

УДК 658.012.011.56

Р 33

ОСОБЕННОСТИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТЕКЛОТАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Редько С.Г., Морозова Е.В.

*Санкт-Петербургский политехнический университет,**Санкт-Петербург, Россия**Камышинский технологический институт (филиал)**Волгоградского государственного технического университета,**Камышин, Россия*

Приведены математическое и алгоритмическое описания имитационной модели технологического процесса изготовления стеклотары, созданные на основе разработанной вербальной модели. Для реализации имитационной модели создана программа ModelPus 1.0 (язык программирования Microsoft Visual Basic).

Стекольная промышленность в последние годы – наиболее динамично развивающаяся отрасль. В значительной степени эту динамику определяет именно стеклотарный сегмент. Увеличение спроса на стекловую продукцию влечет за собой расширение производства, введение новых мощностей, пуск в эксплуатацию модернизированных производственных линий. При этом особое внимание необходимо обратить на то, что стеклотарное производство является непрерывным процессом, что затрудняет решение этих задач. Формирование сложных технико-технологических подсистем, какими являются участки и технологические линии стеклотарного производства, как правило, ведется в условиях значительной неопределенности и фактической неосуществимости натурного проверочного эксперимента, что не позволяет оптимизировать параметры производства.

Практическая ценность работы заключается в разработке автоматизированного инструментария в виде имитационной модели, позволяющей производить оптимизацию параметров функционирования оборудования и на этой основе устанавливать пропускную способность от-

дельных технологических звеньев, плановые нагрузки на механизированные линии стеклотарного производства, обосновывать условия достижения и поддержания требуемой интенсивности производства и требуемого для этого парка оборудования.

Одним из главных этапов разработки и реализации имитационных моделей является формализация процессов, происходящих в исследуемой системе.

Независимо от области применения, способа проектирования или моделирования сложной системы можно выделить следующие этапы составления ее формального описания:

1. Составление содержательного описания объектов проектирования (исследования), разработка вербальной модели системы.

2. Декомпозиция системы на конечное число составляющих элементов и формирование компонентов модели, удобных для математического и алгоритмического описания.

3. Разработка математической модели системы и алгоритмизация функционирования ее компонент.

Рассмотрим процесс производства стеклянной тары – достаточно сложный

процесс превращения сырьевого материала (шихты и стеклобоя) в готовую к использованию продукцию. Производство стеклотары состоит из следующих технологических процессов: загрузки шихты и стеклобоя в стекловаренные печи, стекловарения, выработки стеклоизделий, отжига, сортировки и упаковки стеклоизделий.

Ванные стекловаренные печи питаются смесью шихты и стеклобоя в строго заданном соотношении. При отсутствии покупного стеклобоя загрузка производится шихтой с равномерным вводом обратного (собственного) стеклобоя, который образуется в процессе производства. Обратный стеклобой из приемного бункера цепным ковшовым элеватором подается в расходный бункер на участке загрузки шихты. Шихта и бой подаются в бункер загрузчиков шихты ленточным транспортером, находящимся вдоль ванных печей по одному с каждой стороны печи, и далее посредством загрузчиков шихты подаются в печи. Загрузчики шихты с помощью наклонного лотка с вибратором и толкающей водоохлаждаемой лопаты подают смесь шихты и стеклобоя в загрузочные карманы печей. Бункера загрузчиков шихты должны быть постоянно заполнены смесью шихты и боя, зависание шихты и боя в них не допускается.

Варка стекла – процесс многостадийного превращения шихты в жидкую стекломассу. При нагревании стекольной шихты происходят сложные физические, химические, физико-химические процессы, которые зависят от состава стекла, условий теплообмена, характера движения стекломассы. Варка стекла осуществляется в ванных стекловаренных печах непрерывного действия, регенеративных, проточных, с подковообразным направлением пламени, оснащенных автоматическими системами регулирования и контроля, при помощи которых производится: поддержание постоянного уровня стекломассы, перевод направления пламе-

ни, контроль и управление тепловым, газовым и гидравлическим режимами печи.

Технологический процесс выработки стеклоизделий начинается с образования капли стекломассы. Сваренная стекломасса самотеком поступает из ванной печи в питатели. Питатель предназначен для формирования и выдачи капель стекломассы. Скорость работы питателя зависит от метода выработки, конструкции стеклоформирующей машины, массы изделий, их формы, химического состава стекла. Работа питателя должна быть строго синхронизирована по времени с работой стеклоформирующей машины, осуществляющей процесс формования стеклоизделий.

В процессе формования в результате неравномерного остывания поверхностей и внутренних слоев стеклоизделия, что объясняется плохой теплопроводностью стекла, в нем возникают напряжения сжатия и растяжения. Процесс устранения остаточных напряжений называется отжигом стекла. От каждой стеклоформирующей машины стеклоизделия транспортируются с помощью пластинчатого или цепного конвейера, а затем при помощи сталквателя попадают в печи отжига. Печи отжига снабжены устройствами, позволяющими: вести наблюдение и автоматически регулировать температуру отжига; транспортировать изделия в рабочем туннеле печи; изменять скорость транспортировки изделий в широком диапазоне. На изделия при их прохождении через установки горячего и холодного напыления на горячем и холодном участках печи отжига наносится защитный слой упрочняющих материалов. Изделия в печи транспортируются сетчатым конвейером. После выхода из печи отжига на изделия наносится защитно-упрочняющее покрытие методом распыления.

Сортировка и контроль качества готовых изделий осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 5717-91 и ГОСТ 10117.1-2001. Сортировка стеклоизделий, выработанных на стеклофор-

мующих машинах, осуществляется контролерами стеклового производства вручную путем визуального осмотра и с помощью инспекционного оборудования: разбраковочного аппарата, проверщика на сжатие, детектора посечки.

Упаковка стеклоизделий осуществляется на участке пакетирования. Стеклотара подается по системе конвейеров в упаковочную машину, которой набирается установленное количество стеклоизделий. Полученный набор обворачивается полиэтиленовой пленкой. Полученный пакет с помощью роляганга поступает в термоусадочную печь, где пакету придается прочность, а изделиям обеспечивается сохранность без боя. После термоусадки пакеты со стеклотарой ленточным транспортером подаются на склад готовой продукции транспортно-складского цеха.

Исходя из вышеприведенного описания системы и в соответствии с рекомендациями Н.П. Бусленко [1] целостный процесс функционирования технологической линии стеклотарного производства на уровне структурных элементов можно представить в виде ряда взаимосвязанных технико-технологических подсистем стеклообработки: «Загрузка шихты и стеклобоя в стекловаренные печи», «Стекловарение», «Выработка стеклоизделий», «Отжиг», «Сортировка», «Упаковка стеклоизделий» (табл.1). Каждая подсистема соответствует технологическим процессам, выполняемым определенным видом и типом оборудования, которое в свою очередь может принимать определенные технологические состояния. При этом модель событий функционирования оборудования стеклотарного производства формально можно представить в виде последовательно связанных графов (таблица 1). Вершины графов показывают технологические состояния рассматриваемого оборудования; дуги – взаимосвязь операций.

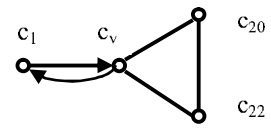
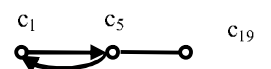
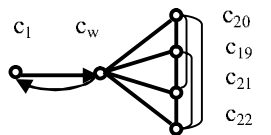
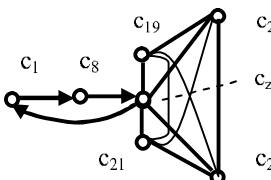
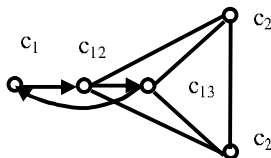
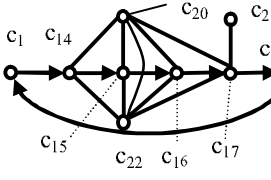
Где c_1 - подготовительно-заключительная операция; c_2, c_3, c_4 - подача соот-

ветственно стеклобоя в расходный бункер, шихты и стеклобоя в бункер загрузчиков шихты, смеси шихты и стеклобоя в загрузочные карманы печей; c_5 - получение жидкой стекломассы (варка стекла); c_6 - оформление и выдача капель стекломассы; c_7 - формование стеклоизделий; c_8, c_{11}, c_{14} - транспортирование стеклоизделий соответственно до печи отжига, в рабочем туннеле печи, до упаковочной машины; c_9 - перегрузка стеклоизделий в печь отжига; c_{10} - отжиг стеклоизделий; c_{12} - сортировка стеклоизделий; c_{13} - контроль качества; c_{15} - упаковка стеклоизделий в пакет; c_{16}, c_{18} - транспортирование пакета соответственно в термоусадочную печь, на склад готовой продукции; c_{17} - термоусадка пакета; c_{19} - вспомогательные технологические операции; c_{20} - отказ по техническим причинам; c_{21} - отказ по технологическим причинам; c_{22} - простой оборудования из-за отсутствия фронта работ.

На основе построенной модели событий (табл.1) были разработаны математические модели технико-технологических подсистем в виде совокупности соотношений логических условий и полученных на этой основе моделирующих алгоритмов, определяющих их реальное функционирование. Экспериментальной основой создания моделей послужило исследование статистических закономерностей распределения случайных величин протекания основных и вспомогательных процессов, наработки на отказ, времени ликвидации технологических и технических отказов для различных видов и типов оборудования технологических линий изготовления стеклотары. Синтез математических моделей подсистем позволил построить обобщенную математическую модель функционирования механизированной линии стеклотарного производства, которая интерпретируется системой логических уравнений, описывающих условия перехода одной технико-технологической подсистемы в другую. При этом

учитывается, что подсистема T_1 включает подсистемы низшего уровня $T_{1.1}, T_{1.2}, T_{1.3}$, а подсистема T_4 включает подсистемы низшего уровня $T_{4.1}, T_{4.2}, T_{4.3}$, (табл.1).

Таблица 1. Модель событий функционирования оборудования

Подсистема	Оборудование	Граф
T_1 - «Загрузка шихты и стеклобоя в стекловаренные печи» $T_{1.1}$ - 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	Цепной ковшовый элеватор Ленточный транспортер Наклонный лоток с вибратором	 $c_v (c_2, c_3, c_4)$
T_2 - «Стекловарение»	Стекловаренная печь	
T_3 - «Выработка стеклоизделий»	Питатель Стеклоформирующая машина	 $c_w (c_6, c_7)$
T_4 - «Отжиг» $T_{4.1}$ - Перегрузка стеклоизделий в печь отжига $T_{4.2}$ - Отжиг стеклоизделий $T_{4.3}$ - Транспортирование стеклоизделий в рабочем туннеле печи	Пластинчатый конвейер Сталкиватель Печь отжига Сетчатый конвейер	 $c_z (c_9, c_{10}, c_{11})$
T_5 - «Сортировка»	Разбраковочный аппарат Детектор качества	
T_6 - «Упаковка стеклоизделий»	Система конвейеров Упаковочная машина Рольганг Термоусадочная печь Ленточный транспортер	

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

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

При реализации полученной модели на ЭВМ были использованы два основных принципа: принцип « Δt » – фиксированных интервалов времени (для программирования вспомогательных модулей, которые отражают взаимосвязи между подсистемами) и принцип «особых состояний» (для программирования технико-технологических подсистем, являясь весьма удобным и экономичным в отно-

шении машинного времени) [1]. При этом 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.

Для разработки программы ModelPus 1.0 был использован язык программирования Microsoft Visual Basic из интегрированного пакета для создания приложения под Windows – Microsoft Visual Studio 6.0. Данный язык имеет широкие возможности в создании приложений различной степени сложности, при этом разработчику не приходится тратить время на разработку кода описывающего пользовательский интерфейс, все элементы управления можно добавлять на форму методом рисования в интерактивном режиме.

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 производства стеклотары.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. – М: Наука, 1978. – 401с.
2. Морозова Е.В. Моделирование параметров функционирования технологических линий для поддержки задач управления стеклотарным производством. // Стекло мира №5 / 2007 - стр.89.
3. Морозова Е.В. Моделирование технологических процессов производства стеклотары. //Стекло тары №10/2007 - стр.14.
- 4.Редько С.Г. Разработка концептуальной модели функционирования механизированной линии стеклотарного производства / Эпов А.А., Морозова Е.В. //Прогрессивные технологии в обучении и производстве: материалы IV Всероссийской конференции, КТИ Волг-ГТУ, 2006-стр.189-192

PECULIARITIES OF IMITATING MODEL OF GLASSTARE MANUFACTURE

Redko S.G., Morozova E.V.

St. Petersburg State Polytechnical University,

St. Petersburg, Russia

*Kamyshin Technological Institute (branch) of Volgograd State Technical University,
Kamyshin, Russia*

This article gives mathematical and algorithmic descriptions of an imitation model of the technological process of glasstare manufacture created on the basis of the verbal model developed. The imitation model has been realized by the program Model Plus 1.0 (the programming language Microsoft Visual Basic was used).