

УДК 656.212

Бойко В.А.¹, Гусев Ю.В.²

МЕТОД ОЦЕНКИ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ГРУЗОВОЙ СТАНЦИИ С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ЕЁ РАБОТЫ

Предложен метод оценки перерабатывающей способности грузовой станции, позволяющий при динамическом перераспределении объема транспортной работы выделить множество ее состояний, а также определять вероятность нахождения станции и загрузку технических устройств для каждого состояния.

Грузовая станция металлургического комбината, принимающая массовое сырье, несмотря на относительно стабильный вагонопоток, подвержена периодическому, нерегулируемому росту объема переработки вагонов, обусловленному воздействием ряда случайных факторов: неравномерностью прибытия маршрутов с сырьем, изменением очередности разгрузки маршрутов, связанным с его качеством, аварийными остановками разгрузочного комплекса и др.

В результате такого положения достаточно часто грузовая станция работает в условиях значительной (до 65 – 70 %), а в наиболее неблагоприятных случаях, при максимальной загрузке (до 95 %) технических устройств, что приводит к блокированию её работы.

Анализ работы станции показал, что её главную функцию по приему и выгрузке сырья (Φ) выполняют только две функции (Φ_1 и Φ_2) из пяти действующих. Они характеризуются законченными технологическими траекториями, включающими весь комплекс операций по приему и переработке маршрутов и выгрузке вагонов с сырьем соответственно в летний и зимний периоды.

Функции, обусловленные действием случайных факторов (Φ_3' – очередностью разгрузки маршрутов; Φ_3'' – остановками разгрузочного комплекса; Φ_3''' – сгущением подхода маршрутов), характеризуются локальным участком технологической траектории и связаны только с приемом и отстоем маршрутов и групп вагонов. Именно эти функции являются основной причиной возрастающего объема маневровой работы и продолжительности простоя вагонов в ожидании выполнения дополнительных станционных операций и разгрузки, что приводит к значительному неоправданному увеличению оборота вагонов на станции и транспортным издержкам.

Вместе с этим, достаточно очевидно, что реализация функции отстоя (Φ_3) является объективно необходимой для нормального функционирования грузовой станции. А имеющие место производственные потери являются следствием ошибок, допущенных в процессе проектирования станции, при определении перерабатывающей способности станционных устройств.

Создавшееся положение обусловлено тем, что существующий метод определения перерабатывающей способности технических устройств станции, основанный на учете общего времени их загрузки, не отражает в достаточной мере выполняемые ими функции и степень влияния последних на это время. Кроме того, отсутствуют показатели для оценки объема дополнительной станционной работы по переработке вагонопотока, а также динамики его изменений при реализации функции отстоя (Φ_3) [1].

На магистральных железных дорогах при оценке перерабатывающей мощности сортировочных станций начал применяться функциональный подход с учетом динамики колебания поездопотока [2].

Такой подход представляет несомненный интерес. Однако применительно к специфическим условиям промышленного транспорта и, в частности, к грузовым станциям предприятий, принимающим массовое сырье, он требует дальнейшего развития.

¹ОАО «ММК им. Ильича», инж.

²ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

Целью настоящей статьи является разработка методики оценки перерабатывающей способности технических устройств грузовой станции с учетом динамики её работы.

Грузовая станция в каждый период времени имеет относительно стабильный плановый вагонопоток прибытия сырья (B), определяемый производственной программой аглофабрики. Вместе с этим, в её работе имеют место достаточно большие (особенно в зимний период) колебания объемов переработки вагонов.

Для учета и оценки имеющей место динамики в системную характеристику грузовой станции вводится условный показатель «транспортная работа» (A). В качестве универсального измерителя объема всех видов транспортной работы принимаются вагоно-часы, учитывающие в каждом конкретном случае продолжительность операций (включая простои) и число задействованных в них вагонов.

При этом, время переработки планового вагонопотока (B) с нормативной продолжительностью (T_n) определяет планируемую часть транспортной работы (A). Продолжительность выполнения внепланового объема станционных операций при том же вагонопотоке и системе управления (Y), вызванную воздействием случайных факторов, составляет дополнительную часть транспортной работы (ΔA). Тогда общий объем транспортной работы грузовой станции можно представить выражением

$$A_{об} = A + \Delta A, \text{ ваг. час.} \quad (1)$$

Функциональный анализ показал, что зоной сосредоточения дополнительного объема транспортной работы являются технические устройства грузовой станции – горловина (Γ), приемо-отправочный парк (Π), вытяжка (B_r) и маневровые локомотивы (M_n), перерабатывающая способность которых (N_1, N_2, N_3, L) определяется конструкцией станции (S). При этом степень загрузки станционных устройств в итоге определяется общим объемом транспортной работы [3].

На этой основе формируются результирующие технико-экономические показатели работы станции – фактическое время переработки вагона (T_ϕ) и плата за его пользование (C_ϕ).

В общем нестрогом виде модель функционирования грузовой станции и формирования эксплуатационных и технико-экономических показателей работы приводится на схеме (рис. 1).

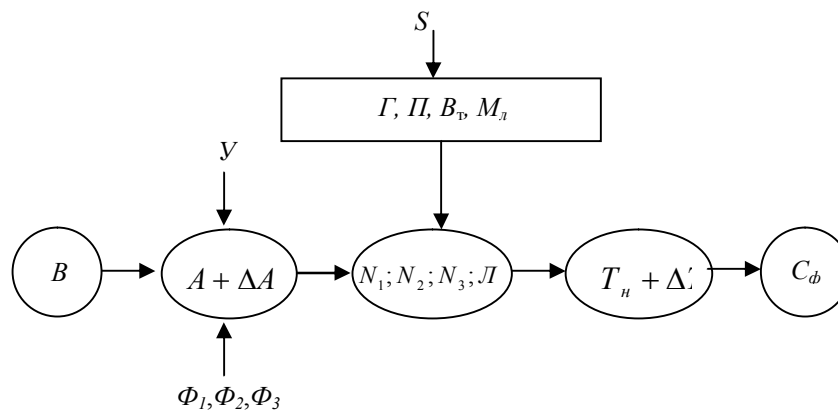


Рис. 1 – Модель функционирования грузовой станции

Следовательно, эффективная работа многофункциональной грузовой станции, имеющей относительно постоянный вагонопоток, будет достигаться за счет обеспечения соответствия: величины фактического объема транспортной работы ($A + \Delta A$), имеющего место при совместном выполнении основных функций, и возможного объема этой работы, зависящей от её перерабатывающей мощности (A_s). Последняя, в свою очередь, определяется конструктивными особенностями станции (принципиальной схемой, конструкцией технических устройств и др.). То есть, можно записать

$$A_s \geq A + \Delta A, \text{ ваг. час/сутки.} \quad (2)$$

Для одного и того же путевого развития функции Φ_1, Φ_2, Φ_3 , выполняемые станцией, в различных эксплуатационных условиях динамически перераспределяются, что приводит к существенному увеличению объема транспортной работы.

Такое перераспределение происходит в рамках наличной пропускной и перерабатывающей способности отдельных технических устройств и станции в целом. Достижение предельных значений этих показателей свидетельствует о том, что конструкция станции и соответствующие ей технические возможности не обеспечивают переработку возросшего объема транспортной работы.

Для количественной оценки такого перераспределения вводится понятие баланса перерабатывающей мощности станции и её технических устройств, который характеризуется коэффициентом динамичности работы станции (k_d).

При реализации расчетного вагонопотока баланс мощности характеризует соотношение суточных вагоночасов, планируемых на его переработку по нормативу продолжительности ($B \cdot T_n$), и фактически выполненного объема транспортной работы ($A + \Delta A$) в вагоночасах за те же сутки.

Используя коэффициент динамичности можно записать выражение, определяющее баланс мощности станции

$$A + \Delta A = k_d \cdot B \cdot T_n, \text{ ваг. час/сутки} \quad (3)$$

Откуда получаем зависимость для определения коэффициента динамичности

$$k_d = \frac{A + \Delta A}{B \cdot T_n} = 1 + \frac{\Delta A}{B \cdot T_n}. \quad (4)$$

Следовательно, другим показателем, характеризующим работу многофункциональной грузовой станции является коэффициент динамичности. С его помощью представляется возможным оценить достигнутый и определить требуемый уровень перерабатывающей мощности грузовой станции в зависимости от изменяющегося объема транспортной работы.

Общий объем транспортной работы грузовой станции предприятия ($A_{об}$) может быть получен из отчетных данных за любой период (смена, сутки, месяц). Плановый объем транспортной работы (A) достаточно просто определяется расчетным путем. Их разница составит дополнительный объем транспортной работы станции (ΔA).

Коэффициент динамичности численно больше или равен единице и отражает относительное увеличение продолжительности нахождения вагонов на станции при воздействии факторов усложняющих процесс обработки вагонов. Среднее значение коэффициента динамичности за расчетный период работы станции рассчитывается исходя из среднесуточного простоя вагонов на станции ($A_{сут}$), среднесуточного количества поездов (n_{cp}) и объема транспортной работы по обработке одного поезда при нормативной длительности операций (a_n)

$$k_d = A_{сут} / (n_{cp} \cdot a_n). \quad (5)$$

В качестве дополнительного показателя отражающего увеличение транспортной работы можно использовать также эквивалентный вагонопоток ($B_{эк}$)

$$B_{эк} = \frac{A + \Delta A}{T_n}, \text{ ваг/сутки} . \quad (6)$$

Однако, рассматривая работу станции, необходимо знать распределение дополнительного объема транспортной работы как по функциям (Φ_3), которые его обуславливают, так и по конкретным техническим устройствам (рис. 2).

С этой целью разработан методический подход, который предусматривает следующую последовательность выполнения исследований: выделяется конечное множество состояний станции, определяется вероятность нахождения станции в каждом состоянии, величина загрузки каждого элемента станции увязывается с множеством ее состояний.

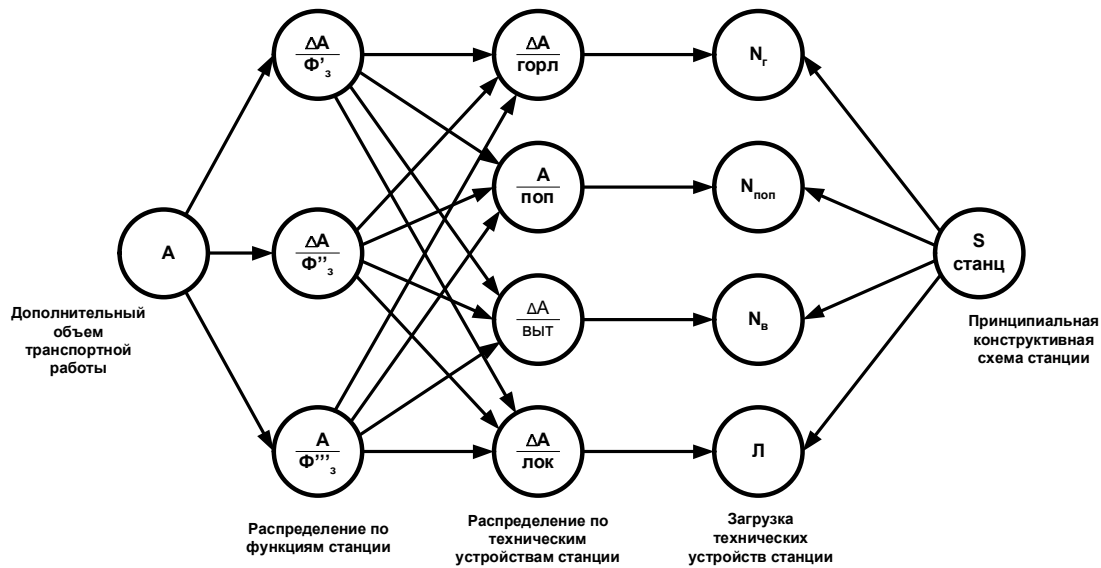


Рис. 2 – Распределение дополнительного объема транспортной работы по функциям и по техническим устройствам

Рассмотрим железнодорожную станцию как систему S имеющую 4 состояния: штатный режим работы (s_0), работа в условиях перешихтовки аглофабрики (s_1), работа при аварийной остановке вагоноопрокидывателя (s_2), работа в условиях перешихтовки аглофабрики и аварийной остановки вагоноопрокидывателя (s_3). Переход из одного состояния в другое происходит под воздействием потоков событий: поток потребностей в перешихтовке с параметром λ_1 , поток длительности перешихтовки с параметром μ_1 , поток отказов вагоноопрокидывателя (λ_2) и поток восстановлений вагоноопрокидывателя (μ_2). Изучение указанных потоков подтвердило предположение о том, что их можно считать пуассоновскими. В этом случае становится возможным исследование системы S используя теорию марковских процессов с дискретным состоянием и непрерывным временем, а для того чтобы описать процесс функционирования станции нужно знать следующие характеристики: перечень состояний с указанием возможных непосредственных переходов из состояния в состояние, интенсивности всех потоков событий, под влиянием которых осуществляются эти переходы, и, в общем случае, состояние системы в начальный момент при $t=0$.

Размеченный граф состояний условий работы станции принят на основе модели функционирования (см. рис. 1) и представлен на рис. 3.

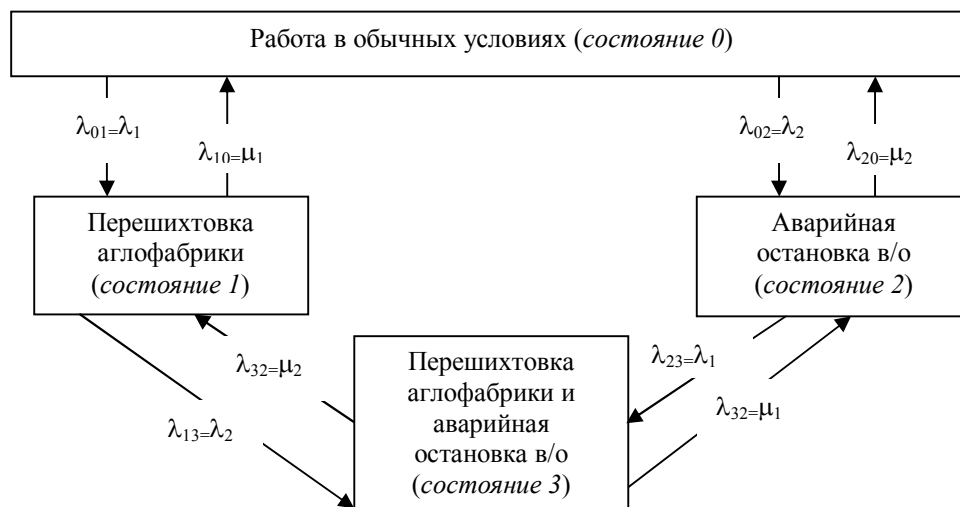


Рис. 3 – Граф состояний условий работы сырьевой станции аглофабрики

Анализ такой системы и расчет вероятности $p_i(t)$ ее нахождения в i -м состоянии в момент времени t осуществляется с использованием уравнений Колмогорова [4]

$$\frac{dp_i(t)}{dt} = \sum_{j=0}^n p_j(t)\lambda_{ji}(t) - p_i \sum_{j=0}^n \lambda_{ij}(t) \quad \text{при } i=0, 1, \dots, n$$

и известных вероятностях состояний в начальный момент времени $t=0$
 $p_0(0), p_1(0), \dots, p_n(0)$.

Решение уравнений значительно упрощается, если описываемая система является эргодической, для которой характерным является переход после начала функционирования к стационарному режиму. При этом для процесса протекающего в ней должно выполняться два необходимых и достаточных условия: граф состояний не имеет ни одного состояния и ни одного подмножества состояний без выхода и без входа; все потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, простейшие с постоянными интенсивностями. Поскольку указанные требования имеют место при функционировании станции, то дифференциальные уравнения Колмогорова превращаются в систему однородных алгебраических уравнений с постоянными коэффициентами

$$p_i \sum_{j=0}^n \lambda_{ij} = \sum_{j=0}^n \lambda_{ji} p_j \quad \text{при } i=0, 1, \dots, n. \quad (7)$$

Для размеченного графа представленного на рис. 3 система уравнений имеет вид

$$\begin{cases} p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1; \\ (\lambda_1 + \lambda_2)p_0 = \mu_1 p_1 + \mu_2 p_2; \\ (\mu_1 + \lambda_2)p_1 = \lambda_1 p_0 + \mu_2 p_3; \\ (\lambda_1 + \mu_2)p_2 = \lambda_2 p_0 + \mu_1 p_3; \\ (\mu_1 + \mu_2)p_3 = \lambda_1 p_2 + \lambda_2 p_1. \end{cases} \quad (8)$$

Решение этой системы приводит к следующему результату

$$\begin{aligned} p_0 &= (1 + \lambda_1/\mu_1 + \lambda_2/\mu_2 + \lambda_2\lambda_1/(\mu_1\mu_2))^{-1}; \\ p_1 &= p_0\lambda_1/\mu_1; \\ p_2 &= p_0\lambda_2/\mu_2; \\ p_3 &= p_0\lambda_2\lambda_1/(\mu_1\mu_2). \end{aligned}$$

Общая формула расчета объема транспортной работы имеет вид

$$A = n \sum_{i=0}^3 p_i \sum_j q_{ij} a_{ij}, \quad (9)$$

где q_{ij} – вероятность того, что система находится в i -м состоянии и станция работает по j -му варианту;

a_{ij} – объем транспортной работы по обработке одного поезда при i -м состоянии системы и j -м варианте работы станции;

n – количество поездов.

Сравнение расчетного объема транспортной работы с фактическим значением среднесуточной величины простоя вагонов на станции, измеренного в вагоночасах, позволяет произвести верификацию модели в целом и вероятностей p_i и q_{ij} .

После проверки адекватности модели и точности значений вероятностей состояний системы можно определить объем дополнительной транспортной работы и уровень загрузки технических средств транспорта.

Объем дополнительной транспортной работы за период t зависит от количества прошедших поездов (n)

$$\Delta A = n \sum_{i=0}^3 p_i \sum_j q_{ij} (a_{ij} - a_n), \quad (10)$$

где a_n – объем транспортной работы по обработке одного поезда при нормативной длительности операций.

Тогда коэффициент динамичности

$$k = 1 + \Delta A/(n \cdot a_n).$$

$$k = 1 + \sum_i \sum_j p_i q_{ij} \frac{a_{ij} - a_n}{a_n}. \quad (11)$$

Обозначим $k_{ij} = p_i q_{ij} \frac{a_{ij} - a_n}{a_n}$, тогда $k = 1 + \sum_i \sum_j k_{ij}$.

Отсюда следует, что каждая из возникающих на станции ситуаций влияет на динамичность системы и отражается отдельной составляющей в суммарном значении коэффициента k . При этом коэффициент k_{ij} отражает степень влияния на динамичность i -го состояния системы и j -м варианте работы станции.

Следующим этапом исследования работы станции является определение уровня загрузки технических средств, в первую очередь путей приемоотправочного парка (z_n) и горловины (z_r)

$$z_n = T_n / (1440 \cdot n_n),$$

$$z_r = T_r / 1440,$$

$$T_n = n \sum_{i=0}^3 p_i \sum_j q_{ij} T_{nij}; \quad T_r = n \sum_{i=0}^3 p_i \sum_j q_{ij} T_{zij}, \quad (12)$$

где T_{nij} , T_{zij} – продолжительность занятия путей и горловины при i -м состоянии системы и j -м варианте работы станции;

n_n – количество путей в приемоотправочном парке станции.

Полученные данные позволят оценить для различных эксплуатационных условий загрузку технических устройств и принять конкретные технические решения по их резервированию или развитию, а на их основе определить пути совершенствования конструкции станции в целом.

Выводы

1. Для определения дополнительного объема переработки вагонопотока принят условный показатель – «транспортная работа», измеряемый в вагоно-часах, а для оценки загрузки технических устройств при его динамическом перераспределении введен коэффициент динамичности.
2. Предложен метод оценки перерабатывающей способности грузовой станции, позволяющий оперируя показателями объема транспортной работы и коэффициентами динамичности, выделить множество ее состояний, а также определить вероятность нахождения станции и загрузку технических устройств для каждого состояния. Дальнейшими исследованиями предполагается отработка рекомендаций по техническому развитию станций и модернизации ее технических устройств.

Перечень ссылок

1. *Парунакян В.Э.* Методика оценки перерабатывающей мощности грузовой железнодорожной станции промышленного предприятия. Часть I / *В.Э. Парунакян, В.А. Бойко* // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2007. – Вип. № 17. – С. 193 – 197.
2. *Бородин А.Ф.* Эффективно использовать станционные мощности / *А.Ф. Бородин* // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 9. – С. 41 – 49.
3. *Парунакян В.Э.* Методика оценки перерабатывающей мощности грузовой железнодорожной станции промышленного предприятия. Часть II / *В.Э. Парунакян, В.А. Бойко* // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2008. – Вип. № 18. – С. 214 – 220.
4. *Вентцель Е.С.* Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – Учеб. пособие для втузов / *Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров.* – 4-е изд., стер. – М.: Высш. шк., 2007. – 479 с.

Рецензент: В.Э. Парунакян
д-р техн. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 04.06.2009