Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXV, вып. 1, 1973 г.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ ДЛЯ СХЕМ С ОДНОЙ СБОРОЧНОЙ СТАНЦИЕЙ

Л. Г. Тымовский, И. И. Марголин

В практике эксплуатации горнорудных предприятий широко распространены случаи, когда весь грузовой поток от группы рудников к потребителям следует через одну сборочную станцию (рис. 1). При такой схеме общая стоимость транспортирования не зависит от взаимосвязей потребителей и поставщиков (при заданных объемах добычи и потребления отдельных производственных единиц). Критериями для

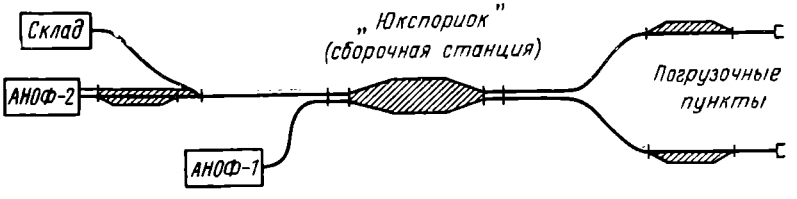


Рис. Путевая схема с указанием пунктов погрузки и разгрузки.

построения систем управления транспортом в таких системах могут явиться лишь технологические факторы.

Для рудников, отгружающих руду через рудоспуски или бункера, технологическими факторами, влияющими на работу предприятия, обычно являются следующие: степень заполнения емкостей, период времени отсутствия движения руды в емкостях, степень ее увлажнения и др. Эти факторы влияют на сводообразование и зависание руды и могут вызвать нарушение нормальной работы предприятия. Для потребителей (например, обогатительных фабрик) такими факторами могут быть запас руды в емкостях, качество руды и т. д. Все ограничивающие технологические факторы могут быть разделены на две группы.

1. Факторы, достижение предельного значения которых ведет с высокой вероятностью к нарушению работы соответствующих звеньев предприятия или к безусловной их остановке (например, заполнение емкостей добывающих предприятий, опорожнение бункеров потребителей, отсутствие движения руды в рудоспусках сверх определенного периода и т. д.).

2. Факторы, изменение численного значения которых ведет к изменению вероятности нарушения работы соответствующих звеньев предприятия (например, увеличение степени заполнения емкостей и времени отсутствия движения руды в рудоспусках, снижение запаса руды в емкостях потребителей, изменение качественного состава руды у потребителей и т. д.).

Сделаем допущение, что факторы второй группы воздействуют таким образом, что нарушения работы предприятия под влиянием каждого из них являются независимыми событиями.

Допуская, что максимальному значению $a_{j\,\max}$ каждого фактора второй группы соответствует какая-то вероятность $q_{j\,\max}$ нарушения работы предприятия, можно предположить, что при промежуточном значении фактора a_j вероятность нарушения работы предприятия составит: при воздействии одного этого фактора

$$q_j = \frac{a_j}{a_{j\,\max}} \quad \frac{1}{k_j} = \frac{\alpha_j}{k_j},$$

где j — номер ограничивающего технологического фактора; $1/k_j$ — коэффициент пропорциональности; $\alpha_j = \dfrac{a_j}{a_{j\,\max}}$ — относительное значение j-го фактора;

при воздействии n факторов вследствие гипотезы о независимости воздействия каждого из факторов

$$q = \sum_{j=1}^{n} \frac{\alpha_j}{k_j}.$$

Если предельное значение каждого фактора $a_{j\,\max}$ установлено таким образом, что этому значению для всех факторов соответствует одна и та же вероятность $q_{\max}$, то $k_1 = k_2 = \ldots = k_n = k$ и, следовательно,

$$q = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^{n} \alpha_j,$$

т. е. вероятность нарушения работы предприятия в данный момент времени при воздействии n факторов пропорциональна сумме относительных значений всех факторов.

Таким образом, при построении системы управления транспортом необходимо по возможности стремиться к полному исключению действия факторов первой группы и такому воздействию на факторы второй группы, чтобы вероятность нарушения нормальной работы предприятия была минимальной.

Очевидно, что все факторы первой группы и вероятностные оценки нарушения работы $\Delta = \sum_{j=1}^{n} \alpha_j$, вызванные факторами второй группы, следует определять для ожидаемого момента времени — прихода состава в соответствующий пункт для погрузки или разгрузки. Перевозочный процесс при этом должен протекать таким образом, чтобы простой поездов в местах погрузки и выгрузки был минимальным. Эти исходные положения были приняты за основу при разработке алгоритмов управления железнодорожным транспортом на комбинате «Апатит». На комбинате (см. рис. 1) имеется группа рудников, отгружающих руду через рудоспуски двум апатито-нефелиновым обогатительным фабрикам

(АНОФ-1 и АНОФ-2) и на открытый склад руды. Вся добываемая руда проходит через сборочную станцию «Юкспориок». В условиях комбината перевозочный процесс должен при всех ситуациях обеспечивать: а) строгое соблюдение научно установленного режима эксплуатации рудоспусков; б) снабжение АНОФ необходимым количеством руды нужного качества; в) минимальный простой составов в ожидании очереди на разгрузку.

Для всех рудоспусков установлены максимальный и минимальный уровни руды, за пределами которых нормальная работа рудоспуска безусловно нарушается. В пределах ограничивающих уровней увеличение количества руды в рудоспусках ведет к возрастанию вероятности нарушения работы. Для рудоспусков, в которые поступает руда с открытых работ, дополнительно установлен предельный перерыв времени в выпуске руды из рудоспусков. При превышении установленного времени перерыва работа рудоспуска может нарушиться с высокой вероятностью, в пределах установленного времени увеличение перерыва ведет к возрастанию вероятности нарушения работы рудоспуска. Таким образом, на работу рудоспусков воздействуют факторы первой и второй группы.

Для АНОФ установлены минимальные запасы руды (фактор первой группы) и допустимое отклонение среднего качества имеющейся на фабрике руды от оптимального качества, определяемого настройкой технологического режима обогащения в данный момент времени (фактор второй группы). В этих условиях работа железнодорожного транспорта должна быть подчинена указанным технологическим требованиям, определяющим бесперебойную работу рудников (рудоспусков) и обогатительных фабрик. Состав, загруженный из любого рудоспуска, может быть разгружен на любой из фабрик или на открытом складе. В связи с этим возникает возможность определять адрес погрузки при появлении порожнего состава, не определяя заранее места, где данный состав будет разгружен.

При решении этой задачи в качестве критерия управления транспортом принято условие соблюдения заданного режима эксплуатации рудоспусков. Режим работы рудоспуска задается: а) максимальным (критическим) уровнем руды; б) максимальной (критической) величиной перерыва в выпуске руды из рудоспуска. Уровень руды в рудоспуске оценивается величиной относительного заполнения рудоспуска

$$\delta_i = \frac{h_i - h_{i\,\min}}{h_{i\,\max} - h_{i\,\min}},$$

где h_i — фактическое заполнение i-го рудоспуска; $h_{i\,\min}$, $h_{i\,\max}$ — минимально и максимально допустимое количество руды в i-м рудоспуске.

Значение h принимается в тоннах или метрах рудоспуска.

Перерыв в выпуске руды из рудоспуска оценивается величиной

$$\tau_i = \frac{T - T_{\text{ок}\,i}}{t_{\text{доп}\,i}} = \frac{t_{\text{ф}\,i}}{t_{\text{доп}\,i}},$$

где T — текущий момент времени; $T_{\text{ок}\,i}$ — момент окончания погрузки состава под i-м рудоспуском; $t_{\text{ф}\,i}$ — фактический перерыв во времени выпуска руды из i-го рудоспуска; $t_{\text{доп}\,i}$ — допустимый перерыв во времени выпуска руды из i-го рудоспуска.

Вероятностная оценка нарушения работы рудоспусков, для которых нормируется только степень заполнения,

$$\Delta_i = \delta_i;$$

для рудоспусков, где нормируются степень заполнения и допустимый перерыв во времени выпуска руды,

$$\Delta_i = \delta_i + \tau_i.$$

Состав, разгрузившийся на АНОФ-1 или на запасном складе АНОФ-2, может быть направлен только к ст. «Юкспориок». Состав, разгрузившийся на АНОФ-2, может быть направлен на погрузку на запасной склад или к ст. «Юкспориок», в зависимости от сложившейся ситуации на АНОФ-2. В наиболее неблагоприятной ситуации, когда запас руды на АНОФ-2 меньше допустимого и сюда не заадресованы груженые составы, а склад может отгружать руду, состав направляется на склад АНОФ-2 (рис. 2). Во всех прочих ситуациях состав направляется к ст. «Юкспориок». При появлении на ст. «Юкспориок» порожнего состава вычисляют ожидаемое время поступления состава под i-й рудоспуск

$$T_i^* = T + \Delta t_{x\,i},$$

где T — момент подсчета; $\Delta t_{x\,i}$ — математическое ожидание времени хода состава от точки начала расчета до i-го рудоспуска.

Далее для момента времени T_i^* вычисляется относительное заполнение рудоспуска

$$\delta_i^* = \frac{h_i + q_i \Delta t_{x\,i} - h_{i\,\min}}{h_{i\,\max} - h_{i\,\min}} = \delta_i + \frac{q_i \Delta t_{x\,i}}{h_{i\,\max} - h_{i\,\min}},$$

где q_i — ожидаемая интенсивность поступления руды в i-й рудоспуск (*м/мин* или *т/мин*) за период времени $\Delta t_{x\,i}$ (принимаемая равной предыдущему шагу расчета).

Относительное время перерыва в выпуске руды с рудоспусков (для глубоких рудоспусков с нормируемой величиной перерыва)

$$\tau_i^* = \frac{T - T_{\text{ок}\,i} + \Delta t_{x\,i}}{t_{\text{доп}\,i}} = \tau_i + \frac{\Delta t_{x\,i}}{t_{\text{доп}\,i}}.$$

Для рудоспусков, которые в момент времени T_i^* имеют < 1 и $\delta_i^* < 1$, определяем

$$\Delta_i^* = \tau_i + \delta_i^* \text{ или } \Delta_i^* = \delta_i^*.$$

На основании проведенных расчетов все рудоспуски разделяют на подгруппы, причем в каждой подгруппе рудоспуски располагают в порядке убывания соответствующего признака.

1. Подгруппа глубоких рудоспусков, для которых относительное время перерыва в выпуске руды в момент поступления состава под погрузку составляет не менее единицы, т. е. $\tau_i^* \geqslant 1$.

2. Подгруппа рудоспусков, для которых относительное заполнение рудоспуска в момент поступления состава под подгрузку составляет не менее единицы, т. е. $\delta_i^* \geqslant 1$.

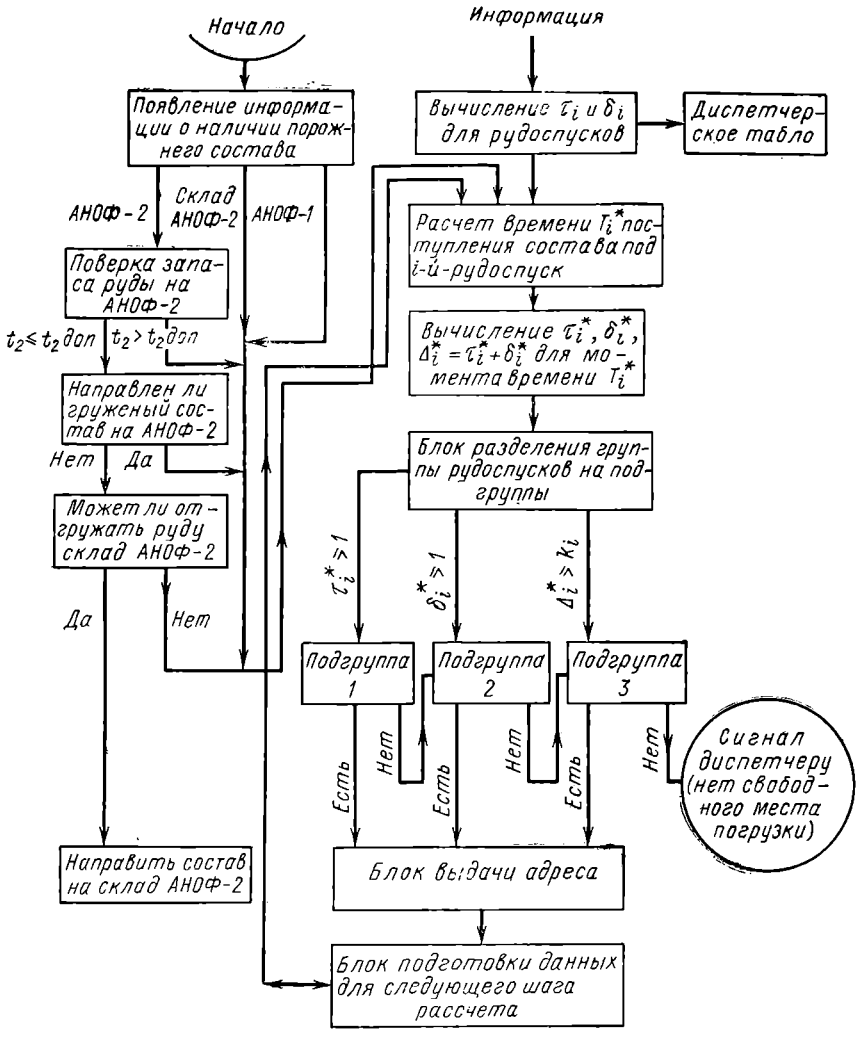


Рис. 2. Блок-схема определения места погрузки порожнего состава.

3. Все прочие рудоспуски, для которых определена вероятностная оценка Δ_i^*, пропорциональная вероятности нарушения работы рудоспуска.

После разделения всех рудоспусков на подгруппы и их упорядочения в подгруппе проводится перебор подгрупп в определенном порядке. Если в подгруппе имеется несколько рудоспусков, то состав направляется к тому рудоспуску, у которого отличительный признак подгруппы имеет большее значение.

После выдачи адреса и окончания погрузки состава проводится подготовка к следующему шагу расчета. Подготовка состоит в блокировке тех рудоспусков, к которым очередной состав направлять нельзя (заняты соответствующие погрузочные пути или существуют какие-нибудь неисправности), а также в определении степени заполнения рудоспуска после отгрузки некоторого количества руды и в фиксации мо-

мента окончания движения руды в этом рудоспуске. Блокированные рудоспуски при следующем шаге расчета (при определении адреса погрузки очередному порожнему составу) не учитываются. Деблокирование рудоспусков осуществляется после освобождения соответствующих путевых участков или устранения неисправностей.

Состав, загруженный на любом руднике, может быть направлен в любую точку разгрузки, а состав, загруженный на открытом складе, — только на АНОФ-2 (рис. 3). Если обе приемные станции могут принять

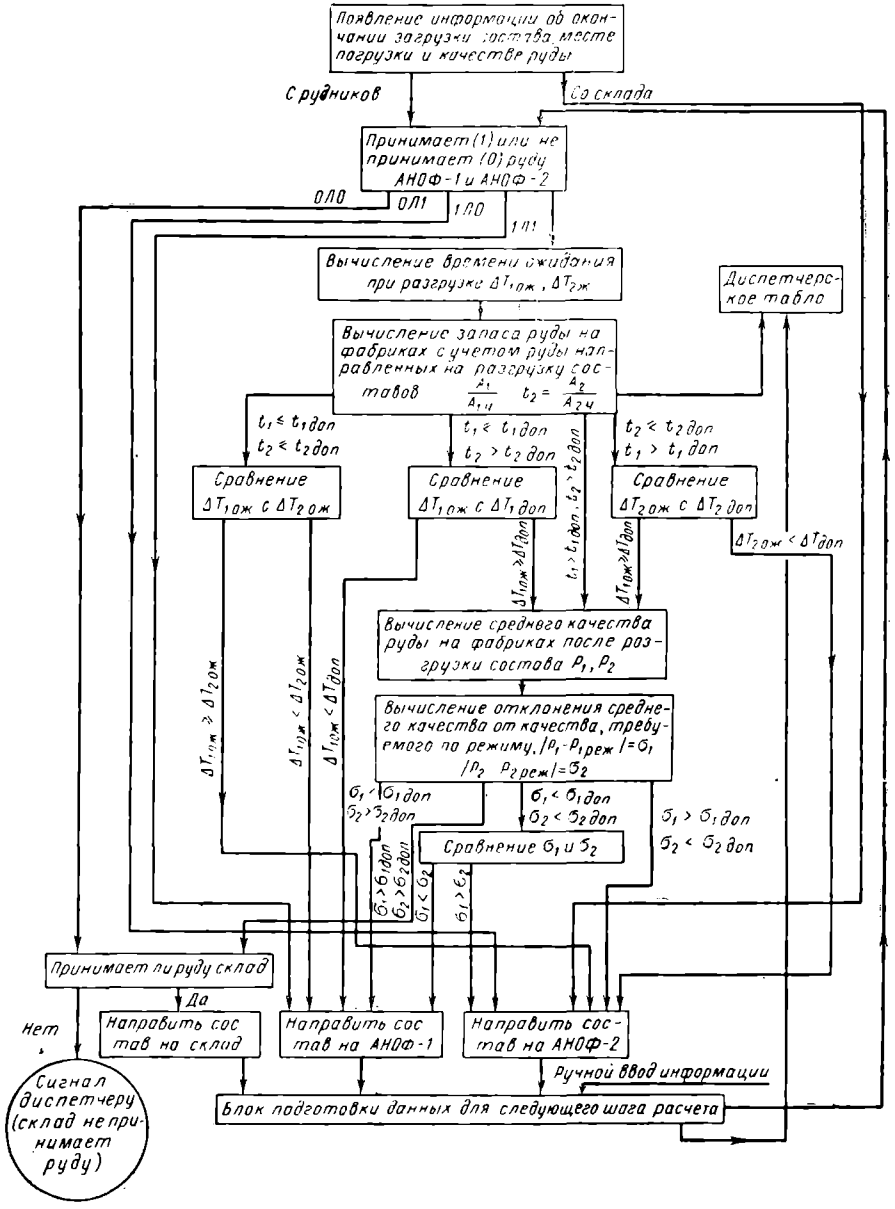


Рис. 3. Блок-схема определения места разгрузки груженого состава.

груженый состав, адрес разгрузки выбирают в зависимости от обеспеченности фабрик рудой с учетом потерь времени на ожидание разгрузки. Время ожидания составом разгрузки определяется следующим образом (расчет сделан для АНОФ-2) Время прибытия составов, направленных на ст. «Верхняя», определится по формуле

$$T^{n}_{2\text{пр}} = T^{n}_{\text{о.п}\,i} + \Delta\, t_{2\text{х}\,i},$$

где $T_{\text{о.п}\,i}$ — время окончания погрузки n-го состава под i-м рудоспуском (с учетом маневров и подготовки состава к отправлению); $\Delta t_{2\text{х}\,i}$ — математическое ожидание времени хода от i-го рудоспуска до ст. «Верхняя».

Предположим, что в момент расчета на АНОФ-2 разгружается первый состав; время окончания его разгрузки

$$T^{(1)}_{2\text{р}} = T^{(1)}_{2\text{нач}} + \Delta\, t_{2\text{р}}.$$

Если в момент расчета на АНОФ-2 под разгрузкой состава нет, то время окончания разгрузки первого состава

$$T^{(1)}_{2\text{р}} = T^{(1)}_{2\text{пр}} + \Delta\, t_{2\text{р}},$$

где $T^{(1)}_{2\text{нач}}$ — время начала разгрузки первого состава; $T^{(1)}_{2\text{пр}}$ — время прибытия первого состава на ст. «Верхняя»; $\Delta t_{2\text{р}}$ — математическое ожидание времени разгрузки состава на АНОФ-2, включая время на маневры.

Если второй состав прибудет раньше, чем окончится разгрузка первого ($T^{(2)}_{2\text{пр}} < T^{(1)}_{2\text{р}}$), то время окончания разгрузки второго состава определится по формуле

$$T^{(2)}_{2\text{р}} = T^{(1)}_{2\text{нач}} + 2\Delta\, t_{2\text{р}}.$$

Для третьего, четвертого и последующих составов расчет проводится по аналогичной схеме. Для $(n+1)$-го состава время прибытия на ст. «Верхняя»

$$T^{(n+1)}_{2\text{пр}} = T^{(n+1)}_{\text{о. п}\,l} + \Delta\, t_{2\text{х}\,i}\,.$$

Время окончания разгрузки предыдущего, n-го, состава $T^{n}_{2\text{р}}$. Потери времени на ожидание составом очереди на разгрузку

$$\Delta\, T_{2\text{ож}} = T^{(n+1)}_{2\text{пр}} - T^{(n)}_{2\text{р}}$$

Для АНОФ-1 расчет проводится аналогично.

Вычислим фактический запас руды на фабриках с учетом руды из составов, направленных на разгрузку. Запас руды оценим временем, в течение которого фабрика обеспечена рудой. На момент поступления состава на соответствующую станцию

$$t_1 = \frac{A_1 + n_1 Q}{A_{1\text{ч}}} - \Delta\, t_{1\text{х}},$$

$$t_2 = \frac{A_2 + n_2 Q}{A_{2\text{ч}}} - \Delta\, t_{2\text{х}},$$

где A_1, A_2 — запас руды в емкостях соответственно АНОФ-1 и АНОФ-2;

$A_{1ч}$, $A_{2ч}$ — часовая потребность в руде; Q — грузоподъемность состава, нетто, $т$; n_1, n_2 — количество составов в очереди (с учетом направленных на разгрузку).

Рассмотрим следующие возможные производственные ситуации.

1. На обеих фабриках запас руды меньше или равен допустимому, т е.

$$t_1 \leqslant t_{1доп},\ t_2 \leqslant t_{2доп},$$

где $t_{1доп}$, $t_{2доп}$ — минимально допустимое время, в течение которого фабрики обеспечены наличным запасом руды в емкостях и на колесах.

В подобной ситуации, когда обе фабрики находятся в одинаковом положении, состав направляется на ту из фабрик, где время ожидания составом очереди на разгрузку будет минимальным.

2. На одной из фабрик запас руды равен или меньше минимально допустимого, а на другой фабрике — больше минимально допустимого. В этом случае для фабрики, где запас руды меньше или равен минимально допустимому, проверяется время ожидания составом очереди на разгрузку. Если окажется, что время ожидания меньше допустимого значения, т. е.

$$\Delta T_{1ож} < \Delta T_{доп} \text{ или } \Delta T_{2ож} < \Delta T_{доп},$$

то состав направляется на фабрику, где запас руды меньше допустимого.

Если

$$\Delta T_{1ож} \geqslant \Delta T_{доп} \text{ или } \Delta T_{2ож} \geqslant \Delta T_2$$

то направлять состав на фабрику с меньшим запасом руды необязательно, так как к моменту освобождения разгрузочных путей сюда успеет прибыть следующий состав.

Основанием для направления состава на одну из фабрик в этом случае может явиться только качественный состав руды.

3. Рассмотрение качественного состава руды является основанием для выдачи адреса разгрузки и в том случае, когда на обеих фабриках запас руды больше минимально допустимого, т. е. когда

$$t_1 > t_{1доп} \text{ и } t_2 > t_{2доп}.$$

В подобной производственной ситуации состав следует направить на ту из фабрик, технологическим требованиям которой лучше удовлетворяет руда из данного состава.

Средневзвешенные показатели качества руды на фабриках (с учетом составов, направленных на разгрузку) относительно момента поступления рассматриваемого состава на фабрику определяют из выражений

$$P_1 = \frac{A_{1ч} t_1 P_1' + Q P}{A_{1ч} t_1 + Q},$$

$$P_2 = \frac{A_{2ч} t_2 P_2' + Q P}{A_{2ч} t_2 + Q},$$

где P_1', P_2' — среднее качество руды (в процентах содержания P_2O_5) соответственно на АНОФ-1 и АНОФ-2 с учетом составов, находящихся в очереди на разгрузку; P — среднее качество руды (в процентах содержания P_2O_5) в данном составе.

Если обозначить через $P_{1реж}$ и $P_{2реж}$ качество руды, требуемое по условиям технологического режима на АНОФ-1 и АНОФ-2, то отклонение средневзвешенного качества от требуемого

$$\sigma_1 = |P_1 - P_{1реж}|,$$

$$\sigma_2 = |P_2 - P_{2реж}|.$$

На склад направляют составы с рудой, отклонение среднего качества которой от требуемого (по условиям технологического режима) превышает величину допустимого значения: $\sigma_{1доп}$ (для АНОФ-1), $\sigma_{2доп}$ (для АНОФ-2). Таким образом, если $\sigma_1 > \sigma_{1доп}$ или $\sigma_2 > \sigma_{2доп}$, состав направляют на склад; если $\sigma_1 > \sigma_{1доп}$ и $\sigma_2 < \sigma_{1доп}$, состав направляют на АНОФ-2; если $\sigma_1 < \sigma_{1доп}$ и $\sigma_2 > \sigma_2$ состав направляют на АНОФ-1.

Если по качеству руда пригодна для любой фабрики ($\sigma_1 < \sigma_{2доп}$) и ($\sigma_2 < \sigma_{2доп}$), то состав направляют на ту из фабрик, где отклонение качества руды от требуемого меньше.

После выдачи адреса разгрузки проводится подготовка данных для следующего шага расчета. Определяют количество составов, направленных на фабрики; запас руды в емкостях фабрик в данный момент времени с учетом руды составов, направленных на разгрузку; средневзвешенное качество руды в данный момент времени с учетом руды составов, направленных на разгрузку.

Приведенные основные технологические факторы и методика их оценки могут быть использованы при построении автоматических систем управления железнодорожным промышленным транспортом.