

СОВМЕЩЕНИЕ СТРУКТУРНОГО И ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДОВ ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

Обоснована возможность применения имитационного моделирования при повышении эффективности функционирования процессов технологического документооборота. Показана целесообразность интеграции методик структурного и имитационного моделирования. Предложена система оценки эффективности функционирования бизнес-процессов.

This article substantiates a possibility of simulation for increasing of enterprise technical document flow processes performance. It shows a suitability of simulation and structural modeling methods and describes the certain system of processes performance efficiency estimation.

Ключевые слова: *система поддержки принятия решений, технологический документооборот, имитационное моделирование, IDEF, эффективность функционирования бизнес-процесса.*

Keywords: *Decision Support System, Technical Document Flow, Simulation, IDEF, Business Process Performance Efficiency.*

Виктор Иванович Галкин, декан авиатехнологического факультета ГОУ ВПО "МАТИ"-РГТУ им. К.Э. Циолковского, профессор, д.т.н.
Дмитрий Александрович Карамавров, старший преподаватель ГОУ ВПО "МАТИ"-РГТУ им. К.Э. Циолковского

Введение

Все возрастающая сложность и степень неопределенности проблемных ситуаций делают для менеджеров чрезвычайно актуальной проблему планирования и поддержки принятия управленческих решений. Важным ее аспектом является повышение эффективности функционирования и управления существующими в организации бизнес-процессами (БП).

Широкое распространение при решении указанных задач получили управляемые моделями системы поддержки принятия решений (Model-Driven DSS) [1]. Система такого рода по определению обладает двумя характерными чертами. Во-первых, ядром системы, обеспечивающим основную ее функциональность, является одна или несколько количественных моделей, при доступе к которым пользователь имеет возможность выявить и адекватно оценить проблемную ситуацию. Во-вторых, система должна быть спроектирована так, чтобы пользователь мог управлять параметрами модели и наблюдать за поведением выходных данных для выработки соответствующих управляющих решений [1]. В нашем случае модель должна обеспечивать ее пользователю приемлемую количественную оценку эффективности функционирования БП в динамике: содержать соответствующий показатель (систему показателей) эффективности и минимальный набор необходимых переменных и параметров, на основе которых рассчитывается величина этого показателя. При этом пользователю необходимо иметь возможность манипулировать основными параметрами и по величине показателя эффективности объективно оценивать результативность принимаемых решений и управляющих воздействий на моделируемый БП. Т.е. модель должна основываться на математическом аппарате, точно передающем основные законы функционирования и обеспечивающем управление ходом процесса.

Аналитическую модель реального БП в виду его сложности разработать практически невозможно, а экспериментирование (имитация) на реальном БП нецелесообразно экономически. Поэтому в ряде источников [2, 3, 4] рекомендуется применение имитационного моделирования - особого вида математического моделирования, сочетающего в себе экспериментальный подход и специфические условия использования вычислительной техники. Практических исследований в области имитационного моделирования БП проведено мало. Отечественные исследования связаны, в основном, со структурным моделированием, осуществляемым на ранних фазах процесса внедрения информационных систем, где решаются проблемы преимущественно на концептуальном уровне абстрагирования.

Между тем, и разработку имитационной модели невозможно представить без концептуального моделирования. Отсутствие или недостаточная проработка концептуальной модели существенно

осложняет работу на последующих этапах имитационного моделирования. В ходе построения такой модели разработчик неизбежно сталкивается с проблемой точного и адекватного представления в ней БП как сложной системы. В этой ситуации наиболее оправданно иерархическое упорядочение БП, которое лежит в основе структурного подхода.

Таким образом, рациональным решением представляется применение имитационного моделирования для оценки возможностей повышения эффективности функционирования и управления сложными БП. При этом существующая методика создания имитационных моделей может быть улучшена путем интеграции в нее методов структурного моделирования.

Методика проведения исследования

Целесообразность совмещения структурного и имитационного моделирования при решении задачи повышения эффективности функционирования БП показана на примере процессов технологического документооборота. Предметом исследования, проведенного на базе инструментального цеха одного из отечественных авиадвигателестроительных предприятий, послужил оборот основного комплекта документов единого техпроцесса производства технологической оснастки, а также вспомогательных документов, формируемых внутри цеха.

Технологический документооборот - структурно сложный БП. На предприятии оформляются различные виды технологических документов; их жизненный цикл содержит сотни отдельных операций и действий и задействует десятки подразделений и служб. Важная особенность любой сложной системы или процесса - ее иерархичность, поэтому современный подход к моделированию таких систем основан на иерархическом упорядочении: рассматриваемую систему задают совокупностью моделей, каждая из которых описывает ее структуру и поведение на разных уровнях абстрагирования. Представленная в таком виде модель дает исследователю возможность сфокусировать внимание на изучении отдельных элементов и их взаимосвязей на текущем уровне иерархии, не вдаваясь в подробности высших и низших уровней.

Наиболее трудоемким в процессе имитационного моделирования сложного БП является этап непосредственного построения имитационной модели: разработка концептуального описания процесса, формализация и программирование модели. При этом программирование в отсутствие хорошо формализованной концептуальной модели существенно осложняется. Поэтому в первую очередь важно дать статическое и динамическое структурное описание исследуемого процесса, т.е. представить БП как совокупность взаимосвязанных элементов (функций), а затем описать алгоритмы функциони-

рования отдельных элементов и процесс их взаимодействия между собой и с внешней средой.

Для решения этой задачи на начальном этапе исследования целесообразно построение концептуальной процессной потоковой модели [5] по методологии моделирования потоков работ IDEF3. Такая модель основана на алгоритмической декомпозиции [6], в результате которой БП как сложная система детализируется на связанные друг с другом определенным образом подпроцессы, подпроцессы, в свою очередь, - на операции, операции - на элементарные действия. Так осуществляется иерархическое упорядочение БП в виде древовидной структуры.

Цель построения процессной потоковой модели - точно отобразить функциональную структуру, последовательность выполнения сценариев и логику разделения-слияния ветвей подпроцессов в исследуемом БП - "как есть", в соответствии с внутренними стандартами предприятия, учитывая сложившиеся в практике особенности, не отраженные в нормативных документах.

Сегодня общепринятой методике разработки процессных потоковых моделей нет. В настоящем исследовании использована итеративная последовательность шагов. По мнению авторов [4], она носит рекомендательный характер и формирует у аналитика базовый взгляд на процесс создания модели. Рассмотрим эту последовательность.

1. Этап формулирования концепции проекта, в ходе которого определяются цель и задачи моделирования, контекст модели.

2. Этап сбора и анализа данных. На данном этапе определяются источники необходимой для построения модели информации, осуществляется сбор и систематизация данных, производится классификация сценариев, объектов, связей. В итоге составляется вербальное описание исследуемого процесса.

3. Этап построения диаграмм, на котором с помощью элементов языка IDEF3 осуществляется графическое отражение вербального описания процесса.

4. Этап ревизии и валидации. В его основе лежит так называемый "ревизионный цикл "аналитик-эксперт" или "цикл "автор-читатель" [2, 3, 4, 7]. Корректность модели подтверждается в процессе итеративного рецензирования, т.е. многократного обсуждения построенных аналитиком диаграмм с экспертами предметной области и внесения в них при необходимости изменений.

На втором и третьем этапах возникают проблемы, связанные, прежде всего, со сравнительно широкой областью моделирования:

- выбора наиболее рациональной стратегии декомпозиции;
- идентификации и классификации сценариев и важных объектов, принимающих участие в процессе;
- идентификации некоторых неявных связей между сценариями и объектами.

Для их решения построена вспомогательная (функциональная) модель исследуемого процесса. Эта модель реализована в нотации IDEF0, которая служит для описания функциональной структуры БП; она используется как структурная основа проектирования конечной процессной потоковой модели в нотации IDEF3. Отметим, что в данном исследовании применена "неклассическая" схема совмещения IDEF0- и IDEF3-методов, так как обычно разработка IDEF0-модели следует после создания IDEF3-модели, или создается смешанная модель [2, 3, 4].

Построение диаграмм IDEF0- и IDEF3-моделей проводилось в среде поддерживающих семейство IDEF специальных компьютерных CASE-средств (Computer Aided Software Engineering), которые предназначены для автоматизации анализа, проектирования и сопровождения БП и информационных систем.

На завершающем этапе исследования на основе процессной потоковой модели создана имитационная модель. Цель ее разработки - представить функционирование исследуемого БП в динамике с требуемой степенью точности, учитывая важнейшие объекты и ресурсы, вовлеченные в данный процесс, ключевые параметры и их влияние на ход процесса, а также обеспечить пользователю возможность управлять параметрами.

Разработка имитационной модели осуществлялась в соответ-

ствии с современным вариантом методики, изначально сформулированной Р. Шенноном [6, 8]. Эта методика представляет собой итеративный процесс, состоящий из приведенных ниже этапов [6].

1. Этап формулирования проблемы и целей имитационного исследования, в ходе которого формируется содержательное описание моделируемой системы.

2. Этап разработки концептуального описания, результатом которого является концептуальная модель (вербальное описание) и определение способа формализации объекта моделирования.

3. Этап формализации имитационной модели.

4. Этап программирования имитационной модели, на котором осуществляется выбор средств автоматизации моделирования, алгоритмизация, программирование и отладка модели.

5. Испытание и проверка модели, в ходе которых проводится идентификация исходных данных модели, исследование ее свойств, верификация и валидация модели.

6. Этап планирования и проведения имитационного эксперимента.

7. Анализ и использование результатов моделирования.

Разработка имитационной модели осуществлялась в среде AnyLogic. Система AnyLogic реализует принцип блочного объектно-ориентированного проектирования, что делает ее универсальным и эффективным средством исследования сложных систем и процессов.

Базовой структурной единицей моделирования в AnyLogic выступает блок - аналог элемента реального процесса, имеющий свое внутреннее поведение, структуру и параметры, взаимодействующий с внешней средой (другими блоками) через заданный набор интерфейсных переменных. Блоки нижнего уровня соответствуют элементарным действиям, блоки промежуточных уровней - операциям и подпроцессам, блок верхнего уровня (корневой объект модели) представляет собой аналог процесса в целом.

Объектно-ориентированное моделирование предполагает поддержку классов и экземпляров блоков. Класс определяет шаблон построения блока, т.е., в общем виде, его структуру, поведение, набор параметров и переменных определенного типа. Экземпляр - конкретный представитель класса блоков, имеющий свои собственные значения переменных и параметров, которые устанавливаются каждый раз при создании нового экземпляра на структурной диаграмме. Экземпляры блоков одного уровня соединяются между собой функциональными связями, образуя структурные диаграммы. Эти диаграммы, в свою очередь, рассматриваются как сложные блоки, из экземпляров которых строятся структурные диаграммы более высокого уровня. Так образуется иерархическая структура имитационной модели.

Итак, на этапе концептуального описания и формализации имитационной модели сложного БП оправдан структурный подход на базе алгоритмической декомпозиции, а на последующих этапах моделирования - объектно-ориентированный подход на основе объектно-ориентированной декомпозиции. Оба эти подхода предполагают организацию структуры модели в соответствии с принципом иерархического упорядочения, и их соединение, очевидно, является рациональным решением.

Результаты исследования

Вспомогательная IDEF0-модель состоит из 35 диаграмм шести уровней декомпозиции. Она отражает состав функций, их взаимосвязи, ресурсы и исполнителей в рамках исследуемого БП и представляет его статическое описание для последующего формирования модели потоков работ.

При построении диаграмм применена смешанная стратегия декомпозиции как наиболее соответствующая конечной цели моделирования. Она совмещает в себе стратегию, основанную на отслеживании жизненного цикла документов (используется на высших уровнях - первом и втором), и функциональную стратегию (на нижних уровнях) [7].

В ходе исследования нами сформулирован набор специальных правил перевода IDEF0-модели в IDEF3, которые:

- стандартизируют способы и приемы оформления на диаграмм-



Рис. 1. Диаграмма декомпозиции сценария "Оформить документы при выбраковке ТО" IDEF3-модели

мак IDEF3 часто повторяющихся ситуаций, формируют паттерны моделирования для данной предметной области (документооборот);

- задают механизм конвертации элементов нотации IDEF0 (функциональные блоки, стрелки-входы, -выходы, -механизмы и точки их ветвления и слияния) в элементы нотации IDEF3 (блоки UOW, перекрестки ветвления и слияния, связи и ссылки разных типов) в соответствии с их семантикой.

При введении этих правил снижается гибкость процесса построения IDEF3-модели, поскольку в определенной степени ограничивается свобода действий разработчика. В то же время появляется возможность сравнительно быстрого и легкого построения унифицированных моделей документооборота в нотации IDEF3. На рис. 1 показана IDEF3-диаграмма одного из сценариев, полученная в результате перехода от диаграммы IDEF0 с использованием упомянутых правил.

Процессная потоковая модель в нотации IDEF3 включает 33 диаграммы и 4 уровня декомпозиции. Это динамическое описание исследуемого БП, которое содержит иерархическую структуру классов сценариев, описание взаимодействия между сценариями, последовательность их выполнения во времени, логику разделения и слияния ветвей подпроцессов, типы ключевых ресурсов в виде объектов ссылок. По сути, эта модель является концептуальным графическим описанием исследуемого процесса, необходимым для последующего программирования имитационной модели.

Конечная имитационная модель процесса технологического документооборота базируется на парадигме дискретно-событийного моделирования: БП представлен в виде многоканальной системы массового обслуживания с неограниченным ожиданием и параллельно-последовательным обслуживанием единично поступающих заявок. Это позволило конструировать структурные диаграммы нижнего уровня с использованием типовых классов библиотеки производственных объектов (Enterprise Library) AnyLogic.

При переходе от модели потоков работ к структуре имитационной модели мы

званной на рис. 1 диаграмме IDEF3-модели. Сравнение этих двух рисунков позволяет проследить, как в соответствии с правилами осуществляется переход.

Так, каждый блок единицы работ (UOW - Unit of Work), выражающий графически конкретный сценарий, преобразуется в свой аналог - блок активного объекта, определенным образом обслуживающий проходящие через него заявки. "Или"-перекресток ветвления заменяется на пару последовательно соединенных блоков SelectOutput и Split библиотеки Enterprise Library, "и"-перекресток ветвления - на блок Split, "и"-перекресток слияния - на блок Combine с парой очередей на обоих входных портах. Связи старшинства и потока объектов, а также ссылочные связи конвертируются в соединения между соответствующими портами вложенных активных объектов или внешними портами. В структурную диаграмму включен ряд блоков, не имеющих аналогов на IDEF3-диаграмме. Они обеспечивают корректную маршрутизацию заявок при прогоне модели.

Структура полученной имитационной модели включает 35 классов активных объектов четырех уровней вложенности, 11 классов заявок и 10 классов ресурсов.

В модель заложены следующие основные параметры:

- интенсивность поступления в инструментальный цех заказов (заявок) на производство технологической оснастки (характеризует программу выпуска);
- численность ключевых ресурсов - исполнителей наиболее значимых и трудоемких сценариев в моделируемом БП (технолог, контролер, нормировщик);

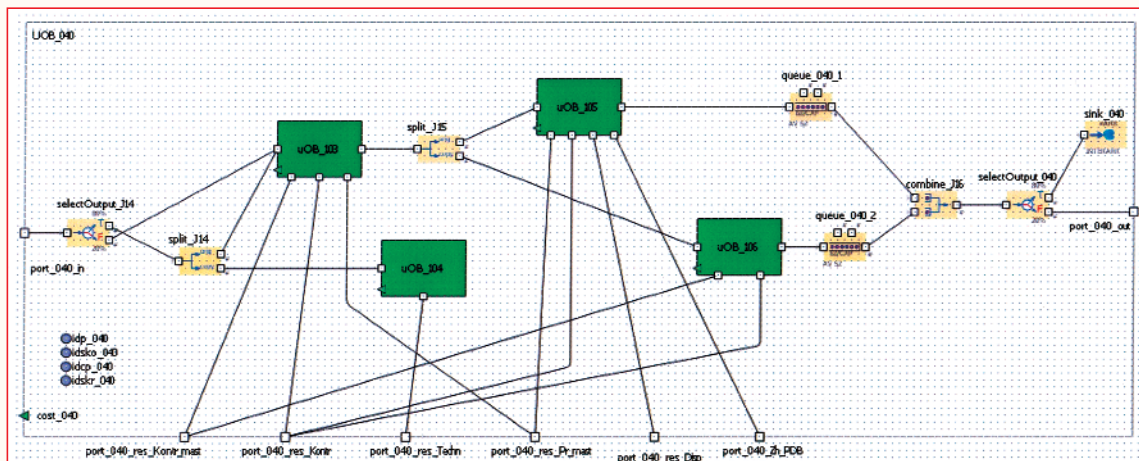


Рис. 2. Структурная диаграмма класса активного объекта, соответствующего сценарию "Оформить документы при выбраковке ТО"

также руководствовались выработанным набором правил. Он обеспечивает четкий стандартный механизм перевода одной модели в другую и позволяет существенно снизить трудоемкость перевода. Правила сформулированы таким образом, что ставят каждому отдельному графическому элементу нотации IDEF3 в соответствие строго определенный блок (группу связанных блоков) библиотеки Enterprise Library. Т.е. в отдельно взятой ситуации тот или иной элемент диаграммы IDEF3 можно перевести в объект имитационной модели только так, а не иначе. На рис. 2 изображена структурная диаграмма активного объекта имитационной модели, соответствующая пока-

- доля партий с обнаруженными дефектами в общем объеме прошедших обслуживание заказов;
 - длительности временной задержки перед активацией сценариев заверения, утверждения и согласования документов (задаются случайными величинами);
 - характеристики длительности и стоимости обслуживания заявок (т.е. выполнения операций над проходящими документами).
- Важнейшими входными переменными и константами модели являются:
- численность прочих ресурсов, не являющихся ключевыми;
 - коэффициенты участия ресурсов-исполнителей в моделируемом БП;
 - коэффициенты распределения для объектов SelectOutput.

Основные выходные переменные модели:

- общие издержки процесса и их отдельные составляющие;
- интегральный показатель эффективности функционирования БП;
- коэффициенты использования ресурсов;
- количественные данные по документам, находящимся на различных стадиях выполнения процесса.

Более подробно рассмотрим систему оценки эффективности функционирования процесса, реализованную на базе имитационной модели, и ее показатели. Эффективность любого БП тесно связана с использованием ресурсов, прежде всего, людских. Поэтому в общем виде ее можно определить как соотношение достигнутого результата в количественном выражении и затрат на использование в ходе процесса ресурсов-исполнителей. Учитывая специфику исследуемого БП, целесообразно оперировать стоимостными величинами и в качестве интегрального показателя эффективности его функционирования K^3 использовать соотношение производительных издержек C^{np} к общим издержкам C^o , имеющим место в ходе осуществления процесса. По нашему мнению, такой показатель достаточен для адекватного количественного отражения эффективности функционирования моделируемого БП.

Общие издержки возникают в результате осуществления рассматриваемого БП за счет участия в нем ресурсов-исполнителей и связаны с получением как главного, так и побочных его выходов. На рис. 3. проиллюстрирована структура общих издержек и соотношение между их отдельными составляющими.

Производительные издержки неизбежно возникают при получении главного выхода процесса, тогда как непроизводительные издержки $C^{нр}$ связаны с простым ресурсом-исполнителей или участием их в получении побочных результатов процесса. Альтернативные издержки C^a возникают при активации альтернативных (побочных) ветвей и подпроцессов в рамках БП. Издержки простоя ресурсов C^r имеют место при их недогрузке. Издержки функционирования C^f связаны непосредственно с течением процесса при занятости ресурсов-исполнителей. Этот показатель введен в модель для упрощения расчетов.

С учетом сказанного выражение для расчета величины K^3 будет иметь вид

$$k^3 = \frac{C^{np}}{C^o} = \frac{C^f - C^a}{C^a + C^r}$$

В основу расчета величин C^f и C^r положен показатель накопленной трудоемкости (в стоимостном выражении) выполнения соответствующим ресурсом-исполнителем отдельного элементарного сценария. Для каждого i -го сценария он определяется произведением удельной стоимости C_{ij} и длительности его выполнения τ_{ij} , а также количества "прошедших" через него на данный момент времени t за-

явок $n_i(t)$. Удельная стоимость C_{ij} представляет из себя приведенную полную заработную плату j -го ресурса, участвующего в выполнении i -го сценария. Конечная величина C^f определяется как сумма накопленных трудоемкостей по всем элементарным сценариям, а C^r - по элементарным сценариям, составляющим альтернативные ветви и подпроцессы

$$C^f(t) = \sum_i C_{ij} \cdot \tau_{ij} \cdot n_i(t); \quad C^a(t) = \sum_{i(анст.)} C_{ij} \cdot \tau_{ij} \cdot n_i(t)$$

Следовательно, для расчета издержек функционирования и альтернативных издержек рационально применить ABC-метод операционно-ориентированного учета затрат, который и реализован в имитационной модели.

Издержки простоя j -го ресурса на текущий момент времени рассчитываются исходя из значения коэффициента использования этого ресурса k_j^y , его численности $Ч_j$ и удельной стоимости C_{ij} . Величина k_j^y учитывает значение коэффициента участия j -го ресурса в исследуемом процессе и высчитывается в имитационной модели автоматически за счет средства сбора статистики блоков библиотеки. Конечная величина C^r определяется суммированием по всем ресурсам-исполнителям

$$C^r(t) = \sum_j C_{ij} \cdot (1 - k_j^y) \cdot Ч_j \cdot t$$

В итоге расчетная формула величины K^3 примет вид

$$k^3 = \frac{\sum_i C_{ij} \cdot \tau_{ij} \cdot n_i(t) - \sum_{i(анст.)} C_{ij} \cdot \tau_{ij} \cdot n_i(t)}{\sum_i C_{ij} \cdot \tau_{ij} \cdot n_i(t) + \sum_j C_{ij} \cdot (1 - k_j^y) \cdot Ч_j \cdot t}$$

Таким образом, предложенный критерий эффективности, объединяя в себе все ключевые параметры и переменные имитационной модели, позволяет использовать ее для помощи в принятии эффективных решений по управлению технологическим документооборотом в условиях изменяющейся загрузки цеха, в частности, для решения задач по оптимизации использования ключевых ресурсов.

Выводы

В проведенном исследовании обоснованы:

- возможность применения имитационного моделирования при анализе, управлении и повышении эффективности процессов технологического документооборота (на примере инструментального производства);
- возможность совмещения алгоритмической и объектно-ориентированной декомпозиции при анализе структурно сложных БП;
- целесообразность интеграции методики построения процессных потоковых моделей в методику имитационного моделирования;
- применимость принципа иерархического упорядочения при представлении сложных систем массового обслуживания;
- предложенный авторами вариант системы оценки эффективности функционирования БП, основанный на применении ABC-метода и анализе степени использования задействованных ресурсов.

Литература

1. D.J. Power, R. Sharda. Model-driven decision support systems: Concepts and research directions. Decision Support Systems 43, 2007, 1044-1061.
2. Маклаков С.В. Создание информационных систем с AllFusion Modeling Suit. - М.: Диалог-МИФИ, 2003. - 427 с.
3. ГОСТ Р 50.1.028-2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла изделия. Методология функционального моделирования. - Введ. 2001-07-02. - М.: Издательство Стандартов, 2001. - 75 с.
4. Mayer R., Menzel C., Painter M., deWitte P., Blinn T., Perakath B. IDEF3 Process Description Capture Method Report. - Knowledge Based Systems Inc., 1995. - 224 с.
5. Грекул В.И., Денищенко Г.Н., Коровкина Н.Л. Проектирование информационных систем. - М.: Интернет-Ун-т информационных технологий, 2005. - 299 с.
6. Лычкина Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов. - М.: Академия Айти, 2005. - 164 с.
7. Марка Д., МакГоуэн К. Методология структурного анализа и проектирования SADT. - М.: Метатехнология, 1993. - 240 с.
8. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем - искусство и наука. - М.: Мир, 1978. - 418 с.



Рис. 3. Структура общих издержек

Связь с авторами: dakbox@rambler.ru