут быть тем выше, чем большее число отсчетов несущего колебания будет задействовано в процессе модуляции-демодуляции. Число отсчетов определяет порядок матриц (1). Если порядок матриц велик, то алгоритм их расчета, в особенности вычисление обратной матрицы, теряет устойчивость. В этом состоит трудность прямого расчета несущего колебания и импульсной характеристики демодулятора.

Можно показать, что матричному соотношению (1) соответствует подобное соотношение Фурье-образов. Первая строка матрицы $[y]$ представляет отсчетные значения несущего колебания на периоде, а цикличность перестановок отражает свертку несущего колебания $y(t)$ с модулирующим колебанием $s(t)$. Значит, можно записать следующее соответствие:

$$s(t) * y(t) = x(t) \longleftrightarrow S(j\omega) \cdot Y(j\omega) = X(j\omega). \qquad (2)$$

Первая строка матрицы $[g]$ представляет собой отсчетные значения импульсной характеристики демодулятора, и аналогично получаем соответствие:

$$x(t) * g(t) = s(t) \longleftrightarrow X(j\omega) \cdot G(j\omega) = S(j\omega). \qquad (3)$$

Совместное решение (2) и (3) дает следующее соответствие:

$$[y] = [g]^{-1} \longleftrightarrow Y(j\omega) = 1/G(j\omega). \qquad (4)$$

Для статистического согласования несущего колебания с помехами в канале должно выполнятся равенство [3]:

$$G(j\omega) = G(\omega)e^{-j\Psi(\omega)} = C\sqrt{N_m - N(\omega)}\; e^{-j\Psi(\omega)}, \qquad (5)$$

где N_m — величина, превышающая пиковое значение $N(\omega)$; $N(\omega)$ — энергетический спектр помех в канале; $\Psi(\omega)$ — произвольно выбираемый фазовый спектр; C — коэффициент.

Используя соотношения (4) и (5), получим спектральную функцию несущего колебания, статистически согласованного с помехами в канале,

$$Y(j\omega) = \left[1/G(\omega)\right]e^{j\Psi(\omega)} =$$

$$= \left[1/C\sqrt{N_m - N(\omega)}\right]e^{j\Psi(\omega)}. \qquad (6)$$

Развернем соотношение (5) по ортогональным составляющим:

$$G(j\omega) = A_G(\omega) - jB_G(\omega) =$$

$$= C\sqrt{N_m - N(\omega)}\left[\cos\Psi(\omega) - j\sin\Psi(\omega)\right],$$

откуда получаем

$$\cos\Psi(\omega) = \frac{A_G(\omega)}{C\sqrt{N_m - N(\omega)}},$$

$$\sin\Psi(\omega) = \frac{B_G(\omega)}{C\sqrt{N_m - N(\omega)}}. \qquad (7)$$

Развернем соотношение (6) по ортогональным составляющим:

$$Y(j\omega) = A_Y(\omega) - jB_Y(\omega) =$$

$$= \frac{1}{C\sqrt{N_m - N(\omega)}}\left[\cos\Psi(\omega) + j\sin\Psi(\omega)\right].$$

Используя равенства (7), получаем

$$Y(j\omega) = A_Y(\omega) - jB_Y(\omega) =$$

$$= \frac{1}{C^2\left[N_m - N(\omega)\right]}\left[A_G(\omega) + jB_G(\omega)\right],$$

откуда

$$A_Y(\omega) = \frac{A_G(\omega)}{C^2\left[N_m - N(\omega)\right]};$$

$$B_Y(\omega) = \frac{-B_G(\omega)}{C^2\left[N_m - N(\omega)\right]}. \qquad (8)$$

Так связаны между собой ортогональные составляющие спектральных функций статистически согласованного несущего колебания и импульсной характеристики демодулятора. По ним можно рассчитать отсчетные значения $y(t)$ и $g(t)$ на оси времени (первые строки соответствующих матриц), не оперируя самими матрицами.

Непосредственный пересчет отсчетных значений на оси частот в отсчетные значения на оси времени и наоборот проводится по следующим формулам [4]:

$$s_n = \frac{2}{T}\left[\frac{A_0}{2} + (-1)^n \frac{A_{FT}}{2} + \right.$$

$$\left. + \sum_{k=1}^{FT-1}\left(A_k \cos\frac{2\pi kn}{2FT} + B_k \sin\frac{2\pi kn}{2FT}\right)\right], \qquad (9)$$

$n = 0, 1, 2, 3, \ldots 2FT$

и обратно

$$A_k = \frac{1}{2F}\sum_{n=0}^{2FT} s_n \cos\frac{2\pi kn}{2FT},$$

$$B_k = \frac{1}{2F}\sum_{n=0}^{2FT} s_n \sin\frac{2\pi kn}{2FT}. \qquad (10)$$

$k = 1, 2, 3, \ldots FT - 1.$

Здесь обозначено:

$s_n = s(t)$ при $t = n/2F$ — отсчетное значение функции времени в n-й отсчетной точке; $A_k = A(\omega)$ и $B_k = B(\omega)$ при $\omega = 2\pi k/T$ — отсчетные значения функций частоты в k-й отсчетной точке.

Для расчета должны быть заданы два параметра: период несущего колебания T и полоса частот F на положительной полуоси, где желательно поместить модулированное колебание. Помехи должны быть заданы энергетическим спектром $N(\omega)$ в полосе частот F.

Задание T и F определяет количество отсчетов $2FT$ на периоде несущего колебания. Будем рассматривать случай, когда $2FT$ — четное число.

Отсчетные значения функции на оси времени, входящие в выражение (10), могут выбираться произвольно, кроме s_0 и s_{2FT}, которые необходимо принимать равными нулю [4]. Отсчетные значения функции на оси частот, входящие в выражение (9), в общем случае могут выбираться произвольно, кроме B_0 и B_{FT}, которые должны приниматься равными нулю, а A_0 и A_{FT} должны находиться из уравнения

$$\frac{A_0}{2} + \frac{A_{FT}}{2} + \sum_{k=1}^{FT-1} A_k = 0,$$

в котором либо A_0, либо A_{FT} выбираются произвольно. Если принять $A_0 = 0$ (постоянная составляющая отсутствует), то получаем

$$A_{FT} = -2\sum_{k=1}^{FT-1} A_k. \qquad (11)$$

Если требуется обеспечить статистическое согласование несущего колебания с помехами в канале, к этим ограничениям добавляется ограничение на $\sqrt{A_k^2 + B_k^2}$. При свободе выбора самих значений A_k и B_k этот корень должен удовлетворять равенству

$$\sqrt{A_k^2 + B_k^2} = C\sqrt{N_m - N(\omega)}, \omega = 2\pi k/T,$$

$$k = 1, 2, 3, \ldots FT. \qquad (12)$$

Коэффициент C может быть любым положительным числом. От него не зависит выигрыш отношения с/п в линейном модеме. Однако он входит в отношение с/п на выходе демодулятора [5]:

$$\left(\frac{C}{П}\right)_{вых} = \frac{1}{T}\int_{-\infty}^{\infty} S^2(\omega)d\omega \Big/ \frac{1}{4}C^2\int_{-\infty}^{\infty} N(\omega)\left[N_m - N(\omega)\right]d\omega, \qquad (13)$$

поэтому коэффициент C выгодно уменьшать. Но этот коэффициент входит и в отношение с/п на входе демодулятора:

$$\left(\frac{C}{П}\right)_{вх} = \frac{1}{T}\int_{-\infty}^{\infty} \frac{2S^2(\omega)d\omega}{C^2\left[N_m - N(\omega)\right]} \Big/ \int_{-\infty}^{\infty}\frac{1}{2}N(\omega)d\omega, \qquad (14)$$

откуда следует, что уменьшение коэффициента C увеличивает отношение с/п на входе не за счет подавления помех, а за счет увеличения сигнала, что невыгодно. Поэтому в конкретной ситуации выбор коэффициента C может производиться по-разному, в зависимости от дополнительных условий. Например, можно потребовать, чтобы мощности несущего колебания и импульсной характеристики демодулятора были равными. Тогда можно записать следующие соотношения, введя произвольно выбранные значения ортогональных составляющих A_{k0} и B_{k0} с согласующим множителем p_k в выражение (12):

$$k\sqrt{A_{k0}^2 + B_{k0}^2} = \sqrt{(p_k A_{k0})^2 + (p_k B_{k0})^2} =$$

$$= C\sqrt{N_m - N(\omega)}, \text{ при } \omega = 2\pi k/T,$$

откуда

$$p_k = \frac{C\sqrt{N_m - N_k}}{\sqrt{A_{k0}^2 + B_{k0}^2}} = C \cdot p_k',$$

$$p_k' = \frac{\sqrt{N_m - N_k}}{\sqrt{A_{k0}^2 + B_{k0}^2}}, \qquad (15)$$

где $N_k = N(\omega)$ при $\omega = 2\pi k/T$ — отсчетное значение энергетического спектра помех в k-й отсчетной точке; $p_k A_{k0} = A_k$ и $p_k B_{k0} = B_k$ определены ранее (10).

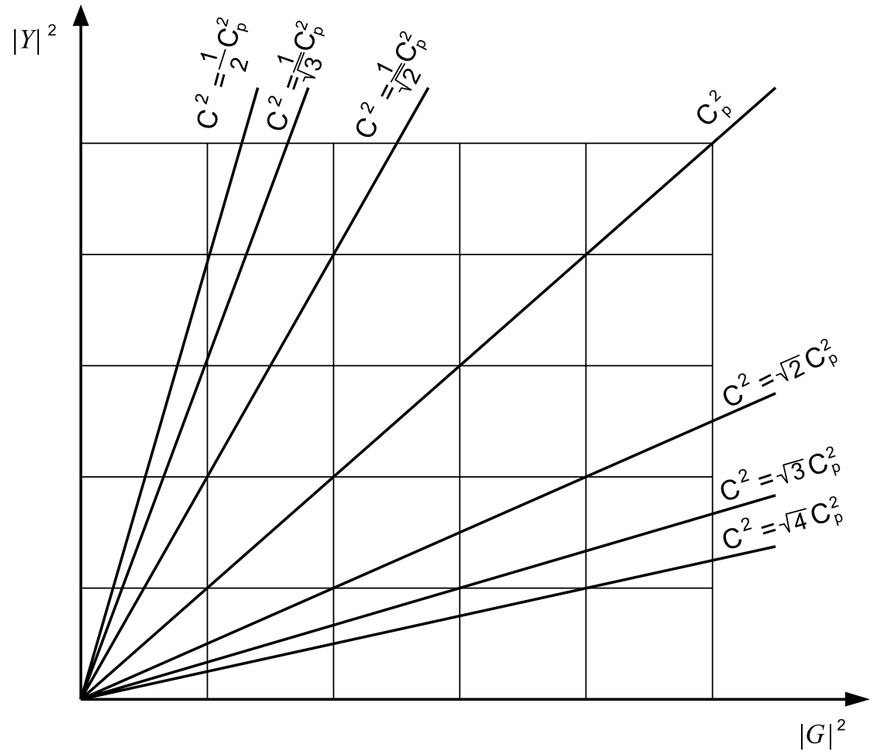


Рисунок 2 — Зависимость коэффициента C от отношения $|Y|^2/|G|^2$

Мощность импульсной характеристики демодулятора определяется суммой квадратов модулей ее спектральной функции

$$\sum_{k=1}^{FT} G_k^2 = \sum_{k=1}^{FT}\left[A_k^2 + B_k^2\right] = C^2\sum_{k=1}^{FT}(p_k')^2\left[A_{k0}^2 + B_{k0}^2\right].$$

Аналогично, учитывая равенства (8), для несущего колебания запишем

$$\sum_{k=1}^{FT} Y_k^2 = \sum_{k=1}^{FT}\left[A_{yk}^2 + B_{yk}^2\right] = \frac{1}{C^2}\sum_{k=1}^{FT}\frac{(p_k')^2\left[A_{k0}^2 + B_{k0}^2\right]}{(N_m - N_k)^2}.$$

Приравнивая эти соотношения, учитывая (15), для этого случая (равенство мощностей $y(t)$ и $g(t)$) получим коэффициент $C = C_p$

$$C_p^2 = \sqrt{\sum_{k=1}^{FT}\frac{1}{N_m - N_k}\Big/\sum_{k=1}^{FT}\left[N_m - N_k\right]}. \qquad (16)$$

Линия, соответствующая значениям $C = C_{p'}$ делит плоскость $|Y|^2|G|^2$ на две равные части, ниже ее располагаются значения $C > C_{p'}$, что соответствует $|Y|^2/|G|^2$, а выше располагаются линии $C < C_{p'}$, что соответствует $(|Y|^2/|G|^2) > 1$ (рисунок 2).

Для определения коэффициента $C_{p'}$, соответствующего равенству $|Y|^2 = |G|^2$ по формуле (16), кроме $N(\omega)$ ничего знать не нужно. Во всех других случаях коэффициент C и соответствующая ему линия определяются по рисунку 2 через C_p в зависимости от требуемого отношения мощностей $y(t)$ и $g(t)$.

Предложенный метод расчета позволяет провести компьютерное моделирование процесса согласования и получить несущее колебание в форме, пригодной для практического использования в системах связи. Алгоритм расчета может быть составлен по следующей схеме.

1. Задаемся шириной спектра F и периодом T несущего колебания. Определяем число степеней свободы несущего колебания $2FT$ (порядок матриц $[y]$ и $[g]$). Это число должно быть четным.

2. Задаемся выборками энергетического спектра помех $N(\omega)$ и размещаем их в пределах выбранной полосы

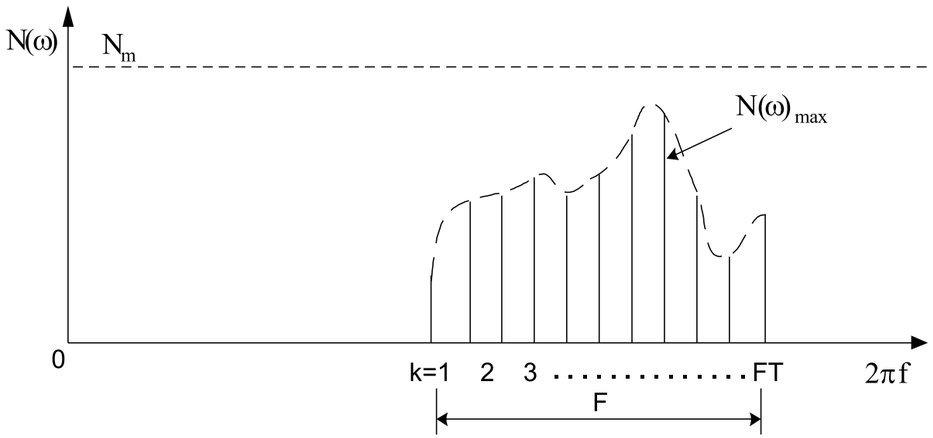


Рисунок 3 — Энергетический спектр помех

частот. Определяем положение и порядок отсчетных точек на оси частот путем деления полосы F на FT-1 равных частей и нумерации их, как показано на рисунке 3.

3. Выбираем значение N_m; оно должно быть больше $N(\omega)_{max}$ на 2 … 5%:

$$N_m = 1{,}05 \cdot N(\omega)_{max}. \qquad (17)$$

4. Определяем значение коэффициента C_p^2:

$$C_p^{\,2} = \sum_{k=1}^{FT} \frac{1}{N_m - N_k} \Big/ \sum_{k=1}^{FT} [N_m - N_k]. \qquad (18)$$

5. С помощью датчика случайных чисел произвольно выбираем исходные значения A_{k0} и $B_{k0}\big|_{k=1,\,2,\,3,\,\ldots\,FT\text{-}1}$ в интервале, например, от +10 до –10, необязательно целые.

6. Находим значения согласующих множителей и при $C = C_p$ по формулам:

$$p_k = \frac{C\sqrt{N_m - N_k}}{\sqrt{A_{k0}^2 + B_{k0}^2}} = C \cdot p'_k, \quad p'_k = \frac{\sqrt{N_m - N_k}}{\sqrt{A_{k0}^2 + B_{k0}^2}}. \qquad (19)$$

7. Определяем значения ортогональных составляющих спектральной функции $G(j\omega)$:

$$A_{Gk} = A_k = p_k \; A_{k0}\big|_{k=1,\,2,\,3,\ldots FT-1},$$
$$B_{Gk} = B_k = p_k \; B_{k0}\big|_{k=1,\,2,\,3,\ldots FT-1} \qquad (20)$$

и добавляем к ним значения $B_0 = 0$ и $B_{FT} = 0$, $A_0 = 0$ и $A_{FT} = C \cdot \sqrt{N_m - N_{FT}}$ при $C = C_p$.

8. Определяем значения ортогональных составляющих A_{Yk} и $B_{Yk}\big|_{k=1,\,2,\,3,\,\ldots\,FT}$ статистически согласованного несущего колебания, используя полученные в п. 7 A_{Gk} и B_{Gk}:

$$A_Y(\omega) = \frac{A_G(\omega)}{C^2[N_m - N(\omega)]};$$

$$B_Y(\omega) = \frac{-B_G(\omega)}{C^2[N_m - N(\omega)]}. \qquad (21)$$

9. Проводим проверочный расчет A_{YFT} из выражения (для удобства вводим новое обозначение A_{yFT}):

$$A_{yFT} = -2\sum_{k=1}^{FT-1} A_{Yk}. \qquad (22)$$

10. Используя $A_{Gk} = A_k$ и $B_{Gk} = B_k$, полученные в пункте 7, находим отсчетные значения $g_n = s_n$ импульсной характеристики $g(t)$ демодулятора, а используя значения $A_{Yk} = A_k$ и $B_{Yk} = B_k$, полученные в пункте 8, находим отсчетные значения $y_n = s_n$:

$$s_n = \frac{2}{T}\left[\frac{A_0}{2} + (-1)^n \frac{A_{FT}}{2} + \sum_{k=1}^{FT-1}\left(A_k \cos\frac{2\pi kn}{2FT} + B_k \sin\frac{2\pi kn}{2FT}\right)\right], \qquad (23)$$

$n = 0, 1, 2, 3, \ldots 2FT$.

11. Для проверки проводим обратный пересчет, используя $g_n = s_n$ и $y_n = s_n$ из пункта 10. Полученные значения должны совпадать с A_k и B_k из пункта 7 в первом случае и с A_k и B_k, полученными в пункте 8, во втором случае:

$$A_k = \frac{1}{2F}\sum_{n=0}^{2FT} s_n \cos\frac{2\pi kn}{2FT},$$

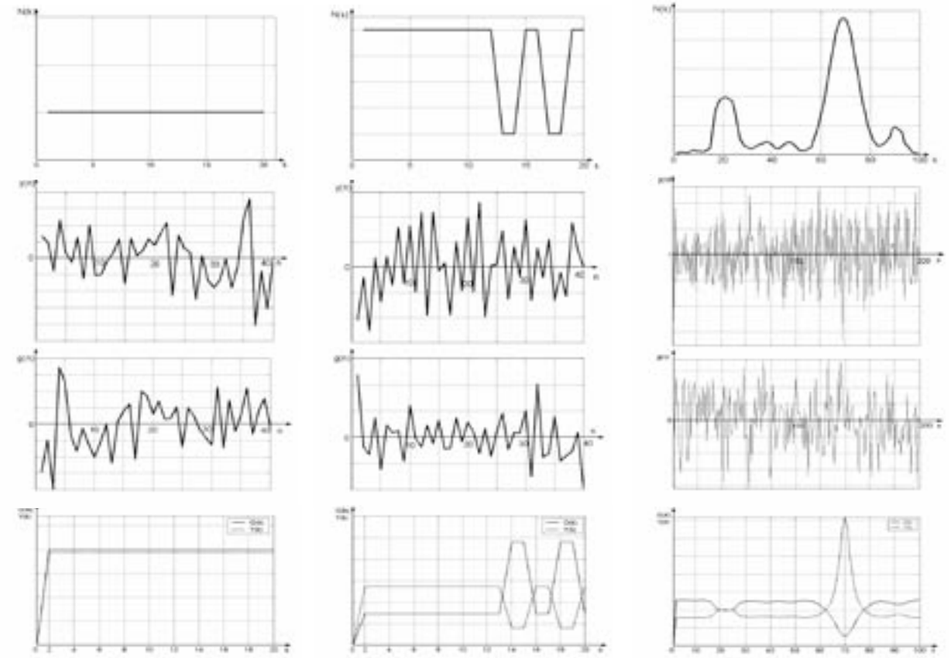


Рисунок 4 — Результаты компьютерного моделирования

$$B_k = \frac{1}{2F}\sum_{n=0}^{2FT} s_n \sin\frac{2\pi kn}{2FT}, \qquad (24)$$

$k = 1, 2, 3, \ldots FT - 1$.

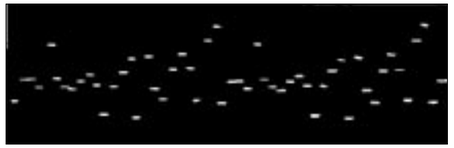
Моделирование проведено в пакете MATLAB 6.0, его результаты, представленные на рисунке 4а и 4б, свидетельствуют о правильности алгоритма и программы расчета, т.к. относятся к тестовой проверке для белого шума и искусственно заданного спектра помехи характерного вида. В частности, для белого шума ситуация совпадает с согласованной фильтрацией, когда сигнал и импульсная характеристика фильтра-демодулятора зеркальны относительно вертикальной оси. Рисунок 4в относится к реальной ситуации, при которой в заданном спектре частот работают две базовые станции сотовой связи.

Приведем также результаты физического моделирования, полученные при испытании лабораторного макета [6].

На рисунке 5а показана шумоподобная несущая $y(t)$ с базой B = 25 на двух периодах после оцифровки. На рисунке 5б приведен модулирующий сигнал. На рисунке 5в показан сигнал, полученный путем свертки несущей и модулирующего сигнала. На рисунке 5г приведена импульсная характеристика $g(t)$ демодулятора на двух периодах, воспроизводимая специальным генератором сигнала. Результат свертки этой импульсной характеристики с сигналом (рисунок 5 в) показан на рисунке 5д. Его хорошее совпадение с модулирующим сигналом подтверждает правильность расчетов и результатов компьютерного моделирования.

Результаты компьютерного моделирования, устойчивого в вычислительном смысле алгоритма расчета шумоподобного канального сигнала, не связанного с вычислением обратных матриц высокого порядка, подтверждают возможность и целесообразность внедрения новой отечественной телекоммуникационной аппаратуры, использующей линейно-параметрическую модуляцию. Такая аппаратура обеспечит высокую степень защиты информации в каналах связи с сохранением высокой помехоустойчивости, что весьма актуально в тяжелой помеховой обстановке на ФЖТ.

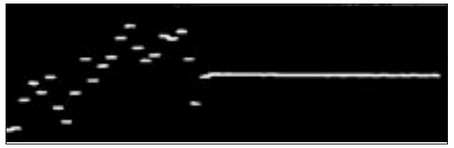
а



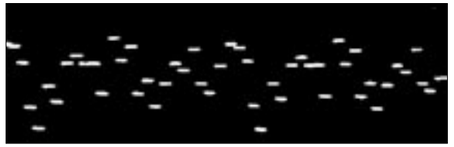
б



в



г



д



Рисунок 5 — Осциллограммы процесса ЛПМ

Литература

1. Яковлев В.В., Корниенко А.А. Информационная безопасность и защита информации в корпоративных сетях железнодорожного транспорта: Учебник для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. В.В. Яковлева. — М.: УМК МПС России, 2002. — 328 с.

2. Устройство для приема дискретных сигналов: А.с.1169192 СССР / А.И. Самойлов, Д.Н. Волынский. № 3576070/24-09; Заявл. 01.04.83; Опубл. 23.07.85. Бюл. № 27. — 5 с.

3. Самойлов А.И., Волынский Д.Н. Система связи с линейно-параметрической модуляцией // Наука и транспорт сегодня: проблемы и решения. — Екатеринбург: УрГАПС. — 1997. — Вып. 5 (87). — Ч. 2. — С. 46-54.

4. Самойлов А.И., Воронцова Л.Н. Некоторые особенности преобразования отсчетных значений сигнала. — М., 1984. — 12 с. — Деп. в ЦНИИТЭИ МПС 1984 г.; № 2236-Б.

5. Самойлов А.И., Волынский Д.Н. Сравнение помехоустойчивости частотной и линейно-параметрической модуляций // Железнодорожный транспорт сегодня и завтра: Материалы конференции. — Екатеринбург, 1999. — Ч. 2. — С. 319–325.

6. Самойлов А.И., Волынский Д.Н., Воронцова Л.Н. Получение импульсной характеристики среды распространения из сигнала зондирования // Теория и практика электромагнитных методов исследования вещества и структур Земли. — Свердловск, 1985. — С. 46–49.

Фирстов С. В., Логунова Г. В.

ДОРОЖНЫЙ ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗКАМИ — ОСНОВНОЕ ЗВЕНО В СОЗДАНИИ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

Дорожный центр управления перевозками (ДЦУП) является логическим продолжением Единого центра диспетчерского управления (ЕЦДУ), созданного на Свердловской железной дороге в соответствии с Указанием МПС Российской Федерации № ЦДИ-11 от 6 июня 2000 года и с приказом начальника дороги от 26 июня 2000 года № 92/Н.



Фирстов Сергей Валерьевич,
к.т.н., главный инженер ИВЦ Свердловской ж.д.



Логунова Галина Васильевна,
зам. начальника ИВЦ по ДЦУП

Основной целью создания ЕЦДУ было построение эффективной системы управления перевозочным процессом с укрупнением полигонов единого централизованного управления и концентрацией диспетчерского персонала с помощью современных информационных технологий. При создании ЕЦДУ учитывались объективные технологические требования оптимального регулирования грузопотоков, выполнения заданных объемов работ, возможности дальнейшей автоматизации производственных процессов. Достижение поставленной цели основывалось на эффекте увеличения масштабов производства. Внедрение ЕЦДУ позволило добиться значительного улучшения в решении следующих вопросов:

— повышения оперативности и качества воздействия на перевозочный процесс и как результат — экономии всех видов ресурсов (подвижного состава, использование локомотивов и локомотивных бригад, электроэнергии, топлива и т.д.);

— сокращения продолжительности каждого этапа управления (сбор, обработка, передача пользователю информации и т.п.);

— повышения достоверности и полноты информации, используемой для планирования эксплуатационной работы, а также ускорения самого процесса планирования;

— улучшения условий труда оперативно-диспетчерского персонала.

В основу проекта строительства ЕЦДУ в здании ИВЦ дороги был заложен новый технологический процесс, отражающий организационную структуру, информационное и техническое обеспечение ЕЦДУ. В технологическом процессе нашли свое отражение вопросы разграничения функций службы перевозок и отделений дороги, организации поездной и местной работы, анализа графика исполненного движения, организации планирования «окон» и т.д. В ходе внедрения проекта было решено множество технических проблем, от организации рабочих мест диспетчерского аппарата до модернизации центрального вычислительного комплекса, сети передачи данных и систем жизнеобеспечения здания. На рисунке 1 показано типовое автоматизированное рабочее место поездного диспетчера.

С учетом перспектив дальнейшего развития ЕЦДУ было принято решение о строительстве к 2003 г. нового здания дорожного центра управления перевозками (ДЦУП) и о переводе в него диспетчерского аппарата и других подразделений дороги. На обложке этого номера журнала показано новое здание Дорожного центра управления перевозками.

За годы своего существования программно-технический комплекс ЕЦДУ значительно вырос: к 2003 г. здесь работали диспетчеры 4-х отделений дороги; была отработана стыковка автоматизированной системы диспетчерского контроля (ДК) с системой диспетчерской централизации (ДЦ); на 19 участках систем ДК/ДЦ велся автоматизированный график движения поездов. На ЕЦДУ было положено начало внедрению региональных технологий — принималась и обрабатывалась информация с Южно-Уральской дороги, из Казахстана

и Западной Сибири. Парк серверов ЕЦДУ к 2003 году увеличился с 8 до 25, количество рабочих станций — с 30 до 144, количество АРМ выросло с 5 до 64.

Переезд в новое здание ДЦУП поставил перед работниками дороги множество новых и интересных задач, которые в течение 2003 года были успешно решены. Специалистам информационных технологий пришлось решать такие задачи, как перевод рабочего парка серверов, каналов связи и рабочих станций диспетчеров без потерь информации и с минимальным (20—30 минут) перерывом в технологических процессах управления движением поездов.

С целью настройки и опробования нового оборудования и технологий ДЦУП в ИВЦ был развернут полигон, на котором тестировалось оборудование для локальной сети ДЦУП, а также создавалась системная платформа ПТК на базе современных сетевых систем Windows 2000 Active Directory и Exchange 2000, что позволило в кратчайшие сроки после сдачи строителями части помещений ДЦУП произвести установку, монтаж и настройку активного оборудования локальной сети и системных серверов, перенос информации о пользователях ЕЦДУ и тестирование системной платформы в целом. На рисунке 2 показан комплекс помещений диспетчерского аппарата ДЦУП.

С помощью программного продукта Microsoft Project-2000 был разработан проект перевода, позволивший увязать различные задачи, оптимизировать и контролировать сроки их выполнения (рисунок 3).

Вместе с подготовкой рабочих мест диспетчеров специалистами ИВЦ было организовано круглосуточное обслуживание оборудования ЛВС, системных серверов и рабочих станций ДЦУП. Новая смена диспетчеров принимала смену у диспетчеров ЕЦДУ и начинала работу на подготовленных рабочих местах ДЦУП. Затем производился вывоз техники с освободившихся рабочих мест ЕЦДУ, перенастройка и замена рабочих станций диспетчеров в ДЦУП для высвобождения подменных рабочих станций, которые готовились для приема следующего района управления.

В это же время был произведен монтаж и настройка 40-кубовой видеостены ДЦУП — ТАБЛО коллективного пользования (рисунок 4).

Работа требовала согласованных действий большого количества различных специалистов — технологов, электронщиков, кабельщиков, системных инженеров. Перевод диспетчеров по районам управления удалось осуществить в течение полутора месяцев. Работа диспетчеров практически не прерывалась, т.к. в здании ДЦУП устанавливались подменные серверы, на которые устанавливалось соответствующее программное обеспечение, переводились информационные потоки, а затем производилось автоматическое переключение рабочих станций. Далее производился демонтаж серверов в ЕЦДУ, серверы перевозились и устанавливались в ДЦУП. После установки рабочих серверов в ДЦУП переключались каналы связи от ИВЦ в ДЦУП.

В течение 2004 года ДЦУП получил дальнейшее развитие: продолжился перевод служб, переехали диспетчеры Сургутского отделения дороги. В настоящее время в здании ДЦУП работает около 450 рабочих станций. Выросло и количество обслуживаемых систем и задач, внедряются новые системы, такие, как АСУ МС, Урал-ГИД-92, АСУ РБ и другие.

Менее чем за год было разработано более 20 приложений для ТАБЛО коллективного пользования, например:

- поездное положение;
- эксплуатационные показатели работы дороги;
- начисления денежных средств;
- погрузка по дороге, выгрузка по дороге;
- отказы технических средств;
- замечания по отделениям дороги;
- работа сортировочных станций;
- наличие предупреждений (ограничений скорости) и др.

Все приложения ТАБЛО коллективного пользования разрабатывались на основе современных Web-технологий.

В настоящее время ПТК ДЦУП включает в себя:

2 системы видеоконференц-связи;

3 выделенных локальных сети ДЦ, ДК, ОбТН (1500 точек);

4 информационные системы (ЦУП, ТАБЛО, Инфотекс, Урал-ГИД);

10 слоев ТАБЛО с 45 задачами;

20 разработанных Web-приложений (в том числе для ТАБЛО);

38 серверов, ОС — WINDOWS 2000 AD, EXCHANGE 2000;

53 устройства ТКС;

91 АРМ;

98 оперативных серверных приложений (количество установок);

468 рабочих станций;

1000 заявок пользователей (в месяц).

Основу серверного парка ДЦУП составляют серверы Compaq DL580 (2CPU-X1,9ГHz, RAM-3Гb), Compaq DL380 (2CPU-X2,4ГHz, RAM-2Гb), Compaq DL360 (CPU-1266MHz, RAM-512Mb), Compaq DL320 (CPU-1266MHz, RAM-256Mb).

Сложность имеющегося программно-технического комплекса можно оценить с помощью показанной на рисунке 5 схемы информационных потоков ДЦУП.

Одной из основных проблем эксплуатации ПТК ДЦУП на данном этапе развития является отсутствие единой системы мониторинга, что привело к появлению осложнений в системном и техническом обслуживании в связи с необходимостью контроля большого количества баз данных и информационных потоков, неравномерностью загрузки ИТ-ресурсов,



Рисунок 1 — Автоматизированное рабочее место поездного диспетчера



Рисунок 2 — Комплекс помещений диспетчерского аппарата ДЦУП

появлению уязвимых точек в системах безопасности. Отсутствие стандартных для сети железных дорог решений, рассогласование в используемых технологиях приводит к излишним эксплуатационным расходам. В первую очередь это связано с недостаточным развитием системы управления информационными ресурсами (СУИР), одной из причин сложившегося положения можно назвать отсутствие необходимой координации в построении системы в целом по сети железных дорог. На дорогах с помощью системных интеграторов «Техносерв А/С» и «Микротест» параллельно внедряются СУИР Unicenter TNG CA и OpenView HP, а также программы собственной разработки с аналогичными функциями, например АСУ НИС, АСУ ЦСВТ и т.д. В результате отсутствует необходимое количество выделенных лицензий, нет единого методологического подхода, например, на основе технологии Service Level Management, малочисленны группы внедрения и т.д. Решение данного вопроса видится в создании и внедрении типового системного проекта по развитию единой СУИР, объединяющей управление ЦВК распределенными системами и сетевыми ресурсами.

Внедрение комплексной информационной системы управления информационными ресурсами для предприятий дороги позволит уменьшить затраты за счет:

— перехода на электронный документооборот;

— увеличения связности функций;

— устранения дублирования и рационального перераспределения функций;

— непрерывного мониторинга ресурсов и т.д.

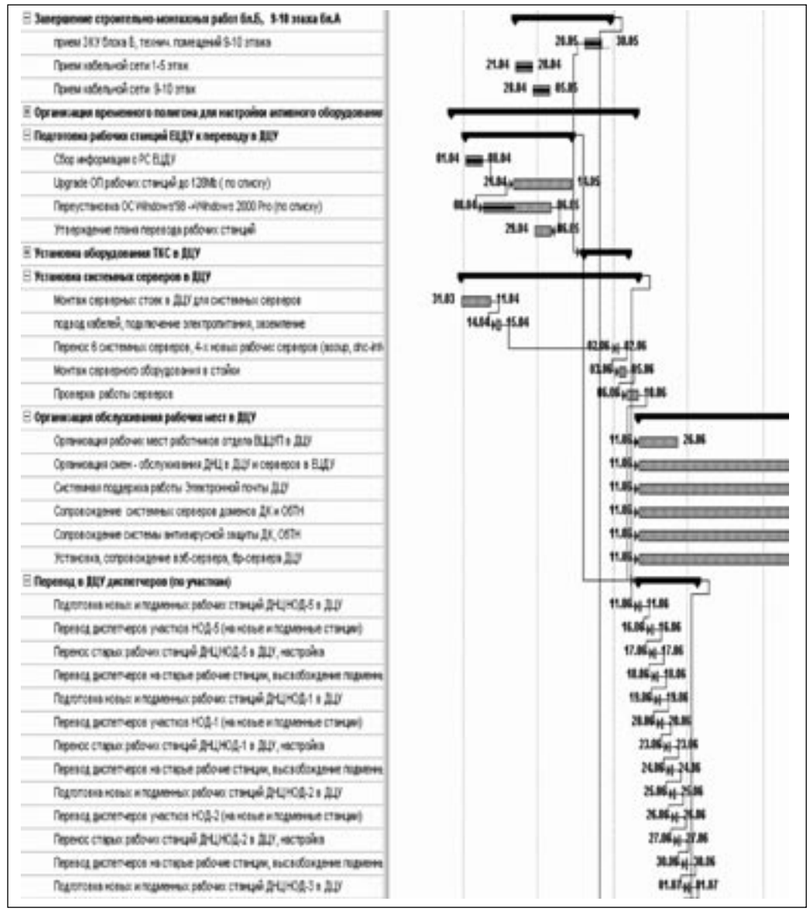


Рисунок 3 — Фрагмент плана перевода рабочих станций ДЦУП



Рисунок 4 — ТАБЛО коллективного пользования

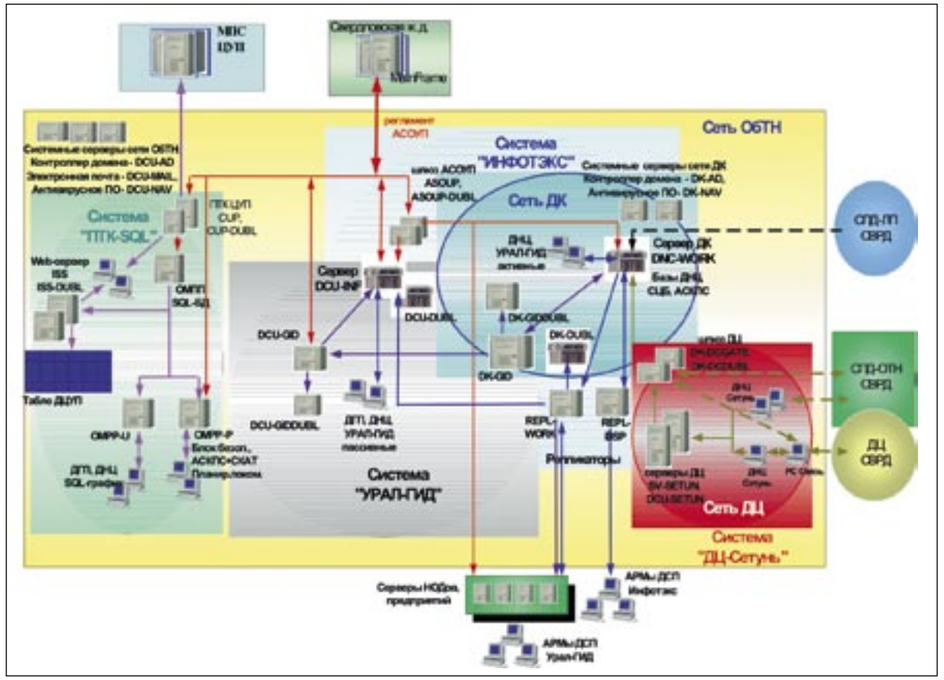


Рисунок 5 — Схема информационных потоков ДЦУП

Фирстов С. В., Логунова Г. В. / ДОРОЖНЫЙ ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗКАМИ —
ОСНОВНОЕ ЗВЕНО В СОЗДАНИИ ЭФФЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕВОЗОЧНЫМ ПРОЦЕССОМ

Возможен значительный эффект от реорганизации организационной структуры за счет сокращения количества структурных подразделений и сотрудников в них при достаточной проработке конкретных стратегических целей, изменении информационной структуры, организации и оптимизации производственных и управленческих процессов. Как правило, недостаточная эффективность от внедрения информационных технологий на предприятиях связана с высокими эксплуатационными расходами по причине низкой централизации информации, узости поставленных задач, параллелизма разработок, отсутствия комплексности решений.

Именно поэтому для решения проблем управления развитием ДЦУП и других предприятий дороги желательно использовать методологию бизнес-инжиниринга с технологией сквозного управления потоками работ (workflow). Потоки работ рассматриваются как совокупность материальных, финансовых, информационных потоков, проходящих по взаимосвязанным подразделениям предприятия независимо от организационной структуры последнего. Используя данную методологию, возможности современных инструментальных (Computer Aided System/Software Engineering) CASE-средств проектирования и анализа бизнес-процессов, можно описать существующие технологии, современные информационные системы управления, проанализировать их эффективность и оптимизировать все производственные процессы в соответствии с международными стандартами качества ISO 9001/2000. С помощью CASE-средств проектирования разрабатываются модели бизнес-процессов для создания системы управления, для чего:

— определяют множество существенных с точки зрения задач исследования факторов внешней среды;

— исследуют и устанавливают взаимосвязи (корреляцию) между ними;

— выделяют факторы, значимые с точки зрения решаемой задачи;

— устанавливают объективные и субъективные ограничения;

— выделяют множество параметров объекта исследования и его системы управления, важных с точки зрения целей и задач исследования;

— устанавливают диапазоны возможных изменений параметров системы управления и объекта управления;

— выделяют множество независимых между собой параметров системы управления;

— используя результаты проведенных исследований, устанавливают и уточняют функции, структуру системы управления, а также разрабатывают аналитическую или имитационную модели объекта исследования;

— полученные результаты используют для разработки рекомендаций по созданию или совершенствованию существующих систем управления;

— определяют множество факторов внешней среды, влияющих либо на эффективность, либо на расход ресурсов, либо на безопасность системы управления;

— выделяют факторы, влияющие на исследуемый параметр системы управления;

— выделяют точки, в которых нужно провести исследования на экстремальные параметры системы управления (максимальные или минимальные значения) и т.д.

При создании архитектуры системы управления ДЦУП с помощью CASE-средств проектирования необходимо учитывать, что построенные модели будут связаны с выбором средств реализации: системной платформы, СУБД, телекоммуникационных средств, технических средств, используемых приложений, подходами к управлению IT, современными методологиями и стандартами в этой области (ITSM, ITIL, MOF, HP ITSM RM, Cobit и др.).

Инфраструктура ДЦУП должна включать в себя не только программные и технические решения, но и вопросы организационного обеспечения в соответствии со стандартом ISO/IEC TR 15504.

В основу формирования инфраструктуры ДЦУП должен быть положен системный подход, позволяющий:

— не упускать из виду ни одну из управленческих задач, без решения которых реализация целей окажется неполной;

— выявить и взаимоувязать применительно к этим задачам всю систему функций, прав и ответственности по вертикали управления;

— исследовать и организационно оформить все связи и отношения по горизонтали управления;

— обеспечить органическое сочетание вертикали и горизонтали управления.

Системная архитектура ДЦУП должна выбираться на этапе технико-экономического обоснования проектов, быть увязана с АСУЖТ, строиться на основе современных международных стандартов ISO/IEC 15288 и др.

С 2000 года на дорогах используются комплексы ОРММ ИСЖТ. В марте 2003 года введен в действие внутриведомственный стандарт СТО 09.60-2003 разработки ВНИИАС МПС РФ «Построение информационно-управляющих систем на основе общеотраслевых информационных ресурсов».

В ноябре 2002 года введен в действие российский стандарт Р 50.1.041-2002, который устанавливает требования к обработке информации и телекоммуникациям в зависимости от целого ряда факторов, включая функции, процессы и задачи, выполняемые организациями.

Для обеспечения работы ДЦУП с существующими и перспективными пользователями в условиях среды открытых систем предлагается использовать базовый набор стандартов (профилей) на все программно-аппаратные компоненты в соответствии с МС ISO/IEC TR 14252-1996. Этот стандарт определяет основные принципы среды открытых систем (СОС). На рисунке 6 показан фрагмент модели СОС, выполненной с помощью CASE-средств проектирования бизнес-процессов.

Построение современной системы управления инфраструктурой ИТ для ДЦУП нужно строить с учетом имеющегося международного опыта. Наиболее известным из успешных решений этой проблемы является использование методик управления ИТ-процессами (Information Technology Infrastructure Library, ITIL). Библиотеку методик ITIL можно посмотреть по www.itil.co.uk/index.html. В дальнейшем методики ITIL были в значительной степени доработаны с целью отразить новейшие достижения в области информационных технологий. Помимо этого, десять наиболее проработанных процессов были сгруппированы по двум категориям, процессам поддержки услуг и процессам предоставления услуг.

Методология ITIL определяет ИТ-инфраструктуру как совокупность используемых в организации компьютеров, сетей, программного обеспечения и телекоммуникаций, на основе которых построены и реализуются ИТ-услуги.

Цель методик — помочь организациям обеспечить качественное предоставление ИТ-услуг в условиях ограниченного бюджета, низкой квалификации персонала, сложной конфигурации систем, быстрых изменений. Это позволит повысить эффективность информационных систем в выполнении требований бизнеса и уменьшить затраты на предоставление сервисов ИТ. Результат использования ITIL — новый подход к управлению поддержкой информационных технологий на основе ITSM (IT Service Management).

В методологии ITIL определены три основные группы процессов:

— предоставление услуг;

— поддержание услуг;

— управление инфраструктурой.

В рамках этих групп можно выделить процессы, связанные с оказанием информационных услуг:

1) управление уровнем обслуживания (Service Level Management).

В задачу этого процесса входит поддержание и улучшение качества информационных услуг;

2) управление производительностью (Capacity Management).

Этот управляющий процесс анализирует текущие и будущие потребности бизнеса в существующей инфраструктуре, с тем чтобы обеспечить своевременное и эффективное удовлетворение этих требований;

3) управление доступностью (Availability Management).

Данный процесс помогает оптимизировать возможности ИТ-инфраструктуры и всего предприятия, с тем чтобы обеспечить доступность услуг в соответствии с требованиями бизнеса;

4) финансовое управление ИТ-услугами (Financial Management for IT Services).

С помощью этого процесса обеспечивается экономическая эффективность потребляемых ИТ-ресурсов, используемых для предоставления услуг бизнесу;

5) управление непрерывностью услуг в области ИТ (IT Service Continuity Management).

Этот управляющий процесс необходим для создания и сопровождения процедур восстановления после отказов в сроки, соответствующие требованиям бизнеса. В него входят:

— управление инцидентами;

— управление проблемами;

— управление изменениями;

— управление обновлением ПО и оборудования;

— управление конфигурированием и наладкой;

— общение с пользователями.

Построение системы управления таким сложным комплексом, как ДЦУП, строится на дороге с учетом вышеизложенных методик. Часть из рассмотренных вопросов решается с помощью организационных мероприятий. Для оперативного круглосуточного контроля и обслуживания программно-технологического комплекса ДЦУП в ИВЦ образован отдел ДЦУП численностью 43 человека, включающий в себя 3 группы: техническую, системную и технологическую. Его основными задачами являются:

— обеспечение надежного и бесперебойного круглосуточного функционирования ПТК ДЦУП, контроль и управление работой всех составляющих элементов комплекса;

— оперативная поддержка работы диспетчеров с АРМами ДЦУП, контроль достоверности информации;

— оперативное устранение возможных системных, программных и технологических сбоев;

— замена вышедшего из строя оборудования;

— сопровождение системного и прикладного программного обеспечения;

— проведение регламентного профилактического обслуживания комплекса, мероприятий по повышению надежности работы комплекса.

Для учета и контроля выполнения заявок пользователей создан электронный Web-журнал, в котором фиксируется подробная информация о заявке: время поступления, характер и причина неисправности, выполненные работы. Вся информация хранится в базе данных, используемой в том числе для выдачи разнообразных отчетов. Серверные приложения в режиме реального времени принимают и обрабатывают информационные потоки, идущие из различных систем (АСОУП, СПД ЛП, ДЦ «Сетунь», АРМ ДСП, др.) в виде сообщений через обменные каталоги очередей.

Под контролем сменного программиста постоянно находится около 40 очередей обменных каталогов, он также следит за регулярным обновлением информации более чем 20 задач ТАБЛО коллективного пользо-

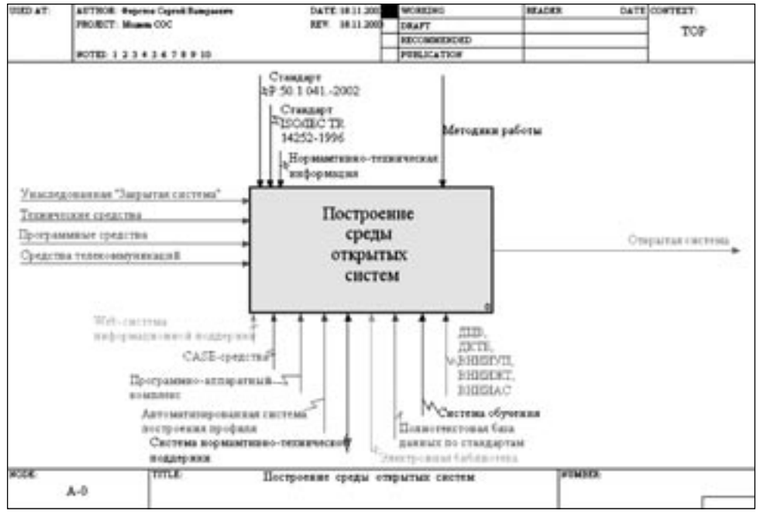


Рисунок 6 — TOP-диаграмма модели построения среды открытых систем

вания и за работой активного оборудования локальных сетей ДЦУП. Поэтому особое внимание уделяется организации его рабочего места (рисунок 7).

Такое большое количество компонентов комплекса невозможно контролировать без средств автоматизации, тем более оперативно реагировать и устранять возникшие неполадки в работе систем. Поэтому специально для сменных работников были разработаны специализированные программы автоматизированного контроля работы серверного программного обеспечения, обновления информации в задачах ТАБЛО, а также контроля очередей обменных каталогов.

Программы контроля автоматически с заданным периодом анализируют лог-файлы приложений и количество файлов в обменных каталогах. При возникновении задержек обработки очередей или сообщении об ошибках в лог-файлах на экран выдаются подробные сообщения о сбойном участке (сервер, приложение, причина сбоя), а также дополнительно подается звуковой сигнал. Благодаря данным программам контроля значительно снизилось количество сбойных ситуаций и время простоя систем за счет своевременных действий сменных программистов по предотвращению и ликвидации сбоев. Для контроля над работой оборудования ЛВС используется программное обеспечение Cisco Works.

На рисунке 8 показан экран программы автоматического слежения за работой приложений.

Обслуживание рабочих станций ДЦУП организовано с учетом новых возможностей, предоставляемых современной системой Windows 2000 AD. Разработаны специализированные групповые политики, позволяющие гибко ограничивать права пользователей на доступ к настройкам рабочих станций, удаленно осуществлять установку программного обеспечения и управлять ресурсами рабочих станций.

Учитывая сложность обслуживаемых систем и оборудования, большое значение уделяется профессиональной подготовке специалистов отдела. Идет постоянная работа по повышению квалификации специалистов — обучение на специализированных курсах Windows 2000, SQL, Cisco, регулярно проводятся техучебы, осваиваются новые технологии, такие как Share Point Portal 2003 и др. На базе ПТК ДЦУП разворачиваются полигоны для изучения возможности внедрения новых технических средств и технологий (терминал-сервер CITRIX, BLADE-серверы).

В целях дальнейшего развития ПТК ДЦУП намечены следующие работы:

— внедрение системы Урал-ГИД на всех участках дороги;

— перевод логической структуры и почтовой системы ДЦУП на системы Windows 2003 AD и Exchange 2003;

— дальнейшее развитие программ автоматизированного контроля работы серверов, систем и серверного ПО для сменных работников;

— развитие системы установки автоматических обновлений и сервис-паков на рабочие станции и серверы ДЦУП (SUS);

— внедрение Share Point Portal 2003;

— разработка и внедрение системы безопасности ДЦУП.



Рисунок 7 — Рабочее место сменного программиста ДЦУП

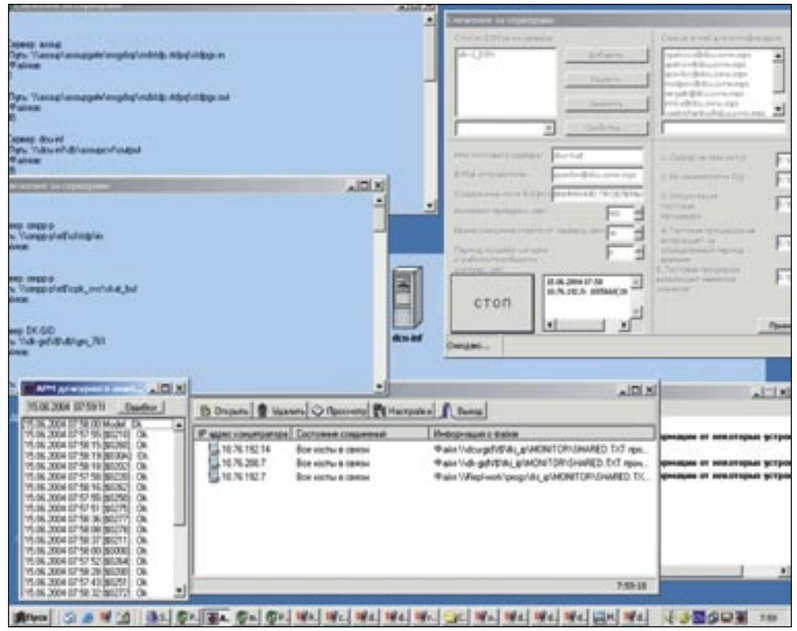


Рисунок 8 — Программа автоматического слежения за работой приложений

Казаков А.Л.

НЕКОТОРЫЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА С УДАРНЫМИ ВОЛНАМИ В ПНЕВМАТИЧЕСКИХ МАГИСТРАЛЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА*



Казаков Александр Леонидович,
к. ф-м. н., УрГУПС

Для эффективной работы железнодорожного транспорта, в частности для надежной эксплуатации подвижного состава, большое значение имеет понимание нестационарных (т.е. существенно меняющихся со временем) процессов, происходящих в тормозной системе поезда. Возникающие там течения газа можно моделировать различными способами.

Давно [1-3] и эффективно используется линейная модель, когда для описания указанных течений газа применяется система телеграфных уравнений, которая является системой линейных дифференциальных уравнений с частными производными.

В настоящее время повышение надежности работы пневматических магистралей, особенно в условиях высокоскоростного движения и при движении большегрузных составов, в том числе соединенных, требует более надежного и адекватного моделирования течений газа в них. Это приводит к тому, что система дифференциальных уравнений с частными производными становится нелинейной. Кроме того, увеличивается количество независимых переменных, т.е. течения зависят не только от времени и расстояния до крана машиниста. Также важен учет возможного возникновения при отпуске в тормозных магистралях слабых ударных волн.

Таким образом, задача установления причин возникновения в течениях газа и дальнейшего характера поведения ударных волн является актуальной, так как непосредственно связана с безопасностью движения поездов. Для решения этой задачи используются методы математической физики, в частности газовой динамики.

Исследуются течения идеального газа с ударными волнами, математическое описание которых приводит к обобщенной задаче Коши с данными на двух поверхностях. Отличие обобщенной задачи Коши от задачи Коши в традиционной постановке состоит в том, что начальные условия для разных неизвестных функций заданы на разных поверхностях: для каждой неизвестной функции ставится свое начальное условие на своей координатной оси.

Впервые обобщение задачи Коши (ЗК) на случай, когда начальные данные для разных функций заданы на разных поверхностях, рассмотрено в работе французского математика Ш. Рикье [4]. Позднее данная задача исследовалась в трудах российских математиков Н.М. Гюнтера [5], С.Л. Соболева [6], Н.А. Леднева [7]. Последнему принадлежит термин «обобщенная задача Коши» (ОЗК). В работе С.П. Баутина [8] детально исследована ОЗК для квазилинейной аналитической системы 2-го порядка. С использованием методики, предложенной в [8], доказана [9] теорема существования и единственности локально-аналитического решения ОЗК для квазилинейной системы 2-го порядка с особенностью вида $u = x$ или $x = u$.

Содержательным приложением теории уравнений с частными производными является решение задач механики сплошной среды, в частности газовой динамики. Фоновые (невозмущенные) течения газа строятся при решении задачи Коши с помощью теоремы Ковалевской [10]. Течения газа с сильными разрывами (ударными волнами) являются решениями соответствующих обобщенных задач Коши. В работах В.М. Тешукова [11-14] исследованы задачи: о распаде произвольного квазиодномерного разрыва, о резком вдвижении в газ непроницаемого поршня, об отражении криволинейной ударной волны от жесткой стенки, о пространственном взаимодействии сильных разрывов в газе. В процессе построения кусочно-аналитических течений газа с ударными волнами решаются конкретные обобщенные задачи Коши с использованием специальной методики. При этом для рассмотренных задач проверены необходимые и достаточные условия существования формального решения. При ограничениях, вызванных физическим смыслом задач, доказана сходимость рядов. В работах [15-16] исследуются течения газа с ударными волнами в окрестности оси или центра симметрии, где система уравнений газовой динамики имеет особенность

*(исследование поддержано РФФИ, проект 04-01-00205).

вида $u = r$ (u — скорость газа, r — расстояние до оси или центра симметрии). В частности, в этих работах построено неавтомодельное аналитическое решение задачи о фокусировке на ось или в центр симметрии волны сжатия, вызванной плавным вдвижением в газ непроницаемого поршня, с последующим отражением с конечной скоростью ударной волны.

В настоящей работе для ОЗК с данными на двух поверхностях доказаны теоремы существования и единственности локально-аналитического решения, которые развивают и обобщают результаты, полученные для данной задачи С.Л. Соболевым [6]. Приведены контрпримеры, которые показывают, что ослабить условия, при которых справедливы утверждения доказанных теорем, невозможно. Условия теорем справедливы для газодинамических задач о резком вдвижении в газ непроницаемого поршня и распаде разрыва в случае конфигурации Б. Ранее решения этих задач построены В.М. Тешуковым [11], [12]. Методика доказательства теорем в данной работе является развитием методик В.М. Тешукова (в части построения формального решения) и С.П. Баутина (в части доказательства сходимости рядов).

Рассматривается квазилинейная система дифференциальных уравнений с частными производными

$$A_1 \vec{U}_x + A_2 \vec{U}_y = \sum_{k=1}^{l} B_k \vec{U}_{zk} + \vec{f}, \qquad (1)$$

для которой заданы граничные условия

$$u_i\big|_{x=0} = \phi_i(y; \vec{z}); \; i = 1; \ldots, p;$$

$$u_i\big|_{y=0} = \phi_j(x; \vec{z}); \; i = p+1; \ldots, m, \; 0 \le p \le m. \qquad (2)$$

Здесь $\vec{U} = \{u_1, \ldots, u_m\}$ — вектор искомых функций;
$x, y, \vec{z} = f\{\vec{z}_1, \ldots, \vec{z}_l\}$ — независимые переменные;

$$B_k = (b_{ij})_k; \; i; j = 1, \ldots, m, \; k = 0, \ldots, l;$$

$$b_{ij;k} = b_{ij;k}(x; y; \vec{z}; \vec{U}); \; \vec{f} = \{f_1, \ldots, f_m\},$$

$$\vec{f} = \vec{f}(x; y; \vec{z}; \vec{U}).$$

Без ограничения общности можем положить $\phi_k = 0$; $k = 1, \ldots, m$.

Вводятся гиперплоскость L_o ($x = 0$; $y = 0$; $\vec{U} = 0$) и точка $O(x = 0; y = 0; \vec{z} = 0; \vec{U} = 0)$. Предполагается, что $det\, A_1(0) \ne 0$; $det\, A_2(0) \ne 0$.

Пусть, сверх того, найдется матрица C_o, обладающая следующим свойством:

$$C_o = C_o(\vec{z}) : C_o^{1}(A_1^{-1}A_2)\big|_{L0} C_o = B,$$

$$B = diag\,\{-\lambda_1, \ldots, -\lambda_m\},$$

т.е. предполагается, что на гиперплоскости L_o матрица C_o приводится к диагональному виду. В случае, когда в задаче (1), (2) только две независимых переменных x, y, условие $B = diag\,\{-\lambda_1, \ldots, -\lambda_m\}$ соответствует гиперболичности системы (1).

Без ограничения общности рассмотрения можно полагать, что выполнены следующие неравенства:

$$0 < |\lambda_k| < 1; \; k = 1, \ldots, m.$$

Все возможные произведения λ_k ; $k = 1, \ldots, m$ по $(m—p)$ штук обозначаются через μ_i; $i = 1, \ldots, s = C_m^{\,p}$: $\mu_i = \prod_{k=1}^{m-p} \lambda$, …, $\mu_s = \prod_{k=p+1}^{m}$.

Предполагается, что выполнены следующие неравенства:

$$|\mu_1| \ge |\mu_2| \ge \ldots \ge |\mu_s|, \; |\mu_k| > 0; \; k = 1, \ldots, s,$$

т.е. μ_i упорядочены по убыванию модуля.

Вводятся последовательности матриц

$$C_n = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12}, & \ldots & c_{1m} \\ c_{21} & c_{22}, & \ldots & c_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{p1} & c_{p2}, & \ldots & c_{pm} \\ \lambda_1^n c_{p+1,1} & \lambda_2^n c_{p+1,2} & \ldots & \lambda_m^n c_{p+1,m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \lambda_1^n c_{m1} & \lambda_2^n{}_{m2} & \ldots & \lambda_m^n c_{mm} \end{pmatrix}$$

с определителями

$$\Delta n = det\, C_n.$$

Теорема 1. Если все входные данные задачи (1), (2) являются аналитическими в некоторой окрестности точки 0, а также выполняются условия:

$$\Delta n \ne 0, \; n = 1,2, \ldots, \qquad (3)$$

$$\lim_{n \to \infty} \frac{\Delta n}{\mu_1^n} \ne 0, \qquad (4)$$

то у задачи (1), (2) существует в некоторой окрестности точки 0 единственное аналитическое решение. При этом условие (3) есть необходимое и достаточное условие существования решения в виде формальных степенных рядов, а условие (4) есть достаточное условие сходимости этих рядов.

Замечание 1. Если $p = 0$ или $p = m$, т.е. все начальные условия поставлены на одной поверхности, то задача (1), (2) является задачей Коши. В этом случае, если $det\, C_o \ne 0$, то условия (3), (4) теоремы 1 выполнены, и она переходит в теорему Ковалевской.

Замечание 2. Так как решение задачи (1), (2) строится в малой окрестности т. 0, условия (3), (4) можно проверять не на гиперповерхности L_o, а в точке 0.

Для доказательства теоремы 1 потребуется нижеследующее вспомогательное утверждение.

Лемма 1.

$$\Delta n = \sum_{k=1}^{s} H_k \mu_k^n, \qquad (5)$$

где $H_k = H_k(\vec{z})$ — функции, вычисляемые по элементам матрицы C_o.

Справедливость леммы 1 вытекает из теоремы Лапласа для определителей.

Схема доказательства теоремы 1 следующая.

С помощью замены неизвестных функций $\vec{U} = C_o \vec{U}'$ задача (1), (2) приводится к виду

$$\vec{U}_x + B\,\vec{U}_y = \sum_{k=1}^{l} B_k \vec{U}_{zk} + \vec{f} \qquad (6)$$

$$\vec{c}_i \vec{U}\big|_{x=0} = 0,\ i = 1, \ldots, p$$

$$\vec{c}_j \vec{U}\big|_{y=0} = 0,\ j = p+1, \ldots, m,\ 0 \le p \le m. \qquad (7)$$

Здесь $\vec{c}_i$, $\vec{c}_j$ — строки матрицы C_o.

С помощью замены независимых переменных $x = x'$; $y = \varepsilon y'$ можно добиться за счет выбора константы того, чтобы были выполнены следующие неравенства:

$$0 < |\lambda_k| < 1;\ k = 1, \ldots, m.$$

Решение задачи (6),(7) строится в виде рядов по степеням x; y

$$u^{(i)} = \sum_{k1,k2=0}^{\infty} \frac{1}{k1!\,k2!}\, u^{(i)}_{k1\,k2}\,(\vec{z})\, x^{k1} y^{k2},$$

$$u^{(i)}_{k1\,k2} = \left.\frac{du^{(i)}}{dx^{k1}\,d\text{н}^{k2}}\right|_{x=0,\,y=0}. \qquad (8)$$

Построение проводится индукцией по суммарному порядку дифференцирования.

Так как $det\, C_0 \neq 0$, то $\vec{U}_0 = \{u^{(1)}_0, \ldots, u^{(m)}_0\} \neq \vec{0}$.

Пусть известны $\vec{U}_0, \ldots, \vec{U}_n = \{u^{(1)}_{0,n}, \ldots, u^{(m)}_{n,0}\}$.

Тогда $\vec{U}_n$+1 определяется из системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ):

$$u^{(i)}_{n+1,0} = \lambda_i\, u^{(i)}_{n,1} + q^{(i)}_{n,0}$$

$$u^{(i)}_{n,1} = \lambda_i\, u^{(i)}_{n-1,2} + q^{(i)}_{n-1,1}$$

$$\ldots$$

$$u^{(i)}_{k+1,n-k} = \lambda_i\, u^{(i)}_{k,n-k+1} + q^{(i)}_{k,n-k}$$

$$u^{(i)}_{n+1,0} = \lambda_i\, u^{(i)}_{n,1} + q^{(i)}_{n,0}$$

$$i = 1, \ldots, m. \qquad (9)$$

Здесь $q_{k,\,n-k}$, $k = 1, \ldots, n$ — результат дифференцирования правой части (6), $\vec{q}_n = \{q_{0,n}, \ldots, q_{n,0}\}$ зависят только от $\vec{U}_0, \ldots, \vec{U}_n$ и не зависят от $\vec{U}_{n+1}$.

Из начальных условий следует, что

$$\vec{c}_i \vec{U}_{0,\,n+1} = 0,\ i = 1, \ldots, p$$

$$\vec{c}_j \vec{U}_{n+1,0} = 0;\ j = p+1, \ldots, m. \qquad (10)$$

Последовательное исключение в (9), (10) неизвестных приводит к следующей СЛАУ:

$$C_{n+1}\, \vec{U}_{0,\,n+1} = \vec{Q}. \qquad (11)$$

Если $\Delta_{n+1} \neq 0$, то СЛАУ (11) крамеровская, а значит, имеет единственное решение. Таким образом, показано, что условия (3) являются необходимыми и достаточными условиями существования формального решения задачи (1), (2) в виде рядов (8).

Сходимость рядов доказывается методом мажорант.

При выполнении условия (4) из (5) следует оценка:

$$M_1 |\mu_1|^n \le |\Delta_n| \ge M_2 |\mu_1|^n,\ M_2 \ge M_1 > 0.$$

Это позволяет построить мажорантную задачу в виде

$$w_t = \frac{M_3}{\left[1 - \frac{mw + t + lz}{\rho}\right]}\,[(t + mw)mw_t + 1 + lmw_z],$$

$$w(0;\ z) = 0. \qquad (12)$$

Если записать задачу (12) в нормальном виде, то по теореме Ковалевской она будет иметь единственное локально-аналитическое решение, мажорирующее нуль. При надлежащем выборе M_3, ρS $w(x + y;\ z_1 + , \ldots + z_l) >> u^{(i)}(x, y;\ \vec{z})$, $i = 1, \ldots, m$.

Этим завершается доказательство теоремы 1.

Замечание 3. Пусть $|\mu_1| = \ldots = |\mu_k|, |\mu_{k+1}| < |\mu_k|$. Тогда условие (4) равносильно условию

$$\sum_{i=1}^{k} H_i\, sign\, \mu_i \neq 0,$$ в частности, если $|\mu_1| > |\mu_2|$,

получается условие $H_1 \neq 0$.

Нижеследующие контрпримеры показывают существенность условия (4).

Контрпример 1. Задача

$$u^{(1)}_x = \lambda\, u^{(1)}_y + \frac{(\lambda u^{(1)}_y + u^{(2)}_x)(u^{(1)} + u^{(2)}) + 1}{1 + (u^{(1)} + u^{(2)})},$$

$$u^{(1)}_x = \lambda\, u^{(1)}_y - \frac{(\lambda u^{(1)}_y + u^{(2)}_x)(u^{(1)} + u^{(2)}) + 1}{1 + (u^{(1)} + u^{(2)})},$$

$$u^{(1)}(0; y) = 0;\ u^{(1)}(x; 0) = 0, \qquad (13)$$

где $0 < \lambda < 1$, имеет решение в виде формальных степенных рядов, которые сходятся только в точке ($x = 0$; $y = 0$).

Контрпример 2. Задача

$$u^{(1)}_x = \lambda\, u^{(1)}_y + f(x, y, u^{(1)}, u^{(2)}),$$

$$u^{(2)}_x = \lambda\, u^{(2)}_y + f(x, y, u^{(1)}, u^{(2)}),$$

$$u^{(1)}(0, y) = 0,\ u^{(2)}(x, 0) = 0, \qquad (14)$$

где $0 < \lambda < 1$, имеет аналитическое решение в окрестности т. O ($x = 0$; $y = 0$; $\vec{U}_0 = 0$), если функции f, g аналитичны в окрестности этой точки.

В задачах (13), (14)

$$\Delta_n = \lambda^n \neq 0,\ \lim_{n \to \infty} \frac{\mu_1^n}{\Delta n} = \lim_{n \to \infty} \lambda^n = 0,$$

т.е. выполнены условия (3), но не выполнены условия (4).

Заменой независимых переменных $x' = x$; $y' = \lambda y$ контрпример 1 сводится к контрпримеру 3.4 из работы [8], а контрпример 2 сводится к теореме 2 из работы [8].

Теорема 1 допускает различные обобщения. Приводится одно из них, которое применяется в газовой динамике. Рассматривается ОЗК следующего вида:

$$\vec{V}_{1x} = X_1 \vec{U}_x + X_2 V_{2y} + A^*_1 \vec{V}_x + A^*_2 \vec{V}_y \sum_{k=1}^{l} D_k \vec{V}_{zk} + \vec{g}$$

$$A_1 \vec{U}_x + A_2 \vec{U}_y = A^*_3 \vec{V}_x + A^*_4 \vec{V}_y + \sum_{k=1}^{l} B_k \vec{V}_{zk} + \vec{f}$$

$$\vec{W}_{1y} = Y_1 \vec{U}_y = Y_2 \vec{W}_{2x} + A^*_5 \vec{V}_x + A^*_6 \vec{V}_y + \sum_{k=1}^{l} E_k \vec{V}_{zk} + \vec{h}. \qquad (15)$$

Здесь

$$\vec{V}_1 = \{v^{(i)}, \ldots, v^{(m1)}\},\ \vec{U}_1 = \{u^{(i)}, \ldots, u^{(m)}\},$$

$$\vec{W}_1 = \{w^{(i)}, \ldots, w^{(m2)}\},\ \vec{V}_2 = \{\vec{V}_1, \vec{U}\},$$

$$\vec{W}_1 = \{\vec{W}_1, \vec{U}\},\ \vec{V}_2 = \{\vec{V}_1, \vec{W}_1, \vec{U}\}$$

$$7\vec{V}_1(0, x, \vec{z}) = 0,\ \vec{u}^{(i)}(0, x, \vec{z}) = 0,\ i = 1, \ldots, p,$$

$$\vec{W}_1(0, x, \vec{z}) = 0,\ \vec{u}^{(i)}(0, x, \vec{z}) = 0,$$

$$i = p+1, \ldots, m. \qquad (16)$$

Теорема 2. Если система (14) является квазилинейной, все входные данные аналитичны в некоторой окрестности т. O ($x = 0$; $y = 0$; $\vec{V} = 0$), $A^*_k\big|_{L_0} = 0$, $k = 1, \ldots, 6$, а для матриц A_1, A_2 выполнены условия (3), (4), то задача (15), (16) имеет единственное локально-аналитическое решение.

Доказательство теоремы 2 в основном повторяет доказательство теоремы 1 и здесь не приводится.

Далее рассматриваются газодинамические приложения теоремы 2.

В работе В.М.Тешукова [12] построение решения задачи о резком вдвижении в газ непроницаемого поршня фактически сводится к решению следующей ОЗК:

$$u^{(1)}_x = (1 - M)\, u^{(1)}_y + q^{(1)},$$

$$u^{(2)}_x = (1 + M)\, u^{(2)}_y + q^{(2)},$$

$$(u^{(1)} - u^{(2)})\big|_{x=0} = 0,\ (-au^{(1)} + u^{(2)})\big|_{y=0} = 0.$$

Здесь

$$0 < M < 1,\ |a| < 1;\ C_o = \begin{pmatrix} 1 & -1 \\ -a & 1 \end{pmatrix},$$

$$\Delta_n = (1 + M)^n - a(1 - M)^n \neq 0.$$

Проверка (4) в виде (5) не требует, чтобы $|\lambda_k| < 1$, поэтому замена переменных не производится. $H_1 = 1$; $\lambda_1 = 1 + M \neq \lambda_2 = 1 - M$, поэтому (4) тоже выполняется. Таким образом, задача о резком вдвижении поршня в газ попадает под действие теоремы 2.

В работе В.М.Тешукова [11] построение решения задачи о распаде разрыва в случае конфигурации Б фактически сводится к решению следующей ОЗК:

$$u^{(1)}_x = (1 - m)\, u^{(1)}_y + q^{(1)},$$

$$u^{(2)}_x = (1 + m)\, u^{(2)}_y + q^{(2)},$$

$$u^{(3)}_x = (1 - M)\, u^{(3)}_y + q^{(3)},$$

$$u^{(4)}_x = (1 + M)\, u^{(4)}_y + q^{(4)},$$

$$(u^{(1)} - hu^{(2)} - Ku^{(4)})\big|_{x=0} = 0,\ (-ku^{(1)} + u^{(3)} - Hu^{(4)})\big|_{x=0} = 0,$$

$$(au^{(1)} - u^{(2)})\big|_{y=0} = 0,\ (-Au^{(3)} + u^{(4)})\big|_{y=0} = 0.$$

Здесь

$$0 < M < 1,\ |a| < 1,\ 0 < m < 1;\ |A| < 1,$$

$$|h| < 1,\ H = -h;\ 0 < k < 1;\ k + K = 1;$$

$$C_o = \begin{pmatrix} 1 & -h & 0 & -K \\ 0 & -k & 1 & -H \\ -a & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -a & 1 \end{pmatrix}$$

$$\Delta_n = -(1 + M)^n (1 + m)^n + ah(1 - m)^n (1 + M)^n +$$

$$+AH(1 - M)^n (1 + m)^n +$$

$$+Aa(kK - hH)(1 - m)^n (1 - M)^n \neq 0.$$

Все λ_i, $i = 1, \ldots, 4$ положительны и различны, $H_1 = -1$, поэтому (4) также выполняется. Таким образом, задача о распаде разрыва в случае конфигурации Б также попадает под действие теоремы 2.

Решение рассмотренной задачи фактически построено в явном виде.

Таким образом, данная методика позволяет с помощью формул моделировать потоки газа в тормозной магистрали. В частности, предметом дальнейших аналитических исследований может быть процесс отпуска. Автор признателен доктору физико-математических наук, профессору С.П. Баутину за полезные обсуждения и ценные замечания, направленные на улучшение данной статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 03-01-00-102).

ЛИТЕРАТУРА

1. Казаринов В.М., Иноземцев В.Г., Ясенцев В.Ф. Теоретические основы проектирования и эксплуатации автотормозов.— М.: Транспорт, 1968.

2. Казаринов В.М. Автотормоза.— М.: Транспорт, 1974.

3. Иноземцев В.Г., Казаринов В.М., Ясенцев В.Ф. Автоматические тормоза. — М.: Транспорт, 1981.

4. Riquier C. Les systemes d'equations aux derivees partielles.— Paris: Gauthier-Villars, 1910.

5. Гюнтер Н.М. О распространении теоремы Коши на любую систему уравнений в частных производных // Математический сборник.— 1925.— Т.32.— С. 367– 447.

6. Соболев С.Л. Об аналитических решениях систем уравнений в частных производных с двумя независимыми переменными // Математический сборник.— 1931.— Т. 38.— Вып. 1–2.— С. 107–147.

7. Леднев Н.А. Новый метод решения дифференциальных уравнений с частными производными // Математический сборник.— 1948.— Вып. 2.— С. 205–266.

8. Баутин С.П. Задача Коши с начальными данными на разных поверхностях для квазилинейной аналитической системы: Дифференциальные уравнения.— 1996.— Т.32.— № 6.— С. 804–813.

9. Баутин С.П., Казаков А.Л. Одна задача Коши с начальными данными на разных поверхностях для системы с особенностью // Известия ВУЗов. Математика.— 1997.— № 10.— С. 13–23.

10. Ковалевская С.В. К теории дифференциальных уравнений с частными производными. Научные труды.— М.: Изд-во АН СССР, 1948.

11. Тешуков В.М. Распад произвольного разрыва на криволинейной поверхности // Прикладная механика и техническая физика.— 1980.— № 2.— С. 126–133.

12. Тешуков В.М. Построение фронта ударной волны в пространственной задаче о поршне // Динамика сплошной среды.— 1978.— Вып. 33.— С. 114–133.

13. Тешуков В.М. О регулярном отражении ударной волны от жесткой стенки // Прикладная математика и механика.— 1982.— Т. 46.— Вып. 2.— С. 225–234.

14. Тешуков В.М. Пространственное взаимодействие сильных разрывов в газе // Прикладная математика и механика.— 1986.— Т.50.— Вып.4.— С. 225–234.

15. Баутин С.П., Казаков А.Л. Некоторые течения газа в окрестности оси или центра симметрии с отраженными ударными волнами // Доклады Академии наук.— 1996.— Т. 347.— Вып. 2.— С. 195–198.

16. Баутин С.П., Казаков А.Л. Течения газа с ударными волнами, расходящимися от оси или центра симметрии с конечной скоростью // Прикладная математика и механика.— 1996.— Т. 60.— Вып. 3.— С. 465–474.

МОНОГРАФИЯ



Р.Н. УРМАНОВ

ТЕОРИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ПРИ КОНЕЧНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЯХ СХЕМ

В настоящей монографии изложены метод аналитического расчета и физические основы электромагнитных процессов при конечных сопротивлениях однофазных однопульсовых, шести- и двенадцатипульсовых мостовых преобразователей на неуправляемых и управляемых полупроводниковых приборах в различных режимах работы. Исследованы особенности динамических процессов при включении и квазистационарных процессов, обусловленных возникновением в токах и напряжениях, кроме синусоидальных, экспоненциальных составляющих. Приведены соотношения и примеры расчета мгновенных, средних, действующих токов и напряжений, углов коммутации тока, внешних характеристик реальных преобразователей и тяговых подстанций железных дорог постоянного тока.

Багин Ю. И., Ильин А. В.

СОСТАВНОЙ КОЛЕСНЫЙ ТРАКТОР С ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ

В последние годы в сельском и лесном хозяйстве большое значение уделяют колесным тракторам и тележкам, выполненным из двух секций.



Багин Юрий Иванович,
д.т.н.



Ильин Александр Васильевич,
инженер, УГТУ-УПИ

В предлагаемой конструкции эти секции соединены системой, которая позволяет им работать в трех плоскостях, что значительно повышает проходимость машины и ее работоспособность. Основной элемент такого трактора — трансмиссия. Наилучшей передачей, питаемой от двигателя тяговой тележки, является гидростатическая система с высокомоментными тяговыми гидромоторами. Эта же система позволяет в широком диапазоне проводить отбор мощности для выполнения ряда работ. Схема такой передачи показана на рисунке 1.

Особенность представленной конструкции состоит в том, что на опытной машине установлены два высокомоментных гидромотора, которые работают по схеме 6х4 или 6х2 (при установке трех гидромоторов возможна работа по варианту 6х6). На технологической тележке высокомоментный гидромотор может полностью отключаться автоматически, что увеличивает маневренность системы.

Общее уравнение движения колесного трактора можно описать формулой Лагранжа

$$\frac{d}{dt}\cdot\frac{\partial T}{\partial \dot{q}}-\frac{\partial T}{\partial q}+\frac{\partial \Pi}{\partial q}=Q\,, \qquad (1)$$

где T — кинетическая энергия системы;

Π — потенциальная энергия системы;

Q — обобщенная сила;

q — обобщенная координата.

В качестве обобщенной координаты примем прямолинейный путь, пройденный трактором.

Кинетическая энергия трактора равна сумме кинетической энергии в его поступательном движении вместе с центром инерции и в относительном движении по отношению к центру инерции, поэтому кинетическая энергия определится так:

$$T=\frac{1}{2}\left(M_{тр}V^2+\sum_n I_k\omega_k^2\right), \qquad (2)$$

где $M_{тр}$ — масса трактора;

V — скорость трактора;

I_k — момент инерции колеса в сборе (обод с тормозным барабаном и шиной);

ω_k — угловая скорость вращения колеса;

n — число колес.

В уравнении (2) значения V и ω_k будут определены как

$$V=\frac{dS}{dt}=\dot{S}\,;\ \omega_k=\frac{V}{r_k}=\frac{\dot{S}}{r_k}\,, \qquad (3)$$

где S — перемещение трактора;

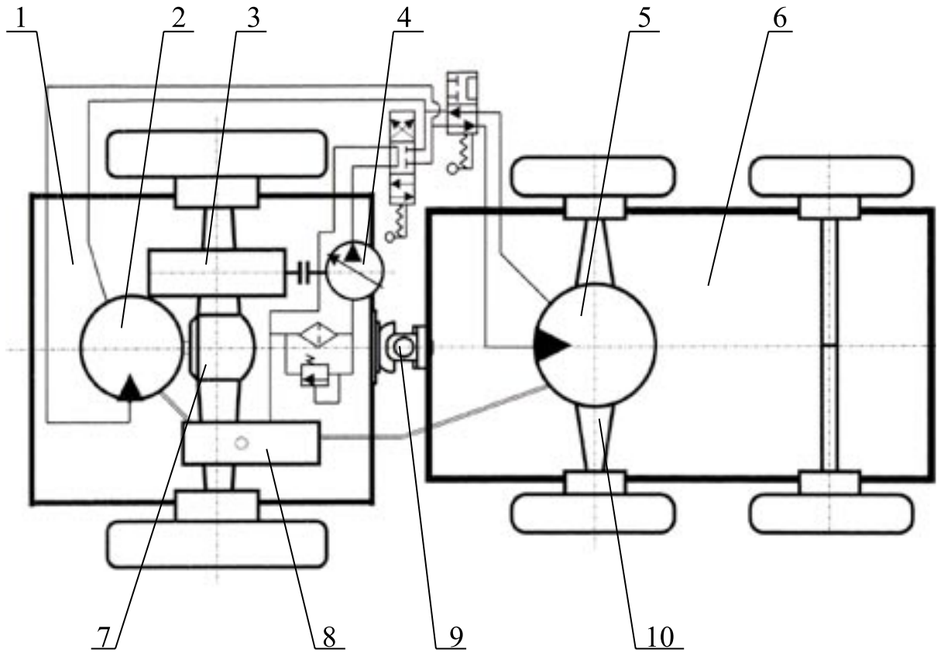
r_k — радиус качения колеса.

Силу сопротивления движению P_ψ в практических расчетах принимают не зависящей от скорости движения, хотя это не соответствует действительности, так как с увеличением скорости движения коэффициент сопротивления движению возрастает.

С учетом выражений (2), (3), силы тяжести и на основании уравнения Лагранжа (1) и после преобразований получим следующее дифференциальное уравнение движения рассматриваемого трактора:

$$\left[M_{тр}+I_{тр}\left(\frac{i_0 i_Г}{r_k}\right)^2\eta_{тр}+\sum_n\frac{I_k}{r_k^2}\right]\frac{dV}{dt}\pm,$$

$$\pm P_{k\,уст}(V)+M_{тр}\,g\left(f\cos\alpha\pm\sin\alpha\right)=0\,, \qquad (4)$$



1 — тяговая тележка; 2 — гидромотор тяговой тележки; 3 — двигатель внутреннего сгорания; 4 — регулируемый насос; 5 — гидромотор технологической тележки; 6 — технологическая тележка; 7 — ведущий мост тяговой тележки; 8 — бак; 9 — карданная система с тремя степенями свободы; 10 — ведущий мост технологической тележки.

Рисунок 1 — Трактор с гидростатической передачей, состоящей из двух тележек

где α — угол подъема или спуска;

g — ускорение свободного падения; g = 9,81 м/с^2;

$P_{к\ уст}$. (V) — касательная сила тяги на ведущих колесах трактора при установившемся движении со скоростью V;

$I_{тр}$ — момент инерции маховика ДВС, вращающихся деталей насоса, гидромотора и главной передачи;

i_0 — передаточное число главной передачи;

i_r — передаточное число регулируемого насоса;

$\eta_{тр}$ — общий КПД трансмиссии;

f — коэффициент сопротивления движению;

$r_к$ — радиус качения колеса;

I_k — момент инерции колеса в сборе (обод с тормозным барабаном и шиной).

При движении по удовлетворительной дороге один мост отключается, и ведущим становится мост на тяговой тележке, в этот момент колесная формула трактора будет 6х2. При попадании машины в плохие дорожные условия в работу вступает второй мост на технологической тележке, таким образом, колесная формула будет 6х4. Эта система может быть автоматизирована и управляться водителем.

Краткая техническая характеристика экспериментального трактора приведена в таблице 1.

Схема гидростатической трансмиссии трактора приведена на рисунке 2. При работе жидкость (масло Д-11) из бака 1 поступает в регулируемый насос 2 и далее в распределитель 5, рукоятка управления которым имеет три положения: движение трактора вперед, нейтральное положение и движение назад. При выборе положения «движение вперед» жидкость поступает к гидромотору 9 и распределителю 11.

Если распределитель 11 подает жидкость к мотору 10, то вся гидросистема работает, совместно обеспечивая в этом режиме максимальную силу тяги, т.е. гидростатическая передача работает в режиме 6х4. При установке золотника гидрораспределителя 11 в закрытое положение гидромотор 10 будет отключен,

и сила тяги на ведущие колеса будет передаваться от гидромотора 9. Таким образом, колесная формула трактора будет 6х2. Для контроля давления в нагнетательной и сливной магистралях на панели приборов установлены манометры 7. Из сливной магистрали рабочая жидкость, пройдя фильтр 3, попадает обратно в бак 1. В случаях, когда фильтр 3 засоряется и не пропускает масло, срабатывает предохранительный клапан 4.

Для защиты элементов гидросистемы от высоких давлений установлены предохранительные клапаны 8, срабатывающие при давлении 20 МПа. Бак 1 соединен с регулируемым насосом 2 с помощью рукава низкого давления 13. Все остальные элементы гидросистемы соединены рукавами высокого давления 12.

Поворот трактора осуществляется переломом рам у тяговой и технологической тележек с помощью дифференциала и тормозной системы. Две тормозные педали, находящиеся на рабочем месте водителя, приводят в действие тормозные механизмы левого и правого колес тяговой тележки. При одновременном нажатии на обе педали происходит затормаживание трактора. Привод тормозной системы гидравлический.

В зависимости от работы машины по схемам 6х4 или 6х2 меняется и ее проходимость. При движении по дороге с твердым покрытием привод ведущих колес осуществляется от одного гидромотора (6х2).

В состав гидростатической передачи трактора входит радиально-поршневой высокомоментный гидромотор (РПГМ), смонтированный на раме технологической тележки. При движении по бездорожью и в труднопроходимых местах этот гидромотор включается и приводит во вращение средний мост трактора.

Одним из основных показателей работы любой машины является ее КПД. Исследования работы радиально-поршневого гидромотора [1] показывают, что его гидравлический КПД достигает 96%.

У радиально-поршневого гидромотора наибольшие механические потери возникают в паре трения «поршень—цилиндр» [2]. Для уменьшения бокового давления поршня на цилиндр и повышения его долговечности и КПД, конструкция гидромотора была выполнена с качающимися цилиндрами (рисунок 3).

Работа сил трения в сопряжении поршень—цилиндр у радиально-поршневых одноходовых гидромоторов с качающимися цилиндрами определяется по формуле:

$$A'_{П} = \frac{2F\varepsilon d_{ов} \cdot f_{ов} \cdot f_{пц}}{2l_k + 2\varepsilon + h_п}\left[(p_н - p_c) + 2(p_c - p_k)\right], \qquad (5)$$

где $A'_{П}$ — работа сил трения между поршнем и качающимся цилиндром;

F — площадь поршня;

ε — эксцентриситет;

$d_{ов}$ — диаметр опор качающегося цилиндра;

$f_{ов}$ — коэффициент трения в сопряжении ось — опорные втулки качающегося цилиндра;

Таблица 1 — Краткая техническая характеристика экспериментального трактора

№ пп	Наименование	Значение
1.	**Двигатель**	
1.1	Максимальная мощность при nе= 3000 об/мин, кВт	5,88
1.2	Максимальный крутящий момент при nе=1800 об/мин, Нм	24
1.3	Максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя, мин$^{-1}$	3200
2.	**Скорость движения трактора**	
2.1	Максимальная (6х2), км/ч	5,6
2.2	Максимальная (6х4), км/ч	3,2
2.3	Минимальная (6х2), км/ч	2
2.4	Минимальная (6х4), км/ч	0,8
3.	**Максимальная сила тяги $P_{k\ мах}$ на колесах трактора**	
3.1	При колесной формуле 6х2, Н	4000
3.2	При колесной формуле 6х4, Н	9500
4.	**Грузоподъемность**, кг	700
5.	**Собственная масса**	
5.1	Тяговой тележки, кг	500
5.2	Технологической тележки, кг	200

$f_{пц}$ — коэффициент трения в сопряжении поршень—цилиндр;

l_k — расстояние от оси опоры качающегося цилиндра до днища поршня при ВМТ;

$h_п$ — высота поршня;

$p_н$ — давление в нагнетательной полости ГМ;

p_c — давление в сливной полости ГМ;

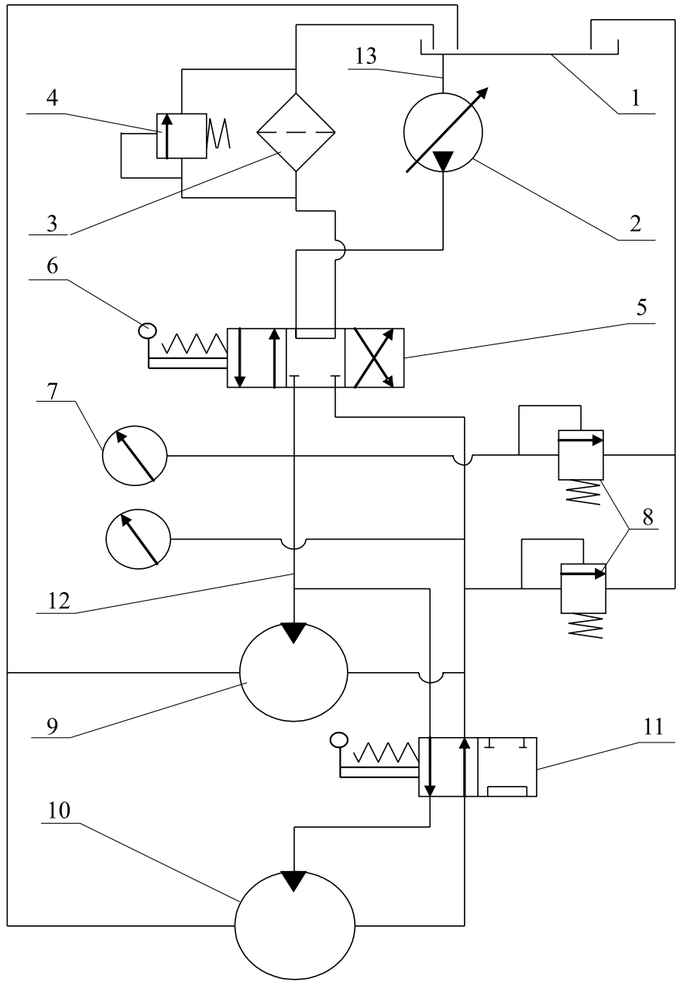
$p_к$ — давление в картере ГМ.

Если сравнивать работу сил трения у гидромоторов с неподвижными цилиндрами (рисунок 4), то в сопряжении поршень—цилиндр она определяется по формуле

$$A_{Гц} = f_{пц}\left(\int_0^S N_н dS + \int_0^S N_c dS\right) =$$

$$= \frac{f_{пц}\pi F\lambda_1\varepsilon}{2}\left[(p_н - p_c) + 2(p_c - p_к)\right], \qquad (6)$$

где $N_н$ — боковая сила, действующая на поршень при рабочем ходе;



1 — бак;
2 — регулируемый насос;
3 — фильтр;
4 — предохранительный клапан фильтра;
5 — распределитель;
6 — рукоятка управления;
7 — манометр;
8 — предохранительный клапан;
9 — мотор тяговой тележки;
10 — мотор технологической тележки;
11— гидрораспределитель;
12— рукав высокого давления;
13— рукав низкого давления.

Рисунок 2 — Схема гидростатического привода и управления трактора

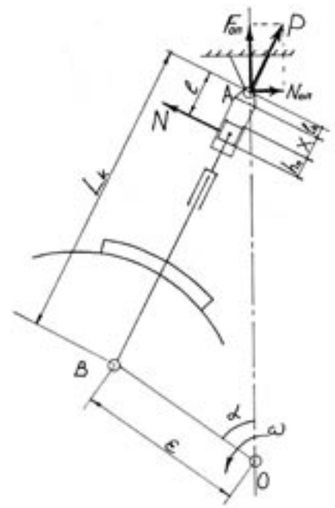
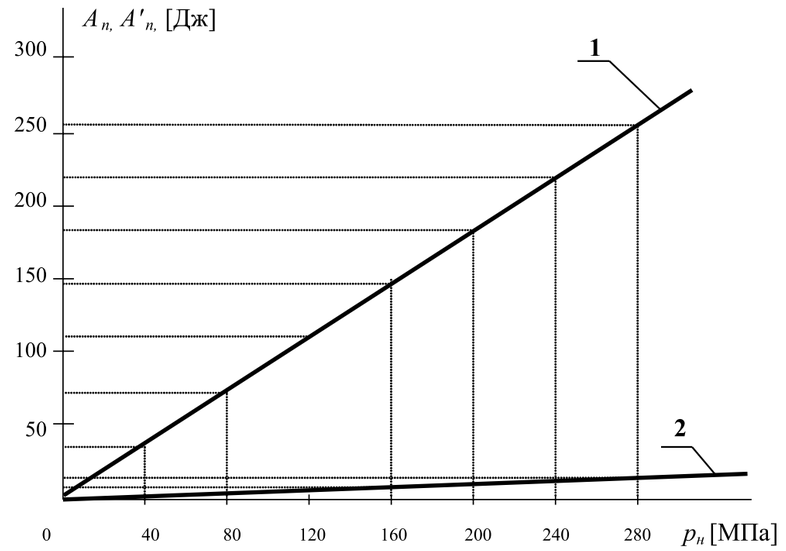


Рисунок 3 — Расчетная схема гидромотора с качающимися цилиндрами



1 — гидромотор с неподвижными цилиндрами;
2 — гидромотор с качающимися цилиндрами.

Рисунок 4 — Работа силы трения в паре поршень — цилиндр, в зависимости от давления в нагнетательной полости

N_c — боковая сила, действующая на поршень при сливе;

S — ход поршня.

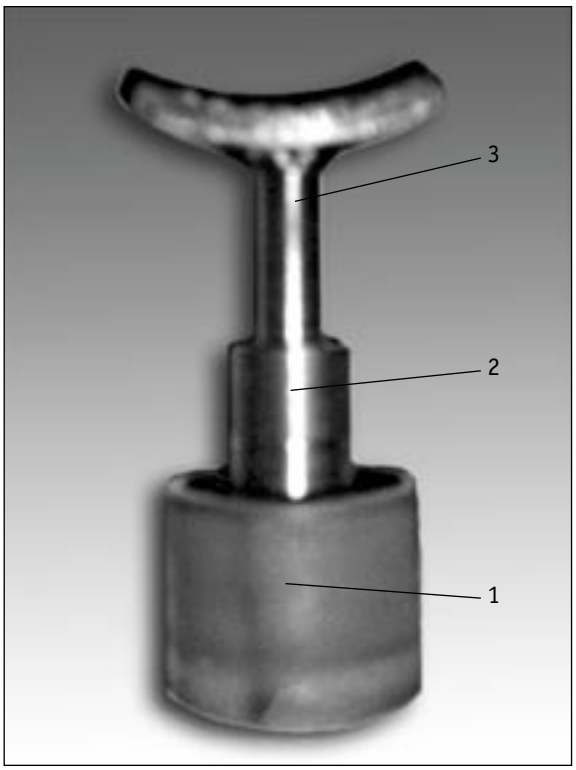
Из рисунка 4 видно, что наиболее рационально применять конструкцию гидромотора с качающимися цилиндрами.

Дальнейшее уменьшение сил трения в паре «поршень—цилиндр» было достигнуто путем покрытия металлического поршня полиамидной смолой П-610Л (авторское свидетельство № 369318). Это позволило уменьшить коэффициент трения между полиамидным покрытием поршня и стенками цилиндров.

Исследования показывают, что при уплотнении зазора между поршнем и цилиндром путем применения полиамидных покрытий снижаются утечки по сравнению с уплотнением с помощью металлических колец. Физические свойства полиамидного покрытия П-610Л позволяют компенсировать износ поршня, так как со временем полиамидное покрытие расширяется на 1–2%, и зазор между поршнем и цилиндром изменяется незначительно.

Следующее оригинальное конструкторское решение, воплощенное в гидромоторе, — это автоматическое отключение и включение среднего моста трактора в процессе движения. В конструкции радиально-поршневого ГМ с телескопическими шатунами было использовано изобретение по авторскому свидетельству № 493558. Конструкция телескопического шатуна показана на рисунке 5.

Основное преимущество такой схемы заключается в уменьшении механических потерь при прокручивании вала гидромотора от приложения к нему внешней силы при нулевой подаче жидкости в цилиндры. Такая конструкция гидромотора позволяет повысить ресурс работы в соединении поршень—цилиндр, так как при движении трактора с отключенным гидромотором поршни находятся (зависают) в крайних положениях и не изнашиваются. При применении телескопических шатунов не требуется применять специальных систем и механизмов для включения и выключения среднего моста трактора на ходу.



1 — поршень; 2 — втулка шатуна; 3 — шатун.

Рисунок 5 — Конструкция телескопического шатуна

Таким образом, новая конструкция РПГМ позволяет существенно снизить потери на трение в паре поршень—цилиндр, что ведет к увеличению КПД гидростатической трансмиссии. Кроме того, была достигнута цель простого, без применения дополнительного оборудования отключения гидромотора технологической тележки при буксировании ее тягачом или движении накатом, а также простого включения гидромотора в режиме буксования трактора.

Литература

1. Багин Ю.И., Боровских Ю.М. Исследования по выбору параметров эксцентриковых СМ с использованием ЭВМ //Труды ССХИ.— Свердловск. — 1973. — Т. 30. — 147 с.

2. Багин Ю.И. Автомобили и тракторы. Конструкция и элементы расчета шасси. -Екатеринбург: УГТУ, 2000. -349 с.

Научно-технический журнал «Транспорт Урала». Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций 27 мая 2004 г. Свидетельство ПИ № 77-18098

Адрес редакции: Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66. Тел. (343) 245-31-88, e-mail: VSay@nis.usurt.ru

Учредитель: Уральский государственный университет путей сообщения.

Редакция журнала не несет ответственности за предоставленные рекламные материалы

©ИД «Лазурь», 2004, фото на обложку, дизайн, верстка. г. Екатеринбург. Тел.: (343) 213-26-19. www.idlazur.ru

Отпечатано в типографии «Лазурь» (г. Реж). Заказ № . Тираж 1000 экз. Подписано в печать .10.04