

3. Akulinichev V.M. Organization of transport on industrial transport. / V.M. Akulinichev. – М. : Transport, 1983. – 219 p. (Rus.)
4. Levin D.Ju. Dispatch centers and the technology of transportation process: ucheb. posobie / D. Ju. Levin. – М. : Marshrut, 2005. – 760 p. (Rus.)
5. Stok Dzh.R. Strategic management of logistics. / Dzh.R. Stok, D.M. Lambert. – М. : INFRA-M, 2005. – 797 p. (Rus.)
6. Aleksandrov A.Je. Mathematical model of the automated control system of coordinated delivery of goods. / A.Je. Aleksandrov. – Transport: nauka, tehnika, upravlenie. – 2006. – № 11. – P. 37-39. (Rus.)

Рецензент: В.К. Губенко
д-р техн. наук, проф. ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 19.11.2012

УДК 656.2:669.013

Аксёнов М.Л.*

КОМПЛЕКСНАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В статье приведена комплексная модель транспортного процесса металлургического предприятия, состоящая из технологических, информационных и управляющих операций. Разработана и построена матрица взаимосвязи операций, на основе которой построена комплексная модель. В работе обоснован принцип разнонаправленности векторов операций управления и информации.

Ключевые слова: модель транспортного процесса, технологические операции, информационные операции, операции управления, матрица взаимосвязи операций.

Аксёнов М.Л. Комплексна модель системи транспортного обслуговування металургійного підприємства. У статті наведена комплексна модель транспортного процесу металургійного підприємства, що складається з технологічних, інформаційних і керуючих операцій. Розроблена і побудована матриця взаємозв'язку операцій, на основі якої побудована комплексна модель. В роботі обґрунтований принцип різноспрямованості векторів операцій управління та інформації.

Ключові слова: модель транспортного процесу, технологічні операції, інформаційні операції, операції керування, матриця взаємозв'язку операцій.

M.L. Aksenov. Complex model for the transport service of metallurgical enterprises.

The article provides a comprehensive model of the transport process steel plant, consisting of technology, information and control operations. Designed and built the relationship matrix operations, on which is built a complex model. We justify the principle of multi-directional vectors of operations management and information.

Keywords: model the transport process, operations, information operations, operations management, relationship matrix operations.

Постановка проблемы. Промышленный транспорт металлургических предприятий представляет собой сложную динамическую систему, состоящую из взаимосвязанных и взаимодействующих транспортных и производственных подсистем. Этим системам присущи такие свойства, как многоуровневость структуры, многокритериальность цели, управляемость процессов и их сложная взаимосвязь [1].

Для предприятий металлургической отрасли системы промышленного транспорта играют

* ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

огромную роль, осуществляя доставку основного сырья и вывоз готовой продукции. Поэтому организация качественных перевозок, эффективное использование подвижного состава, снижение эксплуатационных расходов должны проводиться с использованием последних инновационных научных разработок в этой области. При этом необходимость предусматривать взаимосвязь технологических процессов на транспорте и необходимость построения информационно-аналитических и моделирующих систем поддержки принятия решений при организации перевозочного процесса следует учитывать на всех этапах: прогноз, моделирование, разработка технологических документов, оперативное управление, анализ [2].

Анализ последних исследований и публикаций. Моделированию транспортных процессов посвящено большое количество научных работ. Значительная часть этих трудов связана с исследованиями в области магистрального транспорта. Такие ученые, как А.Т. Осьминин, П.А. Козлов, Т.В. Бутько, Д.В. Ломотько разработали ряд оригинальных методик в области расчета плана формирования поездов, автоматизации расчетов план-графиков, а также создания информационно-управляющих систем на базе моделирования транспортных процессов [3-4].

В области моделирования транспортных процессов металлургических предприятий следует отметить работы Трофимова С.В, Лукьянова В.А., которые с использованием оригинальных операторов «канал» и «бункер» моделируют систему транспортного обслуживания металлургического предприятия [5-6].

С развитием информационных технологий в последние годы наблюдается динамика роста объема информации и, как следствие, увеличивается количество операций связанных с его переработкой. Поэтому очевидно, что модель транспортного процесса металлургического предприятия однозначно должна учитывать не только технологические операции с учетом всех возможных ресурсов и ограничений, но и информационные и операции управления.

Цель статьи – разработка комплексной модели системы транспортного обслуживания металлургического предприятия.

Изложение основного материала. Исследование и оптимизацию работы крупных объектов промышленного железнодорожного транспорта металлургического комплекса во взаимодействии с производством можно выполнить созданием модели транспортного процесса. При ее построении необходимо учесть комплекс предпосылок: модель должна допускать использование частично-формализованных (экспертных) знаний; хорошо отображать технологические и информационные процессы, а также процессы иерархического управления; необходимо достаточно полное описание факторов случайного характера; модель должна быть реализована по ситуационному принципу управления, так как он наиболее соответствует процессам управления в сложных транспортных системах; она должна включать в себя два уровня, один из которых отображает непосредственно перевозочную работу, а другой – управляющую деятельность диспетчеров станций [7, 8]. Для примера рассмотрим двухуровневую систему функционирования ст. Рудная базового металлургического комбината им. Ильича (рис. 1).

Опытные диспетчеры быстро принимают решения в зависимости от сложившейся обстановки, при этом в памяти диспетчера хранится достаточно устойчивый набор решений и условий их принятия. Чем выше иерархический уровень управления, тем более обобщенно представляет диспетчер себе обстановку, которая характеризуется не только количественными, но и качественными параметрами.

Определенную трудность при разработке модели представляет отображение оперативного управления и взаимосвязи операций, существующих в реальной транспортной системе. Это достигается составлением «Матрицы взаимосвязи операций» (табл.), которая устанавливает последовательность выполнения отдельных операций в модели. Таблица разрабатывается на основе существующей технологии.

Технология работы транспортной системы в модели должна быть представлена рядом элементарных операций. В одну операцию выделяется относительно обособленная часть технологического процесса. Например, операция разгрузки, подачи или уборки вагонов с грузового фронта и т.п. При выделении операции необходимо учитывать то обстоятельство, что она не может выполняться по частям. Начинается операция лишь в том случае, если она может полностью завершиться. Операции различаются по характеру отображаемой ими работы (транспортно-технологические, информационные, управления) и по совокупности используемых технических устройств, отображаемых в операции элементами модели.

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЕ ПОЛЕ

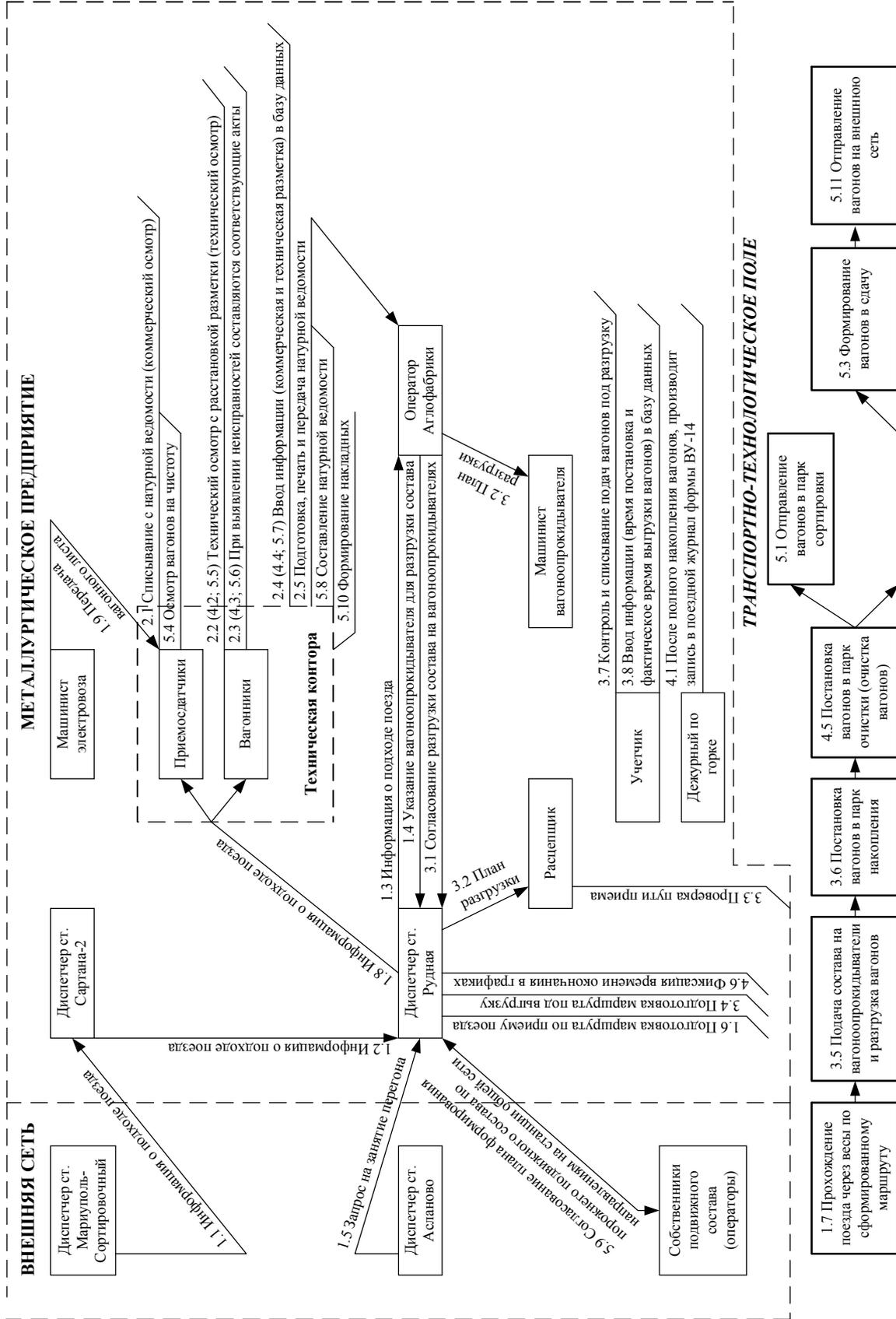


Рис. 1 – Двухуровневая система функционирования ст. Рудная металлургического комбината им. Ильича

Таблица

Матрица взаимосвязи операций

	1.1 ^[И]	1.2 ^[И]	1.3 ^[И]	1.4 ^[У]	1.5 ^[У]	1.6 ^[У]	1.7 ^[Т]	1.8 ^[И]	1.9 ^[И]	2.1 ^[И]	2.2 ^[И]	...	5.11 ^[Т]
1.1 ^[И]	0	1^[+]	0	0	0	0	0	1^[+]	0	0	0		0
1.2 ^[И]	1^[+]	0	1^[+]	0	0	0	0	0	0	0	0		0
1.3 ^[И]	0	1^[+]	0	1^[+]	0	0	0	0	0	0	0		0
1.4 ^[У]	0	0	1^[+]	0	1^[+]	1^[+]	0	0	0	0	0		0
1.5 ^[У]	0	0	0	1^[+]	0	1^[+]	0	0	0	0	0		0
1.6 ^[У]	0	0	0	1^[+]	1^[+]	0	1^[+]	0	0	0	0		0
1.7 ^[Т]	0	0	0	0	0	1^[+]	0	0	1^[+]	0	0		0
1.8 ^[И]	1^[+]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
1.9 ^[И]	0	0	0	0	0	0	1^[+]	0	0	1^[+]	1^[+]		0
2.1 ^[И]	0	0	0	0	0	0	1^[+]	0	1^[+]	0	1^[+]		0
2.2 ^[И]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1^[+]	0		0
...													
5.11 ^[Т]	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0

Обозначения к таблице:

^[И] – индекс информационной операции

^[У] – индекс операции управления

^[Т] – индекс технологической операции

1^[+], **1^[+]** – жесткая связь с последующей и предыдущей операцией соответственно

1^[+], **1^[+]** – слабая связь с последующей и предыдущей операцией соответственно

1^[+] – связь между параллельными операциями

0 – отсутствие связи.

Таким образом, множество O_p операций, заданное на множестве X элементов, формирует совокупность изолированных элементарных моделей, каждая из которых функционирует на графе G_j . Графы G_j могут пересекаться. В единое целое элементарные модели объединяет оператор управления $f(t)$, который выполняет две функции:

- задает алгебраическую структуру $\langle G, \varphi \rangle$ на множестве графов G_j , $G = \{G_j\}$;
- реализует управление (t) в пространстве состояний St абстрактной модели.

Элементом алгебраической структуры является граф G_j , алгебраической бинарной операцией φ является сложение графов, которая ассоциативна и коммутативна. Результатом сложения является новый граф, при этом одноименные элементы и связи совмещаются. Максимальным графом является граф идентифицированной абстрактной модели.

Таким образом, оператор управления строит из множества графов G_j структуру конкретной (идентифицированной, настроенной) модели, состоящую из технологической, информационной и управляющей структур. Под структурой здесь понимается граф, вершинами которого являются элементы, а дугами – связи между ними.

В абстрактной модели ситуации задаются в пространстве состояний. Из теории управления динамическими объектами известно, что в понятие состояния входит не только текущие значения определенных параметров, но и необходимая «предыстория». Поэтому в понятие со-

стояния модели будет входит состояние некоторой группы элементов (текущее значение параметров) и информация о том, какая операция выполнялась перед этим (предыстория). Известно, что для принятия решения в каком-то районе системы (например, на станции) не требуется знать состояние всей системы. Значит, состояние модели, необходимое для принятия управляющего решения, однозначно описывается значением лишь некоторых параметров, а именно состоянием некоторого подмножества элементов и типом (номером) последней выполняемой операции. Для различных иерархических уровней состав подмножества может меняться. Поэтому в общем случае необходимо рассматривать множество всех подмножеств.

Пусть \tilde{X} – любое подмножество множества элементов X , $\tilde{X} \subset X$, при этом $\tilde{X} \in 2^X$. Обозначим через St_x пространство состояний элемента $x \in \tilde{X}$. В описание состояния модели не может входить одновременно два и более состояний элементов, поэтому необходимо найти декартово произведение пространств состояний элементов, входящих в \tilde{X} : $\tilde{St} = \prod_{x \in \tilde{X}} St_x$.

Тогда пространством состояний модели будет объединение декартовых произведений пространств состояний всех подмножеств множества элементов и множества операций

$$St = \bigcup_{\tilde{X} \in 2^X} (\tilde{St} \times O_p). \quad (1)$$

Ситуацией в модели называется гиперкуб $c_\mu \in C$, $c_\mu \subseteq St$, ограниченный условиями:

$$\forall x_i \in X_\mu (S_i(t) \leq \bar{S}_i^\mu, S_i(t) \geq \underline{S}_i^\mu), O_j(t) = O_\mu, O_j(t) \in O_p, O_\mu \in O_p,$$

где X_μ – множество элементов, участвующих в описании μ -ой ситуации c_μ ;

C – множество ситуаций;

$\bar{S}_i^\mu, \underline{S}_i^\mu$ – соответственно верхний и нижний пределы, в которых может происходить изменения состояния элемента x_i в ситуации c_μ ;

O_μ – операция, участвующая в описании c_μ .

Содержательно пространство состояний St разбивается на:

— *технологическое*

$$St^T = \left(\bigcup_{\tilde{X}^T \in 2^{X^T}} (\tilde{St}^T \times O_p^T) \cup \bigcup_{\tilde{X}^V \in 2^{X^V}} (\tilde{St}^V \times O_p^T) \right), \quad (2)$$

$$\tilde{St}^T = \prod_{x \in \tilde{X}^T} St_x, \tilde{St}^V = \prod_{x \in \tilde{X}^V} St_x, \tilde{X}^T \subset X^T, \tilde{X}^V \subset X^V;$$

— *информационное*

$$St^H = \left(\bigcup_{\tilde{X}^T \in 2^{X^T}} (\tilde{St}^T \times (O_p^T \cup O_p^H)) \cup \bigcup_{\tilde{X}^H \in 2^{X^H}} (\tilde{St}^H \times (O_p^T \cup O_p^H)) \right), \quad (3)$$

$$\tilde{St}^H = \prod_{x \in \tilde{X}^H} St_x, \tilde{X}^H \subset X^H;$$

— *управляющее*

$$St^V = \left(\bigcup_{\tilde{X}^V \in 2^{X^V}} (\tilde{St}^V \times (O_p^V \cup O_p^H)) \cup \bigcup_{\tilde{X}^H \in 2^{X^H}} (\tilde{St}^H \times (O_p^V \cup O_p^H)) \right), \quad (4)$$

$$\tilde{St}^V = \prod_{x \in \tilde{X}^V} St_x, \tilde{X}^V \subset X^V.$$

В технологическом пространстве состояний осуществляется вся «технологическая» работа, т.е. выполняются технологические операции и осуществляется динамика состояний технологических элементов (прием и отправление поездов, расформирования и формирования составов, погрузка и выгрузка вагонов и т. п.).

В информационном пространстве происходят информационные процессы – движение информации вверх по уровням с учетом обобщения и обмен сообщениями внутри уровня.

В управляющем пространстве состояний осуществляются управляющие операции и из-

меняется состояние управляющих элементов. Таким образом, пространством состояний модели, по сути дела, является подмножество состояний $St^* = St^T \cup St^H \cup St^V$.

Следует отметить, что иерархически построенная структура сложных транспортных систем, таких, например, как промышленная грузовая железнодорожная станция, является важной особенностью их организации.

Структура модели S построена по иерархическому принципу, поэтому в пространствах состояний St^H и St^V вводятся подпространства разных иерархических уровней $St^H = \{St^{Hj}\}$, $St^V = \{St^{Vj}\}$.

Иерархические подпространства информационного пространства состояний вводятся следующим образом. Для нижнего уровня имеем:

$$\text{для } \gamma = 1 \left| St^{H1} = \left(\bigcup_{\tilde{x}^T \in 2^{x^T}} (\tilde{St}^T \times (O_p^T \cup O_p^{H1})) \right) \cup \left(\bigcup_{\tilde{x}^{H1} \in 2^{x^{H1}}} (\tilde{St}^{H1} \times (O_p^T \cup O_p^{H1})) \right), \quad (5)$$

т.е. информационные операции первого уровня связаны с некоторыми технологическими процессами (источниками сообщений), состоянием технологических элементов (при движении информации вверх) и информационными процессами первого уровня (при обмене сообщениями внутри уровня).

Для всех остальных уровней имеем:

$$\gamma > 1 \left| St^{H\gamma} = \left(\bigcup_{\tilde{x}^{H\gamma-1} \in 2^{x^{H\gamma-1}}} (\tilde{St}^{H\gamma-1} \times (O_p^{H\gamma-1} \cup O_p^{H\gamma})) \right) \cup \left(\bigcup_{\tilde{x}^{H\gamma} \in 2^{x^{H\gamma}}} (\tilde{St}^{H\gamma} \times (O_p^{H\gamma-1} \cup O_p^{H\gamma})) \right). \quad (6)$$

В этом случае сообщения $O_p^{H\gamma}$ на более высокий уровень γ передается тогда, когда произошли изменения на предыдущем $(\gamma - 1)$ уровне (связь с $\tilde{St}^{H\gamma-1}$ и $O_p^{H\gamma-1}$) или на γ -том уровне – при обмене сообщениями внутри уровня (связь с $\tilde{St}^{H\gamma}$ и $O_p^{H\gamma}$).

Иерархические подпространства управляющего пространства определяются иначе. Для верхнего $\bar{\gamma}$ -ого уровня имеем:

$$\text{для } \gamma = \bar{\gamma} \left| St^{V\bar{\gamma}} = \left(\bigcup_{\tilde{x}^{H\bar{\gamma}} \in 2^{x^{H\bar{\gamma}}}} (\tilde{St}^{H\bar{\gamma}} \times (O_p^{H\bar{\gamma}} \cup O_p^{V\bar{\gamma}})) \right), \quad (7)$$

т.е. управляющие операции $O_{pj}^{V\bar{\gamma}}$ (решения) верхнего уровня формируются после соответствующих сообщений (связь с $O_p^{H\bar{\gamma}}$) и изменения состояния элементов (связь с $\tilde{St}^{H\bar{\gamma}}$). При выборе решений на других уровнях необходимо учитывать решения, принятые на более высоком уровне:

$$\text{для всех } \gamma < \bar{\gamma} \left| St^{V\gamma} = \left(\bigcup_{\tilde{x}^{H\gamma} \in 2^{x^{H\gamma}}} (\tilde{St}^{H\gamma} \times (O_p^{H\gamma} \cup O_p^{V\gamma})) \right) \cup \left(\bigcup_{\tilde{x}^{V\gamma} \in 2^{x^{V\gamma}}} (\tilde{St}^{V\gamma} \times (O_p^{H\gamma} \cup O_p^{V\gamma})) \right). \quad (8)$$

Таким образом, управляющая подсистема, состоящая из комплекса управляющих операций (O_p^V) стратегического, тактического и оперативного управления, на основании которых ЛПР различных уровней будет принимать эффективные управляющие команды, распространяется от более высокого иерархического уровня к меньшему [9]. Операции информационного пространства (O_p^H), напротив, распространяются от нижнего уровня к верхнему (рис. 2).

Ситуации c_μ^γ каждого иерархического уровня – это гиперкубы в подпространстве $St^{V\gamma}$, $c_\mu^\gamma \subseteq St^{V\gamma}$. Критерии управления полностью задаются разбиением пространства состояний на ситуации (они «растворены» в ситуациях). Так как на каждом уровне в общем случае задается свое разбиение, то тем самым можно отобразить относительную автономию уровней и несовпадение целей и критериев в системах разного уровня. Так как в описании ситуации участвуют соответствующие информационные элементы, то можно отобразить разную информирован-

ность диспетчеров на различных уровнях.



Рис. 2 – Функциональная структура единой модели управления вагонопотоками промышленного предприятия.

Оператор управления $f(t)$ определяет последовательность и условия выполнения технологических, информационных и управляющих операций (определяет моменты времени t_j начала выполнения операций и их приоритеты) в зависимости от состояния модели (ситуации).

Таким образом, принципы построения оператора управления позволяют достаточно полно учесть информационные процессы и процессы управления в иерархических транспортных системах.

Выводы

1. Существующие модели функционирования транспорта металлургических предприятий недостаточно эффективны, так как в большей степени не отражают операций информационного и управляющего характера.
2. Приведенная модель, основанная на создании «матрицы взаимосвязи операций», более точно описывает работу промышленного железнодорожного транспорта металлургического предприятия.
3. Исследования показали, что в крупных иерархических системах промышленного транспорта вектор информационных операций противоположно направлен вектору операций управления, поэтому очень важно установить их взаимосвязь путем формирования матрицы связи операций.

Список использованных источников:

1. Баландюк Г.С. Технология работы железнодорожного транспорта металлургических заводов / Г.С. Баландюк, Я.М. Куртуков. – М. : Металлургия, 1985. – 256 с.
2. Кужель А.Л. Новый подход к управлению вагонопотоками / А.Л. Кужель, И.Н. Шапкин, А.Н. Вдовин // Железнодорожный транспорт. – 2010 г. – №10. – С. 19-24.
3. Осьминин А.Т. Развитие теории и методов расчета плана формирования поездов. / А.Т. Осьминин // Железнодорожный транспорт. – 2010 г. – №10. – С. 31-39.
4. Бутько Т.В. Формирование логистической модели обслуживания массовых грузов железнодорожным транспортом необщего пользования / Т.В. Бутько, Д.В. Ломотько, Е.В. Сушарин // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 2010 г. – №1. – С. 55-59.
5. Трофимов В.А. Научно-методические основы функционирования и развития промышленных транспортных систем // Дис. на соиск. уч. ст. докт. техн. наук. – М. : НЦКТП, 2004 г. – 245 с.

6. Лукьянов В.А. Методика оптимизации взаимодействия промышленного транспорта и основных производств предприятий черной металлургии // Дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук – С-Пб. : ПГУПС, 2003 г. – 155 с.
7. Пospelov Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления. – М. : Энергоиздат, 1981. – 232 с.
8. Пospelov Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М. : Наука, 1986. – 232 с.
9. Маслак А.В. Принципы формирования информационно-управляющей системы внешнего вагонопотока металлургического предприятия / А.В. Маслак, М.Л. Аксенов // Вісник Приазов. держ. техн. ун-ту: Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2010. – Вип. №20. – С. 274-278.

Bibliography:

1. Balandjuk G.S. The technology of rail steel plants / G.S. Balandjuk, Ja.M. Kurtukov. – М. : Metallurgija, 1985. – 256 p. (Rus.)
2. Kuzhel A.L. A new approach to the management of wagon / A.L. Kuzhel, I.N. Shapkin, A.N. Vdovin // Zhelezнодороzhnyj transport. – 2010. – №10. – P. 19-24. (Rus.)
3. Osminin A.T. Development of theory and methods for calculating the plan of trains. / A.T. Osminin // Zhelezнодороzhnyj transport. – 2010. – №10. – P. 31-39. (Rus.)
4. Butko T.V. Formation of logistics service model bulk rail uncommon. / T.V. Butko, D.V. Lomotko, E.V. Susharin // Informacionno-upravljajuwie sistemy na zhelezнодороzhnom transporte. – 2010. – №1. – P. 55-59. (Rus.)
5. Trofimov V.A. Scientific and methodological frameworks for the development of industrial and transportation systems. // Dis. na soisk. uch. st. dokt. tehn. Nauk. – М. : NCKTP, 2004. – 245 p. (Rus.)
6. Lukjanov V.A. Methods to optimize the interaction of industrial transport and basic iron and steel industries // Dis. na soisk. uch. st. kand. tehn. Nauk. – S-Pb: PGUPS, 2003. – 155 p. (Rus.)
7. Pospelov D.A. Logical-linguistic model in control systems. – М. : Jenergoizdat, 1981. – 232 p. (Rus.)
8. Pospelov D.A. Contingency management: theory and practice. – М. : Nauka, 1986. – 232 p. (Rus.)
9. Maslak A.V. Principles of formation of information-management system external wagon steel plant / A.V. Maslak, M.L. Aksenov // Visnik Priazov. derzh. tehn. un-tu: Zb. nauk. pr. – Mariupol, 2010. – Vip. №20. – P. 274-278. (Rus.)

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

Статья поступила 19.11.2012