УДК 666.1.022.4

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННОГО ПОДХОДА ДЛЯ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ВАРКИ СТЕКЛА

Ярославцев И.А., Петров Д.Ю.
iac_sstu@mail.ru
Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Институт проблем точной механики и управления РАН,
Россия, Саратов

Аннотация. Построена модель технологического процесса варки стекла с последующей декомпозицией на нижние уровни технологического процесса на основе использования аппарата причинно-следственных комплексов. Предложенная модель позволяет анализировать процесс стекловарения, выявлять возможность возникновения аварийных ситуаций и оптимизировать процесс производства.

Ключевые слова: варка стекла, математическая модель, причинно-следственный комплекс.

APPLICATION CAUSAL SUITABLE FOR SYSTEM ANALYSIS PROCESS GLASS MELTING

Yaroslavl I.A., Petrov D.Y.
iac_sstu@mail.ru
Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Institute of Precision Mechanics and Control, Russian Academy of Sciences,
Russia, Saratov

Abstract. A model of the glass melting process, followed by decomposition of the lower levels of the process based on the use of the device causal complexes. The proposed model allows us to analyze the process of glass making, the ability to identify emergency situations and to optimize the production process.

Keywords: glass melting, mathematical model, causal complex.

Варка стекла является сложным физико-химических процессом, оказывающим существенное влияние на качество листового стекла. Для исследования технологического процесса варки стекла используются различные инструменты математического моделирования. Наиболее подходящим методом для исследования причинно-следственных связей варки стекла является применение причинно-следственных комплексов [3].

Для каждого звена причинно-следственного комплекса технологического процеса варки листового стекла выявляют причины, следствия и условия на основе анализа командно-информационных процессов, процессов управлния персоналом, оборудованием, энергетическими и сырьевыми ресурсами.

Время варки стекла, расход газа и отсутствие дефектов листового стекла зависят от качества стекольной шихты, которое определяется не только степенью химической чистоты ее компонентов, но и гомогенностью их смеси при поступлении в варочную печь.

Технологический процесс варки стекла делится на пять стадий: силикатообразование, стеклообразование, осветление, гомогенизация, студка [2].

При варке стекла шихта поступает через загрузочный карман в печь и под воздействием высоких температур ее компоненты начинают реагировать, последовательно образуя все более сложные силикаты. Процесс силикатообразования протекает в интервале температур 300-900 С^{o}. Конструкция стекловаренной печи, а также процесс движения по ней стекломассы представлены на рис. 1.

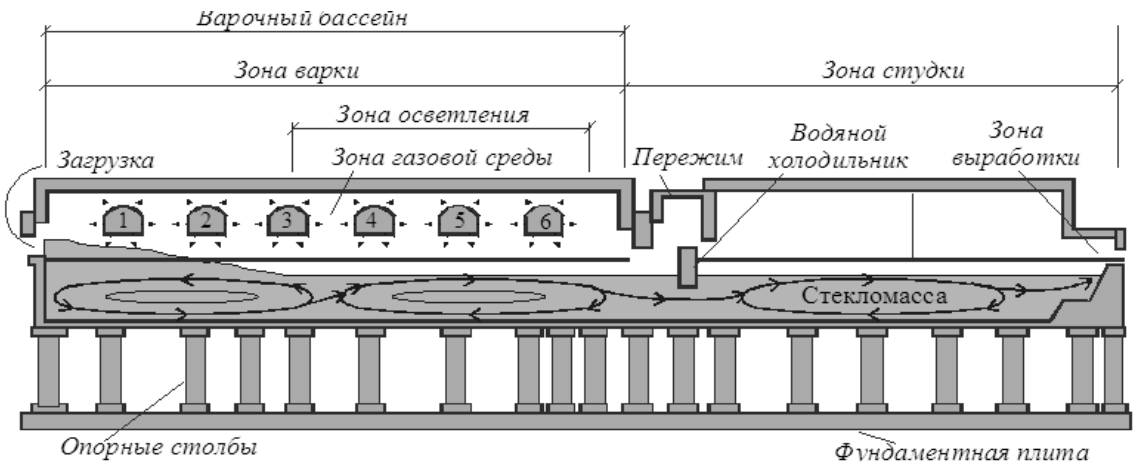

Рисунок 1. Конструкция стекловаренной печи

Когда силикатообразование завершено, шихта становится практически однородной полужидкой непрозрачной массой. При дальнейшем повышении температуры придвижении стекломассы в печи процесс стеклообразования продолжается путем осветления полученной непрозрачной массы. В зоне выработки она становится прозрачной. Температура в печи при движении стекло-

массы регулируются путем регулирования расходом природного газа в горелках 1-6 (рис. 1). Наибольшая температура около 1500 С^{o} находится в зоне третьей горелки. С четвёртой по шестую горелки происходит постепенное снижение температуры до примерно 1200 С^{o}. Варочная печь имеет три контура управления, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Контуры управления стекловаренной печи

Контур управления	Входная информация	Органы управления	Возмущающие воздействия
Температурным полем	Термопары, пирометры, расход газа, воздуха, давление внутри и снаружи ванной печи	Изменение расхода газа в каждой из 6 горелок	Изменение состава шихты, изменение калорийности газа, смена погодных условий, изменение съема, изменение давления в печи
Окислительно-восстановительными свойствами атмосферы	Датчики соотношения газа к воздуху, расход газа, воздуха, термопары, давление внутри и снаружи ванной печи	Изменение расхода газа и воздуха в каждой из 6 горелок	Изменение состава шихты, изменение калорийности газа, смена погодных условий, изменение съема, изменение давления в печи
Управление уровнем стекломассы в печи	Уровнемер стекломассы, съем стекла, скорость работы загрузчиков	Дозирующий шибер, загрузчики	Изменение съема, обслуживание устройств загрузочного кармана
Управление давлением в печи	Датчики давления в студке и печи, атмосферное давление	Компрессоры воздуха для студки, шибер на дымовой трубе	Изменение температурного режима печи, погодных условий, расход газа и воздуха

Основа теории – формализация причинно-следственных связей, существующих в моделируемой системе, в виде звеньев особой структуры. Звено состоит из двух групп – причины и следствия. Группа причины состоит из условия срабатывания причинно-следственной связи и причины. Группа следствия состоит из следствия, образованного в результате реализации группы

причины и условием срабатывания новой причинно-следственной связи, возникшим также в результате реализации группы причины. Все субъекты звена содержатся в универсуме Ω, которы определяется прикладной областью. Ядро звена содержит связь причины, дополненной факторами условия со следствием (являющимся также целью системы в целом) и показывающий новую причинно-следственную связь, являющуюся побочным продуктом функционирования звена.

Технологический процесс варки стекла является непрерывным. Для использования теории причинно-следственных комплексов необходимо рассматривать процесс как дискретный с делением на участки $t_1, t_2, ..., t_n, ...$ с шагом h.

Каждый из этапов ТП варки стекла выполняется с единым объемом стекломассы. Для представления непрерывного процесса дискретными участками необходимо разделить единый объём стекломассы на условно раздельные фрагменты, каждый из которых соответствует дискретному участку. Условием завершения звена служит переход условного фрагмента стекломассы на следующий технологический участок.

Для полноценного построения звена согласно теории причинно-следственных комплексов необходимо ввести в звено обратную связь – определить влияние условия следствия на условие причины для следующего такта работы звена. Для этого используется операция o_{20} из аппарата алгебры причинно-следственных комплексов. Обозначим $H_1' = o_{20}(H_1)$ и $H_2' = o_{20}(H_2)$, где H_1, H_2 – звенья, моделирующие первый и второй условные технологические участки внутри стекловаренной печи на протяжении одного такта. Затраты энергетических, материальных и информационных средств при переходе между условными технологическими участками отображаются связью следствия звена H_1' с причиной звена H_2'. Для этого используется операция o_1 из аппарата алгебры причинно-следственных комплексов. Результатом данной операции является звено $H_3 = o_1(H_1', H_2')$, являющиеся составным для звеньев H_1 и H_2 с учётом моделирования их связей.

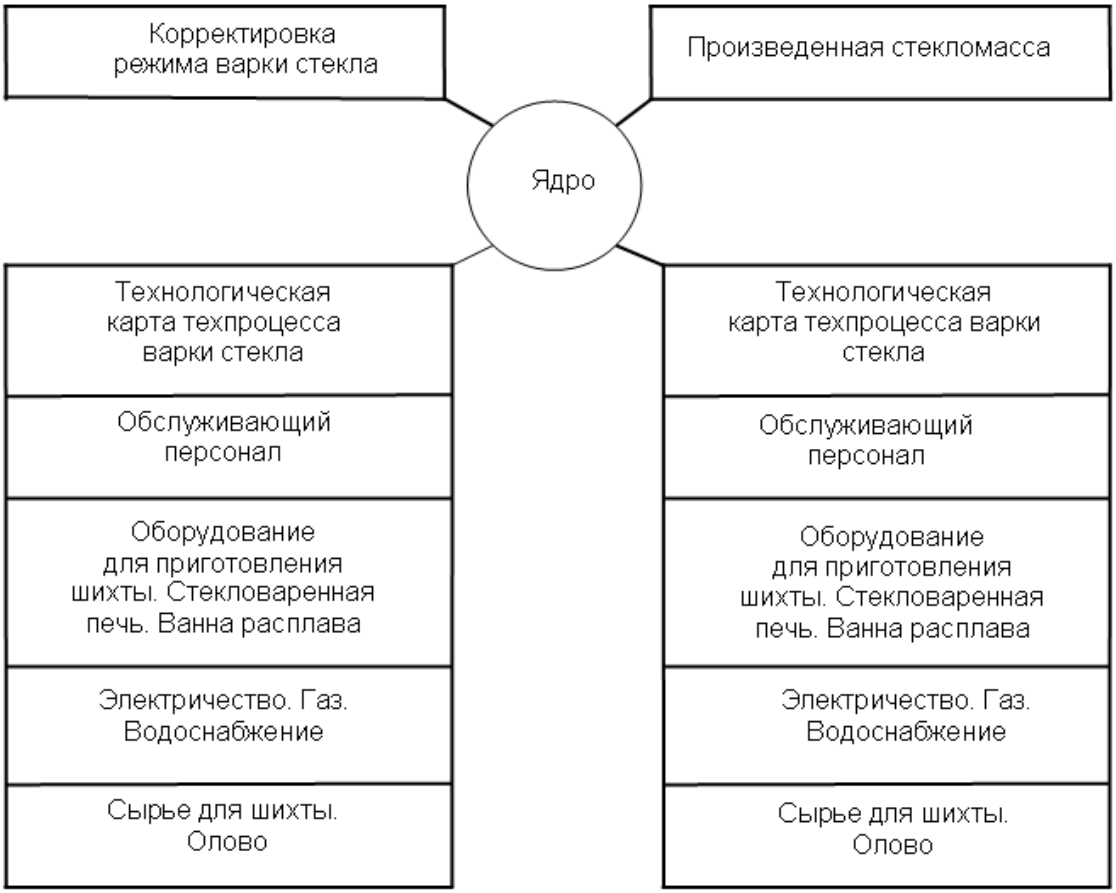

Рисунок 2. Генеральное звено причинно-следственных связей для технологического процесса варки стекла

Каждое звено может быть декомпозировано в цепь более мелких звеньев, отображающих технологию условного участка. Они основаны на физических процессах, протекающих в печи, и в зависимости от них могут использовать другую схему соединения звеньев.

Реализуем построение причинно следственного комплекса для моделирования варки стекла. Для этого также выполним декомпозицию техпроцесса до его составных операций. Генеральное звено причинно-следственного комплекса для варки стекла представлено на рис. 2.

Подвергнем генеральное звено декомпозиции. На данном уровне декомпозиции генеральное звено представляет цепь из причинно-следственных звеньев, отображающих основные этапы варки-выработки листового стекла: производство шихты, стекловарение и формование стекла [1].

Звено «Стекловарение» моделирует непосредственно варку стекла и состоит из следующих причинно-следственных звеньев: силакатообразование, осветление стекломассы, охлаждение стекломассы. Декомпозиция звена «стекловарение» представлена на рис. 3.

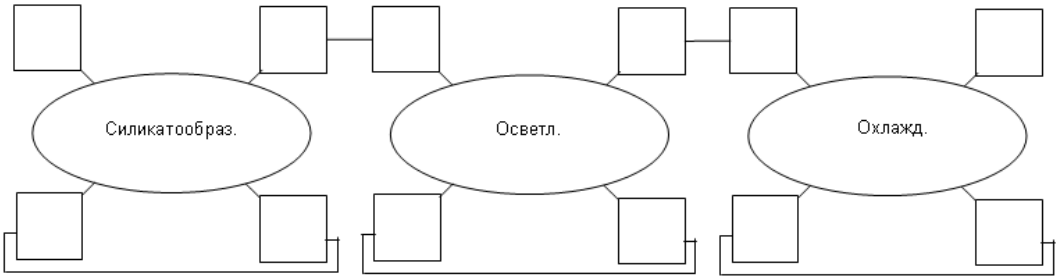

Рисунок 3. Декомпозиция звена «Стекловарение»

Последний уровень декомпозиции можно рассмотреть на примере звена «Осветление». Данный уровень декомпозиции состоит из следующих причинно-следственных звеньев: Нагревание стекломассы свыше 900 градусов для завершения процессов силикатообразования, определение начала процесса осветления стекла и равномерный подогрев до 1500 градусов, движение стекломасс для их полного и равномерного осветения, накопление приготовленной стекломассы и ее передача на участок охлаждения. Декомпозиция звена «Осветление» представлена на рис. 4.

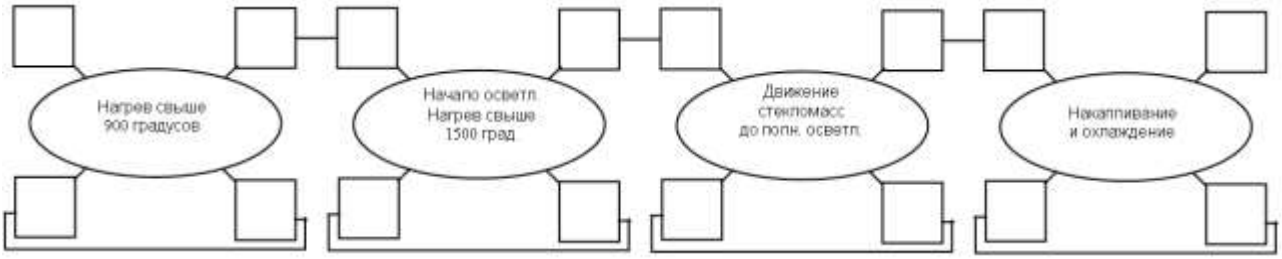

Рисунок 4. Декомпозиция звена «Осветление»

В результате использования аппарата причинно-следственных комплексов построена модели технологического процесса варки стекла с последующей

декомпозицией ее на нижние уровни техпроцесса. Разработанная модель позволяет анализировать процесс стекловарения, отслеживать возможность возникновения аварийных ситуаций и оптимизировать процесс производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Домнич В.С., Аветисян Ю.А., Петров Д.Ю. Причинно-следственный подход для системного анализа производства листового стекла // Вестник СГТУ. 2010. № 4(50). С.75-79.

2. Джашитов В.Э., Панкратов В.М., Голиков А.В. Математическая модель динамических тепломассообменных процессов в стекловаренной печи. Инженерно-физический журнал, 2003. Т. 76, N5. С.117-124.

3. Резчиков А.Ф., Твердохлебов В.А. Причинно-следственные комплексы взаимодействий в производственных процессах // Проблемы управления. 2010. № 3. С. 51-59.