

УДК 004.414.041 : 658.51.012

В.В. Малый<sup>1</sup>, Т.В. Климова<sup>1</sup>, Е.С. Яшина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальная металлургическая академия, Днепропетровск

<sup>2</sup>Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЕКТОВ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ГИБРИДНЫХ АВТОМАТОВ

*Рассмотрена задача моделирования изменения параметров машиностроительного предприятия в ходе реализации стратегии развития. Предложено решать поставленную задачу с использованием математического аппарата гибридных автоматов. Построенные таким образом модели могут использоваться при формировании портфеля проектов, имеющих длительный жизненный цикл.*

*стратегия развития, гибридные автоматы*

### Введение

Деятельность крупного машиностроительного предприятия состоит в выполнении некоторого портфеля проектов. Среди них имеются как проекты, выполняющиеся в интересах заказчика, так и проекты, выполняющиеся в собственных интересах и обеспечивающие развитие предприятия, завоевание и удержание устойчивого положения на рынке.

Развитие предприятия осуществляется в соответствии с выбранной стратегией [1, 2]. Стратегическое планирование предполагает выработку и реализацию ряда проектов развития – комплекса мероприятий, направленных на изменение состояния предприятия, его технологий, ресурсов, кадрового состава, а также положения на рынке в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

Проекты в машиностроительной отрасли нередко имеют длительный жизненный цикл и характеризуются высокой сложностью и большими объемами затрат ресурсов как в натуральном, так и в стоимостном выражении. Выполнение проектов практически всегда осуществляется в условиях жестких ресурсных ограничений. Применяющиеся в настоящее время модели и методы выбора проектов позволяют учесть различного рода факторы и ограничения, однако они не позволяют учитывать взаимосвязь параметров конкретного проекта со стратегической деятельностью предприятия.

Таким образом, разработка математических моделей и методов формирования портфеля проектов в соответствии со стратегией развития предприятия является актуальной задачей.

**Постановка задачи.** Рассмотрим задачу формирования портфеля проектов с учётом стратегии развития предприятия. Задача выбора проектов при ограниченных ресурсах хорошо известна. Для её решения предложено множество методов и математических моделей [3, 4]. Однако большинство из них основано на предположении о неизменности параметров предприятия в течение длительного времени.

Это предположение соответствует действительности только в случае, если реализуется стратегия стабилизации, хотя и в этом случае возможны некоторые изменения параметров. В случае же стратегии роста происходит существенное изменение параметров, связанное с внедрением новых технологий, приобретением оборудования, вводом новых площадей, наймом рабочих и специалистов, переподготовкой части сотрудников с целью повышения их квалификации и так далее. В случае реализации стратегии выживания также происходит изменение параметров предприятия, связанное с сокращением штатов, передачей площадей в аренду и другое.

Для проектов с коротким жизненным циклом эти изменения можно не учитывать. Однако при значительной продолжительности проекта условия его реализации могут измениться существенным образом. В этом случае, традиционные модели выбора проектов могут оказаться неадекватными и приводить к ошибочным решениям.

Таким образом, при выборе проекта реализуемая на предприятии стратегия должна учитываться не только в структуре критериев оптимизации (большой или меньший срок окупаемости, допустимый уровень риска и так далее), но и в ограничениях на используемые ресурсы. Для этого необходимо решить следующие задачи:

1) построить формализованное представление проекта;

2) построить математическую модель, описывающую состояние предприятия на плановый период времени в соответствии с выбранной стратегией.

*Модель формирования портфеля проекта* можно описать следующими компонентами:

*Множество проектов*, имеющих свои цели, требования и ограничения.

*Стратифицированная структура стратегий предприятия*, детализированная до уровня процессов и элементарных действий по достижению стратегии предприятия.

*Порядок выбора проектов к реализации* – математические модели и методы формирования предварительного и окончательного портфеля проектов.

*Период функционирования* – отражает временной аспект при формировании портфеля проектов и внесении необходимых корректировок.

*Критерии отбора проектов* в соответствии со стратегиями предприятия, характеризующие предпочтения между проектами и стратегиями. Предпочтения позволяют учесть соответствие параметров проекта выбранным стратегиям предприятия.

*Допустимые множества состояний предприятия* (модель поведения), которые отражают общие для предприятия ограничения, требования, правила и предпочтения, установленные руководством и накладываемые внешней средой в рамках будущей деятельности. Модель поведения описывает, каким образом определяются целевые направления стратегий развития предприятия в зависимости от изменения параметров внешней среды в условиях влияния множества факторов риска.

### Основной материал

Рассмотрим построение такой модели.

#### *Формализованное представление проекта.*

Формализовано проект можно представить в виде совокупности следующих компонентов [5]: цель проекта; программа мероприятий; ресурсы; временные рамки проекта:

$$Pr = \langle X^{Pr}, G^{Pr}, R^{Pr}, T^{Pr} \rangle,$$

где  $X^{Pr}$  – цель проекта;  $G^{Pr}$  – программа мероприятий;  $R^{Pr}$  – ресурсы;  $T^{Pr}$  – временные рамки проекта.

Как правило, цель формулируется в виде перечня требований, которые должны быть достигнуты в результате выполнения проекта. Требования могут быть представлены в виде характеристик с указанием значений, которые должны быть достигнуты в результате выполнения проекта, т.е. цель проекта  $Pr_k$  может быть представлена в виде множества характеристик с указанием их значений:

$$X^{Pr_k} = \{X_j\}^{Pr_k}.$$

Стратегия отражает основные направления развития предприятия на долгосрочный период.

Так же, как и проект, стратегия может характеризоваться набором требований как финансового, так и нефинансового характера, описывающих целевое состояние предприятия:

$$Str = \langle Y, T \rangle$$

где  $Y^{Str}$  – цель стратегии;  $T^{Str}$  – временные рамки стратегии.

Цель стратегии  $Str_m$  можно представить в виде набора требований с указанием целевых значений

$$Y^{Str_m} = \{Y_i\}^{Str_m}$$

Текущее состояние предприятия также описывается в виде набора параметров:

$$P = \{P_i\}.$$

Текущее состояние предприятия является основой для выбора стратегии. Однако для решения задачи формирования перспективного портфеля проектов необходимо учесть тенденции изменения параметров предприятия в ходе реализации стратегии развития. То есть от множества параметров  $\{P_i\}$  следует перейти к множеству зависимостей  $\{P_i(t)\}$ . Рассмотрим несколько возможных способов определения указанной зависимости.

*Построение модели изменения состояния предприятия в ходе реализации стратегии.* Рассмотрим несколько подходов к моделированию процессов развития предприятия.

*Явное задание значений.* Лишь в некоторых редких случаях мы можем представить данную зависимость в форма аналитической функции. В некоторых простых случаях мы можем использовать табличную форму представления функции, задавая явные значения изменяющихся параметров для некоторых заранее определённых периодов времени. Для этого мы должны, используя методы прогнозирования или заранее разработанный план, рассчитать значения параметров на фиксированные сроки  $t_1, t_2, \dots, t_T$ .

Модель можно представить в виде матрицы

$$\{P_i(t)\} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{21} & \dots & P_{n1} \\ P_{12} & P_{22} & \dots & P_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{1T} & P_{2T} & \dots & P_{nT} \end{bmatrix}, t = t_1, t_2, \dots, t_T. \quad (1)$$

Однако такую таблицу в явном виде можно составить лишь для небольшого количества параметров на ограниченный период времени. При этом изменения в плане крайне сложно будет отследить.

*Использование моделей управления проектами.* Изменения в состоянии предприятия происходят в результате выполнения мероприятий, соответствующих выбранной стратегии. Комплекс мероприятий по реализации стратегии можно рассматривать как проект (или набор проектов) развития, выполняющихся предприятием в собственных интересах. Следовательно, для планирования процесса реализации стратегии мы можем использовать те же методы и модели, что и для планирования проекта. Например, план проекта развития предприятия может быть представлен в форме сетевого графика. Рассчитав такой сетевой график методом критического пути или любым другим предназначенным для этой цели методом, мы получим модель реализации стратегии во времени.

Недостаток данного подхода состоит в том, что он не позволяет в явной форме связать процесс реализации проекта развития с параметрами предприятия. То есть зависимость параметров предприятия от времени  $\{P_i(t)\}$  по-прежнему отсутствует. Мы можем получить её косвенным способом, сначала рассчитав сетевой график, а затем рассчитав изменения

в параметрах и представив их в форме (1). При изменениях в плане проекта развития, зависимость (1) придётся пересчитывать заново.

Описанный способ весьма сложно автоматизировать, так как модель сетевого графика не позволяет указать, какие параметры и каким образом изменяются в результате выполнения той или иной работы проекта. Иными словами, модели, основанные на сетевых графиках, не позволяют отслеживать изменения в состоянии объекта управления – предприятия – в ходе выполнения проекта развития.

*Модели теории автоматов.* Сетевыми моделями, в определённом смысле близкими к сетевым графикам и в то же время позволяющими отслеживать изменения в состоянии объекта управления, являются модели теории автоматов. Напомним, что автомат или машина состояний представляет собой совокупность состояний системы, переходов, событий или сигналов и данных [6, 7].

Наиболее известными и распространёнными моделями данного класса являются модели конечных автоматов. Изначально этот математический аппарат был разработан для описания функционирования вычислительных систем, систем автоматического управления, робототехнических комплексов. Однако в последнее время активно развиваются модели гибридных автоматов, обладающих достаточно широкими возможностями для описания функционирования систем различной природы. Модели данного класса широко применяются для моделирования не только вычислительных, но и технологических, производственных, организационных процессов.

Особенность данного класса моделей состоит в том, что функционирование системы во время нахождения в каком-либо состоянии может быть описано в форме системы уравнений: дифференциальных или разностных. Таким образом, можно описать как дискретные (переходы между состояниями), так и непрерывные процессы.

Применительно к проектам развития модель может быть построена следующим образом. Переходы между состояниями происходят в моменты начала или окончания каких-либо процессов. Изменения параметров во время или в результате выполнения процесса могут быть описаны в виде уравнений. Рассмотрим построение модели более подробно.

**Интерпретация моделей теории автоматов в терминах управления проектами развития предприятия.** Компоненты модели будем интерпретировать следующим образом.

*Состояния.* Состояние предприятия характеризуется значениями параметров  $\{P_i(t)\}$ . Значения параметров изменяются в ходе выполнения предусмотренных проектом работ и процессов. При этом возможны два вида изменений: скачкообразные изменения, происходящие в моменты начала или окончания какого-либо процесса; или непрерывные изменения, имеющие место во время выполнения процесса. Скачкообразные изменения удобно соот-

нести с действиями, выполняющимися при входе автомата в какое-либо состояние либо выходе из него. Непрерывные изменения могут быть описаны системой уравнений, характеризующей функционирование автомата во время нахождения в каком-либо определённом состоянии.

В любом случае, моменты скачкообразного изменения параметров или же начала и окончания непрерывных изменений совпадают с моментами начала или окончания какого-либо процесса. Поэтому при построении моделей будем интерпретировать состояния системы как процессы проекта.

*Переходы* осуществляются при завершении одного процесса и начале следующего. Переход может осуществляться по выполнению некоторого условия (например, достижения заданного промежуточного результата), по истечении отведенного процессу времени или же по событию.

Данные определяют текущие значения различных параметров. Данными могут быть различные переменные, необходимые в процессе моделирования, а также обеспечивающие обмен информацией между моделью исследуемого проекта и другими моделями.

В гибридном автомате с состоянием могут быть связаны некоторые *действия*. Действия определяют способ изменения данных. Можно определить действия при входе в состояние (при использовании представления автомата в форме диаграммы состояний, действия при входе в состояние обозначаются ключевым словом *entry*), действия, выполняемые всё время, пока данное состояние активно (*during*), действия при выходе из состояния (*exit*). Можно также задать действия при наступлении определённого события и т.п. Действия могут быть описаны в виде уравнений.

*Сигналы* инициируют смену состояний системы. Важным видом сигналов являются *события*, которые задаются, как правило, в виде логических условий. Событие – важнейшее понятие в моделях, основанных на теории автоматов. Событие характеризуется положением во времени и в фазовом пространстве. Временная координата указывает на время наступления события, пространственная – на явление, то есть указывает, что именно произошло.

Возникновение событий инициирует смену состояний системы. Гибридный автомат способен как обрабатывать, так и инициировать события. Получение или генерирование событий является одним из способов взаимодействия модели проекта с другими моделями, описывающими предприятие или внешнюю среду проекта.

Формально автомат определяется в виде кортежа:

$$A = \langle Q, R, E \rangle, \quad (2)$$

где  $Q$  – множество состояний системы, среди которых выделяется начальное  $q_0$ ;  $R$  – множество переходов;  $E$  – множество событий.

Переходы часто понимают как функцию изменения состояний  $R: Q \rightarrow Q$ . Тогда состояние  $q_s$  является результатом перехода из состояния  $q_{s-1}$  по событию  $e_j$

$$q_s = r(q_{s-1}, e_j), q_s, q_{s-1} \in Q, r \in R, e_j \in E. \quad (3)$$

Чтобы использовать функцию (3) для моделирования изменений в состоянии предприятия, необходимо сопоставить каждому состоянию набор параметров предприятия и законов их изменения

$$q_s = \{P_i | P_i = f_{is}(t)\}. \quad (4)$$

Выражение (4) по сути является моделью отдельного процесса, входящего в проект развития. В качестве событий могут рассматриваться промежуточные результаты проекта, по достижении которых происходит завершение одних процессов и начало других.

Для определения состояния системы в произвольный момент времени  $t$  следует выполнить моделирование по модели (2) до указанного момента времени. Выбор проектов может осуществляться с использованием модели

$$\begin{aligned} & \underset{k}{e} U^{Pr_k} \rightarrow \max; \\ & \underset{k}{e} Res_m^{Pr_k} \leq J Res_m(T), m = \overline{1, M}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $U^{Pr_k}$  – некоторый критерий, характеризующий привлекательность проекта;  $Res_m^{Pr_k}$  – потребность в ресурсах вида  $m$  для выполнения проекта  $Pr_k$ ;  $Res_m(T)$  – прогноз наличия ресурсов вида  $m$  на момент времени  $T$ , соответствующий сроку выполнения проектов. Прогноз наличия ресурсов строится путём моделирования по модели (2) – (4), причём параметры, характеризующие наличие ресурсов, входят во множество параметров, описывающих состояние предприятия

$$\{Res_m(t)\} \cap \{P_i\}.$$

Модель (5) целесообразно использовать для предварительного выбора проектов. Решения, полученные таким образом, в дальнейшем могут быть уточнены путём имитационного моделирования с применением методов сетевого планирования.

**Возможности аппарата гибридных автоматов.** Аппарат гибридных автоматов позволяет моделировать весьма сложные процессы.

Помимо разных способов функционирования, модель позволяет описывать системы разной структуры. Диаграмма состояний может иметь иерархическую структуру. Это достигается путём создания вложенных подсостояний. Таким образом можно описывать модели с разной степенью детализации для разных уровней управления.

Возможно также моделирование параллельных процессов. Система с параллелизмом допускает существование нескольких активных состояний одновременно. Как правило, в качестве параллельных

выступают сложные состояния, каждое из которых описывается своей вложенной диаграммой.

В отличие от классического конечного автомата, гибридные автоматы позволяют использовать в модели как дискретные, так и непрерывные величины. Это позволяет работать с параметрами, имеющими как количественные, так и качественные значения. Изменение значений качественных параметров может быть описано при помощи вложенного конечного автомата, состояния которого соответствуют значениям исследуемого параметра.

Создание иерархических диаграмм с параллелизмом позволяет моделировать сложные дискретно-непрерывные системы, состоящие из нескольких одновременно функционирующих подсистем. Каждая подсистема может инициировать события, воспринимаемые всеми остальными подсистемами, и изменять значения переменных модели, что также может отразиться на состоянии остальных подсистем.

## Заключение

Рассмотрен процесс формирования портфеля проектов машиностроительного предприятия с учётом стратегий его развития. Показано, что при выборе длительных проектов, характерных для машиностроения, необходимо учитывать не только текущее состояние предприятия, но и стратегии его развития.

Рассмотрена задача моделирования изменения параметров предприятия в ходе реализации выбранной стратегии. Предложено для решения поставленной задачи использовать математический аппарат гибридных автоматов. Проанализированы возможности выбранного аппарата.

## Список литературы

1. Агафонов В.А. Анализ стратегий и разработка комплексных программ. – М.: Наука, 1990. – 216 с.
2. Боумэн К. Основы стратегического менеджмента: Пер. с англ. – М.: Экономика, 1997. – 106 с.
3. Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять проектами. – М.: СИНТЕГ-ГЕО, 1997. – 188 с.
4. Ястремский А.И., Крайшкова Л.И., Гриценко Е.Г. Некоторые вопросы оптимального распределения ресурсов при выполнении сложных научно-технических разработок. – К., 1986. – 12 с.
5. Бегун А.П. Математическая модель отбора проектов создания новой техники к реализации с учётом стратегий развития производства // 36. науч. праць КНТУ. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – Вип. 15. – С. 454-458.
6. Бенькович Е.С., Колесов Ю.Б., Сениченков Ю.Б. Практическое моделирование динамических систем. – С.-Пб.: БХВ-Петербург, 2002. – 464 с.
7. Хопкрофт Дж.Э., Мотвани Р., Ульман Дж.Д. Введение в теорию автоматов, языков и вычислений. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 528 с.

Поступила в редколлегию 13.12.2006

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.В. Чумаченко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.