

ФОРМИРОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАНЖИРОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ ПРОЦЕДУР В СИСТЕМЕ ПЛАНИРОВАНИЯ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

© 2019

И.А. Разманов, аспирант

С.Г. Митин, доктор технических наук, доцент

П.Ю. Бочкарёв, доктор технических наук, профессор

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., Саратов (Россия)

Ключевые слова: технологическая подготовка производства; система автоматизированного планирования технологических процессов; ранжирование проектных процедур.

Аннотация: Рассматривается актуальная научная проблема повышения эффективности технологической подготовки многономенклатурных механообрабатывающих производств. В постоянно меняющихся производственных условиях необходимо создание автоматизированных систем проектирования технологических процессов, способных в кратчайшие сроки адаптировать технологию к изменениям. Методология системы автоматизированного планирования технологических процессов отвечает этой потребности за счет наличия многовариантных решений и полной автоматизации проектных процедур. Однако решения в проектных процедурах принимаются без учета их взаимного влияния. В настоящей работе обоснован обобщенный критерий оценки эффективности технологической подготовки производства, который представляет собой суммарное время работы оборудования для обработки заданной номенклатуры деталей и позволяет оценить влияние решений, принятых в различных проектных процедурах. В рамках системы автоматизированного планирования технологических процессов каждая проектная процедура состоит из трех этапов: генерация возможных вариантов, отсева нерациональных вариантов, выбор рациональных вариантов для складывающейся производственной ситуации. На этапах отсева нерациональных вариантов имеются критерии, но решения принимаются по средним значениям, что приводит к отсеvu эффективных вариантов. В связи с этим в работе предложена методика ранжирования проектных процедур по степени влияния на изменения значения обобщенного критерия эффективности. Для более значимых проектных процедур необходимо проведение более тщательного анализа проектных решений путем менее жесткого отсева для увеличения количества анализируемых вариантов. В результате на этапе выбора рациональных вариантов система выбирает наиболее эффективные из них с точки зрения функционирования всей производственной системы.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности технологической подготовки производства (ТПП), создание интегрированных технологических процессов (ТП) на стадиях проектирования и реализации всегда является актуальной проблемой современного машиностроения [1]. Ее решение возможно путем расширения использования современных систем автоматизированного проектирования (САПР) ТП на основе разработки новых формализованных методов технологического проектирования [2; 3] и обеспечения согласования технологических и производственных решений в многономенклатурном производстве [4].

Принципы построения САПР ТП, заложенные в работах [5–7], за последние 20 лет практически не изменились: основные трудноформализуемые решения принимаются технологом, а затем оформляются в САПР ТП в «диалоговом» режиме при постоянном обращении к базам данных нормативно-справочной информации, из которых в нужный момент времени извлекаются информационные объекты: оборудование, оснастка, инструменты и т. д. [8]. Такой подход к автоматизации проектирования ТП реализован в наиболее распространенных на отечественном рынке САПР ТП [9–11].

Анализ зарубежных источников [12–14] показал высокий интерес к указанной проблеме, которую зарубежные исследователи решают путем разработки формализованных методов описания отдельных проектных процедур, используя устоявшиеся принципы генеративного и вариативного проектирования ТП. При этом отсутствует целостный подход к созданию сквозной САПР ТП,

способной в кратчайшие сроки приспосабливаться к постоянно изменяющимся производственным условиям.

В работе [15] предложен переход к web-ориентированным программным комплексам ТПП, как части распределенной интеллектуальной производственной системы. Однако отмечается недостаточный уровень формализации решений, например, не решены задачи автоматического формирования маршрута ТП, определения структуры технологической операции, базирования заготовок – и других интеллектуальных задач.

Пути решения указанных проблем предложены в работах [16; 17] на основе создания системы автоматизированного планирования технологических процессов (САПлТП), в методологию которой заложены возможности параллельного многовариантного проектирования ТП в максимально автоматизированном режиме и наличие связи с подсистемой реализации ТП, которая дает возможность оперативной перестройки ТП при изменении производственной ситуации.

Моделирование проектных процедур разработки структур технологических операций в рамках САПлТП имеет существенные отличия для различных групп технологического оборудования, для которого проектируется технологическая операция. В работах [17–19] показаны подходы к формализации проектных процедур по разработке структур технологических операций и формированию комплектов технологической оснастки для оборудования токарной, сверлильной и фрезерной групп. Каждая проектная процедура имеет три этапа решения соответствующей проектной задачи: генерация возможных вариантов, отсеv нерациональных

вариантов, выбор рациональных вариантов для складывающейся производственной ситуации.

Исследование процессов принятия решений в каждой проектной процедуре [20] показало, что отсутствует возможность учета влияния проектных решений на другие проектные процедуры. Это повышает вероятность снижения качества проектных решений, так как решения, принятые на ранних стадиях, могут не позволить максимально эффективно использовать технологический потенциал производственной системы.

Цель исследования – разработка методики определения значимости каждой проектной процедуры (ранжирования проектных процедур) в рамках создания системы автоматизированной оценки проектных решений в САПЛТП.

ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ В САПЛТП

Анализ процедур принятия решений в САПЛТП [20] позволяет заметить, что в них присутствуют как объективные, так и субъективные критерии (рис. 1).

Объективные критерии присущи процедурам генерации возможных вариантов решений, когда необходимо получить множество всех возможных вариантов решений и не требуется оценка их эффективности. Слой генерации обеспечивает каждый эшелон САПЛТП исходными данными, при этом отсутствует возможность влияния на эффективность системы механообработки заданной номенклатуры деталей.

На слоях выбора рациональных вариантов решения принимаются на основе сложных аналитических оптимизационных моделей и методик. Здесь также отсутствует возможность управления эффективностью механо-

обработки, поскольку результатом работы системы на данных слоях являются наиболее эффективные варианты решений для складывающейся производственной ситуации. Однако исходными данными для процедур выбора рациональных вариантов являются множества проектных решений, прошедших соответствующие процедуры отсева нерациональных вариантов. Именно в процедурах отсева используются субъективные критерии, от значения которых зависит область исходных значений для оптимизационных задач. Очевидно, что чем большее количество вариантов будет проанализировано, тем более эффективное решение будет найдено. Но при этом на решение оптимизационных задач будет затрачено большее время, которое стремительно увеличивается с ростом количества исходных вариантов.

Таким образом, выбор в качестве предмета исследования слоев отсева нерациональных вариантов обусловлен тем, что благодаря более простым моделям (укрупненным критериям) процедуры отсева не требуют значительных затрат времени, следовательно, имеется возможность, изменяя значения показателя отсева, влиять на процедуру выбора рациональных вариантов. Однако из-за отсутствия механизмов оценки проектных решений в результате отсева могут выпасть эффективные варианты, поэтому необходимо связать процедуры отсева в единую систему, что позволит оценивать влияние проектных решений каждой проектной процедуры на общую эффективность ТПП и механообработки.

Анализируя критерии в процедурах отсева нерациональных и выбора рациональных вариантов, приходим к выводу, что в них преобладают количественные критерии, большинство из которых прямо или косвенно связаны с временем непосредственно механической обработки или временем реализации технологической

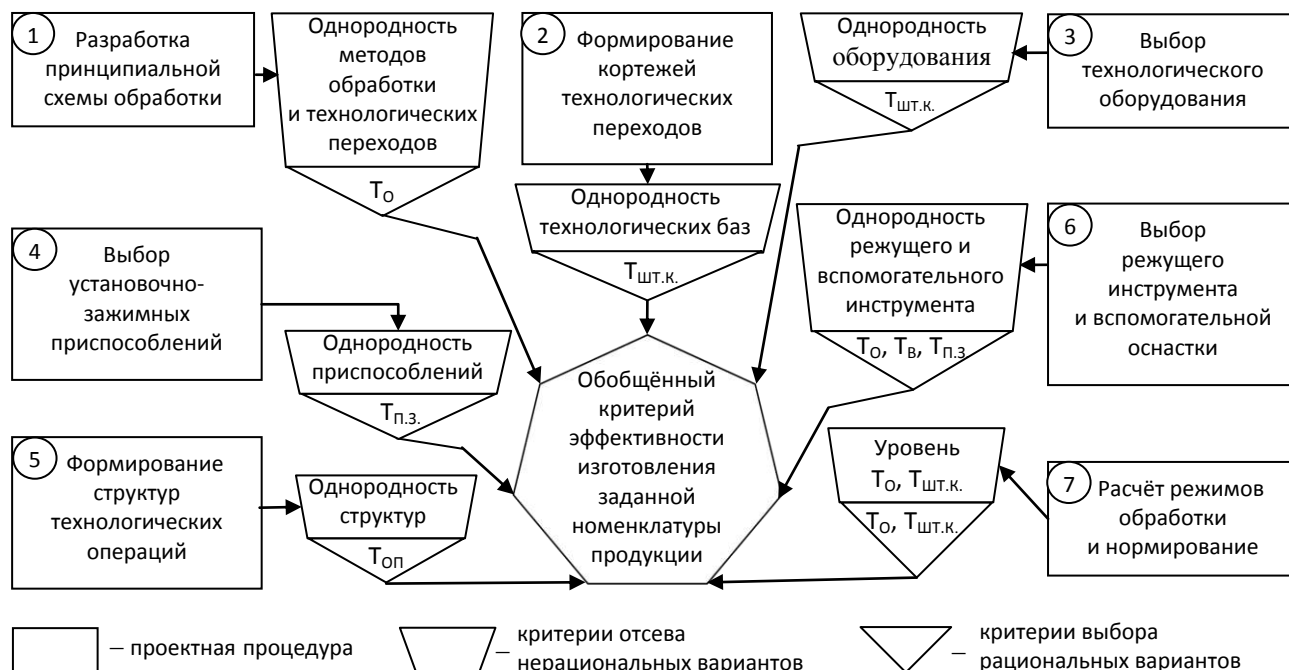


Рис. 1. Критерии принятия решений в проектных процедурах САПЛТП
(T_o – основное время, T_b – вспомогательное время, $T_{оп}$ – оперативное время,
 $T_{п.з.}$ – подготовительно-заключительное время, $T_{шт.к.}$ – штучно-калькуляционное время)

операции. Следовательно, в качестве обобщенного критерия эффективности (ОКЭ) принятых решений при ТПП целесообразно использовать суммарное время работы оборудования для обработки заданной номенклатуры деталей, поскольку именно от времени, затрачиваемого на реализацию технологических операций механообработки, зависит себестоимость изготовления.

Суммарное время работы оборудования для обработки заданной номенклатуры деталей вычисляется как сумма штучно-калькуляционных норм времени всех технологических операций по каждой единице технологического оборудования, вовлеченного в процесс механообработки:

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{P_{i,j} \cdot T_{шт.к.i,j}}{q_{i,j}},$$

где n – общее количество технологического оборудования; m – общее количество технологических операций, реализуемых на i -м технологическом оборудовании;

$p_{i,j}$ – количество деталей (размер партии), обрабатываемых по j -й технологической операции на i -м технологическом оборудовании;

$q_{i,j}$ – количество одновременно обрабатываемых деталей на j -й технологической операции на i -м технологическом оборудовании;

$T_{шт.к.i,j}$ – штучно-калькуляционное время j -й технологической операции механической обработки на i -м технологическом оборудовании.

Таким образом, при варьировании значений показателей отсева в каждой проектной процедуре и анализе изменений по ОКЭ появляется возможность определения рациональных уровней отсева. Однако осуществление полного перебора значений показателей отсева не представляется возможным из-за ограничений по срокам ТПП. Поэтому необходимо разработать подход, который позволит решить задачу поиска рациональных уровней отсева в кратчайшие сроки.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАНЖИРОВАНИЯ ПРОЕКТНЫХ ПРОЦЕДУР

В многономенклатурных производственных системах, как правило, сроки ТПП фиксированы и определяются по укрупненным методикам, которые не учитывают стохастический характер производства. Ввиду того, что для разной номенклатуры задано одно и то же время ТПП, существует вероятность отсева эффективных вариантов проектных решений еще на этапах отсева из-за необходимости соблюдения сроков ТПП. Чтобы свести к минимуму влияние этого негативного фактора, нами предлагается проанализировать проектные процедуры САПлТП на предмет выявления более или менее значимых из них по влиянию на эффективность работы производственной системы, оцениваемую по ОКЭ. Очевидно, что для более значимых проектных процедур необходимо выделить большие доли времени с целью более детальной проработки проектных решений. Другими словами, в САПлТП для более значимых проектных процедур на этапах отсева должны быть установлены менее жесткие условия, чтобы оставалось большее количество альтернативных вариантов для процедур поиска рациональных вариантов.

Заданный срок автоматизированной ТПП (в часах) обозначим L .

$$L = \sum_{i=1}^n l_i,$$

где l_i – время выполнения i -й проектной процедуры, ч; n – количество проектных процедур.

Значимость той или иной проектной процедуры будем оценивать в условных долях временных затрат от L . Заданный срок ТПП распределяется между проектными процедурами пропорционально значимости, оцениваемой по ОКЭ, которая может различаться для разной номенклатуры деталей и состояния производственной системы.

Обозначим множество рангов проектных процедур $R = \{r_i | i=1...n\}$. Ранг или значимость i -й проектной процедуры определяется выражением $r_i = \frac{l_i}{L} \cdot 100\%$.

Суммарное время изготовления заданной номенклатуры деталей зависит от глубины проработки проектных решений в каждой проектной процедуре, т. е. от количества вариантов, оставшихся после отсева. Это обосновано тем, что время выполнения процедур генерации возможных вариантов не может быть варьировано, а время выполнения процедур выбора возможных вариантов напрямую зависит от количества вариантов, поступивших на вход проектной процедуры. Количество поступивших вариантов можно изменять только в процедуре отсева нерациональных вариантов, ужесточая или ослабляя критерии отсева. Чем выше уровень (значение критерия) отсева, тем больше вариантов остается после отсева. При уровне отсева 100 % остаются все сгенерированные варианты. При уровне отсева 0 – все варианты отсеиваются.

Обозначим множество уровней отсева в каждой проектной процедуре $V = \{v_i | i=1...n\}$. Поскольку в каждой проектной процедуре количество сгенерированных вариантов может отличаться даже на порядки, будем использовать относительные значения, выраженные в процентах. Тогда суммарное время изготовления заданной номенклатуры деталей $T_{\Sigma} = f(V)$.

Задача ранжирования проектных процедур относится к классу задач на анализ чувствительности функции с несколькими аргументами. Для решения подобного класса задач проводят оценку изменений значений функции при изменении одного аргумента и неизменных значениях остальных аргументов (рис. 2).

На рис. 2 а представлено графическое отражение процедуры отсева. Высота трапеции условно показывает, сколько вариантов проектных решений остается по результатам отсева. Очевидно, что предельные случаи не рассматриваются. При уровне отсева 100 % остаются все сгенерированные варианты, анализ которых в процедуре выбора рациональных вариантов займет значительное время, выходящее за рамки сроков ТПП. А при уровне отсева, равном 0, наоборот, не останется ни одного варианта, что приведет к неработоспособности системы механообработки.

Для оценки значимости проектной процедуры необходимо рассчитать и сравнить значения ОКЭ при различных уровнях отсева в данной проектной процедуре

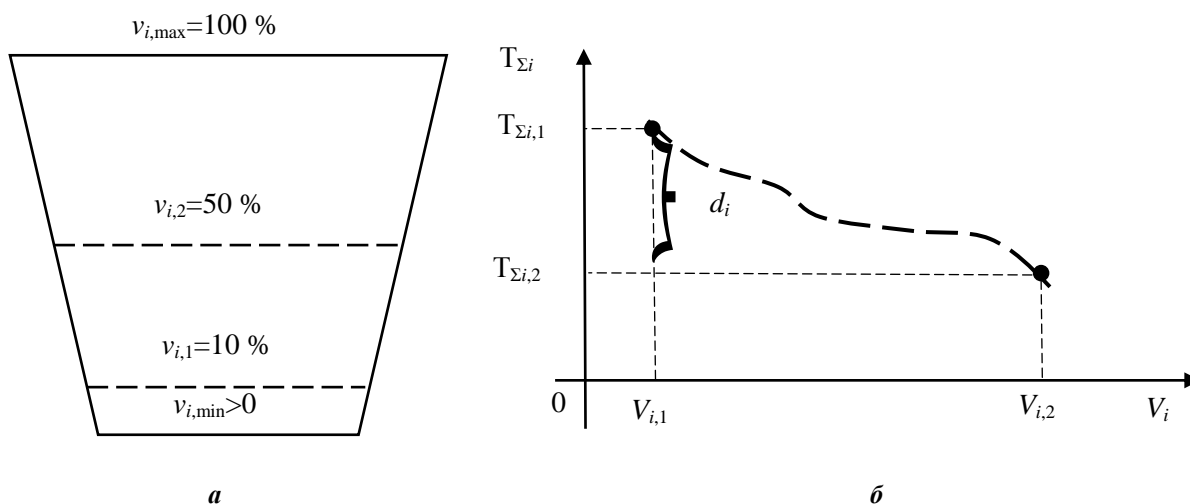


Рис. 2. Определение значимости проектной процедуры:

а – графическое отражение процедуры отсева;
 б – оценка значимости проектной процедуры по изменению значения функции

и неизменных уровнях в остальных процедурах. Для нашей задачи достаточно двух уровней: 1) близкий к минимальному, например 10 %; 2) уровень 50 %, поскольку до настоящего момента он использовался в САПлТП.

В рамках задачи определения значимости проектных процедур не имеет значения поведение функции $f(V)$ на данном отрезке, а более тщательный выбор уровня отсева будет осуществляться на следующем этапе для более значимых проектных процедур. Можно заметить, что $f(V)$ не будет возрастать, поскольку при увеличении количества вариантов после отсева будет находиться более рациональный, а следовательно, T_{Σ} будет уменьшаться либо при отсутствии более рационального варианта T_{Σ} будет неизменным.

Оценить значимость i -й проектной процедуры можно, рассчитав абсолютное значение изменения ОКЭ (рис. 2 б):

$$d_i = f(V_{i,1}) - f(V_{i,2}) = T_{\Sigma i,1} - T_{\Sigma i,2},$$

где $V_{i,1} = \{v_{j,1} | j=1 \dots n; v_{j,1}=10 \text{ при } j=i; v_{j,1}=50 \text{ в остальных случаях}\}$,

$V_{i,2} = \{v_{j,2} | j=1 \dots n; v_{j,2}=50\}$.

Так, при $n=7$ (по количеству укрупненных проектных процедур САПлТП) содержимое множеств $V_{i,1}$ и $V_{i,2}$ удобно представить в таблице 1.

Для вычисления рангов проектных процедур необходимо смоделировать работу САПлТП с различным содержанием множеств уровней отсева согласно таблице 1. Отметим, что количество итераций будет равно $n+1$, так как для любого i : $V_{i,2} = \{v_{j,2}=50 | j=1 \dots 7\}$, т.е. множества $V_{i,2}$ эквивалентны друг другу.

Сопоставив d_i с изменениями ОКЭ для остальных проектных процедур, получим ранг i -й проектной процедуры:

$$r_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^n d_i} \cdot 100\%$$

Таким образом, в результате ранжирования проектных процедур появляется возможность более тщательного анализа наиболее значимых из них, что выражается в более высоком уровне отсева (т.е. менее жестком значении критерия) и, наоборот, ужесточении критерия отсева для менее значимых проектных процедур. Однако определение конкретных пороговых значений критериев отсева требует создания математической модели, исключающей субъективность при назначении более или менее значимых проектных процедур.

Таблица 1. Содержимое множеств уровней отсева при определении значимости проектных процедур

i	$V_{i,1}$	$V_{i,2}$
1	{10, 50, 50, 50, 50, 50, 50}	{50, 50, 50, 50, 50, 50, 50}
2	{50, 10, 50, 50, 50, 50, 50}	{50, 50, 50, 50, 50, 50, 50}
3	{50, 50, 10, 50, 50, 50, 50}	{50, 50, 50, 50, 50, 50, 50}
4	{50, 50, 50, 10, 50, 50, 50}	{50, 50, 50, 50, 50, 50, 50}
5	{50, 50, 50, 50, 10, 50, 50}	{50, 50, 50, 50, 50, 50, 50}
6	{50, 50, 50, 50, 50, 10, 50}	{50, 50, 50, 50, 50, 50, 50}
7	{50, 50, 50, 50, 50, 50, 10}	{50, 50, 50, 50, 50, 50, 50}

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ процедур и критериев принятия решений в рамках САПЛТП позволил обосновать обобщенный критерий оценки эффективности ТПП, заключающийся в суммарном времени использования технологического оборудования для механической обработки заданной номенклатуры деталей.

Предложенная методика ранжирования проектных процедур по степени влияния на значение обобщенного критерия позволяет выделить наиболее значимые проектные процедуры, для которых должен быть проведен более тщательный анализ вариантов проектных решений с целью выбора наиболее эффективных из них с точки зрения функционирования производственной системы в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дальнейшие исследования должны быть направлены на создание математической модели, исключающей субъективность при выборе рациональных уровней отсева в проектных процедурах, и разработку методики моделирования работы САПЛТП при различных значениях критериев отсева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гузев В.И. Повышение эффективности интегрированных технологических процессов на стадиях проектирования и реализации // *Наукоемкие технологии в машиностроении*. 2014. № 7. С. 36–41.
2. Аверченков В.И. Формализация методов технологического проектирования, обеспечивающих требуемое качество изделий // *Наукоемкие технологии в машиностроении*. 2012. № 9. С. 32–38.
3. Чигиринский Ю.Л. Математические методы в технологическом проектировании // *Наукоемкие технологии в машиностроении*. 2018. № 4. С. 13–20.
4. Долгов В.А., Луцок С.В., Васильцов М.А. Особенности формирования маршрутных технологических процессов на основе согласования технологических и производственных решений многономенклатурного производства // *Вестник МГТУ Станкин*. 2018. № 1. С. 13–17.
5. Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. Минск: Наука и техника, 1979. 264 с.
6. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.
7. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства. Т. 1. Организация группового производства. 3-е изд. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. 407 с.
8. Андриченко А.Н. Три поколения отечественных САПР технологических процессов // *Станкоинструмент*. 2017. № 1. С. 56–63.
9. Евгеньев Г.Б., Крюков С.С., Кузьмин Б.В., Стисес А.Г. Интегрированная система автоматизации проектирования технологических процессов и оперативного управления производством // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2015. № 3. С. 49–60.
10. Семёнов А.Д., Бровченко О.А. Быстрое решение технологических задач с помощью системы Техно-Про // *Сборник науч. тр. Международной научно-технической конференции*. М., 2015. С. 317–322.

11. Миловзоров О.В. Реализация принципов синтеза технологических процессов из обобщенной структуры на базе системы T-FLEX Технология // *Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета*. 2015. № 54-1. С. 133–138.
12. Marri H.B., Gunasekaran A., Grieve R.J. Computer-aided process planning: A state of art // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 1998. Vol. 14. № 4. P. 261–268.
13. Yusri Yu., Kamran L. Survey on computer-aided process planning // *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2014. Vol. 75. № 1-4. P. 77–89.
14. Xu X., Wang L., Newman S.T. Computer-aided process planning – A critical review of recent developments and future trends // *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*. 2011. Vol. 24. № 1. P. 1–31.
15. Куликов Д.Д., Падун Б.С., Яблочников Е.И. Перспективы автоматизации технологической подготовки производства // *Известия высших учебных заведений. Приборостроение*. 2014. Т. 57. № 8. С. 7–11.
16. Митин С.Г., Бочкарёв П.Ю. Принципы создания системы автоматизированного проектирования технологических операций в условиях многономенклатурного производства // *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. 2015. № 2-2. С. 117–122.
17. Митин С.Г., Бочкарёв П.Ю. Проектирование операций со сложной структурой в многономенклатурных механообрабатывающих системах. Саратов: СГТУ, 2016. 108 с.
18. Митин С.Г., Бочкарёв П.Ю. Разработка моделей и методик автоматизации проектных процедур для проектирования технологических операций со сложной структурой // *Автоматизация в промышленности*. 2018. № 2. С. 45–51.
19. Шалунов В.В., Комаревцев Д.В., Семенихин И.М. Автоматизированное проектирование технологических операций, выполняемых на токарно-фрезерных автоматах продольного точения с ЧПУ // *Вестник Саратовского государственного технического университета*. 2011. Т. 3. № 2. С. 146–150.
20. Разманов И.А., Митин С.Г., Бочкарёв П.Ю. Повышение эффективности технологической подготовки многономенклатурного производства на основе разработки системы показателей для оценки уровня проектных решений // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2017. № 9. С. 132–134.

REFERENCES

1. Guzeev V.I. Increase of efficiency of integrated manufacturing processes on stages of design and implementation. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2014, no. 7, pp. 36–41.
2. Averchenkov V.I. Formalization of technological design methods, providing the required products quality. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2012, no. 9, pp. 32–38.
3. Tchigirinsky Yu.L. Mathematical methods in technological design. *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii*, 2018, no. 4, pp. 13–20.
4. Dolgov V.A., Lutsyuk S.V., Vasil'tsov M.A. Features of formation of route technological processes on the basis

- of coordination of technological and production decisions of multinomenclature manufacture. *Vestnik MGTU Stankin*, 2018, no. 1, pp. 13–17.
5. Tsvetkov V.D. *Sistemno-strukturnoe modelirovanie i avtomatizatsiya proektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov* [System-structural modeling and design automation of technological processes]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1979. 264 p.
 6. Bazrov B.M. *Modulnaya tekhnologiya v mashinostroenii* [Modular technology in mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 368 p.
 7. Mitrofanov S.P. *Gruppovaya tekhnologiya mashinostroitel'nogo proizvodstva. Tom 1. Organizatsiya gruppovogo proizvodstva* [Group technology engineering production. Vol. 1. Organization of group production]. 3rd ed. Leningrad, Mashinostroenie Publ., Leningradskoye otделение, 1983. 407 p.
 8. Andrichenko A.N. Three generation of domestic CAD/CAM. *Stankoinstrument*, 2017, no. 1, pp. 56–63.
 9. Evgenev G.B., Kryukov S.S., Kuzmin B.V., Stises A.G. An integrated process automation and operations management system. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroenie*, 2015, no. 3, pp. 49–60.
 10. Semenov A.D., Brovchenko O.A. Fast solution of technological problems using the TechnoPro system. *Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow, 2015, pp. 317–322.
 11. Milovzorov O.V. Realization of synthesis principles of technological processes using generalized structure on the basis of T-FLEX technology. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo radiotekhnicheskogo universiteta*, 2015, no. 54-1, pp. 133–138.
 12. Marri H.B., Gunasekaran A., Grieve R.J. Computer-aided process planning: A state of art. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1998, vol. 14, no. 4, pp. 261–268.
 13. Yusri Yu., Kamran L. Survey on computer-aided process planning. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2014, vol. 75, no. 1-4, pp. 77–89.
 14. Xu X., Wang L., Newman S.T. Computer-aided process planning – A critical review of recent developments and future trends. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 2011, vol. 24, no. 1, pp. 1–31.
 15. Kulikov D.D., Padun B.S., Yablochnikov E.I. Perspectives of automation of technological preproduction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie*, 2014, vol. 57, no. 8, pp. 7–11.
 16. Mitin S.G., Bochkaryov P.Yu. Principles of creating the system of computer-aided design of production operations in multiproduct manufacturing. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 2-2, pp. 117–122.
 17. Mitin S.G., Bochkaryov P.Yu. *Proektirovanie operatsiy so slozhnoy strukturoy v mnogonomenklaturnykh mekhanooobratyvyayushchikh sistemakh* [Designing operations with a complex structure in multi-component machining systems]. Saratov, SGTU Publ., 2016. 108 p.
 18. Mitin S.G., Bochkaryov P.Yu. The development of design procedure models and methods for automating the design of production steps with complex structure. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*, 2018, no. 2. pp. 45–51.
 19. Shalunov V.V., Komarevtsev D.V., Semenikhin I.M. Automated desing of production operations at CNC-milling machines CNC longitudinal turning. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, vol. 3, no. 2, pp. 146–150.
 20. Razmanov I.A., Mitin S.G., Bochkaryov P.Yu. Improving the efficiency of technological preparation of diversified production based on the development of a system of indicators to assess the level of design solutions. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017, no. 9, pp. 132–134.

THE FORMATION OF PROJECT PROCEDURES RANKING TECHNIQUE IN THE SYSTEM OF PLANNING OF MULTIPRODUCT ENGINEERING PROCESSES

© 2019

I.A. Razmanov, postgraduate student

S.G. Mitin, Doctor of Sciences (Engineering), Associate Professor

P.Yu. Bochkaryov, Doctor of Sciences (Engineering), Professor

Yuri Gagarin Saratov State Technical University, Saratov (Russia)

Keywords: pre-production engineering; engineering process computer-aided planning system; project procedures ranking.

Abstract: The paper considers the topical scientific issue of improving the efficiency of pre-production engineering of multiproduct machining plants. Within the ever-changing operating conditions, it is necessary to create the engineering process computer-aided planning systems able promptly to adopt technology to changes. The methodology of an engineering process computer-aided planning system meets this demand due to the existence of multi-option solutions and full project procedures automation. However, in the project procedures, the decisions are made without regard for their mutual influence. In this paper, the authors prove the generalized criterion of assessment of pre-production engineering efficiency that amounts to the equipment accumulated operation time for machining of specified parts nomenclature and allows evaluating the influence of the decisions made in various project procedures. Within the frames of the engineering process computer-aided planning system, each project procedure consists of three stages: generation of possible options, irrational options screening, and selection of reasonable options for a certain manufacturing situation. At the stages of irrational options screening, there are some criteria but the decisions are made based on average values. That leads to the screening of effective options. In this connection, the authors propose the technique of project procedures ranking according to the degree of influence on the changes of value of generalized criterion for efficiency. For more significant project procedures, it is necessary to carry out a more careful analysis of project decisions through less rigorous screening to increase the number of analyzed options. As a result, at the stage of selection of reasonable options, the system chooses the most effective of them from the point of view of the functioning of the entire manufacturing system.