

11.2. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ВНЕДРЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Исаев Д.В., к.э.н., доцент
кафедры бизнес-аналитики

*Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики»*

В статье рассматриваются вопросы моделирования реализации проектов внедрения аналитических информационных систем. Выявлены особенности проектов, обоснована применимость дискретно-событийного моделирования. Предложена модель на основе сети Петри, позволяющая описать элементы проекта с учетом вероятностного характера временных параметров и возможности повторного выполнения проектных работ. Даны рекомендации в части учета затрат и ресурсов, связанных с реализацией проекта.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время заметную роль в системах управления предприятиями и организациями разных отраслей играют аналитические информационные системы. Такие системы, как правило, ориентированы на многовариантную обработку управленческой информации и поддержку принятия управленческих решений, в том числе на стратегическом уровне. В соответствии с одной из возможных классификаций можно выделить следующие классы аналитических систем [2]:

- системы бизнес-интеллекта;
- системы управления по ключевым показателям;
- системы корпоративного планирования и бюджетирования;
- системы формирования и анализа консолидированной финансовой отчетности;
- системы финансового анализа и моделирования;
- системы имитационного моделирования;
- системы статистического анализа;
- системы принятия решений на основе экспертных оценок.

Следует отметить, что некоторые из них (например, системы управления по ключевым показателям и системы бюджетирования) носят корпоративный характер: они в той или иной мере охватывают все подразделения организации и часто распространяются на крупные бизнес-сегменты или даже группы компаний.

Внедрение аналитических информационных систем осуществляется посредством проектов, которые, как правило, включают не только технологическую, но и методическую и организационную составляющие. Если речь идет о системах корпоративного уровня, то проекты внедрения являются весьма сложными, и поэтому довольно длительными и дорогостоящими. В этом случае становится оправданным применение специализированных методов и информационных систем проектного менеджмента. Такие системы позволяют реализовать на практике различные модели управления проектами, в частности, диаграммы Ганта и сетевые графики [3]. Методы и системы управления проектами позволяют сформировать план проекта, согласованный по задачам, срокам и ресурсам, а затем, по мере реализации проекта, контролировать выполнение этого плана.

В то же время практика показывает, что реализация проектов крайне редко происходит в строгом соответствии с согласованным планом. Как правило, имеют место от-

клонения от запланированных параметров как по срокам, так и по используемым ресурсам. Причины отклонений весьма разнообразны. Многие из них носят субъективный характер и находятся в сфере организации проекта и компетенций исполнителей. В то же время есть и объективные причины возникновения отклонений: в условиях неполной исходной информации многие проектные работы сложно оценить по срокам и ресурсам. В связи с этим возникает потребность в прогнозировании сроков реализации проектов и соответствующих ресурсов с учетом их возможных отклонений от запланированных величин. Такое прогнозирование основывается на определенных предположениях и предусматривает применение специальных моделей, отличных от традиционных моделей проектного менеджмента.

Особенности проектов внедрения аналитических информационных систем

Проекты внедрения аналитических информационных систем имеют определенные особенности, которые заметно влияют на отклонения, возникающие при их реализации. Главная из этих особенностей состоит в том, что целевые характеристики проекта не всегда могут быть однозначно определены перед началом внедрения и часто уточняются уже в ходе проекта, (по мере разработки аналитических методик и регламентов) или на стадии проектирования системы. Это влияет на оценку сроков и ресурсов, необходимых для выполнения проектных работ, при этом характеристики некоторых работ могут рассматриваться в качестве случайных величин.

Кроме того, довольно распространенной является практика повторного выполнения отдельных работ в результате уточнения требований. Например, при организации типового проекта внедрения комплексной системы управления эффективностью предусматриваются этапы проектирования и настройки системы [1]. На этапе проектирования происходит детальная проработка будущей системы, включая интеграционные аспекты. Далее на этапе настройки происходит трансформация разработанного на предыдущей стадии проекта в реальную информационную систему. При этом в ходе настройки могут возникать уточнения постановочного характера, которые требуют частичного пересмотра сформированных ранее моделей. Сказанное, в частности, относится к работам, связанным с проектированием и настройкой приложений и отчетов, а также с созданием интеграционных решений.

В остальном проекты внедрения аналитических информационных систем обладают теми же свойствами, что и любые другие проекты. Таким образом, можно выделить следующие ключевые характеристики проектов внедрения корпоративных аналитических информационных систем:

- реализация проекта предусматривает выполнение конечного числа проектных работ, которые в случае необходимости могут быть сгруппированы по этапам. Каждая работа имеет продолжительность во времени, причем эти продолжительности могут быть как детерминированными, так и случайными;
- проектные работы выполняются в определенной последовательности. Каждая последующая работа может быть начата только после полного завершения всех предшествующих работ. Между завершением

предшествующих и началом последующих работ могут существовать временные лаги, которые могут быть как детерминированными, так и случайными;

- проектные работы могут носить итеративный характер: в этом случае допускается возможность повторного выполнения одной и той же работы (либо полностью, либо в некоторой ее части). Необходимость повторного выполнения работы носит вероятностный характер. Вероятности повторного выполнения работ, а также продолжительности повторно выполняемых работ зависят от порядкового номера итерации (повтора);
- проектные события (milestones) наступают в результате полного завершения определенных работ. Между завершением работ, предшествующих событиям, и наступлением самих событий могут существовать временные лаги, которые могут быть как детерминированными, так и случайными.

Перечисленные характеристики могут рассматриваться в качестве предпосылок моделирования реализации проектов внедрения аналитических информационных систем корпоративного уровня.

Имитационное моделирование. Сети Петри

Учитывая довольно большое число работ, выполняемых в рамках проекта, сложность взаимосвязей между ними, наличие временных лагов, а также вероятностный характер некоторых параметров и возможность повтора работ, наиболее эффективным подходом к прогнозированию реализации проекта является имитационное моделирование. В процессе построения имитационной модели объект исследования (в данном случае – проект внедрения информационной системы) описывается в терминах формальных, но, тем не менее, максимально приближенных к реальности параметров, которые отражают правила и особенности его поведения. В результате имитационная модель позволяет, не прибегая к эксперименту с реальным объектом, многократно воспроизвести его поведение во времени и на основе полученной статистики оценить интересующие исследователя аналитические характеристики.

Существующие методы имитационного моделирования весьма разнообразны. Тем не менее, можно выделить три основных направления (парадигмы), к числу которых относятся системная динамика, дискретно-событийное и агентное моделирование [4]. Концепция системной динамики, предложенная американским исследователем Дж. Форрестером [7; 8], предусматривает моделирование системы не на уровне отдельных объектов, а на уровне взаимосвязанных агрегированных показателей. Дискретно-событийное моделирование [12] позволяет описывать поведение изучаемой системы в виде хронологической последовательности событий, наступающих в дискретные моменты времени и приводящих к изменению состояния системы. Агентное моделирование [10] ориентировано на описание действий индивидуализированных активных объектов (агентов) и их влияния на поведение системы в целом. Практическая применимость разных видов имитационного моделирования во многом определяется уровнями абстракции, среди которых выделяют вы-

сокий (стратегический), средний (тактический) и низкий (оперативный). Так, системная динамика находит применение на стратегическом уровне, дискретно-событийное моделирование – на тактическом и оперативном уровнях, а агентное моделирование – на любом из трех уровней, в зависимости от того, какие объекты рассматриваются в качестве агентов [4].

Что касается моделирования реализации проектов, то для этой задачи наиболее подходящим представляется дискретно-событийное моделирование. Дело в том, что реализация проекта, по сути, представляет собой дискретную последовательность событий, в качестве которых выступают начало и завершение проекта в целом, его этапов и отдельных проектных работ. Именно эти события в совокупности определяют статус проекта, при этом в момент наступления очередного события статус проекта изменяется.

Одним из наиболее популярных и часто применяемых инструментов дискретно-событийного моделирования являются сети Петри (Petri nets) [11]. Сеть Петри представляет собой ориентированный граф с двумя типами узлов – позициями (places), которые графически обозначаются кружками, и переходами (transitions), которые обозначаются прямоугольниками. Узлы графа соединены дугами (arcs). При этом однотипные узлы не могут соединяться непосредственно: дуги графа могут быть направлены либо от позиций к переходам, либо наоборот, от переходов к позициям. Дуги первого типа, направленные к переходам, называются входящими (input arcs), а дуги второго типа, направленные от переходов, – исходящими (output arcs).

В позициях размещаются метки (tokens), которые обозначаются маленькими кружочками. Метки могут перемещаться из одной позиции в другую через переходы. Совокупное расположение меток в позициях называется маркировкой сети.

Перемещение меток по сети происходит в результате срабатывания (firing) переходов, в соответствии с определенными правилами (firing rules). Переход считается доступным (enabled), если все его входящие позиции содержат, по крайней мере, по одной метке для каждой из входящих дуг, направленных от соответствующих позиций к данному переходу. Доступность перехода является необходимым условием его срабатывания. При срабатывании переход удаляет из каждой из своих входящих позиций по одной метке для каждой из входящих дуг, направленных из соответствующих позиций, и создает в своих исходящих позициях по одной метке для каждой из исходящих дуг, направленных к соответствующим позициям.

Таким образом, классическая сеть Петри описывается при помощи мультикомпонентной структуры:

$$\{P, Q, I, O, M\}, \quad (1)$$

где: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ – конечное множество позиций;

$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ – конечное множество переходов;

$I \subseteq (P \times Q)$ – множество входящих дуг;

$O \subseteq (Q \times P)$ – множество исходящих дуг;

$$M : P \rightarrow N \quad (2)$$

где: $N = \{0, 1, 2, \dots\}$ – маркировка, i -й компонент которой характеризует число меток, находящихся в i -й позиции.

Учитывая то, что два узла сети (позиция и переход) могут быть соединены несколькими сонаправленными дугами, при описании сетей Петри часто используется весовая функция:

$$W : I \rightarrow N^+, \tag{3}$$

где: $N^+ = \{1, 2, \dots\}$.

При этом если некоторая пара узлов (i, j) соединена n сонаправленными дугами, то эти несколько дуг заменяются одной дугой, имеющей вес (кратность) $w_{ij} = n$.

В первоначальной версии модели изменения состояния сети рассматривались без какой-либо привязки к временной оси. В то же время для некоторых практических задач (включая управление проектами) учет фактора времени представляется весьма важным. Это привело к появлению концепции временной сети Петри (timed Petri net). Главной особенностью сетей этого типа является то, что с их помощью можно моделировать временные лаги (задержки), имеющие место в поведении системы. Как правило, задержки являются атрибутами переходов, хотя в некоторых вариациях модели они могут привязываться не только к переходам, но и к позициям, а также входящим или исходящим дугам [5]. Среди способов описания задержек, имеющих место во временных сетях Петри, можно выделить три подхода: продолжительность срабатывания (firing duration), продолжительность удерживания (holding duration) и продолжительность доступности (enabling duration) [5].

При использовании продолжительности срабатывания каждый переход, становясь доступным, незамедлительно удаляет метки из входящих позиций. Однако при этом создание меток в исходящих позициях происходит не сразу, а только по истечении заданного промежутка времени. Таким образом, в данном случае срабатывание перехода происходит не моментально, а в течение некоторого времени, которое и называется продолжительностью срабатывания перехода.

В случае описания временных задержек с помощью продолжительности удерживания все метки подразделяются на две категории: реальные (available tokens) и условные (unavailable tokens), при этом условные метки со временем становятся реальными. Доступность перехода, по отношению к которому метки являются входящими, определяется только реальными метками, в то время как условные метки на доступность перехода не влияют. Срабатывание перехода происходит моментально; это означает, что удаление входящих и создание исходящих меток имеет место в один и тот же момент времени. Все вновь созданные метки в течение некоторого промежутка времени (продолжительности удерживания) являются условными, после чего превращаются в реальные и получают возможность влиять на доступность последующих переходов. Продолжительность удерживания может привязываться к позициям сети, позициям и переходам, либо к исходящим дугам. Привязка времен-

ных лагов к позициям и дугам позволяет задавать различные продолжительности удерживания для разных меток, даже если эти метки порождаются одним и тем же переходом.

Наконец, в случае представления задержек при помощи продолжительности доступности все метки являются реальными, а срабатывание перехода происходит моментально, как это и принято в первоначальной версии модели Петри. Однако отличие состоит в том, что к переходам предъявляются специальные требования: каждый переход должен находиться в состоянии доступности (перед срабатыванием) в течение определенного периода времени.

При любом из способов описания временных задержек они могут быть как детерминированными, так и вероятностными. Во втором случае модель представляет собой стохастическую сеть Петри (stochastic Petri net) [9]. Кроме того, в вероятностных сетях Петри могут использоваться политики маршрутизации: выбор одного из доступных переходов осуществляется в соответствии с заданными вероятностями, сумма которых по всем альтернативным переходам равна единице [6].

Таким образом, двумя наиболее популярными вариациями оригинальной концепции сети Петри являются временные и стохастические сети. Именно эти вариации находят широкое применение в имитационном моделировании поведения различных организационных и технических систем.

Моделирование отдельных элементов проекта

Предлагаемая модель реализации типового проекта внедрения аналитической информационной системы корпоративного уровня описывается при помощи сеть Петри, представляющей собой следующую мультикомпонентную структуру:

$$\{P, Q, I, O, W, \pi, \tau, M\} \tag{4}$$

где: $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ – конечное множество позиций;

$Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$ – конечное множество переходов;

$I \subseteq (P \times Q)$ – множество входящих дуг;

$O \subseteq (Q \times P)$ – множество исходящих дуг;

$$W : I \rightarrow N^+, \tag{5}$$

где $N^+ = \{1, 2, \dots\}$ – весовая функция, служащая для обозначения кратности дуг;

$$\pi : I \rightarrow R^+ \tag{6}$$

где: $R^+ = [0, \infty)$ – политика маршрутизации, представляющая собой вероятности выбора того или иного перехода, так что для каждого $p \in P$ выполняется условие;

$$\sum_{q_j: (p, q_j) \in I} \pi(p, q_j) = 1, \tag{7}$$

$$\tau : Q \rightarrow R^+ \tag{8}$$

где: $R^+ = [0, \infty)$ – функция задержки, определяющая продолжительность срабатывания переходов (детерминированные или случайные), в том числе в зависимости от порядкового номера срабатывания;

$$M : P \rightarrow N, \tag{9}$$

где: $N = \{0, 1, 2, \dots\}$ – маркировка, i -й компонент которой характеризует число меток, находящихся в i -й позиции.

Следует отметить, что в отличие от классической сети Петри в предлагаемой модели присутствуют такие элементы, как весовая функция (кратность дуг), политика маршрутизации (вероятностный выбор доступного перехода) и функция задержки (продолжительность срабатывания перехода).

Предлагаемая модель позволяет описывать такие элементы проекта, как проектные работы (в том числе допускающие возможность их повторного выполнения) и влияние выполнения проектных работ на начало последующих работ и наступление последующих событий.

Фрагмент сети Петри, характеризующий одну из работ проекта (с возможностью повторного выполнения) и ее влияние на последующие работы и события, представлен на рис. 1.

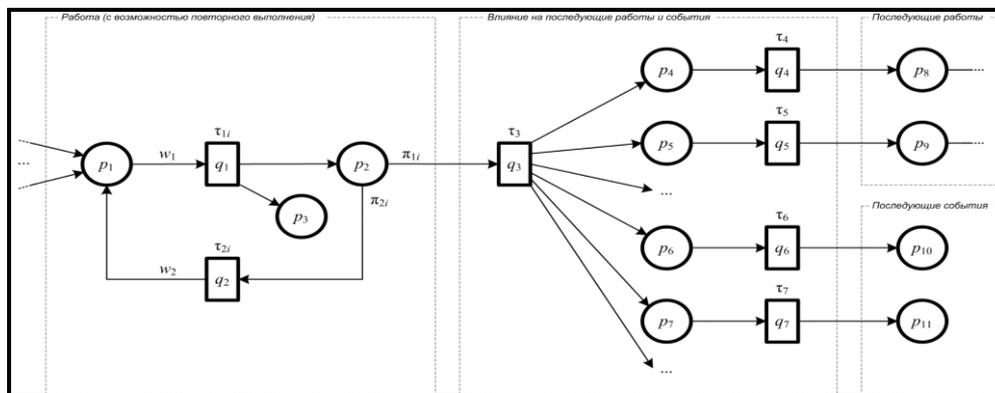


Рис. 1. Фрагмент сети Петри для моделирования реализации проекта

Обязательными элементами описания любой проектной работы (вне зависимости от того, допускается ли возможность ее повторения) являются две позиции, характеризующие начало и завершение работы, и один переход, соединяющий эти позиции и характеризующий выполнение данной работы. На рис. 1 соответствующие позиции имеют обозначения p_1 (начало работы) и p_2 (завершение работы). Переход q_1 связан с позициями двумя дугами – одной входящей (p_1, q_1) и одной исходящей (q_1, p_2).

Входящая дуга перехода имеет кратность w_1 , равную числу работ, которые предшествуют рассматриваемой работе. Это означает, что переход становится доступным, когда количество меток во входящей позиции становится равным числу предшествующих работ. Данное правило отражает тот факт, что выполнение рассматриваемой работы может быть начато только тогда, когда все предшествующие работы полностью завершены. Что касается исходящей дуги перехода, то ее кратность равна единице.

Поскольку выполнение работы требует определенного времени, переходу ставится в соответствие продолжительность срабатывания, которая, в общем случае, представляет собой случайную величину. Следует отметить, что поскольку рассматриваемая работа может выполняться повторно, время ее выполнения может зависеть от номера итерации. Например, время первичного выполнения работы (первая итерация) может быть весьма продолжительным, тогда как время внесения изменений (вторая итерация) может быть существенно меньшим, а продолжительность устранения мелких финальных замечаний (третья итерация) – совсем небольшой. Поэтому в общем случае переходу q_1 ставится в со-

ответствие набор случайных величин τ_{1i} , где i -я случайная величина характеризует продолжительность срабатывания перехода (время выполнения работы) на i -й итерации.

Принимая во внимание необходимость учета числа итераций выполнения работ, в модели предусматриваются специальные позиции-счетчики. Такие позиции располагаются после переходов, характеризующих выполнение работ, и соединяются с ними дугами, которые являются исходящими по отношению к соответствующим переходам и имеют кратность равную единице. Каждый раз при срабатывании перехода в позиции-счетчике создается одна новая метка (при этом метки, созданные в этой позиции ранее, не удаляются). Таким образом, количество меток, находящихся в позиции-счетчике в некоторый момент времени, равно числу уже произошедших срабатываний соответствующего перехода, а следовательно, числу выполненных для той или иной работы итераций. Таким образом, время выполнения работы (продолжительность срабатывания перехода), представляет собой функцию от числа меток, имеющихся в позиции-счетчике в тот момент, когда переход становится доступным. На рис. 1 позиция-счетчик имеет обозначение p_3 , а количество находящихся в ней меток характеризует число срабатываний перехода q_1 .

Если цели, стоящие перед рассматриваемой работой, достигнуты полностью, то это является основанием для перехода к последующим работам. Однако если цели не достигнуты или достигнуты не в полной мере, то может потребоваться повторное выполнение работы – либо полное (выполнение работы заново), либо частичное (корректировка отдельных элементов и устранение имеющихся замечаний). В этом случае модель предусматривает

возврат к позиции p_1 , обозначающей начало работы. Для этого предусмотрены специальный возвратный переход q_2 и две связанные с этим переходом дуги – входящая (p_2, q_2) и исходящая (q_2, p_1).

Необходимость возврата к началу работы носит вероятностный характер. Поэтому в модели применяется политика маршрутизации: с одной вероятностью осуществляется переход к последующим работам, с другой – повторное выполнение данной работы. Как и в случае со временем выполнения работы, здесь играет роль номер итерации: вероятность корректировок после первичного выполнения работы больше, чем после последующих итераций. Поэтому на каждой i -й итерации имеет место своя пара вероятностей π_{1i} (переход к последующим работам) и π_{2i} (повторное выполнение), при этом для любой итерации сумма двух вероятностей равна единице. Если работа не допускает повторения, то первая из вероятностей полагается равной единице, а вторая – нулю.

Модель также позволяет учесть ситуации, когда повторное выполнение работы (следующая итерация) возможно только по истечении определенного (в общем случае, случайного) промежутка времени после завершения предыдущей итерации. В этом случае возвратному переходу q_2 ставится в соответствие набор случайных величин t_{2i} , которые характеризуют продолжительности срабатывания перехода (время возврата к повторному выполнению работы) на i -й итерации.

Дуги, являющиеся исходящими по отношению к возвратному переходу, имеют кратность w_2 , равную числу работ, которые являются предшествующими по отношению к рассматриваемой работе. Это необходимо для того, чтобы в результате срабатывания возвратного перехода q_2 в позиции p_1 появились метки в количестве, достаточном для доступности и срабатывания перехода q_1 , характеризующего выполнение работы. Входящая дуга возвратного перехода имеют кратность равную единице.

Еще одним важным аспектом моделирования проекта как упорядоченной последовательности работ является влияние работ друг на друга и на проектные события. Завершение определенной работы является необходимым условием для начала последующих работ и наступления последующих событий. При этом также следует принимать во внимание временные лаги, отделяющие завершение работы от начала последующих работ и наступления событий. Такие лаги определяются индивидуально для каждого последующего элемента и, в общем случае, являются случайными величинами.

Поскольку любая работа может иметь несколько последующих работ и событий, для распараллеливания применяется специальный переход-разветвитель. Этот переход связывает позицию завершения работы с несколькими позициями, которые отражают влияние рассматриваемой работы на последующие объекты, при этом каждому из последующих объектов соответствует своя позиция влияния. Переход имеет одну входящую и несколько ис-

ходящих дуг, кратность всех дуг равна единице. Срабатывание перехода происходит моментально (без задержки) в случае полного завершения всех итераций, связанных с работой. На рис. 1 переход-разветвитель обозначен q_3 , его продолжительность срабатывания t_3 равна нулю. Он связан единственной входящей дугой с позицией завершения работы p_2 и исходящими дугами – с позициями, характеризующими факт влияния завершённой работы на начало последующих работ (позиции p_4 и p_5) и наступление последующих событий (позиции p_6 и p_7). Срабатывание перехода q_3 приводит к удалению метки из позиции завершения работы p_2 и появлению новых меток в позициях влияния $p_4 - p_7$ (по одной метке в каждой из позиций).

Для того чтобы принять во внимание промежутки времени, отделяющие завершение рассматриваемой работы от последующих работ и событий, используются переходы, связывающие позиции влияния с позициями начала последующих работ и наступления последующих событий. На рис. 1 такие переходы имеют обозначения $q_4 - q_7$, при этом переходы q_4 и q_5 связаны исходящими дугами с началами последующих работ (позиции p_8 и p_9), а переходы q_6 и q_7 – с последующими событиями (позиции p_{10} и p_{11}). Каждому из переходов $q_4 - q_7$ ставится в соответствие продолжительность срабатывания (соответственно, $t_4 - t_7$), характеризующая временной лаг между полным (с учетом всех итераций) завершением рассматриваемой работы и ее последствиями. В общем случае временные лаги представляют собой случайные величины. Кратность всех дуг, инцидентных переходам $q_4 - q_7$, равна единице. Срабатывание переходов приводит к удалению меток из позиций влияния и созданию новых меток в позициях начала последующих работ и наступления последующих событий (по одной новой метке в каждой позиции).

Рассмотрим пример моделирования проекта на примере фрагмента сети Петри, приведенного на рис. 1 (напомним, что этот фрагмент описывает выполнение одной работы и ее влияние на последующие работы и проектные события).

По мере завершения работ, предшествующих рассматриваемой работе, во входящей позиции p_1 накапливаются метки (каждая из предшествующих работ генерирует по одной метке). Когда количество накопленных меток становится равным числу предшествующих работ (а следовательно, и кратности дуги, соединяющей входящую позицию p_1 с переходом q_1), переход q_1 становится доступным. Срабатывание перехода происходит с задержкой t_{1i} , характеризующей время выполнения работы на i -й итерации. В результате срабатывания перехода все метки из входящей позиции p_1 удаляются, а в исходящей позиции p_2 создается одна новая метка, что означает завершение работы (что в общем случае не исключает возврата к ее повторному выполнению). Также создается одна новая метка в позиции p_3 , при этом общее количество меток в этой позиции соответствует числу срабатываний перехода q_1 .

При появлении метки в позиции p_2 доступным может стать один из двух переходов – q_2 , предусматривающий повторное выполнение работы, или q_3 , означающий переход к последующим работам и событиям. Выбор одного из двух переходов, который становится доступным и затем срабатывает, происходит на основе политики маршрутизации, которая определяется через вероятности π_{1j} (переход к последующим работам) и π_{2i} (повторное выполнение). Значения вероятностей зависят от номера итерации выполнения работы, при этом для любой итерации сумма вероятностей равна единице.

Если в результате применения политики маршрутизации доступным становится возвратный переход q_2 , то в результате его срабатывания (с задержкой t_{2i} , зависящей от номера итерации) в позиции начала работы p_1 создаются новые метки, количество которых равно числу работ, предшествующих рассматриваемой работе. После этого переход q_1 снова становится доступным, в результате чего моделирование выполнения работы возобновляется.

Если же выбор сделан в пользу перехода q_3 , то в результате его моментального срабатывания в каждой из последующих позиций влияния $p_4 - p_7$ создается по одной новой метке. При этом одновременно становятся доступными все переходы влияния $q_4 - q_7$, срабатывание которых происходит с задержками $t_4 - t_7$. Срабатывание приводит к появлению меток в позициях $p_8 - p_{11}$ (по одной метке в каждой позиции), что означает готовность к началу выполнения последующих работ (позиции p_8 и p_9) и наступление последующих событий (позиции p_{10} и p_{11}).

Многократное воспроизведение имитационной модели дает возможность сформировать статистику по ожидаемым срокам начала и завершения работ, этапов и проекта в целом. Также может быть произведен анализ рисков отклонения возможных сроков исполнения работ от ожидаемых величин. Путем варьирования значений параметров модели (например, изменения времени исполнения работ вследствие увеличения или уменьшения количества выделяемых ресурсов) можно оценить влияние этих параметров на сроки реализации проекта.

Затраты и ресурсы

Дальнейшее развитие модели может быть осуществлено путем учета дополнительной информации о затратах на выполнение работ, а также о различных ресурсах, которые используются в ходе реализации проекта. Затраты могут рассчитываться на основе ресурсов, исходя из их стоимости и объема использования (например, затраты на оплату труда исполнителей могут рассчитываться на основе трудозатрат в натуральном выражении и ставок оплаты труда привлекаемых специалистов).

При определении общей суммы затрат, связанных с конкретной работой, можно принимать во внимание наличие постоянной и переменной составляющих, а также случайные отклонения. В этом случае суммар-

ные затраты на выполнение работы складываются из трех компонент, к числу которых относятся:

- постоянные затраты, имеющие фиксированное значение вне зависимости от времени выполнения работы (примером могут служить затраты на финальный контроль полноты и качества выполнения работы);
- переменные затраты, зависящие от времени выполнения работы и объема привлеченных ресурсов (пример – оплата услуг внешних консультантов, привлекаемых для выполнения работы);
- случайная составляющая, отражающая возможные отклонения от базовых ставок, нормативов и т.п., в результате неполноты информации на стадии планирования проекта (эта составляющая может быть как положительной, так и отрицательной).

В случае, если работа допускает повторное выполнение, параметры ресурсов и затрат, как и время на выполнение работы, могут зависеть от номера итерации (первичное выполнение работы может быть более ресурсоемким и дорогостоящим, чем последующие корректировки).

В случае использования дополнительной информации воспроизведение имитационной модели позволяет получить статистику не только по срокам, но и по затратам и использованию ресурсов – как для отдельных работ, так и по проекту в целом, с привязкой ко времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проекты внедрения аналитических информационных систем обладают определенными особенностями, к числу которых относятся вероятностный характер сроков выполнения работ и объемов используемых ресурсов, а также итеративный характер некоторых работ, допускающих возможность их повторного выполнения. Этим объясняется необходимость прогнозирования сроков выполнения работ и проектов, а также соответствующих ресурсов и затрат, с учетом их возможных отклонений от запланированных значений.

Эффективным подходом, позволяющим решать задачи прогнозирования реализации проектов, является дискретно-событийное имитационное моделирование. Применимость дискретно-событийного моделирования объясняется тем, что реализация проекта представляет собой дискретную последовательность событий (начало и завершение работ, этапов и проекта в целом), которые в совокупности определяют статус проекта. В рамках имитационных моделей могут рассматриваться сложные последовательности работ, которые имеют вероятностные характеристики (сроки, затраты, ресурсы), связаны между собой вероятностными временными лагами и допускают возможность повторного выполнения.

Модель, предложенная для анализа реализации проектов внедрения аналитических информационных систем, основана на сети Петри и представляет собой ориентированный граф с узлами (позициями и переходами) и соединяющими их дугами. Позиции характеризуют такие элементы проекта, как начало работы, завершение работы, наступление события, а также факт влияния на последующие работы и события. Что касается переходов, то они характеризуют выполнение работы, возврат к началу работы и влияние на последующие работы и события. Кроме того, для обеспечения моделирования сложных взаимосвязей между работами и событиями; в модели применяются специальные переходы-разветвители.

Модель сочетает свойства как временной, так и стохастической сетей Петри: в ней присутствуют такие элементы, как функция задержки (продолжительность срабатывания перехода) и политика маршрутизации (вероятност-

ный выбор доступного перехода). В модели также могут учитываться затраты и ресурсы, связанные с выполнением работ и проекта в целом. В результате предлагаемая модель позволяет описывать все необходимые элементы проекта – проектные работы (с возможностью их повторного выполнения) и их влияние на начало последующих работ и наступление последующих событий. Имитационная модель позволяет многократно воспроизводить ход реализации проекта и на основе полученной статистики оценивать возможные сроки исполнения (от отдельных работ до проекта в целом), а также использование ресурсов и соответствующие затраты.

Литература

1. Духонин Е.Ю. и др. Управление эффективностью бизнеса [Текст] : концепция business performance management / Е.Ю. Духонин, Д.В. Исаев, Е.Л. Мостовой и др. ; под ред. Г.В. Генса. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2005. – 269 с.
2. Исаев Д.В. Применимость аналитических информационных систем для решения задач корпоративного управления и стратегического менеджмента [Текст] / Д.В. Исаев // *Аудит и финансовый анализ*. – 2011. – №5. – С. 271-277.
3. Мазур И.И. Управление проектами [Текст] / И.И. Мазур, В.Д. Шапиро, Н.Г. Ольдерогге, А.В. Полковников. – М. : Омега-Л, 2010. – 960 с.
4. Сидоренко В.Н. Имитационное моделирование в науке и бизнесе [Текст] : подходы, инструменты, применение / В.Н. Сидоренко, А.В. Красносельский // *Бизнес-информатика*. – 2009. – №2. – С. 52-57.
5. Bowden F.D.J. A brief survey and synthesis of the roles of time in Petri nets // *Mathematical and computer modelling*. 2000. No. 31. Pp. 55-68.
6. Clempner J. Optimizing the decision process on Petri nets via a Lyapunov-like function // *International journal of pure and applied mathematics*. 2005. Vol. 19 ; No. 4. Pp. 475-490.
7. Forrester J.W. Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers // *Harvard business review*. 1958. Vol. 36; No. 4. Pp. 37-66.
8. Forrester J.W. *Industrial dynamics*. Cambridge, MA : MIT Press, 1961. 464 p.
9. Haas P.J. *Stochastic Petri nets: modelling, stability, simulation*. New York : Springer, 2002. 529 p.
10. North M.J., Macal C.M. *Managing business complexity: discovering strategic solutions with agent-based modeling and simulation*. New York : Oxford university press, 2007. 328 p.
11. Petri C.A. *Kommunikation mit automaten*. Bonn : Universität Bonn, Institut für instrumentelle mathematik, Schriften des IIM Nr. 2, 1962. 128 p.
12. Wainer G.A. *Discrete-event modeling and simulation [Text]: A practitioner's approach / G.A.Wainer*. – Boca Raton, FL: CRC Press, 2009. – 520 p.

Ключевые слова

Аналитические информационные системы; программное обеспечение; внедрение; проект; проектная работа; проектное событие; управление проектами; имитационное моделирование; дискретно-событийное моделирование; сеть Петри.

Исаев Дмитрий Валентинович

РЕЦЕНЗИЯ

Актуальность темы обусловлена тем, что аналитические информационные системы корпоративного уровня имеют ряд объектив-

ных особенностей, которые существенно усложняют решение задач управления проектами их внедрения. В этих условиях возникает необходимость в применении специальных подходов и средств экономико-математического моделирования, позволяющих повысить обоснованность прогнозирования сроков выполнения отдельных проектных работ и проектов в целом.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней выявлены особенности проектов внедрения аналитических информационных систем и обоснована применимость дискретно-событийного имитационного моделирования для прогнозирования сроков их реализации. На этой основе автором предложена типовая имитационная модель, основанная на методологии сетей Петри, которая учитывает наличие случайных факторов, влияющих на выполнение работ, а также позволяет принять во внимание возможность повторного выполнения некоторых проектных работ и операций.

Практическая значимость работы состоит в том, что предложенные автором рекомендации могут применяться в планировании и управлении проектами внедрения аналитических информационных систем, обеспечивая более обоснованную оценку ожидаемых сроков их реализации.

Кравченко Т.К., д.э.н, профессор, зав. кафедрой бизнес-аналитики Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики».