

УДК 658.012.011.56

**ФУНКЦИОНАЛЬНО-СТРУКТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ СТЕКЛОТАРНОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Редько С.Г., Морозова Е.В.

*Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет, Санкт-Петербург, Россия*

Камышинский технологический институт (филиал)

*Волгоградского государственного технического университета,
Камышин, Россия*

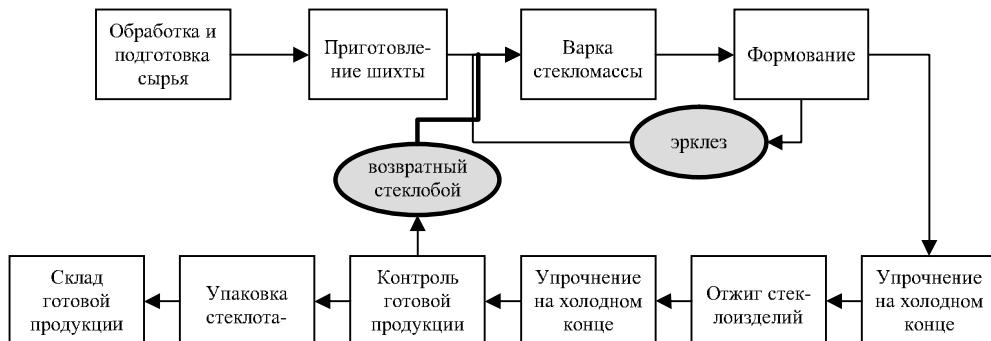
Приведены математическое и алгоритмическое описание имитационной модели технологического процесса изготовления стеклотары, созданные на основе разработанной вербальной модели. Для реализации имитационной модели создана программа ModelPus 1.0 (язык программирования Microsoft Visual Basic).

Детальный анализ каждой технологической операции, извлечение «узких мест» производства, устранение негативных моментов путем выбора наилучшего решения, оценка принятой меры и стремление к совершенствованию производства – это то, что необходимо в создавшихся условиях мирового экономического кризиса для повышения экономической эффектив-

ности любого промышленного предприятия, в том числе и стеклотарного.

Методом исследования технологических процессов стеклотарного производства было выбрано функционально-структурное моделирование процессов на основе построения моделей имитационного типа.

Рассмотрим типичный жизненный цикл стеклотарного производства (рис.1).



**Рис. 1. Схема технологического процесса стеклотарного предприятия
(основное производство)**

Стадия обработки и подготовки сырья включает в себя дробление, сушку, измельчение, просев, дозировку и смешивание компонентов шихты. Дробление и измельчение происходят в молотковых дробилках, сушка – в сушильных барабанах. Подготовленное сырье дозируется и конвейерами подается в смесители, где перемешивается и увлажняется. Получен-

ная шихта элеваторами транспортируется в цехи выработки.

Варка стекла осуществляется при температуре 1350-1400 °С в стекловаренных печах, работающих на природном газе. Шихта, поступающая из составного цеха, и стекольный бой (привозной и обратный) подаются к печам. Готовая стекломасса, гомогенизированная по темпера-

туре и химическому составу, подается питателями в стеклоформующие автоматы.

Производство стеклоизделия. Стекло, поступившее в фидер (каналы подвода стекломассы к машине), вытекает через отверстие (керамическое очко). Для получения «капли» (доза стекла с определенной температурой, формой и весом) используется механизм ножниц, который с заданной скоростью отрезает порции стекла. И через систему каплеприемных лотков поступает в черновую форму машины по производству стеклотары. Работа питателя должна быть строго синхронизирована по времени с работой стеклоформующей машины, осуществляющей процесс формования стеклоизделий. От каждой стеклоформующей машины стеклоизделия транспортируются с помощью пластиначатого или цепного конвейера, а затем при помощи сталкивателя попадают в печи отжига.

Отжиг стекла – это процесс устранения остаточных напряжений стекла. Отжиг стекла происходит в печах отжига, снабженных 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.

Сортировка и контроль качества стеклоизделий, выработанных на стеклоформующих машинах, осуществляется контролерами стекольного 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, которая упаковывает стеклопродукцию в пакеты из полиэтиленовой пленки. Полученный пакет с по-

мощью рольганга 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 анализа описания системы, можно сделать вывод: процесс производства стеклотары – достаточно сложный, непрерывный стохастический процесс. На основе системного подхода 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 (табл. 2). При этом процесс функционирования подсистем представляется в виде последовательно связанных графов. Вершины графов показывают технологические состояния рассматриваемого оборудования; дуги – взаимосвязь операций.

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.

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 обоб-

щенную модель функционирования механизированной линии, которая представлена 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	<p>$c_v(c_2, c_3, c_4)$</p>
T_2 - «Стекловарение»	Стекловаренная печь	
T_3 - «Выработка стеклоизделий»	Питатель Стеклоформующая машина	<p>$c_w(c_6, c_7)$</p>
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	Пластиначатый конвейер Сталкиватель Печь отжига Сетчатый конвейер	<p>$c_z(c_9, c_{10}, c_{11})$</p>
T_5 - «Сортировка»	Разбраковочный аппарат Детектор качества	
T_6 - «Упаковка стеклоизделий»	Система конвейеров Упаковочная машина Рольганг Термоусадочная печь Ленточный транспортер	

где c_1 - подготовительно-заключительная операция; c_2, c_3, c_4 - подача соответственно 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.

Таблица 2

Технологические состояния оборудования стеклоторгового производства

Оборудование Технологическое состояние	Техническое состояние											
	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁
Подготовительно-заключительная операция	C ₂	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Подача стеклобоя в расходный бункер	—	C ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Подача шихты и стеклобоя в бункер загрузчиков	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Подача смеси шихты и стеклобоя в загрузочные карманы печей	—	—	C ₄	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Получение жидкой стекломассы (варка стекла)	—	—	—	C ₅	—	—	—	—	—	—	—	—
Оформление и выдача капель стекломассы	—	—	—	—	C ₆	—	—	—	—	—	—	—
Формование стеклоизделий	—	—	—	—	—	C ₇	—	—	—	—	—	—
Транспортировка стеклоизделий до печи отжига	—	—	—	—	—	—	C ₈	—	—	—	—	—
Перегрузка стеклоизделий в печь отжига	—	—	—	—	—	—	—	C ₉	—	—	—	—
Отжиг	—	—	—	—	—	—	—	—	C ₁₀	—	—	—
Транспортировка стеклоизделий в рабочем туннеле печи	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C ₁₁	—	—
Сортировка стеклоизделий	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C ₁₂	—
Контроль качества	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C ₁₃	—
Транспортировка стеклоизделий до упаковочной машины	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C ₁₄	—
Упаковка стеклоизделий	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C ₁₅	—
Транспортировка пакета в термоусадочную печь	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C ₁₆	—
Термоусадка пакета	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C ₁₇	—
Транспортировка пакета на склад	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	C ₁₈
Вспомогательные технологические операции	—	—	C ₁₉	C ₁₉	—	C ₁₉	C ₁₉	C ₁₉	—	—	—	—
Отказ по техническим причинам	C ₂₀	C ₂₀	C ₂₀	C ₂₀	C ₂₀	C ₂₀	C ₂₀	C ₂₀	C ₂₀	C ₂₀	C ₂₀	C ₂₀
Отказ по технологическим причинам	—	—	—	C ₂₁	C ₂₁	—	C ₂₁	C ₂₁	—	—	C ₂₁	—
Простой оборудования из-за отсутствия фронта работ	C ₂₂	C ₂₂	C ₂₂	C ₂₂	C ₂₂	C ₂₂	C ₂₂	C ₂₂	C ₂₂	C ₂₂	C ₂₂	C ₂₂

$$T(t+\Delta t) = \begin{cases} T_1(T_{1,1}), \text{ если } (T(i) = T_{1,1}) \cap (N_{nc\delta}(i) < N_{nc\delta}); \\ T_1(T_{1,2}), \text{ если } (T(i) = T_{1,2}) \cap (N_{nu\delta}(i) < N_{nu\delta}) \cup (T(i) = T_{1,1}) \cap (N_{nc\delta}(i) \geq N_{nc\delta}); \\ T_1(T_{1,3}), \text{ если } (T(i) = T_{1,3}) \cap (N_{nc}(i) < N_{nc}) \cup (T(i) = T_{1,2}) \cap (N_{nu\delta}(i) \geq N_{nu\delta}); \\ T_2, \text{ если } (T(i) = T_2) \cap (N_c(i) < N_o) \cup (T(i) = T_{1,3}) \cap (N_{nc}(i) \geq N_{nc}); \\ T_3, \text{ если } (T(i) = T_3) \cap (N_\phi(i) < N_\phi) \cup (T(i) = T_2) \cap (N_c(i) \geq N_o); \\ T_4(T_{4,1}), \text{ если } (T(i) = T_{4,1}) \cap (N_n(i) < N_n) \cap (T(i) = T_3) \cap (N_\phi(i) \geq N_\phi); \\ T_4(T_{4,2}), \text{ если } (T(i) = T_{4,2}) \cap (N_o(i) < N_o) \cup (T(i) = T_{4,1}) \cap (N_n(i) \geq N_n); \\ T_4(T_{4,3}), \text{ если } (T(i) = T_{4,3}) \cap (N_{mu}(i) < N_{mu}) \cup (T(i) = T_{1,2}) \cap (N_o(i) \geq N_o); \\ T_5, \text{ если } (T(i) = T_5) \cap (N_{kk}(i) < N_{kk}) \cup (T(i) = T_{4,3}) \cap (N_{mu}(i) \geq N_{mu}); \\ T_6, \text{ если } (T(i) = T_6) \cap (N_{nn}(i) < N_{nn}) \cup (T(i) = T_5) \cap (N_{kk}(i) \geq N_{kk}); \end{cases}$$

где $N_{nc\delta}(t)$, $N_{nu\delta}(t)$, $N_{nc}(t)$ – случайная функция соответственно количества по-данного 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; $N_{nc\delta}$, $N_{nu\delta}$, 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.

Трансформация полученных математических моделей в имитационные осуществляется с помощью программных процедур алгоритмизации и включения в процесс моделирования на ЭВМ динамики протекания технологических процессов производства стеклотары во времени. При этом 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 отношении 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 (рис.2) 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.

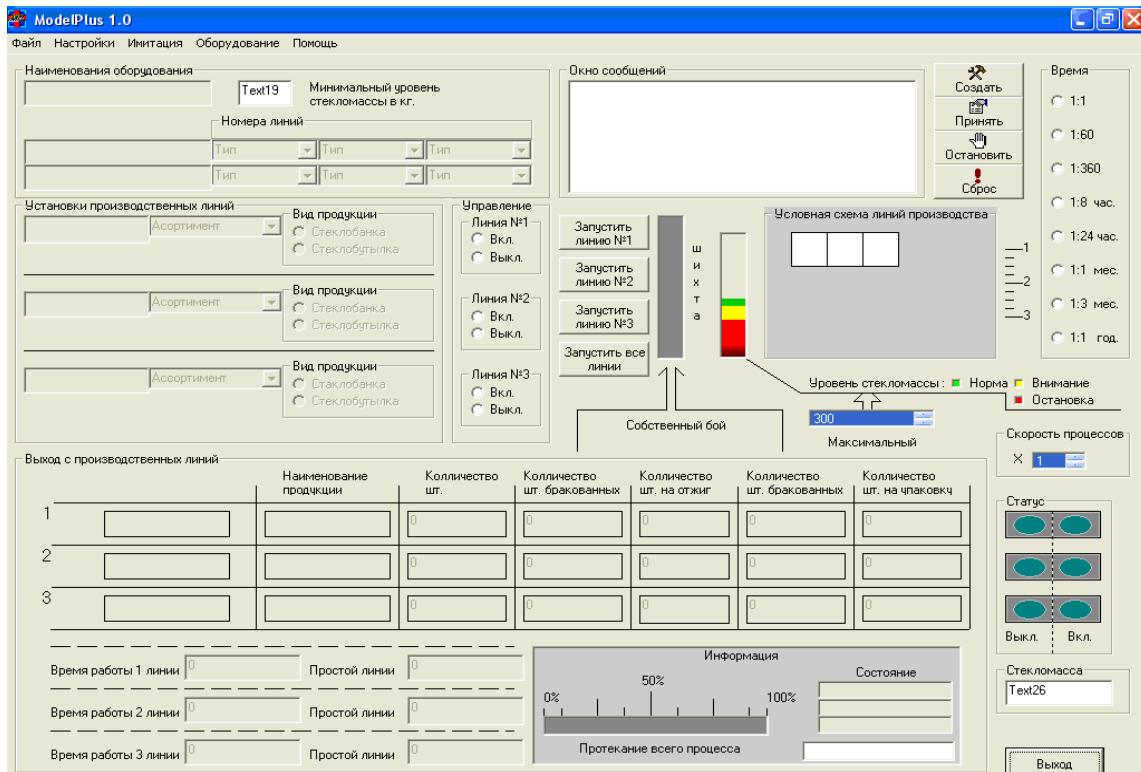


Рис.2. Главное окно программы ModelPus 1.0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. – М: Наука, 1978. – 401 с.
2. Морозова Е.В. Моделирование параметров функционирования технологических линий для поддержки задач управления стеклотарным производством. // Стекло мира №5/2007-с.89.
3. Морозова Е.В. Моделирование технологических процессов производства стеклотары. // Стеклянная тара №10/2007-с.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 ВолгГТУ, 2006-с.189-192.

THE FUNCTIONAL-STRUCTURAL MODELLING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF GLASSWARE MANUFACTURES

Redko S.G., Morozova E.V.

St. Petersburg State Polytechnical University, St. Petersburg, Russia

Kamyshin Technological Institute (branch)

cf Volgograd State Technical University, Kamyshin, Russia

This article gives mathematical and algorithmic descriptions of an imitation model of the technological process of glassware 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).