

УДК 656.073

Парунакян В.Э., д.т.н., проф. Рыбалкин А.Н., Сизова Е.И.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ЛОГИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ РАБОТОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛИНИИ ПО ПРИЁМУ МАССОВОГО СЫРЬЯ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИКИ ВХОДЯЩЕГО ПОЕЗДОПОТОКА

Установлены закономерности и эксплуатационные показатели функционирования технологической линии транспортно-грузового комплекса по приёму и выгрузке маршрутов с сырьём при имеющей место динамике входящего поездопотока. На этой основе предложен метод и функциональная схема логистического управления их переработкой поездопотока.

Постановка проблемы. Аглофабрики металлургических комбинатов включают в свою структуру транспортно-грузовые комплексы (ТГК) по приёму и выгрузке массового железосодержащего сырья, которые состоят обычно из выгрузочной системы и грузовой железнодорожной станции (рис. 1).

Центральным звеном ТГК является высокопроизводительная технологическая линия по приёму и выгрузке маршрутов с сырьём, содержащая транспортный и грузовой модули. Ведущим в технологической линии является грузовой модуль, который включает роторные вагоноопрокидыватели с отводящими конвейерами. Он представляет собой детерминированную систему, осуществляющую подготовку и выгрузку вагонов, а её перерабатывающая способность устанавливается в соответствии с производственной мощностью аглофабрики.

У аглофабрики базового металлургического комбината, при производственной мощности 12,0 млн. тонн агломерата в год, фактическая суточная потребность в железосодержащем сырье составляет около 30,0 тыс. тонн. В реальных эксплуатационных условиях перерабатывающая способность двух вагоноопрокидывателей грузового модуля составляет около 450 вагонов в сутки. Последняя принята в основу проектной (нормативной) технологии поточного процесса приёма и выгрузки маршрутов с разделением последних на три группы вагонов (22+22+11). При этом расчётная продолжительность цикла (такта) переработки маршрута обеспечивающая синхронизацию работы модулей технологической линии, то есть, штатный режим её работы составляет $T_{ц}=5,0-5,5$ час.

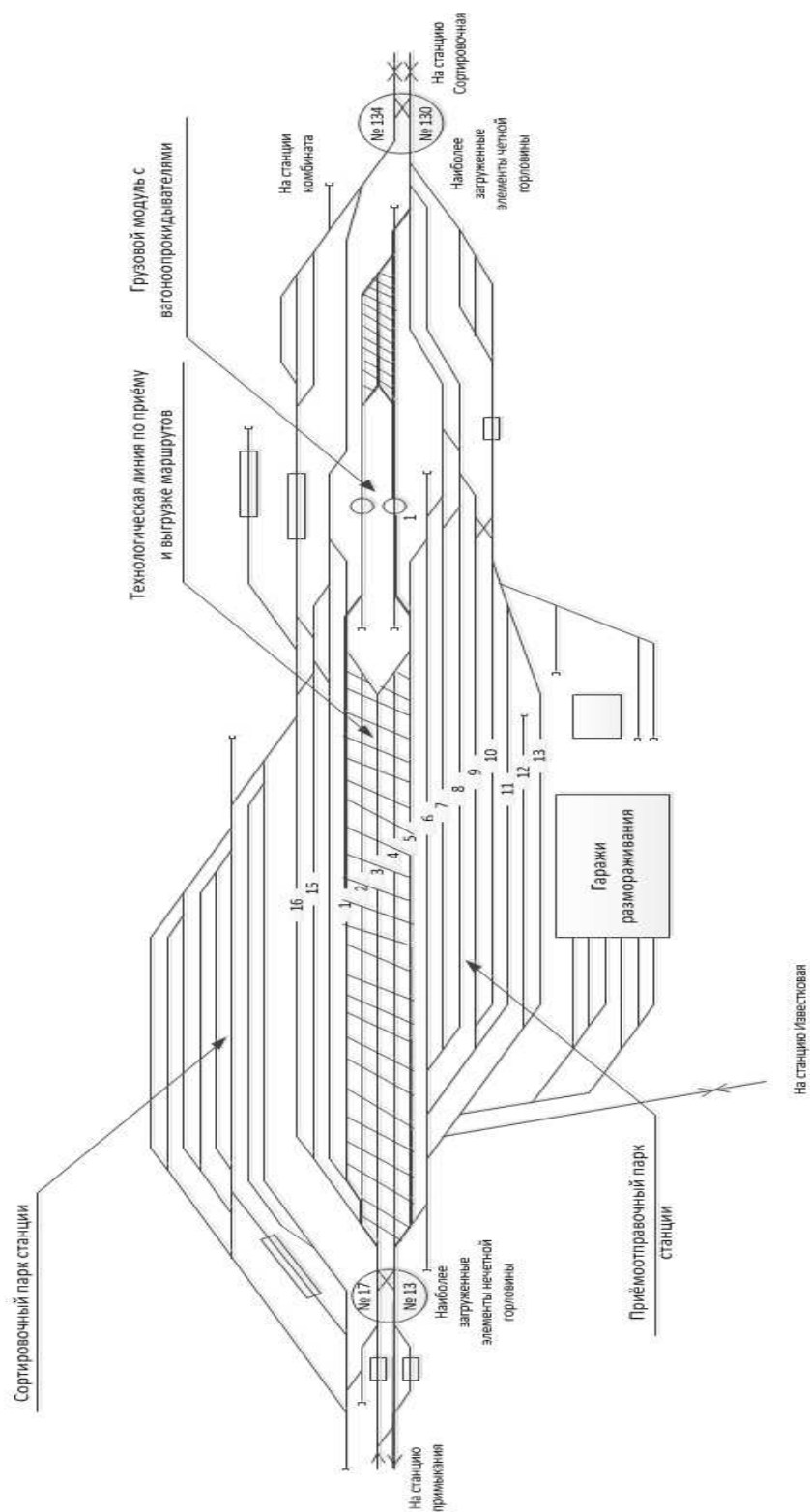


Рисунок 1 – Транспортно-грузовой комплекс (ТГК) агломерации с грузовой станцией

Транспортный модуль производит приём груженных маршрутов на технологическую линию, технический и коммерческий приём гружённых маршрутов и подачу групп вагонов на выгрузку. Подход на станцию маршрутов с сырьём характеризуется значительной неравномерностью, с колебанием интервалов прибытия в диапазоне от 0,5-1 до 6-8 часов. То есть, транспортный модуль характеризуется стохастическим режимом функционирования, при котором в периоды сгущения интервалов прибытия возникает необходимость дополнительного технологического отстоя маршрутов и групп вагонов перед выгрузкой. В эти периоды продолжительность цикла переработки маршрута достигает $T_{\text{ц}}=8-10$ час и более.

Установлено, что в существующих эксплуатационных условиях при аритмии работы внешнего транспорта и действующего производства технологическая линия ТГК аглофабрики функционирует весьма неэффективно, поскольку обеспечивает переработку маршрутов в рамках установленного нормативного времени ($T_{\text{ц}}$) лишь в 18-20 % случаев.

Сложившееся положение приводит к весьма существенному увеличению продолжительности использования вагонов внешнего парка, значительным транспортным издержкам и производственным потерям [1].

Следовательно, на данном этапе весьма важным вопросом является создание эффективной системы управления работой технологической линии ТГК в условиях динамики входящего поездопотока.

Анализ последних публикаций и исследований. В последние годы на магистральных железных дорогах в связи с возросшей динамикой поездопотоков интенсифицировались исследования закономерностей функционирования инфраструктуры: станций и их элементов, сортировочных устройств, грузовых комплексов и др.

В этой связи следует отметить работы проф. А.Ф. Бородина [2], доц. П.А. Минакова [3]. В них рассматриваются вопросы взаимодействия модулей технологических линий переработки вагонопотока в парках сортировочной станции, предлагаются новые подходы к оценке потребных и выбору варианта эффективного использования станционных мощностей в условиях имеющей место динамики перевозочного процесса.

Представляет интерес работа группы авторов под редакцией проф. П.С. Грунтова [4]. В ней, в частности, приводятся основные положения исследования режимов и закономерностей функционирования и взаимодействия в работе основных объектов станций между собой и с прилегающими участками.

Новые пути решения проблемы повышения эффективности использования перерабатывающих мощностей транспортной

инфраструктуры станции магистральных железных дорог хорошо согласуются с аналогичными проблемами промышленного транспорта. Вместе с этим специфика условий работы железнодорожного транспорта металлургических предприятий требует дальнейшего развития предлагаемых в указанных источниках методов, моделей и алгоритмов.

Целью статьи является исследование процесса и разработка метода управления работой технологической линии по приёму массового сырья в условиях динамики прибытия маршрутов.

Содержание и результаты исследований. Технологическую линию по переработке вагонопотока следует рассматривать в качестве большой системы со входом (приём гружёных маршрутов) и выходом (выгрузка маршрутов), нагрузкой – потоком поездов $N(t)$ и его трансформацией в поточном процессе их переработки в модулях.

Основываясь на данном положении, проанализируем работу технологической линии по приёму и выгрузке маршрутов подробно.

В транспортный модуль маршруты поступают через некоторые интервалы времени $I_{\Pi 1}^T, I_{\Pi 2}^T, \dots, I_{\Pi i}^T, \dots, I_{\Pi n}^T, I_{\Pi n+1}^T$ и т.д. После выполнения операций по приёму гружёных маршрутов t_{mex}^T в модуле образуется последовательность промежутков времени $t_{\Pi 1}^T, t_{\Pi 2}^T, \dots, t_{\Pi i}^T, \dots, t_{\Pi n}^T, t_{\Pi n+1}^T$ в течение которых фиксируется готовность групп вагонов к подаче в грузовой модуль.

Для этого необходимо, чтобы в данный момент был свободен хотя бы один из вагоноопрокидывателей грузового модуля. Однако, фактические моменты времени готовности групп вагонов для подачи на выгрузку достаточно часто не совпадают с моментами времени готовности грузового модуля к выгрузке и они ожидают подачи на вагоноопрокидыватели в транспортном модуле ($t_{дп}^T$).

Анализ процесса выгрузки показывает, что в моменты готовности вагонов к выгрузке только в 16-18 % случаев свободными оказываются оба вагоноопрокидывателя, в 26-28 % случаев свободен лишь один вагоноопрокидыватель, а в 52-54 % случаев – заняты оба вагоноопрокидывателя.

В свою очередь временной интервал (I_{Bi}^T), по истечении которого выгруженные вагоны передаются в парк накопления, однозначно определяет продолжительность выгрузки маршрутов (t_{mex}^T).

Кроме того, интенсивность поступления маршрутов в транспортный модуль характеризуется средним темпом (тактом) ($\bar{\mu}_{\Pi}^T$), а интенсивность выгрузки в грузовом модуле – нормативным темпом ($\bar{\mu}_H^T$).

Анализ динамики изменения продолжительности приёма и выгрузки маршрутов показывает, что эти изменения (рост продолжительности до максимума, сокращение до нормы и др.) для цикла переработки маршрута ($T_{ц}$) определяется соотношением интервалов на входе и выходе технологической линии. В любом случае для технологической линии будет иметь место различная динамика изменения продолжительности цикла, складывающаяся из нормативного времени выполнения основных операций и продолжительности межоперационных ожиданий в модулях.

В общем виде продолжительность цикла приёма и выгрузки маршрута ($T_{ц}$), реализуемую технологической линией, можно представить выражением:

$$T_{ц} = \left(\sum t_{TEX}^T + t_{ДП}^T \right) + \sum t_{TEX}^Г, \text{ мин.} \quad (1)$$

где $\sum t_{TEX}^T$, $\sum t_{TEX}^Г$ – технологическая (нормативная) продолжительность основных операций и межоперационные ожидания в транспортном и грузовом модулях соответственно;

$t_{ДП}^T$ – продолжительность дополнительного простоя маршрутов в транспортном модуле в ожидании выгрузки, мин.

Динамика изменения продолжительности цикла приёма и выгрузки маршрутов на технологической линии выгрузочного комплекса в зависимости от величин интервалов их прибытия представлена на графике (рис. 2).

Анализ графика показывает, что в зависимости от соотношения продолжительности интервалов прибытия маршрутов ($I_{П}^T$) и интервалов их выгрузки тремя группами вагонов на вагоноопрокидывателях ($I_{В}^Г$) имеет место наличие нескольких состояний с различными режимами работы технологической линии и грузовой станции в целом. Рассмотрим эти режимы.

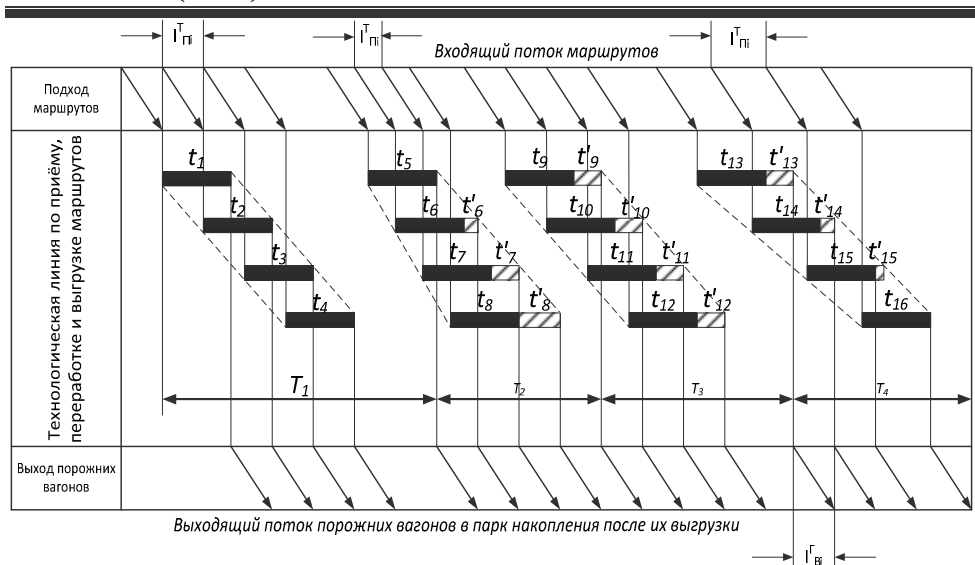


Рисунок 2 – Динамика изменения продолжительности цикла переработки маршрута на технологической линии в зависимости от величин интервалов их прибытия

В течение некоторого периода времени T_1 средний интервал поступления маршрутов в транспортный модуль ($I_{П}^T$) был больше, чем продолжительность их выгрузки на вагоноопрокидывателях (I_{B1}^T), или средний темп поступления маршрутов в транспортный модуль ($\overline{\chi}_{Ti}^T$) был меньше чем нормативный темп их выгрузки (μ_H^T):

$$\left. \begin{aligned} \overline{I}_{П1}^T &\geq I_{B1}^T \\ \overline{\chi}_{П1}^T &< \mu_H^T \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Время обслуживания каждого маршрута в периоде (t_1, t_2, t_3, t_4) хотя и не было строго равным, темп работы грузового модуля соответствовал или несколько опережал темп подачи и переработки маршрутов в транспортном модуле. То есть, технологическая линия работала по проектной технологической траектории в штатном режиме и обеспечивалась синхронизация функционирования модулей.

В течение периода T_2 реализовывались уже следующие соотношения интервалов и темпов:

$$\left. \begin{aligned} \overline{I}_{П2}^T &< I_{B2}^T \\ \overline{\chi}_{П2}^T &> \mu_H^T \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

То есть, имел место переходный режим работы технологической линии. В этот период синхронизация работы

нарушается, и проектная технологическая траектория поточного процесса переработки маршрутов деформируется. Возникает и начинает интенсивно нарастать, обусловленный этими факторами, дополнительный простой маршрутов в ожидании выгрузки (t'_6, t'_7, t'_8, t'_9), а общее время их простоя, начиная с шестого, составляет уже $t_6 + t'_6, t_7 + t'_7$ и т.д., а $t_7 + t'_7 > t_6 + t'_6$.

При продолжительной работе в этом режиме происходит заполнение специализированных путей транспортного модуля, а затем – отдельных путей приёмоотправочного парка станции, существенно увеличивается загрузка горловин. То есть, станция переходит в нештатный режим работы.

В течение периода T_3 в среднем выполняются соотношения:

$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_{ПЗ}^T &\cong I_{B3}^T \\ \bar{Q}_{ПЗ}^T &\cong \mu_H^T \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

В этом периоде, возросший в предыдущем периоде до максимального, дополнительный простой маршрутов в транспортном модуле в ожидании выгрузки относительно стабилизировался ($t'_9, t'_{10}, t'_{11}, t'_{12}$), а общий простой каждого из прибывших в этот период маршрутов составил $t_9 + t'_9, t_{10} + t'_{10}$ и т.д.

При этом проектная технологическая траектория переработки маршрутов полностью утрачивает своё значение и станция в целом функционирует в нештатном режиме.

Работа технологической линии в таком режиме приводит к полному заполнению невыгруженными маршрутами путевых ёмкостей приёмоотправочного парка станции, а также их задержке на подходах к ней. Загрузка горловины станции достигает предельных значений. В этот период в работе станции имеют место сбои, а в целом ряде случаев её работа на определённое время блокируется. Из такого режима технологическая линия может выйти только через переходный период.

Период T_4 характеризуется тем, что устанавливается следующее соотношение интервалов и темпов:

$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_{П4}^T &\geq I_{B4}^T \\ \bar{Q}_{П4}^T &< \mu_H^T \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В течение данного периода дополнительный простой маршрутов в ожидании выгрузки ($t'_{13}, t'_{14}, t'_{15}, t'_{16}$) уменьшается, а общий простой прибывшего маршрута состоит из $t_{13} + t'_{13}, t_{14} + t'_{14}$, причём $t_{14} + t'_{14} < t_{13} + t'_{13}$ и т.д.

При сохранении такого соотношения в определённый момент и на определённый период технологическая линия вновь переходит на работу по проектной технологической траектории в штатном режиме T_1 . Однако в дальнейшем вновь установится соотношение интервалов и темпов, соответствующее переходному режиму и цикл функционирования повторяется (полностью или частично).

Следовательно, в процессе функционирования технологическая линия проходит несколько различных состояний, определяемых соотношением интервала прибытия маршрута в транспортный модуль (I_H^T) и продолжительностью выгрузки маршрутов в грузовой модуль (I_B^T). Установлено также, что указанное соотношение формирует продолжительность дополнительного простоя маршрутов в транспортном модуле в ожидании выгрузки ($t_{ДП}^T$), который в итоге определяет общую продолжительность цикла их переработки ($T_{Ц}$), представленную формулой (1).

Таким образом, при случайном характере интервалов прибытия маршрутов с внешней сети, которые характеризуются значительным диапазоном и амплитудой колебаний, и наличии детерминированной системы разгрузки, их дополнительный простой перед выгрузкой выполняет по существу важную самостоятельную функцию регулятора общей продолжительности цикла переработки.

Учитывая данное положение, дополнительный простой маршрутов в транспортном модуле перед выгрузкой выделяется в структуре цикла переработки в самостоятельную операцию – технологический отстой маршрутов ($t_{ТО}$). При этом продолжительность технологического отстоя может изменяться от нормативной величины ($t_{ТОН}^T$), предусмотренной проектной технологической траекторией процесса переработки, до наибольших значений ($t_{ТОФ}^T$), имеющих место при максимальном сгущении интервалов прибытия маршрутов.

Тогда фактическую продолжительность цикла переработки маршрута следует записать в следующем виде:

$$T_{ЦФ} = \sum t_{ТЕХ}^T + \max \left\{ \begin{matrix} t_{ТОН}^T \\ t_{ТОФ}^T \end{matrix} \right\} + \sum t_{ТЕХ}^Г, \text{ мин} \quad (6)$$

где $t_{ТОН}^T$ – нормативная продолжительность технологического отстоя по проектной технологической траектории переработки маршрута, мин.;

$t_{ТОФ}^T$ – фактическая продолжительность технологического отстоя, мин.

Вышеизложенное даёт основание считать, что, установление зависимости между продолжительностью технологического отстоя маршрутов и интервалами прибытия $t_{ТОФ}^T = f(I_{ВХ})$ позволит определять её величину и соответствующую ей общую продолжительность цикла переработки маршрута ($T_{ЦФ}$) для каждого состояния технологической линии.

Основываясь на данном положении, предложен метод логистического управления процессом приёма и выгрузки маршрутов при имеющей место динамике входящего поездопотока, обеспечивающий поточность процесса и эффективное функционирование технологической линии. При этом решение поставленной задачи достигается за счёт технической, технологической и организационной сопряжённости модулей, обеспечивающей синхронизацию их работы [5, 6].

В предложенном методе в качестве управляемой величины принимается фактическая продолжительность цикла переработки маршрута ($T_{ЦФ}$), определяемая интервалами их прибытия ($I_{ВХ}^T$), а критерием управления – нормативная продолжительность цикла переработки маршрута, установленная для проектной технологии работы линии ($T_{ЦПР}$).

Функциональная схема логистического управления работой технологической линии по приёму и выгрузке маршрутов приведена на рисунке 3.

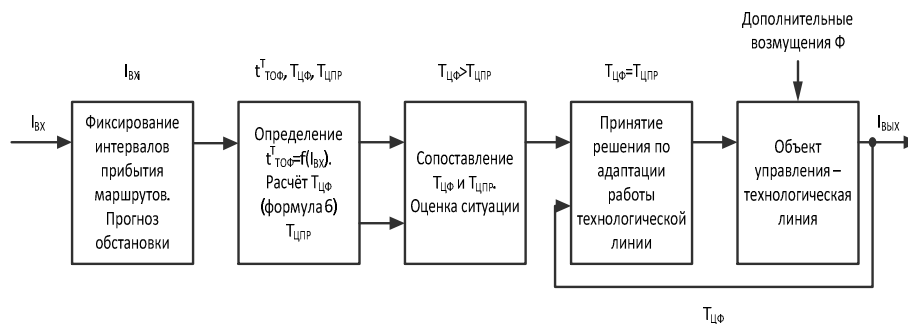


Рисунок 3 – Функциональная схема логистического управления работой технологической линии

В соответствии с заданными функциями приведённый алгоритм процесса управления позволит выбирать оптимальный вариант адаптационного решения, которое обеспечит работу технологической линии по приёму и выгрузке маршрутов в рамках проектной технологической траектории, а работу станции в целом – в штатном режиме.

Реализация метода управления связана с необходимостью выбора математической модели для установления зависимости,

связывающей интервалы прибытия и продолжительность цикла переработки маршрута. В этом направлении и проводятся дальнейшие исследования.

Выводы

1. Установлено, что при случайном характере интервалов прибытия маршрутов с сырьём и детерминированной системе их выгрузки технологическое ожидание выгрузки выполняет роль регулятора продолжительности цикла переработки маршрута. Поэтому определение зависимости между этими показателями $t_{ТОФ}^T = f(I_{ВХ})$ позволит определять продолжительность цикла переработки маршрутов при любой динамике входящего поездопотока.

2. Основываясь на результатах исследований, предложен метод логистического управления процессом переработки маршрутов при имеющей место динамике поездопотока. При этом за управляемую величину принимается фактическая продолжительность переработки маршрута ($T_{ЦФ}$), обусловленная интервалами их прибытия ($I_{ВХ}$), а критерием управления – продолжительность цикла переработки, соответствующая проектной технологической траектории работы линии ($T_{ЦПР}$). Процесс управления предполагает регулярное определение ($T_{ЦФ}$) и сопоставление этих величин, и при $T_{ЦФ} > T_{ЦПР}$, с учётом влияния других возмущений, принятие управленческого решения по адаптации функционирования технологической линии к показателям, соответствующим проектной технологии переработки маршрутов.

3. В соответствии с предложенными принципами разработана функциональная схема логистического управления работой технологической линии и исходные требования для разработки модели управления.

Литература

1. Парунакян В.Э. Моделирование процесса переработки вагонопотока грузовой станции с учётом воздействия динамических факторов / В.Э. Парунакян, В.А. Бойко // Вісник СНУ ім. В. Даля. – 2011. – № 12(166), Ч.1. – С. 174-185.
2. Бородин А.Ф. Эффективно использовать станционные мощности / А.В. Бородин // Железнодорожный транспорт. – 2006. – № 9. – С. 41-49.
3. Минкаов П.А. Взаимодействие технологических линий в парке приёма сортировочной станции / П.А. Минаков // Железнодорожный транспорт. – 2012. – № 9. – С. 23-25.

-
4. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов / П.С. Грунтов, Ю.В. Дьячков, А.М. Макаровичкин и др.: Под ред. П.С. Грунтова. – М.: Транспорт, 1994 г. – 543 с.
 5. Логистические цепи сложно-технологических производств: Учебное пособие / Л.Б. Миротин, В.А. Корчагин, С.А. Ляпунов, А.Г. Некрасов. – М.: Издательство «Экзамен», 2005 г. – 288 с.
 6. Михайлов В.С. Теория управления. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1998. – 312 с.