

## **РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНОГО ЦЕХА В СИСТЕМАХ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ RAO-STUDIO И АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ВЫПУСКА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ**

**К.А. Аксенов, А.С. Антонова, А.Г. Ростунцева, С.Д. Ростунцев, А.М. Айзатуллов**  
**(Екатеринбург)**

### **Введение**

RAO-studio служит для разработки и отладки имитационных моделей на языке РДО [1-2]. Каждая модель создается отдельно и представляет собой набор типов ресурсов с описанием экземпляров ресурсов, моделирующих объекты реального мира и их исходные данные, и образцов активностей, задающих настройки работы имитационной модели. Автоматизированная система выпуска металлургической продукции (АС ВМП) представляет собой web-ориентированную систему, предназначенную для слежения, контроля, моделирования, анализа и совершенствования процессов выпуска металлургической продукции [3-7].

### **Постановка задачи**

Дан электросталеплавильный цех (ЭСПЦ) металлургического предприятия, состоящий из следующих агрегатов: электродуговая печь (ЭДП), агрегат доводки стали (АДС), установка печь-ковш (УПК) и машина непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Обработка на ЭДП идет последовательно и непрерывно согласно порядковым номерам плавок. Всего при обработке на ЭДП плавка проходит 24 операции, при этом возможны 6 видов незапланированных операций (операций-простоев). Плавка в ЭСПЦ проходит 4 разных маршрута в зависимости от назначения конечной единицы продукции [8]. На каждом из агрегатов задано время обработки на операциях, сами операции, незапланированные простои, вероятности их возникновения, а также очередность обработок на агрегатах и время простоев между агрегатами.

Задание на оптимизацию процессов формулируется следующим образом: необходимо провести моделирование работы ЭСПЦ в течение 10 дней в режиме 24 часа в сутки. Найти наилучшие значения выходных характеристик работы цеха в зависимости от вариантов группировки плавок и маршрутов.

### **Описание модели в РДО**

Разработанная имитационная модель включает 5 типов ресурсов, 36 экземпляров ресурсов, 41 символьную константу, 12 последовательностей и 7 функций, 84 образца, 30 показателей.

Значения параметров этих типов ресурсов задаются в соответствии с необходимыми характеристиками плавки, агрегатов электросталеплавильного цеха и начальных выходных характеристик и записываются в созданных для них ресурсах. Для реализации необходимых вычислений в модели бы введен ряд символьных констант, функций и последовательностей.

Для вычисления различных показателей функционирования модели ЭСПЦ используются возможности РДО-имитатора по сбору статистической информации, ряд показателей вычисляется также непосредственно в образцах имитационной модели.

Для описания протекающего маршрута плавки ЭСПЦ разработаны образцы активностей и операции.

В образцах активностей прописаны действия производимые с типами ресурсов, прописаны этапы работы ЭСПЦ, агрегатов, этапов агрегатов, задание основных характеристик для типов ресурсов. Операции необходимы для того чтобы запустить в соответствии с определенными тактами и характеристиками сами образцы активностей.

В процессе разработки модели возникли следующие трудности при реализации в РДО-имитаторе: 1) распределение плавок по маршрутам обработки; 2) для временных ресурсов (транзактов) нет возможности вывести графики и собрать статистику итоговую; 3) нет возможности подсчета среднего времени обработки плавки на агрегате с определенным маршрутом.

К недостаткам относятся следующие: 1) визуализация результатов возможна лишь в рамках анимации; 2) задание набора правил на обработку данных прописано непосредственно в самой программе и пользователь может лишь выбрать один из вариантов набора правил воспользовавшись зарезервированными словосочетаниями; 3) средства пользовательского интерфейса при работе с СИМ - только командная строка, RAO-studio не имеет точки останова.

Из достоинств системы РДО следует заметить, что, начиная с версии 2.3.1, предусмотрена возможность описания процессов принятия решений с помощью точек принятия решений. В предыдущих версиях операторы принятия решений осуществлялись только с помощью функций, а так же заданием параметров ресурса в образце. В справочной информации присутствуют ссылки на демонстрационные модели. Настройка системы очень проста. Все обнаруженные на этапе компиляции и построения модели ошибки отображаются в окне "Компилятор". Для каждой ошибки показывается ее описание и местоположение - имя элемента модели, при задании которого эта ошибка была допущена.

### **Описание модели в автоматизированной системе выпуска металлургической продукции**

На рис. 1 (вверху) представлена структура модели работы ЭСПЦ в модуле СМП. Агенты в модели ЭСПЦ используются для осуществления логики работы с заявками (плавками), определения маршрута, настройки эксперимента и создании вероятности наступления какого-либо события; операции в модели применяются для моделирования длительности работы элементов ЭСПЦ, реализации очередей и подсчета параметров эксперимента. В модели электросталеплавильного цеха используется 1 тип заявки. Заявка z1 "Плавка" используется для описания логики работы электросталеплавильного цеха и для сбора данных по каждому устройству цеха. После прохождения установленного рабочего цикла заявка удаляется. Работу модели ЭСПЦ условно можно разделить на работу четырёх блоков: 1) блок описания работы ЭДП, включающий описание ЭДП и процесса выбора маршрута для плавки; 2) блок описания работы установки печь-ковш; 3) блок описания работы АДС; 4) блок описания работы МНЛЗ, включающий в себя процесс удаления заявок.

В данной модели при обработке на ЭДП плавка проходит 24 операции, при этом возможны 6 видов простоев. Выполнение данных операций в модели реализовано в декомпозиции узла ЭДП. На рисунке 2 (внизу) изображена структура декомпозиции данного узла. Агенты, в приведенной выше структуре, используются для определения возникновения простоев в зависимости от вероятности, а также для присвоения новой вероятности для последующего простоев. Распределение плавок по различным маршрутам осуществляется с помощью агента «Определение маршрута» (см. рис. 1, верхняя структура). Алгоритм распределения описывается с помощью производственных правил вида «Если, ... То».

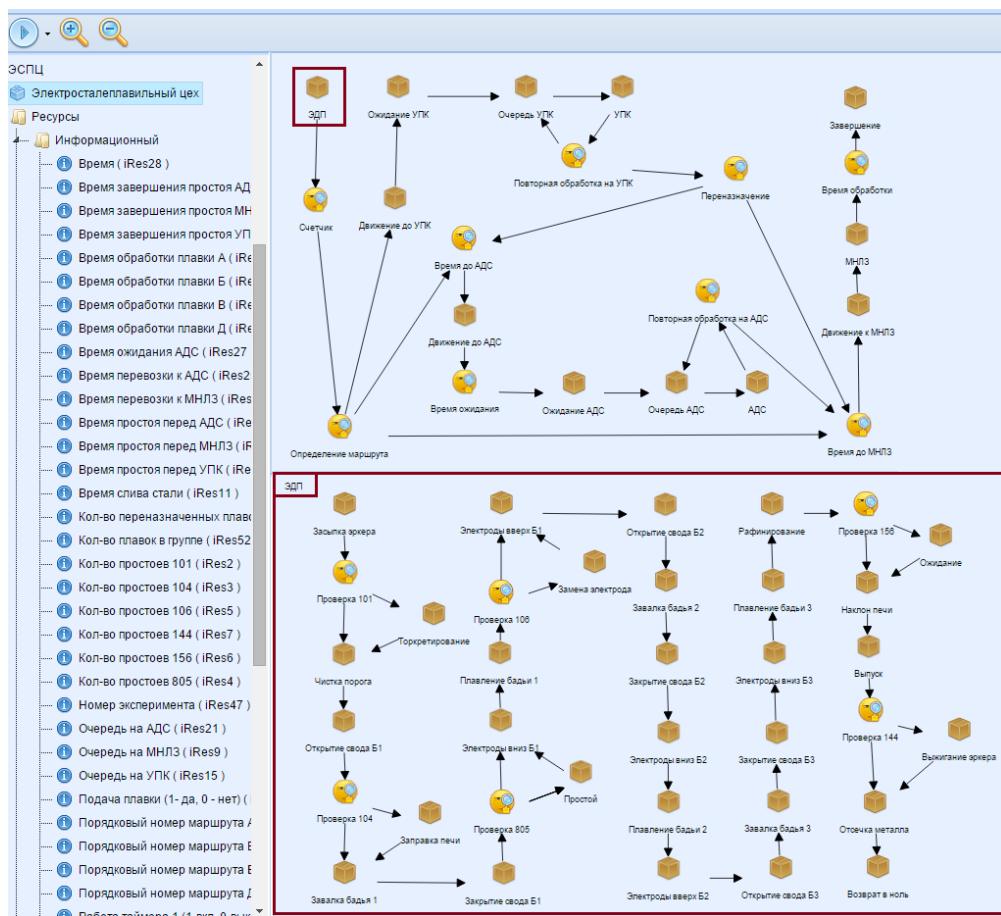


Рис. 1. Структура модели работы ЭСПЦ (вверху) и декомпозиция узла ЭДП (внизу)

### Результаты экспериментов

Для проведения экспериментов был использован агент «Эксперименты», который, в зависимости от номера эксперимента, изменял необходимые настройки (количество плавок в группе и порядковый номер маршрута).

Результаты выполнения базового эксперимента, представленные на рис. 2.

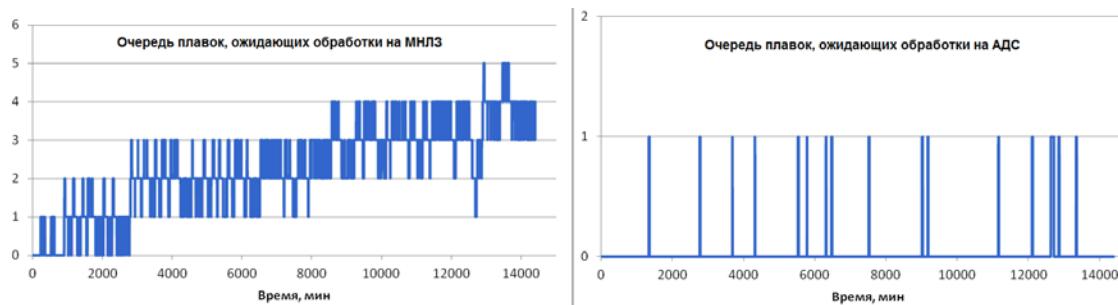


Рис. 2. Результаты моделирования для базового эксперимента

Как следует из анализа рис. 2, наиболее существенные очереди плавок возникают перед обработкой на МНЛЗ; очереди перед обработкой на АДС и УПК не превышают единицы.

Для определения наиболее эффективного способа работы ЭСПЦ необходимо определить такой порядок подачи плавок, при котором количество разлитых плавок будет наибольшим и значения выходных характеристик работы цеха будут наилучшими. Для этого в модуле оптимизации процессов предприятия (ОПП) АС ВМП был построен и выполнен план экспериментов (рис. 3). В качестве выходных характеристик работы цеха были выбраны следующие: количество разлитых плавок, средние времена ожидания плавкой обработки на МНЛЗ и на АДС, среднее значение очереди плавок перед МНЛЗ, среднее время обработки одной плавки в цехе в зависимости от типа маршрута плавки.

Наименование:		План экспериментов ЭСПЦ	Привязка:					
Параметры								
Наименование параметра	Тип параметра	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7
Номер эксперимента	Переменная	1	2	3	4	5	6	7
Кол-во разлитых плавок	Выход	163	163	162	164	164	162	163
Очередь на МНЛЗ	Выход	2,26	1,62	4,15	3,84	1,37	2,17	1,61
Время обработки плавки А	Выход	401,56	295,21	659,48	528	288,12	529,33	300,33
Время обработки плавки Б	Выход	439,83	369,1	615,13	581,58	298,86	421,9	389,95
Время обработки плавки В	Выход	431,75	381,03	570,03	466,42	263,23	379,55	356,73

 Запись Отменить

Рис. 3. Вид выполненного плана экспериментов в модуле ОПП АС ВМП

Экспериментом с лучшим результатом является эксперимент № 5. В данном эксперименте количество разлитых плавок является одним из наибольших, кроме того, для данного эксперимента наблюдается снижение среднего времени обработки плавки в ЭСПЦ на 18-26 процентов в зависимости от типа маршрута плавки. Снижение среднего времени обработки плавки обусловлено снижением для эксперимента №5 среднего времени ожидания плавкой обработки на МНЛЗ за счет снижения очереди

плавок перед МНЛЗ, при этом среднее время ожидания плавкой обработки на МНЛЗ для эксперимента №5 не превышает 15 минут.

Наилучшая эффективность работы ЭСПЦ достигается при группировке плавок перед подачей на ЭДП по 40 плавок с одинаковым маршрутом и при использовании следующей последовательности маршрутов плавок: ЭДП-МНЛЗ, ЭДП-УПК-МНЛЗ, ЭДП-АДС-МНЛЗ, ЭДП-УПК-АДС-МНЛЗ.

### **Выводы**

В ходе работы была построена имитационная модель электросталеплавильного цеха (ЭСПЦ) в АС ВМП и RAO-studio. Работа с системой RAO-studio показали сложность использования для создания такого типа моделей. Разработанная модель работы ЭСПЦ в АС ВМП была применена для решения задачи оптимизации подачи плавок на обработку в цех в зависимости от типа маршрута передвижения плавок по цеху и числа сгруппированных плавок одного маршрута. По результатам анализа экспериментов с имитационной моделью ЭСПЦ были предложены следующие рекомендации: группировать плавки перед подачей на ЭДП по 40 плавок с одинаковым маршрутом при использовании следующей последовательности маршрутов плавок: ЭДП-МНЛЗ, ЭДП-УПК-МНЛЗ, ЭДП-АДС-МНЛЗ, ЭДП-УПК-АДС-МНЛЗ.

Работа выполнена в рамках договора № 02.G25.31.0055 (проект 2012-218-03-167) при финансовой поддержке работ Министерством образования и науки Российской Федерации.

### **Литература**

1. **Емельянов В.В., Ясиновский С.И.** Введение в интеллектуальное имитационное моделирование сложных дискретных систем и процессов. Язык РДО. – М.: Анвик, 1998. -427с.
2. Справка по РДО. [Электронный ресурс] URL: <http://rdo.rk9.bmstu.ru/help/> (Дата обращения: 13.09.2015).
3. **Аксенов К.А., Антонова А.С., Спицина И.А., Сысолетин Е.Г., Аксенова О.П.** Разработка автоматизированной системы анализа, моделирования и принятия решений для металлургического предприятия на основе мультиагентного подхода // Автоматизация в промышленности № 7 2014. г. Москва. С. 49-53.
4. **Aksyonov K. A., Spitsina I. A., Sysolatin E. G., Aksyonova O. P., Smoliy E. F.** Multi-agent approach for the metallurgical enterprise information system development // 24th Int. Crimean Conference "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2014), 7—13 September 2014, Sevastopol, vol. 1, pp.437-438.
5. **Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A.** Analysis of Simulation Modeling Systems Illustrated with the Problem of Model Design for the Subject of Technological Logistics (WIP) // Society for Modeling & Simulation International (SCS). 2015 Summer Simulation Multi-Conference (SummerSim'15). Chicago. USA. 26-29 июля, 2015. P. 345-348.
6. **Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O.** Real time simulation models integrated into the corporate information systems // 33rd Chinese Control Conference, CCC 2014; Nanjing; China; 28 July 2014 through 30 July 2014, Pages 6810-6813.

7. **Aksyonov K., Bykov E., Aksyonova O., Goncharova N., Nevolina A.** Real-time simulation modeling of logistics in metallurgical production, Proceedings of the 5th IASTED International Conference on Modelling, Simulation and Identification (MSI 2014), July 16 - 18, 2014, Banff, Canada, pp. 30-37.
8. **Аксенов К.А., Антонова А.С., Айзатуллов А.М.** Анализ работы электросталеплавильного цеха с помощью имитационного моделирования // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2; URL: [www.science-education.ru/122-21153](http://www.science-education.ru/122-21153) (дата обращения: 08.09.2015).