УДК 681.324(031)

АНАЛИЗ ПОТОКОВ В БИЗНЕС-ПРОЦЕССАХ ПО *IDEF-3*-МОДЕЛЯМ

Т.Ф. Осипова, *старший преподаватель кафедры бизнес-информатики ГУАП.*

В статье приведены IDEF3-модели технологических процессов в виде последовательных и разветвленных диаграмм. Построенные модели позволяют проанализировать узкие места технологических процессов. Программа математического пакета MatLab дает возможность автоматизировать анализ узких мест в различных бизнес-процессах.

The article describes IDEF3-models of technological process in the form of consistent and extensive diagrams. The constructed models allow to analyse bottleneck technological processes. The mathematical program package MatLab enables to automate the analysis of bottlenecks in various business processes.

Ключевые слова: *сценарий технологического процесса, IDEF3-модель, последовательностная модель, потоковая модель, время риска, интенсивность потока, узкое место процесса.*

Keywords: *technological process, IDEF3-model, sequential model, threading model, time risk, rate of flow, the bottleneck of the process.*

Контактные данные: *ГУАП, Санкт-Петербург, 190000, ул. Большая Морская дом 67, email: tfosipova@gmail.com*

IDEF3-модели предназначены для описания сценариев технологических процессов [1]. В работе [2] рассмотрено формальное построение соответствующих технологических моделей. IDEF3-модели определяют связи между работами, или операциями технологического процесса. Физический смысл связей позволяет выделить два вида технологических моделей: последовательностные модели, потоковые модели. Последовательностные модели описывают процесс выполнения работ друг за другом. В последовательности работ каждая последующая работа может выполняться только после завершения предыдущей работы. Связи в таких моделях изображаются в виде стрелок. Потоковые модели тоже описывают процесс выполнения работ друг за другом, только связи между работами определяют потоки данных, документов, материалов, денежных средств, и т.д. Тогда связи изображаются двойными стрелками.

Поток состоит из объектов, от характера их поступления которых потоки могут быть непрерывными, регулярными, случайными. В непрерывном потоке объекты следуют друг за другом непрерывно. Непрерывным образом такой поток поступает на вход какой-либо работы и также непрерывно выходит из нее. В регулярном потоке объекты отделены друг от друга определенными промежутками времени. Если они одинаковы, то регулярный поток является постоянным. В противном случае регулярный поток определяется расписанием. В случайном потоке объекты поступают в случайные моменты времени. Если в течение достаточно малого промежутка времени вероятности появления двух и более объектов достаточно малы, то случайный поток является простейшим. Такой поток хорошо описывается аналитически пуассоновским распределением.

Узким местом в бизнес-процессе будем считать то место, где могут возникать нарушения выполнения работ из-за существенного изменения времени работы или сильного изменения интенсивностей потоков [3]. В технологической модели бизнес-процесса такими местами служат цепочки работ и перекрестки, где происходит разветвление или слияние потоков.

Рассмотрим потоковые модели. Начнем с анализа деятельности цепочки в такой модели. На рис.1 показана цепочка из двух работ W_1, W_2.

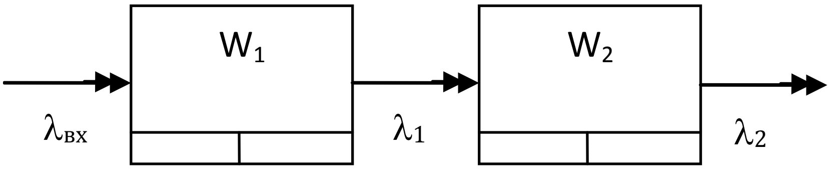

Рис.1. Цепочка работ потоковой модели

Интенсивности потоков в работах W_1, W_2 обозначаются как λ_1, λ_2. Тогда интенсивность цепочки

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_1 \cdot \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2}$$

Если учесть, что $\lambda_1 = k_1 \lambda_{вх}$, $\lambda_2 = k_2 \lambda_1$, то получим:

$$\lambda_0 = \frac{k_1 \cdot k_2}{1 + k_2} \cdot \lambda_{вх} = k_0 \cdot \lambda_{вх},$$

где k_0 - коэффициент передачи потока.

Рассмотрим чувствительность коэффициента передачи k_0 к изменениям коэффициентов k_1, k_2. Относительные изменения этих коэффициентов

$$\delta k_1 = \frac{\Delta k_1}{k_1}, \ \delta k_2 = \frac{\Delta k_2}{k_2}$$

связаны с относительным изменением коэффициента k_0 следующим образом:

$$\delta k_0 = \delta k_1 + \frac{1}{1 + k_2} \cdot \delta k_2 .$$

Таким образом, работа в цепочке потоковой модели является «узким местом», если чувствительность коэффициента передачи цепочки к возможным изменениям минимальна. Это значит, что любые изменения в деятельности работы плохо отражаются на результатах. Справедливы следующие выводы:

1. Работа W_1 не может быть «узким» местом, так как ее влияние на деятельность цепочки однозначно.
2. Работа W_2 может быть «узким» местом, так как ее влияние на деятельность цепочки определяется отношением $1/(1+k_2)$.
3. При $k_2 \to 0$ влияние работы W_2 на деятельность цепочки приближается к однозначному, и ее нельзя считать «узким местом».
4. Чем больше коэффициент передачи k_2, тем меньше чувствительность цепочки к изменениям в работе W_2, тем больше шансов считать ее «узким местом».

Рассмотрим деятельность разветвления в потоковой модели. На рис.2(а),(б),(в) показаны три разветвления, состоящих из одной отдельной работы W_1 и двух параллельных работ W_2, W_3.

Интенсивности потоков в работах W_1, W_2, W_3 обозначим, как и раньше, через λ_1, λ_2, λ_3. Тогда в случае непрерывного потока для О- и &-разветвления справедливы равенства:

$$\begin{array}{c} \lambda_2 = a_2 \cdot \lambda_1, \ \lambda_3 = a_3 \cdot \lambda_1 \\ a_2, a_3 > 0, \ a_2 + a_3 = 1 \end{array},$$

где a_2 и a_3 - коэффициенты разветвления потока.

При уменьшении одного из коэффициентов разветвления a_2, a_3 уменьшается поток в соответствующей работе. Это приводит к увеличению времени на выполнение работы, и, следовательно, возникает узкое место.

При X-разветвлении непрерывного потока интенсивности параллельных работ W_2, W_3 принимают следующие значения:

$$\lambda_i = \begin{cases} 0, \\ \lambda_1. \end{cases}$$

Интенсивность λ_i принимает нулевое значение, если условие разветвления не выполняется, и – значение λ_1 в противном случае. Следовательно, X-разветвление не может быть «узким» местом.

Для O- и &-разветвлений регулярного потока можно рассмотреть два случая:

- разветвление не меняет времени поступления объекта в поток,
- разветвление меняет времена поступления объекта в поток.

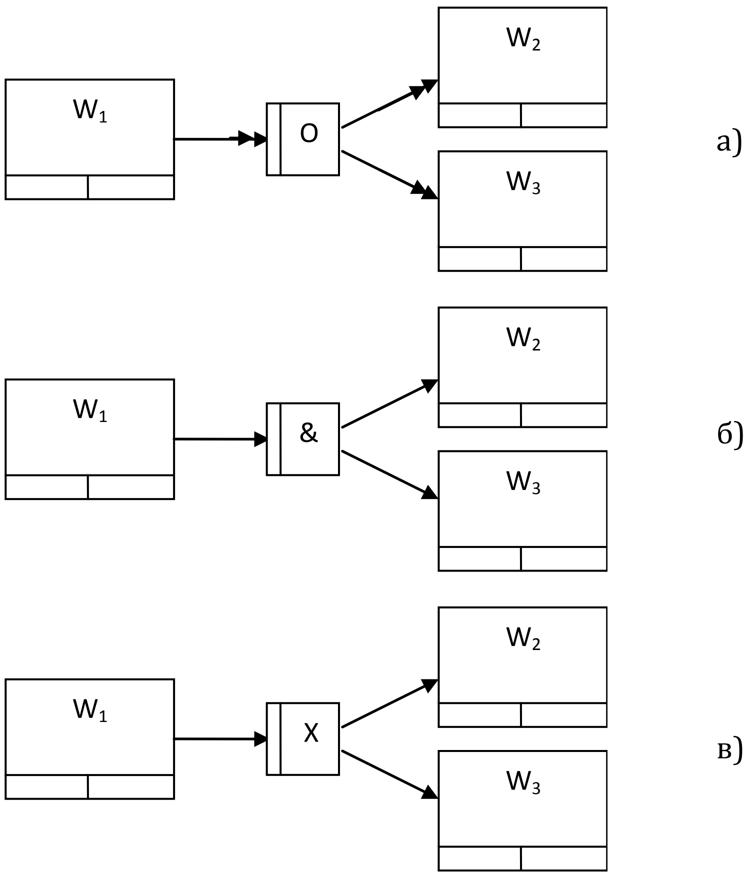

Рис.2. Разветвление в потоковой модели

В первом случае интенсивности потоков всех трех работ W_1, W_2, W_3 будут одинаковыми. Следовательно, O- и &-разветвления регулярного потока не могут быть узкими местами.

Во втором случае изменения времен T_2 и T_3 могут привести к перегрузке (уменьшение времени работы) или простою (увеличение времени работы) W_2, W_3. Следовательно, в рассматриваемом случае O- и &-разветвления регулярного потока могут быть узкими местами.

Для X-разветвления время поступления объекта в поток работы W_2 или W_3 не меняется. Поэтому X-разветвление регулярного потока не может быть «узким» местом.

Для О- и &-разветвлений регулярного потока расписания справедливы формулы интенсивностей работ:

$$\lambda_1 = \frac{N_1}{T}, \lambda_2 = \frac{N_2}{T}, \lambda_3 = \frac{N_3}{T},$$
$$N_1 = N_2 + N_3.$$

где N_1 , N_2, N_3 – количество объектов, поступающих в первую, вторую и третью работу соответственно, а T – время по расписанию.

Узкое место может возникать при неравномерном распределении числа поступающих объектов в первую работу N_1 между второй и третьей работами N_2, N_3. Как и в предыдущем случае, неравномерность распределения может привести либо к перегрузке (увеличение числа объектов) либо к простою (уменьшение числа объектов). Следовательно, О- и &-разветвления регулярного потока расписания могут быть узкими местами.

Наконец, Х-разветвление по принципу работы не может быть узким местом, так как число объектов не меняется. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Разветвление непрерывного потока может привести к «узкому» месту, если коэффициенты разветвления сильно отличаются друг от друга.
2. Разветвление регулярного потока может привести к «узкому» месту, если распределение времен поступления объектов в параллельные работы неравномерно.
3. Разветвление регулярного потока расписания может привести к «узкому» месту, если распределение числа объектов по параллельным работам неравномерно.

Рассмотрим деятельность слияния в потоковой модели. На рис.3 показаны два слияния, состоящих из одной отдельной работы W_1 и двух параллельных работ W_2, W_3 потоковой модели.

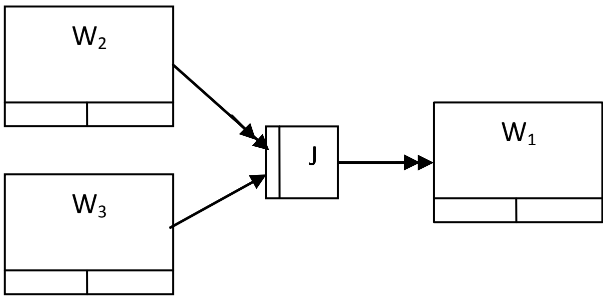

Рис.3. Слияние в потоковой модели

Здесь принято, что $J \in \{O, \&\}$, так как действие различных слияний одинаково с точки зрения интенсивностей потоков. Интенсивности потоков в работах W_1, W_2, W_3 обозначим, как и раньше, через λ_1, λ_2, λ_3. Тогда в случае непрерывного потока для слияния справедливо равенство $\lambda_1 = \lambda_2 + \lambda_3$. Это приводит к увеличению интенсивности потока работы W_1, и, следовательно, возникает узкое место. Для слияния регулярных потоков можно рассмотреть два случая: слияние не меняет времени поступления объекта в поток, слияние уменьшает время поступления объекта в поток. В первом случае интенсивности потоков всех трех работ W_1, W_2, W_3 будут одинаковыми. Следовательно, слияние регулярных потоков не может быть узким местом. Во втором случае уменьшение времени T_1 может привести к перегрузке работы W_1. Следовательно, в рассматриваемом случае слияние регулярных потоков может быть узким местом.

Для слияния регулярных потоков расписания справедливы формулы интенсивностей работ:

$$\lambda_1 = \frac{N_1}{T}, \lambda_2 = \frac{N_2}{T}, \lambda_3 = \frac{N_3}{T},$$

$$N_1 = N_2 + N_3.$$

Узкое место возникает, так как увеличивается число N_1 поступающих объектов в первую работу. Это приводит к перегрузке работы. Следовательно, слияние регулярных потоков типа расписания может быть «узким» местом. Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. Слияние непрерывных потоков может привести к «узкому» месту, если суммирование интенсивностей потоков параллельных работ приводит к сильному увеличению выходного потока.
2. Слияние регулярного потока может привести к «узкому» месту, если уменьшается время поступления объектов в выходную работу.
3. Слияние регулярных потоков расписания приводит к «узкому» месту, так как увеличивается число объектов, поступающих в поток выходной работы.

Рассмотрим деятельность обратной связи в потоковой модели. На рис.4 показана обратная связь, состоящая из одной работы W_1, замкнутой самой на себя.

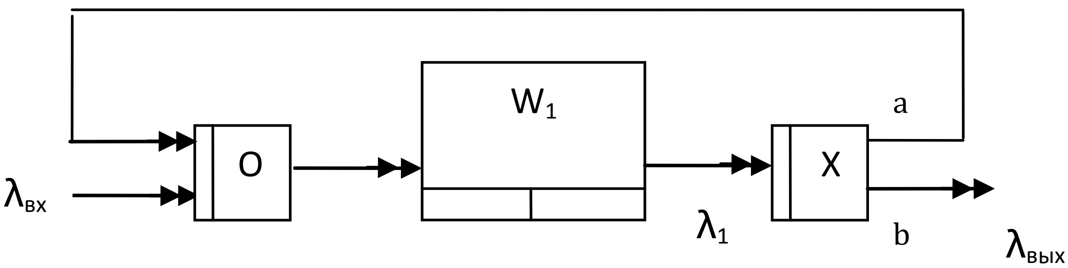

Рис.4. Обратная связь в потоковой модели

Для обратной связи справедливы следующие формулы расчета интенсивностей непрерывных потоков:

$$\lambda_1 = k_1 \cdot (\lambda_{вх} + a \cdot \lambda_1);\ \lambda_{вых} = b \cdot \lambda_1; a + b = 1;\ a, b > 0\,.$$

Отсюда получим:

$$\lambda_1 = \frac{k_1 \cdot \lambda_{вх}}{1-a};\ \ \lambda_{вых} = \frac{b \cdot k_1 \cdot \lambda_{вх}}{1 - a \cdot k_1} = \frac{k_1 \cdot (1-a) \cdot \lambda_{вх}}{1 - a \cdot k_1}\,.$$

Так как $0 < 1 - a \cdot k_1 < 1$, то $a < \dfrac{1}{k_1}$. Это – важное ограничение на коэффициент обратной связи a. Если работа W_1 является передатчиком (k_1=1), то указанное ограничение выполняется всегда. Но эквивалентный коэффициент передачи работы

$$k_{10} = \frac{1}{1-a} > 1$$

Работа остается усилителем. При $a \cdot k_1 \to 1$ интенсивность потока в ней стремится к бесконечности. Это означает перегрузку работы W_1. Следовательно, обратная связь в потоковой модели может быть «узким» местом, если коэффициент обратной связи будет близок к $1/k_1$.

Если работа W_1 является демпфером (k_1<1), то, тем не менее, ограничение на коэффициент обратной связи может выполняться. Эквивалентный коэффициент передачи работы

$$k_{10} = \frac{k_1}{1 - a \cdot k_1} > 1,$$

она остается демпфером при $a<(1-k_1)/k_1$. При $a \cdot k_1 \to 1$ интенсивность потока в работе стремится к бесконечности. Это означает перегрузку работы W_1. Следовательно, обратная связь в потоковой модели может быть «узким» местом, если коэффициент обратной связи будет близок к $1/k_1$.

Обратимся теперь к обратной связи с регулярным потоком. Здесь возможны два случая, когда в О-слиянии не меняется время поступления объекта в поток и когда уменьшается время поступления объекта в поток. В первом случае может возникнуть ситуация, когда Х-разветвление прерывает выходной поток на время отработки обратной связи. Это приводит к нарушению регулярности выходного потока: в нем появляются пропуски. Они могут быть регулярными или случайными как по величине, так и по месту появления. Во втором случае нарушается регулярность потока и может происходить перегрузка работы W_1. Это объясняется тем, что входной и выходной потоки имеют различные времена поступления объектов в поток. Причем интенсивность выходного потока выше, чем интенсивность входного потока.

Следовательно, обратная связь с регулярным потоком является узким местом, в котором нарушается регулярность потока. Аналогичный вывод можно сделать и для регулярного потока расписания. В работе W_1 растет число объектов, поступающих за время расписания, так как они накапливаются после О-слияния схемы.

Следовательно, обратная связь с регулярным потоком расписания является узким местом, в котором нарушается регулярность потока.

В математическом пакете MATLAB написана программа анализа узких мест. Пример ее функционирования для цепочки трех работ, обрабатывающих непрерывные потоки данных имеет вид:

Ввод данных непрерывного потока в цепочке

Коэффициенты передачи [k1,k2,...,kn]= [1 0.8 0.9]

Коэффициенты чувствительности:

1.0000   0.7252   0.3817

Узкое место в 3-й работе с чувствительностью 0.381679 .

Итак, выполнен анализ узких мест в бизнес-процессах. В основу анализа положены IDEF3-модели, в которых выделены особенности, приводящие к рискам правильного завершения моделируемых сценариев.

Работа выполнена по гранту РФФИ 14-08-00327.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Маклаков С.В.* Создание информационных систем с AllFusion Modeling Suite. – М: ДИАЛОГ МИФИ. 2003. – 432 с.
2. *Бритов Г.С.* Метод формального описания PFDD-диаграмм IDEF3-технологии. // Информационно-управляющие системы, № 2. 2014. С. 25 – 32.
3. *Осипова Т.Ф.* Анализ рисков бизнес процессов в организации. // X международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экономики и новые технологии преподавания», Том 3. СПб: Изд-во МБИ. 2011. – С.103 – 108.