

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

УДК 621:658

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-231-244

**Проектирование схемы системы поддержки принятия решений на основе онтологии перекомпонованного производства**

© 2022, Т.А. Пищухина

*Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия***Аннотация**

Цель работы – проектирование схемы системы поддержки принятия решений перекомпонованного производства с применением онтологического подхода и математического моделирования. Проведена декомпозиция процесса производства продукции в перекомпонованном производстве, выделены основные влияющие факторы. Приведена концептуальная схема и иерархия классов построенной онтологии предметной области. Для учёта приоритетности влияющих факторов и выявления управляющих воздействий, влияющих на скорость перекомпоновки производства, разработана причинно-следственная схема Исикавы. Предложено формализованное описание процесса выбора оптимального пути перекомпонования производственной системы. Разработана схема системы поддержки принятия решений для перекомпонованного производства, основанная на учёте временных и пространственных факторов перекомпоновки. Предложена структура времени перекомпоновки, позволяющая оптимизировать несколько факторов одновременно. Приведён пример оптимизации времени перекомпоновки участка перекомпонованного производства с применением метода динамического программирования Беллмана и теории графов.

Ключевые слова: перекомпонованное производство, системы поддержки принятия решений, оптимизация, декомпозиция, онтология, диаграмма Исикавы.

Цитирование: Пищухина Т.А. Проектирование системы поддержки принятия решений на основе онтологии перекомпонованного производства // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №2(44). С.231-244. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-231-244.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Рыночный спрос является ориентиром для производства продукции, а его быстрые изменения требуют от производства такой же мгновенной реакции. Существующие производственные системы (ПС) не способны отвечать этим требованиям, что дало толчок разработке новых парадигм в производственной сфере, таких как перекомпонованные ПС [1-3].

Основной характеристикой таких ПС является время их перенастройки на новый вид продукции. Чтобы сократить процесс перенастройки следует рассмотреть всю совокупность факторов, которые оказывают на него непосредственное влияние. Эта задача включает комплекс разнородных сложно совместимых данных, объединить которые возможно только с применением онтологического моделирования. Дальнейший анализ и обработка схемы предметной области (ПрО) позволяет разработать схему системы поддержки принятия решений (СППР) для перекомпоновки ПС. Современное промышленное производство является сложным технологическим и многопрофильным комплексом, влияющим на развитие всей

страны и формирующим основу её экономики. Анализу сложившейся ситуации в сфере производства в России посвящено много работ [4-7]. Ориентация на потребителя привела к сокращению цикла производства, широкому ассортиментному разнообразию и смене технологического уклада. Можно ожидать, что требования к гибкости реагирования на изменение спроса будут возрастать.

Цель работы – разработка схемы СППР переконпонуемого производства с применением онтологического подхода и математического моделирования.

1 Структурно-функциональный анализ переконпонуемого производства

Функционирование переконпонуемой ПС зависит от продукции, на которую она должна настраиваться, поэтому при разработке СППР следует, прежде всего, рассмотреть её производственный процесс (ПП) в подобных условиях. На системном уровне это лучше всего сделать, используя методологию *IDEFO* [8].

Контекстная диаграмма *IDEFO* ПП переконпонуемого производства показана на рисунке 1. Основной функцией выбран процесс «Изготовление продукции в переконпонуемом производстве». Входными величинами определены классические для промышленного производства энергия, сырье и входная информация, а заявка на продукцию является отражением быстрого изменения внешних условий, в которых продукция изготавливается по отдельным дискретным запросам, пока является востребованной. Заявка формируется с помощью целевой уставки «Рыночный спрос», который в первую очередь определяет состояние рынка изделий и формирует приоритетные направления функционирования переконпонуемой ПС. Другие управляющие ограничения (условия) определяются стандартами, включающими ГОСТы, законы, рекомендации и др. документы, а также нормы, по которым исполняются ПП и изготавливаются промышленные изделия. В качестве выходной информации служат готовые изделия и данные, сопровождающие их, например, документация на продукцию.

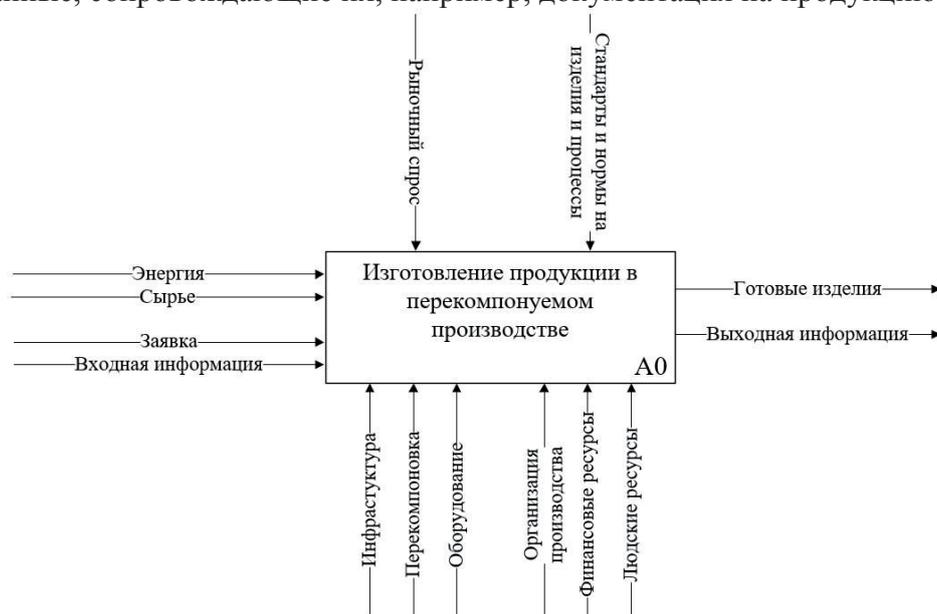


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма ПП в переконпонуемом производстве

Механизмами реализации в переконпонуемом производстве выступают: инфраструктура, включающая транспорт, материально-техническое снабжение, складское, инструментальное, ремонтное и другие обеспечивающие хозяйства; оборудование, содержащее станки, манипуляторы, транспортные машины, измерительные и регулирующие устройства и т.п.; людские

ресурсы; организация производства, как комплекс методов, мер и принципов, направленных на эффективное осуществление функционирования производства. Для перекомпоуемого производства отличительным механизмом выступает перекомпоновка, в которую могут входить, методы, алгоритмы, шаблоны, варианты технологического процесса (ТП) и др.

Для определения функций ПС проведена декомпозиция первого уровня (см. рисунок 2). ТП перекомпоуемого производства, согласно предварительному распределению функций, проходит четыре стадии:

- 1) анализа и проектирования;
- 2) выработки управления по исполнению процесса;
- 3) реализации;
- 4) оценки качества исполнения.

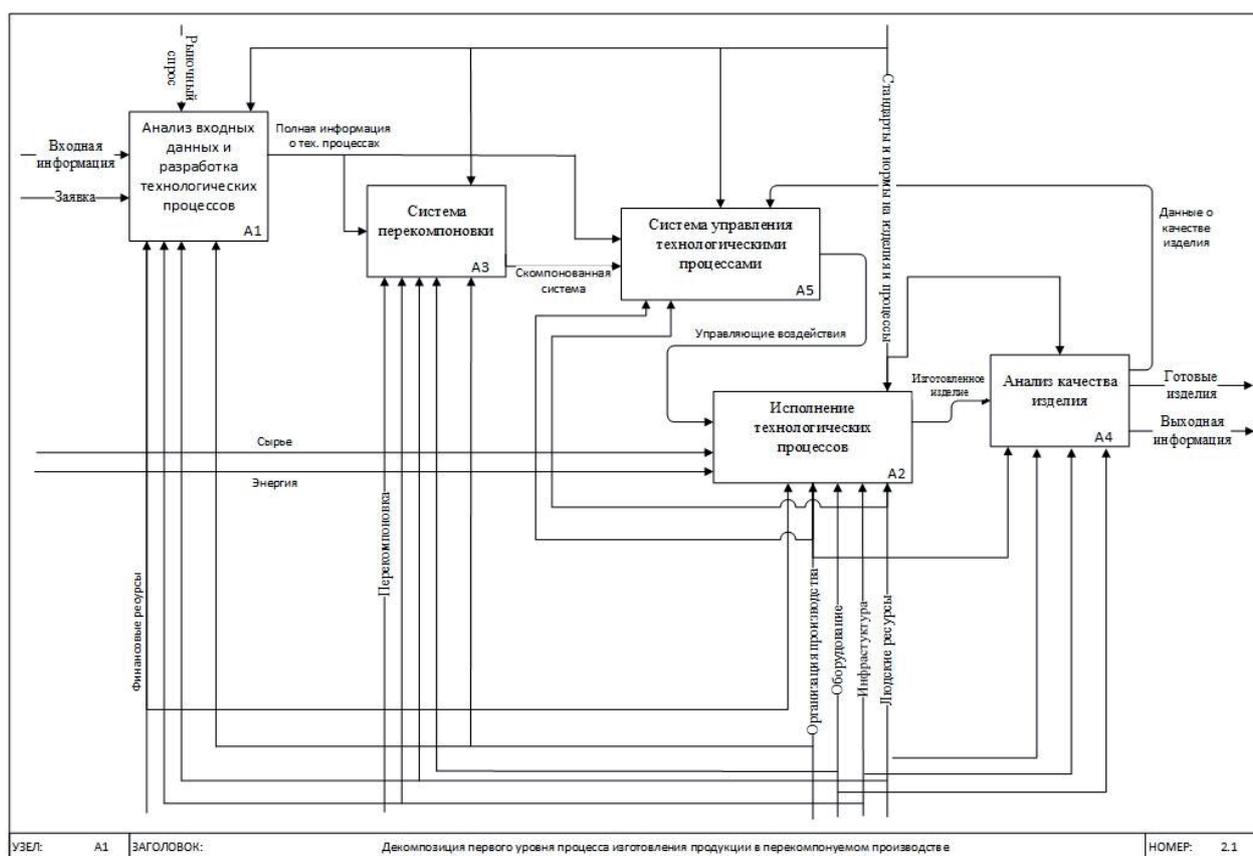


Рисунок 2 – Диаграмма декомпозиции первого уровня процесса изготовления продукции в перекомпоуемом производстве

Стадия анализа и проектирования реализована в блоке «Анализ входных данных и разработка ТП». Здесь заявка проходит оценку и с учётом всей входной информации формируется последовательный путь исполнения операций. Целевыми уставками в этом случае являются рыночный спрос и ограничения, такие как стандарты и нормы исполнения ТП. Результатом процесса является полностью сформированная информация о ТП, например, в форме маршрутной или технологической карты, поступающей на вход блока «Система перекомпоновки», который совместно с блоком «Система управления ТП» реализует вторую стадию – выработку управляющих воздействий по исполнению процесса.

Система перекомпоновки сверяет текущие конфигурации с требуемыми, и если компоновки не совпадают, формирует команды на изменение компоновки ПС. По окончании процесса перекомпонования на выходе блока генерируется сигнал о готовности компоновки си-

стемы, получив который «Система управления ТП» начинает вырабатывать управляющие воздействия на следующий блок «Исполнение ТП». Ограничениями для перекомпоновки, как и для блока «Система управления ТП» служат стандарты и нормы на процессы и изделия, поступающие в блок сверху. В систему управления дополнительно передаются данные о качестве готовых изделий. Механизмы обоих блоков содержат организацию производства и людские ресурсы. В блок перекомпоновки в качестве добавочных механизмов входят: перекомпоновка, инфраструктура и оборудование.

Стадия реализации ТП представлена блоком «Исполнение ТП», который помимо команд управления от предыдущего блока получает на вход также энергию и сырье для осуществления ТП. В ограничения блока включены стандарты с нормами исполнения ТП, а механизмы содержат инфраструктуру, оборудование, организацию производства и людские ресурсы. Работа блока оканчивается выдачей готового изделия.

Стадия оценки качества осуществляется блоком «Анализа качества изделия». В роли ограничений сверху поступают стандарты и нормы на процессы и изделия, а в механизмах участвуют оборудование, инфраструктура и людские ресурсы. Выход – это готовое изделие вместе с выходной информацией, в частности, документацией на продукт.

На рисунке 3 показана дальнейшая декомпозиция *IDEF0* для блока «Система перекомпоновки», который включает два процесса: управление компоновкой и изменение компоновки.

На первой стадии происходит сравнение текущей и требуемой компоновок на основе входящего потока полной информации о ТП и формируются управляющие воздействия по изменениям в компоновке ПП, вторая стадия реализует эти изменения, выдавая на выходе окончательно скомпонованную ПС.

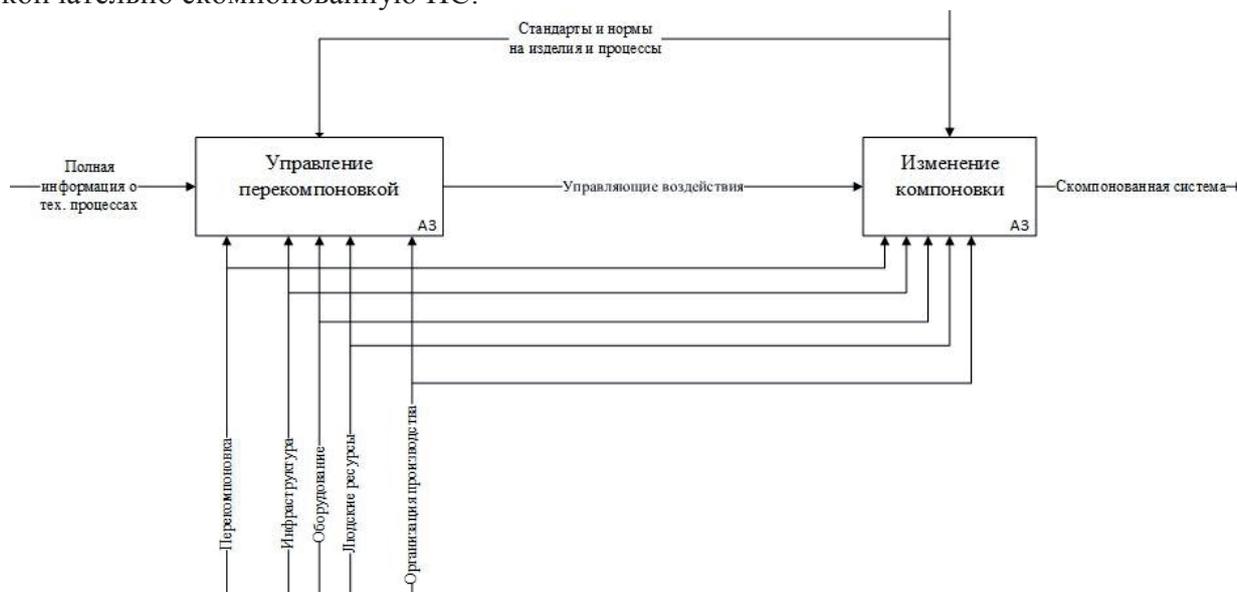


Рисунок 3 – Диаграмма декомпозиции второго уровня процесса изготовления продукции в перекомпоновочном производстве для блока «Система перекомпоновки»

Ограничения и механизмы обеих стадий остаются аналогичными тем, что входят в блок «Система перекомпоновки».

2 Онтологии перекомпоновочного производства

Онтологии позволяют формализовать знания о ПрО для разрабатываемой СППР в виде множества обобщённых понятий (концептов). В области ПС имеется многообразие онтологий, представляющих ресурсы производства [9]. Одной из самых известных является произ-

водственная онтология [10], созданная для описания процессов производства с целью независимости описания от приложений, представляющих эти процессы. Производственные онтологии являются прикладными и сосредоточены на интеграции производственных информационных систем или моделировании отдельных ПП. Они не учитывают особенности перекомпоуемых ПС.

Проведённая декомпозиция процесса изготовления изделия в перекомпоуемом производстве (рисунки 1-3) служит основой разрабатываемой онтологии, концептуальная схема которой показана на рисунке 4.

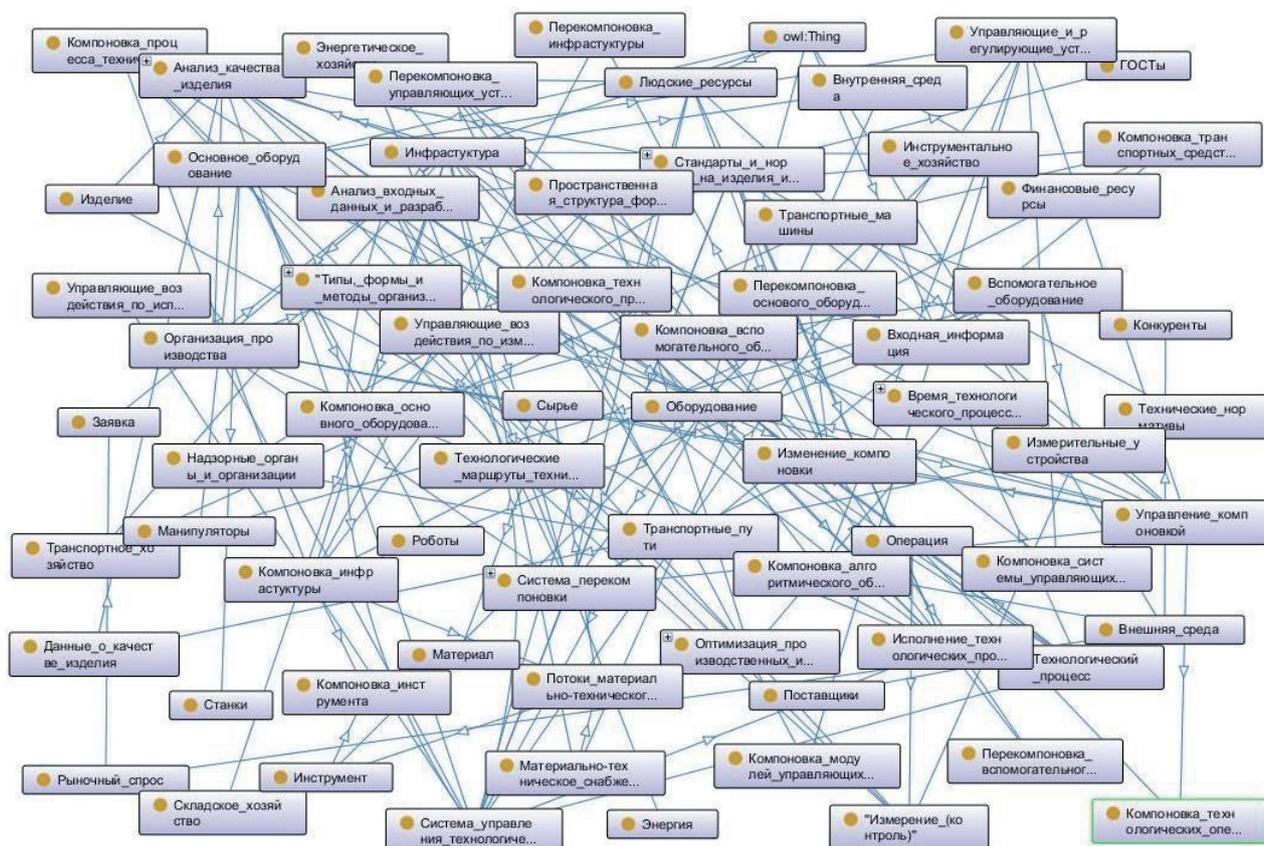


Рисунок 4 – Концептуальная схема онтологии перекомпоуемого производства

Понятие «оборудование» включает основное и вспомогательное оборудование, которые характеризуются атрибутами «компоновка основного оборудования» и «компоновка вспомогательного оборудования» соответственно. Через атрибут, называемый «перекомпоновка», обе связаны с системой перекомпоновки, оказывающей непосредственное влияние на перестройку ПС под новую продукцию с помощью «системы управления ТП», вырабатывающей «управляющие воздействия» для «исполнения ТП». Перекомпоновка связана с понятием «оптимизация ПП и ТП», которое является подразделением понятия «пространственная структура форм организации производства», присутствующего как атрибут у механизма «типы, формы и методы организации производства», характеризующего область «организация производства». Сокращение времени перенастройки обеспечивается также за счёт другого атрибута связки «организация производства» - «типы, формы и методы организации производства», присутствующего в оптимизации, – «временной структуры форм организации производства». Если первый компонент по компоновке обеспечивает сокращение перенастройки за счёт перекомпонования системы в пространстве, то второй служит для уменьшения времени исполнения ТП путём выбора наилучшего пути его реализации.

На рисунке 5 показан фрагмент иерархии классов онтологии перекомпонованного производства. В него входят все наборы таксономий ПрО, формируя единую структуру.

Семантическая сеть используется в качестве модели представления знаний и служит основой для создания онтологии. Комбинация всевозможных конфигураций с разными параметрами позволит оценить влияние каждого фактора на ПС и выбрать оптимальный вариант исполнения ТП.

Для конкретизации структуры процесса управления перекомпоновым производством и выделения всех входящих в него потоков построена диаграмма Исикавы (рисунок 6). Жирным шрифтом отмечены потоки управления, обычным – входящие потоки. Факторы проранжированы в порядке воздействия на конечный результат, если идти слева направо. Ячеистая пространственная структура форм организации производства рекомендуется как структура, сокращающая время переналадки, маршруты перемещения деталей и другие накладные расходы [11].

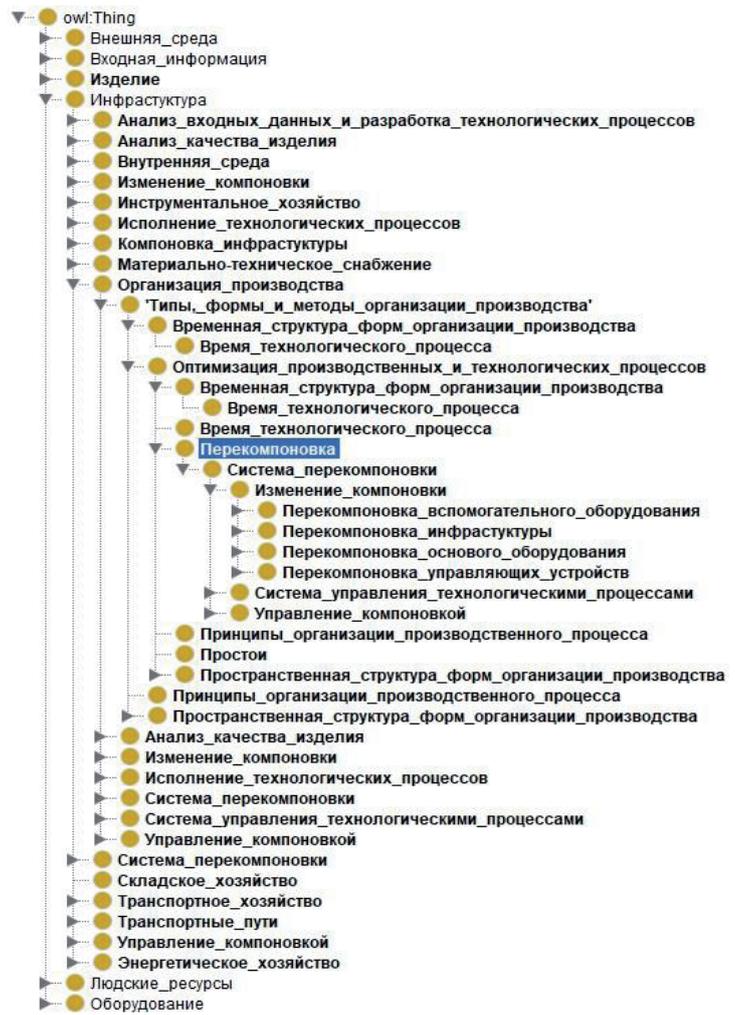


Рисунок 5 – Фрагмент иерархии классов онтологии перекомпонованного производства



Рисунок 6 – Диаграмма Исикавы факторов, влияющих на скорость перекомпоновок производства

3 Показатели эффективности перекомпонованного производства

В качестве показателя эффективности перекомпонованного производства рационально выбрать время перенастройки системы на новую продукцию (в зарубежной терминологии *lead-time*, время выполнения заказа [12]).

Перенастройка начинается в момент получения новой заявки на входе ПС. Первоначально заявку необходимо проанализировать и выделить параметры ТП. Пусть время анализа заявки занимает $t_{ан}$. Следующий этап – разработка ТП, длительность которой $t_{раз.тех.пр.}$. Готовый ТП поступает в систему перекомпоновки, где происходит главная перенастройка, состоящая из нескольких ключевых этапов:

- сравнение текущей компоновки и затребованной для выявления минимально необходимых преобразований за время $t_{срав.комп}$ (на этом этапе перекомпоновка может закончиться, если затребованная и фактическая компоновка системы совпадают);
- перекомпоновка основного оборудования, длительность которой $t_{осн.об.}$;
- перекомпоновка вспомогательного оборудования $t_{всп.об.}$;
- перекомпоновка управляющих устройств $t_{упр.устр.}$, включающая в том числе перекомпоновку алгоритмов управления и регулирования;
- перекомпоновка инфраструктуры $t_{инфр.}$.

При перекомпоновке основного оборудования следует учитывать тот факт, что для начала исполнения нового ТП перекомпонованной системе не нужно проводить перенастройку всей системы в целом, достаточно настроить только первые несколько операций. В течение того периода времени, пока они будут исполняться, остальная часть системы может успеть перестроиться для выполнения второй операции, затем незадействованная во второй операции часть – для третьей и так далее. Можно осуществлять этот процесс непосредственно во время реализации технологии либо на этапе управления её готовностью к внедрению. Здесь появляется возможность ввести управляющие воздействия по сокращению времени перенастройки за счёт СППР, которая будет выбирать, какое оборудование и как можно перестроить с меньшими временными потерями вследствие перебора большого числа вариантов исполнения ПП в перекомпонованной ПС.

Рационально представить каждый из обозначенных выше временных промежутков системы перекомпоновки как множество диапазонов времени, соответствующих перенастройке на исполнение отдельных операций:

$$t_{осн.об.} = \{t_{осн.об.}^{on1}, t_{осн.об.}^{on2}, \dots, t_{осн.об.}^{onm}\};$$

$$t_{всп.об.} = \{t_{всп.об.}^{on1}, t_{всп.об.}^{on2}, \dots, t_{всп.об.}^{onm}\};$$

$$t_{упр.устр.} = \{t_{упр.устр.}^{on1}, t_{упр.устр.}^{on2}, \dots, t_{упр.устр.}^{onm}\};$$

$$t_{инфр.} = \{t_{инфр.}^{on1}, t_{инфр.}^{on2}, \dots, t_{инфр.}^{onm}\}.$$

Здесь m – количество операций в ТП. Необходимо также учитывать затраты времени («транспортные расходы») на перемещение между станками:

$$t_{трансп.рас.} = \{t_{трансп.рас.}^{on1}, t_{трансп.рас.}^{on2}, \dots, t_{трансп.рас.}^{onm}\}.$$

В блочной матрице со строками из имеющихся выше множеств сумма по столбцу будет полным временем перекомпоновки по отдельной операции, а сумма элементов всей матрицы даст полное время перестройки на новый ТП. Если рассматривать управление временем перекомпоновки ПС для каждого из ТП по операциям, то его можно разбить на m шагов и воспользоваться методом динамического программирования Беллмана для получения оптимального значения [13]. Функция Беллмана имеет вид:

$$F_k(t_{тек.}) = \min_J \{t_{iJ} + F_{k-1}(J)\}.$$

где t_{iJ} – время переконфигуровки для одной операции; $t_{тек.}$ – текущая операция ТП; $F_k(J)$ – минимально возможная длительность переконфигуровки для всех оставшихся операций.

Очевидно, что для первого шага ($k = 1$) длительность переконфигуровки по времени равна полному времени переконфигуровки от первой до последней операции.

Некоторое значение J^* , на котором достигается минимум функции Беллмана, и будет минимальным временем переконфигуровки всего ТП.

Расчёт оптимального значения по методу динамического программирования даст лишь минимальное время компоновки одного из возможных вариантов настройки ПС на ТП. Вычисление оставшихся вариантов – итерационный процесс, который может быть остановлен заданием количества итераций или времени окончания. Перебрать все возможные комбинации исполнения ТП при наличии переконфигуровки всех элементов системы не представляется возможным, но указанная методика позволит выбрать оптимальный вариант из заданного множества и тем самым сократить время перенастройки системы на новую продукцию.

Пример расчёта оптимального варианта переконфигуровки. На рисунке 7 схематически показан фрагмент цеха переконфигурируемого производства, состоящего из переконфигурируемых станков и станций-ячеек, способных полностью обрабатывать деталь на одном рабочем месте. Пунктирными линиями выделены транспортные пути по цеху и внутри ячеек. Инфраструктура может быть распределённой по цеху, либо быть сосредоточенной в одном месте.

Пусть в цех поступило новое задание, определяемое заявкой. Часть станков ещё может быть занята обработкой изделий по предыдущей заявке. Пусть заняты станок R2 и станция S2. Компоновка свободных станков сравнивается с заявленной под новую технологию компоновкой. Сравнение можно осуществить, например, по количеству необходимых трансформаций и времени, которое под них отводится. Чем меньше это время, тем больше совпадают компоновки. Если при первом сравнении время стремится к нулю, то компоновки считаются равными, и задание сразу поступает на обработку.

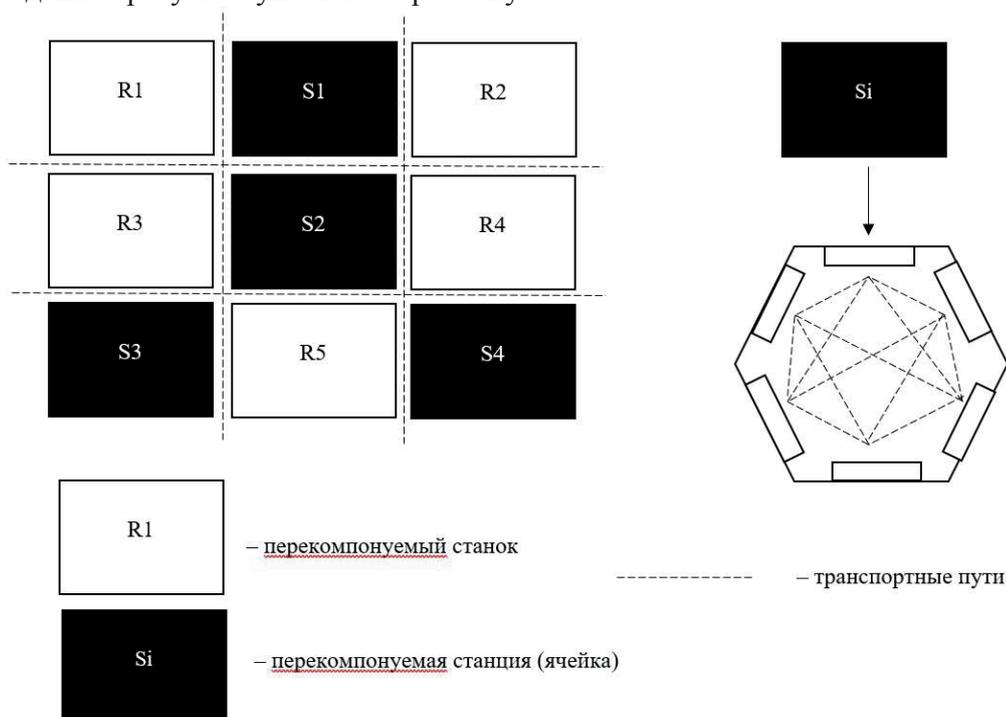


Рисунок 7 – Схема фрагмента цеха переконфигурируемого производства

Если компоновки не совпадают, то СППР должна определить оптимальный вариант переконпоновки ПС на новую технологию. Возможен вариант с параллельным выполнением нескольких операций. При такой настройке выбираемых на одной операции станков (станций) может быть несколько. В примере исполнение операций считается последовательным.

Структура времени переконпоновки станка (станции) на одну операцию показана на рисунке 8.

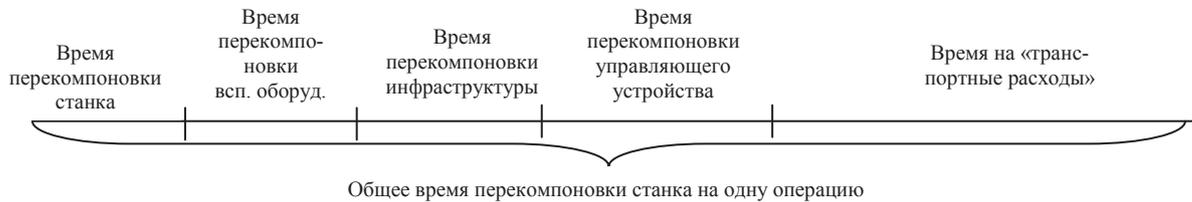


Рисунок 8 – Структура времени переконпоновки станка

СППР просчитывает время переконпоновки всех станков и станций в ПС при переходе из текущего состояния на каждую из m операций нового ТП. В расчёты также входит совокупность диапазонов переконпоновки каждого станка и станции из любой другой операции (кроме первой) на любую другую операцию нового ТП, следующую за этой операцией, т.е. это наборы временных показателей:

$t_{\text{переконпоновки}}$ (тек. → операция 1 нового), $t_{\text{переконпоновки}}$ (тек. → операция 2 нового), ..., $t_{\text{переконпоновки}}$ (тек. → операция n нового);

$t_{\text{переконпоновки}}$ (операция 1 нового → операция 2 нового), $t_{\text{переконпоновки}}$ (операция 1 нового → операция 3 нового), ..., $t_{\text{переконпоновки}}$ (операция 1 нового → операция m нового);

$t_{\text{переконпоновки}}$ (операция 2 нового → операция 3 нового), $t_{\text{переконпоновки}}$ (операция 2 нового → операция 4 нового), ..., $t_{\text{переконпоновки}}$ (операция 2 нового → операция m нового);

...

$t_{\text{переконпоновки}}$ (операция $m-1$ нового → операция m нового);

Набор этих величин даёт совокупность времени переконпоновки всей ПС, начиная с любого станка. Можно построить граф последовательности времени переконпоновки ПС на новый ТП с любого станка и сравнить эти последовательности по времени, чтобы выбрать оптимальную. Можно построить взвешенный граф с учётом, что R2 и S2 ещё заняты. При построении графа длительность операций может быть включена во время переконпоновки станка. Весы на графе и есть диапазоны времени переконпоновки каждой из единиц оборудования (рисунок 9). Станки в течение ТП могут использоваться несколько раз и в любом порядке, учитывая возможность переконпоновки на любую операцию, поэтому каждая единица оборудования соединена дугами со всеми остальными.

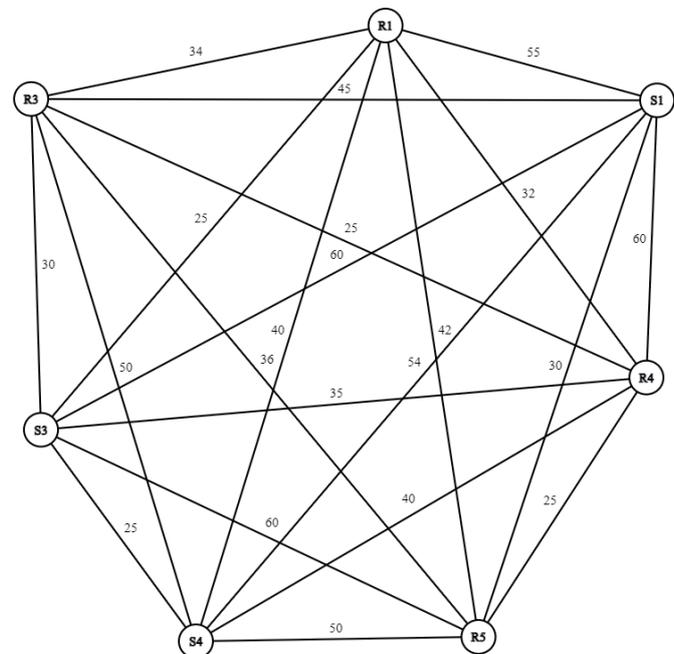


Рисунок 9 – Граф для расчёта времени переконпоновки ПС

Вид графа на рисунке 9 демонстрирует невозможность перебора всех вариантов исполнения ТП при условии наличия перекомпоновки любой единицы оборудования на любую операцию вследствие наличия большого числа циклов. Поэтому можно ограничить перебор, например, с учётом условия отсутствия простоев оборудования всем набором остовных подграфов, которые означают попадание всех вершин графа в подграф, то есть участие каждой единицы оборудования в ТП. Граф на рисунке 9 является полным, поэтому количество остовных деревьев в нём равно: $n^{(n-2)} = 7^5 = 16807$. Перебор такого количества возможен с остановкой на заданном числе итераций или по достижении определённого времени.

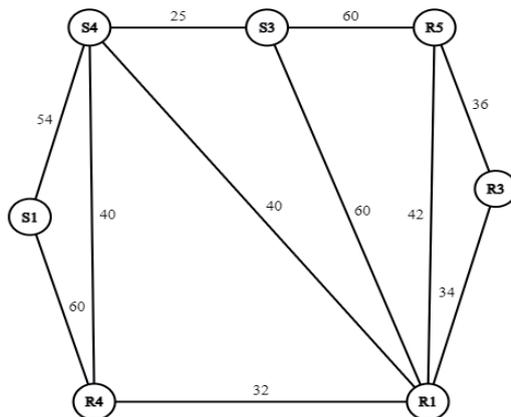


Рисунок 10 – Остовный подграф графа на рисунке 9 для расчёта времени перекомпоновки одного из вариантов ТП

Можно рассмотреть расчёт времени перекомпоновки хотя бы для одного варианта ТП. Один из остовных подграфов, выделенных из графа на рисунке 9 показан на рисунке 10. Сам подграф также имеет множество путей реализации, но выбором начального станка и направлением движения его можно ограничить. Пусть обход начинается со станции S1 и пусть движение задано слева-направо, причём попадание в следующую вершину исключает возврат в предыдущую. При такой постановке это вырождается в классическую задачу о путешествиях [14], которую можно решить методом динамического программирования Беллмана, если разбить граф по поясам на участки-уровни: S1 – к первому, S4 и R4 относятся ко второму уровню, S3 – к третьему, R1, R5 – к четвертому и R3 – к пятому. Начиная из конечной вершины и считая её конечной точкой оптимального пути, можно пройти по всему графу, рассчитывая функцию Беллмана.

1-й шаг: $k = 1; F_1(t_{тек.}) = t_{R3}$

$t_{тек.} / J$	R3	$F_1(t_{тек.})$	J^*
R1	34	34	R3
R5	36	36	R3

2-й шаг: $k = 2; F_2(t_{тек.}) = \min_J \{t_{RJ} + F_1(t_{тек.})\}$

$t_{тек.} / J$	R1	R5	$F_2(t_{тек.})$	J^*
S3	34+60	36+60	94	R1, R5
R1	–	36+42	108	R5
S4	34+40	–	74	R1
R4	34+32	–	66	R1

3-й шаг: $k = 3; F_3(t_{тек.}) = \min_J \{t_{RJ} + F_2(t_{тек.})\}$

$t_{тек.} / J$	S3	R1	S4	R4	$F_3(t_{тек.})$	J^*
S4	94+25	34+40	–	66+40	74	R1, S3
R4	–	108+32	74+40	–	114	R1, S4
S1	–	–	74+54	66+60	126	S4, R4

4-й шаг: $k = 4; F_4(t_{тек.}) = \min_J \{t_{RJ} + F_3(t_{тек.})\}$

$t_{тек.} / J$	R4	S4	S1	$F_4(t_{тек.})$	J^*
S1	114+60	74+54	–	128	R4, S4

Минимально короткий путь перекомпоновки в данном варианте ТП $T_{пер.} = F_4(t_{тек.}) = 126$. Он достигается по пути $S1 \rightarrow R4 \rightarrow R1 \rightarrow R3$. Далее можно выделить следующий остовный подграф графа на рисунке 9 и подсчитать оптимальный путь на нём. Выполнив этот процесс

столько раз, сколько задано по времени или ограничено итерациями, можно получить набор путей перекомпоновки в остовных подграфах, сопоставляя которые, выбрать минимальный.

При параллельном исполнении операций подобный граф и остовные подграфы строятся для каждой параллельно работающей ветви станков, работающих над разной совокупностью операций, на которые целесообразно распараллелить ТП.

4 Построение схемы СППР для перекомпоновочного производства

Разработанные модели позволяют осуществлять управление перенастройкой ПС с одной продукции на другую. Процесс формирования управляющих воздействий можно разбить на два направления оптимизации: пространственную и временную (оптимизацию времени перенастройки). Первое направление осуществляется за счёт перекомпоновочности производственного оборудования, его расположения и взаимодействия, а второе - сокращением времени исполнения процесса за счёт выбора транспортных путей, путей технического контроля, распараллеливания операций, переходов внутри операций и т.п. Оба фактора входят в показатель «время перекомпоновки».

Обобщение в онтологии различных факторов, влияющих на конечную цель, позволяет разработать схему СППР для повышения эффективности перенастройки ПС на новую продукцию. Укрупнённая схема СППР перекомпоновки для лица, принимающего решение (ЛПР), приведена на рисунке 11.

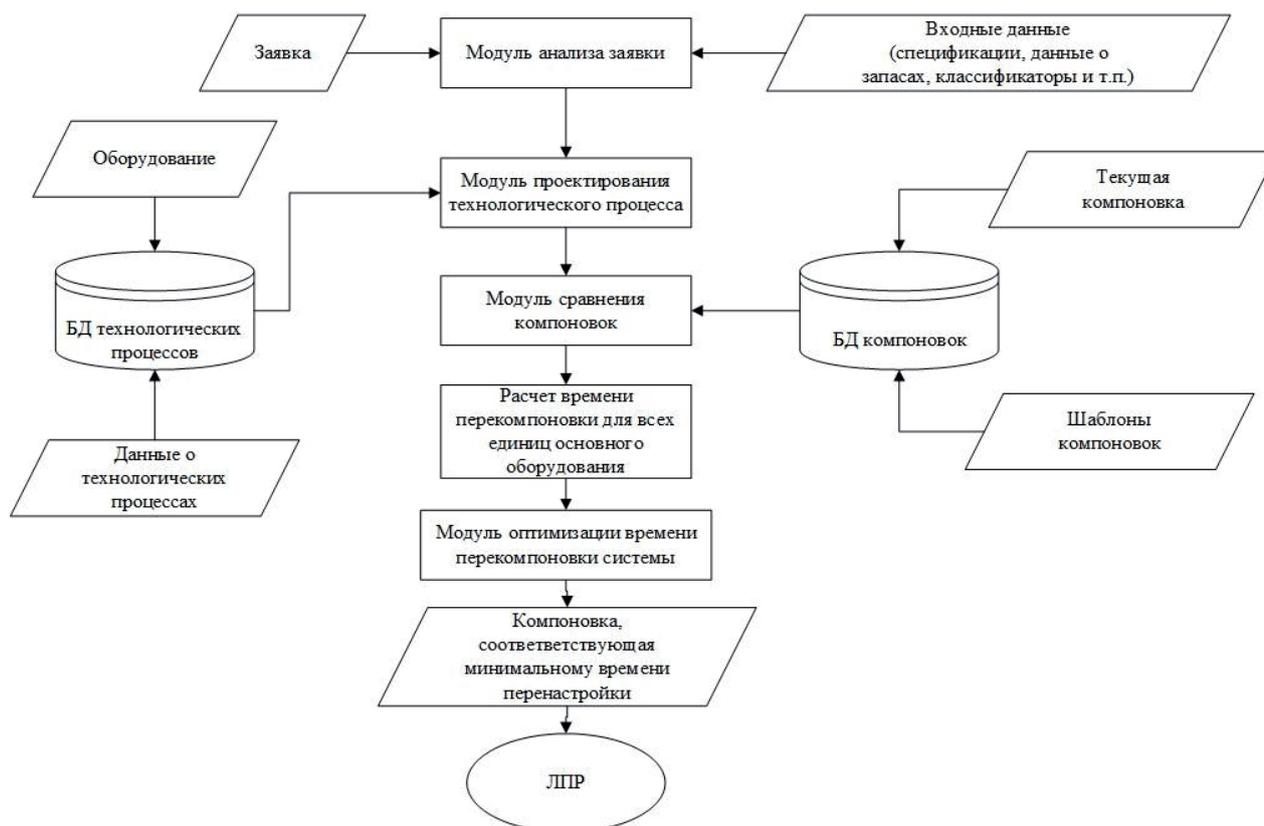


Рисунок 11 – Укрупнённая схема СППР для сокращения времени перенастройки перекомпоновочного производства на новую продукцию с точки зрения ЛПР

Реализация разработанной схемы СППР позволит выбрать эффективные пути перенастройки производства на новую продукцию, принимать решения об управляющем воздействии, реализуемом посредством перекомпоновки, оптимизируемой по времени.

Заключение

Основным показателем эффективности перекомпоуемого производства рассматривается время его перенастройки на новую продукцию. На основе проведенной декомпозиции процессов перекомпоуемого производства разработана онтология, учитывающая факторы, влияющие на этот показатель с учётом наличия возможности перекомпоуовки всех элементов производства. Выделенные в работе параметры влияния сведены в критерий, позволяющий оценивать и выбирать пути более быстрой перенастройки ПС. Разработана схема СППР, которая позволит оказывать управляющие воздействия и принимать решения по процессам перекомпоуемого производства.

Практическая ценность заключается в формализованной модели управления подготовкой перекомпоуемого производства к переходу на другую продукцию, которую можно применить при построении СППР для ПП и ТП. Выявление основных влияющих факторов позволит оказывать управляющие воздействия на адаптацию и реагирование ПС к изменению потребностей рынка. Использование СППР позволит накопить статистическую информацию по функционированию перекомпоуемой ПС в процессе перенастройки, выявить и оценить дополнительные влияющие факторы.

Список источников

- [1] *Mehrabi M.G., Ulsoy A.G., Koren Y.* Reconfigurable manufacturing systems: key to future manufacturing // Journal of Intelligent Manufacturing. 2000. Т.11. № 4. С.403-419.
- [2] *Царёв А.М., Левашкин Д.Г.* Перекомпоуемые производственные системы реконфигурируемого производства. Обеспечение жесткости автоматически сменных узлов призматической формы: монография. Москва: Спутник+, 2007. 303 с.
- [3] ГОСТ 26228-90 СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ГИБКИЕ. Термины и определения, номенклатура показателей. Flexible manufacturing systems. Terms and definitions, nomenclature of indices. М.: Издательство стандартов, 1990.
- [4] *Дуброва Т.А.* Материально-техническая база предприятий обрабатывающих производств в России: текущее состояние и перспективы развития // В сборнике: Исследование социально-экономического развития территорий в условиях санкций и угроз глобальных вызовов: материалы I Всероссийской научно-практической конф. (20–23 мая 2020 г., Тамбов, Россия). – Тамбов: ФГБОУ ВО "ТГТУ", 2020. С. 154-161.
- [5] *Варшавский А.Е.* Актуальные проблемы реиндустриализации и импортозамещения / А.Е. Варшавский // Производство, наука и образование в эпоху трансформаций: Россия в [де]глобализирующемся мире (ПНО-VI): материалы VI Международного конгресса (04 декабря 2019 г., Москва, Россия). Под общей редакцией С.Д. Бодрунова. – Москва: ИНИР им. С.Ю. Витте, Конгресс работников образования, науки, культуры и техники (КРОН), 2020. С.133-146.
- [6] *Абдикеев Н.М., Морева Е.Л., Богачев Ю.С., Оболенская Л.В., Донцова О.И., Трифонов П.В., Бекулова С.Р., Тютюник И.Г.* Совершенствование поддержки секторов российской промышленности: монография. – Москва: ООО "Издательство "КноРус", 2022. 250 с.
- [7] *Орлов С.Ю.* Предпосылки создания методологии реконфигурируемого производства (машиностроение) в условиях конкуренции // Национальная Ассоциация Ученых. 2015. № 5-1 (10). С.98-101.
- [8] Р 50.1.028-2001. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. – Госстандарт России, 2001. Дата введения 2002-07-01.
- [9] *Жиляев А.А.* Онтологии как инструмент создания открытых мультиагентных систем управления ресурсами // Онтология проектирования. 2019. Т.9. № 2 (32). С.261-281. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-261-281.
- [10] ГОСТ Р ИСО 18629-1-2010 Системы промышленной автоматизации и интеграция. Язык спецификаций процесса. Часть 1. Обзор и основные принципы. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии, 2010.
- [11] *Мизюн В.А.* Управление производственными системами и процессами / В.А. Мизюн. – Издательство СНЦ РАН. – 2012. – 211 с.
- [12] *Koren Y.* Reconfigurable Manufacturing Systems / Y. Koren (University of Michigan), U. Heisel (Universitat Stuttgart) and others // Annals of the CIRP Vol. 48/2/1999, p. 527-540, DOI:10.1016/S0007-8506(07)63232-6.

- [13] **Беллман Р.** Динамическое программирование / Р. Беллман. – М.: Издательство иностранной литературы, 1960. 400 с.
- [14] **Беллман Р.** Прикладные задачи динамического программирования / Р. Беллман, С. Дрейфус. – М.: Наука, 1965. – 460 с.

Сведения об авторе

Пищухина Татьяна Александровна, 1978 г. рождения, доцент кафедры управления и информатики в технических системах Оренбургского государственного университета (ОГУ). Окончила ОГУ (2000) по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств», магистратуру по направлению подготовки «Информатика и вычислительная техника» (2015). К.т.н. (2008). Доцент (2020). SPIN-код: 7438-6010, ORCID: 0000-0001-6458-770X. Author ID (RSCI): 607229. tpuits@mail.ru.



Поступила в редакцию 05.06.2022, после рецензирования 17.06.2022. Принята к публикации 24.06.2022.



Scientific article

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-231-244

Designing a decision support system scheme based on the ontology of recomposable manufacturing

© 2022, Т.А. Pishchukhina

Orenburg State, Orenburg, Russia

Abstract

The purpose of the work is to design a scheme of the DSS of a recomposable manufacturing using an ontological approach and mathematical modeling. The decomposition of the production process in the recomposed manufacturing is carried out, the main influencing factors are identified. The conceptual scheme and hierarchy of classes of the constructed ontology of the subject area are given. In order to take into account the priority of influencing factors and identify the controlling influences affecting the speed of reconfiguration of the recomposed manufacturing, the Ishikawa cause-and-effect diagram was developed. A formalized description of the process of choosing the optimal way to reconfigure the system is proposed. A DSS scheme for the reconfigurable manufacturing has been developed, based on the consideration of temporal and spatial factors of the reconfiguration. A recomposition time structure is proposed, which allows optimizing several factors at the same time. An example of optimizing the recomposition time of a recomposable manufacturing area using the Bellman dynamic programming method and graph theory is demonstrated.

Keywords: *recomposable manufacturing, decision support systems, optimization, decomposition, ontology, Ishikawa diagram.*

Citation: *Pishchukhina T.A. Designing a decision support system scheme based on the ontology of recomposable manufacturing [In Russian]. Ontology of designing. 2022; 12(2): 231-244. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-231-244.*

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures

Figure 1 – Contextual diagram of the technological process in the recomposable manufacturing

Figure 2 – Decomposition diagram of the first level of the production process in the recomposable manufacturing

Figure 3 – Decomposition diagram of the second level of the production process in the recomposable manufacturing for the block "Recomposition system"

Figure 4 – Conceptual diagram of the ontology of the recomposable manufacturing

- Figure 5 – Fragment of the class hierarchy of the ontology of the recomposable manufacturing
Figure 6 – Ishikawa diagram of factors affecting the speed of the recomposable reconfiguration
Figure 7 – Fragment of the workshop of the recomposable manufacturing
Figure 8 – The structure of the recomposable time of the machine
Figure 9 – Graph for calculating the time of system re-configuration
Figure 10 – The spanning subgraph of the graph in Figure 9 for calculating the time of recomposition of one of the variants of the technological process
Figure 11 – The general scheme of the DSS to reduce the time of reconfiguration of the recomposed manufacturing to new products from the point of view of the DSS

References

- [1] **Mehrabani MG, Ulsoy AG, Koren Y.** Reconfigurable manufacturing systems: key to future manufacturing, // Journal of Intelligent Manufacturing. 2000; 11(4): 403-419.
- [2] **Tsarev AM, Levashkin DG.** Reconfigurable production systems of reconfigurable production. Ensuring the rigidity of automatically replaceable prismatic nodes: monograph. Moscow: Sputnik+, 2007. - 303 p.
- [3] GOST 26228-90 Terms and definitions, nomenclature of indices [In Russian]. Moscow: Publishing house of standards, 1990.
- [4] **Dubrova TA.** Material and technical base of manufacturing enterprises in Russia: current state and prospects of development [In Russian]. In the collection: Research of socio-economic development of territories in the conditions of sanctions and threats of global challenges: materials of the I All-Russian Scientific and Practical Conference (May 20-23, 2020, Tambov, Russia). Tambov: FGBOU VO "TSTU", 2020. pp. 154-161.
- [5] **Varshavsky AE.** Actual problems of reindustrialization and import substitution [In Russian]. Manufacturing, science and education in the era of transformations: Russia in a Globalizing World (PN-VI): Proceedings of the VI International Congress (December 04, 2019, Moscow, Russia). Under the general editorship of S.D. Bodrunov. Moscow: INIR named after S.Y. Witte, Congress of Workers of Education, Science, Culture and Technology (KRON), 2020. pp.133-146.
- [6] **Abdikeyev NM, Moreva EL, Bogachev YS, Obolenskaya LV, Dontsova OI, Trifonov PV, Bekulova SR, Tyutyunik IG.** Improving the support of sectors of Russian industry: monograph [In Russian]. Moscow: LLC "KnoRus Publishing House", 2022. 250 p.
- [7] **Orlov SYu.** Prerequisites for the creation of the methodology of reconfigurable production (mechanical engineering) in a competitive environment [In Russian]. National Association of Scientists. 2015; 5-1(10): 98-101.
- [8] P 50.1.028-2001 RECOMMENDATIONS FOR STANDARDIZATION. Information technologies for product life cycle support. Methodology of functional modeling [In Russian]. Gosstandart of Russia, 2001.
- [9] **Zhilyaev AA.** Ontology as a tool for creating open multi-agent resource management systems [In Russian]. *Ontology of designing*. 2019; 9(2): 261-281. DOI: 10.18287/2223-9537-2019-9-2-261-281.
- [10] GOST R ISO 18629-1-2010 Industrial automation systems and integration. The language of the process specifications. Part 1. Overview and basic principles [In Russian]. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology, 2010.
- [11] **Mizyun VA.** Management of production systems and processes [In Russian]. SNC RAS. 2012. 211 p.
- [12] **Koren Y.** Reconfigurable Manufacturing Systems (University of Michigan), U. Heisel (Universitat Stuttgart) and others // Annals of the CIRP Vol. 48/2/1999, p. 527-540, DOI:10.1016/S0007-8506(07)63232-6.
- [13] **Bellman R.** Dynamic programming [In Russian]. Moscow: Publishing House of Foreign Literature, 1960. 400 p.
- [14] **Bellman R, Dreyfus S.** Applied problems of dynamic programming. Moscow: Nauka, 1965. 460 p.

About the author

Tatiana Alexandrovna Pishchukhina, (b. 1978). Associate Professor, Department of Management and Informatics in Technical Systems, Orenburg State University (OGU). Graduated from OGU in 2000 with a degree in Automation of technological processes and production, qualification "Engineer". Master's degree in Computer Science and Computer Engineering (2015, OGU). In 2008, she defended her PhD thesis. In 2020, she received the title of Associate Professor. SPIN CODE: 7438-6010, ORCID: 0000-0001-6458-770X. Author ID (RSCI): 607229. tpuits@mail.ru.

Received June 05, 2022. Revised June 17, 2022. Accepted June 24, 2022.
