

УДК 658.5:004.94

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОТНОСИТЕЛЬНО ОБОСОБЛЕННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ОБОРУДОВАНИЯ

Н. А. СЫСОЕВ, В. А. НЕДЮХИН

Научные руководители В. А. ШИРОЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.;

Н. П. СКРЫЛЕВ

Белорусско-Российский университет

Могилев, Беларусь

В условиях современного многономенклатурного серийного производства эффективность управления напрямую зависит от способности оперативно выявлять и устранять «узкие места» – элементы системы, пропускная способность которых ниже остальных (рис. 1). Увеличение загрузки других участков без устранения этого ограничения не ускоряет процесс, а создаёт переизбыток. Традиционные подходы, основанные на построении математической модели всего производства, сталкиваются с проблемой высокой размерности и сложной вариантной загрузки оборудования, что затрудняет оперативное принятие решений [1]. Это позволяет локализовать ограничение без анализа всего производства и обеспечивает интерактивную работу с моделью, повышая обоснованность решений по модернизации.

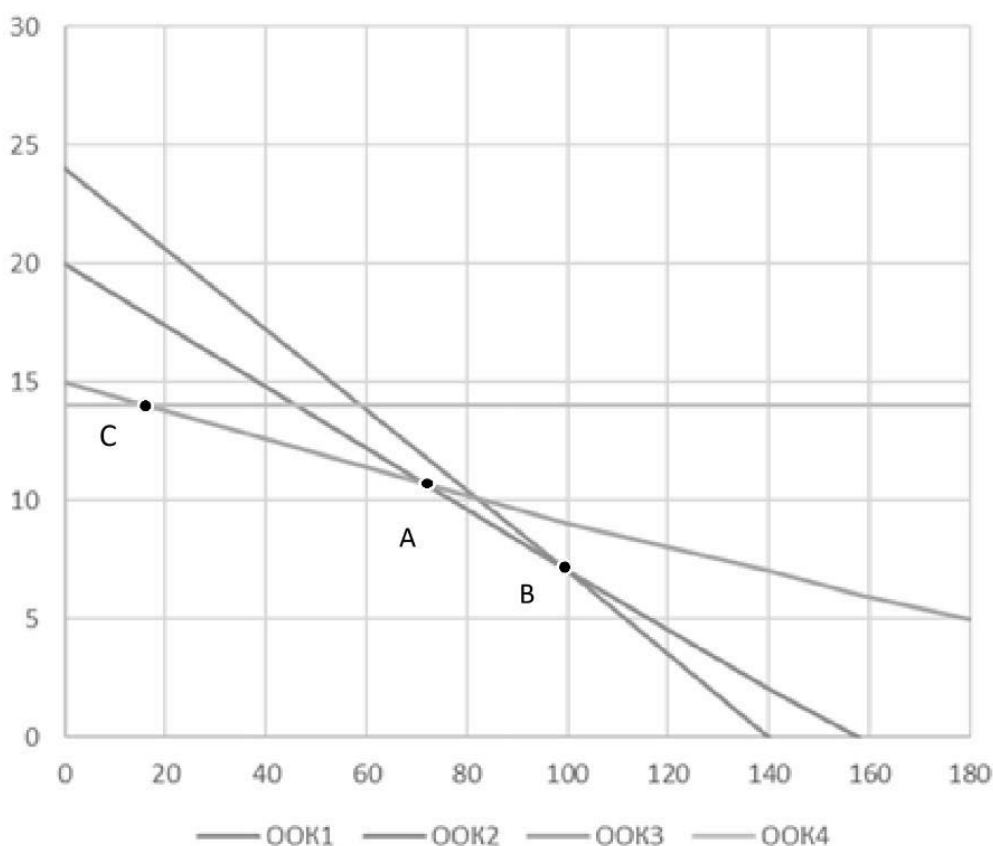


Рис. 1. Пропускные способности группы ООК

Под ООК понимается группа технологического оборудования, за которой закреплены операции, не связанные с оборудованием других групп, что обеспечивает их полную технологическую обособленность. Комплексы полностью обособлены: каждая единица оборудования входит только в один ООК, что исключает конфликты ресурсов и делает анализ независимым. Алгоритм выделения ООК используется для анализа операций по всей номенклатуре и формирования групп по технологической однородности. Важной характеристикой алгоритма выделения ООК является адаптивность: при изменении номенклатуры структура ООК перестраивается автоматически [2, 3]. Для практической реализации метода разработана программная система с клиент-серверной архитектурой. Серверная часть выполняет функции вычислительного ядра: хранит исходные данные (технологические маршруты, паспорта оборудования), запускает алгоритм выделения ООК и решает оптимизационные задачи по определению пропускной способности каждого комплекса. Клиентская часть – графическое приложение для ввода данных, инициализации расчётов и визуализации результатов в таблицах и диаграммах. Пользователь инициирует анализ, результаты выводятся поэтапно, что позволяет контролировать ход вычислений.

Система позволяет гибко формировать варианты анализа производственных возможностей: можно создать конфигурацию, охватывающую все ООК, или сфокусироваться только на нескольких ключевых участках, предположительно являющихся «узкими местами». Возможность формирования различных вариантов ООК позволяет сравнивать альтернативные структуры производства, например с разным количеством и составом комплексов, без необходимости каждый раз перестраивать всю модель. Наиболее значимой для практического поиска «узких мест» является функция интерактивного перерасчёта пропускной способности по конкретному ООК. Она позволяет просмотреть все закреплённые за выбранным ООК операции с учётом их длительности, изменить время любой операции и мгновенно получить перерасчёт, показывающий, как это повлияло на максимальный объём выпуска. Важно, что сокращение времени любой из операций, закреплённых за ООК, в общем случае увеличивает объём выпуска, т. к. уменьшается суммарная трудоёмкость комплекта деталей. Отсутствие роста выпуска после изменения длительности может произойти только по одной причине – недостаточное уменьшение времени, не позволяющее «перешагнуть» дискретный порог (объём увеличивается только на целое число изделий). При этом внутри ООК после изменения времени может перераспределиться закрепление операций между единицами оборудования, поскольку построение ООК основано на возможном взаимозаменении входящего в него оборудования. Сокращение времени одной операции может изменить оптимальное распределение загрузки, и конечный эффект проявится на других операциях. Таким образом, технолог, регулируя различные операции, определяет, какое изменение даёт необходимый прирост, оценивает пороговые значения и принимает решение о модернизации конкретного станка.

Выбор операции для увеличения пропускной способности ООК определяется не математическими расчётами, а технологическими возможностями производства. Расчёты лишь указывают, насколько нужно сократить время, чтобы достичь нужного объёма, однако сама возможность такого сокращения зависит от наличия технических средств, конструктивных особенностей оборудования и других технологических факторов. Вычисления лишь определяют пределы возможного изменения – насколько нужно сократить время, чтобы объём выпуска достиг требуемого уровня. Сама возможность такого сокращения определяется исключительно технологическими условиями: наличие технических средств, конструктивные особенности оборудования, возможность применения более производительного инструмента и т. п. Если такой возможности нет, то любые вычислительные эксперименты бессмысленны. При изготовлении одного вида изделия задача практически однопараметрическая: необходимо уменьшить суммарное время всех операций, закреплённых за ООК, чтобы в плановый период «влезло» больше комплектов. При этом не принципиально, за счёт какой именно операции достигнуто сокращение – эффект на объём одинаков (с поправкой на дискретность). Критерием выбора становится технологическая возможность и экономическая целесообразность. При производстве двух и более видов продукции методология усложняется – вступает в действие механизм взаимозамещения: пропускные способности разных ООК накладывают совместные ограничения на объёмы выпуска каждого из изделий. Выбор операции становится нетривиальным, т. к. изменение длительности в одном ООК по-разному влияет на выпуск разных изделий. Для выбора наиболее эффективного направления модернизации решается прямая задача линейного программирования – максимизация объёма выпуска при заданных пропускных способностях ООК. По ней строится двойственная задача, решение которой показывает, увеличение фонда времени какого из ООК даёт наибольший прирост выпуска. Это позволяет определить, модернизация какого комплекса наиболее эффективна.

Помимо режима перерасчёта пропускной способности, система предоставляет детализированный просмотр результатов. Для каждого ООК можно раскрыть полный список операций по каждой детали и увидеть максимальное количество изделий за плановый период. При этом отображается не только итог, но и связь с конкретными операциями. «Узким местом» является именно ООК в целом, а не отдельная операция внутри него. Сокращение времени любой операции, закреплённой за этим ООК, увеличит его пропускную способность, при этом закрепление операций между станками внутри ООК может измениться. Итоговые данные представляются в таблицах с составом оборудования, инвентарными номерами, максимальными и приведёнными объёмами выпуска по всем изделиям.

Благодаря тому, что ООК являются технологически обособленными группами, они могут служить естественными модулями при построении цифровых двойников производственных систем. Каждый такой модуль отражает

реальную пропускную способность и загрузку оборудования, что позволяет моделировать различные производственные сценарии без необходимости описывать всё предприятие целиком. Поскольку ООК не пересекаются по составу оборудования и выстраиваются в технологической последовательности, календарное планирование может выполняться независимо для каждого комплекса с учётом порядка их следования в производственном процессе. Это позволяет решать несколько локальных задач вместо одной сложной для всего предприятия. Помимо упрощения планирования, предлагаемый подход позволяет количественно оценить избыточную мощность ООК, которые не являются «узкими местами» для основной номенклатуры. Этот резерв может быть использован для производства деталей в запас или для выполнения сторонних заказов без риска срыва основной производственной программы

Проведённое исследование позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, декомпозиция производства на ООК снижает размерность задачи оптимизации, т. к. вместо одной сложной модели решается несколько независимых локальных задач. Во-вторых, клиент-серверная архитектура системы обеспечивает возможность параллельных вычислений, что сокращает время расчётов при работе с большим объёмом данных. В-третьих, режим перерасчёта позволяет технологу количественно оценить влияние изменения длительности любой операции на конечный объём выпуска, что делает процесс поиска «узких мест» наглядным и обоснованным. В-четвёртых, детализированное представление результатов в виде ранжированного списка ООК с указанием их пропускных способностей позволяет быстро выявить лимитирующие комплексы. При этом окончательное решение о том, какую именно операцию сокращать, остаётся за технологом и определяется технологическими возможностями, а математические расчёты лишь задают количественные ориентиры для принятия решения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Широченко, В. А.** Анализ эффективности промышленного производства на основе решения двойственной задачи линейного программирования / В. А. Широченко, Н. П. Скрылев, В. А. Недюхин // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С. Фундаментальные науки. – 2025. – № 1. – С. 32–38.
2. **Скрылев, Н. П.** Анализ производственных возможностей машиностроительного предприятия на основе выделения относительно обособленных комплексов оборудования / Н. П. Скрылев, В. А. Недюхин, Н. А. Сысоев // Современные вопросы естествознания и экономики : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. – Прокопьевск, 2025. – С. 224–227.
3. **Широченко, В. А.** Особенности оптимизации промышленного производства на основе математического программирования / В. А. Широченко, Н. П. Скрылев, В. А. Недюхин // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2025. – № 2. – С. 55–67.