

# **Планирование и прогноз содержания тягового подвижного состава для обеспечения перевозочного процесса**

Е.М. Захарова, И.К. Минашина, А.К. Такмазьян, Ф.Ф.Пашенко

## **1. Вступление**

Интеллектуализация сферы управления транспортными системами является одной из наиболее востребованных областей развития современной науки. Разработка систем поддержки принятия решений (СППР) для решения различных задач в данном направлении является одной из важнейших задач в данной области.

Основной целью создания данной системы является повышение экономической эффективности деятельности ОАО «РЖД» за счет автоматизации планирования и управления локомотивными парками путем повышения качества, достоверности и систематизации информации для принятия решений. В рамках данной работы решение поставленных задач управления тяговым хозяйством осуществляется с помощью комплекса подсистем, занимающихся комплексной задачей обеспечения (КЗО) перевозочного процесса требуемым количеством тягового подвижного состава (ТПС) и их эффективной работой по планированию содержания локомотивов на установленную потребность на заданный период. Объектом автоматизации являются производственные процессы годового, квартального и месячного планирования по управлению процессами содержания ТПС на примере региональных дирекций Восточного полигона.

## **2. Постановка задачи**

Формальная постановка задачи выглядит следующим образом: необходимо сравнить ожидаемое на плановый период количество содержания ТПС в эксплуатируемом парке с установленным по норме количеством по данной региональной дирекции для каждого вида тяги и грузового вида движения. Если ожидаемое количество ТПС не соответствует норме содержания, алгоритм начинает работу по исправлению данной ситуации за счет перевода ТПС из неэксплуатируемого парка в одно из состояний эксплуатируемого парка и наоборот.

## **3. Мультиагентные системы**

Данная задача реализуемости потока запросов при ограниченных ресурсах характеризуется наличием трудностей, связанных с анализом и прогнозированием динамических характеристик данной системы. Наиболее эффективный метод решения в таком случае обеспечивается методами имитационного моделирования. При этом использование мультиагентных систем, как одного из инструментов данного подхода, позволяет реализовать гибкие механизмы динамического поведения, автономности и адаптации

отдельных компонентов имитационной модели. Основной особенностью использования мультиагентных систем является то, что каждый логический объект сопоставляется с соответствующим ему программным агентом, который в свою очередь представляет интересы данного объекта. Каждый агент стремится достигнуть определенной цели, используя при этом заложенные в него стратегии их достижения, при этом, не противореча основным ограничениям всей системы.

Данная подсистема содержит в себе несколько типов агентов, обеспечивающих достижение решения поставленной задачи планированию содержания локомотивов на установленную потребность на заданный период. Агент верхнего уровня служит интерфейсом между «пользователем» (которым, зачастую, является другой агент) и рабочей средой, состоящей из множества агентов нижнего уровня, взаимодействующих между собой для поиска решения задачи. Кроме того, главный агент координирует работу агентов нижнего уровня, а также служит для них хранилищем общих данных. Агенты регионов предназначены для основных расчетных действий алгоритма: расчет состояния эксплуатируемого парка на начало и на заданный период планирования, решение проблем нехватки или избытка локомотивного парка в каждой из региональных дирекций. Агенты путей и агенты станций предназначены для расчета оптимального маршрута и соответствующего ему кратчайшего времени движения между двумя определенными станциями.

#### **4. Алгоритм решения**

В рамках данной подсистемы автоматизированы следующие процессы управления тяговым хозяйством в составе комплексной задачи «Содержания тягового подвижного состава для обеспечения перевозочного процесса»:

- Годовое планирование содержания локомотивов на установленную потребность;
- Квартальное планирование содержания локомотивов на установленную потребность;
- Месячное планирование содержания локомотивов на установленную потребность;

Все модули планирования данного комплекса подсистем разработаны с целью обеспечения необходимого содержания ТПС в заданном периоде для обеспечения перевозочного процесса. Все расчеты проводятся отдельно для каждой региональной дирекции. При этом парк ТПС разделяется по следующим критериям:

- Вид движения
- Вид тяги – электро- или тепло -
  - ТПС с электрическим видом тяги дополнительно делятся по роду тока

Все расчеты и операции проводятся посекционно. Для решения задачи дислокации планировщик использует внешний модуль для решения транспортной задачи, а также требует на вход подачи информации о графе Восточного полигона с временами движения между соседними станциями.

Общая схема алгоритмов планирования каждой из подсистем комплекса состоит из следующих этапов:

1. Расчет потребного парка ТПС на начало расчетного периода на основе коэффициента неисправных ТПС текущего периода

1.1. Для годового планировщика: на вход планировщика поступает информация о план-задании содержания ТПС *Plan* и коэффициент неисправных *Coefficient* для текущего периода для каждой региональной дирекции определенного вида тяги и движения, а также рода тока с указанием числа секций *N*. Полученные данные передаются соответствующим агентам регионов. Потребный парк ТПС *PlanInventory* на начало расчетного периода вычисляется следующим образом:

$$PlanInventory = Plan * N * (1 + Coefficient)$$

Данный расчет осуществляется параллельно в агентах региональных дирекций.

1.2. На вход планировщика поступает информация о план-задании содержания ТПС *plan* и коэффициент неисправных *coefficient* для текущего периода для каждой региональной дирекции с указанием числа секций *N*, вида тяги и движения, а также рода тока. Полученные данные передаются соответствующим объектам регионов. Потребный парк ТПС *requiredPark* на начало расчетного периода вычисляется следующим образом:

$$requiredPark = plan * N * (1 + coefficient)$$

Данный расчет осуществляется в объектах региональных дирекций для каждого вида тяги и движения, а также рода тока.

1.3. На вход планировщика поступает информация о план-задании содержания ТПС *Plan* и коэффициент неисправных *Coefficient* для текущего периода для каждой региональной дирекции определенного вида тяги и движения, а также рода тока с указанием числа секций *N*. Полученные данные передаются соответствующим агентам регионов. Потребный парк ТПС *PlanInventory* на начало расчетного периода вычисляется следующим образом:

$$PlanInventory = Plan * N * (1 + Coefficient)$$

Данный расчет осуществляется параллельно в агентах региональных дирекций.

2. Расчет фактического парка на начало планируемого периода.

2.1. Для годового планирования: на вход планировщика поступает план закупок ТПС *PlanBought* до конца текущего периода и в расчетном периоде с указанием количества секций *N*, план взятия ТПС в аренду у собственника *FromRent* с указанием количества секций *N*, информация

о максимальной продолжительности работы секций с разбивкой по сериям, список ТПС, передаваемых в аренду третьим лицам *ToRent*, список ТПС на продажу в течение расчетного периода *Sell*, а также пономерной список всех секций со своими параметрами:

Полученные данные передаются соответствующим агентам регионов. Далее расчет осуществляется параллельно в агентах региональных дирекций.

В каждой дирекции вычисляется количество секций с разделением по виду тяги и роду тока *SectionsQuantity*, находящихся на данный момент в эксплуатации. При этом проверяется срок службы секций на предмет списания: если сумма года постройки и максимального срока службы секции равна году планируемого периода такие секции меняют статус "В эксплуатации" на статус "Списание" и не учитываются при вычислении *SectionsQuantity*.

Из списка ТПС, передаваемых в аренду третьим лицам *ToRent* формируется список секций, передаваемых в аренду *ToRentSections*, а из списка ТПС на продажу *Sell* - список секций, предназначенных для продажи, *SellSections*.

Фактический парк ТПС *FactInventory* на начало расчетного периода вычисляется следующим образом:

$$FactInventory = SectionsQuantity + PlanBought * N_{PlanBought} + FromRent * N_{FromRent} - ToRentSections - SellSections$$

2.2. Для квартального планирования: на вход планировщика поступает план закупок ТПС *boughtPlan* на планируемый период, а также на период, предшествующий планируемому кварталу, план взятия ТПС в аренду у собственника *fromRent* в планируемом квартале, данные по плану списания секций *cancellation* на окончание текущего квартала и на планируемый период, а также пономерной список всех секций с указанием информации о текущем статусе каждой секции и об их параметрах:

Полученные данные передаются соответствующим объектам регионов. Далее расчет фактического парка осуществляется в объектах региональных дирекций.

В каждой дирекции вычисляется фактическое количество секций с разделением по виду тяги и роду тока *factLocoPark*, находящихся в эксплуатации в планируемом квартале - *explSections*. При этом проверяется статус каждой секции в парке ТПС:

- если секция планируется к списанию ее статус "exploitation" сменяется на статус "cancellation" и не учитываются при вычислении *factLocoPark*;
- если секция находится в статусе "tr", но максимальный срок пребывания секции в тех. резерве уже истек, статус секции сменяется на статус "exploitation". Такие секции учитываются при вычислении *factLocoPark*;

- если секция планируется к передаче в аренду в планируемом квартале и находится в статусе "rent", то она не учитывается учитываются при вычислении *factLocoPark*;
- если секция находится в тех. резерве в планируемом квартале и находится в статусе "tr", и максимальный срок пребывания секции в тех. резерве еще не истек, то она не учитывается учитываются при вычислении *factLocoPark*;
- если секция находится в консервации в планируемом квартале и находится в статусе "conservation", то она не учитывается учитываются при вычислении *factLocoPark*;
- если секция планируется на продажу в планируемом квартале и находится в статусе "sell", то она не учитывается учитываются при вычислении *factLocoPark*.

Также из общего плана закупок ТПС *boughtPlan* выделяется количество еще не купленных в предшествующем периоде секций, и формируется оставшийся на окончание текущего квартала и на планируемый период план закупок *boughtPlanRemain*.

Фактический парк ТПС *factLocoPark* на начало расчетного периода вычисляется следующим образом:

$$factLocoPark = explSections + boughtPlanRemain + fromRent$$

2.3. Для месячного планирования: на вход планировщика поступает план закупок ТПС *PlanBought* до конца текущего периода и в расчетном периоде с указанием количества секций N, план взятия ТПС в аренду у собственника *FromRent* с указанием количества секций N, информация о максимальной продолжительности работы секций с разбивкой по сериям, список ТПС, передаваемых в аренду третьим лицам *ToRent*, список ТПС на продажу в течение расчетного периода *Sell*, а также пономерной список всех секций со своими параметрами:

Полученные данные передаются соответствующим агентам регионов. Далее расчет осуществляется параллельно в агентах региональных дирекций.

В каждой дирекции вычисляется количество секций с разделением по виду тяги и роду тока *SectionsQuantity*, находящихся на данный момент в эксплуатации. При этом проверяется срок службы секций на предмет списания: если сумма года постройки и максимального срока службы секции равна году планируемого периода, а месяц постройки равен расчетному, то такие секции меняют статус "В эксплуатации" на статус "Списание" и не учитываются при вычислении *SectionsQuantity*.

Из списка ТПС, передаваемых в аренду третьим лицам *ToRent* формируется список секций, передаваемых в аренду *ToRentSections*, а из списка ТПС на продажу *Sell* - список секций, предназначенных для продажи, *SellSections*.

Фактический парк ТПС *FactInventory* на начало расчетного периода вычисляется следующим образом:

$$FactInventory = SectionsQuantity + PlanBought * N_{PlanBought} + FromRent * N_{FromRent} - ToRentSections - SellSections$$

3. Сравнение фактического и потребного парка ТПС
4. Устранение дефицита или профицита парка ТПС  
Для каждого модуля существует свой набор операций:
  - 4.1. Для годового при дефиците: дислокация, проведение ПСС, проведение ПСС с последующей дислокацией, вывод из консервации, вывод из консервации с последующей дислокацией. После выполнения операций по исправлению ситуации недостатка в региональных депо главный агент планировщика смотрит, остались ли при этом региональные дирекции с профицитом. Если да – то весь оставшийся профицит секций переводится в консервацию.
  - 4.2. Для квартального при дефиците: вывод из технического резерва, передислокация, вывод из технического резерва с последующей дислокацией, вывод из консервации, вывод из консервации с последующей дислокацией. После выполнения операций по исправлению ситуации недостатка в региональных депо главный объект планировщика смотрит, остались ли при этом региональные дирекции с профицитом. Если да – то весь оставшийся профицит секций переводится в консервацию.
  - 4.3. Для месячного планирования: при профиците: при дефиците: вывод из технического резерва, передислокация, вывод из технического резерва с последующей дислокацией, вывод из консервации, вывод из консервации с последующей дислокацией. После выполнения операций по исправлению ситуации недостатка в региональных депо главный агент планировщика смотрит, остались ли при этом региональные дирекции с профицитом. Если да – то весь оставшийся профицит секций переводится в технический резерв.
5. Вывод конечного решения
5. **Передислокация ТПС**

Одной из операций по восполнению дефицита в какой-либо региональной дирекции является дислокация избыточных ТПС из других регионов зачастую сводимой к решению транспортной задачи. Формально, ее постановка выглядит следующим образом: необходимо составить оптимальный план перевозок однородного продукта из однородных пунктов наличия в однородные пункты потребления на однородных транспортных средствах (предопределённом количестве) со статичными данными и линейном подходе (это основные условия задачи). Для решения поставленной задачи был использован алгоритм асинхронных параллельных аукционов с учетом однотипности ресурсов, описанный в работах [1, 3], реализованный на языке AgentSpeak Jason[2]. Данный метод определяет потоки, максимизирующие суммарную полезность передислокации однотипных существей – секций локомотивов определённого вида между региональными дирекциями, при заданной

полезности (стоимости) перевозки одной единицы от поставщика  $i$  (*депо с избытком ТПС*) к потребителю  $j$  (*депо с недостатком ТПС*), варьируя потоки.

## 6. Результаты

Для оценки эффективности работы было проведено тестирование на данных Восточного полигона с получением характеристик для качественной оценки построенного комплекса. Для двух региональных дирекций при условии размерности парка около 1000 секций были получены следующие результаты

Период расчета	Дирекции	Год	Квартал	Месяц
Качественные показатели				
	Норма содержания секций	2000035040	608	906
Прогнозное расчетное содержание секций (С учетом списания, закупок и аренды)	2000035041	661	900	645
	2000035040	561	832	844
Прогнозное содержание секций после вмешательства планировщика	2000035041	589	997	546
	2000035040	608	906	814
	2000035041	589	900	645

Результаты тестирования показали, что при использовании данного комплекса подсистем для прогноза и планирования содержания тягового подвижного состава для обеспечения перевозочного процесса на заданный период разница между фактическим и потребными парками или сокращается или фактический парк становится равен потребному.

## 7. Выводы

Данная работа посвящена разработке комплекса подсистем, решающих задачу планирования содержания ТПС для обеспечения перевозочного процесса на заданный период – год, квартал или месяц. Для обеспечения гибких механизмов динамического поведения, автономности и адаптации отдельных компонентов имитационной модели было предложено использование мультиагентного подхода и основанных на нем алгоритмов. Для осуществления планирования и управления процессами содержания ТПС на установленную потребность, на языках Jason и JAVA был реализован

комплекс подсистем, осуществляющий решение задачи КЗО ТПС на установленную потребность на заданный период.

### **Литература**

1. D.P. Bertsekas & D.A.Castanon. "The auction algorithm for the transportation problem." *Annals of Operations Research* 20(1989), pp.67-96.
2. R. H. Bordini, J. F. Hübner, M. Wooldridge. "Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason". Wiley. 2007. 268 pp.