

UDC 519.876.2

Program Trainer for Operator of Phosphoric Acid production by Wet-Process¹Vladimir A. Krivonosov²Valery V. Sokolov³Vladimir A. Babenkov

¹ Stary Oskol technological Institute named after A.A. Ugarov, branch of Federal state educational Institution of higher professional education "National research technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Russia

Stary Oskol, 309516, Makarenko Street, 42

PhD (Technical), Associate professor

E-mail: krivonosov_v_a@mail.ru

² Research Institute for Fertilizers and insectofungicides the Professor Ya.V.Samoylova, Russia

Moscow, 119333, Leninskiy avenue, 55/1, building 1

PhD (Technical)

E-mail: bbc1953@mail.ru

³ Stary Oskol technological Institute named after A.A. Ugarov, branch of Federal state educational Institution of higher professional education "National research technological University "Moscow Institute of Steel and Alloys", Russia

Stary Oskol, 309516, Makarenko Street, 42

PhD student

E-mail: bva211@yandex.ru

Abstract. This article considers the major problems of operator of phosphoric acid production by wet-process during production control, develops program trainer, enabling to speed up the process of operators training, promote their professional qualifications and the production control.

Keywords: process; program trainer; mathematical modeling; optimal control.

Введение. Ортофосфорная (фосфорная) кислота H_3PO_4 является важнейшим промежуточным продуктом в производстве концентрированных фосфорсодержащих удобрений [1-5]. Производство экстракционной фосфорной кислоты в отделении экстракции ЭФК-3,4 ООО «Балаковские минеральные удобрения» заключается в сернокислотном разложении апатитового концентрата с образованием фосфорной кислоты, полугидрата сульфата кальция, фторсодержащих газов, последующим разделением осадка фосфополугидрата и фосфорной кислоты, содержащей 35,0–37,0 % P_2O_5 , на карусельном вакуум-фильтре.

Процесс разложения апатитового концентрата и кристаллизация фосфополугидрата протекает в экстракторе, состоящем из двух цилиндрических емкостей, соединенных между собой в верхней части перетоком. Рабочий объем каждой емкости составляет около 450 м³, производительность реактора по апатиту - около 100 т/ч.

В первой емкости экстрактора установлено 6 мешалок и циркулятор пульпы, создающий во всем объеме мощный циркуляционный поток с расходом пульпы 5000 м³/час, за счет чего гидродинамический режим в первой емкости близок к модели «идеального мгновенного перемешивания». Это позволяет достичь гомогенности пульпы и ликвидировать локальные зоны её пересыщения ионами SO_3^{--} и CaO , что обеспечивает полное разложение апатита и начальное формирование изометрических кристаллов фосфополугидрата [1, 4, 5].

Пульпа во второй емкости реактора движется направленным потоком по кольцевому пространству, а затем поступает в центральную секцию, откуда насосами откачивается на фильтры. Такое устройство второй емкости позволяет приблизить её гидродинамический режим к модели «идеального вытеснения». Во вторую емкость подается небольшое количество серной кислоты (5–10 % от расхода в первую емкость), что обеспечивает

дозревание пульпы и завершение формирования кристаллов фосфополуhydrата с оптимальными для фильтрации формой и размерами [1].

Фильтрация пульпы из экстрактора осуществляется на трех карусельных вакуум-фильтрах К100-15К-2 с рабочей поверхностью каждого 80 м².

Эффективность процессов экстракции и фильтрации характеризуется, прежде всего, коэффициентом выхода Р₂О₅ [1, 6, 7] из апатитового концентрата в фосфорную кислоту:

$$K_{\text{вых}} = K_{\text{изв}} * K_{\text{отм}} / 100,$$

где $K_{\text{изв}}$ – коэффициент извлечения Р₂О₅ в раствор, %;

$K_{\text{отм}}$ – коэффициент отмывки фосфополуhydrата, %.

Коэффициенты извлечения, отмывки и выхода должны быть не менее 97,4 %, 98 % и 95,4 % соответственно. Эти показатели достигаются только при высокой точности и синхронности дозировки реагентов, создании оптимального концентрационного и температурного полей в системе, поддержании необходимого уровня пульпы в экстракторе [1, 6, 7]. Отклонение от оптимальных характеристик ведет к потерям сырья, получению некачественного продукта и к снижению производительности технологической линии.

В настоящее время важнейшим звеном системы управления технологическим процессом производства экстракционной фосфорной кислоты является оператор, который не только наблюдает за процессом, но и принимает решения по изменению расходов основных материальных потоков [6].

В данной публикации рассмотрены задачи, цели и проблемы управления технологическим процессом (ТП) производства ЭФК, а также представлены результаты разработки и применения программного тренажера, позволяющего повысить эффективность обучения операторов ТП что, в конечном счете, обеспечивает рост эффективности производства, эффективность технологического процесса.

Описание объекта управления.

Перед оператором ТП производства ЭФК стоит задача управления расходами по шести потокам:

- $F_{\text{АП}}$ - апатит, т/час;
- $F_{\text{H}_2\text{SO}_4}^1$ - H_2SO_4 в 1-й бак экстрактора, м³/час;
- $F_{\text{H}_2\text{SO}_4}^2$ - H_2SO_4 во 2-й бак экстрактора, м³/час;
- $F_{\text{Фил}}$ – пульпа на фильтры, м³/час;
- $F_{\text{ПРОМ}}$ – вода на промывку фосфополуhydrата, м³/час;
- $F_{\text{ПРОД}}$ – производственная кислота в сборник, м³/час.

Целью управления является поддержание оптимальных значений физико-химических параметров, характеризующих ТП:

- $C_{\text{SO}_3}^1$ - массовая концентрация свободной SO₃ в фильтрате пульпы первой емкости экстрактора, г/дм³;
- $C_{\text{SO}_3}^2$ - массовая концентрация свободной SO₃ в фильтрате пульпы второй емкости экстрактора, г/дм³;
- $C_{\text{P}_2\text{O}_5}^1$ - массовая концентрация Р₂О₅ в фильтрате пульпы первой емкости, %;
- $C_{\text{ТВ}}$ - соотношение жидкой и твердой фаз пульпы первой емкости (Ж:Т);
- Н - уровень пульпы в первой емкости экстрактора, м.

При этом расход апатита определяет производительность технологической линии и выбирается оператором исходя из наличия сырья, пропускной способности фильтров и смежных технологических агрегатов. Температура пульпы в экстракторе $t_{\text{Пул}}$ регулируется автоматически путем изменения подачи воздуха $F_{\text{ВОЗД}}$ в аппарат воздушного охлаждения и, как правило, не требует вмешательства оператора.

С точки зрения управления, участок «экстрактор-фильтр» является многомерным, многосвязным, весьма инерционным объектом с различной динамикой по различным каналам управления. Упрощенная схема объекта представлена на рис. 1.

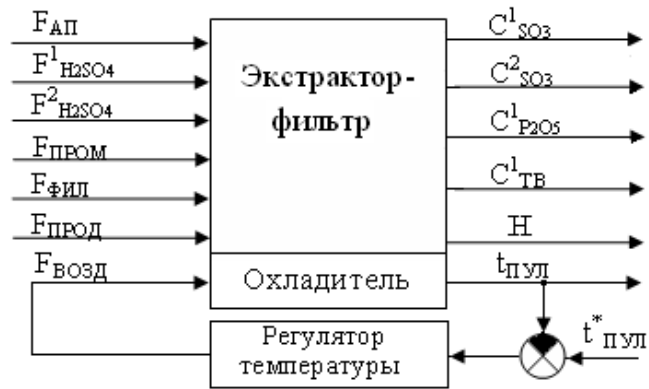


Рис. 1. Схема управления процессом экстракции ($t_{\text{ПУЛ}}^*$ – заданное значение температуры пульпы)

Контроль характеристик пульпы осуществляется 1 раз в два часа в результате экспресс-анализа. Отсутствие приборов автоматического контроля состава пульпы, значительные инерционные свойства экстрактора не всегда позволяют оперативно обнаружить и ликвидировать отклонения от оптимального режима экстракции.

Задача управления осложняется наличием примесей в сырье, появлением систематических погрешностей в показаниях расходомеров из-за отложения в трубопроводах твердых продуктов реакции. Поэтому определение оптимальных уставок по всем управляемым потокам отделений экстракции и фильтрации для оперативного персонала является сложной задачей, успешное решение которой требует глубокого понимания технологического процесса, длительного обучения и стажировки под руководством опытных, высококвалифицированных наставников.

Одним из наиболее эффективных подходов к обучению и совершенствованию подготовки специалистов практически всех отраслей промышленности является применение компьютерных тренажеров операторов технологических процессов реального времени. Основная задача таких тренажеров – формирование комплексного навыка принятия решений, который основывается на возможности смоделировать динамический отклик объекта и системы управления на управляющие воздействия оператора [8, 9, 10].

Для построения тренажера авторами разработана многомерная динамическая модель объекта управления в форме системы разностных уравнений, полученных из условий материального баланса. На основе математической модели построена связанная система оптимального управления процессом, обеспечивающая достаточно быстрый монотонный выход параметров ТП в заданный режим. Поведение процесса, управляемого оптимальной системой, является эталоном для обучаемого.

Результаты и их обсуждение.

Тренажер оператора ТП производства ЭФК ООО «Балаковские минеральные удобрения» представляет собой конфигурацию SCADA-системы Siemens Simatic WinCC v.7.0, функционирующую в среде ОС Windows на современном персональном компьютере с аппаратными характеристиками среднего уровня.

Тренажер выполняет две основные функции:

- расчет по математической модели переходных процессов, возникающих в рассматриваемой системе при выбранных расходах шести потоков (имитация ТП);
- определение оптимальных значений управляющих воздействий и выдача их обучаемому для сравнения с его действиями.

Возможны два режима работы компьютерного тренажера: режим обучения и экзаменационный режим. Последний исключает доступ к рекомендациям системы оптимального управления и используется при контроле знаний операторов и технологов. Структурная схема тренажера приведена на рис. 2.

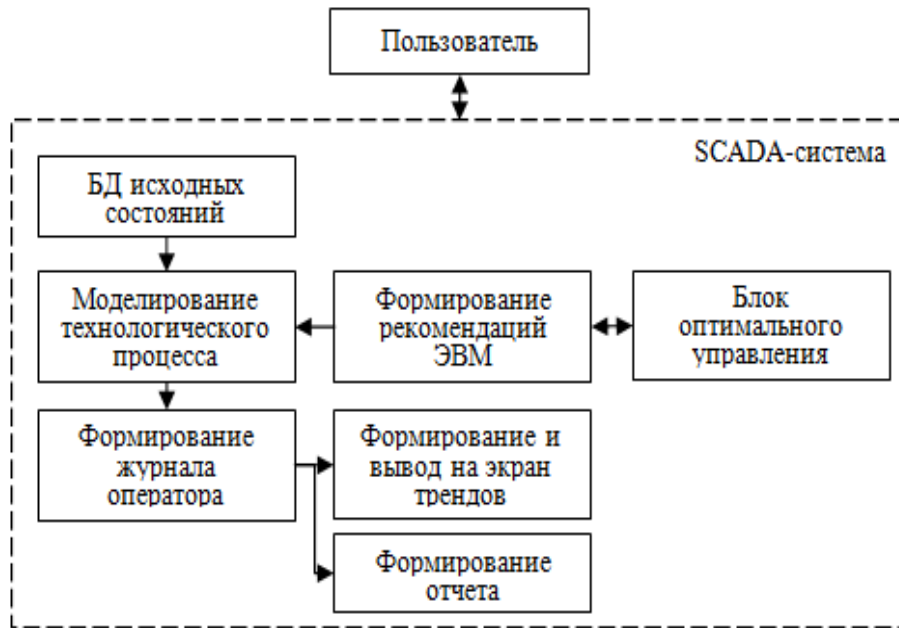


Рис. 2. Структурная схема тренажера оператора ТП производства ЭФК

Упрощенная схема алгоритма работы тренажера ТП производства ЭФК представлена на рис. 3.

Процесс обучения начинается с выбора одного из вариантов исходных состояний ТП, отличающихся по степени сложности от оптимального режима. После выбора варианта перед оператором отображается схема процесса, аналогичная мнемосхеме оператора ТП производства ЭФК на реальном предприятии. На схеме отражены главные узлы ТП, точки приложения управляющих воздействий, точки измерения характеристик процесса. В табличной форме показаны текущие и желаемые значения характеристик процесса.

Обучаемому доступны:

- краткая инструкция по управлению ТП, в которой отражены влияния изменения управляющих воздействий за 1 и 2 часа на характеристики процесса;
- журнал оператора, содержащий информацию об управлении и изменении характеристик в конце каждого часа управления;
- рекомендации ЭВМ по оптимальному выходу ТП на заданный режим (только в режиме обучения).

Обучаемый анализирует ситуацию и изменяет управляемые потоки для достижения требуемого режима. По математической модели рассчитываются значения выходных характеристик ТП, которые установятся через 1 час под влиянием выбранных управляющих воздействий. Обучаемому вновь предлагается установить управляющие воздействия на следующий час. Количество циклов тренажера равно количеству часов рабочей смены на реальном производстве (12 час), после чего на экран выдается информация об изменениях характеристик ТП за смену. В процессе обучения все вводимые и вычисляемые данные накапливаются в оперативной памяти компьютера, и формируются графики изменения входных и выходных параметров во времени (тренды). Переход к окнам трендов материальных потоков и характеристик ТП позволяет наглядно оценить и точнее проанализировать действия оператора и влияние их на параметры процесса.

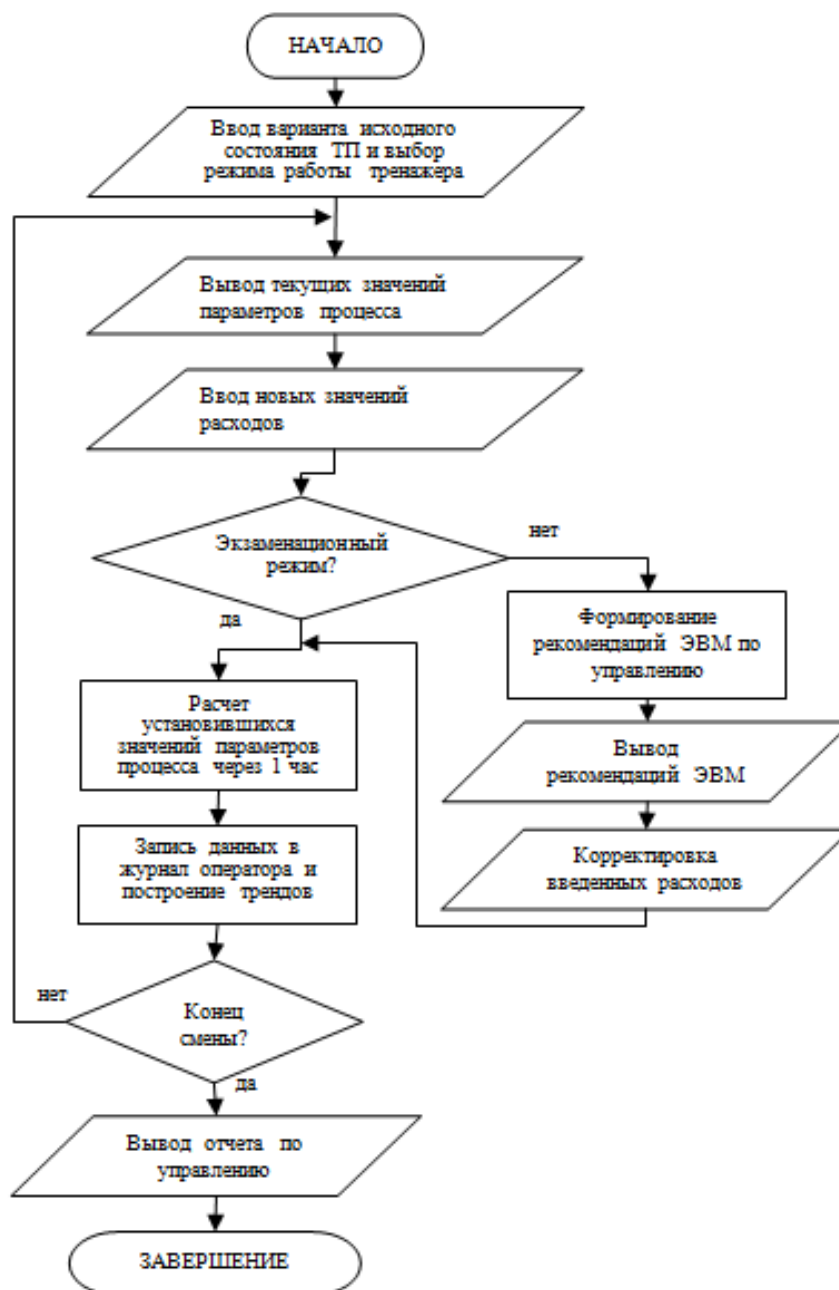


Рис. 3. Алгоритм работы тренажера

Выводы. Процесс обучения не утомителен и носит состязательный характер, когда обучаемый стремится предугадать оптимальные управляющие воздействия, рекомендуемые ЭВМ. После обучения операторов на тренажере существенно уменьшается число нарушений технологического регламента, и снижаются потери P_2O_5 при пусках агрегата после технического обслуживания, благодаря более рациональному выводу ТП в оптимальный режим.

Примечания:

1. Копылев Б.А. Технология экстракционной фосфорной кислоты. 2-е изд., перераб. Л.: Химия, 1981. 224 с.
2. Обзор рынка фосфорной кислоты в СНГ: аналит. обзор, август 2008 / ИнфоМайн, исследовательская группа.
3. Бесков В.С. Сафронов В.С. Общая химическая технология и основы промышленной экологии: Учебник для вузов. М.: Химия, 1999. 472 с.: ил.

4. Орошин В.А., Гриневиц А.В. Технология экстракционной фосфорной кислоты: Учебное пособие для рабочих профессий. М.: НИИТЭХИМ, 1988.
5. Технология неорганических веществ и минеральных удобрений: Учебник для техникумов / Мельников Е.Я., Салтанова В.П., Наумова А.М., и др. М.: Химия, 1983. 432 с., ил.
6. Технология фосфорных и комплексных удобрений / Под ред. С.Д. Эвенчика и А.А. Бродского. М.: Химия, 1987. 464 с.
7. Позин М.Е. Технология минеральных солей (удобрений, пестицидов, промышленных солей, окислов и кислот), ч.1, изд. 4-е, испр., Л.: Химия, 1974. 792 с.
8. Гурдзибеева А.Р. Исследование и разработка методов и алгоритмов имитационного моделирования для тренажеров операторов сложных объектов: дис., канд. техн. наук. Владикавказ, 2004. 188 с.
9. Повышение эффективности обучения операторов технологических процессов на базе компьютерных тренажеров / Осипова В.А., Данькина Г.Б. // Системы. Методы. Технологии. 2011. № 11. С. 106–114.
10. Гартман Т.Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: Учеб. пособие для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 416 с.: ил.

УДК 519.876.2

Программный тренажер оператора технологического процесса производства экстракционной Фосфорной кислоты

¹ Владимир Алексеевич Кривоносов

² Валерий Васильевич Соколов

³ Владимир Александрович Бабенков

¹ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Россия

309516, Старый Оскол, м-он Макаренко, 42

Доцент, кандидат технических наук

E-mail: krivonosov_v_a@mail.ru

² Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам имени профессора Я.В. Самойлова, Россия

119333, Москва, Ленинский проспект, 55/1, строение 1

Кандидат технических наук

E-mail: bbc1953@mail.ru

³ Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова (филиал) федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Россия

309516, Старый Оскол, м-он Макаренко, 42

Аспирант

E-mail: bva211@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены основные проблемы, возникающие перед оператором производства экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК) при управлении технологическим процессом. Разработан программный тренажер, позволяющий существенно ускорить процесс обучения операторов, повысить уровень их профессиональной подготовки и эффективность управления процессом.

Ключевые слова: технологический процесс; программный тренажер; математическое моделирование; оптимальное управление.