



# Архитектура взаимодействия при мониторинге жизненного цикла колес



Виктор ДОЕНИН  
Victor V. DOENIN

Константин МОЛЧАНОВ  
Constantine E. MOLCHANOV



*Доенин Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Математическое обеспечение автоматизированных систем управления» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).  
Молчанов Константин Евгеньевич – аспирант кафедры «Математическое обеспечение автоматизированных систем управления» МИИТ.*

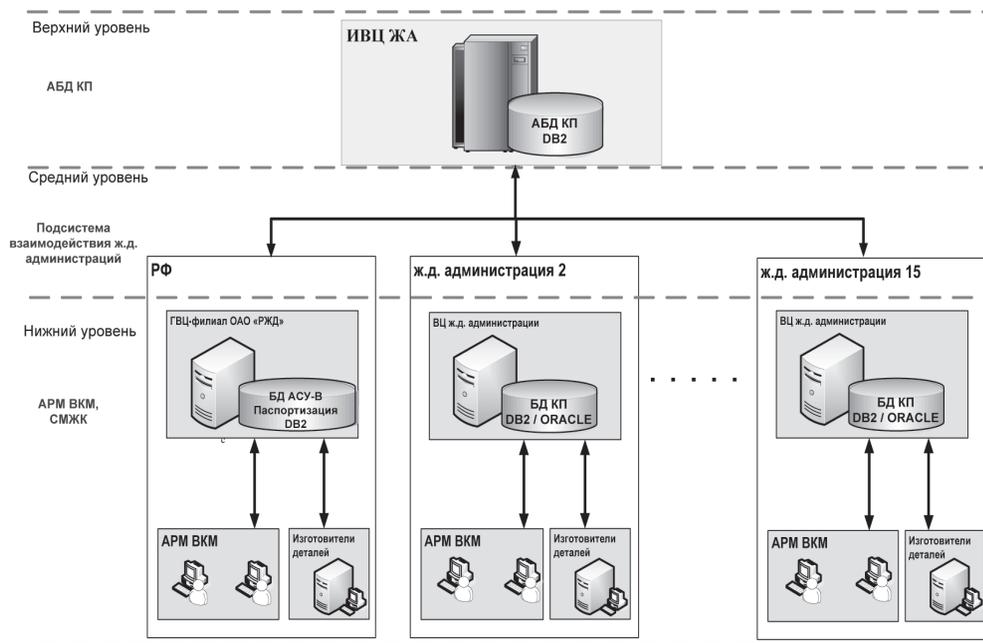
**Методы интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению взаимодействием завода-изготовителя колес ОАО «ВМЗ» с системой мониторинга жизненного цикла колес (СМЖК).**

*Ключевые слова:* железная дорога, колесная пара, безопасность движения, отказ, интеллектуальное управление, взаимодействие с производителем, мониторинг, жизненный цикл, информационный ресурс.

**В** железнодорожной отрасли наблюдается острая нехватка инструментов, которые могли бы позволить руководителям и лицам, принимающим решения, создавать компьютерные модели для анализа и управления процессами, всесторонней интеллектуальной поддержки их деятельности. Такие инструменты помогли бы увидеть многие проблемы еще на стадии их зарождения и вовремя предотвратить связанные с ними риски и последствия.

Одним из основных узлов вагона, отвечающим за безопасность движения, является колесная пара. В последние годы резко увеличилось количество отказов вагонов по ходовым частям и в первую очередь – по колесным парам. В то же время темпы обновления колесного парка замедлились, что связано с их значительной стоимостью, которая имеет ярко выраженную тенденцию к дальнейшему росту.

Сложившаяся ситуация усугубляется недостаточным уровнем контроля и информации о техническом состоянии колес и колесных пар вагонов, отсутствием возможности слежения за их



**Рис. 1. Автоматизированная система мониторинга жизненного цикла колёсных пар грузовых вагонов на пространстве 1520 мм. Общая архитектура.**

дислокацией после постановки под вагон, возвратом в ремонт после исключения из инвентаря, за сохранностью вагона как объекта юридической собственности, за сохранностью комплектации вагона как единого технического изделия от одного планового ремонта до другого.

Более того, колёсные пары не имеют приписки за определённым вагоном и эксплуатируются на всей сети железных дорог стран Содружества независимых государств с выходом на линии дальнего зарубежья.

В ОАО «РЖД» существует система (АСУ-В Паспортизация), способная обеспечить контроль и учёт состояния колёсных пар (два колеса и ось в сборе) при основных событиях их жизненного цикла. Система предназначена для решения задач, связанных с сохранностью комплектации вагонов, розыском утраченных деталей, обеспечением равноценности их замены, контролем выполнения требований к ремонту колёсных пар в интересах собственников подвиж-

ного состава и инфраструктуры ОАО «РЖД» в целом. Информация зарождается на ремонтных и эксплуатационных предприятиях холдинга «РЖД» и отражается в специальных учётных формах, основные из которых – технический паспорт колёсной пары, ее ремонтная карточка, акт на исключение, листок учёта комплектации грузового вагона. Однако эти документы направлены только на учёт базовых событий, происходящих с колёсной парой, без анализа причин их возникновения.

Сказанное позволяет отметить, что использование такой информации ОАО «РЖД» о колёсных парах грузовых вагонов в задачах оценки качества продукции необходимо, но недостаточно, поскольку учёт производится для колёсной пары в целом, а не для отдельно взятого элемента. То есть целесообразно переработать учётную документацию и создать систему мониторинга жизненного цикла элементов колёсных пар с целью введения требований к отдельной фиксации событий по каждому элементу



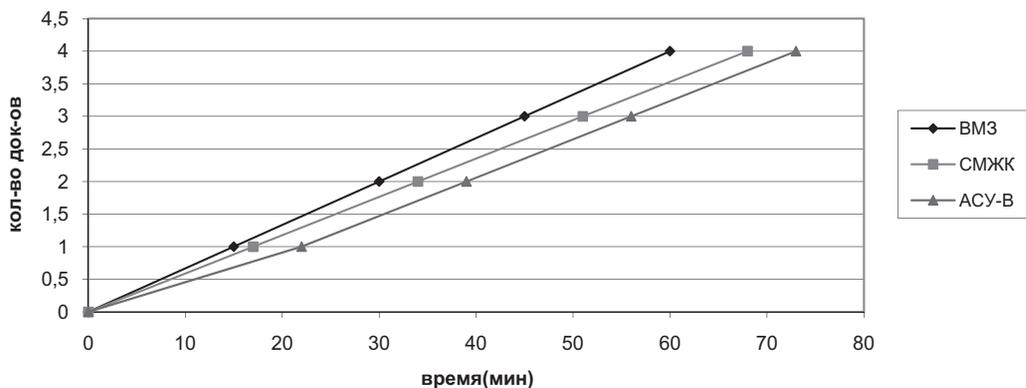


Рис. 2. Процесс взаимодействия при интервале 17 минут.

конструкции (колесо, ось). Общая архитектура автоматизированной системы мониторинга жизненного цикла колесных пар грузовых вагонов на пространстве 1520 мм представлена на рис. 1.

Для успешного функционирования системы все железнодорожные администрации на пространстве 1520 мм должны обеспечить не только учет данных, поступающих с ремонтных и эксплуатационных предприятий, но и обеспечить информационное взаимодействие с заводами-изготовителями деталей. Очевидно, что одним из основополагающих элементов подобной комплексной системы является именно информационное взаимодействие. И здесь целесообразно использовать инструменты, которые позволят руководителям и лицам, принимающим управленческие решения, смоделировать интересующие их процессы при разных режимах работы, исследовать возможные варианты организации системной деятельности, выявляя среди них самые рациональные и устойчивые.

Рассмотрим один из возможных вариантов обеспечения информационного взаимодействия заводов-изготовителей с железнодорожной администрацией на примере ОАО «Выксунский металлургический завод» и ОАО «РЖД».

Реализации методов интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению взаимодействием завода-изготовителя колес ОАО «ВМЗ» с си-

стемой мониторинга жизненного цикла колес (СМЖК) помог прежде всего подход, который основывается на статическом описании процессов управления в виде графических схем, но позволяет анализировать динамику изучаемых процессов.

Графоаналитический подход дал возможность перейти от статического описания процесса управления в виде графической схемы и известной дополнительной информации об этом процессе к аналитической модели, которая разворачивает процесс во времени, то есть речь идет о моделировании процессов управления. Более того, применение такого подхода помогает выявлять противоречия в организации управления на предварительном этапе анализа структуры действий, благодаря чему можно внести некоторые изменения в структуру изучаемого процесса управления еще до его моделирования.

Назовем основные определения, используемые при реализации графоаналитического подхода к описанию и анализу процессов управления.

Графическая схема процесса управления — ориентированный граф, который представляет структуру процесса управления и дополнительную информацию об этом процессе. Схема состоит из узлов и соединяющих элементов.

Узлы графической схемы — элементы графической схемы (вершины графа), реализующие некоторые операции. Узлы

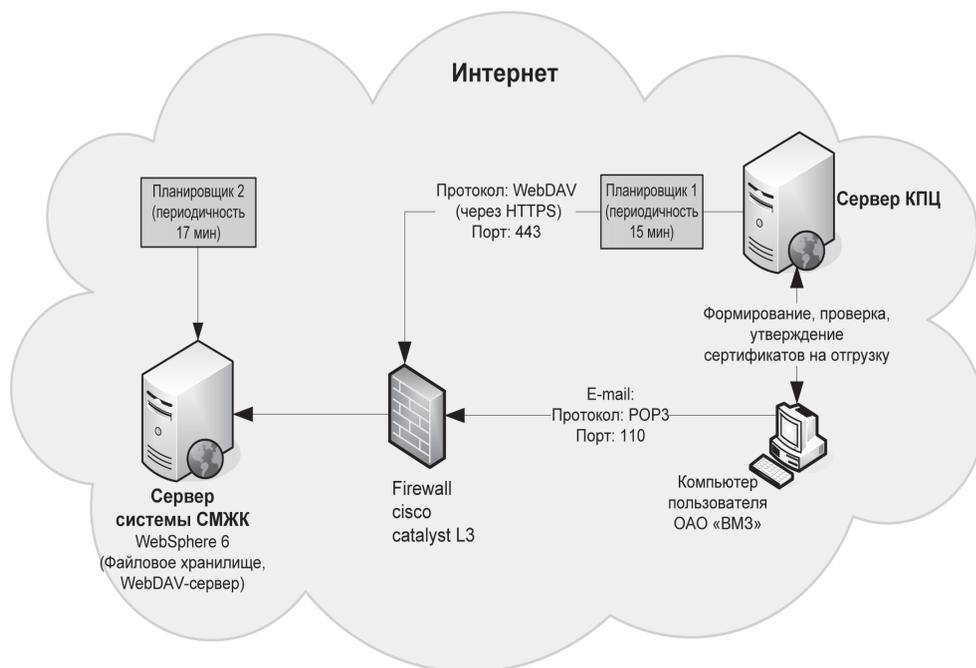


Рис. 3. Механизм работы с электронным паспортом колеса.

могут быть трёх видов: преобразователи, логические и опорные.

Преобразователь – узел графической схемы, реализующий некоторую операцию (элементарную) по преобразованию объектов при реализации процесса управления.

Логические узлы графической схемы реализуют операции по разделению и слиянию потока выполнения процесса управления.

Опорные узлы графической схемы представляют события «начало процесса» и «конец процесса».

Соединяющие элементы графической схемы – направленные связи между узлами графической схемы, показывающие схему развития процесса управления.

Будем называть обобщенной формализованной моделью процесса управления следующей совокупностью:

$$PC = \langle N, PE, BO, BR \rangle,$$

где PC – процесс управления,

N – множество элементов, представленных в графической схеме,

PE – множество направленных (ориентированных) связей между элементами графической схемы,

BO – множество объектов, используемых в модели процесса,

BR – множество правил, описывающих возможные преобразования над объектами BO.

Множеством элементов графической схемы будем считать множество  $N = P \cup S \cup E \cup C = \{P_1, \dots, P_i\} \cup \{S_1, \dots, S_j\} \cup \{E_1, \dots, E_k\} \cup \{C_1, \dots, C_m\}$ , причем P, S, E, C – взаимно не пересекаются, где:

P – множество элементов (преобразователей), входящих в систему и реализующих операции модели процесса,

S – множество элементов, обозначающих начало процесса (как минимум один должен быть),

E – множество элементов, обозначающих конец процесса (как минимум один должен быть),

C – множество логических элементов, реализующих ветвление и слияние потока выполнения процесса.

Рассмотрим каждое множество отдельно. Формализованную модель пре-





образователя  $P_i$ , представляет следующая совокупность:

$$P_i = \langle \text{Descri}, I_i, O_i, \text{Prei}, \text{Effi}, \text{Priori}, t_i \rangle,$$

где  $\text{Descri}$  – описание операции, которую реализует преобразователь  $P_i$ ,

$I_i$  – множество входных объектов,

$O_i$  – множество выходных объектов,

$\text{Prei}$  – множество предусловий (вспомогательных элементов описания, указывающих условия, при которых возможно выполнение операции),

$\text{Effi}$  – множество эффектов (вспомогательных элементов описания, определяющие характер выполненной операции),

$\text{Priori}$  – приоритет выполнения (положительное число или ноль),

$t_i$  – время выполнения.

Множеством элементов, обозначающих начало процесса управления, выступает множество  $S = \{S_1, \dots, S_j\}$ .

Множество элементов, обозначающих конец процесса управления –  $E = \{E_1, \dots, E_k\}$ .

Множество логических элементов графической схемы –  $C = A_j \cup A_s \cup O_j \cup O_s = \{A_{j1}, \dots, A_{ji}\} \cup \{A_{s1}, \dots, A_{sj}\} \cup \{O_{j1}, \dots, O_{jk}\} \cup \{O_{s1}, \dots, O_{sm}\}$ , причем  $A_j, A_s, O_j, O_s$  взаимно не пересекаются, где:

$A_j$  – множество and-joint узлов, обозначающих слияние ветвей процесса,

$A_s$  – множество and-split узлов, обозначающий разделение ветвей процесса,

$O_j$  – множество or-joint узлов, обозначающий слияние ветвей процесса,

$O_s$  – множество or-split узлов, обозначающий разделение ветвей процесса.

После того как мы показали обобщенную формализованную модель процесса управления перейдем к описанию методов определения непротиворечивости организации этих процессов.

Метод определения непротиворечивости организации процессов управления состоит из трех этапов.

1) Проверка схемы процесса управления на структурную непротиворечивость.

Она осуществляется с целью выявить ошибки при построении графической схемы процесса и возможные конфликтные ситуации при выполнении модели процесса. Если графическая схема

структурно противоречива, то при моделировании процесса мы можем получить неприемлемый результат.

2) Проверка схемы процесса управления на логическую непротиворечивость.

Ее цель – выявить противоречия в логике организации потока выполнения модели процесса.

3) Проверка схемы процесса управления на «выполнимость».

Данная проверка проводится для выявления невыполнимых операций (операции, у которых не выполняются предусловия), а также заикливания потока выполнения модели процесса.

Следует отметить, что с помощью описанных методов можно выявить некоторые свойства проектируемого процесса до его моделирования. Несмотря на важность метода проверки графической схемы процесса управления на непротиворечивость, основными методами, представляющими интерес для аналитиков, являются методы проверки полученной модели на устойчивость и сходимости.

Процессы управления представляются в виде графической схемы и дополнительной информации. В зависимости от построенной схемы и введенной аналитиком информации осуществляется переход к путевой структуре, имея в виду при этом путь, по которому проходит объект и который соответствует схеме связей в модели. Кроме того, составляется оператор, содержащий набор операций, реализующих рассматриваемый процесс управления. В соответствии с путевой структурой и введенными пользователем данными строим начальный кадр, который соответствует начальному состоянию процесса. В соответствии с начальным кадром и составленным оператором получаем новый кадр и т. д. Смотрим, как складывается процесс, формируется ли заключительный кадр (дальнейшее развитие процесса невозможно).

Резюмируя сказанное, можно отметить, что суть графоаналитического подхода, на котором базируются методы интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению взаимодействием ОАО «ВМЗ» с системой мониторинга

жизненного цикла колес, состоит в возможности выявлять противоречия в организации процессов и осуществлять переход от статического их описания в виде графических схем к аналитической модели, которая помогает раскрывать динамические характеристики этих процессов.

Методы интеллектуальной поддержки были успешно использованы при проектировании системы мониторинга жизненного цикла колес, в том числе в части взаимодействия с заводом-изготовителем. Среди исходных данных процесса – периодичность работы программного обеспечения (далее – планировщика № 1) ОАО «ВМЗ», которое каждые 15 минут формирует и передает электронные паспорта колес в виде XML-файлов в хранилище на сервере СМЖК, если имеются колеса на отгрузку.

Одной из самых важных задач при проектировании информационного взаимодействия являлся выбор интервала времени работы программного обеспечения (планировщика № 2) на сервере СМЖК, в задачи которого будут входить проверка файлового хранилища на наличие новых XML-файлов, их разбор, проверка на соответствие требованиям, предъявляемым к XML-документам в соответствии с разработанной XSD-схемой, и сохранение полученных данных в базе данных АСУ-В Паспортизация. Это связано с пожеланием заказчика минимизировать потери в актуальности передаваемой информации и оставить возможности к дальнейшему раз-

витию функционала, например, мониторинга доставки колес грузополучателю. Под актуальностью передаваемой информации будем подразумевать своевременность её получения и сохранения в базе данных. Взаимодействие должно осуществляться 24 часа в сутки, 7 дней в неделю в штатном режиме предприятия.

Применение разработанных методов интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению взаимодействием завода-изготовителя с системой мониторинга жизненного цикла колес позволило выявить нужный интервал времени работы планировщика № 2 на сервере СМЖК. В соответствии с предъявляемыми требованиями и результатами, полученными в процессе моделирования, требуемый интервал – 17 минут. На рис. 2 показано, как будет складываться процесс взаимодействия при таком промежутке в работе. Видно, что планировщик № 2 (СМЖК) успеет получить и сохранить данные.

Схема, отражающая механизм взаимодействия ОАО «ВМЗ» с СМЖК при формировании и передаче электронного паспорта колеса представлена на рис. 3.

Применение показанных методов помогает смоделировать рабочий процесс в различных режимах и исследовать возможные варианты организации управления, выявляя среди них не только рациональные и устойчивые, но и сходящиеся к решению с допустимым качеством. Интеллектуальная поддержка принятия решений носит во всех случаях определенно выраженный характер. ●

## ARCHITECTURE OF INTERACTION FOR MONITORING OF WHEELS LIFE CYCLE

**Doenin, Victor V.** – D.Sc. (Tech), professor, head of the department of mathematical support of automated control systems of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

**Molchanov, Constantine E.** – Ph. D. student of the department of mathematical support of automated control systems of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

*The authors study methods of intellectual support of decision making process within interaction between the manufacturer of the wheel pairs and the system of monitoring of the life cycle of the wheels.*

**Key words:** railway, wheel pair, traffic safety, failure, interaction with supplier, intellectual controlling, information resources, life cycle, monitoring.

Координаты авторов (contact information): Доенин В. В. vidovas@mail.ru, Молчанов К. Е. konstantin.molchanov@OCRV.RU

