

УДК 004.942:656.615



А.В. Скатков,
д.т.н., професор,
Севастопольский
национальный
технический
университет
e-mail:
kvt.sevntu@
gmail.com



А.В. Тарасова,
соискатель,
Севастопольский
национальный
технический
университет
e-mail:
anna_tarasowa@i.ua

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ДЛЯ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ

А.В. Скатков, А.В. Тарасова. Информационные технологии поддержки принятия решений логистических задач для неоднородных систем. Предлагаются оптимизационные модели оптимизации работы сложных транспортно-производственных систем на примере морского порта. Рассматриваются уровни сложности и адекватности модели.

O.V. Skatkov, A.V. Tarasova. IT decision support logistical problems for inhomogeneous systems. Proposed optimization model optimizatsii of complex transport and production systems on the example of the seaport. Examines levels of difficulty and the adequacy of the model.

Введение. Обеспечение высоких показателей производственных процессов является важной задачей, от решения которой зависят темпы промышленного развития страны в целом. Необходимым условием успешного развития всех отраслей промышленности является повышение эффективности автоматизированного управления транспортно-производственными системами. Особую роль в этом играет оперативно-диспетчерский уровень управления, который должен обеспечить принятие обоснованных производственно-технологических решений в режиме реального времени в условиях действия интенсивных помех и возмущений. Качество функционирования систем управления оперативно-диспетчерского уровня можно существенно повысить за счет рационального использования современных информационных технологий. На сегодняшний день созданы условия для перехода от автоматизации отдельных задач оперативного управления к созданию целостных информационных управляющих автоматизированных систем. Такие системы являются основой для информационного обеспечения поддержки управленческих решений.

Базой любого производства являются транспортные системы, частный случай транспортных систем — транспортно-производственные системы (ТПС). Эффективность использования транспортно-производственных систем можно значительно повысить путем выбора оптимальных решений по их

управленню. Известные на сегодняшний день результаты теоретических исследований в области принятия решений, моделирования и управления транспортными системами не удовлетворяют в полной мере потребностям практики, а существующие методики, в большинстве случаев, имеют характер частных решений, жесткие ограничения, требуют большого объема априорной информации.

Таким образом, актуальной научной задачей является дальнейшее развитие теории, методов и информационных технологий эффективного управления транспортно-производственными комплексами. В первую очередь речь идет о развитии информационных технологий и моделей принятия решений, которые позволяют создавать интегрированные системы инструментальной поддержки оперативно-диспетчерских решений.

Материал и результаты исследования. Традиционно ТПС являются областью исследования машиноприборостроения, но в связи с развитием логистически ориентированных технологий области ТПС расширяются. Примером одной из наиболее сложных и ответственных задач в этой области является современный грузовой порт. Грузовые, в частности морские, порты — это своеобразные узлы, связывающие грузопотоки по ввозу и вывозу грузов всеми видами транспорта. Порты располагают сложными и дорогостоящими комплексами сооружений — причалами, оснащенными перегрузочным оборудованием, складами, железнодорожными и автомобильными путями, что, в частности, обуславливает их структурную неоднородность, и представляют собой типичную сервисную логистическую систему, основным направлением деятельности которой является оказание услуг [1].

Для постановки задачи оптимизации функционирования порта необходим формализованный подход на основе имеющейся априорной и апостериорной информации. Сложность задачи определяется тем, что время непрерывно, а события дискретны. Далее время будем рассматривать дискретно, с интервалами изменения Δt . Модель будет синхронной, если изменение времени происходит с постоянным шагом ($\Delta t = \text{const}$), и асинхронной, если отсчет времени происходит до ближайшего события. Рассматриваемый подход работоспособен и для первого, и для второго случая. в каждый момент времени t_k . В рамках этого подхода предлагается нестационарная оптимизационная модель (1).

$$M [Y(t_k, p_k, s_k, r_k, u_k, n_k, z_k, I_k)] \rightarrow \text{extr}, \quad (1)$$

где где, t_k — времена обслуживания транзактов разных типов, p_k — структура порта, s_k — параметрическое состояние порта, r_k — объем доступных ресурсов порта, u_k — стратегия распределения ресурсов, n_k — объем доступных вторичных транзактов, z_k — расписание обслуживания транзактов на основе системы поддержки принятия решения (СППР), I_k — апостериорная информация, поступающей от СППР, Y — функционал, описывающий

качество функционирования порта, M — символ математического ожидания.

Решение задачи (1) необходимо найти в области ее допустимых решений: $t_k \in [o, \tau]$, $p_k \in P$, $s_k \in S$, $u_k \in U$, $n_k \in N$, $z_k \in Z$ с учетом ряда ограничений $t_k \leq t_0$, $r_k \leq r_0$, $n_k \leq n_0$.

Качество СППР определяется используемой моделью md_k , а также рядом параметров и специальных функций: f_k — критерии, v_k — объемы выборок, g_k — оценочные функции, d_k — правила принятия решений по выбору модели, q_k — выбранное расписание обслуживания транзактов. Рассмотрение указанной модели для СППР приводит, в свою очередь, к необходимости оптимизации функционала (2), описывающего качество работы СППР.

$$H [I(t_k, md_k, f_k, v_k, g_k, d_k, q_k)] \rightarrow extr, \quad (2)$$

где H — энтропия состояния СППР. Решение задачи (2) необходимо найти в области ее допустимых решений: $md_k \in MD$, $f_k \in F$, $v_k \in V$, $g_k \in G$, $d_k \in D$, $q_k \in Q$.

Качество модели, в свою очередь, описывается функционалом (3).

$$M [MD \langle b_k, w_k, a_k, e_k, \varphi_k \rangle] \rightarrow extr, \quad (3)$$

где b_k — операционные ресурсы, требуемые для реализации модели, w_k — объем требуемого для моделирования времени, a_k — уровень адекватности модели, e_k — уровень сложности модели, φ_k — случайные и неучтенные составляющие. Решение задачи (3) необходимо найти в области ее допустимых решений: $b_k \in B$, $w_k \in W$, $a_k \in A$, $e_k \in E$ с учетом ограничений $b_k \leq b_0$, $w_k \leq w_0$, $a_k \leq a_0$, $e_k \leq e_0$. При этом $\langle md_k \rangle \in \Omega_{\text{эфф}}$, где $\Omega_{\text{эфф}}$ —

множество эффективных по Парето реализаций модели.

Для решения предложенной задачи нелинейного программирования возможно применение аппарата имитационного моделирования. Авторы статьи согласны с [2], что современные системы моделирования имеют специализированные средства по реализации дополнительных возможностей организации модельных экспериментов на компьютере. Они также дают возможность учёта в моделях фактора времени, т.е. строить динамические имитационные модели, что особенно важно для многих систем, в том числе и логистических.

При моделировании структурно неоднородных систем существенные трудности вызывает поиск компромисса между уровнем адекватности и сложностью модели.

Простую модель целесообразно использовать на начальных этапах моделирования с целью получения опорных значений для дальнейших исследований.

Еї достоїнствами являються простота і мале час, затрачуване на моделювання, а недоліком — неудовлетворительна ступінь адекватності.

Повищення адекватності моделі веде, як правило, до суттєвого нарощування складності.

Обозначимо структурно неоднорідну систему як S .

Входячі в її склад підсистеми s_i відносно однорідні:
 $S = (s_1, s_2, s_3, \dots, s_n)$.

Введемо кількісні міри адекватності $(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)$ і міри точності $(r_1, r_2, r_3, \dots, r_n)$ для кожної з підсистем s_i , $i = \overline{1, n}$. Тоді ступінь адекватності і складності структурно неоднорідної системи S можна оцінити як (4).

$$\begin{aligned} Q &\leq \min q_i, \\ R &\geq \max r_i. \end{aligned} \quad (4)$$

Осуществим декомпозицію загальної задачі: $\max \min q_i$, $\min \max r_i$. Так, можна запропонувати пошук шляхів розв'язання конфлікту між рівнем адекватності і складністю моделі на наступних комбінаціях: забезпечення необхідного рівня адекватності моделі і достаточного рівня складності, забезпечення достаточного рівня адекватності моделі і необхідного рівня складності.

Процес моделювання є динамічним, т.е. дослідник має справу з сімействами імітаційних моделей, кожне з яких в тій чи іншій мірі реалізує одне з вказаних комбінацій.

Не вдаючись до метричної оцінки параметрів, введемо граничні Q_0 і R_0 . Опорне цільове вимога до моделі буде задовольняти вимогам Q_0 і R_0 .

Оптимальне цільове вимога до моделі знаходиться в області, задовольняючій умовам (5).

$$Q > Q_0, R < R_0, Q \rightarrow \max \quad (5)$$

Як відзначають багато дослідників, при моделюванні складних систем досягнення оптимального співвідношення рівня адекватності і складності моделі практично неможливо.

Пошук оптимальних цільових вимог представляє собою рішення багатокритеріальної оптимізаційної задачі.

Відповідно до ідеї Парето, можна відсікти заведомо безперспективну область цільових вимог, описувану як (6).

$$Q > Q_0, R > R_0. \quad (6)$$

Пошук рішень в даній області не може задовольнити вимогам користувача, оскільки веде тільки до необґрунтованого збільшення складності моделі без підвищення її адекватності.

Для достижения компромиссных результатов, поиск дальнейших системных решений должен удовлетворять условиям (7).

$$Q > Q_0, \quad Q \rightarrow \max, \quad R \rightarrow \min \quad (7)$$

Пусть наращивание сложности модели происходит с шагом ΔR , а повышение адекватности модели с шагом ΔQ . При этом необходимо следить, чтобы увеличение сложности $R + \Delta R$ удовлетворяло условию $Q + \Delta Q > Q$, в противном случае дальнейший поиск решений при выбранном ΔR не имеет смысла.

Введем понятие уровней адекватности модели. Если модель верно отображает структуру моделируемой системы, её подсистемы и связи между ними, функциональные связи, то есть верно отображает качественное взаимодействие, то будем говорить об адекватности I порядка — качественной адекватности или *K-адекватности*.

Обеспечение моделью хорошего совпадения статистических оценок при сравнении результатов моделирования с данными, полученными по известным аналитическим зависимостям, характеризует адекватность II порядка — статистическую адекватность или *C-адекватность*.

Адекватность III порядка — это точность, хорошо аппроксимирующая реальные данные при вариации исходных данных. Обозначим ее как точностную адекватность или *T-адекватность*.

По аналогии с (3) можно записать функционал для адекватности модели (8).

$$\text{Arg} \max_{\Omega \in \Omega_{\text{доп. реш.}}} [A \langle ak_k, as_k, at_k \rangle, \Omega] \subset \Omega_{\text{эфф.}}, \quad (8)$$

где ak_k — качественная адекватность модели, as_k — структурная адекватность, at_k — точностная адекватность, A — адекватность модели в целом, Ω — множество решений, $\Omega_{\text{доп.}}$ — множество допустимых решений. Решение задачи (8) необходимо найти в области ее допустимых решений: $ak_k \in AK$, $as_k \in AS$, $at_k \in AT$ с учетом ограничений $ak_k \leq ak_0$, $as_k \leq as_0$, $at_k \leq at_0$.

Оценка сложности модели является качественной характеристикой, для которой на сегодняшний день не существует формальных методов оценки. С целью поиска данной метрики произведем декомпозицию.

При этом можно выделить структурную сложность, информационную сложность (ёмкость), функциональную сложность (поведенческую сложность, связанную с дисциплиной работы модели) и т.д.

Функционал для сложности модели будет иметь вид (9).

$$\text{Arg} \max_{\Omega \in \Omega_{\text{доп. реш.}}} [E \langle es_k, ei_k, ef_k \rangle, \Omega] \subset \Omega_{\text{эфф.}}, \quad (9)$$

где es_k — структурная сложность модели, ei_k — информационная слож-

ність, ef_k — функціональна складність, E — складність моделі в цілому. Розв'язання задачі (9) необхідно знайти в області її допустимих розв'язків: $es_k \in ES$, $ef_k \in EF$, $ei_k \in EI$ з урахуванням обмежень $es_k \leq ES_0$, $ef_k \leq ef_0$, $ei_k \leq ei_0$.

Основною інформаційною технологією для розв'язання цих задач є імітаційне моделювання.

В частині, з використанням апарату мереж Петрі з подальшим представленням в середі AnyLogic.

На рис.1 приведено приклад базової моделі, а на рис.2 — її програмна реалізація.

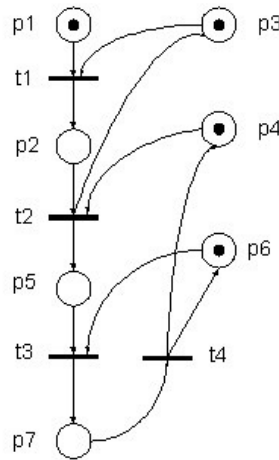


Рис.1. Базова модель на основі мереж Петрі

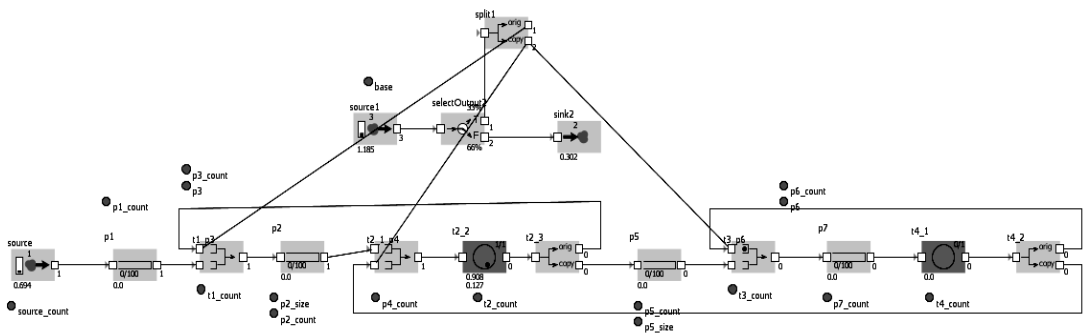


Рис. 2. Модель в середі AnyLogic 5.4.1, імітуюча мережу Петрі

Представлена модель є основою для задач підтримки прийняття рішень для оптимізації (1), (2) і (3).

Существуючі методи теорії прийняття рішень не дають можливості знайти єдине рішення, але дозволяють знайти множество ефективних

решений $\Omega_{эфф.}$, например, с применение подхода Парето.

Множества возможных решений связаны между собой соотношениями (10) и (11).

$$\Omega_{доп.решений.} \subseteq \Omega_{слабо\ эфф.} \subseteq \Omega_{эфф.}, \quad (10)$$

$$\text{при этом } |\Omega_{доп.решений.}| > |\Omega_{слабо\ эфф.}| > |\Omega_{эфф.}|, \quad (11)$$

где $\Omega_{доп.решений.}$ — множество допустимых решений, $\Omega_{слабо\ эфф.}$ —

множество слабоэффективных решений. Выбор оптимального решения из множества эффективных производит лицо, принимающее решение (ЛПР).

Выводы. Множество решений предложенных оптимизационных моделей (1), (2) и (3) может быть получено с помощью информационных технологий, в частности, имитационных моделей. Далее, посредством систем поддержки принятия решений, возможно выделение множества эффективных решений, выбор оптимального из которых производит ЛПР. Путем разрешения возникающего при этом конфликта между адекватностью и сложностью может быть построение целого семейства моделей, имитирующих одну и ту же систему. При изменении показателей адекватности и сложности возможно осуществление перехода от одной модели семейства к другой. Пример построения семейства моделей приведен авторами [3].

1. Література

1. Понятовский В.В. Морские порты и транспорт./ В.В. Понятовский — М.: РКонсульт, 2006. — 429с.
2. Боев В.Д. Моделирование систем. Инструментальные средства GPSS World: Учеб.пособие — СПб.: БХВ-Петербург, 2004. — 368 с.
3. Скاتков А.В. Версионное моделирование структурно неоднородных транспортно-производственных систем / А.В. Скатков, А.В. Тарасова // Радиоэлектронные и компьютерные системы. — №:7(59). — Харьков: Изд-во ХАИ, 2012. — с. 247-252