

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПУСКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ В СИСТЕМАХ ANYLOGIC И BPSIM.MAS

К.А. Аксенов, А.С. Антонова, М.В. Киселева (Екатеринбург)

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 [1-4]. Рассмотрим тестовую модель процессов выпуска металлургической продукции (ВМП). Поставим задачу сравнения описания модели с помощью различных инструментов моделирования, с точки зрения отражения в модели разных аспектов работы металлургического предприятия и удобства описания модели для непрограммирующего специалиста-технолога.

Постановка задачи

Структура модели ВМП представлена на рис. 1. Модель описывает три процесса: 1) технологический процесс обработки единиц продукции (ЕП); 2) логистический процесс погрузки ЕП в вагоны; 3) организационный процесс загрузки персонала при выполнении погрузки. Для каждой операции указано среднее время выполнения (вверху прямоугольника, в часах:минутах) и количество одновременно обслуживаемых объектов (внизу прямоугольника). Генерация указана в виде количества объектов, которые формируются через описанные промежутки времени. Объекты генерируются трех типов: *A* (с вероятностью 15%), *B* (с вероятностью 10%) и *C* (с вероятностью 75%). В модели требуется описать следующие роли: Крановщик и Стропальщик. Связать данные роли с операцией «Погрузка ЕП в вагон». К соответствующим операциям задать используемые средства: агрегаты, кран, железнодорожный состав. В модели необходимо отразить работу «Технолога» (этапы А1-А7). Целью технолога является выполнение следующих задач: 1) направление различных типов заявок по различным маршрутам для определенных операций; 2) контроль параметров ЕП после выполнения определенных операций и направление ЕП с неудовлетворительными показателями на повторную обработку.

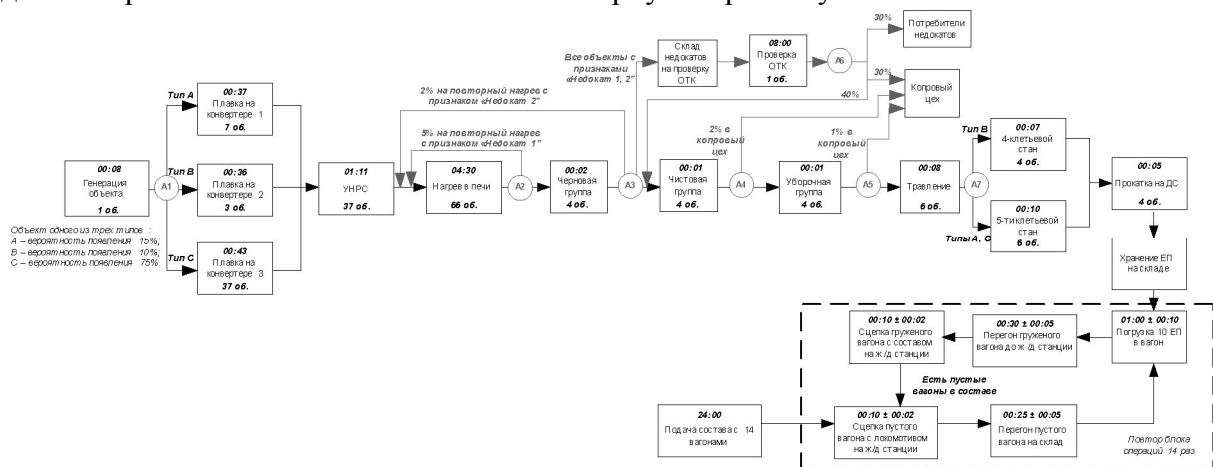


Рис. 1. Структура модели ВМП

Требуется промоделировать работу цеха по выпуску 1000 ЕП; оценить динамику загрузки ролей Крановщик и Стропальщик в течение времени моделирования. Рассмотрим описание модели ВМП с использованием двух сред моделирования: AnyLogic [5] и BPsim.MAS [6].

Описание модели ВМП в Anylogic

Для построения модели ВМП использовалась библиотека Enterprise Library, поддерживающая дискретно-событийное моделирование. С помощью объектов данной библиотеки моделируются реальные процессы, динамика которых представляется как последовательность операций (прибытие, задержка, захват ресурса, разделение, ...) над заявками (единицы продукции, клиенты, транспортные средства и т.п.). Заявки могут обладать определенными атрибутами, влияющими на процесс их обработки (например, тип продукции, сложность работы) или накапливающими статистику (общее время ожидания, стоимость). Процессы задаются в форме потоковых диаграмм – графическом представлении, ориентированном на моделирование систем массового обслуживания и принятом во многих областях: производстве, логистике, бизнес-процессах и т.п.

Заявки (ЕП) генерируются в помощью объекта *Source* (источник) через указанные промежутки времени и продвигаются от объекта к объекту потоковой диаграммы, описывающий процесс. В AnyLogic сгенерированные заявки принадлежат базовому классу *Entity*, но пользователь может создавать собственные классы заявок (*Java*-классы) с любыми дополнительными полями и методами. Пользовательские классы заявок можно указывать в параметрах классов объектов потоковой диаграммы, тем самым обеспечивая доступ к полям и имитации дополнительной функциональности объектов. Кроме этого, у каждого объекта потоковой диаграммы есть точки расширения – динамические параметры (действия при входе, выходе и др.), вычисляемые во время выполнения модели при прохождении заявок через процессную диаграмму. В нашем случае используется собственный класс заявок ЕП с дополнительным полем, характеризующем тип заявки (*A, B* или *C*).

На рис. 2 представлена модель ВМП в графическом редакторе AnyLogic.

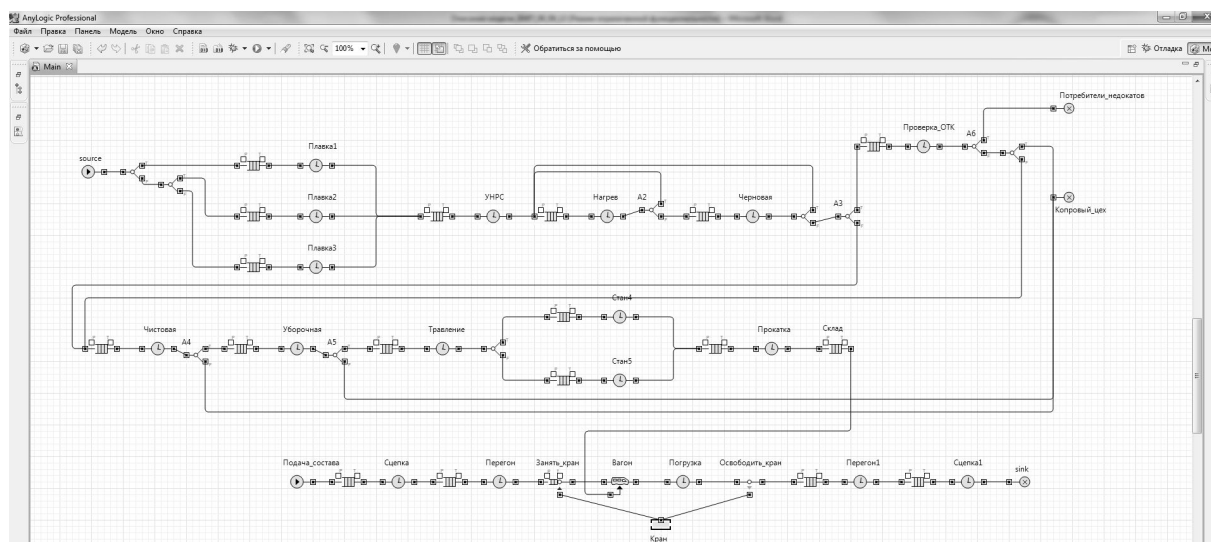


Рис. 2. Структура модели ВМП в среде AnyLogic

Каждая операция на потоковой диаграмме (рис. 2) представлена «элементарным прибором обслуживания»: объектами *Queue* (очередь) и *Delay* (задержка).

Объект *Queue* имитирует очередь заявок перед выполнением операции, а объект *Delay* – саму операцию (задержку на выполнение операции). Объект *Delay* (как и все объекты диаграммы) имеет статические и динамические параметры, а также параметры клас-

са заявки: базовый *Entity* или пользовательский. Статические параметры – это время задержки (длительность операции) и вместимость (количество заявок, которые одновременно могут задерживаться (обрабатываться) в данном объекте). Объект *Delay* может быть расширен до функционала, например, преобразователя, если воспользоваться его динамическими параметрами: Действие при входе и Действие при выходе (код на *Java*, выполняемый при поступлении (уходе) заявки из объекта).

Для выполнения тех или иных операций могут потребоваться ресурсы/средства (рабочие, станки, транспорт, ЭВМ и т.п.). В AnyLogic для моделирования ресурсов используются объекты: набор ресурсов *ResourcePool*, захват *Seize*, освобождение *Release*, *Service* (захват, задержка и освобождение). При прохождении через данные объекты заявка захватывает определенное количество ресурсов заданного типа, а по окончании операции освобождает их. Ресурсы в AnyLogic принадлежат базовому классу *ResourceUnit*. Как и в случае с классами заявок, пользователь может создавать свои классы ресурсов с любыми дополнительными полями и методами и указывать свои классы ресурсов в параметрах объектов потоковой диаграммы.

Объекты потоковой диаграммы имеют входные и выходные порты. С помощью портов и соединителей объекты соединяются друг с другом. На входные порты объекта могут поступать заявки из разных источников. Количество входных и выходных портов зависит от назначения объекта. Например, у объекта *Queue* имеется один входной порт и три выходных: обычный выходной порт для заявок, порт для вытесненных заявок при переполнении очереди и порт для заявок, покидающих объект по истечении таймаута.

Существует два способа моделирования ресурсов в AnyLogic: ресурсы могут быть заданы в модели как индивидуальные объекты, либо как количество объекта. Если ресурсы заданы в модели как индивидуальные объекты, то каждый такой ресурс может иметь отличные от других ресурсов свойства, отображаться на презентации, хранить статистику своего использования и т.д. По умолчанию используется базовый класс ресурсов *ResourceUnit*, но пользователь также может использовать и свой собственный класс ресурсов. Пользовательский класс ресурса задается, если ресурсы моделируются как индивидуальные объекты (например, Крановщик и Стропальщик).

В параметрах объекта *ResourcePool* указывается: класс ресурса (базовый *ResourceUnit* или пользовательский); способ моделирования ресурсов (просто как количество или как индивидуальные объекты); способ задания количества ресурсов (напрямую – численным значением, по расписанию – табличной функцией, задающей, как количество ресурсов будет изменяться во времени); количество ресурсов.

Логика работы Технолога отражена в модели направлениями потока ЕП на диаграмме процесса. Этапы контроля продукции и соответствующее перенаправление заявок осуществляется с помощью объектов *SelectOutput*. Объект имеет два выходных порта (*true* и *false*) и работает в двух режимах (условный и статистический). Как и все объекты библиотеки имеет динамические свойства – действие при входе и выходе (для портов *true* и *false*).

Описание модели ВМП в BPsim.MAS

Для построения модели ВМП использовалась система динамического моделирования ситуаций (СДМС) BPsim.MAS. BPsim.MAS поддерживает описание модели мультиагентных процессов преобразования ресурсов (МППР) с помощью графической нотации МППР и производственных правил «Если...»То». Графическая нотация МППР применяется для задания узлов (операций или агентов) и связей между ними, производственные правила – для формирования базы знаний агентов. База знаний агента содержит описание ситуаций, которые агент может диагностировать, и реакцию агента на ситуации, которая заключается либо в смене собственного поведения, либо в воздействии на протекание операций.

На рис. 3 представлен верхний уровень структуры модели в СДМС BPsim.MAS.

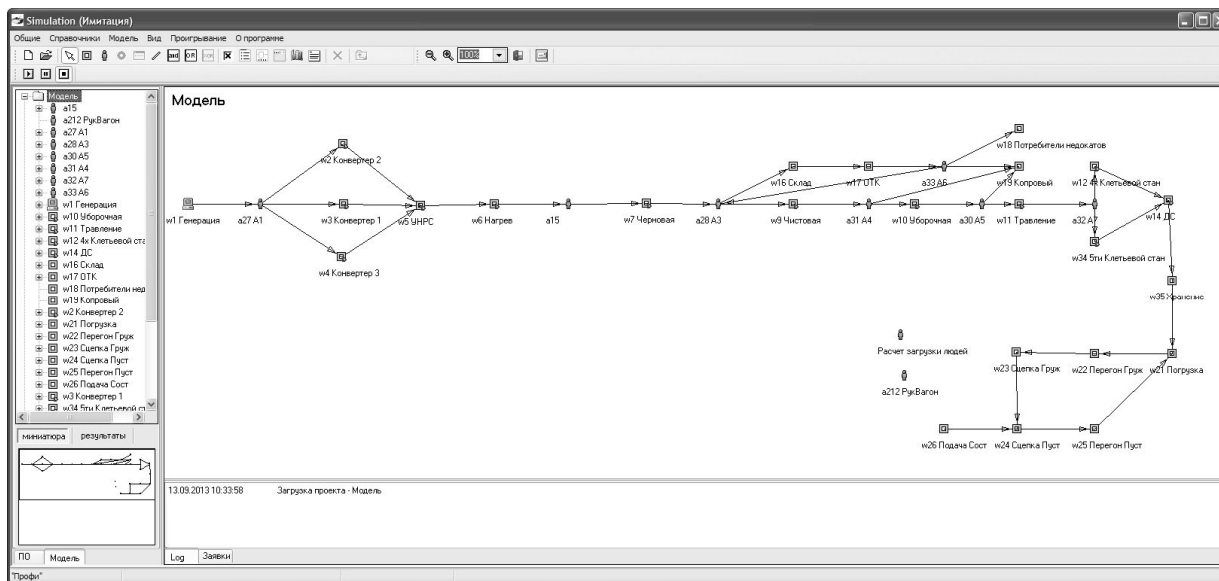


Рис. 3. Структура модели ВМП в среде BPsim.MAS

Заявки в модели представляют собой ЕП, которые генерируются в начальном узле и передаются по узлам – операциям и агентам. Узел-операция захватывает заявку на время, указанное в поле *Длительность* при описании узла. Также возможно описание *приоритета* выполнения операции. Работа с заявками в BPsim.MAS осуществляется с помощью следующих операторов: *createorder(z)* – сгенерировать заявку *z*, *deleteorder(z)* – удалить заявку *z*, *select(z,w)* – захватить заявку *z* узлом *w*. Каждая заявка имеет predetermined набор системных атрибутов и набор пользовательских атрибутов, различных для каждой предметной области. Для поставленной задачи был описан набор из 3 атрибутов: *z_n* – степень недоката, *z_q* – показатель брака, *z_tip* – тип ЕП (А, В или С).

В качестве узлов модели МППР могут выступать как операции, так и агенты. Операции представляют собой элементы дискретно-событийного моделирования. Для каждой операции пользователь задает: условия запуска, уменьшаемые (потребляемые) ресурсы на входе операции, увеличиваемые (производимые) ресурсы на выходе операции, действия на выходе, захватываемые на время выполнения операции средства. Графически потоки входных и выходных ресурсов операции задаются вектором входов и вектором выходов (рис. 3).

В модели МППР один узел-операция одновременно может обслуживать только одну заявку. Согласно заданию отдельные узлы модели должны поддерживать возможность одновременного обслуживания до 67 ЕП. Данное требование реализовано в модели с использованием декомпозиции верхнего уровня на подуровни, содержащие необходимое количество узлов-операций для обработки заявок-ЕП.

Агенты в модели МППР предназначены для описания моделей лиц, принимающих решения (ЛПР). При построении модели ВМП агенты применялись для описания логики работы Технолога (элементы А1-А7 рис.1). База знаний технолога для элемента А1 представлена на рис. 4: агент в случае захвата заявки *z1* «ЕП» анализирует значение ее атрибута *z1_tip* «Тип заявки» и принимает решение о передаче заявки одному из трех узлов – *w3* «Конвертер 1», *w2* «Конвертер 2» или *w4* «Конвертер 3». При генерации заявки *z1* значение атрибута *z1_tip* устанавливается случайным образом в диапазоне от 0 до 100.

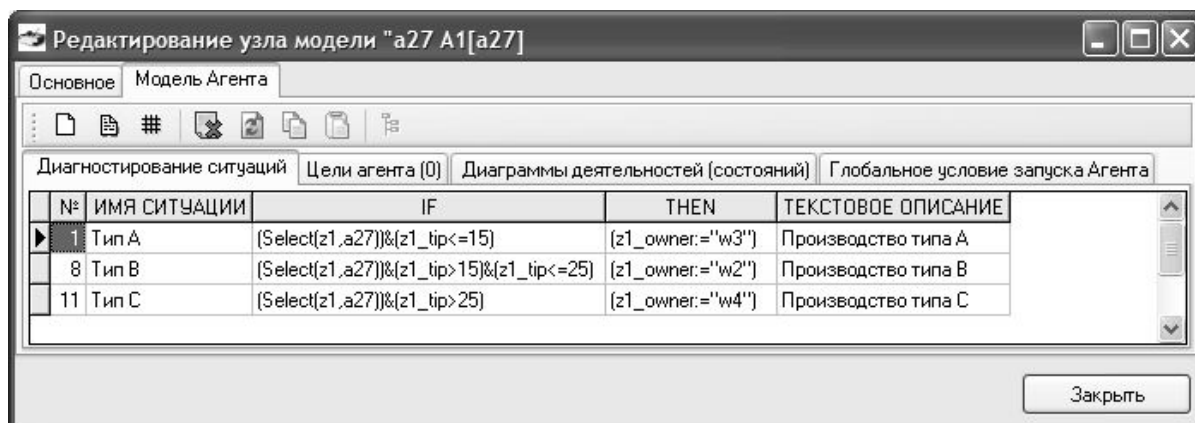


Рис. 4. База знаний агента А1

В модели ВМП агенты применялись также для расчета загрузки средств и ролей. Для этого требуемые к учету средства (кран, железнодорожный состав и т.д.) и роли (Крановщик и Стропальщик) были описаны в модели как средства и захватывались при выполнении соответствующих операций. Во время эксперимента агент «Расчет загрузки людей» анализирует текущее количество вышеуказанных средств и в случае его снижения фиксирует загрузку средства нарастающим итогом и рассчитывает среднюю загрузку средства.

Результаты проведения экспериментов с моделями ВМП сведены в табл. 1.

Таблица 1

Выходные характеристики моделей ВМП

Выходной параметр	AnyLogic	BPsim.MAS
Обработано ЕП	1000	1000
Время моделирования, мин	9564	8627
Количество поданных составов	6	6
Всего погружено вагонов	84	76
Остаток ЕП на складе	161	380
Средняя загрузка Крановщика и Стропальщика	55	45
Время эксперимента, сек	594	4860

Выводы

В результате построения модели ВМП в различных средах моделирования – AnyLogic и BPsim.MAS – был сделан вывод о наличии в анализируемых средах функционала, необходимого для описания технологических, логистических и организационных процессов. При этом в среде AnyLogic применяется технология объектно-ориентированного программирования на языке *Java* для задания требуемого функционала модели, а в среде BPsim.MAS построение модели осуществляется с помощью графической нотации МППР и продукционных правил «Если...То». В реальном производстве задача по прогнозированию качества продукции и снижению брака встает перед непрограммирующим специалистом-технологом, что затрудняет применение модели, построенной с помощью AnyLogic, в процессе принятия решения.

Анализ результатов проведения экспериментов с тестовой моделью ВМП показал разброс выходных параметров моделей при одинаковых начальных условиях. Данное обстоятельство связано с вероятностным заданием длительностей операций с помощью равномерного распределения. Скорость моделирования при применении среды AnyLogic составила в среднем 16,1 часов_модельного_времени в секунду_реального_времени

(чмв/сек), в то время как для среды BPsim.MAS скорость при тех же технических характеристиках составила 1,8 чмв/сек. Таким образом, моделирование поведения системы в течение заданного промежутка времени в AnyLogic требует в 9 раз меньше временных затрат по сравнению с применением BPsim.MAS. Следует отметить, что требование высокой скорости моделирования соотносится с принятием решений в масштабе реального времени, однако данный масштаб далеко не всегда применим к задачам прогнозирования брака.

Таким образом, можно сделать вывод об ограниченной применимости анализируемых сред моделирования для описания и анализа процессов ВМП. Ограничения связаны с наличием непрограммирующего пользователя – технолога для среды AnyLogic и с вероятностью возникновения задач в реальном масштабе времени для среды BPsim.MAS.

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

Литература

1. **Osaba E, Carballedo 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, June 25–27, 2012. Napoli, Italy. Pp. 27–33.
2. **К. А. Аксенов and А. С. Антонова**, Application of Simulation and Intelligent Agents to Solve Project Management Problem // International Journal of Computer Science Engineering and Information Technology Research, 2013, Vol. 3–1, pp. 321–330. Retrieved from: http://www.tjprc.org/view_archives.php?year=2013&id=14&jtype=2&page=7.
3. **Карпов Ю. Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
4. **Аксенов К.А., Неволлина А.Л., Аксенова О.П., Камельский В.Д.** Разработка модели логистики на основе интеграции концептуального, объектно-ориентированного, мультиагентного и имитационного моделирования, интеллектуальных систем // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 1; URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2013/1486> (дата обращения: 18.09.2013).
5. «Экс ДжейТекнолоджис» www.xjtek.ru (дата обращения: 18.09.2013).
6. **Аксенов К. А.** Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов. – Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. – 311 с.