

Интеллектуальная информационная система оптимизации процесса производственного планирования

Т. Б. Чистякова¹, О. Е. Шашихина², И. В. Новожилова³

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет)

¹nov@technolog.edu.ru, ²shashikhina@mail.ru, ³novozhilova@bk.ru

Аннотация. В статье представлена интеллектуальная информационная система, позволяющая на основе различных проблемно-ориентированных методов оптимизации автоматизировать процесс планирования и формировать оптимальные производственные расписания для гибких многоассортиментных производств. Ядром предлагаемой системы являются интеллектуальные интерфейсы, позволяющие эргономично настраивать систему через заполнение экспертных таблиц перенастроек агрегатов и производственных линий с одного типа продукции на другой, формализующих представление знаний о характеристиках производства, участвующих при формировании постановки задачи оптимизации и целевой функции. Описывается информационное обеспечение, включающее обновляемые и дополняемые базы данных, разработанные на основе интеллект-карт, позволяющих графически структурировать информацию об участвующих в планировании параметрах продукции, заказов и оборудования. Визуализация результатов планирования представляется в виде календарного плана – диаграммы Ганта, а также в форме объясняющего дерева решения задачи оптимизации, позволяющего проследить улучшение значения целевой функции на всех этапах оптимизации. Предлагаемая архитектура и функциональные возможности обеспечивают вариативность применения системы и её эффективное использование для различных гибких многоассортиментных производств. Внедрение системы позволяет значительно повысить эффективность процесса планирования, снизить стоимость производства и упростить процесс принятия производственных управленческих решений.

Ключевые слова: интеллектуальная система; производственное планирование; календарное планирование; интеллект-карты; экспертные знания; производство полимерных пленок

I. ВВЕДЕНИЕ

Одним из ключевых этапов организации и управления современными многоассортиментными промышленными предприятиями является процесс планирования и составления производственных расписаний. От того, насколько оптимально составлен производственный план, определена загрузка оборудования и очередность выполнения заказов, напрямую зависит эффективность и результативность всего производственного процесса.

В работе описываются подсистемы и интерфейсы в составе интеллектуальной информационной системы для оптимизации процесса календарного планирования различных гибких многоассортиментных производств, позволяющей на основе адаптивной настройки и

современных методов оптимизации оперативно решать задачу ресурсосберегающего и экономически эффективного производственного планирования.

В настоящее время на рынке представлено достаточно большое количество разнообразных систем автоматизации производственного планирования, активно ведутся научные исследования, связанные с математическим и программным обеспечением подобных систем [1, 2]. Тем не менее, существующие решения обладают рядом ограничений по их применению. Зачастую внедрение и применение подобных программ на практике вызывает трудности, связанные со спецификой производимой продукции и технологического процесса, поскольку системы недостаточно корректно перестраиваются с общего программного решения на конкретное производство [3, 4]. Также процесс настройки затрудняет тот факт, что ассортимент продукции и количество разнотипных производственных линий может меняться, и в случае, если базы данных не обладают эргономичным функционалом расширения и дополнения, информационное обеспечение системы планирования сложно поддерживать в актуальном состоянии. Возникает проблема недостаточного соответствия структуры пользовательских интерфейсов требованиям управленческого производственного персонала, в частности, без демонстрации процесса решения задачи пользователю может быть не очевиден способ, которым система формирует производственный план, соответственно, нет возможности проверить, действительно ли решение является оптимальным, либо просто удовлетворяет ограничениям. Дополнительно можно отметить то, что многие системы являются закрытыми, крайне дорогостоящими, и при внедрении программ требуются дополнительные затраты на обучение персонала и дальнейшее сопровождение систем.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод, что для промышленных инновационных производств является актуальной и востребованной разработка информационной системы и пользовательских интерфейсов для оптимального календарного планирования, функционально соответствующих требованиям производственного управленческого персонала и обладающих возможностью оперативной и эргономичной настройки на конкретное производство, ассортимент продукции и конфигурации оборудования.

II. ОПИСАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Интеллектуальная система разработана для оптимизации решения задачи планирования для различных гибких инновационных непрерывных и

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда, проект №21-79-30029

дискретных производств, в том числе для международных корпораций, в состав которых входит большое количество территориально распределенных предприятий, производящих многоассортиментную продукцию на сложном оборудовании различных конфигураций, перенастраиваемых на изготовление разнотипных заказов.

А. Постановка задачи оптимизации календарного производственного планирования

Пусть дан вектор входных параметров $X = (O, E, Pd)$, $O = \{O_i, i = 1, N\}$ – вектор описывающий множество заказов, которые необходимо распределить по производственными линиям; $E = \{E_j, j = 1, Me\}$ – набор производственных линий (машин, агрегатов, рабочих центров и др.); $Pd = (\tau_o, Y_{cr})$ – вектор, описывающий параметры планирования, где $\tau_o = [\tau_b, \tau_e]$ – параметр, определяющий период планирования, τ_b – дата начала периода планирования; τ_e – дата окончания периода планирования; Y_{cr} – параметр, определяющий критерий оптимизации.

Тогда в общем виде постановка задачи оптимального планирования производств формулируется следующим образом: для заданного вектора входных параметров $X = (O, E, Pd)$, требуется найти такое оптимальное размещение Q^{opt} для N заказов на Me производственных линиях в рамках периода планирования $[\tau_b, \tau_e]$, которое обеспечит экстремум целевой функции: $F \rightarrow \min (max)$.

$$\tau(O_{j,k-1}, O_{j,k}) = T^{Th}_{j,k} + T^{Wd}_{j,k} + T^{Rf}_{j,k}(F_{fk-1}, F_{tk}) + T^{Nz}_{j,k}(Nz_k) + T^{Cb}_{j,k}(Cb_k) + T^{Cl}_{j,k}(Cl_k);$$

где T^{Th} – время на перенастройку по толщине материала, с; T^{Wd} – время на перенастройку по ширине, с; Ff – исходный тип пленки; Ft – конечный тип пленки; T^{Rf} – время перенастройки по рецептуре плёнки, с; Nz – конечный диаметр насадки, DN ; T^{Nz} – время перенастройки диаметра насадки, с; Cb – конечный диаметр калибрующего (формирующего) зазора соэкструзионной головки, DN ; T^{Cb} – время перенастройки диаметра калибрующего (формирующего) зазора соэкструзионной головки, с; Cl – конечная настройка охлаждающего кольца, DN ; T^{Cl} – время перенастройки диаметра охлаждающего кольца, с.

τ_i – время выполнения i -го заказа, с:

$$\tau_i = \frac{Qrm_i}{V_j(O_i)};$$

Qrm_i – количество полимерной плёнки i -го заказа в погонных метрах, м.

$V_j(O_i)$ – скорость производства j -той производственной линии при выполнении i -го заказа (зависит от типа и толщины изготавливаемой плёнки), м/с.

В. Формирование производственного плана с применением интеллектуальной системы

Предлагаемая интеллектуальная система разработана в виде эргономичного десктопного приложения в интегрированной среде разработки Microsoft Visual Studio 2019 с использованием языка программирования C#.

Вектором варьируемых параметров является $Q = \{Q_i: Q = (j, \tau_{oi}, k, \tau_i) j = 1, Me, k = 1, L, L \in N, i = 1, N\}$ – вектор, описывающий распределение заказов по производственным линиям, $\tau_{oi} \in [\tau_b, \tau_e]$ – дата начала выполнения i -го заказа (включается в себя дату и время запуска заказа на производство), $k = 1, L, L \in N$ – порядковый номер выполнения i -го заказа на j -ой линии в текущем расписании Q , L – количество заказов, выполняемых на j -ой линии в расписании Q , τ_i – время выполнения i -го заказа.

На основании экспертных знаний об объекте планирования осуществляется формирование целевой функции. В случае решения задачи оптимального календарного планирования для полимерных производств, целевой функцией будет являться суммарное время выполнения заказов и перенастроек оборудования [5].

$$F(\tau(Q^{opt})) = \max_{j=1}^{Me} \left(\sum_{k=2}^L \tau(O_{j,k-1}, O_{j,k}) \right) + \left(\sum_{i=1}^L \tau_i \right) \rightarrow \min,$$

где $\tau(O_{j,k-1}, O_{j,k})$ – время перенастройки оборудования с предыдущего заказа на текущий, с:

Пользовательские интерфейсы позволяют специалисту по планированию загружать в предпочтительном формате данные заказов, производственных линий и осуществлять выбор и настройку метода оптимального планирования в зависимости от размерности задачи. После получения и формализации актуальных экспертных знаний о технологических регламентах, характеристиках оборудования и правилах его перенастройки, в информационной системе осуществляется формирование вида целевой функции.

Процесс поиска и формирования оптимального производственного плана осуществляется на базе компьютерных реализаций классических методов оптимизации для задач планирования малой размерности и эвристических проблемно-ориентированных методов для NP-трудных задач большей размерности с указанием правил предпочтительности выбора каждого из методов [6].

На рис. 1 представлен алгоритм работы информационной системы. На рисунке можно видеть, что процесс работы методов оптимизации начинается после получения и проверки корректности данных и знаний об объекте планирования и выбора набора заказов, для которых будет строиться производственный план, с директивными сроками их выполнения.

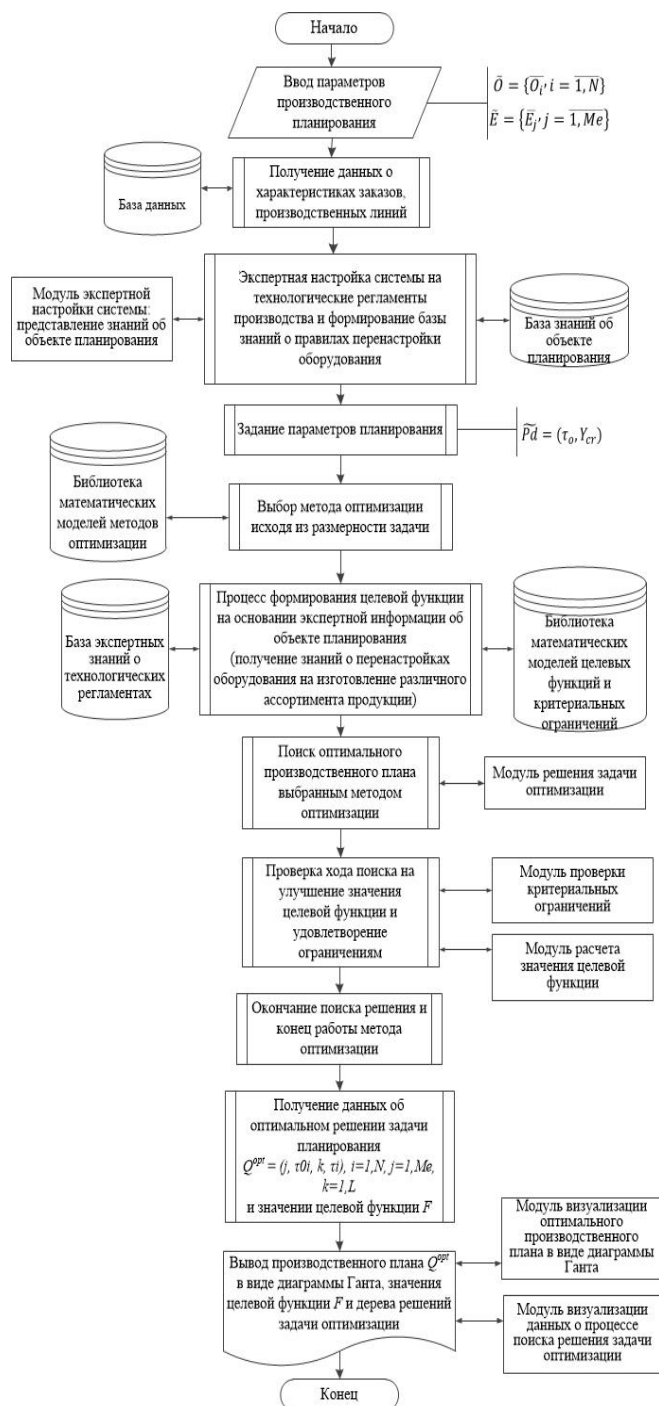


Рис. 1. Алгоритм решения задачи оптимизации производственного планирования

Для эффективного функционирования интеллектуальной системы было разработано информационное обеспечение, включающее в себя дополняемую и обновляемую базу данных с информацией об ассортименте продукции, характеристиках производственных линий и заказах с требуемыми сроками их выполнения, а также знания о состоянии оборудования и правилах его перенастройки.

Для наглядного отражения иерархических связей между различными характеристиками производства, оборудования и заказов были разработаны интеллектуальные карты как форма представления знаний об объекте планирования [7]. Интеллектуальная карта демонстрирует структуру знаний об объекте планирования, какие характеристики заказов, производственных линий и

параметров планирования участвуют в решении задачи оптимизации и являются основой для формирования и вычисления целевой функции.

В случае решения задачи планирования для производства полимерных плёнок, основными характеристиками заказов являются их номер, заказчик, тип продукции, рецептура, толщина, ширина и количество готового материала. Основными характеристиками производственных линий являются производительность, изготавливаемые типы плёнок, время на изменение рецептуры плёнки при переходе с изготовления одного типа на другой, диаметр насадки и время на смену насадки в зависимости от типа плёнки, диаметр калибрующего зазора соэкструзионной головки и время на смену диаметра в зависимости от типа плёнки, диаметр охлаждающего кольца и время на смену диаметра в зависимости от типа плёнки, время на перенастройку по толщине и время на перенастройку по ширине плёнки.

Визуализацией результатов работы информационной системы является удовлетворяющее технологическим требованиям и срокам выполнения производственное расписание, визуализированное в форме диаграммы Ганта, где выполнению каждого заказа на производственной линии ставится в соответствие отрезок прямой, длина которого пропорциональна его длительности, в последовательности, соответствующей расписанию. Дополнительно пользователю предоставляется объясняющий алгоритм процесса поиска оптимального производственного плана – дерево решений задачи оптимизации с возможностью демонстрации хода решения, позволяющее проследить улучшение значения целевой функции на каждой итерации работы алгоритма.

С. Модуль интеллектуальной настройки системы на различные типы производств

Для эффективной работы, обеспечения гибкости и вариативности применимости системы для различных производств в интерфейсе инженера по знаниям (производственный управленческий персонал) используется интеллектуальная подсистема формализации экспертных знаний, позволяющих учитывать специфику технологических и производственных процессов каждого предприятия. Для корректного формирования вида целевых функций и их вычисления в системе используется экспертная информация об объекте планирования, предоставленная специалистами предприятия в ходе заполнения форм и концептуальных таблиц настройки на различный ассортимент и параметры перенастройки оборудования с одного типа продукции на другой.

В качестве примера подобной формализации была разработана таблица возможных перенастроек оборудования промышленного производства полимерных плёнок, включающая правила, времена и расходы материала на перенастройки производственных линий по толщине и ширине материала, перенастройки по рецептуре плёнки, перенастройки диаметров насадки, калибрующего (формующего) зазора соэкструзионной головки, охлаждающего кольца и др. Подобная формализация позволяет исходя из параметров заказа и характеристик оборудования корректно формировать и рассчитывать значение целевой функции. Формирование данной концептуальной таблицы потребовалось,

поскольку сокращение времени перенастройки оборудования с одного заказа на другой, в значительной степени определяющее суммарное время выполнения пакета заказов, является ключевым элементом при оптимизации производственного расписания.

Данные таблицы позволяют корректно формировать вид целевой функции с возможностью её перерасчета в случае изменения состава действующего оборудования или расширения ассортимента производимой продукции.

Работа описанной информационной системы была успешно апробирована на реальных промышленных данных современных высокотехнологичных производств многоассортиментных полимерных плёнок в России и Германии («Klöckner Pentaplast Rus» и «Maria Soell Films») и данных российских металлургических предприятий (Челябинский завод металлоконструкций). Тестирование предлагаемой системы показало эффективность и целесообразность её использования для решения задачи формирования оптимального производственного плана.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе описана интеллектуальная информационная система оптимизации процесса производственного планирования. Система включает интеллектуальные интерфейсы экспертной настройки на различные типы производств, оборудования, ассортимент продукции, позволяющие расширить гибкость и вариативность использования системы. Информационное обеспечение системы включает дополняемую и обновляемую базу данных, позволяющую поддерживать банк данных об объекте планирования в актуальном состоянии и корректно рассчитывать значение целевой функции. Программные реализации различных проблемно-ориентированных методов оптимизации позволяют получить решение задачи планирования, обеспечивающее уменьшение времени, стоимости выполнения заказов и производственных затрат. Открытая архитектура обеспечивает возможность

расширения функциональности системы за счет настройки на новый тип производств и их характеристик, допускает возможность включения в систему новых методов оптимизации и подключения дополнительных программных модулей. Разработанная интеллектуальная система прошла успешную апробацию на данных различных многоассортиментных промышленных полимерных и металлургических производств. Применение предлагаемой интеллектуальной информационной системы позволяет значительно повысить эффективность процесса календарного производственного планирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Данилов А.Д., Ломакин В.А. Интеллектуальная система планирования гибкого автоматизированного производства // Вестник воронежского государственного технического университета. 2019. № 1. Т. 15. С. 7-11.
- [2] Носов А.Н. Современные средства и технологии обеспечения анализа и планирования производств / Носов А.Н., Бугров А.Н. // Системный анализ в науке и образовании. 2013. № 2. С. 118-132.
- [3] Логунова О.С., Аркулис М.Б. Автоматизированная система оперативного календарного планирования многостадийного производства: математическая модель и программная реализация // Вестник Череповецкого государственного университета. 2021. № 3 (102). С. 18–37.
- [4] Цуканов М.А. Разработка и реализация алгоритма построения расписания сталеплавильного производства на основе адаптации фрактала Кантора / М.А. Цуканов, О.А. Божкова // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. Т. 13. № 6. С. 32-37.
- [5] Комягина О.Ю. Программный комплекс для оптимального планирования производства многоассортиментных полимерных пленок / О.Ю. Комягина, Т.Б. Чистякова // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2012. Т. 1. № 2(64). С. 379-384.
- [6] Chistyakova T.B., Razygrayev A.S., Makaruk R.V., and Kohlert C. Decision support system for optimal production planning polymeric materials using genetic algorithms // Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements. 2016. P. 257-259. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519746.
- [7] Гаврилова Т.А., Страхович Э.В. Визуально-аналитическое мышление и интеллект-карты в онтологическом инжиниринге // Онтология проектирования. 2020. Т. 10, №1(35). С. 87-99.