

УДК 658.5:001.89

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ И ЭКСПЛУАТАЦИЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЛИНИЙ ПОЛУЧЕНИЯ И НАНЕСЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ КРАСОК

к.т.н., доцент В. С. Болдырев^{1,2}, д.х.н., профессор В. В. Меньшиков^{2,3}, старший преподаватель В. В. Тишкин^{1,3}, к.т.н., доцент Х. А. Невмятулина³, старший преподаватель А. М. Зубарев³, студент Д. В. Володин¹

¹ МГТУ им. Н. Э. Баумана

² НПО «Лакокраспокрытие», г. Хотьково, Московская область

³ РХТУ им. Д. И. Менделеева

Аннотация. В статье рассмотрены возможности применения инновационных методов проектирования и разработки производственных линий порошковых красок. Решена задача выбора программного обеспечения для поиска и выявления проблемных участков линии для последующего эффективного решения найденных недостатков. Изучены особенности производства эпоксидных порошковых красок и разработки производственных линий лакокрасочной отрасли. С помощью программной среды AutoCAD создан проект по модификации и реинжинирингу участка производственной линии получения и нанесения порошковых красок.

Ключевые слова: *пэйнт-технологии, химико-технологическая система, автоматизированное проектирование, эпоксидные краски, порошковые покрытия, производственные линии, инжиниринг.*

DESIGN MANAGEMENT AND OPERATION OF THE LINES FOR THE PRODUCTION AND APPLICATION OF POWDER PAINTS

Candidate of Tech. Sci., Associate Professor Boldyrev V. S.^{1,2}, Doctor of Chem. Sci., Professor Menshikov V. V.^{2,3}, senior lecturer Tishkin V. V.^{1,3}, Candidate of Tech. Sci., Associate Professor Nevmyatullina H. A.³, senior lecturer Zubarev A. M.³, student Volodin D. V.¹

¹ Bauman Moscow State Technical University

² NPO Lakokraspokrytie, Khotkovo, Moscow region

³ D. I. Mendeleev Russian Chemical and Technological University

Abstract. The article discusses the possibilities of using innovative methods for the design and development of powder paint production lines. The problem of choosing software for searching and identifying problem areas of the line for subsequent effective solution of the found shortcomings has been solved. The features of the production of epoxy powder paints and the development of production lines for the paint and varnish industry were studied. Using the AutoCAD software environment, a project was created to modify and reengineer a section of the production line for producing and applying powder paints.

Keywords: *paint technologies, chemical-technological system, production organization, computer-aided design, epoxy paints, powder coatings, production lines, engineering.*

В процессе решения различных задач, связанных с организацией и управлением технологическими процессами объектов химической промышленности, необходимо решить проблемы не только моделирования и расчета основного процесса, но и анализа организационных ресурсов, юридических требований, существующих информационных ресурсов и многих других факторов, которые в значительной степени определяют лучший способ найти технологические решения. Основная цель математического моделирования технологического объекта — найти методы управления операционными процессами с учетом структуры организации, ответственной за реализацию.

Для достижения цели создается автоматизированная информационная система (АИС). Она состоит из логических и математических моделей, технологической поддержки (включая инженерное, программное обеспечение и информацию), а также специалистов и пользователей. Такая АИС определяется как отраслевая специфика, она предназначена для обработки информационных ресурсов организации и принятия управленческих решений оперативного и стратегического характера.

Информационные ресурсы являются независимыми документами и их массивами, которые, в свою очередь, интегрированы в информационную поддержку АИС (библиотеки, архивы,

базы данных и т.д.), а также в модели процессов организации, реализованных в форме алгоритмической поддержки [1]. Таким образом, все модели в виде алгоритмической, программной и информационной поддержки включены в АИС.

Процесс принятия решений руководством здесь представляет собой сводку целевых, последовательных и взаимосвязанных действий, которые позволяют выполнять организационные задачи компании, в том числе технологические. Структура информационной системы организации и тип информационных ресурсов, подлежащих обработке, определяются целью и характером ее деятельности [2].

Существует 3 уровня управления, которые определяют тип моделей, обеспечивающих автоматизацию управленческих решений (рис. 1).

Чтобы обеспечить возможность управления технологическими объектами в качестве элементов организации, понадобится модель, которая содержит исчерпывающее описание технологического объекта и учитывает возможность выбора ограниченного набора параметров, которые соответствуют проблеме управления, которую вы должны решить, а также предоставить доступ ко всем информационным ресурсам организации. Таким образом, применение методологии бизнес-моделирования позволяет создать модель технологического объекта, аналогичную бизнес-процессу и используемую на

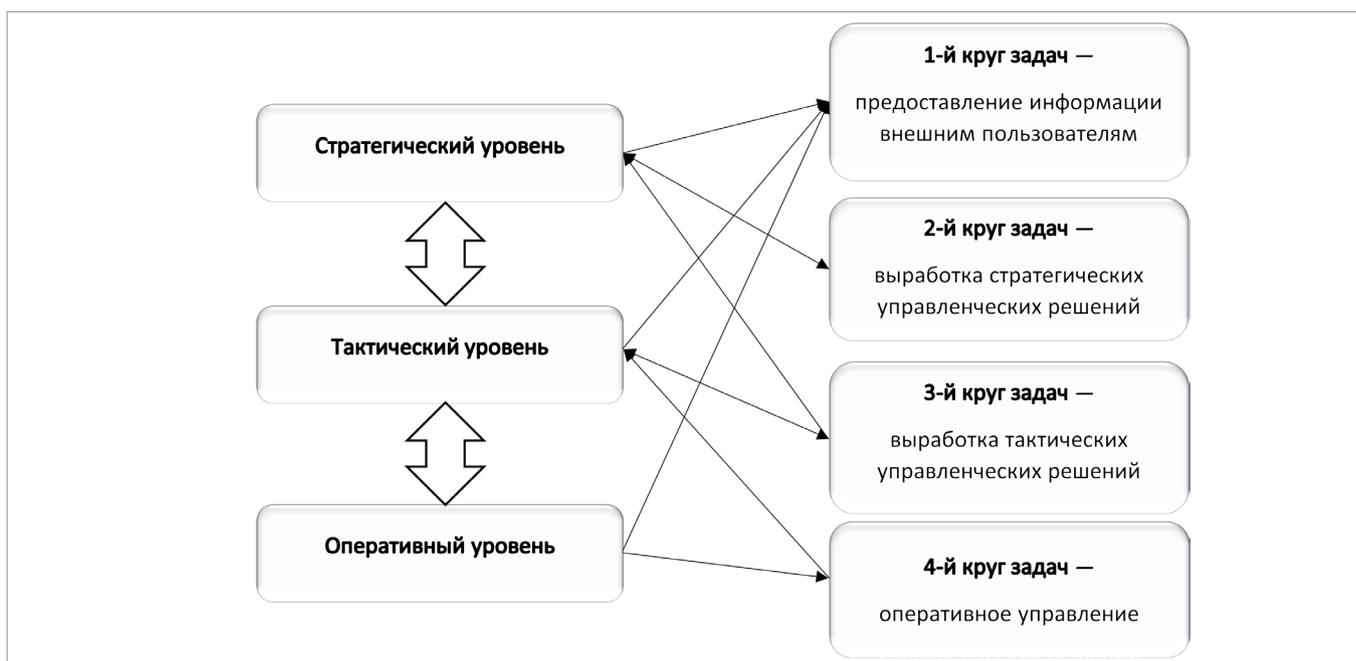


Рис. 1. Уровни управления организацией с применением информационной системы

всех уровнях управления ТР и на каждом этапе жизненного цикла продукта, как определено ISO 9004-1, т.е. совокупность процессов, выполняемых с момента выявления потребностей компании в конкретном продукте до тех пор, пока эти потребности не будут удовлетворены, а продукт не будет переработан [3, 4].

Стратегическое управление используется для формирования целей и стратегий для их достижения, а затем АИС определяет принципы управления процессом. Даже на этом уровне информационная система используется для формирования целей в стратегическом планировании. Кроме того, тенденции синтезируются там, где цели и стратегии, которые формируются менеджером и анализируются инструментами АИС, объединяются с использованием представления знаний и моделей принятия решений в условиях неопределенности.

Тактический уровень на основе отслеживания производительности компании с течением времени, анализа исторических данных и построения отчетов. Основными целями такого управления являются обеспечение устойчивого функционирования организации в целом, создание возможностей для развития организации, а также создание и корректировка планов работы и основных программ для реализации заказов [1, 3].

Операционный уровень управления направлен на решение типичных бизнес-задач в режиме реального времени [2]. Таким образом, основными целями оперативного управления являются получение прибыли путем реализации запланированных мер с использованием накопленного потенциала; регистрация, накопление и анализ отклонений производственного цикла из регламента; разработка и внедрение решений для устранения или минимизации нежелательных отклонений.

Чтобы обеспечить возможность управления технологическими объектами в качестве элементов организации, понадобится модель, которая содержит исчерпывающее описание технологического объекта и учитывает возможность выбора ограниченного набора параметров, соответствующих проблеме управления, которую вы должны решить, и предоставить доступ ко всем информационным ресурсам организации.

За пример технологического объекта в данной

работе принята линия производства эпоксидных порошковых красок, жизненный цикл которой включает этапы подготовки коммерческого предложения по требованию заказчика и технические характеристики, проектирование, монтаж, ввод в эксплуатацию и непосредственно эксплуатацию. В примере описана методология моделирования бизнес-процесса. Такой технологический объект содержит подготовку и дозирование исходного сырья; смешение компонентов; экструдирование смеси (получение чипсов); измельчение чипсов; фасовку, упаковку, маркировку; контроль качества, причем каждый этап включает в себя основные данные, полученные в соответствии с требованиями заказчика, ресурсами развития процесса, правилами принятия решений для проектирования и эксплуатации линий окраски, информационными ресурсами в виде базы данных по физико-химическим свойствам веществ и материалов, стандартного оборудования и т.д.

Бизнес-процесс — это система последовательных, целенаправленных и регулируемых задач, в которых входы процессов преобразуются в вывод через контрольное действие и с помощью ресурсов — результатов процесса, которые имеют значение для потребителей [1–3]. Ключевой особенностью бизнес-процесса является ограниченный набор действий, который определяется отношениями, мотивами, ограничениями и ресурсами в конечном наборе объектов и объектов, которые объединяются в систему. Такое слияние происходит для того, чтобы получить точный результат, который отчуждается или принимается самой системой.

Бизнес-процесс состоит из функциональных действий, иерархически подчиненных друг другу, но которые выполняют бизнес-цели организации. Экономико-организационное моделирование является одним из методов составления бизнес-процесса, в котором описывается как логико-математическая связь между выходом и входом с учетом влияния контроля и устройства, а также существующих ресурсов организации. В этом случае критерий производительности обязательно определяется (включен в структуру характеристик вывода бизнес-процесса) и используется в качестве оптимизируемой переменной или в качестве конечного критерия для расчета математической модели.

Шаблоны бизнес-процессов обеспечивают целостную и скоординированную структуру внутренних и внешних процессов организации. Знание реальной ситуации помогает создать объективный и рациональный план для бизнес-проекта. План включает в себя структурные части, такие как описание, анализ, оптимизация, регулирование бизнес-процессов, а также обучение и корректировку параметров процесса, определение ключевых показателей эффективности, разработку систем мотивации персонала, реинжиниринг бизнес-процессов.

Основой подхода к управлению процессом является PDCA — цикл управления Деминга [2], который включает в себя 4 этапа:

1. Процесс планирования (Plan).
2. Процесс выполнения (Do).
3. Анализ показателей производительности (Control).
4. Процесс корректировки (Act).

Основные требования к подходу к управлению процессами стандартизированы и сформулированы в ISO 9000:2000. Они включают следующие ключевые моменты:

1. Система управления состоит, по крайней мере, из двух уровней. Управленческие решения принимаются высшим руководством и владельцем процесса, который является руководителем, ответственным за эффективность работы, например лицо, принимающее решение [2]. Взаимодействие владельцев разных процессов должно быть определено и формализовано.
2. Система управления бизнес-процессами основана на обязательной регулируемой обратной связи, описанной в цикле PDCA.
3. Все этапы цикла PDCA выполняются в соответствии с правилами, представляющими подробное описание бизнес-процесса. Правила основаны на описаниях работы, стандартных процессах принятия решений, правилах организации производственного процесса, директивах высших организаций и подразделений и т.д.
4. При проведении анализа процесса используются 4 основных потока информации: показатели процесса, показатели продукта, показатели удовлетворенности клиентов, результаты аудита процесса.

5. Стандарт требует определения характеристик информационных потоков, определения методов сбора и обработки информации, границ показателей нормального хода процесса и критериев принятия корректирующих мер. Решение управления для изменения правил или ресурсов должно быть принято на основе строгих фактов.
6. Принцип PDCA при необходимости реплицируется на более низкие уровни управления.

Изучение каждой системы, основанной на принципах PDCA, происходит с использованием принципов системного анализа, т.е. научного метода познания, который представляет собой последовательность действий по установлению структурных связей между ее переменными или элементами. Он основан на комплексе научных, экспериментальных и статистических математических методов.

Центральным понятием системного анализа является система. Система — это объект, который взаимодействует с внешней средой и имеет сложную внутреннюю структуру, большое количество компонентов и элементов.

Был проведен анализ программного обеспечения для моделирования и проектирования химико-технологических систем и выбран программный продукт AutoCAD. Он захватил практически все отрасли промышленности, в связи с чем у компаний всех уровней появляется возможность применения инновационных технологий проектирования, включая 3D-моделирование, создание документации и оперативный обмен данными. Интуитивно понятный интерфейс и простота применения позволяют быстро внедрять продукт на производство, минуя сверхзатраты на длительное переобучение персонала.

В частности 3D-моделирование поверхностей свободных форм реализуется путем применения встроенных инструментов, тел, сеток. Поддержка облака точек позволяет создавать модели на основе данных 3D-сканирования. Инструменты 3D-навигации реализуют облет вокруг модели для осмотра прототипа со всех углов. Благодаря наличию мощных инструментов для визуализации открываются возможности для

эффектной и убедительной презентации проекта, что важно для выигрышного результата при ведении переговоров с клиентом.

При проектировании промышленных линий немаловажным фактором в современном мире является скорость обмена информацией и подготовки документации. Эффективное средство подготовки документации позволяет реализовывать все этапы работы над проектом, начав идеей и закончив финальной стадией. Любая 3D-модель может быть импортирована в AutoCAD, мгновенно создавая точные виды чертежа. Это сводит к минимуму количество повторяющихся задач и ускоряет рабочий процесс. Благодаря комплексному подходу к проектированию и наличию полного набора инструментов AutoCAD помогает воплотить в жизнь даже самые сложные проекты [5].

Проектная документация создается автоматически. Документацию по моделям, созданным в различных сторонних приложениях, например Solidworks, Pro/ENGINEER, CATIA, Rhinoceros и NX, можно импортировать в AutoCAD. Благодаря параметрическим чертежам удобно отслеживать связи между объектами [5].

Импорт/экспорт в PDF позволяет обмениваться и повторно использовать данные проекта. Кроме того, можно импортировать PDF-файлы в качестве подложки.

Таким образом, ПО AutoCAD — это не только инструмент проектирования, но и мощный модуль обмена информацией, что важно при процессе создания автоматизированных линий.

Итак, обратим внимание на следующие преимущества данного программного продукта:

- постоянно расширяется и адаптируется под требования и потребности внешнего мира;
- открытая система в плане создания и разработки пользователем собственных приложений для расширения границ возможностей базовой системы;
- AutoCAD уже давно широко используется в организациях, и рынок труда имеет большое количество компетентных пользователей;
- формат DWG стал мировым стандартом исполнения чертежей;
- AutoCAD интегрируется с приложениями MS Office;

- AutoCAD имеет центр управления чертежам (Desing center), который позволяет быстро перетаскивать информацию из одного чертежа в другой.

Как правило, процесс проектирования и управления производственными линиями представляет собой последовательность бизнес-процессов, которые варьируются в зависимости от сложности задачи. Например, такая последовательность для линии производства может выглядеть так:

- анализ входных данных и проектирование оценки ресурсов;
- проектирование;
- монтаж установки;
- тестирование и регулировка;
- ввод в эксплуатацию;
- реинжиниринг.

Технологический объект характеризует все эти бизнес-процессы, и информация о нем применяется на всех этапах жизненного цикла. Например, данные цикла проектирования хранятся в виде регулируемых показателей, особенно алгоритмов управления производством и процессом.

Моделирование процесса заключается в анализе потребностей клиента и разработке линии производства. Этапы бизнес-моделирования в этом случае заключаются в следующем:

- оценка потребностей клиента;
- анализ поставок ресурсов технологического объекта;
- обозначение основных требований к процессу;
- проектирование технологической схемы;
- проектирование установки производства красок;
- оценка материальных и финансовых ресурсов производства.

Высокая популярность порошковых красок в странах обусловлена экономическими и экологическими преимуществами этих систем окраски, заключающимися в том, что они не содержат токсичных растворителей, стабильны при хранении, просты в обращении и при транспортировке. Все эти качества делают порошковые краски очень привлекательными для производства.

Для начала этапа проектирования модели производства порошковых красок был изучен их рынок в России. На данный момент отечественное производство ограничено мощностью 7 производителей и оценивается в 18–20 тыс. т в год. По итогам 2022 г. потребление ЛКМ в России составило 33 тыс. т, а на 2023 г. прирост составил порядка 20%, т.е. общий объем достиг 40 тыс. т в год. По импорту в Россию было завезено порядка 12,1 тыс. т порошковых красок на сумму 19 млн долларов. Таким образом, актуальной остается идея создания предприятия по производству порошковых красок с целью импортозамещения, а также автоматизация его проектирования.

Рассмотрим перечень основных секторов — потребителей порошковых красок:

- окраска промышленных продуктов (59,5%);
- производство бытовой техники (18,7%);
- строительство (15,4%);
- автомобильная промышленность (8%);
- антикоррозийная защита (3,9%).

Поэтому идея создания и развития предприятий по производству порошковых красок и покрытий актуальна сегодня. При создании для развития предприятия очень важно эффективно и рационально спланировать работу производства, в первую очередь производственного цеха [6–9]. Профессионально подобрать и грамотно расставить надежное, современное технологическое оборудование требуемой производительности. Следует отметить, если предприятию важны имя и репутация, не стоит экономить на производственном оборудовании. Необходимо рационально (оптимально) подойти к его выбору и выбору поставщика.

При грамотной расстановке приоритетов частные задачи на каждом этапе запуска предприятия должны соответствовать и не противоречить общим целевым показателям эффективности организации и рентабельности производства. После анализа технологических параметров и планируемых мощностей предприятия были подобраны перечень и количество оборудования, которое будет работать максимально эффективно. Было принято решение, что для оптимальной работы предприятия нужно 6 линий производства.

Следующий этап разработки проекта — его организация и выполнение. Он включает такие процессы, как:

- подбор проектной документации;
- график работ;
- прочие мероприятия.

С точки зрения документации был выполнен строительно-монтажный проект производственной линии в системе автоматизированного проектирования и черчения AutoCAD. В общем плане в данном проекте отражен весь процесс производства, указаны технические помещения и склады.

Далее был проведен дополнительный анализ вспомогательных процессов, таких как: транспортировка на отдельном участке производства и выявление узких мест. Им оказался участок транспортировки от экструдера к мельнице. В ходе этого процесса была выявлена существенная потеря времени и сил персонала. Данная проблема решена путем внедрения пневмотранспорта на данном участке производства (см. на чертеже).

Пневмотранспорт предназначен для передачи чипсов на мельницу без использования контейнеров. Обычно производство чипсов осуществляется в 96 контейнерах. Чипсы накапливаются в контейнерах и далее доставляются на мельницу. Минус заключается в появлении межоперационного запаса. В результате образования брака несколько контейнеров с чипсами могут быть забракованы, и в этом случае создаются дополнительные перемещения, дополнительное место для хранения контейнеров с чипсами.

Пневмотранспорт представляет собой трубопровод, по которому чипсы перемещаются от экструдера сразу на мельницу. При помощи вентиляторов, установленных на мельнице, происходит забор воздуха с улицы. Воздух, проходя чиллер, охлаждается и передвигается по трубопроводу к дозатору, который установлен в месте, откуда поступают чипсы с ленты охлаждения экструдера. Вращаясь с определенной скоростью, заданной на пульте управления мельницей, чипсы равномерно поступают в трубопровод. При помощи потока воздуха чипсы перемещаются по трубопроводу в дробильную камеру мельницы, в которой происходит их

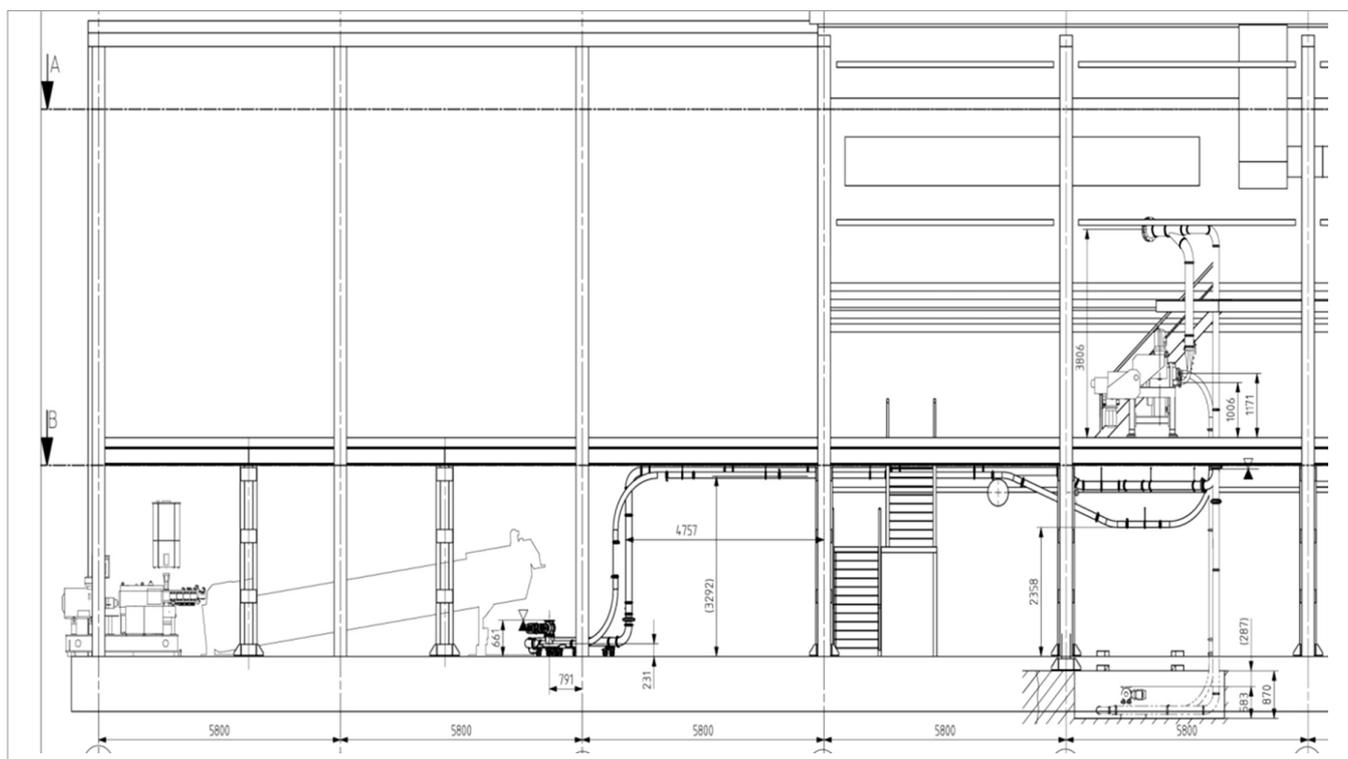


Рис. 2. Вид пневмотранспорта от экструдера к мельнице

размол до образования порошка. На рис. 2 продемонстрировано положение пневмотранспорта относительно мельницы.

На рис. 2 изображен чертеж пневмотранспорта от экструдера к мельнице. Эта схема предназначена для производства порошковых красок, технология производства которых описана выше. Но дальше появилась проблема производства двухкомпонентных красок, при изготовлении которых необходимо проэкструдировать две базы отдельно (А и В), кроме того, их надо смешать перед доставкой на мельницу для дальнейшего дробления.

Для решения данной проблемы было предложено внедрить второй шлюз-дозатор. Таким образом, мы сможем исключить потерю времени на транспортировку чипсов с участка экструзии на участок смешивания и, далее, на участок помола, а процесс производства на данном участке будет полностью автоматизирован, что является инновацией в производстве эпоксидных порошковых красок.

Что касается узла нанесения порошковых красок, который заказчик планирует разместить в имеющемся производственном помещении не только для проверки качества выпускаемой продукции, но и для дополнительного дохода от заказов по окраске металлоизделий,

опыт проектирования такого узла имеется у НПО «Лакокраскокрытие» (НПО «ЛКП»). Исходные данные (Положение об исходных данных для проектирования, утвержденное руководством Минпромнауки России 30.01.2002) были переданы в НПО «ЛКП», что позволило подготовить техническое предложение в соответствии с внутренним регламентом предприятия.

Содержание технического предложения включает:

- сведения о производителе (поставщике оборудования);
- исходные данные (предоставленные заказчиком);
- состав предлагаемого оборудования;
- состав технической документации;
- предполагаемый объем строительных работ (выполняется заказчиком);
- оборудование, материалы и работы, не входящие в состав предложения;
- описание оборудования (стоимость и условия поставки).

Алгоритм проектирования был описан ранее [10–15], на основании исходных данных спроектированы камеры окраски и полимеризации, оснащенные системами управления, а также

создан план их размещения в имеющихся производственных помещениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проделанной работы была достигнута поставленная цель, а именно применение инновационных методов проектирования для разработки производственных линий лакокрасочной отрасли. Во-первых, была решена задача выбора программного обеспечения для более детального изучения проблемы и ее последующего решения. Во-вторых, изучены особенности производства эпоксидных порошковых красок и чертежей линий на конкретном заводе (Akzo Nobel Russia).

Далее потребовалось найти узкие места в производственном процессе, и тогда был проведен дополнительный анализ вспомогательных процессов. Как промежуточный результат — обнаружена проблема временных потерь и сил персонала на участке транспортировки чипсов от экструдера к мельнице. Решением проблемы стала идея внедрения пневмотранспорта взамен сил персонала на данном участке.

Для выдвижения предложения для модернизации участка потребовалось составить грамотный чертеж модификации. Немаловажно, чтобы он был читаем, презентабелен. Так, в качестве программного обеспечения был выбран AutoCAD. Итогом проделанной работы стало предложение по модификации участка производственной линии путем внедрения пневмотранспорта в виде чертежа, построенного в графической САПР-среде. Проект предложен для внедрения на заводе порошковых красок Akzo Nobel Russia (г. Орехово-Зуево).

Подготовлены исходные данные по созданию участка нанесения порошковых красок и переданы в НПО «ЛКП». В соответствии с внутренним регламентом и алгоритмом проектирования НПО «ЛКП» подготовил техническое предложение по созданию узла нанесения ЛКП и схему его размещения на имеющихся производственных площадях.

Работа выполнена по программе госзадания (№ FSFN-2023-0004). ♦

ЛИТЕРАТУРА

1. Информационные системы и технологии управления: Учебник для студентов вузов / Под ред. Г.А. Титоренко. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. 591 с.

2. Репин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. М.: РИА «Стандарты и статистика», 2009. 408 с.

3. Вдовенко Л.А. Информационная система предприятия. М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2010. 237 с.

4. Бочаров Е.П., Колдина А.И. Интегрированные корпоративные информационные системы: Принципы построения. М.: Финансы и статистика, 2007. 288 с.

5. Маклаков С.В. Моделирование бизнес-процессов с AllFusion PM. М.: Диалог—МИФИ, 2008. 224 с.

6. Болдырев В.С., Кузнецов С.В., Меньшиков В.В. Инновационное развитие малотоннажных научно-производственных предприятий лакокрасочной отрасли. М.: Пэйнт-Медиа, 2021. 184 с.

7. Меньшиков В.В., Болдырев В.С., Богомолов Б.Б. и др. Инжиниринг окрасочных производств. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2022. 152 с.

8. Богомолов Б.Б., Болдырев В.С., Зубарев А.М., Мешалкин В.П., Меньшиков В.В. Интеллектуальный логико-информационный алгоритм выбора энергоресурсоэффективной химической технологии // Теоретические основы химической технологии. 2019. Т. 53, № 5. С. 483–492.

9. Болдырев В.С., Аверина Ю.М., Меньшиков В.В., Кузнецов С.В., Колыбанов К.Ю. Технологическо-организационный инжиниринг окрасочных производств // Теоретические основы химической технологии. 2020. Т. 54, № 3. С. 299–303.

10. Шарапова И.И., Меньшиков В.В., Богомолов Б.Б., Болдырев В.С., Кузнецов С.В. Алгоритм проектирования технологической линии нанесения лакокрасочных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. 2020. № 12. С. 34–39.

11. Болдырев В.С., Меньшиков В.В., Богомолов Б.Б., Аверина Ю.М., Зубарев А.М. Анализ организационно-технологического инжиниринга энергоресурсоэффективных экологически безопасных малотоннажных лакокрасочных производств // Химическая технология. Т. 22. № 4. С. 183–192.

12. Дорохов И.Н., Меньшиков В.В., Болдырев В.С. и др. Инжиниринг высокоинтенсивных химико-технологических систем лакокрасочного производства // Лакокрасочные материалы и их применение. 2023. № 7–8. С. 52–60.

13. Болдырев В.С., Меньшиков В.В. Модульный принцип создания агрегатов и аппаратов химико-технологических систем // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 11. С. 80–85.

14. Болдырев В.С. Процедура принятия решений с использованием логико-математического моделирования при проектировании линий малотоннажного производства порошковых лакокрасочных материалов // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 8. С. 56–59.

15. Елистраткина В.О., Меньшиков В.В., Абузярова Ю.Р., Зубарев А.М., Болдырев В.С. Применение инструментальных методов в создании химико-технологических систем производства порошковых красок // Успехи в химии и химической технологии. 2021. Т. 35, № 5. С. 141–143.