

НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГОРНЫЕ НАУКИ

УДК 622.331.002.5

СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ И РЕМОНТЕ ТОРФЯНЫХ МАШИН В УСЛОВИЯХ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

И.В. ГОРЛОВ, д-р техн. наук, Е.В. ПОЛЕТАЕВА, к.т.н.

Тверской государственной технической университет
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: gorloviv@yandex.ru

© Горлов И.В., Полетаева Е.В., 2024

Изложен новый подход при производстве деталей торфяных машин в условиях многономенклатурного производства. Установлено, что при синтезе технологического маршрута изготовления деталей торфяных машин в условиях непрофильного многономенклатурного производства часто возникает проблема загрузки существующих гибких производственных систем (ГПС). Рекомендовано обеспечивать производство дефицитных деталей торфяных машин в непрофильном производстве за счет рационального распределения технологических задач для каждого гибкого производственного модуля. Указано, что для повышения эффективности технологической подготовки используются системы автоматизированного проектирования технологических процессов, а также отмечено, что они не в полной мере обеспечивают достижение качественного решения, поскольку конкретная ГПС может не соответствовать типовому подходу для рассматриваемой детали. Для решения этой проблемы предложено провести анализ конструкторско-технологических элементов (КТЭ) детали и определить возможные способы их получения с учетом существующего оборудования. Обозначено, что для достижения высокой эффективности и необходимого качества продукции в условиях многономенклатурного производства с постоянно изменяющейся нагрузкой гибкого производственного модуля необходимо расширять технологические возможности ГПС за счет использования для имеющихся станков дополнительных технологических модулей, отвечающих за изготовление проблемных КТЭ.

Ключевые слова: торфяные машины, технология машиностроения, автоматизация, технологическая подготовка производства, структурная модель, групповая технология, гибкие производственные системы.

DOI: 10.46573/2658-5030-2024-1-49-59

ВВЕДЕНИЕ

Вследствие прекращения серийного производства ряда торфяных машин возникла глобальная проблема отсутствия необходимого количества качественных запасных частей для ремонта. В связи с этим организации, производящие капитальный и текущий ремонт оборудования для добычи торфа, были вынуждены изготавливать необходимые комплектующие самостоятельно (на базе имеющегося на балансе универсального оборудования) в условиях единичного производства, что в большинстве случаев не обеспечивает требуемого качества деталей и приводит к росту их

стоимости. В то же время большое количество машиностроительных предприятий в области дорожных и строительных машин столкнулось с проблемой сокращения производства, что может повлечь за собой снижение загрузки, а в перспективе даже банкротство. С другой стороны, предприятия, ушедшие с рынка, создают дефицит некоторых изделий, замещение которых другими производителями не всегда возможно, особенно в условиях санкционного давления на Россию.

Предприятия, продолжающие свою деятельность, для сохранения производства вынуждены брать за выпуск несвойственных им изделий в рамках малой серийности, что вызывает в их производственной системе значительные проблемы, связанные с адаптацией существующих технологических процессов к новым задачам. Решение данной проблемы возможно за счет использования технологических процессов, обладающих высокой гибкостью.

При использовании традиционного подхода в ходе изготовления деталей малой серийности использовалось универсальное оборудование, которое не отвечает двум основным требованиям – эффективности и стабильного качества. В настоящее время для достижения высокой эффективности и качества в многономенклатурном производстве существует несколько подходов. Одними из наиболее перспективных являются групповые технологии, которые основаны на применении гибких производственных систем (ГПС) [1].

Тем не менее в условиях реального производства не всегда получается реализовать требуемые параметры технологического процесса при изготовлении новой номенклатуры деталей. Может потребоваться существенное изменение имеющейся производственной системы. Следовательно, основной целью исследования является разработка алгоритма формирования маршрута обработки новой номенклатуры деталей в условиях группового производства.

СТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ДЕТАЛЕЙ И РАЗРАБОТКА МАРШРУТА ИЗГОТОВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ГРУППОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Для реализации групповой технологии необходима предварительная классификация деталей с последующей селекцией их на основе конструктивных и технологических признаков. Классификация деталей при подготовке к производству происходит с целью определения основных групп для технологически однородных деталей, что впоследствии обеспечит их совместное изготовление в рамках групповой технологии. При осуществлении классификации деталей учитывается ряд основных признаков:

- общность обработки конструкторско-технологических элементов (КТЭ);
- типоразмер;
- материал детали;
- способ получения заготовки (не всегда);
- требуемая точность размеров и шероховатость обрабатываемых поверхностей.

Следует учитывать также общность решения основных технологических задач. Нежелательно использование при изготовлении широкой номенклатуры деталей специальной технологической оснастки. Наиболее рациональный вариант заключается в том, что, например, для всех деталей группы на токарных операциях можно использовать трехкулачковый патрон одного типоразмера [2]. При разработке групповых технологических процессов необходимо выбирать такие детали, для обработки которых потребуется минимальное время на переналадку оборудования, т.е. минимум подготовительно-заключительного времени. Сходство маршрутов обработки также будет положительным критерием для объединения деталей в группу.

При включении в группу новой детали производится структурный анализ [3–6] для сравнения ее КТЭ с существующей номенклатурой КТЭ группы. Затем выбирают деталь-лидер, которая обладает самым большим количеством КТЭ среди деталей группы. На базе детали-лидера формируется комплексная деталь путем структурного обогащения ее недостающими КТЭ.

Рассмотрим группу, состоящую из деталей – тел вращения, которые относятся к типу дисков-втулок. Среди них есть корпуса подшипников, направляющие втулки, крышки, ступицы и др. Детали принадлежат к одному размерному ряду до 200 мм и имеют схожий набор КТЭ (таблица). На основе структурного анализа деталей группы была разработана комплексная деталь (рис. 1).

Сводная таблица КТЭ группы

Конструкторско-технологические элементы											
Цилиндр IT 8	Цилиндр IT 12	Цилиндр IT 14	Фасонная канавка IT 14	Торец IT 14	Торец IT 12	Отверстие IT 12	Отверстие IT 7	Резьбовое отверстие	Канавка IT 14	Фаска IT 12	Конус IT 7

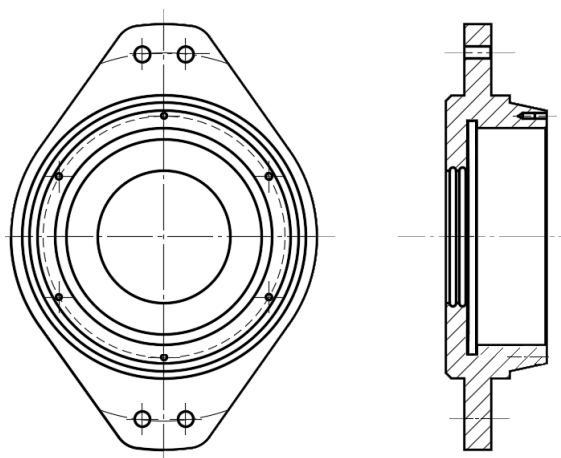


Рис. 1. Эскиз комплексной детали

Деталью-лидером в рассматриваемой группе является корпус подшипника. Эта деталь содержит максимальное количество КТЭ деталей группы. Корпус подшипника изготавливается из серого чугуна СЧ20, имеет центральное отверстие, выполненное по седьмому качеству, несоосные сквозные отверстия по двенадцатому качеству, торцевые поверхности, выполненные по четырнадцатому и двенадцатому качествам. Шероховатость поверхностей находится в пределах от Ra 0,63 до Rz 40. Для получения комплексной детали к детали-лидеру были добавлены глухие отверстия с резьбой и конусная поверхность. Другие детали группы изготавливаются из стали 45, 35Л.

В группу входят детали, которые производятся по условиям среднесерийного, мелкосерийного и единичного производства. Групповые технологические процессы строятся на основе принципов серийного производства и реализуются с помощью ГПС [7].

На основе анализа комплексной детали был разработан комплексный маршрут, состоящий из девяти операций:

- токарной черновой левой стороны;
- токарной черновой правой стороны;
- токарной чистовой левой стороны (включая получистовые переходы);
- токарной чистовой правой стороны (включая получистовые переходы);
- фрезерной левой стороны;
- фрезерной правой стороны;
- внутришлифовальной левой стороны;
- внутришлифовальной правой стороны;
- круглошлифовальной.

Ниже представлены технологические переходы и указано, на каком оборудовании они выполняются:

- токарный черновой – на ТС1625Ф3;
- токарный получистовой – ТС1730Ф4;
- токарный чистовой – ТС1730Ф4;
- фрезерный – ФС85МФ3;
- сверлильный – ФС85МФ3;
- зенковочный – ФС85МФ3;
- резьбонарезной – ФС85МФ3;
- закалка токами высокой частоты – индукционной печи с числовым программным управлением (ЧПУ) Delta NC30;
- внутришлифовальный – ОШ-525Ф3;
- круглошлифовальный – ОШ-525Ф3.

Способы и последовательность обработки КТЭ:

1) цилиндры, торцы и соосные отверстия до 9 качества включительно могут обрабатываться на токарных операциях точением и растачиванием (черновые, получистовые и чистовые переходы при условии достижения требуемой точности). На черновых операциях используется станок нормальной точности ТС1625Ф3, на получистовых и чистовых – станок повышенной точности ТС1730Ф4 с расширенными технологическими возможностями (имеются инструментальные позиции с приводом инструмента);

2) внутренние канавки прорезаются расточными резцами на получистовых или чистовых операциях (в зависимости от требования к поверхности, на которой они расположены);

3) наружные и внутренние фаски выполняются на получистовых и чистовых операциях (в зависимости от требований к поверхности, на которой они расположены);

4) фасонные поверхности фрезеруются обходом по контуру на станке ФС85МФ3 после токарных операций;

5) термообработка производится с помощью индукционной печи с ЧПУ Delta NC30. На ней ведутся различные виды термообработки в автоматическом режиме с учетом конструктивных особенностей деталей;

6) наружные цилиндры и конусы, внутренние соосные отверстия до IT6 обрабатываются на шлифовальных операциях после токарных на станке ОШ-525Ф3, который предназначен для наружного и внутреннего шлифования гладких и прерывистых

цилиндрических и конических поверхностей в телах вращения (детали типа валы, оси, штоки, оправки, фланцы и др.), закрепленных в центрах или патроне.

В группу, включающую детали – тела вращения, которые относятся к типу дисков-штулок, может быть добавлена любая деталь, КТЭ которой будут соответствовать указанным. Если новая деталь содержит элементы, не соответствующие элементам группы, для включения ее в группу потребуется изменение группового маршрута.

Решить названную проблему можно несколькими методами. Наиболее простой – с помощью специального инструмента с добавлением перехода на соответствующей операции. Это, например, использование фасонной фрезы для получения сложно-контурной поверхности. В данном случае затраты на изменение группового маршрута будут незначительные.

Второй путь – использование специализированной оснастки, расширяющей технологические возможности имеющегося оборудования [8]. Это, к примеру, применение дополнительных поворотных осей с ЧПУ для фрезерных станков с ЧПУ. Такие устройства позволяют изготавливать детали, у которых есть сложные поверхности, связанные между собой пространственными связями (зубчатые венцы или шлицы и др.). Если таких КТЭ относительно немного, то обработку можно проводить фасонным инструментом методом копирования (относительно недорогой вариант). Если таких элементов много, для повышения производительности следует использовать червячные фрезы, работающие методом обката (более дорогое решение).

Аналогично можно расширить технологические возможности станка ТС1730Ф4 за счет приводных блоков, установленных в револьверную головку. Такие блоки имеют унифицированные присоединительные поверхности, что дает возможность без дополнительных затрат монтировать их на станки с приводными позициями инструментальной головки. Приводные блоки дополнительно к имеющимся технологическим возможностям станка могут выполнять долбление поверхностей различной формы, фрезерование эвольвентных контуров до 8-й степени точности и звездочек методом обката.

Третий путь – добавление в групповой маршрут дополнительной операции с соответствующим оборудованием. Это, например, использование зубофрезерного станка с ЧПУ 53С11Ф5 при изготовлении зубчатых венцов, звездочек, шлицев. Данное решение является наиболее затратным, но самым эффективным при изготовлении большого количества зубчатых венцов, звездочек, шлицев.

Допустим, что нам нужно изготовить партию звездочек для бункерных торфяных уборочных машин. Звездочка (рис. 2) представляет собой деталь типа «диск», имеет два одинаковых зубчатых венца, ступицу с базовым отверстием, в котором имеются два шпоночных паза.

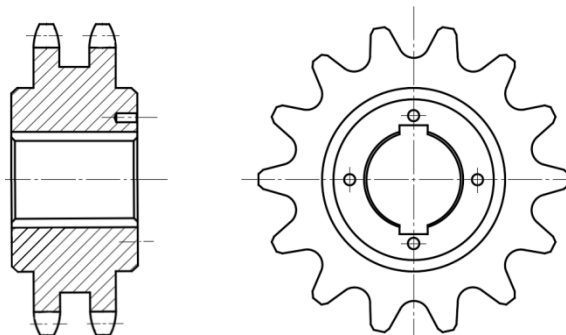


Рис. 2. Эскиз звездочки

На торце ступицы также имеются четыре резьбовых отверстия. Звездочка подвергается термической обработке – закалке.

Перед включением данной детали в рассматриваемую группу был проведен структурный анализ и разработана структурная модель (рис. 3). Анализ показал, что при изготовлении звездочки по рассмотренному групповому технологическому маршруту есть два лимитирующих КТЭ – шпоночный паз и зубчатый венец, которые не могут быть выполнены без изменения технологического процесса.

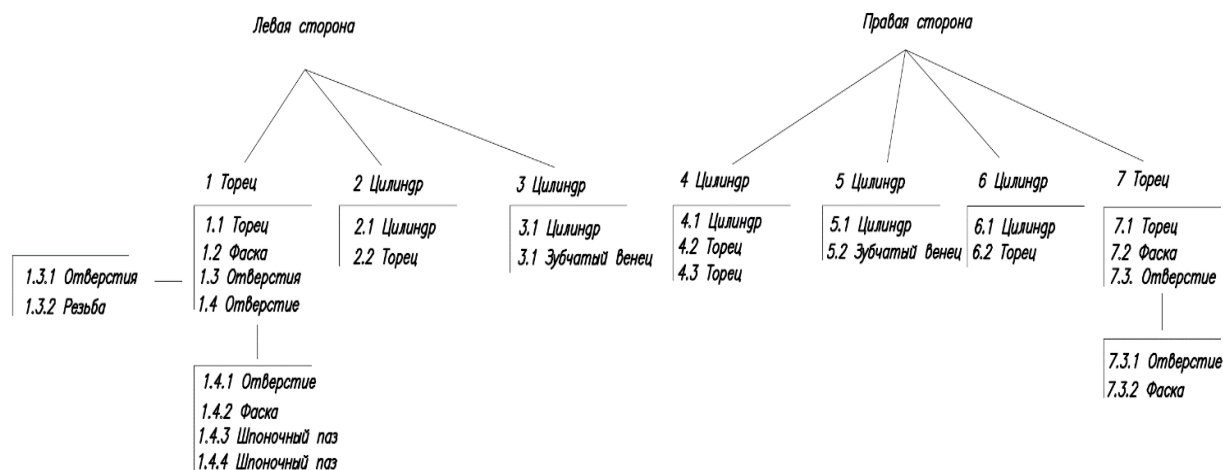


Рис. 3. Структурная модель детали «звездочка» с точки зрения конструкторских и технологических свойств

Традиционно шпоночные пазы в отверстиях изготавливаются протягиванием (в серийном производстве) или долблением (в единичном и мелкосерийном производстве). Однако в рассматриваемом групповом технологическом процессе нет соответствующего оборудования, поэтому при решении технологической задачи можно использовать долбежный блок для токарного станка с ЧПУ (рис. 4).

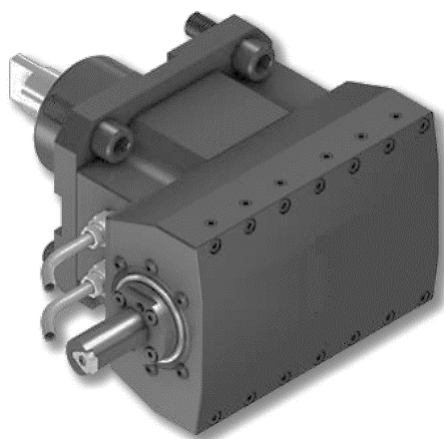


Рис. 4. Общий вид приводного долбежного блока для токарного станка с ЧПУ

Зубчатый венец звездочки может быть изготовлен на зубофрезерном станке, но в рассматриваемом групповом технологическом процессе такого оборудования нет. Следует использовать имеющийся фрезерный станок ФС85МФ3, оборудованный дополнительной поворотной осью с ЧПУ. Так как этот станок вертикально-фрезерный,

то обработку зубчатого венца можно проводить только методом копирования с использованием концевой фасонной фрезы, что приведет к низкой производительности. Другой вариант – использование зубофрезерного блока для токарного станка с ЧПУ ТС1730Ф4 (рис. 5).

Зубофрезерный блок позволяет обрабатывать зубчатые венцы методом обката с помощью червячных фрез, что дает высокую производительность процесса и более высокую точность изготовления. Следовательно, в рассматриваемом случае этот вариант будет предпочтительным.

Выбор конкретного решения зависит от большого количества факторов, но основным является загрузка оборудования [9]. При использовании групповых технологий в гибком автоматизированном производстве проблема распределения загрузки станков наиболее сложная.

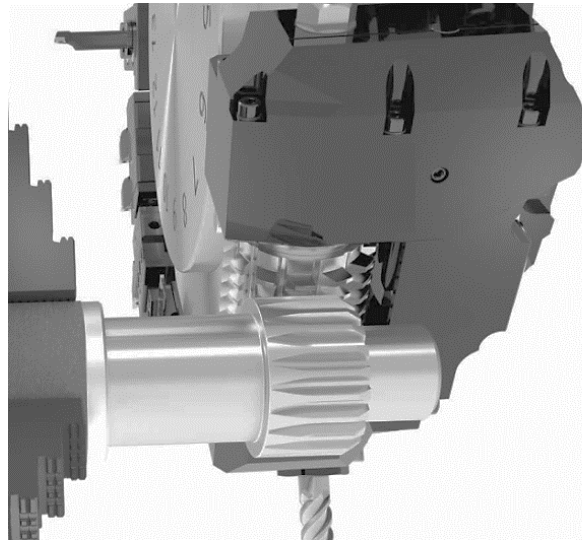


Рис. 5. Общий вид приводного зубофрезерного блока для токарного станка с ЧПУ

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЛАНИРОВАНИЯ ЗАГРУЗКИ ГПС

Для представления процесса взаимодействия элементов производственной системы во времени проанализируем текущую задачу [9]. Например, на производственном участке с n количеством станков требуется произвести a номенклатуру деталей в количестве b_φ штук. Считается, что φ -я деталь может изготавливаться по a_φ маршрутам на рассматриваемом производственном участке. В общем виде формализовать эту задачу можно следующими выражениями:

$$D = \begin{cases} (t_1^{a,1}, c_1^{a,1}), (t_2^{a,1}, c_2^{a,1}), \dots, (t_{\beta_a^1}^{a,1}, c_{\beta_a^1}^{a,1}); \\ (t_1^{a,2}, c_1^{a,2}), (t_2^{a,2}, c_2^{a,2}), \dots, (t_{\beta_a^2}^{a,2}, c_{\beta_a^2}^{a,2}); \\ (t_1^{a,1}, c_1^{a,1}), (t_2^{a,1}, c_2^{a,1}), \dots, (t_{\beta_a^2}^{a,1}, c_{\beta_a^2}^{a,1}); \end{cases}$$

$$D_\varphi = \begin{cases} (t_1^{\varphi,1}, c_1^{\varphi,1}), (t_2^{\varphi,1}, c_2^{\varphi,1}), \dots, (t_{\beta_\varphi^1}^{\varphi,1}, c_{\beta_\varphi^1}^{\varphi,1}); \\ (t_1^{\varphi,2}, c_1^{\varphi,2}), (t_2^{\varphi,2}, c_2^{\varphi,2}), \dots, (t_{\beta_\varphi^2}^{\varphi,2}, c_{\beta_\varphi^2}^{\varphi,2}); \\ (t_1^{\varphi,a_\varphi}, c_1^{\varphi,a_\varphi}), (t_2^{\varphi,a_\varphi}, c_2^{\varphi,a_\varphi}), \dots, (t_{\beta_\varphi^{a_\varphi}}^{\varphi,a_\varphi}, c_{\beta_\varphi^{a_\varphi}}^{\varphi,a_\varphi}); \end{cases}$$

$$D_1 = \begin{cases} (t_1^{1,1}, c_1^{1,1}), (t_2^{1,1}, c_2^{1,1}), \dots, (t_{\beta_a^1}^{1,1}, c_{\beta_a^1}^{1,1}); \\ (t_1^{1,2}, c_1^{1,2}), (t_2^{1,2}, c_2^{1,2}), \dots, (t_{\beta_a^2}^{1,2}, c_{\beta_a^2}^{1,2}); \\ (t_1^{1,a_1}, c_1^{1,a_1}), (t_2^{1,a_1}, c_2^{1,a_1}), \dots, (t_{\beta_{a_1}^{1,a_1}}^{1,a_1}, c_{\beta_{a_1}^{1,a_1}}^{1,a_1}), \end{cases}$$

где D_φ – соответствующий номер для φ -й детали; $t_i^{\varphi,j}$ – штучное время для обработки φ -й детали на i -й операции по j -му маршруту; a_φ – количество возможных маршрутов изготовления φ -й детали; $c_i^{\varphi,j}$ – номер соответствующего станка, который выполняет i -ю операцию для обработки φ -й детали по j -му маршруту; β_φ^j – количество операций, необходимых для изготовления φ -й детали по j -му маршруту; a – количество различных деталей, изготавливаемых на участке.

Связи во времени должны быть организованы так, чтобы получить минимальное суммарное время при выполнении текущего задания (T_3) для запланированного периода ($T_{пл}$). Следовательно, требуется распределить задачи для станков так, чтобы суммарная загрузка станков z была минимальна, т.е.

$$z = \sum_{\varepsilon=1}^n (T_\varepsilon - z_\varepsilon),$$

где T_ε – фонд времени соответствующего станка ε для планируемого периода $T_{пл}$; z_ε – соответствующая загрузка для ε -го станка.

Примем количество разных φ -х деталей, которые обрабатываются по j -му маршруту, в количестве $x_{\varphi,j}$. Ограничения по фонду рабочего времени для станков при выпуске деталей по принятой программе запишем следующим образом:

$$\sum_{\varphi=1}^a \sum_{j=1}^{a_\varphi} \sum_{i=1}^{\beta_\varphi^j} t_i^{\varphi,i} x_{\varphi,j} v_{i,\varepsilon} + t_\varepsilon = T_\varepsilon;$$

$$v_{i,\varepsilon} = \begin{cases} 1, c_i^{\varphi,j} = \varepsilon, \varepsilon = 1, 2, \dots, n, \\ 0, c_i^{\varphi,j} \neq \varepsilon; \end{cases}$$

$$\sum_{j=1}^{a_\varphi} x_{\varphi,j} = b_\varphi; \varphi = 1, 2, \dots, a; x_{\varphi,j} \geq 0; t_\varepsilon \geq 0,$$

где $v_{i,\varepsilon}$ – логическая переменная, отвечающая за возможность обработки φ -й детали на ε -м станке; b_φ – объем выпуска φ -й детали; t_ε – недогрузка для ε -го станка.

В данном случае целевую функцию планирования, минимизированную с учетом величины z_ε , представим в виде

$$z = \sum_{\varepsilon=1}^n t_\varepsilon.$$

После решения представленной задачи можно установить для каждой единицы оборудования номенклатуру обрабатываемых деталей и соответствующие затраты времени при их изготовлении. Без этого нельзя выполнить планирование загрузки ГПС в условиях групповых технологических процессов.

Реализовать представленную модель можно следующим образом. Задача выбора оптимальной структуры станочной системы может быть приведена к задаче технологической сортировки. В этом случае все возможные варианты обработки детали представляются в виде ориентированного размеченного графа, а выбор оптимального маршрута обработки детали сводится к поиску пути в графе [11]. При этом разметка графа производится в соответствии с поставленной задачей, в которой учитываются:

- время обработки детали на станках линии,
- время транспортирования,
- стоимость обработки,
- стоимость транспортирования и т.д.

Если необходимо минимизировать время обработки или стоимость обработки детали, то задача сводится к математической задаче нахождения «кратчайшего пути» в графе. Если стоит задача балансировки маршрута, т.е. наиболее длительный процесс на маршруте должен быть по времени приближен ко времени остальных, то такая интерпретация критерия балансировки сводит исходную задачу к задаче нахождения «тончайшего пути» в графе.

Задача минимизации простоев станков может быть сведена к решению задачи оптимизации программы запуска деталей в станочной линии, так как при групповом производстве детали находятся в движении с различной продолжительностью операций и могут пропускать некоторые из них. В таком случае задача минимизации простоя станков сводится к задаче минимизации времени обработки всех деталей группы. Для решения может быть предложен алгоритм, основанный на имитационном моделировании и предназначенный для группового производства [12]:

1. Разбиение всех деталей номенклатуры на группы.
2. Построение для каждой группы обобщенной детали.
3. Построение для каждой группы всех возможных вариантов станочной системы.
4. Выбор оценочной функции, соответствующей цели исследования.
5. Построение оптимальной структуры станочной линии.
6. Разработка операционной технологии для каждой детали группы.
7. Определение оптимальной программы запуска деталей группы.

ВЫВОДЫ

Проблему изготовления запасных частей для торфяных машин можно решить за счет привлечения к их созданию предприятий, специализирующихся на производстве сельскохозяйственной и строительно-дорожной техники, которые в условиях сокращения основного производства ищут дополнительные заказы. Однако традиционный подход при производстве деталей малой серийности с использованием универсального оборудования не обеспечивает необходимое качество продукции при условии приемлемых цен. Одним из возможных путей решения данной проблемы является использование групповых технологий, которое позволит с минимальными затратами производить дефицитные детали для торфяных машин в условиях малой серийности и обеспечивать высокую эффективность своего производства за счет снижения времени на переналадку ГПС [13, 14]. Одним из необходимых условий при этом является высокая гибкость производственной системы, которая обеспечивается за счет применения станков с ЧПУ и специализированной технологической оснастки.

В условиях, когда торфяные предприятия не могут быть обеспечены нужным количеством запасных частей соответствующего качества, непрофильные машиностроительные предприятия могут заместить традиционных производителей, ушедших с рынка. Использование ГПС на основе групповых технологий и современные подходы к

реализации технологических процессов для дефицитных деталей торфяных машин дают возможность обеспечить требуемое качество изделий при условии высокой эффективности [15].

ЛИТЕРАТУРА

1. Горлов И.В., Полетаева Е.В. Синтез технологического процесса на основе анализа структурной модели детали // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2019. № 1 (1). С. 12–20.
2. Сивцев Н.С. Приспособления для многооперационных станков с ЧПУ: учебное пособие для студентов вузов: в 2 ч. Ч. 1. Системы переналаживаемых приспособлений. Ижевск: ИЖГТУ им. М.Т. Калашникова. 2014. 96 с.
3. Литовка Ю.В. Автоматизация технологической подготовки производства. Тамбов: ТГТУ. 2003. 33 с.
4. Чижов М.И., Бредихин А.В. Разработка подхода к автоматизации технологической подготовки производства в PLM-системе Teamcenter // *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2011. Т. 7. № 12-1. С. 24–26.
5. Новоселецкий Б.В., Редько Р.Г., Редько О.И. Особенности технологии обработки деталей типа тел вращения на гибких автоматизированных линиях // *Наукові нотатки*. 2014. № 47. С. 125–130.
6. Аскалонова Т.А., Леонов С.Л., Ситников А.А. Организация групповой технологии в гибких производственных системах // *Вестник современных технологий*. 2016. № 1 (1). С. 4–9.
7. Мещерякова В.Б., Стародубов В.С. Металлорежущие станки с ЧПУ: учебное пособие. М.: ИНФРА-М. 2015. 335 с.
8. Пушинин В.Н., Ерохин И.А., Корнев Д.Ю., Скиба В.Ю. Станочное оборудование, основанное на компенсировании нескольких технологических операций // *Актуальные проблемы в машиностроении*. 2014. № 1. С. 245–255.
9. Мартынов Р.С. Сокращение времени переналадки оборудования как фактор повышения эффективности использования материальных ресурсов на предприятии // *Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета*. 2011. № 4. С. 87–90.
10. Ерофеева Е.В., Головушкин Б.А. Системы управления технологическими процессами: учебное пособие. Иваново: ИГХТУ. 2012. 95 с.
11. Полетаева Е.В., Горлов И.В. Оптимизация структуры производственной системы в условиях многономенклатурного машиностроительного производства // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки»*. 2022. № 2 (14). С. 77–82.
12. Полетаева Е.В., Горлов И.В., Филин О.С. Оптимизация последовательности запуска группового производства // *Механика и физика процессов на поверхности и в контакте твердых тел, деталей технологического и энергетического оборудования*. 2020. № 13. С. 86–92.
13. Куприянова Т.М., Растимешин В.Е. Реализация технологии быстрой переналадки: российский опыт // *Методы менеджмента качества*. 2007. № 6. С. 4–9.
14. Звягина Е.А., Мимонов А. Оптимизация процесса механической обработки детали на основе применения быстропереналаживаемого технологического оборудования // *Инновации, качество и сервис в технике и технологиях*. 2014. С. 224–229.

15. Бухалков М.И., Кузьмин М.А., Павлов В.В. Особенности проектирования и организации группового производства в машиностроении // *Организатор производства*. 2010. Т. 47. № 4. С. 27–32.

Для цитирования: Горлов И.В., Полетаева Е.В. Синтез технологических маршрутов изготовления деталей при производстве и ремонте торфяных машин в условиях многономенклатурного производства // *Вестник Тверского государственного технического университета*. Серия «Технические науки». 2024. № 1 (21). С. 49–59.

SYNTHESIS OF TECHNOLOGICAL ROUTES FOR MANUFACTURING PARTS IN THE PRODUCTION AND REPAIR OF PEAT MACHINES IN CONDITIONS OF MULTIPLE PRODUCTION

I.V. GORLOV, Dr. Sc., E.V. POLETAEVA, Cand. Sc.

Tver State Technical University
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: gorloviv@yandex.ru

A new approach is outlined in the production of peat machine parts in a multi-range production environment. It has been established that when synthesizing the technological route for manufacturing peat machine parts in conditions of non-core diversified production, the problem of loading existing flexible production systems (GPS) often arises. It is recommended to ensure the production of scarce parts of peat machines in non-core production due to the rational distribution of technological tasks for each flexible production module. It is indicated that computer-aided process design systems are used to improve the efficiency of technological training, and it is also noted that they do not fully ensure the achievement of a high-quality solution, since a specific GPS may not correspond to the typical approach for the part in question. To solve this problem, it is proposed to analyze the design and technological elements (CTE) of the part and determine possible ways to obtain them, taking into account existing equipment. It is indicated that in order to achieve high efficiency and the necessary product quality in a multi-product production environment with a constantly changing load of a flexible production module, it is necessary to expand the technological capabilities of GPS by using additional technological modules for existing machines responsible for the manufacture of problematic CTE.

Keywords: peat machines, mechanical engineering technology, automation, technological preparation of production, structural model, group technology, flexible production systems.

Поступила в редакцию/received: 30.11.2023; после рецензирования/revised: 12.12.2023;
принята/accepted: 15.12.2023