

А.И. Якимов, К.В. Захарченков, Р.В. Петров¹⁰

Белорусско-Российский университет, Могилев, Беларусь
ykm@tut.by

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ НЕПРЕРЫВНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА В ПТКИ BELSIM 2

Структура ПТКИ BelSim 2

Программно-технологический комплекс имитации сложных систем (ПТКИ) BelSim 2 предназначен для реализации метода моделирования деятельности промышленных предприятий. В состав комплекса входит следующее программное обеспечение (ПО) [1], которое можно использовать для:

- построения функциональной модели системы на основе IDEF0;
- реализации в составе интегрированной среды разработки приложений на языке C++;
- имитационного моделирования на основе процессного способа имитации;
- планирования, организации и обработки результатов имитационных экспериментов (ИЭ);
- решения оптимизационных задач;
- анализа и представления данных для принятия проектных решений.

Структурно ПТКИ BelSim 2 (рис. 1) состоит из следующих компонентов: BelSim IDE (Интегрированная среда разработки – Integrated Development Environment); BelSim Optimizer (Оптимизатор); BelSim Simulator Core (Ядро системы моделирования); BelSim Experimenter (Экспериментатор); StatSoft STATISTICA; BelSim Data Integrator для интеграции с комплексной информационной системой. В свою очередь интегрированная среда разработки программного обеспечения BelSim IDE представляет собой сочетание подсистем: Microsoft Visual Studio .NET и Microsoft Visio Drawing Control (или CA AllFusion Process Modeler). Система моделирования BelSim Simulator Core представляет собой расширение стандартных средств языка C++. ПО для планирова-

ния, проведения и обработки результатов ИЭ представляет собой отдельную подсистему, полученную путем расширения Experiment Designer Microsoft .NET Framework 2.0. Дополнительно для получения плана дробного факторного эксперимента используется модуль Experimental Design (DOE) пакета статистического анализа STATISTICA фирмы StatSoft Inc и макрос Design Of Experiment для данного приложения, который сохраняет результаты работы данного модуля. ПО для проведения ИЭ является консольным приложением Experimenter. ПО для обработки статистики имитации представляет собой макрос Experiment Data для приложения STATISTICA. ПО для анализа данных применяется при наглядном представлении результатов моделирования [2].

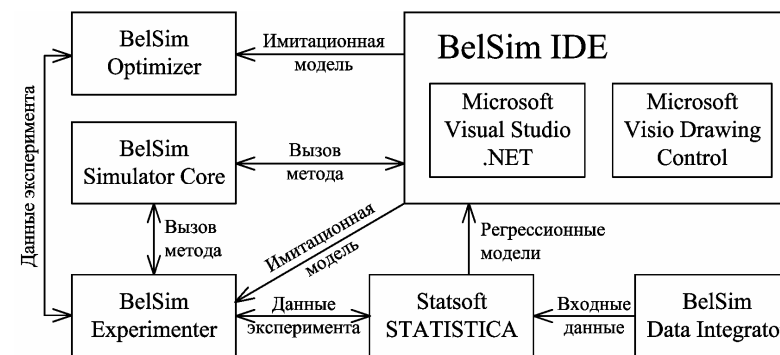


Рис. 1. Структура ПТКИ BelSim 2

Задача определения оптимальной загрузки цехов предприятия

На крупных химических предприятиях, в структуру которых включены несколько заводов, расход средств по основным статьям, определяющим себестоимость продукта (расход сырья, расход энергетических ресурсов, амортизационные отчисления), с увеличением мощности производства при сохранении технологической схемы и режима проведения основных процессов имеет тенденцию к сокращению. В то время как расход сырья на стадии химического превращения практически не зависит от размера производственной аппаратуры, относительные потери сырья и готового продукта, обратно пропорциональные величине перерабатываемых потоков на других стадиях технологической схемы, уменьшаются с увеличением мощности производства почти прямолинейно, приводя к снижению удельного

¹⁰ Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 08-07-90006-Бел_а

расхода сырья на единицу готового продукта. Если производство многопоточное (рис. 2), то для заданной производственной программы ставится задача определения оптимальной загрузки цехов предприятия [3].

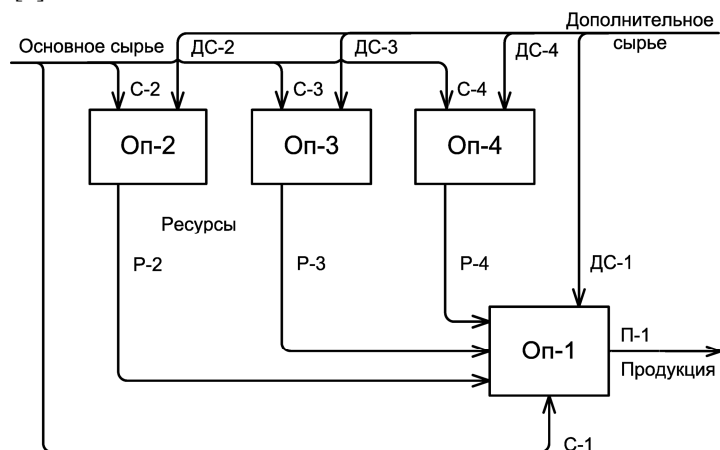


Рис. 2. Схема производственного процесса

Рассматриваемая проблема требует учета существенных признаков непрерывного производственного процесса и показателей, адекватно характеризующих его динамику. В этой связи можно отметить, что один из возможных подходов к ее решению является имитационное моделирование непрерывного производственного процесса. Эффективным средством построения имитационных моделей (ИМ) на основе процессного способа является ПТКИ BelSim 2.

На рис. 2 выделены основные операции производственного процесса. В результате проведенного анализа определено, что производственный процесс состоит из четырех производственных операций: Оп-1, Оп-2, Оп-3, Оп-4. Операции Оп-2, Оп-3, Оп-4 преобразуют сырье С-2, С-3, С-4 и дополнительное сырье ДС-2, ДС-3 и ДС-4 в ресурсы Р-2, Р-3, Р-4, соответственно, а операция Оп-1 производит из ресурсов Р-2, Р-3, Р-4, сырья С-1 и дополнительного сырья ДС-1 готовую продукцию П-1. Каждая из производственных операций Оп-1, Оп-2, Оп-3, Оп-4 характеризуется своей нормой потребления сырья и ресурсов, а также и своей нормой выпуска продукции.

Исходя из приведенной на рис. 2 схемы, можно сделать вывод, что себестоимость продукции П-1 определяется загруженностью операций Оп-2, Оп-3, Оп-4 и себестоимостью производимых ими ресурсов (Р-2, Р-3, Р-4). Таким образом, меняя загруженность этих операций и

определяя себестоимость продукции, при заданной норме выпуска можно определить оптимальные параметры производственного процесса.

Имитационная модель непрерывного производственного процесса

Имитационная модель производственного процесса реализуется на основе процессного способа моделирования. Выделены следующие необходимые процессы: моделирующий работу производственной операции; определяющий состояние производства и собирающий статистические данные.

Алгоритм процесса, моделирующего производственную операцию, состоит из стадий «ЗАПУСК», «ПРОИЗВОДСТВО», «ОКОНЧАНИЕ». Для моделирования непрерывного производства процесс разбивается на n отрезков. При выполнении такой процесс будет запускаться в n раз чаще, однако потреблять ресурсов и производить продукции он будет в n раз меньше. Порции произведенной продукции при запуске процесса будут сдвигаться на один отрезок вперед, а только что произведенная продукция будет помещаться в первый отрезок. Продукция $П_{\text{Гот}}$ из последнего отрезка $Отр_n$ будет отгружаться на склад (рис. 3).



Рис. 3. Движение ресурсов по отрезкам при выполнении производственной операции

На стадии «ПРОИЗВОДСТВО» (рис. 4) организуется движение продукции из одного отрезка в другой. Также на этой стадии моделируются сбои и отказы. Для этого в начале работы модели определяется

время наступления отказа и сбоя для каждой операции, и при наступлении этого момента происходит задержка производства с возможной потерей продукции.

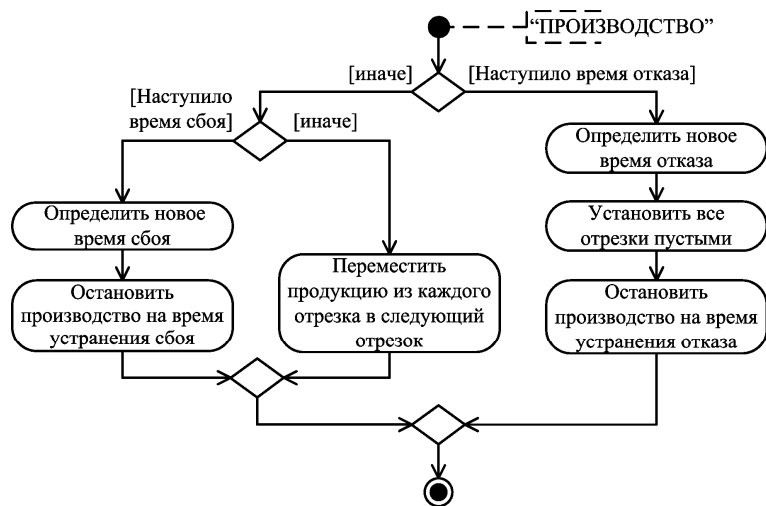


Рис. 4. Алгоритм стадии «ПРОИЗВОДСТВО»

На стадии ОКОНЧАНИЕ полученная продукция отгружается на склад. Таким образом, выполняя рассмотренные стадии в порядке «ОКОНЧАНИЕ», «ПРОИЗВОДСТВО», «ЗАПУСК», получим алгоритм, полностью моделирующий непрерывную производственную операцию с учетом сбоев и отказов. Следует заметить, что при числе отрезков, равном единице, данный алгоритм будет моделировать дискретную производственную операцию [4].

Алгоритм процесса, определяющего состояние производства и собирающего статистические данные, состоит из двух стадий: анализ текущих данных модели и вывод статистики.

Исследование ИМ и оптимизация непрерывного производственного процесса

При исследовании ИМ рассмотрен производственный процесс (ПрП), представленный на рис. 2. Результаты оценки погрешности моделирования для себестоимости готовой продукции: реальное значение – 3 160 тыс. руб./т; среднее – 3 147 тыс. руб./т; дисперсия – 128 (тыс. руб./т)².

Основным фактором, влияющим на длину переходного процесса, является полный запуск производства, т.е. когда все производственные операции (ПрО) входят в стационарный режим работы. Отклик «Себестоимость готовой продукции» стабилизируется примерно через 135 единиц модельного времени, т.е. после полного начала работы всех ПрО. Статистика, которая собирается во время переходного процесса, исключается. Для этого процесс сбора статистики ИМ запускается через 135 единиц модельного времени.

Рациональный выбор параметров ПрП может быть проиллюстрирован следующим образом. Пусть для заданного непрерывного ПрП необходимо определить минимальную себестоимость выпускаемой продукции при заданной норме выпуска 600 единиц (рис. 2). По эмпирическим данным реального процесса построены уравнения регрессии для определения объема j -го вида ресурса, потребляемого i -ой операцией [5].

Операции Оп-2, Оп-3, Оп-4 производят соответственно ресурсы Р-2, Р-3, Р-4 (рис. 2). Параметры оптимальной загрузки операций (выработка ресурсов) для получения минимальной себестоимости продукции определяются методом секущих плоскостей следующей последовательностью шагов.

Шаг 1. Для операции Оп-2 изменяется значение уровня загрузки от минимального до максимального возможного, а для операций Оп-3 и Оп-4 выбирается средний уровень загрузки. Строится зависимость себестоимости продукции от выработки ресурса-2. Исходя из полученных данных выбирается рациональное значение загрузки операции Оп-2, соответствующее минимальной себестоимости выпускаемой продукции, и фиксируется.

Шаг 2. Для операции Оп-3 также меняется загрузка, но уже при найденном значении ресурса-2 и среднем уровне загрузки Оп-4, и получают график с соответствующей зависимостью.

Шаг 3. Аналогичным образом строится зависимость себестоимости продукции от выработки ресурса Р-4, но при фиксированных значениях ресурса Р-2 и Р-3 на уровне рациональных значений.

Так как себестоимость продукции минимальная и при максимальной выработке ресурса-3, и при максимальной выработке ресурса-4, то для выбора оптимальных значений строится график зависимости себестоимости продукции одновременно от двух ресурсов Р-3 и Р-4.

Аналогично построен график зависимости количества произведенной продукции от выработки ресурсов Р-3 и Р-4. На этом графике проводится плоскость, соответствующая заданному выпуску продукции, равному 600 единиц. При пересечении трехмерного графика с се-

кущей плоскостью появляется кривая, определяющая соотношение выработок ресурса Р-3 и Р-4 для получения требуемого объема выпуска продукции. Полученная кривая переносится на график себестоимости продукции одновременно от двух ресурсов Р-3 и Р-4, и через нее строится плоскость, параллельная оси “Себестоимость продукции”. Точки, лежащие на пересечении построенной поверхности и графика, соответствуют себестоимости выпускаемой продукции при заданной выработке.

Например, минимальная себестоимость продукции получается при максимальной выработке ресурса Р-3, а выработка ресурса Р-4 определяется заданным количеством производимой продукции. Подбирают загрузку ресурса Р-4, обеспечивающую заданный выпуск продукции. Для определенного значения выработки ресурса-4 находят себестоимость продукции. Найденные при исследовании оптимальные параметры выработки ресурсов следующие: Операция-2 – 100; Операция-3 – 220; Операция-4 – 280; Себестоимость продукции – 3 151 тыс. руб./т.

Свойства исследуемой модели в соответствии с формулой оценки ее эффективности Q , предложенной в работе [6], представлены следующим образом:

$$Q = \langle A(S, D, E) \rangle = \langle A(4, 4, 5) \rangle,$$

где A определяет функции, выполняемые предприятием; S – возможности модели, которые классифицируются следующим образом: 5 – объединение предприятий, 4 – множество участков предприятия, 3 – участок предприятия, 2 – модель используются для отдельных важных решений, 1 – модель не используются активно в деятельности предприятия и применяется для решения отдельных небольших задач; D – динамичность модели (оценивается аналогично S); E – использование модели: 5 – оптимизация; 4 – управление; 3 – описание; 2 – одномоментное использование; 1 – модель не используется в активной деятельности предприятия. Так как моделируется производственная деятельность A для нескольких участков предприятия, то $S = 4$. При этом модель динамически изменяется с изменением параметров и структуры технологического оборудования ($D = 4$), находится оптимальное распределение производства продукции между цехами ($E = 5$).

Заключение

Результаты выбора оптимальных параметров ПрП верифицированы использованием упрощенной модели в табличном процессоре MS Excel. Построенная модель непрерывного производственного про-

цесса на примере завода органического синтеза ОАО «Могилевхимволокно» позволила оптимизировать параметры ПрП, что обеспечило получение экономического эффекта за счет снижения себестоимости продукции.

Библиографический список

1. Якимов А.И., Альховик С.А. Имитационное моделирование в ERP-системах управления. – Минск: Бел. наука, 2005.
2. Yakimov A.I., Alkhovik S.A. Computer Data Analysis in Modeling and Optimization of Manufacturing Process Control System // Computer Data Analysis and Modeling : Complex Stochastic Data and Systems : Proc. of the Eighth Intern. Conf., Minsk, Sept. 11-15, 2007. In 2 vol. Vol 2. – Minsk : Publ. center BSU, 2007. P. 204-207.
3. Якимов А.И., Захарченко К.В. Моделирование в системе управления химическим предприятием. Задача распределения производственной нагрузки на уровне завода // Компьютеризация в химической и смежных отраслях промышленности: Сборник материалов междунар. науч.-техн. семинара. – Новополоцк: ПГУ, 2006. С. 47-51.
4. Якимов А.И., Захарченко К.В., Петров Р.В. Имитационное моделирование сложного дискретного производственного процесса на основе ПТКИ BELSIM // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. 2005. №5(32). С. 135-137.
5. Якимов А.И. Выбор оптимальной стратегии управления производством на основе статистической обработки данных и моделирования // Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2006: Сб. трудов VI-й междунар. конф. /Рос. ассоц. искусств. интеллекта и др.; Под ред. Т. А. Таран. – Киев: Просвіта, 2006. С. 334-343.
6. Whitman L.A., Ramachandran K., Ketkar V. Taxonomy of a Living Model of the Enterprise // Proceedings of 2001 Winter Simulation Conference. – New Jersey: IEEE Press, 2001. P. 848-855.