

DOI: 10.18721/JEST.25306
УДК 658.512.4.07

И.Н. Хрусталева, С.А. Любомудров, Т.А. Ларионова, А.А. Толстолес

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург, Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА СУДОРЕМОНТНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

В работе описана модель повышения эффективности технологической подготовки мелкосерийного и единичного производства. В основе модели лежит разбиение детали на отдельные элементарные поверхности с последующим анализом допустимых технологических методов и средств, применяемых при их обработке. Представленная модель технологической подготовки производства позволяет выбрать рациональный вариант технологического процесса изготовления партии деталей с учетом имеющегося производственного графика. Выбор оптимального варианта технологического процесса производится на основе сравнительного анализа сочетания различных вариантов методов и средств производства, применяемых в процессе производства детали. Рассмотрен пример выбора рационального варианта технологического процесса изготовления детали «Фланец». Представлена схема разбиения рассматриваемой детали на элементарные поверхности и объединения их в блоки поверхностей. На основе сравнительного анализа был выбран наиболее рациональный вариант.

Ключевые слова: автоматизация, средства производства, технологический процесс, сравнительный анализ, модель, механическая обработка.

Ссылка при цитировании:

Хрусталева И.Н., Любомудров С.А., Ларионова Т.А., Толстолес А.А. Повышение эффективности технологической подготовки производства на судоремонтных предприятиях // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2019. Т. 25, № 3. С. 86–96. DOI: 10.18721/JEST.25306

I.N. Khrustaleva, S.A. Lyubomudrow, T.A. Larionova, A.A. Tolstoles

Peter the Great St. Petersburg polytechnic university, St. Petersburg, Russia

IMPROVING EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PREPARATION OF PRODUCTION IN SHIP REPAIR COMPANY

The article describes the model for improving the technological preparation of small-scale and single production. At the heart of the model is division of the part into separate elementary surfaces with subsequent analysis of the acceptable technological methods and means used in their processing. The presented model of technological preparation of production allows to choose the optimal variant of the technological process of manufacturing a batch of parts taking into account the available production schedule. The choice of the optimum variant of the technological process is made on the basis of comparative analysis of a combination of different methods and means of production used in the process of manufacturing the part. An example of the choice of the optimal variant of the technological process of manufacturing a "Flange" part is considered. A scheme is presented for splitting the part into elementary surfaces and combining them into blocks of surfaces. The optimal variant was chosen based on the comparative analysis.

Keywords: automation, means of production, technological process, comparative analysis, model, mechanical restoration.

Citation:

I.N. Khrustaleva, S.A. Lyubomudrow, T.A. Larionova, A.A. Tolstoles, Improving Efficiency of technological preparation of production in ship repair company, St. Petersburg polytechnic university journal of engineering science and technology, 25 (03) (2019) 86–96. DOI: 10.18721/JEST.25306



Большинство судоремонтных предприятий работают в условиях единичного и мелкосерийного производства, которые имеют свои особенности [1]. Одной из особенностей производственных процессов на судоремонтных предприятиях является их индивидуальность, так как объем и наименование производимых работ определяется отдельно для каждого судна в зависимости от характера дефектов и степени износа узлов и отдельных деталей, что увеличивает трудоемкость этапа технологической подготовки производства (ТПП).

К основным задачам технологической подготовки производства можно отнести выбор рациональных методов получения заготовки и формообразования отдельных поверхностей детали, проектирование технологических маршрутов обработки, выбор средств технологического оснащения (технологическое оборудование, режущий инструмент, установочно-зажимные приспособления и др.), назначение режимов резания, формирование структуры технологических операций и оформление комплекта технологической документации.

Высокая трудоемкость ТПП в условиях единичного и мелкосерийного производства приводит к снижению производительности и значительному увеличению производственных затрат. Снижение трудоемкости ТПП возможно в результате ее комплексной автоматизации.

В научной литературе [2–18] рассмотрены различные модели по повышению эффективности технологической подготовки производства. В предложенных моделях не рассматривается многовариантность технологических процессов обработки партии деталей: различные варианты технологических маршрутов обработки, альтернативные варианты применения средств технологического оснащения. Также в описанных моделях ТПП не рассматривается вопрос выбора рациональных режимов резания. Предложенные в научной литературе модели ТПП не позволяют проанализировать множество вариантов обработки партии деталей и выбрать наилучшей на основе многокритериального анализа, что в значительной степени снижает качество и эффективность технологической подготовки производства, и в целом, всего производственного процесса.

Таким образом, целью работы является разработка модели, которая обеспечит повышение эффективности технологической подготовки производства на основе моделирования различных производственных сценариев.

Описание имитационной модели

Разработанная модель технологической подготовки производства является трехуровневой (рис. 1).



Рис. 1. Уровни имитационной модели
Fig. 1. Levels of the simulation model

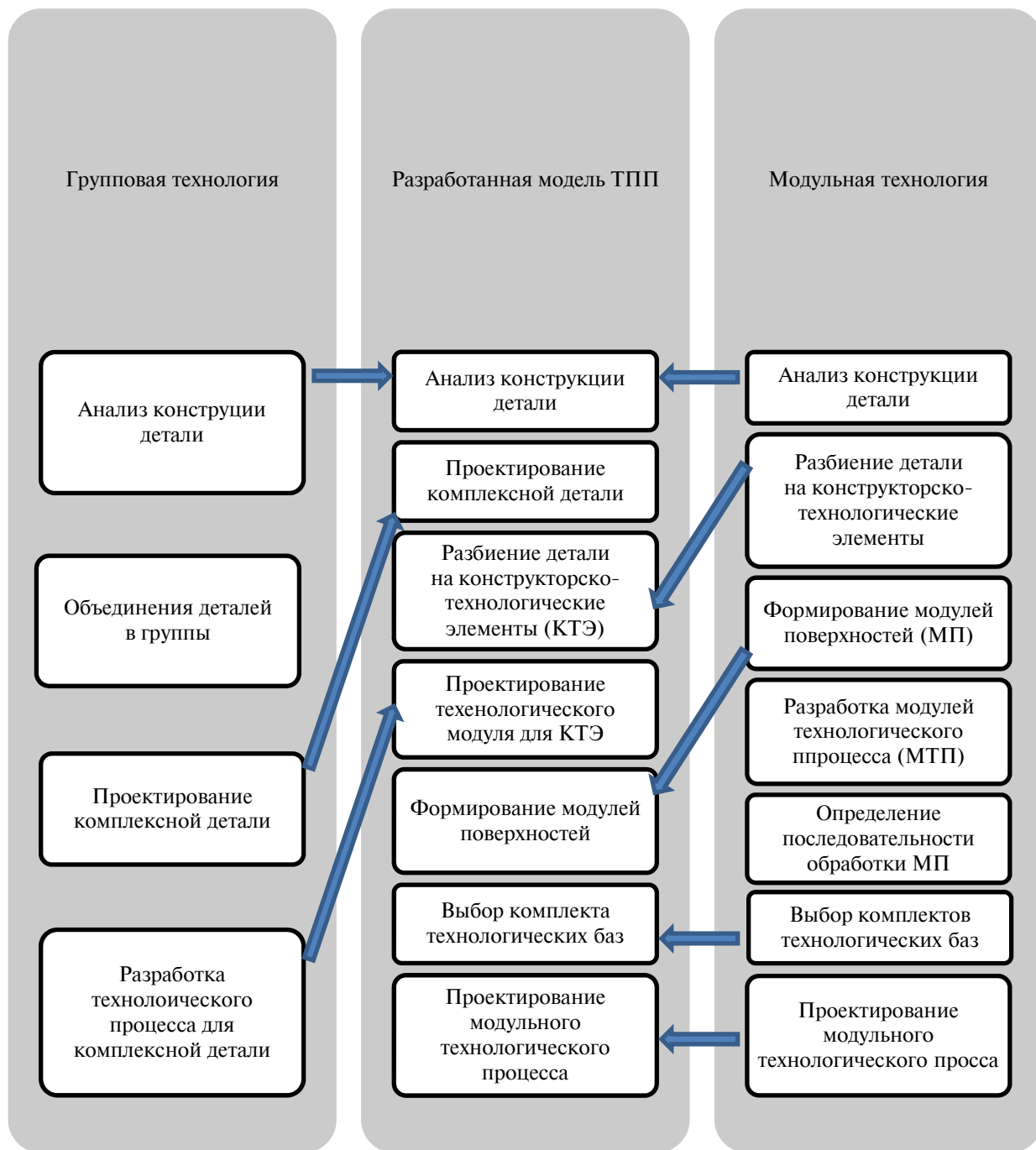


Рис. 2. Структура первого уровня имитационного моделирования

Fig. 2. The structure of the first level of simulation

На первом уровне производится проектирование и анализ различных технологических маршрутов обработки для партии деталей, выбор наилучшего варианта технологического маршрута обработки на основе многокри-

териального анализа. Имитационная модель включает в себя элементы двух методов проектирования технологических процессов (рис. 2): метод модульных технологий, описанный Б.М. Базровым [19] и метод группо-



вого технологического процесса, автором которого является С.П. Митрофанов [20, 21].

В структуру первого уровня моделирования были включены следующие элементы группового технологического процесса: проектирование комплексной детали и проектирование укрупненного маршрута обработки комплексной детали. Были включены следующие элементы модульной технологии: разбиение детали на конструкторско-технологические элементы, формирование блоков поверхностей, проектирование модуля технологического процесса изготовления элементарной поверхности.

Для оценки множества вариантов технологических процессов и выбора наилучшего варианта, были выбраны следующие критерии: длительность производственного цикла, величина погрешности обработки для наиболее точных размеров, величина переменных затрат.

Первый уровень моделирования можно разделить на 9 этапов (рис. 3), которые решают следующие задачи:

1. Анализ конструкции детали и постановка технологических задач;
2. Выбор типа заготовки и определение ее параметров;
3. Разбиение детали на конструкторско-технологические элементы, определение их параметров;
4. Определение комплектов технологических баз;
5. Формирование различных вариантов технологических операций;
6. Проектирование основного технологического маршрута обработки;
7. Проектирование альтернативных технологических маршрутов обработки;
8. Определение рациональных параметров резания на основе теоретического расчета погрешности обработки;
9. Определение для каждого варианта технологического процесса следующих парамет-

ров: длительности производственного цикла, погрешность обработки для наиболее точных размеров, величину переменных затрат;

10. Выбор наилучшего варианта технологического процесса для обработки партии детали на основе многокритериального анализа и расчета целевой функции.

11. Оформление комплекта технологической документации для наилучшего варианта технологического процесса.

Целью второго и третьего уровня имитационного моделирования является контроль и оперативная коррекция производственного процесса. Схема второго и третьего уровня моделирования представлена на рис. 4.

На втором уровне решаются следующие задачи:

1. Мониторинг работы каждой единицы технологического оборудования;
2. Анализ «узких мест» производства;
3. Контроль за выполнением производственного графика;
4. Моделирование альтернативных вариантов технологического процесса в случае возникновения сбоя в производственном процессе;
5. Принятие оперативных решений по стабилизации производственного графика на основе моделирования различных управленческих решений.

Задачей третьего уровня имитационного моделирования является оперативное внесение изменений в производственный график (постановка новых производственных задач), принятых на основе моделирования различных производственных сценарий.

Описание математической модели

Для реализации описанной имитационной модели были использованы четыре математических блока:

Блок 1. Определение нормы времени на операцию;

Блок 2. Определение величины переменных затрат;



Рис. 3. Схема первого уровня имитационной модели технологической подготовки производства
 Fig. 3. The Scheme of the first level of the simulation model of technological preparation of production

Блок 3. Определение погрешности обработки;

Блок 4. Определение значения целевой функции.

Блок 1. *Определение нормы времени на операцию.* Норма времени на операцию зависит от

величин оперативного времени и подготовительно-заключительного времени, которые определяются по формулам [22]:

$$T_{оп} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n}. \quad (1)$$

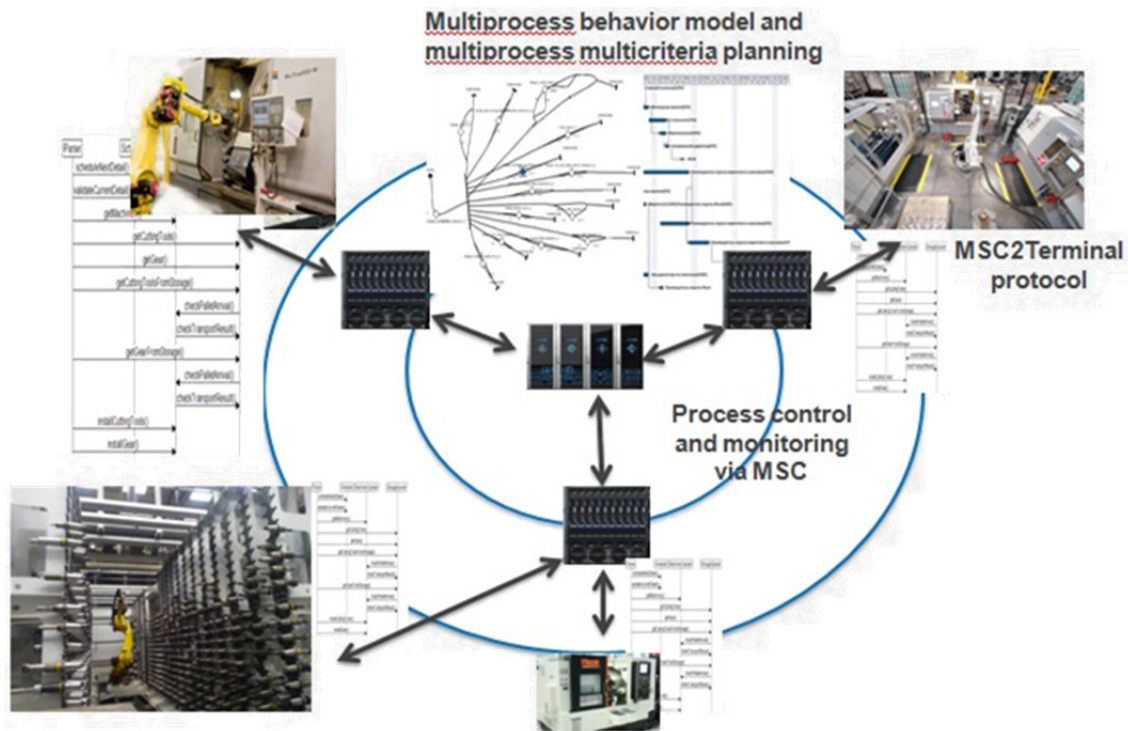


Рис. 4. Схема второго и третьего уровня моделирования
 Fig. 4. The scheme of the second and third levels of modeling

Для оборудования без ЧПУ:

$$T_{шт} = (T_o + T_b) \left(1 + \frac{a_{обс} + a_{отл}}{100} \right); \quad (2)$$

$$T_o = \frac{l + l_1 + l_2}{nS} \cdot i. \quad (3)$$

Для оборудования с ЧПУ:

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_b + k_b) \left(1 + \frac{a_{тех} + a_{орг} + a_{отл}}{100} \right); \quad (4)$$

$$T_{ца} = T_{оа} + T_{мв}; \quad (5)$$

$$T_{оа} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{S_m}; \quad (6)$$

$$T_b = T_{в\ уст} + T_{в\ оп} + T_{в\ изм}; \quad (7)$$

$$T_{пз} = T_y + T_{пз2} + T_{пр\ обр}, \quad (8)$$

где $T_{оп}$ – норма времени на операцию, мин; n – количество деталей в партии, шт.; T_o – основное время, мин; T_b – вспомогательное время,

мин; $a_{обс}$ – время обслуживания рабочего места, %; $a_{отл}$ – время на отдых и личные потребности, %; $T_{ца}$ – время автоматического цикла, мин; k_b – коэффициент ручного вспомогательного времени; $a_{тех}$, $a_{орг}$ – время на техническое и организационное обслуживание, %; $T_{оа}$ – основное время автоматической работы станка по программе, мин; $T_{мв}$ – машинное вспомогательное время, мин.

Блок 2. Определение величины переменных затрат. Величина переменных затрат определяется на основе расчета трех параметров:

1. Затраты на оснастку (установочно-зажимное приспособление, режущий инструмент) – $Z_{осн}$;
2. Затраты на заготовку – $Z_{заг}$;
3. Затраты на оплату труда производственных рабочих – $Z_{з/п}$.

$$Z_{пер} = Z_{осн} + Z_{заг} + Z_{з/п}; \quad (9)$$

$$Z_{осн} = Z_{пр} + Z_{ри}; \quad (10)$$

$$Z_{\text{при}} = \sum_{i=1}^n (N_{\text{при}} \cdot C_{\text{при}}) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_{\text{при}} n}{T_{\text{при}}} \right) \cdot C_{\text{при}}; \quad (11)$$

$$Z_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{пр}}; \quad (12)$$

$$Z_{\text{заг}} = C_{\text{заг}} n; \quad (13)$$

$$Z_{\text{з/п}} = \sum_{i=1}^m (C_{\text{нч}} T_{\text{пар}}) = \sum_{i=1}^m (C_{\text{нч}} (T_{\text{шт}} n + T_{\text{пз}})); \quad (14)$$

$Z_{\text{при}}$ – затраты на режущий инструмент; $Z_{\text{пр}}$ – затраты на установочно-зажимные приспособления; $t_{\text{при}}$ – время работы режущего инструмента, необходимого для обработки одной детали, мин.; n – количество деталей в партии, шт.; $T_{\text{при}}$ – стойкость режущего инструмента, мин.; $C_{\text{при}}$ – стоимость единицы режущего инструмента; $C_{\text{пр}}$ – стоимость одного установочно-зажимного приспособления; $C_{\text{заг}}$ – стоимость одной заготовки; $C_{\text{нч}}$ – стоимость нормо-часа производственного рабочего; $T_{\text{пар}}$ – время обработки партии деталей, мин.

Блок 3. Определение погрешности обработки. Суммарная погрешность обработки определяется по следующим формулам [23]:

$$\Delta_{\Sigma} = f(\Delta_y; \varepsilon; \Delta_{\text{и}}; \Delta_{\text{н}}; \Delta_{\text{по}}; \Delta_l); \quad (15)$$

$$\Delta_y = y_{\text{max}} - y_{\text{min}} = W_{\text{max}} \cdot P_{y \text{ max}} - W_{\text{min}} \cdot P_{y \text{ min}}; \quad (16)$$

$$\Delta_y = W \cdot (P_{y \text{ max}} - P_{y \text{ min}}); \quad (17)$$

$$\Delta_{\text{и}} = \frac{L}{1000} \cdot u_0; \quad (18)$$

$$\Delta_{\text{н}} = K \cdot \sqrt{\Delta_{\text{и.эт}}^2 + \Delta_{\text{у.эт}}^2 + \Delta_{\text{у.ин}}^2}; \quad (19)$$

$$\varepsilon = \sqrt{(\varepsilon)_6^2 + (\varepsilon)_3^2 + (\varepsilon)_п^2}; \quad (20)$$

$$\Delta_l = C \cdot \frac{L_{\text{инстр}}}{F} \cdot \sigma \cdot (s \cdot t)^{0,75} \cdot V^{0,5}, \quad (21)$$

где Δ_{Σ} – суммарная погрешность обработки, мкм; Δ_y – погрешность, вызванная упругими деформациями технологической системы, мкм; ε – погрешность вызванная установкой заготовки, мкм; $\Delta_{\text{и}}$ – погрешность, вызванная размерным износом режущего инструмента, мкм; $\Delta_{\text{н}}$ – погрешность настройки режущего инстру-

мента на размер, мкм; $\Delta_{\text{по}}$ – геометрическая погрешность обработки, мкм; Δ_l – погрешности, связанные с тепловыми деформациями технологической системы, мкм; ε_6 – погрешность базирования, мкм; ε_p – погрешность закрепления, мкм; ε_g – погрешность, вызванная применением приспособления, мкм;

Блок 4. Определение значения целевой функции. Расчет значения целевой функции производится по формуле:

$$F_{\text{тп}} = \frac{T_i}{T_{\text{min}}} k_T + \frac{(Z_{\text{пер}})_i}{(Z_{\text{пер}})_{\text{min}}} k_3 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{(\Delta_{\Sigma})_i}{(\Delta_{\Sigma})_{\text{min}}} \right) k_{\Delta}; \quad (22)$$

$$k_T + k_3 + k_{\Delta} = 1; \quad (23)$$

T_i – срок изготовления партии деталей, изготавливаемой по i -ому варианту технологического процесса, час.; T_{min} – минимальный срок изготовления партии деталей, ч; $(Z_{\text{пер}})_i$ – величина переменных затрат на изготовление партии деталей по i -му варианту технологического процесса; $(Z_{\text{пер}})_{\text{min}}$ – минимальная величина переменных затрат на изготовление партии деталей; $(\Delta_{\Sigma})_i$ – величина погрешности обработки для наиболее точного размера, обработанного по i -му варианту технологического процесса, мкм; $(\Delta_{\Sigma})_{\text{min}}$ – минимальная величина погрешности обработки для наиболее точного размера, мкм; k_T, k_3, k_{Δ} – весовые коэффициенты.

Результаты имитационного моделирования

На основе разработанной имитационной модели была проведена технологическая подготовка производства на судоремонтном предприятии (г. Санкт-Петербург). Направления деятельности предприятия: ремонт и обслуживания судов, изготовление продукции по кооперации в условиях единичного и мелкосерийного производства. Были решены следующие задачи:

1. Произведен анализ производственной структуры предприятия, номенклатуры деталей, действующих технологических процессов;
2. Произведен сравнительный анализ данных полученных по результатам моделирова-

ния и фактических данных предприятия по результатам реализации действующих технологических процессов (для партий деталей, которые уже были изготовлены).

3. Произведено моделирование производственного процесса для номенклатуры деталей, планируемых для изготовления с учетом действующего производственного графика.

4. Для каждой партии деталей определен рациональный технологический маршрут обработки, необходимое количество и параметры режущего инструмента, величину теоретической погрешности обработки для наиболее точных размеров, длительность производственного цикла и рациональные режимы резания.

Результаты моделирования на примере 10 деталей представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Сравнительный анализ вариантов технологических процессов для изготовленной номенклатуры деталей

Comparative analysis of variants of technological processes for the manufactured nomenclature of parts

№ дет	Количество рассмотренных вариантов ТМО, шт.		Количество альтернативных вариантов для каждой единицы РИ, шт.		Погрешность обработки, %		Срок изготовления партии деталей, ч		Величина переменных затрат, тыс. руб.	
	ДП	ИМ	ДП	ИМ	ДП	ИМ	ДП	ИМ	ДП	ИМ
1	1	5	1	3–4	75	60	523	348	122,3	103,5
2	1	9	1	3–4	68	52	168	153	96,7	83,7
3	1	10	1	3–4	71	62	320	180	87,3	79,5
4	1	8	1	3–4	81	59	332	320	48,2	43,1
5	1	5	1	3–4	70	56	270	251	89,6	82,4
Наименование работ							ТПП по данным предприятия		ТПП на основе ИМ	
Выбор рационального варианта ТМО и средств технологического оснащения на основе многокритериального анализа с учетом весовых коэффициентов.							Нет		Да	
Определение допустимых значений режимов резания с учетом величины поля допуска наиболее точного размера.							Нет		Да	

Таблица 2

Результаты имитационного моделирования для номенклатуры деталей, планируемой для изготовления

Results of simulation for the nomenclature of parts planned for manufacturing

№ дет	Количество рассмотренных вариантов ТМО, шт.	Количество альтернативных вариантов для каждой единицы РИ, шт.	Погрешность обработки, %	Срок изготовления партии деталей, ч	Величина переменных затрат, тыс. руб.
	ИМ	ИМ	ИМ	ИМ	ИМ
1	5	4	63	371	48,2
2	8	4	51	328	63,8
3	11	4	43	418	27,3
4	6	4	59	301	51,4
5	9	4	49	352	71,6
Наименование работ					ТПП на основе ИМ
Выбор рационального варианта ТМО и средств технологического оснащения на основе многокритериального анализа с учетом весовых коэффициентов.					Да
Определение допустимых значений режимов резания с учетом величины поля допуска наиболее точного размера.					Да

ДП – данные предприятия; ИМ – имитационное моделирование; ТМО – технологический маршрут обработки; РИ – режущий инструмент; ТПП – технологическая подготовка производства.

Выводы

Разработанная имитационная модель позволяет спроектировать и оценить множество вариантов технологических процессов обработки для партии деталей, произвести многокритериальный анализ и выбрать наилучшей вариант технологического процесса, производить контроль и оперативную коррекцию производственного процесса на основе моделирования множества производственных сценариев.

В качестве новизны можно выделить следующие элементы:

1. Сочетание элементов двух методов проектирования технологических процессов: групповой технологический процесс и модульный технологический процесс;

2. Рассмотрение множества альтернативных вариантов технологических маршрутов

обработки и применяемых средств технологического оснащения;

3. Определение рациональных режимов резания на основе расчета суммарной погрешности обработки;

4. Контроль производственного процесса и оперативное внесение изменений в производственный график на основе имитационного моделирования множества производственных сценариев.

5. Определение значимости каждого параметра при выборе наилучшего варианта технологического процесса с помощью весовых коэффициентов.

Применение разработанной имитационной модели позволяет значительно снизить трудоемкость этапа технологической подготовки единичного и мелкосерийного, что приводит к повышению эффективности производственного процесса и снижению производственных затрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Lychagin D.V., Lasukov A.A., Walter A.V., Arkhipova D.A. Systematic Classifier of Manufacturing Processes for Medium Size Shafts // Materials Science and Engineering. 2016. № 125. P. 2–6.
- [2] Baurina S. The process of technological preparation of production in quality management system: characteristics and main stages. Economics of The Firm, 2013.
- [3] Rabinskiy L.N., Ripetskiy A., Zelenov S.V., Kuznetsova E. Analysis and monitoring methods of technological preparation of the additive production // Journal of Industrial Pollution Control, 2017.
- [4] Svetlik Jo., Baron P., Dobránsky Jo., Kočíško M. Implementation of Computer System for Support of Technological Preparation of Production for Technologies of Surface Processing // Applied Mechanics and Materials. 2014. 613. P. 418–425.
- [5] Burdo G.B. Improving the technological preparations for manufacturing production // Russian Engineering Research. 2017. Vol. 37. P. 49–56.
- [6] Zhilyaev A.S., Kugultinov S.D., Efremov S.M. Automation of water distribution management during the reconstruction of main irrigation canals // Problems of ensuring accuracy in the manufacture of largesized thin-walled parts : OIP Conf. Series: Materials Science and Engineering (Krasnoyarsk, 4–6 April 2019). 2019. Vol. 537. P. 865–870.
- [7] Зяблов О.К., Фунтикова Е.В. Автоматизация технологической подготовки судоремонтного производства // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2014. № 38. С. 49–53.
- [8] Сухарев В.В., Кузьмин А.А. Алгоритм оптимальных решений в судоремонте с применением матрицы Крылова // Вестник государственного университета морского и речного транспорта имени адмирала С.О. Макарова. 2014. № 3(25). С. 81–89.
- [9] Зяблов О.К., Кочнев Ю.А. Разработка системы автоматизированного проектирования технологических процессов ремонта судов внутреннего плавания // Речной транспорт (XXI век). 2017. № 2(82). С. 43–45.
- [10] Кузьмин А.А., Сахаров В.В. Балансовые модели и их применение в автоматизированных системах управления производством // Журнал университета водных коммуникаций. 2013. № 1. С. 46–53.
- [11] Турчанинова Т.В. Совершенствование технического обслуживания и ремонта судов с использованием методов сетевого планирования и управления // Вестник МГТУ. 2011. № 14. С. 117–120.
- [12] Леонов А.А., Леонова Т.М. Модель оптимизации ремонта судов по ремонтным базам // Вестник АГТУ. 2014. № 4. С. 62–68.
- [13] Малыгин А.Н. Модернизация предприятий судостроения и судоремонта на основе внедрения



автоматизированных информационных технологий // *Juvenis Scientia*. 2017. № 7. С. 26–29.

[14] **Бурмистров Е.Г., Михеев Т.А.** Проблемы внедрения автоматизированных систем управления проектами на судостроительных и судоремонтных предприятиях // *Вестник ВГАВТ*. 2017. № 52. С. 73–79

[15] **Moreno-Doru Res, Vasile Paul Bresfelean.** Means to Enhance the Performance of ERP Systems' Personalized Production Modules // *Emerging Markets Quarterly in Finance and Business*. 2014. No. 15. P. 262–270.

[16] **Farhang Akhvaei, Arameh Khallaghi.** Friedrich Bleicher Development of a knowledge-based predictive model to estimate the welding process time in single part production systems // *5th CIRP Global Web Conference Research and Innovation for Future Production*. 2016. No. 55. P. 212–217.

[17] **Petra Foith-Forster, Thomas Bauernhansl.** Changeable assembly systems through flexibly linked process modules // *48th CIRP Conference on Manufacturing systems*. 2015. No. 41. P. 230–235.

[18] **Vivek R. Dave, Daniel A. Hartman, William H. King, Mark J. Cola, Rajendra U. Vaidya** Strategy for Small-Lot Manufacturing // *Los Alamos Science*. 2003. No. 28. P. 63–67.

[19] **Базров Б.М.** Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001. 368 с.

[20] **Митрофанов С.П.** Групповая технология машиностроительного производства. В 2 т. Т. 1. Организация группового производства. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. 407 с.

[21] **Митрофанов С.П.** Групповая технология машиностроительного производства. В 2 т. Т. 2. Проектирование и использование технологической оснастки металлорежущих станков. 3-е изд., перераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1983. 376 с.

[22] **Генкин Б.М.** Организация, нормирование и оплата труда на промышленных предприятиях. М.: Норма, 2003. 400 с.

[23] Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд., испр. М.: Машиностроение-1, 2003. 912 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ХРУСТАЛЕВА Ирина Николаевна – старший преподаватель Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

E-mail: irina.khrustaleva@mail.ru

ЛЮБОМУДРОВ Сергей Александрович – кандидат технических наук заведующий кафедрой «Технология машиностроения» Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

E-mail: lyubomudrow@yandex.ru

ЛАРИОНОВА Татьяна Анатольевна – ассистент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

E-mail: tsimkoshka@mail.ru

ТОЛСТОЛЕС Алексей Андреевич – младший научный сотрудник Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

E-mail: gmlaletol@gmail.com

Дата поступления статьи в редакцию: 04.09.2018

REFERENCES

[1] **D.V. Lychagin, A.A. Lasukov, A.V. Walter, D.A. Arkhipova,** Systematic Classifier of Manufacturing Processes for Medium Size Shafts, *Materials Science and Engineering*, 125 (2016) 2–6.

[2] **S. Baurina,** The process of technological preparation of production in quality management system: characteristics and main stages. *Economics of The Firm*, 2013.

[3] **L.N. Rabinskiy, A. Ripetskiy, S.V. Zelenov, E. Kuznetsova,** Analysis and monitoring methods

of technological preparation of the additive production, *Journal of Industrial Pollution Control*, (2017).

[4] **Jo. Svetlik, P. Baron, Jo. Dobránsky, M. Kočiško,** Implementation of Computer System for Support of Technological Preparation of Production for Technologies of Surface Processing, *Applied Mechanics and Materials*, 613 (2014) 418–425.

[5] **G.B. Burdo,** Improving the technological preparations for manufacturing production, *Russian Engineering Research*, 37 (2017) 49–56.

- [6] **A.S. Zhilyaev, S.D. Kugultinov, S.M. Efremov.** Automation of water distribution management during the reconstruction of main irrigation canals, Problems of ensuring accuracy in the manufacture of largesized thin-walled parts: OIP Conf. Series: Materials Science and Engineering (Krasnoyarsk, 4–6 April 2019), 537 (2019) 865–870.
- [7] **O.K. Zyablov, Ye.V. Funtikova,** Avtomatizatsiya tekhnologicheskoy podgotovki sudoremontnogo proizvodstva, Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta, 38 (2014) 49–53.
- [8] **V.V. Sukharev, A.A. Kuzmin,** Algoritm optimalnykh resheniy v sudoremonte s primeneniym matritsy Krylova, Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo transporta imeni admirala S.O. Makarova, 3 (25) (2014) 81–89.
- [9] **O.K. Zyablov, Yu.A. Kochnev,** Razrabotka sistemy avtomatizirovannogo proyektirovaniya tekhnologicheskikh protsessov remonta sudov vnutrenneye plavaniya, Rechnoy transport (XXI vek), 2 (82) (2017) 43–45.
- [10] **A.A. Kuzmin, V.V. Sakharov,** Balansovyye modeli i ikh primeneniye v avtomatizirovannykh sistemakh upravleniye proizvodstvom, Zhurnal universiteta vodnykh kommunikatsiy, 1 (2013) 46–53.
- [11] **T.V. Turchaninova,** Sovershenstvovaniye tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta sudov s ispolzovaniyem metodov setevogo planirovaniya i upravleniya, Vestnik MGTU, 14 (2011) 117–120.
- [12] **A.A. Leonov, T.M. Leonova.** Model optimizatsii remonta sudov po remontnym bazam, Vestnik AGTU, 4 (2014) 62–68.
- [13] **A.N. Malygin,** Modernizatsiya predpriyatiy sudostroyeniya i sudoremonta na osnove vnedreniya avtomatizirovannykh informatsionnykh tekhnologiy, Juvenis Scientia, 7 (2017) 26–29.
- [14] **Ye.G. Burmistrov, T.A. Mikheyev,** Problemy vnedreniya avtomatizirovannykh sistem upravleniya proyektami na sudostroitelnykh i sudoremontnykh predpriyatiyakh, Vestnik VGAVT, 52 (2017) 73–79.
- [15] **Moreno-Doru Res, Vasile Paul Bresfelean.** Means to Enhance the Performance of ERP Systems' Personalized Production Modules, Emerging Markets Queries in Finance and Business, 15 (2014) 262–270.
- [16] **Farhang Akhavei, Arameh Khallaghi, Friedrich Bleicher,** Development of a knowledge-based predictive model to estimate the welding process time in single part production systems, 5th CIRP Global Web Conference Research and Innovation for Future Production, 55 (2016) 212–217.
- [17] **Petra Foith-Forster, Thomas Bauernhansl,** Changeable assembly systems through flexibly linked process modules, 48th CIRP Conference on Manufacturing systems, 41 (2015) 230–235.
- [18] Vivek R. Dave, Daniel A. Hartman, William H. King, Mark J. Cola, Rajendra U. Vaiday Strategy for Small-Lot Manufacturing, Los Alamos Science. – 2003. №28 – 63–67 pp.
- [19] **B.M. Bazrov,** Modulnaya tekhnologiya v mashinostroyenii. M.: Mashinostroyeniye, 2001.
- [20] **S.P. Mitrofanov,** Gruppovaya tekhnologiya mashinostroitelnogo proizvodstva. V 2 t. T. 1. Organizatsiya gruppovogo proizvodstva. 3-ye izd., pererab. i dop. L.: Mashinostroyeniye, Leningr. otd-niye, 1983.
- [21] **S.P. Mitrofanov,** Gruppovaya tekhnologiya mashinostroitelnogo proizvodstva. V 2 t. T. 2. Proyektirovaniye i ispolzovaniye tekhnologicheskoy osnastki metallorezhushchikh stankov. 3-ye izd., pererab. i dop. L.: Mashinostroyeniye, Leningr. otd-niye, 1983.
- [22] **B.M. Genkin,** Organizatsiya, normirovaniye i oplata truda na promyshlennykh predpriyatiyakh. M.: Norma, 2003.
- [23] Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya. V 2 t. T. 1. Pod red. A.M. Dalskogo, A.G. Kosilovoy, R.K. Meshcheryakova, A.G. Sulova. 5-ye izd., ispravl. M.: Mashinostroyeniye-1, 2003.

THE AUTHORS

KHRUSTALEVA Irina N. – *Peter the Great St. Petersburg polytechnic university*

E-mail: irina.khrustaleva@mail.ru

LYUBOMUDROW Sergei A. – *Peter the Great St. Petersburg polytechnic university*

E-mail: lyubomudrow@yandex.ru

LARIONOVA Tatiiana A. – *Peter the Great St. Petersburg polytechnic university*

E-mail: tsimkoshka@mail.ru

TOLSTOLES Aleksei A. – *Peter the Great St. Petersburg polytechnic university*

E-mail: gmlaletol@gmail.com

Received: 04.09.2018