

УДК 658.5.011

В.С. БОЛДЫРЕВ

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)», г. Москва;
ФГБОУ ВО «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», г. Москва;
НПО «Лакокраспокрытие», г. Хотьково

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАУКОЕМКИХ МАЛОТОННАЖНЫХ МНОГОАССОРТИМЕНТНЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Ключевые слова: малотоннажная химия; организация производства; пэйнт-технологии; экспертная система; эффективность.

Аннотация. В статье изложена важность развития малотоннажных лакокрасочных производств на территории РФ. Описана структура и функциональные особенности разработанной экспертной системы, которая позволяет значительно сократить временные и материальные затраты на проектирование и реорганизацию действующих производств малотоннажной химии.

Введение

Анализ имеющихся данных о технологическом состоянии отдельных сфер реального сектора экономики страны выявляет острую необходимость технологического перевооружения практически всей промышленности. Так, например, в области химии и нефтехимии, прогресс в промышленном развитии которых в последнее время наиболее заметен, выявлены существенные недостатки в технологических укладах на действующих производствах. В частности, удельные энергозатраты на единицу продукции отечественных предприятий выше, чем у зарубежных в 1,5–2 раза. Подобная ситуация имеет место и в других отраслях, в том числе и в лакокрасочной.

Исторически развитие лакокрасочной от-

расли в СССР и РФ характеризовалось тенденцией к укрупнению производственных комплексов в целом и увеличению единичной мощности отдельных технологических аппаратов. Создавались крупномасштабные производственные комплексы, ориентированные на выпуск продуктов одного типа. Такие производства обладают жесткой структурой ассортимента.

В современной экономической ситуации предприятие должно максимально быстро удовлетворять требования конечного потребителя, т.е. производство должно без значительных затрат перенастраиваться на выпуск новой продукции, а технологическая база должна соответствовать общемировым трендам: энерго- и ресурсосбережению, экологической направленности производства, широкому применению CALS-технологий и т.д.

Для решения этой проблемы представляется перспективным создание гибких маломасштабных многоассортиментных производств, построенных по блочно-модульному принципу.

Анализ рынка

Лакокрасочные материалы (ЛКМ) являются весьма важным видом химической продукции, наиболее близким к реальному рынку товаров и точкой приложения научно-технических усилий по реализации высоких технологий. Данные характеристики привели к введению определения «пэйнт-технологий», обобщающего наукоемкие технологии производства и применения ЛКМ, отражающие научно-техни-

ческий прогресс в области окрашивания изделий и создания лакокрасочных покрытий (ЛКП) [1].

Около 60 % мирового рынка ЛКМ приходится на декоративные строительные и бытовые материалы. Данная сфера является крайне консервативной. Но и здесь прогрессивные технологические решения позволяют существенно повысить производительность лакокрасочных производств, а также обеспечить оптимальное функционирование производственных систем по целому комплексу показателей (экономические, экологические и пр.). По 4–5 % каждой области мирового рынка приходится на динамично развивающиеся сферы применения ЛКМ: автомобильные, авторемонтные, защитно-декоративные. Именно в этих областях ожидается научно-технический «скачок» к середине века. К ним можно отнести и ЛКМ для общего машиностроения (более 10 %).

Наиболее перспективной продукцией для инновационных малотоннажных предприятий являются защитные ЛКМ и материалы специального назначения с особыми (специфическими) свойствами.

Теоретический анализ

Работа малотоннажных предприятий и их перспективы должны быть спрогнозированы еще на стадии оценки эффективности инновационного проекта, т.е. еще на стадии проектирования [2]. Причем при коммерциализации необходимо оценивать не только конъюнктуру рынка, на котором будет реализовываться предлагаемая продукция, но и создавать конкурентоспособную гибкую технологию ее производства (а лучше и применения), позволяющую при изменении ситуации на рынке быстро перепрофилировать ее на другую, более перспективную. Например, при выпуске большой цветовой гаммы ЛКМ необходимо учитывать сложности перехода с одного цвета на другой, образующиеся при этом отходы при замывке и очистке оборудования, а также временные затраты при таком переходе, что требует оптимизации схемы как с точки зрения ассортимента, так и экономических показателей ее создания и функционирования.

Теоретические аспекты оптимальной организации многоассортиментных химических производств в принципе разработаны [3], предложены методы и алгоритмы формирования

расписаний работы многопродуктовых химико-технологических систем, оперативно-календарного планирования многономенклатурных химических производств, к которым относятся и лакокрасочные, а также оптимизации производственных комплексов.

В работе рассматривается проектирование малотоннажных многоассортиментных лакокрасочных производств методами экспертных систем с целью быстрой оценки экономической эффективности инновационного проекта.

Гибкие блочно-модульные системы производства ЛКМ позволяют эффективно решать проблему организации малотоннажных многоассортиментных производств ЛКМ. Структура производственного комплекса, благодаря мобильности ассортимента выпускаемой продукции и особенностям структурно-функциональной организации, наиболее полно отвечает требованиям современного рынка.

Большое количество нечеткой и неопределенной количественной и качественной информации, сложность структурных и режимных функционирующих производственных систем, значительное количество возможных вариантов аппаратных решений диктуют необходимость использования экспертных систем (ЭС) при проектировании гибких производственных лакокрасочных систем [4–6].

Однако создание новых производств требует весьма существенных материальных и временных затрат. Используя уже имеющиеся производственные площади и технологическое оборудование, можно добиться существенной экономии [7; 8].

Необходимо учитывать, что традиционные методы проектирования лакокрасочных производств не соответствуют требованиям, предъявляемым к созданию гибких многопродуктовых систем. Например, применение метода полного перебора может привести к необходимости выполнения значительных расчетов. В ряде случаев такой подход приводит к нереализуемым на практике вариантам.

Многообразие ассортимента, малые объемы выпуска и сложный многостадийный синтез химических реагентов усложняют реконструкцию существующих и инжиниринг новых производств. Технологические системы многоассортиментных производств функционируют в периодическом или полупериодическом режиме. Дискретность в сочетании с неполной и, возможно, противоречивой информацией

Схема производства лака ПФ-283



Требуемое исходное сырье (на тонну)

Рецептуры		
Тип продукта	Лак (готовый)	
Наименование	ПФ-283	
Основа	ЖКТМ	
Наименование вещества	на тонну	НД
ЖКТМ	226,4	ГОСТ 14845-79
Пентаэритрит	96,1	ГОСТ 9286-89
Ангидрид фталевый	99,4	ГОСТ 7119-77
Уайт-спирит	287,6	ГОСТ 3134-78
Ксилол	191,8	ГОСТ 9949-76
Канифоль сосновая	111,4	ГОСТ 19113-884
Сиккатив НФ-1	49	ГОСТ 1003-73

Рис. 1. Вариант принципиальной технологической схемы производства

приводит к многовариантности и не исключает возможности потери оптимального решения.

Для решения описанных проблем в НПО «Лакокраспокрытие» совместно с РХТУ им. Д.И. Менделеева создана интегрированная ЭС, представляющая собой программный продукт. Программа позволяет по заданным исходным данным получить ключевые параметры проектируемого (создаваемого производства).

Структура и функциональные особенности экспертной системы

Структура ЭС состоит из следующих основных блоков: морфологического анализа, информационно-логического и расчетного.

Рассмотрим структуру и назначение каждого из них.

1. Блок морфологического анализа. Его функция состоит в формировании допустимого пространства объектов на основе исходной информации. К исходной информации относятся классы продукции, типы технологических схем, модели и алгоритмы оптимизации. Выбор объектов, адекватных классам производимой продукции, происходит с помощью формирования бинарной матрицы.

2. Информационно-логический блок. С его помощью из допустимого пространства реше-

ний по признакам колористической, физико-химической и аппаратурной совместимости продуктов выбираются необходимые структуры производств и их аппаратурное оформление. Дополнительно блок формирует модели и алгоритмы оптимизации. Применение нечеткой логики позволяет в условиях неполной формализованности задачи наиболее полно отразить существующие требования. Применение такого подхода позволяет формировать различные типы структурных схем (индивидуальные, гибкие, совмещенные).

3. Расчетный блок. Блок предназначен для оптимизации структуры и аппаратурного состава системы. В качестве экономического критерия приняты приведенные затраты.

4. Все блоки работают с использованием заложенных в программу баз данных (БД) и баз знаний (БЗ). В состав баз входят рецептуры ЛКМ, технологические схемы, характеристики технологического оборудования и т.д. Информация этих баз позволяет, основываясь на физико-химических характеристиках и обобщенном мнении экспертов, оптимальным образом сформировать технологическую и сырьевую базы.

Рассмотрим основные этапы работы программы с иллюстрациями интерфейса различных программных модулей.

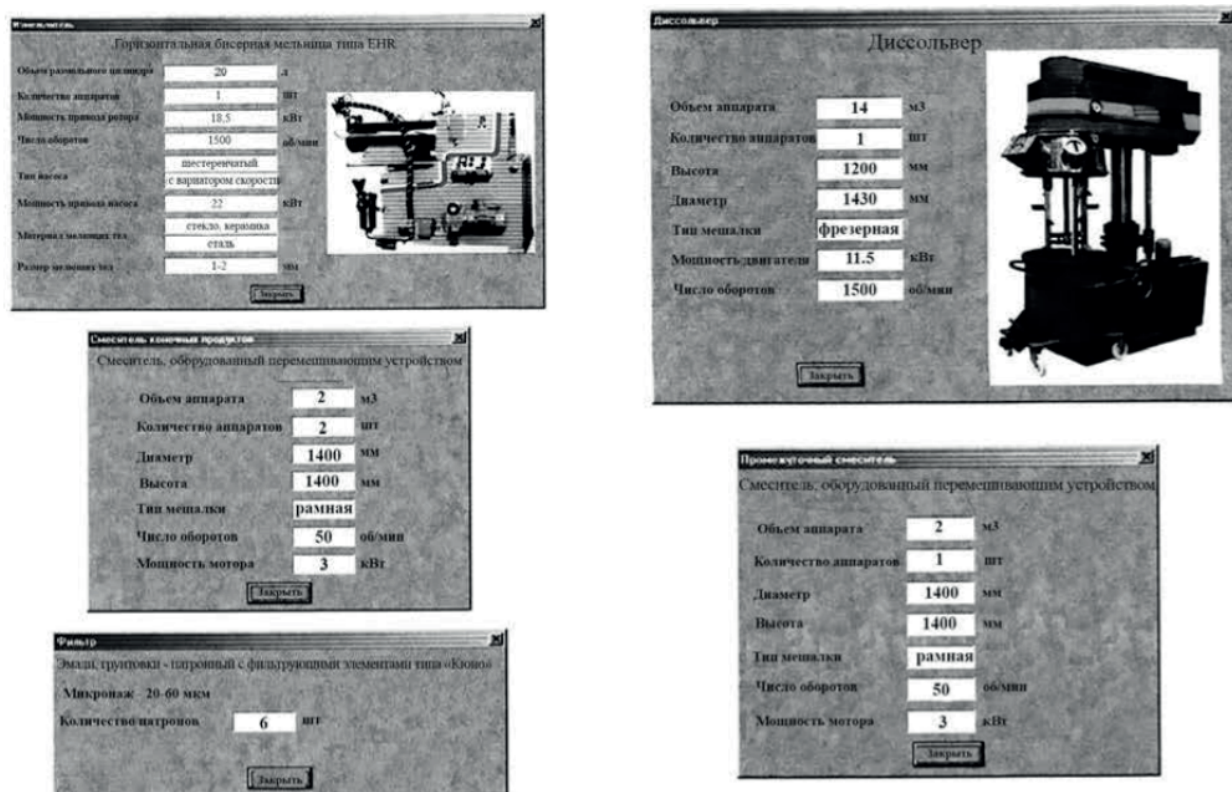


Рис. 2. Пример выбора оборудования при проектировании малотоннажного многоассортиментного производства ЛКМ

1. На первом этапе пользователь выбирает производимые ЛКМ из заложенных в программе. Всего в программу заложено более 100 наименований ЛКМ различных областей применения, наиболее востребованных на рынке.

2. Далее для анализа технологических цепочек производств есть возможность просмотра принципиальных технологических схем производств материалов выбранного ассортимента (рис. 1). Это позволяет проанализировать целесообразность совместного выпуска тех или иных продуктов.

3. Среди исходного сырья для производства эмалей присутствуют полуфабрикатные лаки. В программе предусмотрен выбор их для производства как в виде отдельных продуктов, так и в составе рецептуры эмалей, что позволяет оптимальным образом сформировать технологический процесс и сырьевую базу.

4. Для выпуска большей части лаков есть несколько различных рецептур, отличающихся основными сырьевыми компонентами (жирные кислоты талового масла или растительные масла). Для оптимального использования техни-

ческих и сырьевых ресурсов в БД и БЗ программы заложены различные варианты рецептур. Такое решение позволяет спроектировать оптимальную технологическую схему.

5. Информация, полученная в диалоге с пользователем, позволяет программе рассчитать основные характеристики проектируемого производства. Отдельно рассчитываются параметры оборудования для производства лаков (реактор) или эмалей (бисерная мельница) (рис. 2).

Подбираются также типы и параметры насосов и фильтров. Одной из главных проблем развития современных малотоннажных производств является необходимость использования имеющегося основного технологического оборудования в новых проектируемых схемах. В ЭС предусмотрена возможность применения уже имеющегося оборудования с расчетом его эффективности. Расчеты могут производиться для различных вариантов работы персонала (одно-, двух-, трехсменная работа).

6. Конечным этапом работы программы является вывод спецификации основного тех-

нологического оборудования и расчет энергетических показателей.

7. Дополнительно предусмотрен просмотр рецептур любого из заложенных в БД.

8. Вывод на печать.

Разработанный программный продукт применяется при проектировании новых лакокрасочных производств и реинжиниринге действующих.

Заключение

В качестве примера ассортимента приведены известные ЛКМ, но ЭС может работать и с новыми, только что разработанными, информация о которых вводится в БД. После выбора оптимальной технологической схемы производства, определения сырьевых компонентов и их норм расходов, а также энергетических и эксплуатационных затрат можно через Интернет подобрать и оценить соответствующее оборудование, а также определить поставщиков

и цены на сырье. Наличие ценовых показателей и оценка конкурентов, работающих в этой же отрасли, позволит определить ценовую политику инновационной продукции и оценить эффективность инновационного проекта в целом, включая сроки окупаемости, инвестиционную и кредитную схему его реализации.

Вывод

Таким образом, разработанный прототип интегрированной ЭС позволяет значительно сократить временные и материальные затраты на проектирование и реорганизацию малотоннажных производств. Применяемые решения дают возможность создавать общие технологические структуры, способные оптимальным образом реагировать на изменение требований рынка. Необходимо отметить возможность применения имеющегося оборудования и сырьевой базы, что позволяет добиться существенной экономии.

Список литературы

1. Меньшиков, В.В. Концепция инновационных «Пэйнт-технологий» и ее практическая реализация / В.В. Меньшиков, В.А. Рыбкин // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2016. – № 5. – С. 49–55.
2. Болдырев, В.С. Инновационное развитие малотоннажных научно-производственных предприятий лакокрасочной отрасли / В.С. Болдырев, С.В. Кузнецов, В.В. Меньшиков. – М. : Пэйнт-Медиа, 2021. – 184 с.
3. Гордеев, Л.С. Системный анализ многоассортиментных химических производств / Л.С. Гордеев, Д.А. Бобров, В.В. Макаров, Ю.В. Сбоева. – М. : РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2002. – 104 с.
4. Мешалкин, В.П. Экспертные системы в химической технологии / В.П. Мешалкин. – М. : Химия, 1995. – 357 с.
5. Болдырев, В.С. Анализ организационно-технологического инжиниринга энергоресурсоэффективных экологически безопасных малотоннажных лакокрасочных производств / В.С. Болдырев, В.В. Меньшиков, Б.Б. Богомолов [и др.] // Химическая технология. – 2021. – Т. 22. – № 4. – С. 183–192.
6. Meshalkin, V.P. The nature and types of engineering of energy- and resource-efficient chemical process systems / V.P. Meshalkin, S.M. Khodchenko // Polymer Science. Series D. – 2017. – Vol. 10. – No 4. – P. 347–352.
7. Omelchenko, I.N. Algorithm for innovative development management pf project-oriented organization / I.N. Omelchenko, D.G. Lyakhovich, K.V. Dobryakova // Herald of Bauman Moscow Technical University. Instrumental Engineering. – 2019. – № 1. – P. 129–134.
8. Нургалиев, Р.К. Теоретические подходы к организации умного нефтехимического предприятия / Р.К. Нургалиев, А.А. Нургалиева // Наука и бизнес: пути развития. – М. : ТМБпринт. – 2021. – № 3(117). – С. 37–40.

References

1. Men'shikov, V.V. Kontseptsiya innovatsionnykh «Peynt-tekhnologiy» i yeye prakticheskaya

realizatsiya / V.V. Men'shikov, V.A. Rybkin // Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye. – 2016. – № 5. – S. 49–55.

2. Boldyrev, V.S. Innovatsionnoye razvitiye malotonnazhnykh nauchno-proizvodstvennykh predpriyatiy lakokrasochnoy otrasli / V.S. Boldyrev, S.V. Kuznetsov, V.V. Men'shikov. – M. : Peynt-Media, 2021. – 184 s.

3. Gordeyev, L.S. Sistemnyy analiz mnogoassortimentnykh khimicheskikh proizvodstv / L.S. Gordeyev, D.A. Bobrov, V.V. Makarov, YU.V. Sboyeva. – M. : RKHTU im. D.I. Mendeleyeva, 2002. – 104 s.

4. Meshalkin, V.P. Ekspertnyye sistemy v khimicheskoy tekhnologii / V.P. Meshalkin. – M. : Khimiya, 1995. – 357 s.

5. Boldyrev, V.S. Analiz organizatsionno-tekhnologicheskogo inzhiniringa energoresursoeffektivnykh ekologicheskikh bezopasnykh malotonnazhnykh lakokrasochnykh proizvodstv / V.S. Boldyrev, V.V. Men'shikov, B.B. Bogomolov [i dr.] // Khimicheskaya tekhnologiya. – 2021. – T. 22. – № 4. – S. 183–192.

8. Nurgaliyev, R.K. Teoreticheskiye podkhody k organizatsii umnogo neftekhimicheskogo predpriyatiya / R.K. Nurgaliyev, A.A. Nurgaliyeva // Nauka i biznes: puti razvitiya. – M. : TMBprint. – 2021. – № 3(117). – S. 37–40.

© В.С. Болдырев, 2021