

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ
ГИБКОГО МНОГОАССОРТИМЕНТНОГО ПРОИЗВОДСТВА
ГРАНУЛИРОВАННЫХ ПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ****И. В. Новожилова, Т. Б. Чистякова, Ю. И. Шляго (Санкт-Петербург)**

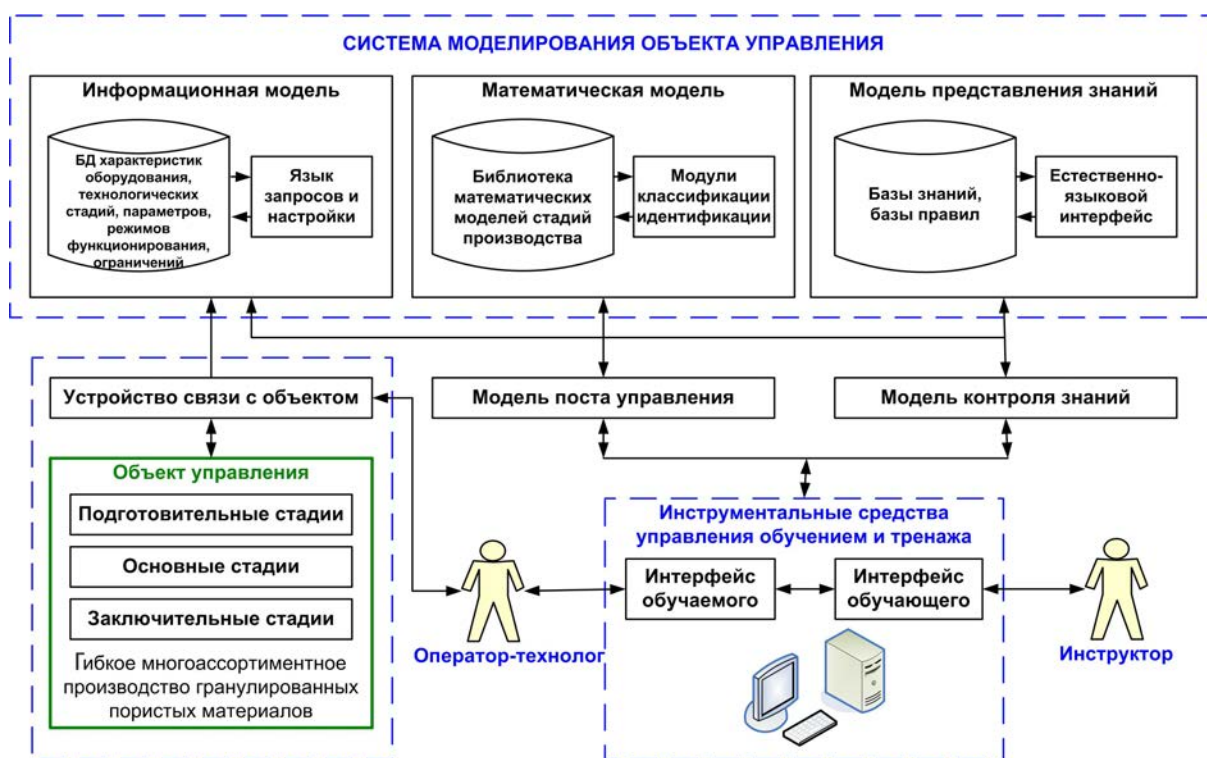
Компьютерные тренажеры – одно из наиболее эффективных средств обучения оперативного персонала методам безопасного и качественного ведения технологического процесса. Последнее десятилетие отмечено широким распространением систем компьютерного тренинга операторов технологических процессов, ставшее возможным благодаря качественно новым информационным технологиям. Классическая структурная схема любого тренажёра включает в себя: интерфейс оператора, пульт инструктора, систему имитации, моделирующую вычислительную систему, дополнительное периферийное оборудование и устройство связи с объектом (УСО). В тех случаях, когда основным компонентом рабочего места оператора являются автоматизированные рабочие места на основе ПК, необходимость в сложных специализированных УСО отпадает, так как обмен данными реализуется на основе известных сетевых решений. Основным компонентом компьютерных тренажеров является имитационная модель объекта управления. *Имитационные модели* – модели, отображающие поведение исследуемого объекта во времени при задании внешних воздействий на объект, особенно важны при разработке алгоритмов обучения, т.к. многие задачи обучения сводятся к исследованию поведения объекта обучения во времени и выбору своевременных управлений для компенсации возмущений по переводу объекта в «безопасные» пороговые ограничения параметров.

Производство гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц (носителей, катализаторов и сорбентов специального назначения) является многоассортиментным малотоннажным производством на основе гибкой перенастраиваемой технологии, которое обеспечивает выпуск высококачественной продукции широкого ассортимента указанных материалов. Многоассортиментность данного производства, его гибкость заключается в возможности построения различных технологических линий для выпуска продукции определенного класса. Формирование конкретных технологических цепочек путем интеграции отдельных технологических стадий и соответствующего оборудования позволяет производить продукцию различного назначения с заданными свойствами, а также экономить технологические ресурсы. Процесс синтеза гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц можно разделить на следующие обобщенные стадии: подготовительные (приготовление рабочих растворов, помол), основные (смешение, гомогенизация, протирка, гранулирование, провялка, сушка, прокаливание) и заключительные (фасовка, упаковка). Причем, основные стадии процесса гарантируют получение материалов с заданными требованиями по качеству выпускаемой продукции. К качеству гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц предъявляются высокие требования, в связи с чем необходимо оперативное устранение аварийных ситуаций, связанных с неполадками оборудования, и штатных ситуаций, связанных с ухудшением показателей качества продукции.

Задачи управления многоассортиментным производством гранулированных пористых материалов из тонкодисперсных частиц можно сформулировать следующим образом.

1. Управление при перенастройке на новый вид продукции.
2. Управление отдельными стадиями процесса синтеза.
3. Управление при возникновении штатных ситуаций.

Функциональная структура системы обучения операторов для гибкого многоассортиментного производства гранулированных пористых материалов показана на рисунке.



Функциональная структура системы обучения операторов

Формализованное описание производства гранулированных пористых материалов может быть представлено в виде вектора:

$$PD = \{P, M, \Phi, K, S, D, C, PC, O, R\}, \quad (1)$$

где $P = \{P_1, \dots, P_{Np}\}$ – вектор, описывающий тип выпускаемой продукции (сорбент, носитель, катализатор);

$M = \{M_1, \dots, M_{Nm}\}$ – марка типа продукции (наименование конечного продукта);

$\Phi = \{\Phi_1, \dots, \Phi_{N\phi}\}$ – вектор, описывающий форму гранул продукта (сфера, черенок);

$KP = \{KP_1, \dots, KP_{Nk}\}$ – требования по качеству продукции (прочность гранул, удельная поверхность, суммарный объем пор и т.п.);

$S = \{S_1, \dots, S_{Ns}\}$ – вектор, описывающий исходное сырье;

$D = \{D_1, \dots, D_{Nd}\}$ – вектор, описывающий рецептуры для производства продуктов (возможно получение одного и того же конечного продукта по различным рецептурам);

$C = \{C_1, \dots, C_{Nc}\}$ – вектор, описывающий стадии синтеза гранулированных пористых материалов;

$PC_i = \{PC_{i1}, \dots, PC_{iNpc}\}$ – последовательность данных стадий;

$O = \{O_1, \dots, O_{No}\}$ – вектор, описывающий характеристики оборудования (тип, площадь поверхности, емкость и другие характеристики);

$R = \{R_1, \dots, R_{Nu}\}$ – вектор, описывающий режимы функционирования стадий и оборудования (время пребывания, температура).

Для моделирования нештатной ситуации необходимо описать место возникновения ситуации, момент системного времени, при котором возникает ситуация (t), параметр объекта (V), определяющий ситуацию и его пороговое ограничение (L).

$$\tilde{N}_j = \{t \mid v_j \leq v_j^L\}, \quad (2)$$

где $V = \{X, U, Y\}$ – вектор параметров объекта соответственно: $X = \{\Pi, M, \Phi, S, D, C, O\}$ – входных, $U = \{R\}$ – управляющих, $Y = \{KP\}$ – выходных; j – индекс принадлежности к месту возникновения ситуации (иерархическому уровню – аппарату, стадии, процессу).

К возникновению ситуации приводят разнообразные причины. Моделирование причины ситуации и является в терминах имитационного моделирования формированием «процесса». Сформулировать «процесс» объекта обучения – это значит смоделировать изменение состояния объекта во времени при возникновении ситуации:

$$Y^C(t) = \{X^C(t), U^N(t), K^N(t), L^N(t)\}, \quad (3)$$

где K – вектор коэффициентов имитационной модели.

Для успешного синтеза новых гранулированных сорбентов и катализаторов и для повышения эффективности существующей технологии производства требуется создание математического обеспечения и интеграция его в систему имитационного моделирования. Обычно из процесса производства гранулированных пористых материалов можно выделить одну или несколько стадий (ключевые стадии), оказывающих наибольшее влияние на показатели качества процесса.

Формализованное описание стадии сушки можно представить в виде:

$$Y_1 = \{X_1, U_1, K_1, t\}, \quad (4)$$

где X_1 – вектор входных характеристик (технологических и конструктивных характеристик аппаратного обеспечения; технологических переменных, характеризующих высушиваемый материал);

$X_1 = \{X_{11}, X_{12}\}$ – переменные, зависящие от аппаратной реализации и переменные, характеризующие высушиваемый материал, соответственно;

$U_1 = \{\tau\}$ – вектор управляющих воздействий, τ – время сушки;

$Y_1 = \{W, T_M, T_B\}$ – вектор выходных переменных, W – влажность продукта, T_M – температура материала, T_B – температура воздуха в сушильном шкафу;

$K_1 = \{\beta, \alpha\}$ – вектор коэффициентов математической модели, β, α – коэффициенты массоотдачи и теплоотдачи, соответственно.

Для стадии прокаливания:

$$Y_2 = \{X_2, U_2, K_2, t\}, \quad (5)$$

где $X_2 = \{T_0, \tau_0\}$ – вектор входных характеристик, T_0 – начальная температура воздуха в камере муфельной печи, τ_0 – начальное время выдержки;

$U_2 = \{\tau, T\}$ – вектор управляющих воздействий, τ – период прокаливания, T – температура прокаливания;

$Y_2 = \{S_{уд}, V_{\Sigma}, P_P\}$ – вектор выходных переменных, $S_{уд}$ – удельная поверхность, V_{Σ} – суммарный объем пор, P_P – прочность гранул;

K_2 – вектор эмпирических коэффициентов математической модели для настройки модели на разные виды сорбционно-каталитической продукции.

Математические модели (ММ) стадии сушки и стадии прокаливания гибкого многоассортиментного производства гранулированных пористых материалов приведены в [1, 2].

Для решения задачи синтеза тренажерных математических моделей необходимо разработать *библиотеки базовых ММ*, описывающих функционирование объекта в номинальном режиме (эксплуатационном, допустимом по регламенту), *библиотеки настраиваемых модулей типовых нарушений* объекта в нештатных ситуациях (предварительной, аварийной и др.), *библиотеки методов решения ММ* при реализации различных стратегий обучения.

Так как объектом моделирования являются нештатные ситуации, на первом этапе синтеза моделей необходимо систематизировать типовые нарушения (ситуации) и *причины*, их вызывающие. Система обучения операторов для процессов получения гранулированных пористых материалов включает описание 55 нештатных ситуаций, 91 причину и 92 рекомендации по их устранению.

Нештатные ситуации можно разделить на следующие типы: нарушение размеров и формы гранул, несоответствие гранул требованиям к фазовым (кристаллохимическим) и структурно-прочностным характеристикам, нарушение требований к показателям качества, контролируемых визуально.

Первым этапом автоматизированного синтеза моделей типовых нарушений является разработка фрейма типовых нарушений объекта обучения.

Вторым этапом является разработка ММ соответствующих причин. Базовой моделью остается модель, позволяющая моделировать эксплуатационные, номинальные режимы функционирования.

Для моделирования *эксплуатационных ситуаций* (нарушений оптимальных, допустимых, эксплуатационных норм) достаточно изменения *параметров* базовой модели:

- управляющих воздействий U_{var} ;
- входных параметров объекта X_{var} ;
- коэффициентов функциональной модели K_{var} , например, коэффициентов массоотдачи, теплоотдачи при моделировании стадии сушки и др.

При моделировании ситуации базовая модель продолжает функционировать, однако приоритетность аварийной ситуации переключает внимание обучаемого на параметры, определяющие аварийную ситуацию, сопровождаемую, как правило, звуковой и световой сигнализацией.

Разработка информационного обеспечения системы обучения операторов для производства гранулированных пористых материалов проводилась с использованием визуальной среды разработки баз данных Microsoft Access и интегрированной объектно-ориентированной среды программирования Borland C++ Builder.

Разработанное информационное обеспечение системы включает базы данных технологических режимов и параметров (228), характеристик сырья (33) и материалов (16), характеристик конечных продуктов (60), оборудования (160).

Для обеспечения наибольшего удобства пользователя большое внимание уделено разработке графического интерфейса оператора. Реализована возможность редактирования и просмотра базы данных рецептов, исходного сырья, просмотра состава изготавливаемой катализаторной пасты и состояние запасов сырья на складе. В результате работы системы на интерфейс пользователя осуществляется вывод возникшей на производстве нештатной ситуации, причин ее возникновения и рекомендаций по ее устранению.

Система обучения операторов для производства гранулированных пористых материалов показала свою работоспособность. Тестирование системы проведено на при-

мере производства различных типов сорбционно-каталитической продукции: алюмохромфосфатного катализатора (АХФ), алюмофосфатного сорбента-осушителя (АФ) и носителя – шарикового активного оксида алюминия (ШАОА).

Литература

1. **Чистякова Т.Б., Шляго Ю.И., Юдинцева Ю.Е.** Математическая модель процесса сушки гранулированных материалов//Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-16: Труды XVI Междунар. науч. конф. в 10 т., т. 10, секция 11/ Под общ. ред. проф. В.С. Балакирева/– СПб: СПб ГТИ (ТУ). – 2003. – С. 13–14.
2. **Чистякова Т.Б., Шляго Ю.И., Юдинцева Ю.Е.** Математическая модель процесса прокаливания для управления гибким многоассортиментным производством синтеза гранулированных пористых материалов//Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-17: Труды XVII Междунар. науч. конф. в 10 т., т. 10, секция 11/Под общ. ред. проф. В.С. Балакирева/– Кострома, 2004. – С 13–14.