

**Кулагин М.А., Маркевич А.В., Сидоренко В.Г.**

**Влияние человеческого фактора на безопасность  
движения поездов**

**Аннотация:** Научно-технический проект «Цифровая железная дорога», реализуемый ОАО «РЖД», направлен на сокращение влияния «человеческого фактора». Одной из причин, определяющих уровень рисков в работе локомотивных бригад, является соблюдение режима труда и отдыха.

**Ключевые слова:** цифровая экономика, человеческий фактор, безопасность движения, оптимизация

«Человеческий фактор» наряду с состоянием инфраструктуры и подвижного состава является основным фактором, влияющим на безопасность транспортных систем. Факторы, характеризующие локомотивные бригады, можно разбить на следующие группы [1]:

- трудовая дисциплина (опоздания на работу, прогулы, дисциплинарные взыскания и т.п.);
- технологическая дисциплина (нарушения безопасности движения, перерасход топлива или энергии и т.п.);
- технические знания (баллы, получаемые за плановое и неплановое тестирование по различным областям профессиональной деятельности);
- психологические факторы (группа профпригодности);
- социальные факторы (возраст, семейное положение, образование, количество несовершеннолетних детей и т.п.);
- внешние факторы (режима труда и отдыха, погода на улице, различные экстренные ситуации на дороге).

Анализ статистических данных о 1 894 943 поездках, совершенных 9 649 машинистами на Российских железных дорогах за полтора года, показал что, нарушение пропорции между периодами труда и отдыха – резкое увеличение одного и сокращение другого, при этом в обе стороны, приводит к значительному (более чем в два раза) увеличению частоты нарушений в работе машинистов.

Создание и внедрение современных автоматизированных средств планирования способствует повышению качества режима труда и отдыха, а также реализации концепции бережливого

производства. Использование стандартных средств управления персоналом в этом случае невозможно, так как смены сотрудников напрямую зависят не только от формальных требований к условиям труда, сформулированных в первую очередь на базе Трудового кодекса РФ и Положения об особенностях режима рабочего времени и времени отдыха работников метрополитена, но и от графика движения поездов. Данная статья посвящена актуальной задаче автоматизации планирования работы локомотивных бригад в рамках экосистемы автоматизированных средств планирования и управления перевозочным процессом метрополитена. Работы, посвященные математическим аспектам планирования работы локомотивных бригад, имеют длительную историю [2-4].

Результатом планирования функционирования транспортной системы является плановый график движения  $S_M^P$  (ПГД), например, пассажирских поездов метрополитена (ППМ). С  $S_M^P$  тесно взаимосвязаны график оборота  $S_V$  (ГО) электроподвижного состава (ЭПС) и график работы  $S_W$  (ГР) локомотивных бригад (ЛБ) (рисунок с кольцом и тремя шариками).

В ходе автоматизированного построения  $S_M^P$  по возможности учитываются ограничения на минимальную и максимальную продолжительность рабочей смены (РС) ЛБ, соответствие между временами окончания движения составов и начала их движения на следующий день с целью минимизации значений критериев качества  $S_W$  в ходе его последующего построения.

По аналогии с тем, что для  $S_M^P$  вычисляются значения критериев равномерности ввода/снятия составов; интервалов движения, а для  $S_V$  – значения критерия равномерности проведения осмотров и ремонтов ЭПС [5], для  $S_W$  можно ввести критерии равномерности

- длительности РС;
- длительности периодов отдыха;
- интервалов времени между началами РС;

и рассчитывать их как для каждой ЛБ, состава или для  $S_W$  в целом.

Одновременно в качестве критерия качества  $S_W$  можно рассматривать количество ЛБ  $N_W$ , задействованных в его реализации.

Процесс построения  $S_W$  включает в себя несколько подпроцессов:

– формирование  $S_{MW}$  – графика работы основных ЛБ, непосредственно задействованных в реализации  $S_M^P$ ;

– формирование  $S_{HW}$  – графика работы подменных ЛБ, задействованных в реализации  $S_M^P$  во время перерывов в работе основных ЛБ;

– формирование  $S_{LW}$  – графика работы маневровых ЛБ, задействованных в реализации маневровых перемещений составов на станциях.

$S_W$  представляет собой объединение этих трех графиков  $S_W = \{S_{MW} \cup S_{HW} \cup S_{LW}\}$ .

Множества основных  $M_{MW}$ , подменных  $M_{HW}$  и маневровых  $M_{LW}$  ЛБ могут пересекаться, так как одна и та же ЛБ в разные моменты времени может быть задействована в реализации различных действий. Множество ЛБ представляет собой объединение этих трех множеств:  $M_W = \{M_{MW} \cup M_{HW} \cup M_{LW}\}$ .

Авторами предлагается алгоритм построения  $S_{MW}$  (рисунок 1), заключающийся в рекурсивном вызове процедуры добавления в  $S_{MW}$  РС, необходимой для реализации заданного элемента  $S_V e_V$ , начиная с заданного момента времени  $\tau$  при заданной последовательности РС, реализующих предыдущие и текущий элементы ГО до момента времени  $\tau$ , т.е. при заданном текущем составе  $M_{MW}$  и  $S_{MW}$ .

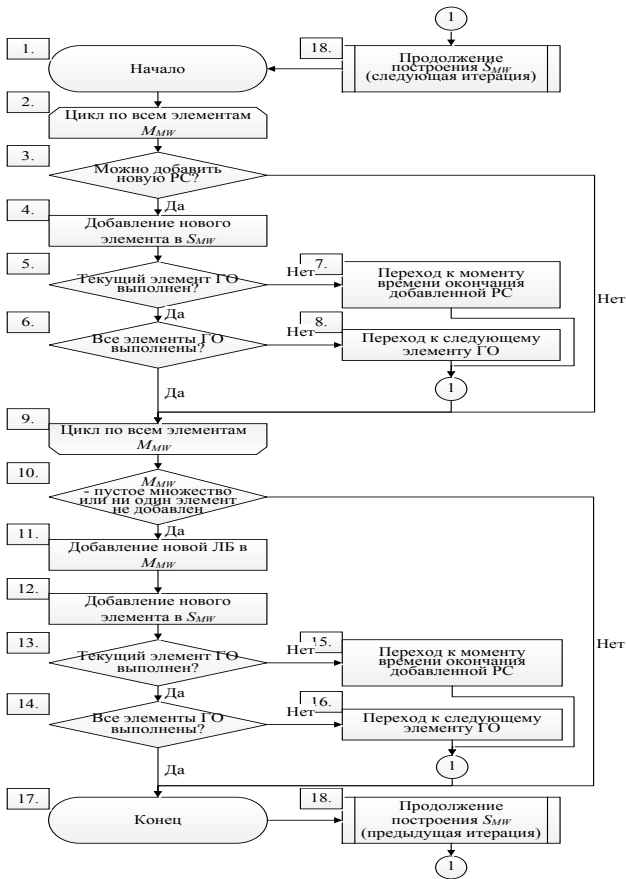


Рис.1 – Схема алгоритма построения дерева

При первом вызове этой процедуры в качестве фактических значений ее параметров выступают:

- первый элемент  $S_V$ ;
- время начала первого элемента  $S_V$ ;
- пустое множество  $M_{MW} = \emptyset$ ;
- пустое множество  $S_{MW} = \emptyset$ .

В ходе выполнения процедуры в цикле для всех элементов множества  $M_{MW}$  проверяется условие возможности добавления РС (блоки 2–9), реализующей заданный  $e_V$  с момента времени  $\tau$ , в

соответствии с правилами организации режима труда и отдыха. Это условие (блок 3) учитывает

- чередование работы разных ЛБ;
- чередование периодов работы и отдыха одной ЛБ в течение суток, одной и двух недель с учетом работы в ночное время;
- минимальную и максимальную продолжительности РС и периодов отдыха в течение суток, одной и двух недель с учетом работы в ночное время;
- назначение перерыва для отдыха и питания во время РС.

Если это условие выполняется для текущего элемента множества  $M_{MW}$  (блок 3), то происходит:

- добавление РС для текущего элемента в множество  $S_{MW}$  (блок 4);

– если заданный  $e_V$  считается выполненным (блок 5), то в качестве заданного  $e_V$  начинает рассматриваться следующий элемент  $S_V$  (блок 8), а в качестве значения заданного момента времени  $\tau$  рассматривается его начало. Если все элементы  $S_V$  просмотрены (блок 6), то алгоритм заканчивает свою работу (блок 9). Если заданный  $e_V$  не считается выполненным, то в качестве значения заданного момента времени  $\tau$  рассматривается время окончания ведения текущей ЛБ состава в рамках добавленной РС (блок 7);

– вызов процедуры добавления в  $S_{MW}$  РС с новыми параметрами (блок 18). Блок разбит на две части с целью обозначения дальнейшего пути выполнения действий в процессе возврата из рекурсивно вызванных процедур (переход от блока 17).

Если условие возможности добавления РС, реализующей заданный  $e_V$  с момента времени  $\tau$ , для текущего элемента множества  $M_{MW}$  не выполняется, то происходит переход к следующему элементу множества  $M_{MW}$  (цикл 2-9).

Если ни для одного элемента множества  $M_{MW}$  не выполнено условие возможности добавления еще одной РС, или множество  $M_{MW}$  пустое (блок 10), то происходит добавление в множество  $M_{MW}$  нового элемента (блок 11), для которого условие возможности добавления РС (блок 12), реализующей заданный  $e_V$  с момента времени  $\tau$  и проверяется и реализуется уже описанный выше

алгоритм (блоки 13-16 аналогичны блокам 5-8). В блоке 17 алгоритм завершает свою работу.

Представленный в публикации алгоритм можно рассматривать, как вариант реализации «жадного» алгоритма. Его результаты могут составлять начальное множество вариантов построения  $S_{MW}$  (начальную популяцию в случае применения генетических алгоритмов), и после его реализации может быть выполнен алгоритм оптимизации.

#### Литература:

1. *Кулагин М. А.* Квалификация машинистов как фактор повышения надёжности работы электроподвижного состава / М. А. Кулагин, В. Г. Сидоренко // Наука и техника транспорта. –2018. – № 4. – С. 70-76.
2. *Бархатный В. Д.* Рациональное использование технических средств и персонала в условиях внутрисуточной неравномерности и спада перевозок / В. Д. Бархатный, Ю. С. Генералов, Д. В. Смирнов // Вестник ВНИИЖТ. –1997. – №4. – С. 3-7.
3. *Пазойский Ю. О.* Автоматизация составления графика работы локомотивных бригад в пригородном сообщении / Ю. О. Пазойский // Вестник ВНИИЖТ. – 1996. – №4. – С. 33-39.
4. *Маркевич А. В.* Автоматизация управления распределением трудовых ресурсов с использованием генетического алгоритма / А. В. Маркевич, В. Г. Сидоренко // Информатизация образования и науки. – 2019. – № 3. – С. 36-49.