

АНАЛИЗ СИСТЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЛОГИСТИКИ

Антонова А.С.¹, Аксенов К.А.¹, Клебанов Б.И.¹, Киселева М.В.¹, Быков Е.А.¹

¹ФГАОУ ВПО “Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина”, Екатеринбург, Россия (620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19), e-mail: antonovaannas@gmail.com

В данной работе представлено описание имитационных моделей технологической логистики в различных средах моделирования: Plant Simulation, Simio, AnyLogic, макете модулей создания моделей процессов (СМП) и оптимизации процессов (ОПП) автоматизированной системы управления качеством на металлургическом предприятии. Результаты анализа производительности систем моделирования выявили преимущество модуля ОПП с точки зрения загруженности ОЗУ и преимущество Plant Simulation и Simio с точки зрения скорости моделирования. С точки зрения удобства интерфейсов описания модели технологической логистики, модуль СМП предлагает лучший сервис. Основными недостатками систем моделирования являются: для Plant Simulation и Simio – неполное соответствие проблемной области процессов преобразования ресурсов, для AnyLogic – ориентация интерфейса на программирующего пользователя. В модулях СМП и ОПП требуют доработки интерфейсы интеграции с корпоративной информационной системой предприятия.

Ключевые слова: системы имитационного моделирования, процессы технологической логистики, AnyLogic, Plant Simulation, Simio, выпуск металлургической продукции, агентное моделирование.

ANALYSIS OF SIMULATION SYSTEMS ON THE EXAMPLE OF TECHNOLOGY AND LOGISTICS MODEL DEVELOPMENT

Antonova A.S.¹, Aksyonov K.A.¹, Klebanov B.I.¹, Kiseleva M.V.¹, Bykov E.A.¹

¹Ural Federal University n.a. the first president of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russia (620002, Yekaterinburg, street Mira, 19), e-mail: antonovaannas@gmail.com

The article presents a description of the model of technology and logistics in different simulation systems: Plant Simulation, Simio, AnyLogic, modules of models creation and processes optimisation of an automated quality control system at metallurgical plant. Results of the analysis of simulation systems performance revealed advantage of the processes optimisation module in terms of RAM usage minimisation and advantage of Plant Simulation and Simio in terms of simulation speed minimisation. The models creation module offers the best service in terms of convenience interfaces of the technology and logistics model description. The main disadvantages of modeling systems are: for Plant Simulation and Simio - incomplete compliance to the resources conversion problem; for AnyLogic - the interface orientation to the user-programmer. The modules of models creation and processes optimisation require implementation of interfaces of integration with corporate information system.

Keywords: simulation systems, technology and logistics processes, AnyLogic, Plant Simulation, Simio, metallurgical products production, agent modeling and simulation.

Введение

Современное представление о деятельности организации базируется на процессном подходе, согласно которому деятельность представляет собой структурированную сеть процессов, поглощающих ресурсы и создающих продукцию. В металлургическом производстве задачи прогнозирования качества выпускаемой продукции и выявления инцидентов, приводящих к снижению качества, являются актуальными задачами управления производственным процессом. Имитационное моделирование в настоящее время широко применяется в качестве инструмента прогнозирования и оптимизации технологических,

логистических и организационных процессов на предприятиях различных отраслей [2-4]. Рассмотрим тестовую модель процессов выпуска металлургической продукции (ВМП) для задачи моделирования технологической логистики, охватывающей конвертерное производство, производство горячекатаной и холоднокатаной продукции. Поставим задачу сравнения систем имитационного моделирования (СИМ) с точки зрения отражения в модели процессов ВМП и удобства описания модели для непрограммирующего специалиста-технолога.

Постановка задачи

Модель ВМП предназначена для анализа трех процессов: 1) технологического процесса обработки единиц продукции (ЕП); 2) логистического процесса погрузки ЕП в вагоны; 3) организационного процесса загрузки персонала при выполнении погрузки. В модели требуется описать следующие роли: Крановщик и Стропальщик, которые следует связать с операцией «Погрузка ЕП в вагон». К соответствующим операциям необходимо задать используемые средства: агрегаты, кран, железнодорожный состав. В модели необходимо отразить работу «Технолога», целью которого является: 1) направление различных типов заявок по различным маршрутам; 2) направление ЕП с неудовлетворительными показателями на повторную обработку. Требуется смоделировать работу цеха по выпуску заданного количества ЕП (от 10 до 10 000).

Выбор анализируемых инструментов моделирования

В рамках функционирования автоматизированной системы управления качеством на металлургическом предприятии разработаны программный модуль создания моделей процессов предприятия (СМП), предназначенный для описания имитационных моделей исследуемых процессов, и модуль оптимизации процессов (ОПП), предназначенный для проведения экспериментов с моделями и выработки управленческих решений. Модули СМП и ОПП разрабатываются на основе мультиагентного моделирования и концепции Big Data. Рассмотрим описание модели ВМП с помощью модуля СМП и следующих СИМ: Plant Simulation [6], Simio [5] и AnyLogic [3]. Описание модели ВМП в СИМ AnyLogic приведено в [2].

Описание модели ВМП в СИМ Plant Simulation (PS)

Для описания модели применялись следующие объекты. Объекты Source/Drain использовались для генерации/удаления подвижных объектов (заявок, ЕП). PS предоставляет возможность применения различных видов распределения при описании интенсивности генерации заявок: равномерного, экспоненциального и др. Фрагмент структуры модели ВМП в PS представлен на рис. 1.

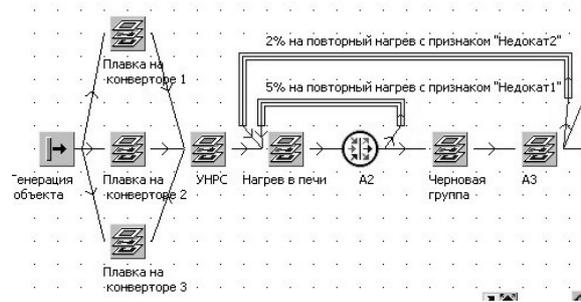


Рисунок 1 – Фрагмент структуры модели процессов ВМП в PS

Объекты SingleProc применялись для описания производства ресурсов и захвата одним объектом одной заявки на заданное время (например, для операции «Погрузка в вагон» описание обработки одной заявки «Пустой вагон» и производства ресурса «Количество погруженных ЕП в вагоны»). Объекты ParallelProc использовались для описания захвата одним объектом нескольких заявок (например, для всех технологических операций). Работа с атрибутами заявок осуществлялась с помощью программного кода на объектно-ориентированном языке SimTalk в методах обработки объектов SingleProc и ParallelProc. Объект WorkerPool (Комната сотрудников) использовался для задания рабочих ресурсов с помощью таблицы. Объект Broker (Брокер) применялся для распределения работников по операциям с помощью программного кода. Объект FlowControl использовался для вероятностного распределения заявок между объектами SingleProc и ParallelProc. Так же этот объект может быть использован для синхронизации процессов, например, чтобы отправлять заявки только в случае освобождения всех каналов, принимающих заявки. В СИМ PS при разработке модели применялся объектно-ориентированный подход, реализованный, в том числе, с помощью языка программирования SimTalk.

Описание модели ВМП в СИМ Simio

Модель в Simio описывается в виде объектов (моделей объектов). В модели ВМП для описания процессов применялись объекты Server, которые связывались между собой одно- и двунаправленными связями, в том числе, путями (Path), временными путями (Timed path) и соединителями (Connector), определяющими хронологию процесса и направление потоков сущностей. Сущности (заявки, ЕП) формировались с помощью объектов Source и уничтожались в объектах Sink. Simio – СИМ, ориентированная на объекты, а не на процессы. Объектами в Simio могут выступать ЕП, агрегаты, рабочие, транспортные средства и др. Построение объектов осуществлялось на основе объектно-ориентированного подхода в графическом режиме. При построении модели ВМП применялся принцип эквивалентности, согласно которому модели и объекты не разделяются и могут быть использованы на разных уровнях сложности описания процессов.

В модели Simio каждый блок процесса имеет входы и выходы. Вероятностный характер движения объектов задавался с помощью весов путей (рис. 2). Для загрузки состава применялся блок-соединитель (Combiner), генерирующий каждые 24 часа состав из 14 вагонов. Наличие цикла между генератором вагонов, складом и уничтожителем загруженных вагонов привело к необходимости использования агента, распределяющего заявки по данным операциям. Для описания логики агента-перевозчика, отвечающего за ожидание загрузки первого вагона, был создан пользовательский класс объекта-агента, для которого был модифицирован отдельный функционал. К сожалению, ограничения академической версии Simio не позволили в полной мере реализовать функционал дочернего элемента класса агент-транспортёр, поскольку агент обладал сложной логикой с большим числом шагов. Создание подкласса привело к резкому увеличению числа описанных в модели шагов, равному 193 после декомпозиции, что превышает допустимое число 151. При этом стоит отметить, что число шагов 151 довольно высоко, и позволяет строить сложные модели, не требующие переопределения системной структуры агентов.

Part Generation		Vehicle Timing		
	Generated Part	Part Weight	Initial Destination	Destination After Etching
▶ 1	TypeA	15	Input@Melting1	Input@FiveKletStan
2	TypeB	10	Input@Melting2	Input@FourKletStan
3	TypeC	75	Input@Melting3	Input@FiveKletStan

Рисунок 2 – Задание весов путей в Simio

Описание моделей ВМП в модуле СМП

Модуль СМП поддерживает описание модели мультиагентных процессов преобразования ресурсов (МППР) с помощью графической нотации МППР и производционных правил «Если...То» [1]. Графическая нотация МППР применяется для задания узлов (операций или агентов) и связей между ними, производционные правила – для формирования базы знаний агентов. База знаний агента содержит описание ситуаций, которые агент может диагностировать, и реакцию агента на ситуации.

Модуль СМП поддерживает разработку моделей системы на ресурсах и на заявках. Для задачи анализа процессов ВМП были описаны две модели: «модель ВМП на ресурсах» и «модель ВМП на заявках». Модель на ресурсах подразумевает определение логики работы каждого узла с помощью задания потребления ресурсов на входе узла и производства ресурсов на выходе узла, при этом вход и выход узла разнесены во времени на заданную величину. Ресурсы в «модели ВМП на ресурсах» представляют собой очереди к каждому узлу, которые увеличиваются на выходе предыдущего узла и уменьшаются на входе текущего узла. Модель на заявках подразумевает определение логики работы узла с

помощью захвата заявки на входе узла на определенное время и передачи узлом заявки следующему узлу на выходе. Заявки в «модели ВМП на заявках» представляют собой ЕП. Каждая заявка имеет predetermined набор системных атрибутов и набор пользовательских атрибутов, различных для каждой предметной области. Для поставленной задачи в «модели ВМП на заявках» был описан набор из трех атрибутов: z_n – степень недоката, z_q – показатель брака, z_{tip} – тип ЕП (А, В или С). При построении модели ВМП агенты применялись для описания логики работы «Технолога».

Сравнительный анализ СИМ и макета модуля ОПП

Проведем сравнительный анализ результатов проведения экспериментов с моделью процессов ВМП в выделенных СИМ и макете модуля ОПП. В качестве критерия сравнения выберем длительность эксперимента для фиксированного числа обработанных ЕП при проведении безанимационного эксперимента (рис.3).

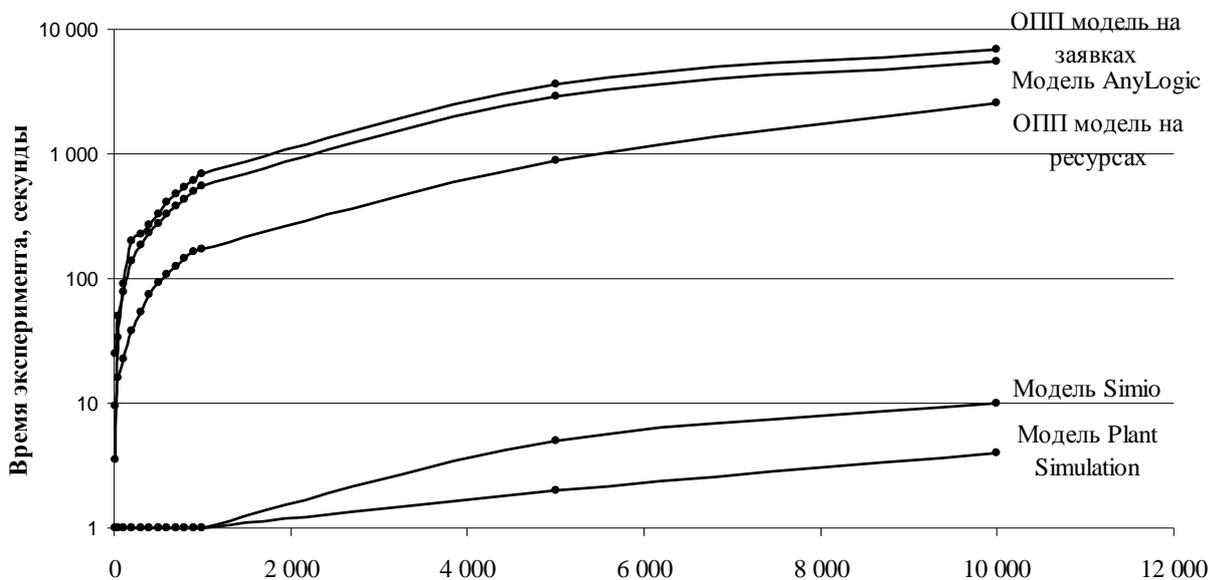


Рисунок 3 – Зависимость длительности эксперимента от количества обработанных ЕП

Рассматриваемые СИМ по скорости моделирования можно условно разделить на «быстрые» – Simio и PS, и «медленные» – модуль ОПП и AnyLogic. Скорость работы модуля ОПП связана с детальным протоколированием лог-таблиц статистики обработки переменных моделей и отдельных экземпляров заявок; данную детальную статистику больше не предоставляет ни одна из рассмотренных СИМ. Модель ВМП в модуле ОПП, построенная на ресурсах, работает быстрее, чем модель на заявках в том же модуле. Данный факт связан с затратами машинного времени на обработку очередей заявок в модуле ОПП. Самый медленный эксперимент длился 2 часа 13 минут, что в случае принятия решения не в условиях реального времени является приемлемым.

Анализ результатов проведенных экспериментов с моделью технологической логистики в разных СИМ и макете модуля ОПП показал: 1) адекватность моделей СИМ логистическим процессам металлургического предприятия; 2) приемлемость скорости безанимационного моделирования всех СИМ для оценки различных объемов производства; 3) преимущество СИМ Simio и PS по скорости безанимационного моделирования логистических процессов предприятия; 4) приемлемость загрузки ОЗУ и процессора рабочей станции при проведении «короткого» безанимационного эксперимента (длительностью до 10 минут) во всех СИМ; 5) приемлемость загрузки ОЗУ и процессора рабочей станции при запуске «длинного» безанимационного эксперимента (длительностью до 1 часа) во всех СИМ за исключением PS (в связи с зависанием) и Simio (в связи с высокой загрузкой ОЗУ); 6) преимущество модуля ОПП с точки зрения загрузки ОЗУ для «короткого» и «длинного» безанимационных экспериментов.

Выводы

В работе проведен анализ функциональных возможностей модулей СМП и ОПП, СИМ PS, AnyLogic и Simio на примере построения модели ВМП. Результаты проведения экспериментов с моделями представлены в таблице 1. Как следует из анализа, рассмотренные системы не обладают полной функциональностью пакета моделирования технологической логистики. К недостаткам большинства СИМ относятся: 1) отсутствие поддержки следующего функционала: а) возможность описания целей функционирования системы, б) поддержка методов экспертного моделирования (за исключением модулей СМП и ОПП), в) поддержка формирования отчетов с рекомендациями по устранению «узких мест» модели, г) поддержка русского языка (за исключением Simio и модулей СМП и ОПП); 2) низкая степень интегрируемости СИМ с КИС предприятия (за исключением AnyLogic и PS); 3) ориентация интерфейса системы на программиста (за исключением Simio и модулей СМП и ОПП).

Таблица 1 – Сравнительный анализ функциональных возможностей СИМ и модулей СМП / ОПП

№	Параметр	P S	Simio	AnyLogic	СМП / ОПП
1	Язык описания процессов преобразования ресурсов				
1.1	- Описание ресурсов, средств, преобразователей	+ / + / +	+ / + / +	+ / + / +	+ / + / +
1.1.1	- вектор входов / выходов / средств	+ / + / нет	+ / + / +	+ / + / +	+ / + / +
1.1.2	- количество средств: const/функция/случайная величина	+ / нет / нет	+ / + / +	+ / + / +	+ / + / +
2	Поддержка аппарата систем массового обслуживания				
2.1	- Генерация и удаление заявок / Работа с атрибутами заявок	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +
2.2	- Учет параллельно работающих каналов	+	+	+	нет
3	Построение мультиагентной модели				
3.1	- Элемент АГЕНТ		+	+	+
3.2	- Модели поведения агентов (диаграммы состояний / активности / продукции)	нет	нет / нет / +	+ / + / нет	+ / нет / +
3.3	- Язык обмена сообщениями		+	+	+
4	Имитационное моделирование				
4.1	- Дискретно-событийное	+	+	+	+
4.2	- Модели системной динамики	нет	нет	+	нет
5	Экспертное моделирование				
5.1	- Модель представления знаний				производственная
5.2	- Машина логического вывода	нет	нет	нет	+
6	Проведение экспериментов				
6.1	- Формирование плана экспериментов	+	+	+	+
6.2	- Автоматический запуск экспериментов плана	+	+	+	нет
7	Анализ результатов экспериментов				
7.1	- Отчет о статистике обработки заявок и средств	+ / +	+ / +	+ / +	+ / +
7.2	- Отчет с рекомендациями по устранению узких мест	нет	нет	нет	нет
7.3	- Протоколирование статистики по экземплярам заявок	нет	нет	нет	+
8	Работа с базой данных модели				
8.1	- Импорт исходных данных из внешних источников (текстовый файл / электронная таблица / БД)	+ / + / +	+ / нет / нет	+ / + / +	нет / нет / +
8.2	- Экспорт результатов экспериментов (текстовый файл / электронная таблица / БД)	+ / + / +	+ / нет / нет	+ / + / +	нет / + / +
8.3	- Открытый доступ к базе модели	нет	нет	+	+
9	Интегрируемость СИМ с КИС предприятия				
9.1	- Поддержка программирования (свой язык / Java)	+ / нет	+ / нет	нет / +	нет / нет
9.2	- Встроенные программные помощники	нет	нет	+	+
10	Удобство интерфейса				
10.1	Интерфейс разработки модели (интерфейс программиста / интерфейс специалиста-предметника)	+ / нет	нет / +	+ / нет	нет / +
11	Поддержка русского языка	±	нет	+	+

Таким образом, можно сделать вывод о приемлемых значениях скорости моделирования всех СИМ. Удобство для пользователя по скорости моделирования представляют системы PS и Simio.

Понятийный аппарат СИМ PS не полностью соответствует проблемной области МППР, поскольку в данной системе не поддерживается описание агентов и задание вектора средств для процесса преобразования ресурсов. Также к недостаткам системы относится ориентация интерфейса на программирующего пользователя. К достоинствам системы следует отнести поддержку интеграции системы с КИС предприятия. Понятийный аппарат СИМ Simio соответствует проблемной области МППР. К недостаткам системы следует отнести высокую стоимость и ограниченность функционала бесплатной академической версии, следствием чего является малая распространенность системы в России. Понятийный аппарат СИМ AnyLogic соответствует проблемной области МППР. К недостаткам системы относятся отсутствие поддержки методов экспертного моделирования и ориентация интерфейса на программирующего пользователя. С точки зрения удобства интерфейсов описания модели процессов технологической логистики, описания элементов МППР, ресурсов и средств модуль СМП предлагает лучший сервис. В модуле СМП требуют доработки интерфейсы интеграции пакета с КИС предприятия.

Работа выполнена в рамках договора № 02.G25.31.0055 (проект 2012-218-03-167).

Список литературы

1. Аксенов К.А. Теория и практика средств поддержки принятия решений: монография - Germany, Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. - 341 с.
2. Аксенов К.А., Антонова А.С., Киселева М.В. Моделирование процесса выпуска металлургической продукции в системах AnyLogic и VPSim.MAS // Материалы шестой Всероссийской научн.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД 2013). Казань: Академия наук РТ, 2013. Т.2. - С.13-18.
3. Карпов Ю. Г. Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – Спб.: БХВ-Петербург, 2005.
4. Osaba E, Carballado R and Diaz F. Simulation tool based on a memetic algorithm to solve a real instance of a dynamic TSP // Proceedings of the IASTED International Conference Applied Simulation and Modelling. Napoli, Italy. - P. 27-33.
5. Simio Overview. URL: <http://www.simio.com/index.html> (дата обращения 05.12.13).
6. Tecnomatix Plant Design and Optimization: Plant Simulation. URL:

http://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/plant_design/index.shtml

(дата обращения 05.12.13).

Рецензенты:

Поршнеv С.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Радиоэлектроники информационных систем, ФГАОУ ВПО “Уральский Федеральный Университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина”, г.Екатеринбург.

Доросинский Л.Г., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Информационных технологий, ФГАОУ ВПО “Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина”, г.Екатеринбург.