

6 Решение коллегии Минприроды РБ №10/3 "О соблюдении природоохранного законодательства на гальванопроизводствах в части выбросов, сбросов и обращении с отходами" от 25.09.2002 г.

7 Разработка математической модели экологических характеристик дизельного двигателя как источника загрязнения атмосферного воздуха: Отчет о НИР / Белорусский государственный университет транспорта; Рук. темы – В.М. Овчинников. №19981441. – Гомель, 1998. – 70 с.

8 Исследование состава отработавших газов тепловозов Белорусской железной дороги: Отчет о НИР / Белорусский

государственный университет транспорта; Рук. темы – В.М. Овчинников. №19981449. – Гомель, 1998. – 81 с.

9 Овчинников В. М., Френкель С. Я., Халиманчик В. А., Скрежендевский В. В., Самодум Ю. Г. Снижение приземных концентраций вредных веществ при реостатных испытаниях тепловозов // Вестник БелГУТа. – 2001. – № 1. – С. 21 – 24.

10 Овчинников В. М., Халиманчик В. А., Скрежендевский В. В., Тимофеев С. Р., Теслюк Т. В. Результаты научно-практической деятельности по охране окружающей среды на предприятиях Белорусской железной дороге // Вестник БелГУТа. – 2001. – № 2. – С. 74 – 80.

Получено 10.11.2003

V. V. Hvalko, V. M. Ovchinnikov. Condition and Development of the Work on Power Saving and Ecological Safety on the Belarusian Rail Wais.

The main problems on energy saving and ecological security on the Belarusian railways and ways of their solving by the ecological workers and the workers of the Belarusian State Transport University are given.

Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. 2003. № 2(7)

УДК 629.42

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ ИМЕННЫХ ГРАФИКОВ РАБОТЫ И ОТДЫХА ЛОКОМОТИВНЫХ БРИГАД

В. И. НЕКРАШЕВИЧ, доктор технических наук; В. Н. КОВАЛЕВ, кандидат технических наук; В. Л. САЛЬЧЕНКО, кандидат технических наук; ВНИИАС, г. Москва

По результатам проведенных исследований на Российских железных дорогах разработана новая методика составления именных графиков работы и отдыха локомотивных бригад. В её основу положен принцип закрепления именных ниток графика движения поездов, что показало высокую эффективность при использовании данного метода на сверх длинных плечах обслуживания (свыше 7000 км: туда и обратно).

Именной график представляет собой план работы и отдыха локомотивных бригад, составляемый в основном на месяц. Его применение значительно улучшает условия труда и отдыха работников локомотивных бригад, которые получают возможность планировать свое свободное время, по крайней мере, на месяц вперед. Одновременно за счет определенности времени явки на работу увеличивается их фактический домашний отдых. Именной график дает возможность более равномерно распределять между бригадами месячную и еженедельную выработку рабочих часов, ночные, "трудные" и невыгодные поездки. Все это способствует укреплению безопасности движения поездов. Вместе с тем анализ показывает, что если при составлении именного графика не учесть колебание временных характеристик работы локомотивных бригад (времени отправления поездов, времени их следования по участку и др.), то даже при строгом его соблюдении возможны нарушения требований "Особенностей регулирования рабочего времени и времени отдыха отдельных категорий работников железнодорожного транспорта и метрополитенов, непосредственно связанных с обеспечением безопасности движения поездов и обслуживанием пассажиров", что, в конечном итоге,

приводит к "срыву" именного графика. В основном именной график нарушается из-за появления лишних ночных поездок подряд, несоблюдения минимальной продолжительности домашнего отдыха после очередной поездки, минимальной продолжительности выходного дня и др. Рассмотрим это на конкретных примерах.

Пример 1. Допустим, что согласно составленному именному графику после двух ночных поездок подряд и дневного отдыха бригады в пункте ее приписки следует дневная поездка с окончанием работы, например, в пункте оборота в 23 ч 30 мин. При реализации именного графика возможно отклонение фактического времени следования поезда от нормативного, допустим до +2 ч. Опоздание поезда даже на 1 ч приводит к тому, что эта дневная поездка закончится в 0 ч 30 мин, т. е. станет ночной и третьей подряд, что недопустимо.

Пример 2. Пусть какая-то пара поездок в именном графике, построенном по нормативным данным без учета их колеблемости, разделена домашним отдыхом продолжительностью 18 ч, и какая-нибудь пара поездок разделена выходным днем продолжительностью 43 ч, а возможные отклонения фактического времени работы бригады за поездку (работа туда и обратно) от нормативного

достигают 4 ч. Допустим, что при реализации названного именного графика время следования поездов увеличится на 3 ч 30 мин. Тогда произойдет следующее: домашний отдых может уменьшиться с 18 ч до 14 ч 30 мин, что недопустимо (минимально допустимая норма – 16 ч); продолжительность выходного дня может сократиться при этом с 43 ч до 39 ч 30 мин, что также недопустимо (минимально допустимая продолжительность выходного дня – 42 ч).

Из этого примера следует, что минимальный домашний отдых после очередной поездки и минимальная продолжительность выходного дня при составлении именных графиков также нуждаются в защите от колебаний продолжительности поездок.

В связи с отправлением с сортировочных и участковых станций грузовых поездов либо по равноправному графику (ГДРР), либо по готовности составов (ОПГС) отправление их стабильно не в определенные запланированные моменты времени, а в некоторых временных интервалах. Поэтому при безвызывной системе явки локомотивной бригады (ЛБ) на работу (а также для построения именного графика работы локомотивных бригад грузового движения) вместо учета отправления поездов из пункта приписки бригад и пунктов их оборота достаточно определять постоянство поездок бригад лишь из пунктов их приписки, тоже в некоторых, так называемых гарантийных интервалах времени.

Гарантийный интервал – это минимальный промежуток времени, удовлетворяющий заданному ограничению по продолжительности, в котором с заранее заданной высокой вероятностью ожидается отправление со станций (пункта приписки бригад) на определенный участок или группу участков, рассматриваемую как один участок хотя бы одного поезда, локомотива резервом или бригады в качестве "пассажира". В таких условиях отправление бригады планируется на начало гарантийного интервала (ГИ).

В связи с этим при составлении именных графиков работы локомотивных бригад помимо соблюдения требований трудового законодательства следует предусматривать защиту именного графика по ряду параметров, что обеспечит его устойчивое функционирование с учетом реальных условий его реализации.

В общем виде задача рационализации управления организацией работы локомотивных бригад по именованным графикам формулируется следующим образом. Имеется пункт приписки локомотивных бригад, обслуживающих один или несколько участков их работы; заданы размеры движения по участкам работы локомотивных бригад, категория участка (работа бригад с отдыхом в пункте оборота или без предоставления отдыха), система езды

(сменная, прикрепленная), схема работы бригад (плечевая, накладная, петлевая, круговая), вид движения (грузовое, пассажирское, пригородное), кратность тяги, технология пропуска грузовых поездов (ОПГС, ГДРР и др.), принцип обслуживания бригадами различных видов движения (раздельное, смешанное). Требуется выбрать такой вариант именного графика работы локомотивных бригад, при котором достигается выполнение всех требований и ограничений к нему, учет местных особенностей работы на заданном полигоне и защита его от колебаний продолжительности поездок при условии наилучшего обеспечения поездов локомотивными бригадами.

Ограничения и цели к именованному графику работы локомотивных бригад вытекают из требований действующих особенностей, приказов и распоряжений МПС, а также из практики трудовых коллективов. Составляя именной график, необходимо учитывать следующие ограничения: каждая реальная бригада не должна работать более двух ночей подряд; расчетный явочный контингент не должен превышать установленной величины: продолжительность домашнего отдыха должна быть не менее 16 ч, а расчетное число выходных (продолжительностью не менее 42 ч) должно соответствовать их числу в плановом месяце по календарю.

При этом предусматривается решение следующих задач:

- 1) достижение равномерного распределения рабочих часов между всеми включаемыми в именной график локомотивными бригадами;
- 2) равномерное распределение выходных дней для каждой локомотивной бригады;
- 3) распределение работы каждой бригады на всех участках пропорционально размерам движения на них (решение этой задачи направлено на укрепление практических навыков локомотивных бригад по вождению поездов на всех участках, обслуживаемых бригадами данного пункта приписки);
- 4) достижение минимума случаев работы по две ночи подряд у одной и той же бригады;
- 5) защита именного графика работы локомотивных бригад от колебаний продолжительности поездок (резервирование именного графика).

В качестве критерия оценки именного графика работы бригад принимается сумма отклонений моментов готовности бригад к работе от моментов их явки в пункте приписки за период именного графика (ТИГ). Значение этого критерия необходимо минимизировать. Критерий объективно оценивает следование первой (главной) задаче именного графика, так как установленное для планового месяца соотношение между рабочим временем и временем отдыха бригады реализуется только тогда, когда моменты готовности к работе в последующие поездки совпадают с моментами явки в эти

поездки. Минимизация значения этого критерия способствует также выполнению ограничения именного графика по явочному контингенту бригад.

Вторая, третья и четвертая задачи решаются непосредственно в процессе построения вариантов графика работы локомотивных бригад.

Устойчивость работы локомотивных бригад по именованным графикам без нарушения условий трудового законодательства достигается за счет их резервирования (задача № 5) путем формирования гарантийных интервалов и ночной поездки с учетом колебаний ее продолжительности, а также защиты от возможного появления третьей подряд ночной поездки и нарушения продолжительности домашнего отдыха и выходных дней. Прогноз максимального отклонения фактической продолжительности поездки от нормативной осуществляется при заранее заданной высокой вероятности такого прогноза ($P \geq 0,98$). Такому уровню вероятности соответствуют максимальные отклонения, равные двум среднеквадратичным отклонениям фактического времени работы за поездку от нормативного.

Разработка именного графика сводится к составлению плана выдач бригад из пункта приписки, т. е. последовательности обслуживания всех поездов одной условной бригадой и на ее основе – развернутого графика работы локомотивных бригад.

Длина этой последовательности показывает, за сколько дней одна локомотивная бригада обслужит все поезда, т. е. какой явочный контингент бригад (Бя) на планируемый период необходим для ежедневного обслуживания поездов.

Вышеизложенное позволяет рассматривать задачу по составлению именного графика работы локомотивных бригад как многоэкстремальную задачу целочисленного программирования, известную под названием "задачи коммивояжера". В связи с этим математическая постановка задачи построения именного графика работы локомотивных бригад трансформируется в следующую форму.

$$C_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{если } \tau_{\Gamma_i} = \tau_{\Gamma_j}; \\ \infty, & \text{если } i = j; \\ \min\{(T_{\text{иг}} - \tau_{\Gamma_i} + \tau_{\Gamma_j}), (\tau_{\Gamma_i} - \tau_{\Gamma_j}) \mid (\tau_{\Gamma_i} > \tau_{\Gamma_j}) \wedge (\tau_{\Gamma_i} - \tau_{\Gamma_j} \leq T_i^H - T_i^M)\}; \\ \min\{(\tau_{\Gamma_j} - \tau_{\Gamma_i}), (T_{\text{иг}} - \tau_{\Gamma_j} + \tau_{\Gamma_i}) \mid (\tau_{\Gamma_i} < \tau_{\Gamma_j}) \wedge (T_{\text{иг}} - \tau_{\Gamma_j} + \tau_{\Gamma_i} \leq T_i^H - T_i^M)\}; \\ (T_{\text{иг}} - \tau_{\Gamma_i} - \tau_{\Gamma_j}) \mid (\tau_{\Gamma_i} > \tau_{\Gamma_j}) \wedge (\tau_{\Gamma_i} - \tau_{\Gamma_j} > T_i^H - T_i^M); \\ (\tau_{\Gamma_j} - \tau_{\Gamma_i}) \mid (\tau_{\Gamma_i} < \tau_{\Gamma_j}) \wedge (T_{\text{иг}} - \tau_{\Gamma_j} + \tau_{\Gamma_i} > T_i^H - T_i^M), \end{cases} \quad (3)$$

где T_i^H, T_i^M – продолжительность нормативного и минимального домашнего отдыха бригады после i -й поездки.

Решением задачи является набор чисел X_{ij} , принимающих значения «0» или «1». Если некоторое значение $X_{ij} = 1$, это означает, что последователь-

Для заданного числа поездов (N), включаемых в именной график обслуживания за расчетный период ($T_{\text{иг}}$), и множества ограничений по трудовому законодательству (T_3), а также ограничений, связанных с местными условиями работы ($T_{\text{му}}$), требуется минимизировать функцию, имеющую вид

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij} \quad (1)$$

при условиях:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^N X_{ij} = 1, & j = 1, 2, \dots, N; \\ \sum_{j=1}^N X_{ij} = 1, & i = 1, 2, \dots, N; \\ X_{ij} = X_{ji}^2, & i, j = 1, 2, \dots, N; \end{cases} \quad (2)$$

решение есть цикл,

где C_{ij} – элемент матрицы $C[N, N]$, равный разности момента явки бригады на j -ю поездку (τ_{Γ_j}) и момента готовности после нормативного отдыха в пункте приписки после i -й поездки (τ_{Γ_i}).

На первом этапе решения задачи формируются значения элементов матрицы C_{ij} .

Если время готовности бригады к поездке после нормативного домашнего отдыха совпадает с временем явки на следующую поездку, то $C_{ij} = 0$. Запрещение многократного обслуживания бригадой одного и того же поезда достигается заданием большого значения элементам, стоящим на главной диагонали стоимостной матрицы. Если бригада готова к поездке позже момента явки на работу, но с учетом допустимого уменьшения продолжительности домашнего отдыха успевает на явку, то C_{ij} выбирается как минимальное из значений отклонения домашнего отдыха от нормативного.

Аналогично определяется C_{ij} и для случая, когда бригада готова к поездке раньше момента явки на работу. Математически коэффициенты C_{ij} матрицы эффективности линейной формы определяются по формулам:

ность обслуживания поездов должна содержать следующий переход: после обслуживания i -го поезда бригада должна обслужить j -й.

Выражение является относительной оценкой решения задачи и определяет суммарное отклонение домашнего отдыха от положенного по норме.

Значение абсолютной оценки решения задачи определяется следующим выражением:

$$C_1 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N C'_{ij} C_{ij} X_{ij}, \quad (4)$$

где C'_{ij} – элемент матрицы $C'[N, N]$.

Величина C'_{ij} , которая принимает значение, равное «-1», в том случае, когда C_{ij} рассчитывается с учетом уменьшения продолжительности домашнего отдыха бригад, и определяется по формуле

$$C'_{ij} = \begin{cases} -1, & \text{если } C_{ij} = \begin{cases} (\tau_{\Gamma_i} - \tau_{\Upsilon_i}) | (\tau_{\Gamma_i} > \tau_{\Upsilon_i}) \\ (T_{\text{ИГ}} - \tau_{\Upsilon_i} + \tau_{\Gamma_i}) | (\tau_{\Gamma_i} < \tau_{\Upsilon_i}) \end{cases} \\ 1, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (5)$$

Под нормативным отдыхом после поездки следует понимать отдых, рассчитанный с учетом конкретных условий работы локомотивных бригад, с учетом коэффициента их дефицита K_6 , при помощи коэффициента домашнего отдыха K_0 .

Продолжительность нормативного домашнего отдыха после i -й поездки

$$T_i^H = K_0 T_i^6 - T_i^0, \quad (6)$$

где K_0 – коэффициент домашнего отдыха бригады; T_i^6 – продолжительность рабочего времени i -й поездки (за оборот); T_i^0 – продолжительность отдыха бригады в пункте оборота в i -ю поездку (отдых по норме и ожидание работы).

При $K_6 = 1$ K_0 принимает известное значение «2,6». Продолжительность минимального домашнего отдыха бригады после i -й поездки определяется по формуле

$$T_i^M = \begin{cases} 0,75T_i^H, & \text{если } 0,75T_i^H \geq T_M; \\ T_M, & \text{если } 0,75T_i^H < T_M, \end{cases} \quad (7)$$

где T_M – минимально допустимая величина домашнего отдыха бригады после поездки (16 ч).

Последовательность обслуживания всех поездов одной условной бригадой, помимо поездной работы, должна включать выходные дни. При этом моменты готовности к работе τ_{Γ_i} определяются по нормам продолжительности еженедельного отдыха T_i^B , зависящим от продолжительности нормативного домашнего отдыха

$$T_i^B = T_i^H + 24 \quad (\text{если } T_i^H \geq 18 \text{ ч}, i = 1, 2, \dots, N), \quad (8)$$

или по фиксированной норме продолжительности еженедельного отдыха T^B (для всех выходных дней в последовательности обслуживания всех поездов одной условной бригадой).

В последнем случае различают:

– вынужденное фиксирование продолжительности еженедельного отдыха, когда $T_i^H < 18$ ч (для всех или части « i »). В этой ситуации его величина фиксируется на минимально допустимом уровне $T^B = 42$ ч;

– фиксирование на уровне, предлагаемом работниками локомотивных бригад конкретного депо, т. е. на уровне некоторого значения $T^B > 42$ ч при $T^B \geq 18$ ч, $i = 1, 2, \dots, N$.

При фиксированной продолжительности выходного дня норматив T_i^H корректируется

$$T_i^H = T_i^H + \delta, \quad (9)$$

где δ – изменение домашнего отдыха после поездки, связанное с использованием выходных дней фиксированной продолжительности, ч;

$$\delta = (\sum_{i \in I_B} (T_i^H + 24) - V_{\text{П}} T^B + \Delta) / (N - V_{\text{П}}), \quad (10)$$

I_B – множество поездов, после которых назначается выходной день; Δ – сумма отклонений фактических величин еженедельного отдыха от фиксированной величины; $V_{\text{П}}$ – количество выходных дней в последовательности обслуживания всех поездов одной условной бригадой;

$$V_{\text{П}} = [\text{Бя} V_{\text{М}} / D_{\text{М}}] + 1, \quad (11)$$

Бя – потребный на плановый месяц явочный контингент локомотивных бригад, определяемый по месячному рабочему фонду $\Phi_{\text{М}}$; $[\]$ – знак выделения целой части числа; $V_{\text{М}}$ – количество воскресных (общевыходных) дней в плановом месяце; $D_{\text{М}}$ – число календарных дней в плановом месяце.

Величина $\Phi_{\text{М}}$ (фонда рабочего времени бригады на плановый месяц) может быть равна фонду, рассчитанному для планового месяца, исходя из установленной трудовым законодательством 40-часовой рабочей недели, но может и отличаться от указанного значения в зависимости от величины явочного контингента локомотивных бригад, выделяемого руководством цеха эксплуатации конкретного депо для обслуживания рассматриваемого вида движения по данному именному графику в плановом месяце.

Выходные дни в последовательности обслуживания всех поездов одной условной бригадой расставляются равномерно. В идеале это означает, что выходные дни должны включаться в последовательность через одинаковое количество поездов. Реально, из-за возможной некратности числа N поездов за период $T_{\text{ИГ}}$ числу периодов между выходными днями, т. е. числу $V_{\text{П}}$, в общем случае выходные дни размещаются через $K_{\text{В}}$ и $(K_{\text{В}} + 1)$ поездов, где $K_{\text{В}} = [N/V_{\text{П}}]$. При этом количество случаев с $K_{\text{В}}$ поездками между выходными днями $V_1 = V_{\text{П}} - (N - V_{\text{П}} K_{\text{В}})$, а количество случаев с $(K_{\text{В}} + 1)$ поездками $V_2 = N - V_{\text{П}} K_{\text{В}}$.

Задачи (1), (2) решаются при помощи методов улучшенного перебора. Большая группа этих методов объединяется под названием "метод ветвей и границ". Идея метода заключается в следующем: пусть надо найти минимум $F(X)$ по $X \in A$ и имеет некоторое разбиение множества A

$$\mu : A = A_0 \cup A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_{0K}, \quad (12)$$

а также известно, что в A_0 оптимальных решений нет. Тогда

$$\min \{F(X), X \in A\} = \min \{ \min \{F(X), X \in A_i, i \in \overline{(1, k)}\} \} \quad (13)$$

Таким образом, увеличение множества A_0 сокращает задачу. Схему нахождения оптимального решения удобно представить в виде дерева вариантов, изображенного на рисунке 1. Траектория движения по дереву вариантов обозначена стрелками и зависит от выбора стратегии ветвления. В качестве стратегии выбран односторонний обход дерева, который удобен с точки зрения хранения информации о вычислительном процессе. Рисунок показывает, что оптимальное решение содержится в подмножествах $A_1, A_{12}, A_{121}, A_{1211}$, остальные подмножества, в большинстве не имеющие входящих и исходящих стрелок, отнесены в подмножество A_0 без рассмотрения.

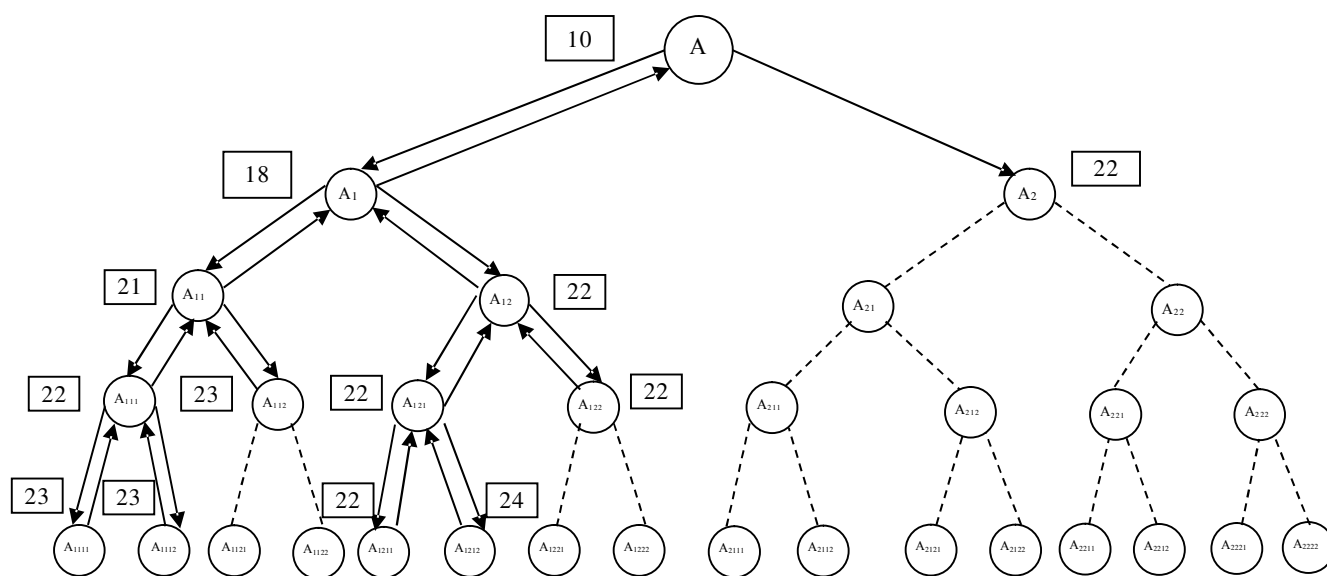


Рисунок 1 – Дерево вариантов в задаче определения оптимальной последовательности обслуживания поездов

Разбиение множества вариантов всех одноцикловых подстановок для выделения "неперспективных" частей множества A осуществляется при помощи выбора решающей дуги, невключение которой на данном шаге в решение дает максимальный штраф. Под решающей дугой (i, j) понимается наличие в последовательности обслуживания всех поездов одной бригадой перехода: явка на работу для обслуживания j -го поезда, при условии, что предыдущая поездка была с i -м поездом. Цифры, стоящие рядом с вершинами дерева, выражают относительную оценку множества решений, содержащихся в соответствующем подмножестве разбиения.

На каждом шаге после выбора решающей дуги производится анализ всех образовавшихся с учетом этой дуги цепочек поездов с целью удовлетворения всех наложенных на последовательность обслуживания ограничений, в частности, таких, как образо-

вание частей последовательности обслуживания, содержащих более двух ночных поездов подряд; соблюдение равномерной расстановки особо выделенных поездов; чередование поездов на различных участках работы локомотивных бригад пропорционально размерам движения на них и др.

После получения оптимальной последовательности обслуживания поездов одной условной бригадой проверяется устойчивость уже конкретного именного графика. Среди поездов каждого участка работы бригад в последовательности обслуживания находятся такие, время отдыха после которых $T_S = \tau_{Я_j} - \tau_{K_i}^S \rightarrow \min$, где $\tau_{K_i}^S$ – время окончания i -й поездки на s -м участке.

Затем проверяется условие

$$\min_{S=1}^Z (T_S - 2\sigma_O^S) \geq 16. \quad (14)$$

где σ_O^S – среднее квадратичное отклонение времени работы и отдыха бригад от среднего его значения на s -м участке.

Если условие (11) выполняется, то график устойчив.

При фиксированном задании времени предоставления еженедельного домашнего отдыха, что имеет широкое применение на сети железных дорог, целевая функция (1) принимает вид

$$C = \sum_{i \in I_B} \sum_{j=1}^N C_{ij} X_{ij} + \sum_{j=1}^N \sum_{i \in I_B} C'_{ij} C_{ij} X_{ij}, \quad (15)$$

причем коэффициенты C_{ij} матрицы эффективности линейной формы и C'_{ij} определяются так же, как и коэффициенты C_{ij} и C'_{ij} , с учетом замены параметров в формулах (3), (5):

$$\tau_{\Gamma_i} \rightarrow \tau_{\Gamma_{iB}},$$

где $\tau_{\Gamma_{iB}}$ – время готовности бригады к работе после выходного дня фиксированной продолжительности;

$$T_i^H, T_i^M \rightarrow T_{i\Phi}^B, T_{iM}^B,$$

где $T_{i\Phi}^B, T_{iM}^B$ – продолжительность, соответственно, фиксированного и минимального выходных дней.

В этом случае задача составления именных графиков работы локомотивных бригад решается методом суперпозиции в два этапа. Сначала находятся все пары поездов, для которых

$$\sum_{i \in I_B} \sum_{j=1}^N C'_{ij} C_{ij} X_{ij} \rightarrow \min,$$

таким образом получаем набор пар поездов, связанных между собой через выходной день. Затем с учетом полученного результата достраивается последовательность обслуживания поездов одной условной бригадой, т. е. решается задача (1) для всех поездов, после которых не предусматривается предоставления выходного дня.

В процессе решения задачи, кроме составления последовательности обслуживания выделенных для данного именного графика всех поездов одной условной бригадой, формируется развернутый график работы локомотивных бригад (на месяц работы) и выписка из развернутого графика – собственно именные расписания работы машинистов и их помощников (также на месяц). При этом развернутый график строится на основе последовательности обслуживания всех поездов в результате простой процедуры: определенные части последовательности обслуживания всех поездов одной условной бригадой ставятся в соответствие порядковым номерам локомотивных бригад. Выписки

же из развернутого графика (именные расписания) представляют собой его строки (отражающие работу одной бригады), снабженные календарем на месяц работы.

Гарантийные интервалы определяются по формуле

$$I_{ГК} = \sum_{i=1}^n t_{yч_i} \quad (16)$$

при условиях

$$P(A_{ij}) = N_{ij}/D_H \geq P_H, j = 1, 2, \dots, m; m = 1440/t_{yч}, \quad (17)$$

$$\sum_{i=1}^n t_{yч_i} = \min \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^n t_{yч_i} \leq I_D \quad (19)$$

где $I_{ГК}$ – k -й гарантийный интервал отправления из пункта приписки бригад поезда (локомотива или бригады) на конкретный участок, на группу участков или в целом по пункту приписки бригад, мин; n – число интервалов учета отправления, входящих в гарантийный интервал; $t_{yч_i}$ – i -й интервал учета отправления; $P(A_{ij})$ – вероятность отправления поезда (события A_{ij}) в i интервалах учета; A_{ij} – событие, состоящее в отпращивании хотя бы одного поезда в i интервалах учета, начинающихся с j -го (для любого $j, i = 1, 2, \dots, n; n = I_D / t_{yч_i}$); N_{ij} – число суток, в которые произошло событие A_{ij} ; D_H – продолжительность анализируемого периода, сут.; P_H – заданная вероятность отправления поездов; I_D – максимально допустимая величина гарантийного интервала, мин.

Рекомендуется применять ограничение гарантийного интервала продолжительностью 1 час. При таком ограничении бригады в большинстве случаев укладываются в действующие нормы непрерывной продолжительности работы, а средний гарантийный интервал составляет примерно 12...30 мин. Если ограничение продолжительностью 1 ч вызывает нарушение действующей нормы непрерывной работы бригад на определенных участках, необходимо либо увеличить норму непрерывной работы, либо уменьшить названное ограничение.

Когда для участков работы бригад данного депо имеет место различное ограничение продолжительности гарантийных интервалов, условие (4) принимает вид

$$\sum_{i=1}^n t_{yч_i} \leq I_{Dj}, (j = 1, 2, \dots, Z) \quad (20)$$

где I_{Dj} – ограничение гарантийного интервала по продолжительности для j -го участка работы локомотивных бригад; Z – количество участков, обслуживаемых бригадами данного депо.

При определении гарантийных интервалов в целом для группы Z^* участков и если при этом входящие в группу участки имеют различные ог-

раничения по продолжительности гарантийного интервала, то

$$\sum_{i=1}^n t_{yчi} \leq \min I_{Дj}, \quad (j = 1, 2, \dots, Z^*), \quad (21)$$

где $Z^* < Z$.

Объединение участков означает, что несколько участков (в пределе – все участки, обслуживаемые бригадами одного пункта их приписки) рассматриваются как один участок. Частота отправления поездов (локомотивов, бригад) на объединенный участок всегда больше, чем частота соответствующих отправок на каждый отдельный участок, входящий в объединение. При этом интервалы постоянного отправления становятся короче, и соответственно большее их число удовлетворит ограничению по продолжительности, а следовательно, войдет в число гарантийных.

Если депо обслуживает Z участков, то общее количество возможных их объединений (S_Z) в группы выражается формулой

$$S_Z = 2S_{Z-1} + C_{Z-2}^1 S_{Z-2} + C_{Z-2}^2 S_{Z-3} + \dots + C_{Z-2}^{Z-2} S_1, \quad (22)$$

где C_j^i – число сочетаний из « j » по « i ».

Однако в группы участки следует объединять в соответствии с их характером: "отдыховые" (т.е. с отдыхом в пункте оборота) с "отдыховыми", "безотдыховые" – с "безотдыховыми".

Заданную вероятность отправления поезда P_H рекомендуется принимать равной 0,85. Она подобрана практически и означает, что при фактической работе по гарантийным интервалам их надежность не меньше 0,75. т.е. 25 % из них может увеличиваться по сравнению с расчетными значениями, но, как правило, в пределах установленного ограничения продолжительности гарантийных интервалов. Последовательность выбора гарантийных интервалов по формуле (12) приведена в таблице 1. В графах таблицы 1 знаком ● обозначено событие – отправление поезда, локомотива или бригады в интервале учета и сутках, соответствующих строке и столбцу, образующих клетку, занятую знаком ●. Знаком ■ обозначены события, образующие гарантийный интервал ($i-2, i-1$) с заданной вероятностью отправления поездов $P_H = 0,85$. Знаком ■ обозначены события, образующие гарантийный интервал ($i-2, i$). При определении гарантийных интервалов выбирается вариант с таким начальным интервалом учета, который дает максимальное число гарантийных интервалов в сутки. Так, при выборе за начальный интервал учета « $j-1$ » при $P_H = 0,85$ имеем один гарантийный интервал ($j-1, j$), при начальном интервале учета « j » – два гарантийных интервала: (j, j) и ($j-1, j$).

Таким образом, рассматривается $NVAR = 1440 / t_{уч}$ начальных интервалов учета (где 1440 – число минут в сутках).

Такой способ прогноза времени явки бригад на планируемый период позволяет снизить количество срывов работы бригад из-за месячной или сезонной неравномерности потока поездов. Поездки, являющиеся избыточными при определении гарантийных интервалов, принимают участие в образовании новых гарантийных интервалов.

Каждому гарантийному интервалу отправления поездов ставится в соответствие один поезд графика движения МПС (в качестве поезда статистического твердого ядра), если он не попадает в "окно" для ремонтных и реконструктивных работ на участке ни в один из дней планового месяца. Если в гарантийном интервале по времени отправления размещается несколько поездов графика МПС, то в качестве поезда твердого ядра принимается поезд, рекомендованный отделением дороги, а если таких нет, то первый в хронологическом порядке.

Если в гарантийный интервал не попадает ни одного поезда по графику, то в качестве твердого ядра принимается графиковый поезд, отправляющийся позже, но не более чем на 15 мин, считая с момента окончания гарантийного интервала.

При формировании гарантийных интервалов важным является анализируемый период и его продолжительность при съеме исходной информации о фактическом отправлении поездов со станций, где располагается пункт приписки бригад. В качестве анализируемого периода принимается месяц предплановый и одноименный плановому в истекшем году. При этом продолжительность периода варьировалась в диапазоне от одних суток до месяца.

Анализ массовых расчетов показывает, что в качестве анализируемого периода для формирования гарантийных интервалов следует принимать предплановый месяц. Статистические наблюдения следует проводить за 15 – 20 суток предпланового месяца. При такой выборке отчетных данных о фактическом отправлении поездов обеспечивается наиболее устойчивый набор гарантийных интервалов.

На основе предложенной методики разработаны алгоритм и программный продукт комплекса задач «Автоматизированное составление именных графиков работы локомотивных бригад грузового движения (АСБРИГ-ГП)», который технологически, функционально и информационно увязан с блоком задач «Автоматизированная система управления тяговыми ресурсами» (ДИСТПС), а также другими задачами «Автоматизированной системы управления эксплуатацией локомотивов» (АСУлок). Анализ результатов многолетней эксплуатации комплекса задач АСБРИГ-ГП во многих депо дорог показал устойчивое его функциониро-

вание. Опыт практического использования рассматриваемой методики показал, что сокращается вспомогательное время работы локомотивных бригад по пунктам их приписки от момента явки до отправления с поездом на 0,17...0,37 ч, простоя составов из-за несвоевременной явки бригад – на 0,03...0,05 ч/поезд. Кроме того значительно улучшаются условия труда и отдыха локомотивных

бригад за счет формирования календарного (месячного) плана их работы, равномерного распределения домашнего отдыха, сокращения до необходимого минимума времени нахождения бригад в пункте оборота, защиты графика от возникновения третьей ночной поездки. Таким образом, достигается как экономический, так и социальный эффект.

Таблица 1 – Последовательность формирования гарантийных интервалов

№ интервала учета	Анализируемый период, сут									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
...
$i - 2$	■		■ □	■		■	■	■	■	■
$i - 1$	■	■	●	■	■ ●		■	■	■	■
i		■		●			●		●	
$i + 1$	●					●		●		●
...
$j - 1$	●		●	●	●	●	●	●	●	
j	●	●	●	●	●	●	●	●		● ●
...

Получено 12.11.2003

V. I. Necrashevich, V. N. Kovalev, V. L. Salchenko. Technique of drawing up of the nominal diagrams of work and rest lokomotivs of brigades.

By results of the carried out(spent) researches on the Russian iron roads the new technique of drawing up of the nominal diagrams of work and rest lokomotivs of brigades is developed. In a basis of a technique the principle of fastening nominal lines of the diagram of movement of trains is fixed, that has shown high efficiency at use of the given method on over long shoulders of service (more than 7000 kms: there and back).