

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ СТЕКЛОТАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Редько С.Г., Морозова Е.В.

ГОУ ВПО «Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета», Камышин, Россия (403874, Волгоградская обл., г. Камышин, ул. Ленина, 6А)

[morozova@kti.ru](mailto:morozova@kti.ru)

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет», Санкт-Петербург, Россия

---

Стеклотарное производство является непрерывным производством, его модификация или модернизация должна занимать как можно меньше времени. Моделирование параметров функционирования технологического оборудования стеклотарного производства может помочь в решении данной проблемы. В статье изложены результаты декомпозиции целостного процесса функционирования механизированной линии производства стеклянной тары на ряд структурных элементов – технико-технологических подсистем на основе блочно-иерархического подхода. При синтезе имитационной модели функционирования технологического оборудования для производства стеклотары использовалась технология структурно-функционального моделирования. Описана структура и основные принципы построения разработанной модели, для реализации которой создана программа ModelPus 1.0 (язык программирования Microsoft Visual Basic). Разработанная модель может быть использована при решении задач управления производством, что позволит предприятию не снижать своих экономических показателей.

---

Ключевые слова: управление, стеклотарное производство, моделирование, технологический процесс.

## COMPUTER MODELLING OF THE PARAMETERS OF THE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF GLASSWARE PRODUCTION

Redko S.G., Morozova E.V.

*Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University Kamyshin, Russia (403874, Kamyshin, Lenin avenue, 6a) [morozova@kti.ru](mailto:morozova@kti.ru)*

*St. Peterburg polytechnic university*

Production of glassware is a continuous production, a its modification or upgrade should occupy a less time. Simulation parameters of the functioning of technological equipment of glassware production can help in solving this problem. This article gives the results of decomposition of the entire process functioning of mechanized line for production glassware on number of structural elements - technical-technological subsystems on the basis of block-based hierarchical approach. In the synthesis of a simulation model of the functioning of technological equipment for production of glassware was used technology of structural-functional modeling. Describes the structure and principles of construction of the model, which was created to implement in program ModelPus 1.0 (programming language Microsoft Visual Basic). The developed model can be used for solve problems production management this will enable the company not to lower economic performance.

Key words: management, glassware production, modeling, technological process.

Любая управленческая деятельность тесно связана с принятием соответствующих решений. Принятие решений возможно на основании знаний об объекте управления, о процессах, объективно в нем протекающих и могущих произойти с течением времени, иначе говоря, требуется наличие адекватной модели объекта, характеризующей эффективность (качество, оптимальность и т.д.) принятого решения. В качестве реализации такой модели

для стеклотарного производства предлагается имитационная модель технологического процесса изготовления стеклотары.

Применение имитационного моделирования характеризуется такими преимуществами, как возможность формирования и сравнения альтернатив при выборе решения, адекватность описания, возможность воспроизведения сложных производственных процессов на модели, комплексность и системность подхода. В этом отношении исследование технико-технологических подсистем промышленных предприятий методом имитационного моделирования имеет аналогию с натурным экспериментом с той разницей, что вычислительный эксперимент проводится с использованием ЭВМ, которая автоматизирует процесс моделирования и обеспечивает необходимое количество испытаний в более короткий срок. Вместе с тем компьютерные методы расчета, моделирования и проектирования все больше опираются на системный подход, сущность которого заключается в переходе от анализа отдельных объектов и исследования простых связей между ними к изучению сложных образований, объединенных общей целью.

Исходя из выше изложенного, основная идея работы заключается в определении принципов построения объектов моделирования и установлении закономерностей их системного функционирования как целостного процесса многооперационной обработки исходного материала на основе получения и реализации вероятностных имитационных моделей стеклотарного производства.

Состав исходной технической информации при формализации и имитационном моделировании технологических процессов изготовления стеклотары включает: характеристику рассматриваемого стеклотарного производства; плановый годовой объем выпускаемой продукции и технологию ее производства, определяющую свойства сырья и вырабатываемой продукции, последовательность и режимы работы используемого оборудования; данные о номенклатуре и количестве имеющегося в наличии оборудования, его основные эксплуатационные параметры; структуру затрат машинного времени, статистические закономерности распределения случайных величин протекания основных и вспомогательных процессов, статистические данные о технических и технологических отказах.

Процесс изготовления стеклянной тары – достаточно сложный непрерывный стохастический процесс [4], схема которого представлена на рисунке 1.

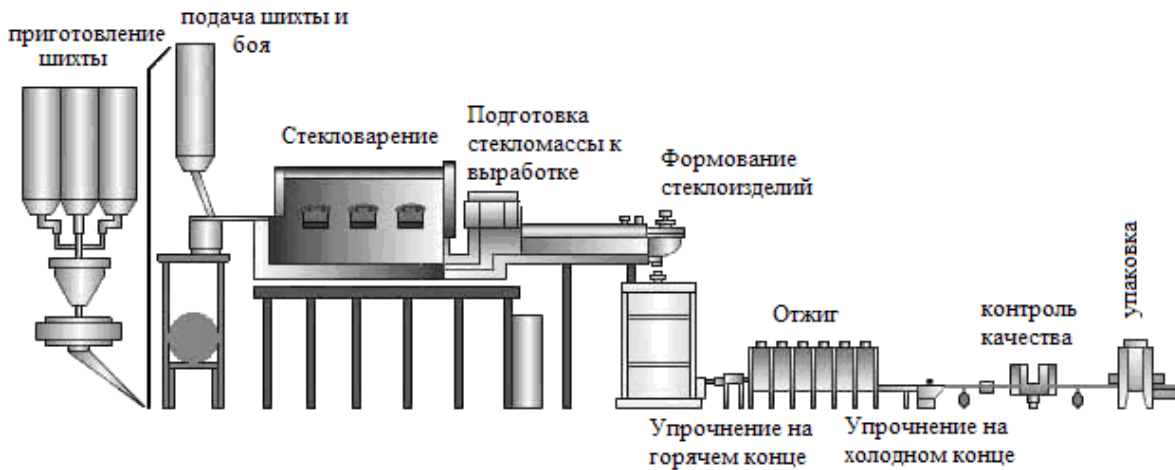


Рисунок 1. Схема стеклотарного производства.

Декомпозиция технологических процессов в системе изготовления стеклотары позволила выделить на уровне структурных элементов ряд технико-технологических подсистем:  $T_1$  – «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 при этом соответствует технологическим процессам, выполняемым определенным видом и типом оборудования. Дальнейшая декомпозиция технико-технологических подсистем позволяет выделить подсистемы низшего уровня, а также наиболее важные технологические операции, выполняемые стеклообрабатывающим оборудованием в рамках этих подсистем. Так, подсистема  $T_1$  включает 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 подсистема  $T_4$  включает подсистемы низшего уровня:  $T_{4.1}$  – перегрузка стеклоизделий в печь отжига,  $T_{4.2}$  – отжиг стеклоизделий,  $T_{4.3}$  – транспортирование стеклоизделий в рабочем туннеле печи.

При этом процесс функционирования подсистем представляется в виде последовательно связанных графов, вершинами которых являются технологические состояния станочного оборудования [3]. В соответствии с формальными процедурами описания сложных систем разработаны математические и имитационные модели технико-технологических подсистем в виде совокупности соотношений логических условий и полученных на этой основе моделирующих алгоритмов, определяющих их реальное функционирование [2]. Синтез математических моделей подсистем позволил построить обобщенную модель функционирования механизированной линии, которая интерпретируется системой логических уравнений, описывающих условия перехода одной технико-технологической подсистемы в другую:

Исходя из выше изложенного, модель функционирования механизированной линии стеклотарного производства примет вид:

$$T(t + \Delta t) = \begin{cases} T_1(T_{1.1}), \text{ если } (T(t) = T_{1.1}) \cap (N_{nc\bar{o}}(t) < N_{nc\bar{o}}); \\ T_1(T_{1.2}), \text{ если } (T(t) = T_{1.2}) \cap (N_{muc\bar{o}}(t) < N_{muc\bar{o}}) \cup (T(t) = T_{1.1}) \cap (N_{nc\bar{o}}(t) \geq N_{nc\bar{o}}); \\ T_1(T_{1.3}), \text{ если } (T(t) = T_{1.3}) \cap (N_{nc}(t) < N_{nc}) \cup (T(t) = T_{1.2}) \cap (N_{muc\bar{o}}(t) \geq N_{muc\bar{o}}); \\ T_2, \text{ если } (T(t) = T_2) \cap (N_c(t) < N_c) \cup (T(t) = T_{1.3}) \cap (N_{nc}(t) \geq N_{nc}); \\ T_3, \text{ если } (T(t) = T_3) \cap (N_\phi(t) < N_\phi) \cup (T(t) = T_2) \cap (N_c(t) \geq N_c); \\ T_4(T_{4.1}), \text{ если } (T(t) = T_{4.1}) \cap (N_n(t) < N_n) \cup (T(t) = T_3) \cap (N_\phi(t) \geq N_\phi); \\ T_4(T_{4.2}), \text{ если } (T(t) = T_{4.2}) \cap (N_o(t) < N_o) \cup (T(t) = T_{4.1}) \cap (N_n(t) \geq N_n); \\ T_4(T_{4.3}), \text{ если } (T(t) = T_{4.3}) \cap (N_{mu}(t) < N_{mu}) \cup (T(t) = T_{4.2}) \cap (N_o(t) \geq N_o); \\ T_5, \text{ если } (T(t) = T_5) \cap (N_{kk}(t) < N_{kk}) \cup (T(t) = T_{4.3}) \cap (N_{mu}(t) \geq N_{mu}); \\ T_6, \text{ если } (T(t) = T_6) \cap (N_{mn}(t) < N_{mn}) \cup (T(t) = T_5) \cap (N_{kk}(t) \geq N_{kk}), \end{cases}$$

где  $N_{nc\bar{o}}(t)$ ,  $N_{muc\bar{o}}(t)$ ,  $N_{nc}(t)$  – случайная функция соответственно количества поданного стеклобоя в расходный бункер, шихты и стеклобоя – в бункер загрузчиков шихты, смеси – в загрузочные карманы печей;  $N_c(t)$ ,  $N_\phi(t)$ ,  $N_n(t)$ ,  $N_o(t)$ ,  $N_{mu}(t)$ ,  $N_{kk}(t)$ ,  $N_{mn}(t)$  – случайная функция соответственно количества полученной стекломассы, формованных изделий; изделий, перегруженных в печь отжига; изделий, прошедших отжиг; изделий, транспортированных в рабочем туннеле печи; проверенных изделий, готовых пакетов;  $N_{nc\bar{o}}$ ,  $N_{muc\bar{o}}$ ,  $N_{nc}$  – соответственно необходимое количество стеклобоя для подачи в расходный бункер, шихты и стеклобоя – в бункер загрузчиков шихты, смеси – в загрузочные карманы печей;  $N_c$ ,  $N_\phi$ ,  $N_n$ ,  $N_o$ ,  $N_{mu}$ ,  $N_{kk}$ ,  $N_{mn}(t)$  – соответственно необходимое количество стекломассы, формованных изделий, изделий для перегрузки в печь отжига, изделий для отжига, изделий для транспортировки в рабочем туннеле печи; изделий, требующих проверки; готовых пакетов.

Экспериментальной основой создания моделей послужило исследование статистических закономерностей распределения случайных величин протекания основных и вспомогательных процессов: времени наработки на отказ, ликвидации технологических и технических отказов для различных видов и типов оборудования технологических линий изготовления стеклотары. Полученные данные статистических исследований используются для определения констант переменных, случайных и индикаторных функций. Значения перечисленных величин используются для выбора направления процесса имитации в соответствии с его математическим представлением и реализованного в блоках логического сравнения.

Трансформация полученных математических моделей подсистем в имитационные осуществляется с помощью программных процедур алгоритмизации и включения в процесс моделирования на ЭВМ динамики протекания технологических процессов производства

стеклотары во времени. Затем из отдельных модулей, описывающих функционирование подсистем, синтезируется обобщенная имитационная модель сложной системы производства. При синтезе имитационной модели системы учитываются логические взаимосвязи подсистем, выделенные на этапе формализации.

Одним из основных вопросов при синтезе модели является вопрос о принципах построения моделирующих алгоритмов основных и вспомогательных модулей. На основе анализа известных принципов построения алгоритмов были выбраны и использованы два: принцип « $\Delta t$ » – фиксированных интервалов времени (для программирования вспомогательных модулей, которые отражают взаимосвязи между подсистемами) и принцип «особых состояний» (для программирования технико-технологических подсистем, что является весьма удобным и экономичным в отношении машинного времени) [1]. Использование выбранных принципов построения моделирующих алгоритмов облегчает написание программы модели, обеспечивает более строгое следование выбранной концепции ее построения, помогает четко классифицировать компоненты системы, обеспечивает гибкость программы (возможности внесения в нее изменений), позволяет корректировать число компонент модели в соответствии с изменениями внутренних условий модели.

На каждом шаге модельного времени для оборудования вычисляется время его работы и надежность. Определение надежности осуществляется путем моделирования наработки на отказ и времени восстановления соответствующего технологического оборудования.

Структура разработанной имитационной модели (рисунок 2) включает: 1) модули технико-технологических подсистем; 2) вспомогательные модули, в которых отражены взаимосвязи и часть функций, не реализованных в моделях подсистем (управляющий модуль «Монитор», генераторы случайных чисел, моделирование параметров надежности, определение времени простоев); 3) обеспечивающие модули (ввод-вывод исходных данных, вывод результатов моделирования, блоки данных).

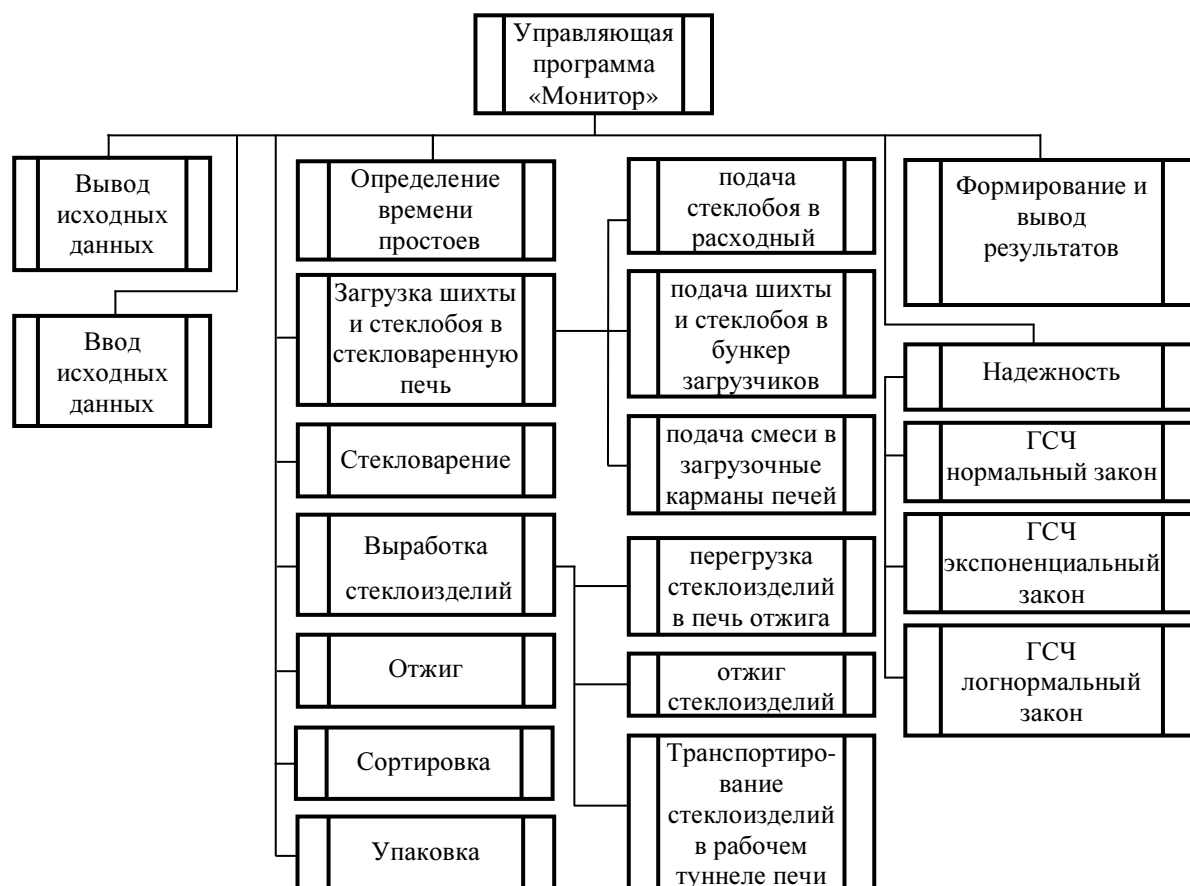


Рисунок 2. Структура и конфигурация имитационной модели технологической линии стеклотарного производства: ГСЧ – генератор случайных чисел.

Запуск модели предполагается при генерации управляющей программы «Монитор». Модули технико-технологических подсистем связаны с монитором через модуль «Надежность», в котором моделируются наработка на отказ и время восстановления соответствующего технологического оборудования. Для имитации случайных функций служат генераторы случайных чисел, формирующие входные случайные величины, распределенные по нормальному, экспоненциальному и логнормальному законам. Модуль «Определение времени простоев» фиксирует отказы как по техническим, так и по технологическим причинам, а также простои оборудования из-за отсутствия фронта работ.

Программная реализация имитационной модели в среде Microsoft Visual Studio 6.0. позволила визуализировать процесс моделирования механизированной линии стеклотарного производства. По мнению ряда ученых, в области имитационного моделирования программная кодировка имитационной модели в принципе может быть осуществлена на любом универсальном алгоритмическом языке. Использование универсальных языков программирования в сравнении со специальными языками моделирования позволяет создавать более гибкие модели для промышленных приложений, учитывающие специфику

функционирования сложных производственных систем, и обеспечивает возможность получения быстродействующих программных алгоритмов.

Разработанная программа ModelPus 1.0 позволяет имитировать процесс производства стеклянной тары, начиная с процесса выработки стеклоизделий, заканчивая их упаковкой. Также в её возможности входят: расчёт брака продукции (на стадии выработки стеклоизделий, на стадии отжига стеклоизделий); имитация отказа оборудования (с помощью ручной установки, в автоматическом режиме). Кроме того, в программе предусмотрена возможность установки скорости протекания процессов изготовления стеклотары.

Стеклотарное производство является непрерывным производством, и его модификация либо модернизация должна занимать как можно меньше времени. Применение имитационных моделей при решении этих задач позволит предприятию не снижать своих экономических показателей и повысить конкурентоспособность на рынке предметов массового спроса и потребления.

В соответствии с общими задачами исследования процесса функционирования оборудования механизированной линии стеклотарного производства на этапе испытания имитационной модели планируется проведение нескольких серий машинных вычислительных экспериментов, направленных на исследование влияния параметров надежности оборудования (коэффициента готовности, наработки на отказ и времени восстановления), на эффективность функционирования системы изготовления стеклотары.

### **Список литературы**

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М. : Наука, 1978. – 401 с.
2. Морозова Е.В., Редько С.Г. Модели и алгоритмы имитации технологических процессов производства стеклотары // Автоматизация и современные технологии. – 2010. – № 2. – С. 11–15.
3. Редько С.Г., Эпов А.А., Морозова Е.В. Разработка концептуальной модели функционирования механизированной линии стеклотарного производства // Прогрессивные технологии в обучении и производстве: материалы IV Всероссийской конференции. – Волгоград : ВолгГТУ, 2006. – С. 189–192.
4. Эпов А.А., Морозова Е.В. Декомпозиция процесса изготовления стеклотары как сложной производственной системы // Инновационные технологии в обучении и производстве: материалы III Всероссийской конференции, г. Камышин, 20–23 апреля 2005 г. – Волгоград : ВолгГТУ, 2005. – С. 111–114.

5. Максимей И.В. Система автоматизации моделирования вероятностных технологических процессов, реализующая агрегатный способ имитации // Проблемы программирования. – 2004. – № 4. – С. 25–31.

Рецензенты:

Коршунов Геннадий Иванович, д.т.н., профессор кафедры инноватики и управления качеством, МГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г. Санкт-Петербург.

Фомин Борис Федорович, д.т.н, профессор кафедры автоматики и процессов управления, ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский электротехнический университет ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург.