

Математическое моделирование технологических процессов на примере производства стеклотары

Е. В. Морозова^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)

²Камышинский технологический институт (филиал)
Волгоградского технического университета
konvvert@yandex.ru

М. П. Белов

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И. Ульянова (Ленина)
milesa58@mail.ru

Аннотация. Математическое моделирование сложных объектов, систем и процессов в настоящее время является одним из основных инструментов их проектирования и изучения. Математическое моделирование сложных систем и устройств не только экономит средства, но и сокращает время на проведение исследований. Часто оно позволяет проводить виртуальные эксперименты, в то время как реальные эксперименты провести не представляется возможным или является экономически не обоснованным. В статье рассматривается один из подходов к математическому моделированию сложных стохастических систем на примере технологических процессов производства стеклотары. Приведена разработанная авторами математическая модель стеклотарного производства. Практическая значимость работы заключается в создании имитационной модели, в основе которой лежат разработанные математические модели функционирования технологического оборудования. Полученные модели позволяют оптимизировать основные параметры протекания технологических процессов промышленного производства, обеспечивают эффективность принятия управленческих решений.

Ключевые слова: моделирование; математическая модель; технологический процесс; стеклотарное производство

I. ВВЕДЕНИЕ

Внедрение инновационных технологий, переход к выпуску новой продукции, изменение потребностей рынка и иных регламентов заставляют администрацию предприятий постоянно совершенствовать методы управления материальными, финансовыми и человеческими ресурсами для поддержания конкурентоспособности своей продукции и сокращения издержек по ее созданию.

Создание развитого программно-методического обеспечения, дающего возможность, при необходимости, оперативно осуществлять функционально-структурное моделирование производственных линий, технологических комплексов и агрегатов, как сложных производственных систем, будет способствовать оптимизации производства. Математическое моделирование производственных систем

является одним из эффективных инструментов при создании промышленных приложений. [1–6]

II. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В общем случае математическая модель сложной производственной системы представляет собой совокупность соотношений (например, уравнений, логических условий, операторов), определяющих характеристики процесса функционирования этой системы в зависимости от ее структуры и параметров, а также алгоритмов поведения системы, воздействия на нее внешней среды, начальных условий и времени. Математическая модель является результатом формализации технологического процесса функционирования исследуемой производственной системы. Она является формальным (математическим) описанием технологического процесса с необходимой в рамках проводимого исследования степенью приближения к действительности [5].

Существующее многообразие объектов сложных производственных систем, стохастический и динамический характер их функционирования не всегда позволяют получать для них адекватные математические модели, сформулированные в виде привычных аналитических соотношений.

Одним из решений является создание математических моделей с использованием ЭВМ на основе вероятностных имитационных моделей и декомпозиции технологического процесса на функциональные подсистемы, на основе подхода предложенного Бусленко Н.П. [2] На базе построенных математических моделей в последующем осуществляется синтез алгоритмического и программного обеспечения.

Технологические процессы промышленных производств можно представить в виде связанных графов. Узлы построенных графов соответствуют функциональным состояниям технологического оборудования, используемого на производстве. Ориентация дуг отражает направленность выполнения операций и их взаимосвязь. На основании построенных

графов функциональных состояний технологического оборудования разрабатываются математические модели и алгоритмы моделирования.

В математических моделях, которые будут построены по описываемому методу, время является основной независимой переменной. Другие переменные, фигурирующие в разрабатываемых моделях, будут представлять собой некоторые функции времени (зависимые переменные).

Экспериментальной основой создания моделей послужило исследование статистических закономерностей распределения случайных величин протекания основных и вспомогательных процессов производства продукции, наработки на отказ, времени ликвидации технологических и технических отказов для различных видов и типов оборудования.

Статистические исследования сложных систем технологического оборудования требуют проведения большого объёма исследований по получению, накоплению, обработке и анализу информации, важнейшим этапом которых являются хронометражные наблюдения за работой отдельных машин с применением технических средств и инструментальных методов измерения. При этом необходимое количество повторных фотохронометражных наблюдений определяется по формуле [3]:

$$n = (z \cdot \sigma / \varepsilon)^2,$$

где σ – среднее квадратическое отклонение случайной величины (определяется из серии предварительных опытов); ε – точность наблюдений (в единицах времени); z – табличная величина, равная 1,96 (исходя из надёжности наблюдений, задаваемой вероятностью $p = 0,95$).

III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для иллюстрации возможностей описанного метода формализации рассмотрим процесс функционирования технологического оборудования стеклотарного производства.

На основе проведенного анализа технологического процесса производства стеклотары и, используя указанные выше рекомендации Бусленко Н.П., выделим следующие основные технико-технологические подсистемы производства стеклотары: T_1 – «Загрузка шихты и стеклобоя в стекловаренные печи», T_2 – «Стекловарение», T_3 – «Выработка стеклоизделий», T_4 – «Отжиг», T_5 – «Сортировка», T_6 – «Упаковка стеклоизделий». Каждая подсистема в рамках исходных систем соответствует технологическому процессу, выполняемому конкретным оборудованием, при этом сохраняются связи, которые обеспечивают их взаимодействие.

Дальнейшая декомпозиция технико-технологических подсистем позволяет выделить подсистемы низшего уровня, а также наиболее важные технологические операции, выполняемые стеклообрабатывающим

оборудованием в рамках этих подсистем. Каждую из выделенных систем представляем в виде связанных графов, на основе которых разрабатываются математические модели технико-технологических подсистем.

В качестве примера рассмотрим построение математической модели подсистемы T_1 – «Загрузка шихты и стеклобоя в стекловаренные печи».

В рассматриваемой подсистеме были выделены подсистемы низшего уровня: $T_{1.1}$ – Подача стеклобоя в расходный бункер; $T_{1.2}$ – Подача шихты и стеклобоя в бункер загрузчиков шихты; $T_{1.3}$ – Подача смеси в загрузочные карманы печей.

А также были выделены основные технологические операции, выполняемые оборудованием в рамках этих подсистем: C_1 – подготовительно-заключительная операция; C_2 – подача стеклобоя в расходный бункер; C_3 – подача шихты и стеклобоя в бункер загрузчиков; C_4 – подача смеси шихты и стеклобоя в загрузочные карманы печей; C_5 – отказ по техническим причинам; C_6 – простой оборудования из-за отсутствия фронта работ.

На основе построенного орграфа (рис. 1). была разработана математическая модель (1) для подсистемы T_1 .

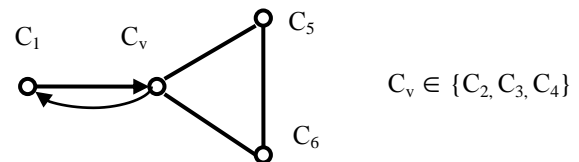


Рис. 1. Граф перехода технологических состояний оборудования подсистемы T_1 – «Загрузка шихты и стеклобоя в стекловаренные печи»

$$C(t + \Delta t) = \begin{cases} C_1, \text{если} [(C(t) = C_1) \cup (C(t) = C_v) \cap \\ \cap (N_v(t) > N_v) \cap (\alpha(t) = 1 \cap \beta(t) = 0); \\ C_2, \text{если} [(C(t) = C_v) \cap (N_v(t) \leq N_v) \cup \\ \cup (C(t) = C_5) \cup (C(t) = C_6)] \cap \\ \cap (\alpha(t) = 1) \cap (\beta(t) = 1) \cap N_v > 0; \\ C_5, \text{если} [(C(t) = C_5) \cup (C(t) = C_v) \cup \\ \cup (C(t) = C_6)] \cap (\alpha(t) = 0); \\ C_6, \text{если} [(C(t) = C_6) \cup (C(t) = C_v) \cup \\ \cup (C(t) = C_5)] \cap (N_v = 0) \cap (\alpha(t) = 1). \end{cases} \quad (1)$$

где $C \in \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6\}$; $C_v \in \{C_2, C_3, C_4\}$; $v = 2, 3, 4$; t и Δt – произвольный момент и шаг приращения времени моделирования; $N_2(t)$ – случайная функция количества поданного в расходный бункер стеклобоя; $N_3(t)$ – случайная функция количества поданных в расходный бункер шихты и стеклобоя; $N_4(t)$ – случайная функция количества поданной смеси в загрузочные карманы печей; N_2 – необходимое количество стеклобоя для подачи в бункер; N_3 – необходимое количество шихты и стеклобоя для подачи в расходный бункер; N_4 – необходимое

количество смеси для подачи в загрузочные карманы печей; $\alpha(t)$ – случайная функция, характеризующая работоспособность оборудования (0 – не работает, 1 – работает); $\beta(t)$ – случайная функция, характеризующая выполнение технологической операции (0 – не выполняется, 1 – выполняется).

Аналогично строятся математические модели других выделенных подсистем.

На основании графа перехода одной технико-технологической подсистемы в другую и полученных математических моделей подсистем строится обобщенная математическая модель функционирования механизированной линии стеклотарного производства. [4]

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, как следует из вышеизложенного, при построении алгоритмов моделирования технологической линии стеклотарного производства использована единая идеология и единый методологический подход. Все математические модели концептуально подобны. И при их программной реализации достаточно небольших изменений при переходе от одного алгоритма к другому. Это позволяет значительно упростить программную

реализацию имитационной модели, включая ее кодировку и отладку компонент.

Описанный в статье подход является эффективным инструментом позволяющим имитировать технологические процессы не только производства стеклотары, но и других промышленных производств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Акопов А.С. Имитационное моделирование. Люберцы: Юрайт, 2016. 389 с.
- [2] Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978. 401 с.
- [3] Морозова Е.В., Белов М.П. Автоматизированное управление производством стеклотары на базе моделей функционирования технологического оборудования: монография. Волгоград: ВолгГТУ, 2017. 143 с.
- [4] Редько С.Г., Морозова Е.В. Особенности имитационного моделирования стеклотарного производства // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 5; URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=1245> (дата обращения: 20.04.2018).
- [5] Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. М.: Высш. шк., 2005. 343 с.
- [6] Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 2010. 418 с.