

# ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПУТЕМ СНИЖЕНИЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПРИ ВЫБОРЕ СТРАТЕГИИ УПРАВЛЕНИЯ

О. Ю. Столяров; К. В. Пителинский, канд. техн. наук  
Московская открытая социальная академия, Москва, Россия

*Показана возможность повышения эффективности при управлении логистическими системами, используя теорию сетей Петри и формальные методы описания бизнес-процессов. Результаты проведенного анализа представлены в виде диаграмм в нотациях IDEF3 и eEPC, графов, дерева достижимости и таблиц.*

**Ключевые слова:** логистика, управление предприятием, сети Петри, нотация IDEF3 и eEPC, контурные потоки, случайные процессы, имитационное моделирование.

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ грузооборот транспорта в РФ в 2010 г. увеличился на 6,9 % по сравнению с 2009 г. до 4751,8 млрд т-км. Грузооборот железнодорожного транспорта в 2010 г. составил 2010,6 млрд т-км (+7,8 %), автомобильно-го — 199,2 млрд т-км (+10,6 %), морского — 101 млрд т-км (+2,6 %), внутреннего водного — 54,3 млрд т-км (+3,1 %), воздушного (транспортная авиация) — 4,7 млрд т-км (+32 %).

Всего в 2010 г. транспортные перевозки России составили 7 млрд 644 млн т грузов, что на 2,3 % превышает результат 2009 г. Следовательно, возросла важность минимизации рисков при принятии управленческих решений и эффективность функционирования обеспечивающих их реализацию логистических систем.

Цель данной работы — показать возможность снижения неопределенности для минимизации рисков при управлении логистическими системами, используя теорию сетей Петри (СП) и формальные методы описания бизнес-процессов (БП).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить проблему минимизации рисков при принятии решений в логистических системах;
- рассмотреть методологию применения теории СП совместно со средствами описания БП;
- изучить возможности упрощения моделирования СП с помощью специализированного программного обеспечения;
- рассмотреть применение указанной методологии для снижения неопределенности (на примере оценки возможности выполнения грузоперевозки);

- выявить пути дальнейшего повышения эффективности предложенного метода.

С понятием риска обычно связано представление о возможном возникновении нежелательного события  $A$ , влекущего негативные последствия и финансовые потери. В свою очередь, последствия нежелательного события  $A$  могут оцениваться количественно различными параметрами (издержками) — от экономических до репутационных (имиджевых), а мерой возможности наступления нежелательного события служит вероятность его наступления  $q$ . Следовательно, риск — произведение величины последствия при возникновении нежелательного события  $A$  на меру возможности (вероятности) его наступления:

$$R = V(A)q.$$

Указанная зависимость напрямую показывает увеличение рисков в связи с увеличением грузооборота (в том числе и денежных средств в транспортном секторе экономики РФ). Часто руководство логистических компаний вынуждено принимать управленческие решения в условиях неопределенности, когда вероятности событий априорно не известны. Важный практический интерес представляет решение проблемы о выборе между несколькими стратегиями управления рисками. Также на этапе принятия решения возникает проблема оценки затрат, необходимых при реализации конкретной стратегии управления рисками. Под затратами здесь понимается весь диапазон ресурсов (начиная от финансовых, информационных и др. и заканчивая временными и имиджевыми). Для решения поставленной проблемы предлагается использовать детальное описание БП в нотации методо-

логии IDEF3 и моделирование с помощью математического аппарата СП.

Отметим несколько подходов к практическому применению СП при проектировании и количественном анализе логистических систем и БП. При одном из них СП рассматриваются как вспомогательный инструмент анализа, причем для построения модели системы используются стандартные формальные методы. Полученные модельные соотношения представляются в виде СП и далее проводится анализ модели. Любые возникающие при этом трудности указывают на изъяны в проекте БП, и для их исправления надо модифицировать данный проект. Модифицированный проект затем снова моделируется и анализируется, что повторяется, пока проводимый анализ не даст приемлемые для ЛПР результаты (рис. 1) [1].

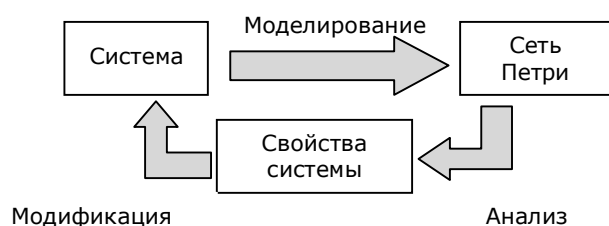


Рис. 1. Применение СП для моделирования и анализа систем

Существуют два основных подхода к изучению СП: построение дерева достижимости и матричный анализ [2].

Сеть Петри  $C = (P, T, J, O)$ ,

где  $P$  — множество позиций;

$T$  — множество переходов;

$J$  — входная функция  $t_j \in T, JI: t_j \rightarrow J(t_j)$ ;

$O$  — выходная функция  $t_j \in T, O: t_j \rightarrow O(t_j)$ .

При этом  $P = \{p_1, \dots, p_n\}$ ;  $T = \{t_1, \dots, t_m\}$ ,  $J: T \rightarrow P^\infty$ ;  $O: T \rightarrow P^\infty$ ;  $|P|=n$ ;  $|T|=m$  и  $p_j \in P$  для  $j = 1, \dots, n$ ,  $t_i \in T$  для  $i = 1, \dots, m$  [3].

Альтернативным указанному определению СП является определение двух матриц инцидентности  $J, O$ , представляющих входную и выходную функции.

Дерево достижимости — это ориентированный граф, вершинами которого являются элементы множества  $R(M_0)$ , корнем дерева является начальная маркировка  $M_0$ .

Кратко опишем нотацию IDEF3, которая используется для описания логики взаимодействия информационных потоков (в рамках методологии динамических контурных потоков). Методология моделирования рабочих процессов (work flow) позволяет описать ситуацию, когда БП выполняются в определенной последовательности, и участвующие в них объекты. Основа модели — сценарий БП, которая определяет последовательность действий. Последовательность выполнения процессов IDEF3 соответствует порядку запуска переходов в СП и позволяет совместно использовать данную методологию анализа.

В целях детального описания БП опишем нотацию eEPC, которая по своей сути является расширением методологии IDEF3 за счет использования такого понятия, как событие (event). Под событием будем понимать тот факт, что информационный объект (например заказ) получает связанный с БП статус (например "получен"), который управляет или воздействует на дальнейшее выполнение БП. События могут "переключать" бизнес-функции, т. е. передавать управление от одной функции к другой, а также быть результатом выполнения функций. В отличие от бизнес-функций, которые имеют некоторую продолжительность, события происходят моментально [4].

Рассмотрим относящуюся к сегменту среднего бизнеса транспортно-логистическую компанию ООО "Позитив Ремувал". Данная компания на рынке транспортных услуг осуществляет свою деятельность в трех подсекторах:

перевозка сыпучих грузов на автомобилях-самосвалах различных моделей и модификаций;

перевозка на автомобилях-цистернах наливных грузов: дизельного топлива, бензина и смазочных материалов;

междугородные и международные перевозки на различные расстояния и по различным маршрутам.

Предприятие имеет в своем составе 150 ед. подвижного состава общей грузоподъемностью 1738,6 автотонн. Наряду с компанией в этих подсекторах осуществляют свою деятельность и ряд других транспортных организаций, число которых достигает свыше 50. В международных перевозках конкурентами компании выступают предприятия: "Фермерское хозяйство" из Суздаля и "Трансмороз" из Владимира.

Некоторые факторы характеристики текущего состояния компании, оказывающие негативное влияние на ее деятельность:

резкое снижение платежеспособности клиентуры предприятия;

возрастающая величина процентной ставки за кредит на 3,2 % по сравнению с докризисным уровнем;

экономическая нестабильность в регионах, где осуществляется сбыт;

уменьшение инвестиционных возможностей предприятия.

Для снижения неопределенности, для минимизации рисков рассмотрим применение указанной теории для определения существования решения задачи о нахождении корреляции между материальными, информационными и финансовыми потоками. Взаимодействие потоков рассмотрим в рамках типового БП — определение возможности грузоперевозки (ГП). Опишем подробно данный БП. От клиента в ООО "Позитив Ремувал" поступает заявка на выполнение ГП с указанием пунктов отправления и назначения, вида груза, числа посадочных мест или его вме-

стимости. Диспетчер проверяет по базе данных (БД) наличие подходящего автотранспорта, его техническое состояние. Если есть в наличии свободные автомобили, то производится расчет стоимости ГП и клиенту направляется положительный ответ по электронной почте. В случае отсутствия подходящих автомобилей, их технической неготовности, отсутствия свободных посадочных мест клиенту направляется отказ. В целях повышения наглядности описания БП построим его eEPC диаграмму. Для этого используем бесплатно распространяемое ПО Aris Express 2.3, рис. 2.

В указанном БП существует множество информационных, материальных и финансовых потоков, которые отражают как работу системы в целом, так и требования потребителей. Каждый поток в свою очередь характеризуется элементами информационных потоков. Например, если взять информационный поток "Информация о процедурах заказов", то его элементами будут: требования наличия ГП в определенных пунктах дислокации, величина заказа потребителей и спецификации грузов, минимальная величина заказа и ассортимента для ГП, процедура сбора заказов, коммуникационные каналы для сбора заказов и т. д.

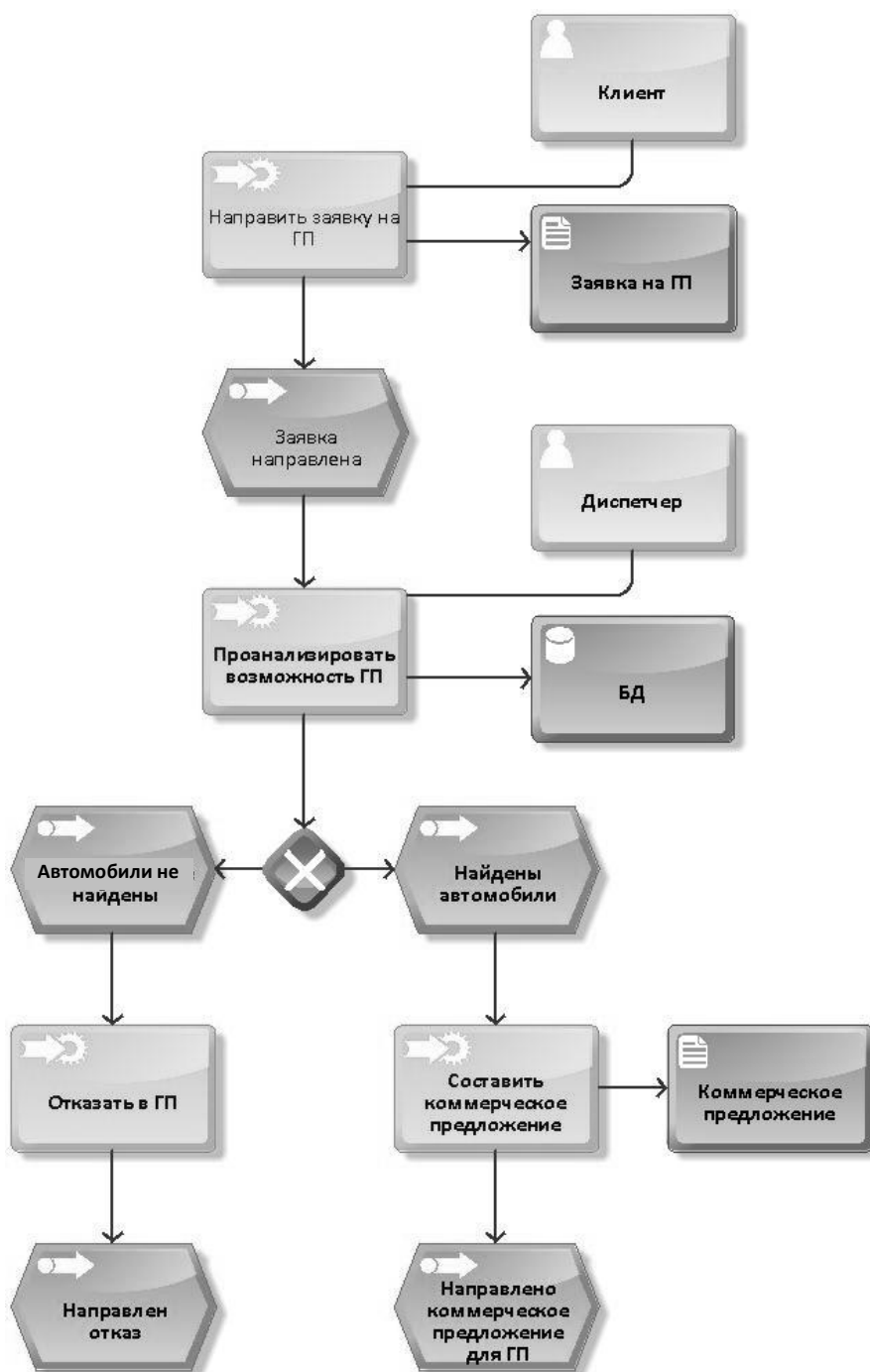


Рис. 2. Диаграмма eEPC БП "Анализ возможности выполнения n-й ГП"

От результата взаимодействия указанных потоков в рамках логистической системы напрямую зависит возможность выполнения ГП. На начальном этапе проработки данной задачи трудно оценить временные, финансовые затраты, число этапов ее решения и др. Возможно, что данная проблема не имеет решения или его нахождение слишком ресурсоемко (т. е. задача *NP* трудна), что недопустимо на данном этапе развития компании.

Опишем процесс нахождения величины указанной корреляции между потоками и введем условные обозначения, необходимые для описания этапов решения данной задачи. Предположим, что наши потоки, влияющие на состояние системы, взаимосвязаны некоторой зависимостью  $P(U, M, \Phi, t)$ , которая определяет значение коэффициента корреляции всей организационной структуры, где:

$\left\{ \begin{array}{l} U = (u_1, u_2, \dots, u_n, \dots) \text{ — множество функций,} \\ \text{описывающих информационные потоки;} \\ M = (m_1, m_2, \dots, m_n, \dots) \text{ — множество функ-} \\ \text{ций, описывающих материальные потоки;} \\ \Phi = (\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n, \dots) \text{ — множество функ-} \\ \text{ций, описывающих финансовые потоки.} \end{array} \right.$

Для определения корреляции потоков введем функции, переменные и период времени.

Рассмотрим поведение информационных потоков в системе, описываемых соответствующими функциями  $f_u$ , где:

$u_1$  — число поступивших заявок,  
 $u_1 = (u_{1t_1}, u_{1t_2}, \dots, u_{1t_n})$ ;

$u_2$  — число заявок, получивших отказ, тогда  
 $u_1 = (u_{2t_1}, u_{2t_2}, \dots, u_{2t_n})$ ;

$u_3$  — число заявок, ушедших на ожидание, тогда  
 $u_1 = (u_{3t_1}, u_{3t_2}, \dots, u_{3t_n})$ ;

$u_4 = f_{u_4}(u_1, t)$  — интенсивность поступления заявок;

$u_5$  — интенсивность обслуживания заявок;

$u_6 = f_{u_6}(u_4, u_5, t)$  — вероятность выполнения заявок (т. е. поступившая заявка будет обслужена, а именно, существует ли пустой контейнер под погрузку и др.).

Произведем расчет, используя данные интенсивности изменений информационных потоков [1].

Для определения зависимости между потоками недостаточно знать поведение информационных потоков, помимо того, что они, в свою очередь, зависят от материальных и финансовых. Исходя из этого, введем следующие материальные потоки:

$m_1$  — состояние грузового автомобиля (техническое состояние и годность под погрузку):  $m_1 = f_{m_1}(m_{1t_1}, m_{1t_2}, \dots, m_{1t_n})$ ;

$m_2$  — наличие свободных грузовых автомобилей:  $m_2 = f_{m_2}(m_{2t_1}, m_{2t_2}, \dots, m_{2t_n})$ ;

$m_3 = f_{m_3}(m_2, m_1, u_6, t)$  — вероятность того, что автомобиль будет подан под погрузку (этот поток связан с информационным, ибо если нет необходимости подавать контейнер, нет готовых заявок, то и не следует его искать среди имеющихся), если нет свободных грузовых автомобилей и все заявки в ожидании, соответственно, то знаменатель вычитаемого равен нулю, что говорит о кризисном состоянии работы логистической компании и о том, что ни один клиент в дальнейшем не будет обслужен, т. е.  $m_3 = 0$ . Если  $m_3 \neq m_2$  не будет такого случая, что на станции нет ни одного контейнера, годного под погрузку, иначе  $u_5 = u_4$ .

Для описания множества финансовых потоков примем во внимание:

$\phi_1 = f_{\phi_1}(\phi_{1t_1}, \phi_{1t_2}, \dots, \phi_{1t_n})$  — кредитоспособность клиента;

$\phi_2 = f_{\phi_2}(u_6, m_4, \phi_1, t)$  — вероятность окончательной оплаты перевозки;

$P(U, M, \Phi, t)$  для конкретного периода времени  $t$  будет рассчитана:

$$P = \frac{u_6 + m_3 + \phi_2}{3}.$$

Для повышения наглядности описания решения задачи нахождения величины корреляции между потоками и оценки возможности выполнения  $n$ -й ГП применим методологию IDEF3 (на рис. 3 представлены потоки, которые были ранее выполнены в виде DFD-диаграммы).

Описание решения задачи как БП в методологии IDEF3 позволяет разложить решение на отдельные этапы, что делает его наглядным, но не позволяет точно определить существование ответа и не дает возможности моделировать процесс как систему на различных стадиях работы. В целях устранения указанных недостатков применим математический аппарат теории СП [5].

Необходимо отметить, что при нулевом коэффициенте корреляции между потоками вероятность выполнения ГП стремится к нулю. Предполагается, что маркировка СП проводится по одному расчету (т. е. в начальных позициях  $p_1, p_2, p_3, p_4$  будет находиться по одному маркеру).

Для упрощения моделирования СП в настоящее время существует много ПО, основанного на технологиях визуального программирования, например: CPNTools, Petri Network, Petri Emul, Platform Independent Petri net Editor 2, HPSim и др. [6]. Данное обстоятельство освобождает проектировщиков БП и аналитиков логистических систем от необходимости знать языки программирования и делает результаты их работы более качественными и наглядными. На рис. 4 показано моделирование СП с рис. 5, наложенной на процесс математического описания функции "Оценка возможности выполнения  $n$ -й ГП" с помощью систем Petri Network и Petri Emul.

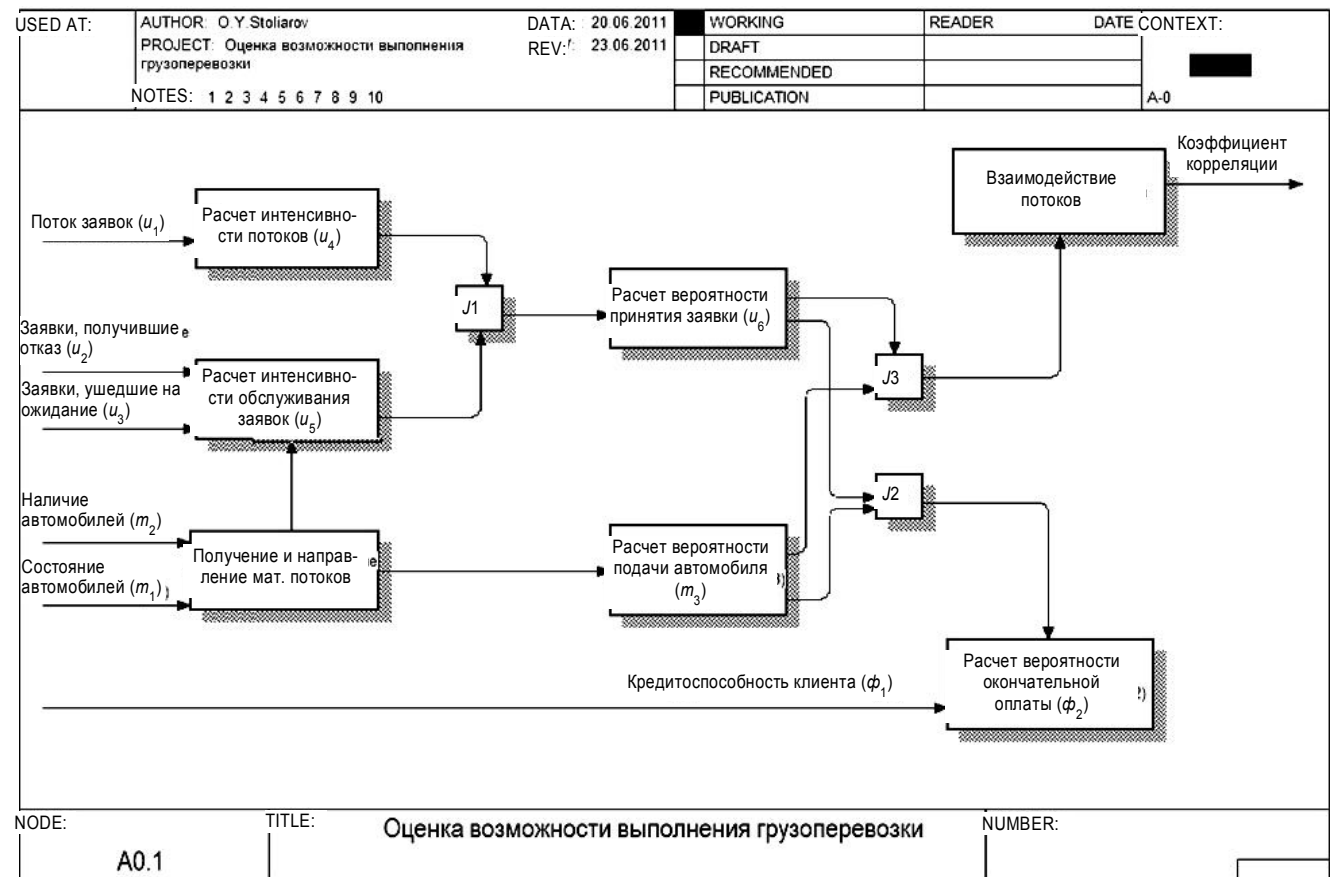


Рис. 3. Диаграмма БП "Оценка возможности выполнения п-й ГП"

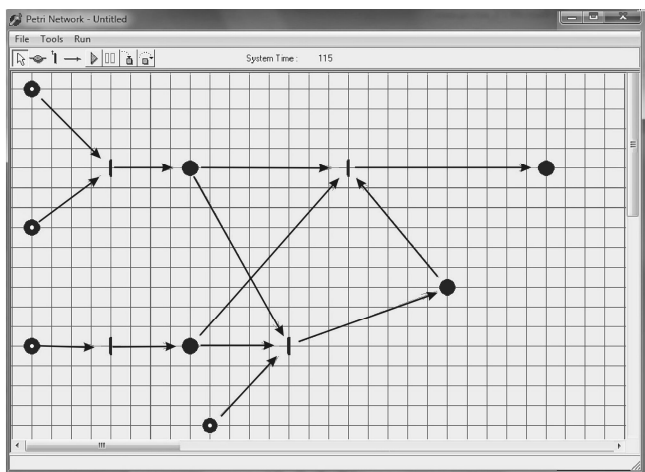


Рис. 4. Моделирование СП в среде Petri Network

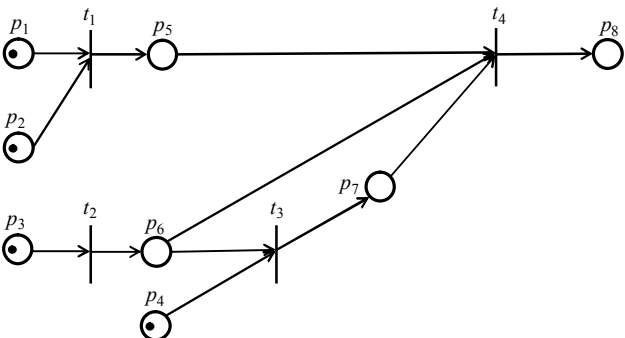


Рис. 5. СП с начальной маркировкой, наложенная на процесс математического описания функции "Оценка возможности выполнения п-й ГП"

В табл. 1 перечислены состояния (позиции), которые участвуют в СП, описывающей процесс расчета взаимосвязей потоков, участвующих при отправке грузов контейнерами. Здесь событием является оконченное действие.

Таблица 1

Состояния взаимосвязей потоков в технологическом процессе ГП

Состояния	Позиции
Расчет интенсивности потоков $u_4$	$p_1$
Расчет интенсивности обслуживания заявок $u_5$	$p_2$
Обработка и направление потоков $m_2, m_3$	$p_3$
Получение потока $\phi_1$	$p_4$
Расчет вероятности принятия заявки	$p_5$
Расчет вероятности возможности выполнения заявки	$p_6$
Расчет вероятности достоверности потока $\phi_1$	$p_7$
Получение итога возможности выполнения	$p_8$

Для СП с рис. 5 множество  $P$  содержит  $n = 8$  элементов.

Начальная маркировка  $M_0 = \{m_1^{(0)}, m_2^{(0)}, m_3^{(0)}, m_4^{(0)}, m_5^{(0)}, m_6^{(0)}, m_7^{(0)}, m_8^{(0)}\} = \{1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0\}$ , а множество  $T$  имеет 4 элемента.

В табл. 2 перечислены выполненные условия (переходы). Событие происходит, если все переходы срабатывают одновременно. Последовательное срабатывание в произвольном порядке всех разрешенных переходов позволяет достичь события, являющегося конечным результатом.

Таблица 2  
Условия расчета взаимосвязей потоков  
в технологическом процессе ГП

События	Переходы
Расчет интенсивности потоков $u_4$ и интенсивности обслуживания заявок $u_5$ проведен	$t_1$
Обработка потоков $m_2, m_3$ завершена	$t_2$
Обработка данных для расчета вероятности достоверности потока $\phi_1$ завершена	$t_3$
Окончание получения всех данных для расчета возможности принятия решения	$t_4$

Составим матрицы инцидентности для полученной СП для рассматриваемой задачи.

Входная матрица инцидентности:

$$J(P, T) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Матрица имеет размер  $[8 \times 4]$ , что соответствует 8 позициям  $p_i$  и 4 переходам  $t_i$  (см. рис. 4).

Заполнение данной матрицы выполнено строго по определению (например, в первой строке, характеризующей позицию  $p_1$ , единица только в столбце, относящемся к переходу  $t_1$ ). Действительно, из СП, составленной по DFD диаграмме БП, видно, что из позиции  $p_1$  маркер перемещается только через переход  $t_1$ .

Выходная матрица инцидентности:

$$O(P, T) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Матрица имеет размер  $[4 \times 8]$ , что соответствует 4 переходам  $t_i$  и 8 позициям  $p_i$ . Например, из перехода  $t_1$  маркер перемещается только в позицию  $p_5$ , в связи с чем  $O[1, 5] = 1$ , а все оставшиеся элементы первой строки равны нулю.

На первом шаге разрешены переходы  $t_1, t_2$ .

$$t_1: m_1^{(0)} - J(p_1, t_1) = 1 - 1 \geq 0,$$

$$t_1: m_1^{(0)} - J(p_2, t_1) = 1 - 1 \geq 0,$$

$$t_2: m_2^{(0)} - J(p_2, t_2) = 1 - 1 \geq 0.$$

Переход  $t_3$  не может сработать, ибо  $m_5^{(0)} - J(p_5, t_3) = 0 - 1 < 0$  и  $m_6^{(0)} - J(p_6, t_3) = 0 - 1 < 0$ . Пусть наши переходы срабатывают последовательно, сначала  $t_1$ , затем  $t_2$ . В результате из маркировки  $M_0$  получается  $M_1$ , т. е.

$M_0 \xrightarrow{t_1} M'_0 \xrightarrow{t_2} M_1$ . По правилам срабатывания переходов имеем:

$$m_5^{(0)} = m_5^{(0)} - J(p_5, t_1) + O(t_1, p_5) = 0 - 0 + 1 = 1.$$

Число маркеров в остальных позициях не изменится, так как они не связаны с переходом  $t_1$ , т. е. маркировка  $M'_0$  будет соответствовать вектору  $\{0, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0\}$ , тогда дерево достижимости будет иметь вид как на рис. 6.

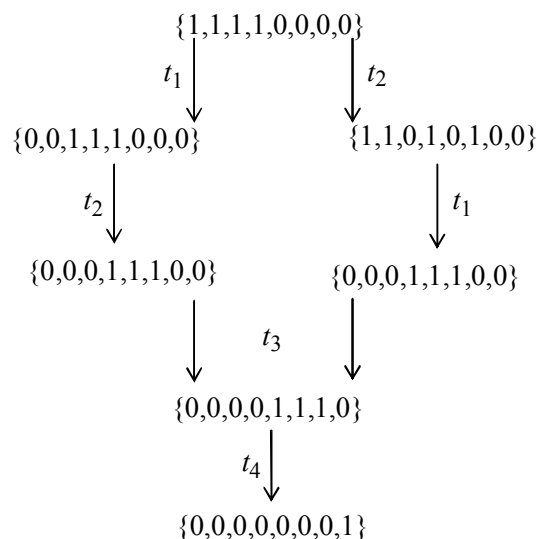


Рис. 6. Дерево достижимости для рассматриваемой задачи

Процесс будет продолжаться, пока не получим маркировку  $M_k = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1\}$ , которая говорит о существовании решения. К полученной сети можно применить маркировку из различного числа маркеров, решение все равно всегда будет одно, которое говорит о том, что взаимосвязь потоков существует.

### Заключение

Построение графической модели поставленной задачи на базе СП, наложенное на процесс математического описания функции "Оценка возможности выполнения  $n$ -й ГП", позволяет найти возможности оптимизации потоков грузов и исключить конфликты из-за тех или иных ресурсов во взаимодействующих параллельных процессах. Аналогичным образом можно построить графические модели и описать взаимодействие информационных потоков по множеству других задач, выполняемых для участников транспортно-логистических цепочек.

Указанная методология позволяет снизить уровень неопределенности при определении стратегии управления риском при выборе того или иного управленческого решения (за счет повышения наглядности анализируемой информации и ее быстрой поэтапной и детальной проработки).

## Литература

1. Воронин А. А., Губко М. В., Мишин С. П., Новиков Д. А. Математические модели организаций. — М.: ЛЕНАНД, 2008. — 360 с.
2. Коган Ю. Г., Пителинский К. В. Применение раскрашенных сетей Петри для верификации графического интерфейса пользователя в многозадачных системах// Сб. тр. науч.-практ. конф. "Прикладная математика", Москва. МИФИ, 18—22 января. — М.: МИФИ, 1999. С. 26.
3. Котов В. И. Сети Петри. — М.: Наука, 2001. — 160 с.
4. Белов А. В., Нежурина М. И. Проектирование бизнес-процессов. — М.: Академия ИБС-МФТИ, 2009. — 184 с.
5. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М.: Мир, 2007. — 264 с.
6. [http://olkhovoyab.narod.ru/seti\\_Petri.html](http://olkhovoyab.narod.ru/seti_Petri.html)

**DECREASE OF UNCERTAINTY BY SELECTION OF POLICY OF CONTROL  
OF RISKS IN LOGISTICS PROCESSES: THE ANALYSIS OF INTERPLAY  
OF MATERIAL, INFORMATION AND FINANCIAL FLOWS  
WITHIN THE FRAMEWORK OF A LOGISTICS SYSTEM**

O. Yu. Stolyarov, K. V. Pitelinsky  
Moscow Opened Social Academy, Moscow, Russia

*The in-depth study of the probabilistic characteristics of interplay of material, information and financial flows arising at implementation of logistics business processes in the transport company with the purpose of increase of efficiency of her activity is made. The outcomes of the conducted analysis are shown as the charts in the notation IDEF3 and tables.*

*Keywords:* logistics, management, Petri nets, notation IDEF3, planimetric flows, stochastic processes, simulation modeling.

---

Столяров Олег Юрьевич, аспирант.

E-mail: texpassport@mail.ru

Пителинский Кирилл Владимирович, профессор.

Тел. 8 (499) 972-94-86. E-mail: yekadath@gmail.com

