

УДК 681.324(031)

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ СОСТОЯНИЙ IDEF3-МОДЕЛЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Г. С. Бритов,

канд. техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

А. В. Лупал,

главный специалист

ЗАО «Компания ТрансТелеКом»

Приводится один из подходов к исследованию технологических моделей бизнес-процессов, основанных на вероятностном анализе отказов связей между единицами работы и позволяющих рассчитать вероятности различных состояний технологического процесса и вычислить время исправной работы системы.

Ключевые слова — бизнес-процесс, вероятность, граф, марковский процесс, надежность, перекресток, рекуррентные уравнения, состояние, узкие места.

Под технологическим моделированием бизнес-процессов понимается процесс создания сценариев и описания последовательности операций для каждого бизнес-процесса [1, 2]. Для разработки сценариев бизнес-процессов предназначена методология IDEF3, которая успешно реализована на базе CASE-средства BPWin.

Стандарт IDEF3 был создан для описания последовательностей и логики взаимодействия операций и событий в анализируемой системе. IDEF3 обеспечивает аналитика методологией структурированного подхода и графическим языком для наглядного представления с необходимой степенью детализации знаний об очередности событий и действий описываемого бизнес-процесса.

Для описания процесса в IDEF3 определены две стратегии и, соответственно, два типа диаграмм [1]:

1) *proceSS-centered Strategy* — стратегия описания процесса как последовательности выполняемых действий. Диаграммы этого типа получили название *ProceSS FloW DeScription Dia-gramS (PFDD)* — диаграммы потокового описания процесса;

2) *object-centered Strategy* — стратегия описания процесса как последовательности изменений состояний объекта, над которым выполняются действия. Диаграммы такого типа получили название *Object State TranSition NetWork (OSTN)* — диаграммы последовательности изменений состояний объекта.

Описание процесса в IDEF3 может содержать диаграммы какого-либо одного или обоих типов.

Для того чтобы обеспечить аналитика инструментом, описывающим возможные ветвления и параллельность выполнения ряда действий в описываемом процессе, в диаграмме PFDD технологической модели используются перекрестки. Перекрестки усиливают описание временных отношений и отношений очередности выполнения различных частей процесса. Они применяются для отображения логики взаимодействия стрелок при слиянии и разветвлении или для отображения множества событий, которые могут или должны быть завершены перед началом следующей работы.

Использование перекрестков позволяет в технологической модели анализировать «узкие места», отрицательно влияющие на эффективность деятельности и определяющие надежность процесса.

На основе анализа PFDD-диаграммы можно разработать OSTN-диаграмму (диаграмму состояний объекта), которая представляет собой граф переходов состояний технологического процесса (ТП) в зависимости от внешних факторов [3].

Используя OSTN-диаграммы, можно проводить вероятностный анализ соответствующих процессов [4], который заключается в расчете вероятности исправной работы системы и вероятности достижения того или иного критического состояния при заданных вероятностях отказов ее

элементов. Для примера рассмотрим ТП, состоящий из трех работ и одного перекрестка с *O*-разветвлением. PFDD-диаграмма этого процесса показана на рис. 1.

В этом технологическом процессе могут происходить следующие события:

- C_1 — не срабатывает (отказ) верхняя связь перекрестка, вероятность такого события p_1 ;
- C_2 — противоположное событие, когда верхняя связь исправна, вероятность такого события $(1 - p_1)$;
- C_3 — не срабатывает (отказ) нижняя связь перекрестка, вероятность такого события p_2 ;
- C_4 — противоположное событие, когда нижняя связь исправна, вероятность такого события $(1 - p_2)$;
- C_5 — не срабатывают (отказ) обе связи перекрестка одновременно, вероятность такого события $p_1 p_2$;
- C_6 — событие, когда обе связи исправны, вероятность такого события $(1 - p_1)(1 - p_2)$.

Возможны четыре состояния рассматриваемого ТП, определяемые тем, как происходят указанные события:

- S_1 — перекресток работает правильно, так как происходят события C_2 , C_4 и C_6 и, следовательно, выполняются все три работы W_1 , W_2 , W_3 ;
- S_2 — перекресток работает неправильно, так как происходят события C_1 и C_4 и, следовательно, выполняются только две работы W_1 , W_3 , а W_2 — нет;
- S_3 — перекресток работает неправильно, так как происходят события C_2 и C_3 и, следовательно, выполняются только две работы W_1 , W_2 , а W_3 — нет;

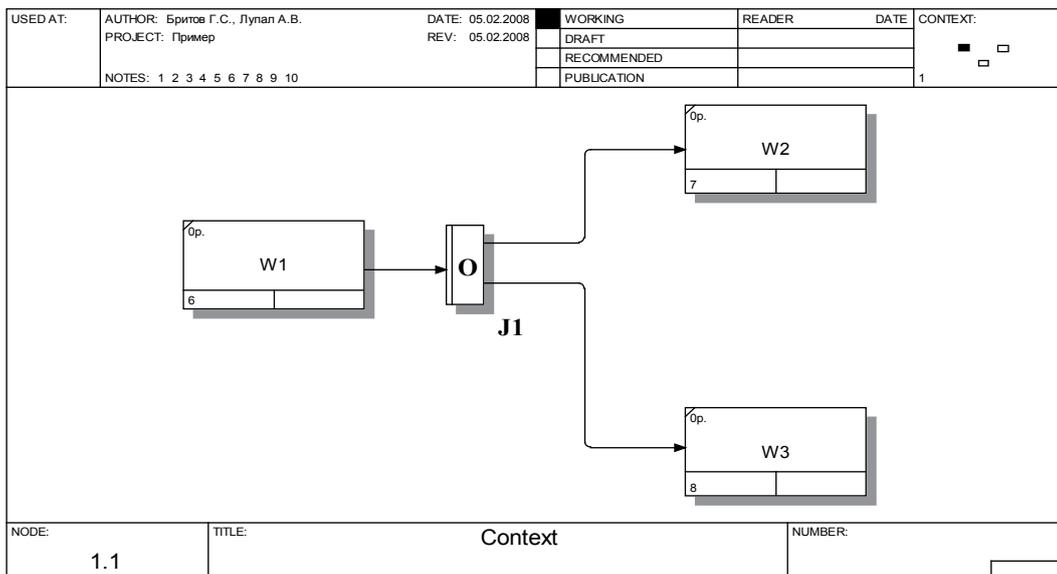
- S_4 — перекресток работает неправильно, так как происходит событие C_5 и, следовательно, выполняется только одна работа W_1 , а W_2 и W_3 — нет.

Состояния S_2 , S_3 и S_4 являются проблемными, так как характеризуют неполноценное выполнение ТП. OSTN-диаграмма процесса показана на рис. 2.

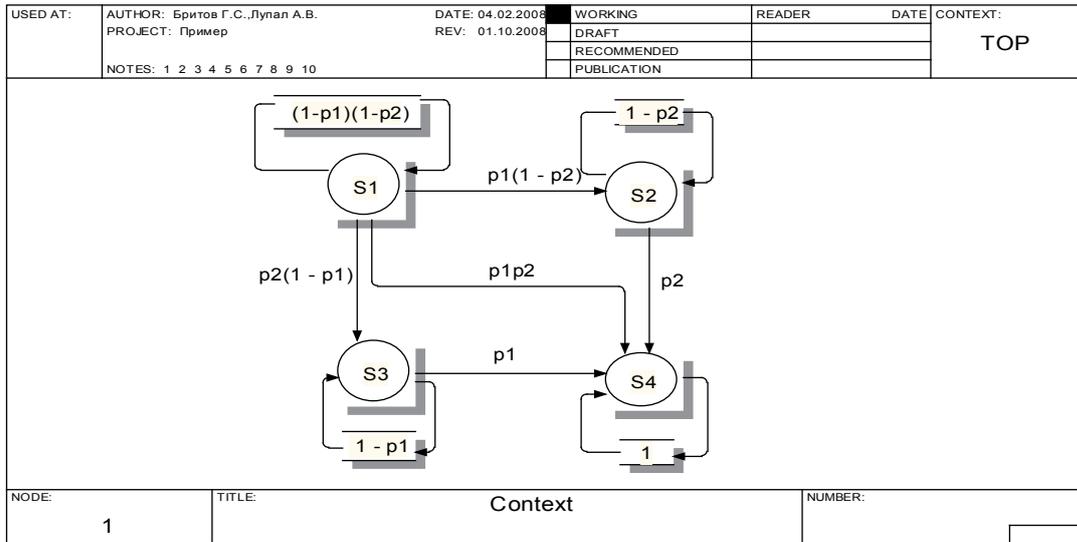
Переходы, зафиксированные в диаграмме, характеризуют появление одного из четырех независимых событий: неисправность верхней связи, неисправность нижней связи, неисправность обеих связей или отсутствие неисправностей.

Попадание ТП в определенное состояние зависит как от происходящих событий, так и от того, в каком состоянии процесс находился раньше. Например, в состояние S_4 можно попасть из состояния S_1 , если происходит событие C_5 , или из состояния S_2 , если происходит событие C_3 , или из состояния S_3 , если происходит событие C_1 . Граф возможных переходов из одного состояния в другое представляет собой OSTN-диаграмму (см. рис. 2). Ребра графа отмечены вероятностями событий или их совокупностей, которые вызывают соответствующий переход. Так, ТП будет постоянно находиться в работоспособном состоянии S_1 только тогда, когда происходит событие C_6 , причем вероятность этого равна $(1 - p_1)(1 - p_2)$. В то же время из состояния S_1 в состояние S_2 можно перейти, если произойдут события C_1 и C_4 . Вероятность такого перехода $p_1(1 - p_2)$.

Вероятности состояний $S_1 - S_4$ зависят от времени. Будем полагать время дискретным, когда $t = 0, 1, 2, \dots$, где единица времени зависит от вида ТП.



■ Рис. 1. Использование *O*-перекрестка



■ Рис. 2. OSTN-диаграмма

Вероятности состояний обозначим $P_i(t)$, $i = 1, 4$. Рассматриваемый процесс переходов состояний можно описать с помощью уравнений марковского процесса, который является одним из методов анализа надежности сложных систем.

Известно, что в марковском процессе каждое состояние системы в некоторый момент времени t не зависит от того, как процесс попал в предыдущие состояния. В соответствии с графом (см. рис. 1) рекуррентные уравнения марковского процесса будут иметь вид

$$\begin{aligned}
 P_1(t+1) &= P_1(t)(1-p_1)(1-p_2); \\
 P_2(t+1) &= P_1(t)(1-p_2)p_1 + P_2(t)(1-p_2); \\
 P_3(t+1) &= P_1(t)(1-p_1)p_2 + P_3(t)(1-p_1); \\
 P_4(t+1) &= P_1(t)p_1p_2 + P_2(t)p_2 + P_3(t)p_1 + P_4(t).
 \end{aligned}$$

Начальные условия целесообразно задать следующим образом:

$$P_1(0) = 1, P_2(0) = 0, P_3(0) = 0, P_4(0) = 0.$$

Матрица рассматриваемого марковского процесса

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1-p_1-p_2+p_1p_2 & 0 & 0 & 0 \\ p_1-p_1p_2 & 1-p_2 & 0 & 0 \\ p_2-p_1p_2 & 0 & 1-p_1 & 0 \\ p_1p_2 & p_2 & p_1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Она имеет единичное собственное число, так как по построению является стохастической. Значит, рекуррентные уравнения марковского процесса имеют нетривиальное стационарное решение. Оно может быть получено из рекуррент-

ных уравнений процесса, записанных для стационарного случая:

$$\begin{aligned}
 -P_1p_1 - P_1p_2 + P_1p_1p_2 &= 0; \\
 P_1(1-p_2)p_1 - P_2p_2 &= 0; \\
 P_1(1-p_1)p_2 - P_3p_1 &= 0; \\
 P_1p_1p_2 + P_2p_2 + P_3p_1 &= 0.
 \end{aligned}$$

Отсюда, учитывая условие полноты

$$P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1,$$

получим

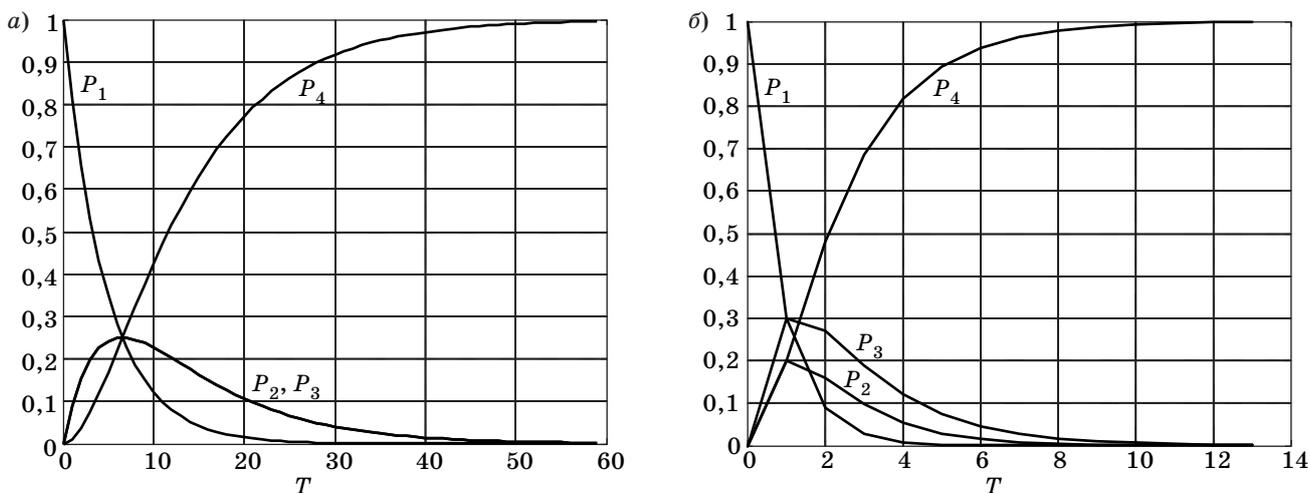
$$P_1 = P_2 = P_3 = 0, P_4 = 1.$$

Это значит, что через некоторое время ТП попадает в неисправное состояние S_4 и остается там навсегда. Момент времени, при котором устанавливается значение $P_4 = 1$, определяет время T исправной работы ТП, зависящее от вероятностей p_1 и p_2 .

Результаты расчетов вероятностей $P_i(t)$, $i = 1, \dots, 4$ показаны на рис. 3, а, б.

Хорошо видно, что в первом случае время исправной работы $T = 55$ тактам, а во втором — $T = 12$ тактам, т. е. произошло уменьшение времени исправной работы в 4,6 раза.

Аналогичный анализ справедлив и для &-перекрестка. Это объясняется тем, что расчеты выполняются для самого «тяжелого» случая, когда должны выполняться обе работы W_1, W_2 . Что касается X-перекрестка, то следует отметить, что обе работы здесь выполняться не могут, а может выполняться только или W_3 , или W_4 . Тем не ме-



■ Рис. 3. Результаты расчетов: а — при $p_1 = p_2 = 0,1$; б — при $p_1 = 0,4$ и $p_2 = 0,5$

нее, отказ обеих связей приводит к полной неисправности ТП и, таким образом, может рассматриваться аналогично «тяжелому» случаю О-перекрестка.

Следовательно, разветвленный ТП разрушается при отказах в связях между выполняемыми работами.

Можно усложнить анализ работы перекрестка, добавив три дополнительных события: C_7 — восстановление верхней связи с вероятностью q_1 , C_8 — восстановление нижней связи с вероятностью q_2 и C_9 — восстановление обеих связей одновременно с вероятностью q_1q_2 . Предложенный подход вероятностного анализа дает возможность рассчитать вероятности различных состояний ТП и вычислить время исправной работы и коэффициент готовности.

Итак, предложен вероятностный анализ ТП, имеющих зависимые работы, выполняемые параллельно или альтернативно, когда выходные

данные работы-источника преобразуются несколькими работами-приемниками или только одной из нескольких возможных работ-приемников соответственно.

Литература

1. Маклаков С. В. Создание информационных систем. — М.: ДИАЛОГ МИФИ, 2003. — 432 с.
2. Черемных С. В., Семенов И. О., Ручкин В. С. Структурный анализ систем: IDEF-технология. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 208 с.
3. Райншке К., Ушаков И. А. Оценка надежности систем с использованием графов. — М.: Радио и связь, 1988. — 209 с.
4. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. — СПб.: БХВ-Петербург, 2006. — 704 с.