

МОДЕЛИ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ МНОГОНОМЕНКЛАТУРНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Бурдо Г.Б., Испирян Н.В., Испирян С.Р., Мединцев С.В., Галкина М.В.
Тверской государственный технический университет, Тверь*

Ключевые слова: машиностроение, система автоматизированного проектирования технологических процессов, искусственный интеллект, целевая функция, единое информационное пространство, модели производственной системы.

Аннотация. Приводится анализ условий проведения технологической подготовки производства изделий с позиций концепции организационно-технологического проектирования. Показаны и проанализированы теоретико-множественная и временная модели производственной системы, позволяющие корректно определить целевую функцию при проектировании технологического процесса механической обработки, а также управлять целевой функцией в процессе выполнения заказа.

MODELS OF OBJECTIVE FUNCTION IN THE PREPARATION OF MULTI-NOMENCLATURE MANUFACTURE

*Burdo G.B., Ispiryan N.V., Ispiryan S.R., Medintsev S.V., Galkina M.V.
Tver State Technical University, Tver*

Keywords: mechanical engineering, computer-aided design of technological processes, artificial intelligence, objective function, unified information space, models of manufacturing system.

Abstract. The analysis of conditions for technological preparation of products' manufacturing from standpoint the concept of organisational-technological design is given. The theoretical-multiple and temporal models of manufacturing system are shown and analysed. This models allow to correctly determine the objective function when designing the technological process of mechanical processing, as well as to manage the objective function during the order fulfillment process.

Введение

Особенности единичного многономенклатурного производства (МП) определяются выполнением одновременно большого числа контрактов, этот факт обуславливает упрощенное проведение технической подготовки производства (ТПП). Обычно не задается и целевая функция конкретного заказа. Поэтому качество спроектированных технологических процессов (ТПр), как правило, не высокое. Поэтому, для динамичных производственных систем (ПС) необходимо устранить противоречие между качеством ТПр и сжатыми периодами их разработки [1-4].

Учет динамики производственной ситуации при проектировании технологических процессов

Одним из возможных методов разрешения противоречия является разработка автоматизированных систем проектирования технологических процессов (САПР ТП), построенных на выявленных принципах [1, 2]. Идея подхода заключается в понимании того факта, что проектирование ТПр является мало формализованной, многовариантной *организационно-технологической* задачей, решаемой в условиях информационной неопределенности [2, 3, 5].

Динамичность производственной ситуации и ситуации в системе управления [2, 4] фирмой (загрузка оборудования, сроки окончания контракта или его части, финансовые показатели, время выполнения части работ сторонними организациями), то вполне понятной выглядит и необходимость определения и целевой функции (ЦФ) конкретного заказа.

Обычно считается [6-8 и др.], что ЦФ должны являться либо минимальная технологическая себестоимость (C_{min}) или максимальный выпуск изделий за единицу времени (Q_{max}). Однако можно ещё выделить и минимум времени цикла выпуска партии деталей (T_{min}), и комплексные критерии, составленные из первых двух. Открытым остаётся вопрос о субъекте, определяющем ЦФ, и об её динамике. Целевая функция не вполне корректно считается неизменной в течение времени выполнения контракта (а в контракте могут быть представлены заказы с разными календарными сроками исполнения), а понятие «срочность», «минимум затрат» и т.д. формально не определены. Поэтому, в рамках одного и того же договора для разных заказов, и с течением времени целевая функция должна изменяться в соответствии с изменением производственной ситуации, то есть, по существу, необходимо управление ЦФ.

Поэтому, для выявления сути процедур и исследования динамики информационных потоков и при управлении ЦФ технологического процесса заказа были разработаны теоретико-множественная и временная модели, отражающая взаимосвязи подразделений при принятии решения.

Теоретико-множественная модель системы управления ЦФ

Теоретико-множественная модель системы управления ЦФ при проектировании технологических процессов механической обработки деталей, входящих в заказ представлена на рисунке 1.

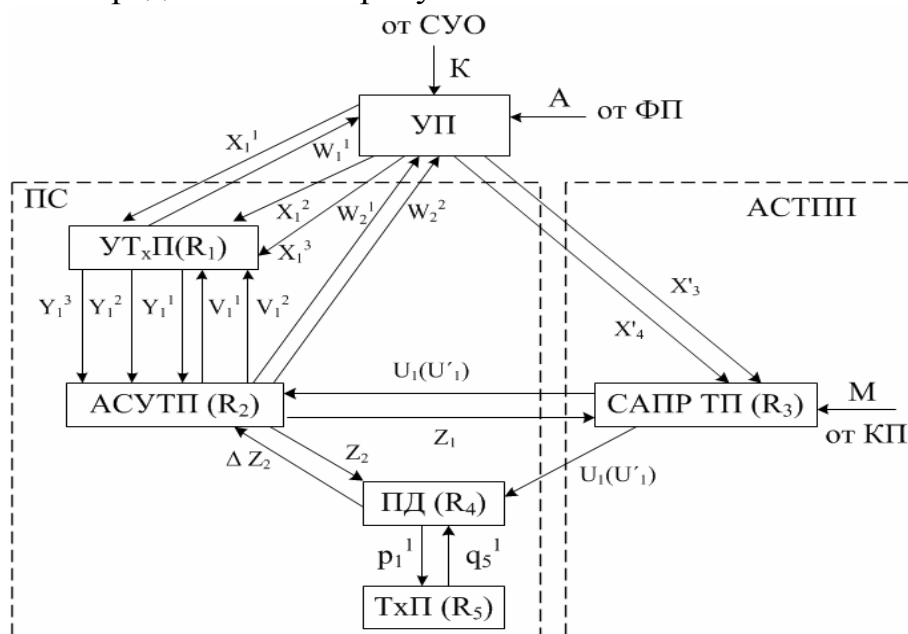


Рис. 1. Теоретико-множественная модель системы управления ЦФ

В модель входит управляющая подсистема УП (оператор R_0), операторы производственной системы (ПС) и автоматизированной системы технологической подготовки производства (АСТПП). ПС представлена операторами R_1

(управляющая подсистема технологическими подразделениями, УТхП), R_2 (автоматизированная система управления технологическими процессами, АСУТП), R_4 (подсистема диспетчирования, ПД) и R_5 (технологические подразделения, ТхП). АСТПП представлена оператором R_3 (система автоматизированного проектирования технологических процессов, САПР ТП).

Оператор R_0 – человеко-машинная система, представляемая руководителем производственной системы со стороны дирекции фирмы. Оператор R_1 также человеко-машинная система, представляемая руководителем технологических (механообрабатывающих) подразделений. Операторы $R_2 – R_5$ автоматизированные системы, осуществляющие сбор информации (с активным участием человека) и её автоматическую или автоматизированную переработку.

Управление целевой функцией следует осуществлять в ключевые моменты функционирования ПС и АСТПП – до начала проектирования (предварительное определение ЦФ), и непосредственно перед началом выполнения заказа (уточнение ЦФ). Это необходимо делать, учитывая, что временной интервал между проектированием ТПр и началом изготовления заказа может быть значительным по ряду причин (в связи с изменением очередности выполнения заказа, появлением новых срочных заказов и т.д.) и привести к изменению производственной ситуации.

Определение ЦФ до начала проектирования

Рассмотрим процедуры принятия решений операторами системы на начало проектирования ТПр (на время t_1).

Функции оператора R_0 – управляющей подсистемы, координирующей работу всей системы, следующие:

- указание о целевой функции проектируемых ТПр конкретного заказа на время t_1 – начало их проектирования ($X_1^1(t_1), X_3^1(t_1)$);
- определение множества параметров, характеризующих состав заказов в контрактах и сроки их выполнения на момент времени τ_1 ($X_1^2(t_1), X_4^1(\tau_1)$);
- указание о приоритетности рассматриваемого заказа $X_1^3(t_1)$;
- задание на проектирование ТПр рассматриваемого заказа $X_4^1(\tau_1)$.

Функция

$$X_1^1(t_1) = W_1^1(\tau_1) \times A(\tau_{A1}) \times W_2^1(\tau_1), \quad (1)$$

где $W_1^1(\tau_1)$ – оценка сроков выполнения заказа (достаточные, недостаточные) УТхП на время τ_1 ; время τ_1 функционально связано со временем t_1 ; $A(\tau_{A1})$ – оценка финансового состояния финансовой подсистемой (ФП) на время τ_{A1} ; время τ_{A1} функционально связано со временем t_1 ; $W_2^1(\tau_1)$ – множество параметров, укрупненно характеризующих загрузку оборудования (высокая, средняя, низкая) в ТхП на время τ_1 .

Функция $X_3^1(t_1)$ аналогична по смыслу функции $X_1^1(t_1)$, но имеет формальную математическую запись.

$$X_3^1(t_1) = X_1^1(t_1) \times N, \quad (2)$$

где N – формальные правила нормализации и приведения критериев.

Функция $X_1^2(t_1)$ определяет множество параметров, характеризующих состав заказов в контрактах и сроки их выполнения на момент времени τ_1 ;

$$X_1^2(t_1) = K \times t_1, \quad (3)$$

где K – данные о всех контрактах и сроках их выполнения, получаемых от системы управления организацией (СУО); t_1 – временной интервал (до соответствующего времени).

Функция $X_1^3(t_1)$ – указание о приоритетности рассматриваемого заказа, $K \rightarrow X_1^3(t_1)$.

$X_4^1(\tau_1)$ эквивалентно по смыслу $X_1^2(t_1)$, но относится к САПР ТП и представляет множество параметров, характеризующих задание на проектирование ТПр до времени τ_1

$X_4^1(\tau_1)$ – задание на проектирование ТПр рассматриваемого заказа.

Функции УТхП (оператор R_1) следующие:

– оценка сроков выполнения заказа $W_1^1(\tau_1)$ (достаточные, недостаточные) УТхП на время τ_1 ; время τ_1 функционально связано со временем t_1 ;

– синтез указания о приоритетности заказов $Y_1^1(t_1)$ при прохождении деталей по операциям при составлении календарных планов работы и календарных планов-графиков, запущенных на время t_1 ;

– определение сроков выполнения $Y_1^2(t_1)$ заказов, запущенных на время t_1 ;

– формирование задания $Y_1^3(\tau_{11})$ на выполнение заказов на период времени τ_{11} , $Y_1^3(\tau_{11})$ по смыслу эквивалентно $X_1^2(\tau_1)$, но имеет другой отсчет времени $\tau_{11} < \tau_1$ и связано со временем t_1 .

Функция оценки сроков выполнения заказа УТхП на время τ_1

$$W_1^1(\tau_1) = X_1^2(t_1) \times V_1^1(\tau_1) \times X_1^3(t_1), \quad (4)$$

где $X_1^2(t_1)$ – множество параметров, характеризующих состав заказов в контрактах и сроки их выполнения на момент времени t_1 ; $V_1^1(\tau_1)$ – множество параметров, характеризующих загрузку оборудования в ТхП на момент времени τ_1 .

Функция $Y_1^1(t_1)$ – синтез указания о приоритетности заказов при прохождении деталей по операциям при составлении календарных планов работы и календарных планов-графиков, запущенных на время t_1 .

$$Y_1^1(t_1) = X_1^3(t_1) \times ЧП, \quad (5)$$

где $ЧП$ – частные приоритеты УТхП.

Функция $Y_1^2(t_1)$ – сроки выполнения заказов, запущенных на время t_1 .

$$Y_1^2(t_1) = X_1^2(t_1) \times РВ, \quad (6)$$

где $РВ$ – резерв времени УТхП.

$$Y_1^3(\tau_{11}) = X_1^2(\tau_1) \times \tau_{11}. \quad (7)$$

$Y_1^3(\tau_{11})$ – множество параметров, синтезируемых УТхП и характеризующих задания на выполнение заказов на период времени τ_{11} , $Y_1^3(\tau_{11})$ по смыслу эквивалентно $X_1^2(\tau_1)$, но имеет другой отсчет времени, $\tau_{11} < \tau_1$ и связано со временем t_1 .

Функции АСУТП оператора R_2 следующие:

- синтез множества параметров $W_2^1(\tau_1)$, укрупненно характеризующих загрузку оборудования (высокая, средняя, низкая) в ТхП на время τ_1 ;
- формирование календарных планов $Z_2(\tau_1)$ графиков на время t_1 ,
- синтез множества параметров $Z_1(\tau_{11})$, характеризующих загрузку оборудования в ТхП на время $\tau_{11} < \tau_1$, и связанное со временем t_1 ;
- синтез множества параметров $V_1^1(\tau_1)$, характеризующих загрузку оборудования в ТхП на момент времени τ_1 .

Функция синтеза множества параметров, укрупненно характеризующих загрузку оборудования в ТхП на время τ_1

$$W_2^1(\tau_1) = U_1(\tau_1) \times Y_1^2(\tau_1), \quad (9)$$

где $U_1(\tau_1)$ – множество параметров, характеризующих технологические процессы изготовления деталей заказов, спроектированные САПР ТП ко времени τ_1 ; $Y_1^2(\tau_1)$ – множество параметров, характеризующих сроки изготовления заказов, запущенных в обработку ко времени τ_1 .

Функция синтеза множества параметров $V_1^1(\tau_1)$, характеризующих загрузку оборудования в ТхП на момент времени τ_1

$$V_1^1(\tau_1) = U_1(\tau_{11}) \times Y_1^3(\tau_{11}) \times \Delta Z_2(\tau_1), \quad (10)$$

где $\Delta Z_2(\tau_1)$ – отклонение фактических календарных планов-графиков от плана.

Функция синтеза множества параметров $Z_1(\tau_{11})$, характеризующих загрузку оборудования в ТхП на время $\tau_{11} < \tau_1$:

$$Z_1(\tau_{11}) = U_1(\tau_{11}) \times Y_1^3(\tau_{11}), \quad (11)$$

где $U_1(\tau_{11})$ – множество параметров, характеризующих времена выполнения операций в ТП, выполняемых до времени τ_{11} .

Функция $Z_2(\tau_1)$ – формирование календарных планов графиков на время t_1 .

$$Z_2(\tau_1) = U_1'(\tau_{11}) \times Y_1^1(t_1) \times PB, \quad (12)$$

где PB – резерв времени, $U_1'(\tau_{11})$ – последовательность и времена операций в маршрутах обработки деталей заказов.

Функция САПР ТП (оператор R_3) – формирование множества параметров $U_1(\tau_1)$ и $U_1'(\tau_{11})$, характеризующих технологические процессы изготовления деталей заказов, спроектированные САПР ТП ко времени.

$$U_1(\tau_1) = X_4^1(\tau_1) \times Z_1(\tau_{11}) \times M, \quad (13)$$

где $Z_1(\tau_{11})$ – множество параметров, передаваемых АСУТП и характеризующих

загрузку оборудования в ТхП на время $\tau_{11} < \tau_1$, и связанное со временем t_1 ; M – множество параметров, содержащихся в конструкторской документации, и необходимых для проектирования ТПр.

Функции ПД (оператор R_4) следующие:

– определение отклонений фактических календарных планов-графиков (КПГ) $\Delta Z_2(\tau_1)$ от плановых;

– доведение фактических календарных планов-графиков $p_5^1(\tau_1)$ до ТхП;

Функция $\Delta Z_2(\tau_1)$ – определение отклонений фактических календарных планов-графиков от плана.

$$\Delta Z_2(\tau_1) = Z_2(\tau_1) \times q_5^1(\tau_1), \quad (14)$$

где $q_5^1(\tau_1)$ – фактическое выполнение календарных планов-графиков (КПГ) на время τ_1 .

Функция $p_5^1(\tau_1)$ -доведение КПГ до ТхП.

$$p_5^1(\tau_1) = Z_2(\tau_1) \times U_1'(\tau_{11}). \quad (15)$$

Функция ТхП (диспетчеров) – отслеживание фактического выполнения календарных планов-графиков $q_5^1(\tau_1)$ на время τ_1

Управление ЦФ на момент начала выполнения заказа

Обозначим время начала выполнения заказа t_2 .

Функции оператора R_0 следующие.

$$X_1^1(t_2) = A(\tau_{A2}) \times W_1^1(\tau_2) \times W_2^1(\tau_2) \times W_2^2(\tau_2), \quad (16)$$

где $X_1^1(t_2)$ – указание о целевой функции проектируемых ТПр конкретного заказа на время t_2 ; $A(\tau_{A2})$, $W_1^1(\tau_2)$, $W_2^1(\tau_2)$ имеют тот же смысл, что и в формуле (1), но относятся ко времени τ_2 , связанном со временем $t_2 > \tau_2$; $W_2^2(\tau_2)$ – множество параметров, синтезируемых АСУТП и содержащие сведения о выполнении календарных планов на время τ_2 .

Функция $X_1^2(\tau_2) = K \times \tau_2$ эквивалентна функции $X_1^2(\tau_1)$ (см. формулу (3)).

Функция $X_1^3(t_2)$ указание о приоритетности рассматриваемого заказа, $K \rightarrow X_1^3(t_2)$.

Функция $X_3^1(t_2)$ аналогична по смыслу функции $X_1^1(t_2)$, но имеет формальную математическую запись.

$$X_3^1(t_2) = X_1^1(t_2) \times N. \quad (17)$$

$X_4^1(\tau_2)$ – задание, эквивалентное по смыслу $X_1^2(\tau_2)$, но относится к САПР ТП и представляет множество параметров, характеризующих задание на проектирование ТПр до времени τ_2 .

$X_4^1(t_2)$ – задание на перепроектирование спроектированного ранее технологического процесса, поступает в САПР ТП, если ЦФ на начало проектирования $X_1^1(t_1)$ значительно отличается от целевой функции на начало выполнения заказа $X_1^1(t_2)$.

Функции УТхП следующие.

$$W_1^1(\tau_2) = X_1^2(t_2) \times V_1^1(\tau_2) \times X_1^3(t_2) \times V_1^2(\tau_2). \quad (18)$$

где $V_1^2(\tau_2)$ – объемное отклонение по выполнению КПГ на время τ_2 .

Величины в формуле аналогичны по смыслу приведенным в формуле 4, но относятся ко времени τ_2 .

Функция $Y_1^1(t_2)$ – указание о приоритетности заказов при прохождении деталей по операциям при составлении календарных планов работы и календарных планов-графиков, запущенных на время t_2 .

$$Y_1^1(t_2) = X_1^3(t_2) \times ЧП, \quad (19)$$

где ЧП – частные приоритеты УТхП.

Функция $Y_1^2(t_2)$ – сроки выполнения заказов, запущенных на время t_2 .

$$Y_1^2(t_2) = X_1^2(t_2) \times РВ. \quad (20)$$

Функция $Y_1^3(\tau_{21})$ – синтез множества параметров, характеризующих задания на выполнение заказов на период времени τ_{21} , $Y_1^3(\tau_{21})$ по смыслу эквивалентно $X_1^2(\tau_2)$, но имеет другой отсчет времени, $\tau_{21} < \tau_2$ и связано со временем t_2 .

$$Y_1^3(\tau_{11}) = X_1^2(\tau_1) \times \tau_{11}. \quad (21)$$

Функции АСУТП (оператор R_2):

$$W_2^1(\tau_2) = U_1(\tau_2) \times Y_1^2(\tau_2), \quad (22)$$

где $U_1(\tau_2)$ – множество параметров, характеризующих технологические процессы изготовления деталей заказов, спроектированные САПР ТП ко времени τ_2 ; $Y_1^2(\tau_2)$ – множество параметров, характеризующих сроки изготовления заказов, запущенных в обработку ко времени τ_2 .

$$W_2^2(\tau_2) = \Delta Z_2(\tau_2) \times U_1'(\tau_{21}) \times Y_1^1(t_2) \times РВ. \quad (23)$$

Функция:

$$V_1^1(\tau_2) = U_1(\tau_{21}) \times Y_1^3(\tau_{21}) \times \Delta Z_2(\tau_2), \quad (24)$$

где $\Delta Z_2(\tau_2)$ – отклонение фактических календарных планов-графиков от плана.

Функция:

$$V_1^2(\tau_2) = \Delta Z_2(\tau_2) \times U_1'(\tau_{21}) \times Y_1^1(t_2) \times РВ. \quad (25)$$

Функция $Z_1(\tau_{21})$:

$$Z_1(\tau_{21}) = U_1(\tau_{21}) \times Y_1^3(\tau_{21}), \quad (26)$$

где $U_1(\tau_{21})$ – множество параметров, характеризующих времена выполнения операций в ТП, выполняемых до времени τ_{21} .

Функция $Z_2(\tau_2)$ – формирование календарных планов графиков на время t_2

$$Z_2(\tau_2) = U_1'(\tau_{21}) \times Y_1^1(t_2) \times РВ, \quad (27)$$

где $РВ$ – резерв времени, $U_1'(\tau_{21})$ – последовательность и времена операций в маршрутах обработки деталей заказов.

Функция САПР ТП (оператор R_3):

$$U_1(\tau_2) = X_4^1(\tau_2) \times Z_1(\tau_{21}) \times M, \quad (28)$$

где $Z_1(\tau_{21})$ – множество параметров, передаваемых АСУТП и характеризующих загрузку оборудования в ТхП на время $\tau_{21} < \tau_2$, и связанное со временем t_2 .

Функции ПД (оператор R_4):

Функция $\Delta Z_2(\tau_2)$ – определение отклонений фактических календарных планов-графиков от плана.

$$\Delta Z_2(\tau_1) = Z_2(\tau_2) \times q_5^1(\tau_2), \quad (29)$$

где $q_5^1(\tau_2)$ – фактическое выполнение календарных планов-графиков (КПГ) на время τ_2 .

Функция $p_5^1(\tau_2)$ – доведение КПГ до ТхП.

$$p_5^1(\tau_2) = Z_2(\tau_2) \times U_1'(\tau_{21}). \quad (30)$$

Функция ТхП (диспетчеров) $q_5^1(\tau_2)$ – отслеживание фактического выполнения календарных планов-графиков (КПГ) на время τ_2 .

Анализируя модель, можно отметить следующее.

1. Исходя из того факта, что на различных этапах производства изделий контракта (проектирование технологий, непосредственное изготовление) информация, необходимая для задания целевой функции уточняется, обновляется и дополняется, то управление ЦФ должно быть построено в виде итерационных процедур, что соответствует и логике мышления проектировщика.

2. Так как информационные связи анализируются в динамике, их временные параметры должны быть синхронизированы, то для реализации модели целесообразно привлечение аппарата темпоральных логик.

3. Точность определения ЦФ во многом определяется инерционность модели, т.е. разницей между t_1 , τ_1 , τ_{11} и между t_2 , τ_2 , τ_{21} , которую необходимо уменьшать.

4. Если заранее известно, что различие между временами t_1 и t_2 не будет более допустимого, то ЦФ следует определять для времени t_2 .

5. Учитывая эвристичность процедур принятия решений при проектировании ТПр в многономенклатурном производстве, в САПР ТП при определении целевой функции заказа должны реализовываться элементы искусственного интеллекта и нечеткой логики.

6. Реализация ЦФ происходит в САПР ТП, а её окончательное формулирование подсистемой УП. УП выступают в роли «согласователя» ЦФ, учитывая интересы СУО, ФП и УТхП. Надо отдавать отчёт в том, что интересы этих подразделений не вполне противоречивы, и отнюдь не противоположны, как это иногда отмечается исследователями в области управления производством. Суть процедур, выполняемых УП должна состоять в согласовании, прежде всего, понимания СУО, ФП и УТхП о ситуации, сложившейся: в производственной системе (ТхП) – свободные мощности, технологические возможности, наличие средств технологического оснащения (УТхП); в договорной политике организации (СУО); в финансовом управлении (ФП). Основная сложность

состоит в том, что подразделения оперируют различными объектами, имеющими свою описательную область. Поэтому интеллектуальные процедуры уточнения (согласования) точек зрения подсистем на ситуацию с заказом носят итерационный характер, основываются на использовании не только количественных, но и качественных показателей, спроецированных на предметную область, свойственную каждому оператору.

Заключение

Использование указанного подхода при разработке программных средств САПР ТП возможно на основе концепции организационно-технологического проектирования [3, 4], предусматривающего информационную интеграцию САПР ТП и АСУТП.

На основе исследования модели оказалось возможным построение алгоритмов функционирования системы управления ЦФ, как подсистемы системы управления организацией. Это задаёт установку и придает осознанность деятельности производственной системы при проектировании ТПр, способствует целостности предприятия, как системы.

Список литературы

1. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В. Теоретические основы комплексной автоматизированной системы проектирования и управления технологическими процессами в многономенклатурном производстве // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия технические науки. – 2010. – № 4(127). – С.44-54.
2. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В. Метод интеллектуальной оценки решений при проектировании технологий в многономенклатурных производствах // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2011. – Том 17, №2. – С. 342-350.
3. Бурдо Г.Б., Исаев А.А. Особенности автоматизированной технологической подготовки производства в геофизическом приборостроении // Каротажник. – 2013. – №3 (225). – С. 235-239.
4. Бурдо Г.Б., Палюх Б.В. Оценка решений в системах автоматизированного проектирования технологических процессов для многономенклатурных производств // Вестник Воронежской государственной технологической академии. Сер. «Информационные технологии, моделирование и управление». – 2011. – №2. – С. 99-102.
5. Евгеньев Г.Б. Системология инженерных знаний: учеб. пособие для вузов – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 376 с.
6. Горанский Г.К., Владимиров Е.В., Ламбин Л.Н. Автоматизация технического нормирования работ на металлорежущих станках с помощью ЭВМ. – М.: Машиностроение, 1970. – 224 с.
7. Цветков В.Д. Системно-структурное моделирование и автоматизация проектирования технологических процессов. – Минск: Наука и техника, 1979. – 264 с.
8. Кондаков А.И. САПР технологических процессов. – М.: Издательский центр "Академия", 2007. – 272 с.

Сведения об авторах:

Бурдо Георгий Борисович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой;

Испирян Нина Васильевна – старший преподаватель;

Испирян Светлана Рафаиловна – к.т.н., доцент, доцент;

Мединцев Станислав Викторович – к.т.н., старший преподаватель;

Галкина Марина Владимировна – старший преподаватель.