



# Вісник

## машинобудування та транспорту

[ГОЛОВНА](#) [АРХІВ](#) [\(1971-2018\)](#) **Journal of Mechanical Engineering and Transport**

### **№ 1 (2018)**

ОПУБЛІКОВАНО: 2018-04-24

# Вісник машинобудування та транспорту

Науковий журнал

Засновник і видавець: Вінницький національний технічний університет

Виходить 2 рази на рік Заснований у січні 2015 року

**№1(7) 2018**

## ЗМІСТ

<i>Аулін В. В., Голуб Д. В., Біліченко В. В.</i> Методологічний підхід до визначення рівня якості функціонування транспортних систем .....	4
<i>Барановський В. М., Спірін А. В., Зелінський В. Й., Наляжний В. С.</i> Математична модель діагностування системи вприскування палива «Mono-Jetronic» .....	10
<i>Біліченко В. В., Цимбал С. В., Коробов С. С.</i> Підвищення ефективності системи міських пасажирських перевезень .....	18
<i>Буда А. Г., Кузьмел В. П., Юров А. Р.</i> Моделювання зовнішніх поверхонь легкового автомобіля в тривимірному просторі за допомогою сплайнів .....	26
<i>Віштак І. В.</i> Огляд наноматеріалів та нанотехнологій та перспективи їх використання в газових опорах шпindelних вузлів .....	35
<i>Дусанюк Ж. П., Дерібо О. В., Репінський С. В., Плис М. С.</i> Оцінювання ефективності способів виготовлення заготовки за техніко-економічними показниками .....	44
<i>Зінько Р. В., Крайник Л. В., Горбай О. З., Поляков А. П.</i> Роботизовані мобільні платформи для вибухонебезпечних предметів .....	52
<i>Кравчук А. В., Кондряков Є. О., Панасенко О. В., Харченко В. В.</i> Дослідження впливу орієнтації концентратора відносно осі трубопроводу на складові енергії руйнування та температуру в'язко-крихкого переходу зразків Шарпі зі сталі 22К .....	63
<i>Павленко В. М., Кузьмел В. П.</i> Визначення можливості використання мультиагентного підходу при виконанні технічного обслуговування і ремонту автомобіля .....	72
<i>Поляков А. П., Галуцак О. О., Галуцак Д. О.</i> Перевірка адекватності математичної моделі системи «Двигун – система живлення сумішшю дизельного та біодизельного палив» .....	81
<i>Савін Ю. Х., Митко М. В., Романюк С. О.</i> Рекомендації щодо доцільності створення виробничих підрозділів з обслуговування та ремонту автомобілів .....	92
<i>Сахно В. П., Біліченко В. В., Поляков В. М., Разбойніков О. О., Шарай С. М., Новіцький М. А.</i> Експериментальне дослідження опору кочення колеса, встановленого під кутом до напрямку руху .....	102
<i>Севостьянов І. В.</i> Автоматизація проектування технологічних процесів механічної обробки та складання .....	112
<i>Швець В. В., Кашканов В. А., Галіброта В. В.</i> Оцінка функціонування вулично-дорожньої мережі м. Вінниці .....	120

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету,  
протокол №7 від 22.02.2018 р.

© Вінницький національний технічний університет, 2018

## CONTENT

<i>Aulin V., Golub D., Bilichenko V.</i> Methodological pidhid up to viznachennya anchori functioning of transport systems .....	4
<i>Baranovsky V., Spirin A., Zelinsky V., Nalyazhny V.</i> Mathematical model of diagnostics of the fuel injection system «Mono-Jetronic» .....	10
<i>Bilichenko V., Tsymbal S., Korobov S.</i> Increasing the efficiency of the city passenger transport system .....	18
<i>Buda A., Kuzhel V., Yurov A.</i> External surfaces of light cars modeling in three-dimensional spaces by the splines .....	26
<i>Vishtak I.</i> The review of nanomaterials and nanotechnologies and prospects of their use in gas supports of spindle unit .....	35
<i>Dusaniuk Zh., Deribo O., Repinskyi S., Plys M.</i> Evaluation of effectiveness of manufacturing methods blanks training for techno-economic indicators .....	44
<i>Zinko R., Krynik L., Gorbay O., Polyakov A.</i> Roboted mobile platforms for explosive substances ...	52
<i>Kravchuk A., Kondryakov E., Panasenko O., Kharchenko V.</i> Study of the influence of the concentrator orientation relative to the pipeline axis on the components of the fracture energy and the ductile-brittle transition temperature of the of the Sharpy specimens from the steel 22K .....	63
<i>Pavlenko V., Kuzhel V.</i> Determination possibility of introducing multi-agent approach for conducting maintenance and repair car .....	72
<i>Poliakov A., Galushchak O., Galushchak D.</i> Checking of the adequacy mathematical model of the "Engine - supply system of mixture diesel and biodiesel" .....	81
<i>Savin Y., Mytko N., Romanyuk S.</i> The recomendations for the expedient of the creation of the production subsections of servising and repairing of the transport vehicles .....	92
<i>Sakhno V., Bilichenko V., Polyakov V., Razbojnikov A., Sharaj S., Novickij N.</i> Experimental investigation of wheel extension, installed to the movement direction .....	102
<i>Sevostjanov I.</i> Automation of designing of technological processes of machining and assemblage ....	112
<i>Shvets V., Kashkanov V., Galibroda V.</i> Evaluation of the functioning of the Vinnitsa vallet-road network .....	120

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Аулин В. В., Голуб Д. В., Биличенко В. В.</i> Методологический подход к определению качества функционирования транспортных систем .....	4
<i>Барановский В. Н., Спирин А. В., Зелинский В. И., Наляжский В. С.</i> Математическая модель диагностики системы впрыска топлива «Mono-Jetronic» .....	10
<i>Биличенко В. В., Цымбал С. В., Коробов С. С.</i> Повышение эффективности системы городских пассажирских перевозок .....	18
<i>Буда А. Г., Кузель В. П., Юров А. Р.</i> Моделирование внешних поверхностей легкового автомобиля в трехмерном пространстве с помощью сплайнов .....	26
<i>Виштак И. В.</i> Обзор наноматериалов и нанотехнологий и перспективы их использования в газовых опорах шпиндельных узлов .....	35
<i>Дусанюк Ж. П., Дерибо А. В., Репинский С. В., Плис М. С.</i> Оценка эффективности способов изготовления заготовки по технико-экономическим показателям .....	44
<i>Зинько Р. В., Крайник Л. В., Горбай А. С., Поляков А. П.</i> Роботизированная мобильная платформа для взрывоопасных предметов .....	52
<i>Кравчук А. В., Кондряков Е. А., Панасенко А. В., Харченко В. В.</i> Исследование влияния ориентации концентратора относительно оси трубопровода на составляющие энергии разрушения и температуру вязко-хрупкого перехода образцов Шарпи из стали 22К .....	63
<i>Павленко В. Н., Кузель В. П.</i> Определение возможности использования мультиагентного подхода при выполнении технического обслуживания и ремонта автомобиля .....	72
<i>Поляков А. П., Галушак А. А., Галушак Д. А.</i> Проверка адекватности математической модели системы «Двигатель – система питания смесью дизельного и биодизельного топлива» .....	81
<i>Савин Ю. Ф., Мытко Н. В., Романюк С. О.</i> Рекомендации по целесообразности создания производственных подразделений с обслуживания и ремонта автомобилей .....	92
<i>Сахно В. П., Биличенко В. В., Поляков В. М., Разбойников А. А., Шарай С. М., Новицкий Н. А.</i> Экспериментальное исследование сопротивления качения колеса, установленного под углом к направлению движения .....	102
<i>Севостьянов И. В.</i> Автоматизация проектирования технологических процессов механической обработки и сборки .....	112
<i>Швец В. В., Кашиканов В. А., Галиброда В. В.</i> Оценка функционирования улично-дорожной сети г. Винница .....	120

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И СБОРКИ

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет

*В статье приводится рациональная последовательность проектирования технологических процессов механической обработки современного серийного производства с учетом параметров изделий, заданной производительности обработки, имеющихся на предприятии оборудования, приспособлений и инструмента. Данная последовательность может послужить основой для создания компьютерной программы автоматизированного проектирования технологических процессов, что позволит существенно сокращать затраты времени и средств при подготовке производства новых изделий, выбирать наиболее рациональный вариант их изготовления и сводить к минимуму себестоимость производства. Кроме того, внедрение предлагаемой последовательности и программ автоматизированного проектирования позволит решить задачу создания виртуальных производств и тем самым существенно повысить технический уровень и эффективность отечественных машиностроительных предприятий.*

### ВВЕДЕНИЕ

Современная экономическая ситуация и условия рынка требуют высокоэффективного многономенклатурного серийного производства, которое реализуется в основном на крупных, технически оснащенных предприятиях, использующих автоматизированное быстроперенастраиваемое оборудование с программным управлением, современные технологии, оснастка и инструмент, средства автоматизированного проектирования и технологической подготовки производства, высококвалифицированный персонал. При этом, вследствие нестабильности рынка, заказы на предприятия могут поступать достаточно неритмично, часто изменяться по ходу выполнения по содержанию и объемам, передаваться на другие предприятия либо аннулироваться. В связи с этим, предприятия, для того, чтобы выдержать конкуренцию, должны обеспечивать высокий технический уровень, широкую номенклатуру и необходимое качество продукции, эргономичность, надежность и привлекательный вид изделий, удобство их обслуживания и ремонта.

Таким образом, достаточно актуальной является проблема автоматизации проектирования технологических процессов (ТП) механической обработки, обеспечения автоматизированного синтеза возможных вариантов технологических процессов с учетом требований заказчика и конкретных условий производства, анализа данных вариантов по значительному числу критериев и обоснованного выбора оптимального варианта.

Известные методики разработки ТП механической обработки, приведенные в учебной и научной литературе [1, 2, 3], являются в основном словесными и достаточно громоздкими, а справочные таблицы, используемые в этих методиках, не дают возможности автоматизировать проектирование ТП. Поэтому задачей данной работы является разработка методики проектирования, которая может послужить основой для компьютерных программ автоматизированного проектирования ТП.

### ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Исходными данными для автоматизированного проектирования ТП механической обработки [2] являются информационные базы данных об изделии, которое необходимо изготовить, о сроках и объемах выполнения заказа, допустимой себестоимости изделия, вариантах ТП обработки и сборки аналогичных изделий, имеющихся на предприятии оборудовании, оснастке и инструменте.

В частности, основными данными об изделии (БДИЗ) являются: его наименование; состав деталей; количество деталей каждого наименования; материал, из которого они будут изготавливаться; основные физико-механические характеристики материала (НВ – для чугунов и медных сплавов,  $\sigma_6$  – для других материалов [4]); наличие корки на поверхности заготовки [4]; тип каждой детали (тело вращения – В или корпусная – К); вид заготовки (пруток – Пк, поковка – Пок, прокат – Пр, отливка – Л); масса ( $m_0$ ,  $m_3$ ) и размеры детали и заготовки ( $D_0$ ,  $L_0$ ,  $D_3$ ,  $L_3$  – для тел вращения или  $L_0$ ,  $B_0$ ,  $H_0$ ,  $L_3$ ,  $B_3$ ,  $H_3$  – для корпусных заготовок и деталей); параметры точности и качества обработки ( $IT$ ,  $Ra$ ) каждой поверхности; параметры формы и взаимного расположения

поверхностей; вид обработки каждой поверхности (токарная – Т, фрезерная – Ф, шлифование – Ш, сверление – С и т. д.), с указанием всех возможных вариантов обработки (например, одна и та же поверхность может быть обработана на токарном и фрезерном станке); данные по термообработке и покрытиям (например, твердость  $HRC_{\Sigma}$ , температура закалки,  $^{\circ}C - t_z$ , температура отпуска,  $^{\circ}C - t_o$ , температура цементации,  $^{\circ}C - t_{ц}$ , закалочная среда – вода (В)); наличие у заготовки элементов ориентации (плоская поверхность – П, внутренняя цилиндрическая поверхность – ЦВр, внешняя цилиндрическая поверхность – ЦВн); данные по схеме базирования и способу закрепления заготовки на каждом станке (например, три установочные – 3У, две направляющие – 2Н и одна опорная – 1О базы с креплением двумя прихватами – 2Пр УСП, с помощью крепежных и упорных болтов – 2УБ УСП, 2КБ УСП, гаек – 2 Г УСП и шайб – 2Ш УСП из комплекта универсально-сборочных приспособлений – УСП [2]).

В базу задания (БДЗ) на изготовление изделия входит его программа –  $n_u$ , срок поставки изделий –  $T_n$ , максимально допустимая себестоимость изделия –  $C_{u,max}$ .

Третью базу (БДТП) образуют типовые или предварительно разработанные на данном предприятии ТП обработки и сборки аналогичных или близких по конструкции изделий с кодировкой вида основных и вспомогательных операций (УЗ – установка заготовки, СД – съем детали) и переходов (ПТ – подрезка торца, обтачивание цилиндрической поверхности – ОЦ и т. д.). Также в данной базе для каждой детали, ТП которой принят как аналог указывается: ее тип и масса; вид, масса и марка материала заготовки; размеры ( $l_1, l_2, \dots, l_n; d_1, d_2, \dots, d_m; b_1, b_2, \dots, b_k$ ); параметры точности обрабатываемых на каждом переходе поверхностей (поле допуска, квалитет, шероховатость – например, пов. 1 – Н7, Ra = 0,8 мкм); схемы базирования и закрепления деталей на каждой операции (см. выше); модели используемого оборудования и приспособления. Кроме маршрутов механической обработки в базу входят соответствующие им карты наладки, маршрутные и операционные карты.

В базе с информацией об имеющемся оборудовании на предприятии (БДО) приводятся его основные технические характеристики: модель; тип (ТВ – токарно-винторезный, ФГ – горизонтально-фрезерный, ШК – кругло-шлифовальный); класс точности (Н, П, В, А, С); масса (М), габариты ( $L_c, B_c, H_c$ ); степень автоматизации [5] (Р – с ручным управлением, ПА – полуавтомат, А – автомат, ЧПУ – с числовым программным управлением); уровень специализации [5] (У – универсальный, ШН – широкого назначения, СЗ – специализированный, С – специальный); максимальная масса  $m_{z,max}$  обрабатываемых заготовок; максимально допустимые размеры обрабатываемых заготовок – диаметр  $d_{z,max}$  и длина  $L_{z,max}$  – для станков, обрабатывающих детали типа тел вращения, и длина  $L_{z,max}$ , ширина  $B_{z,max}$ , высота  $H_{z,max}$  – для станков, обрабатывающих корпусные детали; мощности электродвигателей привода главного движения –  $N_{\Sigma}$  и подачи –  $N_{\Sigma n}$ ; диапазоны частот вращения шпинделя –  $n_{min} - n_{max}$  и подач –  $s_{min} - s_{max}$  – для станков с ЧПУ и оборудования с бесступенчатой регулировкой или ряды частот  $n_1, n_2, \dots, n_{max}$  и подач  $s_1, s_2, \dots, s_{max}$  – для всех других станков; сменность работы оборудования ( $k_{см} = 1, 2$  или 3) [3] и коэффициент загрузки каждой единицы ( $k_z = 0 \div 1$ ). Также основные технические характеристики приводятся для остального основного и вспомогательного оборудования: прессов, молотов [6], литейных и гальванических машин, печей, сварочных аппаратов, промышленных роботов, тактовых столов, магазинов накопителей, конвейеров, подъемников, лотков, рольгангов [7], сборочного оборудования [8].

В базе с информацией об имеющихся приспособлениях (БДП) указывается: их назначение (ПТВ – приспособления для закрепления или измерения заготовок типа тел вращения; ПКД – приспособления для корпусных деталей); тип производства, в котором используется приспособление – ЕП – единичное, СП – серийное, МП – массовое производство (при необходимости, с учетом коэффициента закрепления операций –  $k_{з,о}$  [9] возможно дополнительное деление на приспособления для мелкосерийного – МСП, среднесерийного – ССП и крупносерийного – КСП производства); обеспечиваемый класс точности деталей, закрепляемых для обработки или для измерения в приспособлении; длительность  $t_n$  подготовки приспособления к работе; длительность  $t_{дм}$  демонтажа приспособления после окончания его использования; длительность  $t_{уc}$  установки одной заготовки или детали в приспособление с целью их обработки или измерения и съема заготовки (детали).

База по режущему и вспомогательному инструменту (БДИн) должна содержать данные о: его группе [9] (I – резцы; II – фрезы; III – сверла, зенкеры, развертки и т. д.); материале режущей части; наименовании переходов механической обработки, которые можно осуществлять с его помощью (см. выше); геометрических параметрах режущей и крепежной части инструмента, необходимых для определения оптимального режима обработки с его помощью заготовки [4].

На первом этапе автоматизированного проектирования проверяется возможность и целесообразность использования имеющихся на предприятии ТП для изготовления нового изделия. Для этого сначала, исходя из наименования последнего (БДИз), из базы БДТП отбираются ТП соответствующих изделий.

Например, если продукцией предприятия являются гидромашины и поступило задание на изготовление радиально-поршневых насосов (РПД) большой мощности (диапазон  $3 - N_{\mu} = 2000 \div 3000$  кВт), то с БДТП выбирается документация с кодами «РПД3-1», «РПД3-2», «РПД3-3», ... Проверяется соответствие комплектации «РПД3-1», «РПД3-2», «РПД3-3», ... и «РПД3» (совпадение кодов деталей, например, «Корпус РПД3-1» и «Корпус РПД3», «Корпус РПД3-2» и «Корпус РПД3» и т. д.), по возможности отбирается 3–4 подходящих варианта ТП.

Для каждой пары одноименных деталей ранее производимого и нового изделия проверяется соответствие их материала, вида заготовки, состояния ее поверхности, формы, размеров, параметров точности и шероховатости, элементного состава деталей (наличия у обеих деталей соответствующих канавок, фасок, ступеней, буртов и т. д.), вида термообработки и покрытий. По результатам сопоставления нового и базового изделия в ТП последнего могут при необходимости добавляться или сокращаться определенные операции, меняться количество переходов для того или иного вида обработки.

При этом добавленные операции лучше выполнять на оборудовании базового ТП, с использованием тех же схем базирования и закрепления, приспособлений и инструмента, что и на предыдущих либо последующих операциях базового ТП. Таким образом, процесс проверки пригодности имеющихся схем, оборудования, оснастки и инструмента можно представить в виде

$$СБЗ_i^6 = СБЗ_{i+5}^{\Delta?} \text{ или } СБЗ_{i+10}^6 = СБЗ_{i+5}^{\Delta?}; \quad ОБ_i^6 = ОБ_{i+5}^{\Delta?} \text{ или } ОБ_{i+10}^6 = ОБ_{i+5}^{\Delta?}; \quad (1)$$

$$ОС_i^6 = ОС_{i+5}^{\Delta?} \text{ или } ОС_{i+10}^6 = ОС_{i+5}^{\Delta?}; \quad ИН_i^6 = ИН_{i+5}^{\Delta?} \text{ или } ИН_{i+10}^6 = ИН_{i+5}^{\Delta?}, \quad (2)$$

где  $СБЗ_i^6$ ,  $ОБ_i^6$ ,  $ОС_i^6$ ,  $ИН_i^6$  – коды схемы базирования и закрепления заготовки, используемого оборудования, оснастки и инструмента при выполнении  $i$ -й операции базового ТП, после которой предполагается ввести добавочную операцию;  $СБЗ_{i+10}^6$ ,  $ОБ_{i+10}^6$ ,  $ОС_{i+10}^6$ ,  $ИН_{i+10}^6$  – коды схемы базирования и закрепления заготовки, используемого оборудования, оснастки и инструмента при выполнении  $(i + 10)$ -й операции базового ТП, идущей вслед за  $i$ -й операцией;  $СБЗ_{i+5}^{\Delta}$ ,  $ОБ_i^{\Delta}$ ,  $ОС_i^{\Delta}$ ,  $ИН_i^{\Delta}$  – коды схемы базирования и закрепления заготовки, используемого оборудования, оснастки и инструмента при выполнении добавочной  $(i + 5)$ -й операции проектируемого ТП, которую предполагается выполнять между  $i$ -й и  $(i + 10)$ -й операциями.

Критериями для проверки пригодности схем базирования и закрепления базового ТП являются: соответствующее расположение обрабатываемых на  $i$ -й и  $(i + 5)$ -й или на  $i$ -й и  $(i + 10)$ -й операциях (поверхность, обрабатываемая на дополнительной операции находится рядом или расположена соосно с поверхностями, обрабатываемых на  $i$ -й или  $(i + 10)$ -й операциях), обеспечивается доступ к добавленной поверхности инструмента и необходимая точность ее базирования и обработки.

Критерии для проверки пригодности оборудования базового ТП это: соответствие его назначения виду добавленной операции, а также соответствие класса точности оборудования заданным параметрам точности обработки добавленной поверхности. В случае выполнения указанных условий с помощью специальных прикладных компьютерных программ осуществляется распределение общего припуска на обработку добавленной поверхности на необходимое число переходов механической обработки [3] и рассчитываются оптимальные режимы механической обработки [4]. Окончательная проверка пригодности оборудования базового ТП осуществляется по условию [4]

$$N_{p,\Delta} \leq N_{\Delta,z}, \quad (3)$$

где  $N_{p,\Delta}$  – мощность, необходимая для осуществления процесса резания при выполнении добавленной операции;  $N_{\Delta,z}$  – мощность привода главного движения оборудования базового ТП.

Основными критериями для проверки пригодности инструмента базового ТП, используемого на  $i$ -й,  $(i + 10)$ -й или каких-либо других операциях являются: соответствие группы и типа инструмента виду добавленной операции; обеспечение необходимой точности обработки; соответствие материала

режущей части инструмента режиму его работы при обработке добавленной поверхности и ее состоянию (например, при съеме неравномерного припуска с ударами предпочтительно, чтобы режущая часть инструмент была изготовлена из быстрорежущей стали или из однокарбидного твердого сплава с повышенным содержанием кобальта, тогда как для обработки жаростойких материалов и для скоростной чистовой обработки используются в основном двух- трехкарбидные твердые сплавы, а также минералокерамика [4]).

Проверку пригодности приспособлений базового ТП проводят по соответствию обеспечиваемой им точности базирования и закрепления заданной точности обработки (суммарная погрешность  $\Sigma\delta_o$  базирования не должна превышать допустимой погрешности  $\delta_o$  на обрабатываемый размер) и обеспечиваемой силе закрепления заготовки в приспособлении –  $F_3$ , которая не может быть меньше соответствующей силы резания –  $P_p$ :

$$\Sigma\delta_o \leq \delta_o; P_p \leq F_3. \quad (4)$$

При несоответствии схемы базирования и закрепления оборудования, оснастки или инструмента базового ТП указанным выше критериям проводится доработка ТП нового изделия.

При этом дополнительными критериями по выбору оборудования является степень его автоматизации, которая должна соответствовать степени автоматизации всего оборудования, используемого в базовом ТП или, по крайней мере, оборудования на участках, на которых будут реализованы добавленные операции. Также уровень специализации добавленного оборудования должен быть достаточным для выполнения данных операций. Дополнительно проводится проверка пригодности вводимого оборудования по основным техническим характеристикам (см. выше):  $m_{3,max}$ ,  $d_{3,max}$ ,  $L_{3,max}$  (или  $L_{3,max}$ ,  $B_{3,max}$ ,  $H_{3,max}$ ),  $N_{э2}$ ,  $n_{min} - n_{max}$ ,  $s_{min} - s_{max}$  (или  $n_1, n_2, \dots, n_{max}$ ,  $s_1, s_2, \dots, s_{max}$ ). Соответствующие условия имеют вид (см. также условие (3))

$$m_3 \leq m_{3,max}; D_3 \leq d_{3,max}; L_3 \leq L_{3,max} \text{ или } L_3 \leq L_{3,max}; B_3 \leq B_{3,max}; H_3 \leq H_{3,max}; n_{min} \leq n_{\phi} \leq n_{max}; s_{min} \leq s_{\phi} \leq s_{max} \quad (5)$$

– для станков с ЧПУ или с бесступенчатым регулированием частоты вращения шпинделя и подачи;

или

$$n_{\phi} \in \{n_1, n_2, \dots, n_{max}\}, s_{\phi} \in \{s_1, s_2, \dots, s_{max}\} \text{ – для станков с коробками скоростей и подач,}$$

где  $n_{\phi}$ ,  $s_{\phi}$  – фактические частота вращения шпинделя и подача, выбранные в результате расчета оптимального режима механической обработки [4].

Дополнительными к указанным выше критериям по выбору приспособления являются: соответствие их назначения типу деталей, которые в них обрабатываются (см. выше), а также соответствие типов производства детали (Д) и приспособления (П). Данные условия в формализованном виде могут быть представлены как

$$В \rightarrow ПТВ; К \rightarrow ПКД; Д-ЕП \rightarrow П-ЕП; Д-СП \rightarrow П-СП; Д-МП \rightarrow П-МП. \quad (6)$$

В случае если новое изделие содержит детали, отсутствующие в ранее производимых изделиях аналогичного назначения и диапазона, а в БДТП предприятии нет технологической документации на подобные детали, для них разрабатываются по несколько альтернативных вариантов маршрута механической обработки. С этой целью определяется рациональная последовательность операций и переходов механической обработки каждой детали. Например, для детали типа «Упорное кольцо РПДЗ» вариант такой последовательности может иметь вид

$$УЗ - ОД - ПТ - РД - ОтрД - КД, \quad (7)$$

где РД – растачивание детали; ОтрД – отрезка детали; КД – контроль детали.

С учетом размеров заготовки и детали, параметров их точности и шероховатости поверхностей (данные БДИЗ), с помощью прикладных компьютерных программ определяются припуски и режимы обработки по указанным выше критериям, из БДО, БДП и БДИн выбирается имеющее фонд свободного времени оборудование, соответствующие приспособления и инструмент.

Таким образом, осуществляется проектирование нескольких вариантов ТП изготовления и сборки нового изделия. По его завершению проводят сопоставление вариантов ТП по себестоимости и обеспечиваемой производительности, определяемых по формулам [10], при этом расчетная



производительность при реализации каждого варианта ТП уточняется с учетом загруженности оборудования другими производственными заданиями по формуле

$$\sum_{j=1}^p \frac{n_{d,j}}{\sum_{i=1}^l (T_{cm} - T_{nz,u,i} - T_{nn,u,i} - T_{no,u,i}) k_{z,u,i} k_{cm,u,i}} + \sum_{k=1}^r \frac{n_{y,k}}{\sum_{i=1}^l (T_{cm} - T_{nz,c,i} - T_{nn,c,i} - T_{no,c,i}) k_{z,c,i} k_{cm,c,i}} +$$

$$+ \frac{n_u}{T_{cm} - T_{nz} - T_{nn} - T_{no}} + T_{mp} \leq T_n k_{зан},$$

$$T_{po}$$

где  $n_{d,j}$  – количество деталей нового изделия  $j$ -го наименования ( $p$  – количество наименований деталей в изделии);  $T_{cm}$  – длительность рабочей смены (на большинстве машиностроительных предприятий составляет 8 ч);  $T_{nz,u,i}$  – подготовительно-заключительное время  $i$ -го комплекса оборудования для изготовления деталей  $j$ -го наименования [5];  $T_{nn,u,i}$  – длительность простоев  $i$ -го комплекса оборудования для изготовления деталей  $j$ -го наименования, связанных с поддержанием или восстановлением его работоспособности [5];  $T_{no,u,i}$  – длительность простоев  $i$ -го комплекса оборудования для изготовления деталей  $j$ -го наименования, обусловленных организационно-техническими причинами [5];  $k_{cm,u,i}$  – коэффициент сменности  $i$ -го комплекса оборудования для изготовления деталей  $j$ -го наименования;  $k_{z,u,i}$  – коэффициент загрузки  $i$ -го комплекса оборудования для изготовления деталей  $j$ -го наименования;  $T_{po,j}$  – оперативное время работы оборудования при изготовлении деталей  $j$ -го наименования;  $n_{y,k}$  – количество собираемых узлов (сборочных единиц) нового изделия  $k$ -го наименования ( $r$  – количество наименований сборочных единиц в изделии);  $T_{nz,c,i}$  – подготовительно-заключительное время  $i$ -го комплекса оборудования для сборки узлов  $k$ -го наименования;  $T_{nn,c,i}$  – длительность простоев  $i$ -го комплекса оборудования для сборки узлов  $k$ -го наименования, связанных с поддержанием или восстановлением его работоспособности;  $T_{no,c,i}$  – длительность простоев  $i$ -го комплекса оборудования для сборки узлов  $k$ -го наименования, обусловленных организационно-техническими причинами;  $k_{cm,c,i}$  – коэффициент сменности  $i$ -го комплекса оборудования для сборки узлов  $k$ -го наименования;  $k_{z,c,i}$  – коэффициент загрузки  $i$ -го комплекса оборудования для сборки узлов  $k$ -го наименования;  $T_{po,k}$  – оперативное время работы оборудования при сборке узлов  $k$ -го наименования;  $T_{nz}$ ;  $T_{nn}$ ;  $T_{no}$ ;  $T_{po}$  – соответственно подготовительно-заключительное время; длительность простоев, связанных с поддержанием или восстановлением работоспособности; длительность простоев, обусловленных организационно-техническими причинами; оперативное время работы оборудования для окончательной сборки, смазки, регулировки, контроля, испытания, маркировки, упаковки и учета нового изделия;  $T_{mp}$  – длительность транспортировки новых изделий потребителю, с учетом времени их загрузки, хранения на промежуточном складе и разгрузки у потребителя;  $k_{зан}$  – коэффициент запаса, учитывающий непредвиденные объективные задержки в процессах изготовления деталей изделия, его сборки и транспортировки к потребителю. При этом следует учесть, что в формулу (8) составляющие

$$\frac{n_{d,j}}{\sum_{i=1}^l (T_{cm} - T_{nz,u,i} - T_{nn,u,i} - T_{no,u,i}) k_{z,u,i} k_{cm,u,i}}, \frac{n_{y,k}}{\sum_{i=1}^l (T_{cm} - T_{nz,c,i} - T_{nn,c,i} - T_{no,c,i}) k_{z,c,i} k_{cm,c,i}}$$

следует вводить только для тех операций изготовления и сборки, которые выполняются последовательно во времени (не совмещаются), тогда как для операций, совмещенных во времени с другими данные составляющие в уравнение (8) не вводятся.

Для выбранного наиболее рационального варианта ТП изготовления и сборки нового изделия с помощью специальных прикладных компьютерных программ, на основании полученного на предыдущей стадии маршрута, разрабатывается вся остальная необходимая технологическая документация: технологические схемы, маршрутные и операционные карты, карты наладки инструментов, схемы механической обработки и сборки, карты контроля параметров точности обработки и т. д.

## ВЫВОДЫ

1. В современных условиях при постоянном и достаточно интенсивном изменении сферы потребления предприятия, для сохранения конкурентоспособности и потребительской

привлекательности выпускаемой продукции, вынуждены периодически обновлять и расширять ее номенклатуру. В связи с чем, актуальной задачей является автоматизация проектирования ТП механической обработки и сборки новых изделий для их ускоренного внедрения в производство.

2. Имеющиеся в литературе методики проектирования ТП предусматривают выполнение всех стадий проектирования вручную с помощью неудобных в использовании справочных таблиц.

3. В статье предлагается рациональная методика автоматизированного проектирования высокоэффективных ТП механической обработки и сборки с использованием предварительно сформированных баз данных, простых алгоритмов и критериев для анализа вариантов ТП.

4. Приведенная методика может послужить основой для компьютерной программы автоматизированного синтеза и анализа вариантов ТП механической обработки и сборки изделий машиностроения, существенно экономить время и средства на их создание и внедрение и, таким образом, снижать себестоимость продукции при сохранении ее высокого качества.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов А. В. Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств / А. В. Михайлов, Д. А. Расторгуев. – Старый Оскол : ТНТ, 2010. – 336 с.
2. Капустин Н. М. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н. М. Капустин, П. М. Кузнецов, А. Г. Схиртладзе. – М. : Высш. шк., 2004. – 415 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1 / под. ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / под. ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 496 с.
5. Типовая система технического обслуживания и ремонта металло- и деревообрабатывающего оборудования / Минстанкопром СССР. – М. : Машиностроение, 1988. – 457 с.
6. Кузнечно-штамповочное оборудование / Ю. А. Бочаров и др. М. : Академия, 2008. – 480 с.
7. Металлорежущие системы машиностроительных производств : учебное пособие для вузов / под ред. О. В. Таратынова. – М. : МГИУ, 2006. – 488 с.
8. Замятин В. К. Технология и оснащение сборочного производства машиноприборостроения : справочник / В. К. Замятин. – М. : Машиностроение, 1995. – 608 с.
9. Севостьянов И. В. Вступ до фаху : навчальний посібник / І. В. Севостьянов. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 107 с.
10. Севостьянов І. В. Рациональна послідовність проектування технологічних процесів складання / І. В. Севостьянов // Наукові праці Вінницького національного технічного університету, 2015. – № 1. – С. 1–5.

#### REFERENCES

1. Mihajlov A. V. Osnovy proektirovaniya tehnologicheskikh processov mashinostroitel'nyh proizvodstv / A. V. Mihajlov, D. A. Rastorguev. – Staryj Oskol : TNT, 2010. – 336 p. (Rus)
2. Kapustin N. M. Avtomatizacija proizvodstvennyh processov v mashinostroenii / N. M. Kapustin, P. M. Kuznecov, A. G. Shirtladze. – M. : Vyssh. shk., 2004. – 415 p. (Rus)
3. Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja. V 2-h t. T. 1 / Pod. red. A. G. Kosilovoj i R. K. Meshherjakova. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 656 p. (Rus)
4. Spravochnik tehnologa-mashinostroitelja. V 2-h t. T. 2 / Pod. red. A. G. Kosilovoj i R. K. Meshherjakova. – 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 496 p. (Rus)
5. Tipovaja sistema tehničeskogo obsluzhivanija i remonta metallo- i derevoobrabatyvajushhego oborudovanija/ Minstankoprom SSSR, 1988. – 457 p. (Rus)
6. Kuznechno-shtampovocnoe oborudovanie / Ju. A. Bocharov i dr. M.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2008. – 480 p. (Rus)
7. Metallorėzhushhie sistemy mashinostroitel'nyh proizvodstv: Uchebnoe posobie dlja vuzov / Pod red. O. V. Taratynova. – M.: MGIU, 2006. – 488 p. (Rus)
8. Zamjatin V. K. Tehnologija i osnashenie sborochnogo proizvodstva mashinopriboroostroenija: Spravochnik / V. K. Zamjatin. – M.: Mashinostroenie, 1995. – 608 p. (Rus)
9. Sevost'janov I. V. Vstup do fahu : navchal'nij posibnik / Sevost'janov I. V. – Vinnicja : VNTU, 2016. – 107 p. (Ukr)
10. Sevost'janov I. V. Racional'na poslidoavnist' proektuvannja tehnologichnih procesiv skladannja / I. V. Sevost'janov // Naukovi praci Vinnic'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu, 2015. - №1. - P. 1 - 5. (Ukr)

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТА СКЛАДАННЯ

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

Об'єкт дослідження – технологічні процеси механічної обробки і складання в машинобудуванні. Мета роботи – розробка раціональної послідовності автоматизованого проектування процесів виготовлення і складання виробів у машинобудуванні. Метод дослідження – використання баз даних з виробничого завдання, існуючих технологічних процесів аналогічних виробів, наявного устаткування, пристосувань, інструменту, а також логічних алгоритмів і критеріїв оцінки варіантів технологічного процесу.

Підвищення ефективності та конкурентноздатності вітчизняних машинобудівних підприємств можливо тільки за рахунок впровадження і випуску сучасної та якісної продукції широкої номенклатури. У зв'язку з цим, актуальною проблемою українських підприємств є не тільки застаріле обладнання, але і відсутність сучасних програмних засобів для автоматизованого проектування технологічних процесів виготовлення і складання виробів машинобудування. Наявні методики технологічної підготовки виробництва є досить застарілими, громіздкими і не придатними як основа для створення таких засобів. Виходячи з цього, автором запропоновано раціональну послідовність автоматизованого проектування технологічних процесів механічного оброблення і складання. Вихідними базами даних для проектування є параметри планованого до випуску виробу, параметри виробничого завдання, типові технологічні процеси виробництва близьких за призначенням і конструкцією виробів, параметри наявних на підприємстві обладнання, оснащення й інструмента. Вся послідовність проектування розділена на декілька невеликих алгоритмів, що легко піддаються програмуванню і за допомогою яких синтезуються й аналізуються варіанти технологічних процесів виготовлення і складання нового виробу. При цьому критеріями для вибору найбільш раціонального варіанта є забезпечувана продуктивність та собівартість готової продукції. Пропонована послідовність може послужити основою для створення комп'ютерних програм автоматизованого проектування сучасних високоефективних технологічних процесів виробництва нових конкурентноздатних виробів.

**Ключові слова:** технологічний процес, механічне оброблення та складання, автоматизоване проектування, база даних, обладнання, інструмент.

*Севостьянов Іван Вячеславович*, доктор технічних наук, професор, професор кафедри галузевого машинобудування Вінницького національного технічного університету, e-mail: ivansev70@gmail.com

I. Sevostjanov<sup>1</sup>

## AUTOMATION OF DESIGNING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF MACHINING AND ASSEMBLAGE

<sup>1</sup>Vinnitsa national technical university

Object of research are technological processes of machining and assemblage in mechanical engineering. The work purpose is working out of rational sequence of the automated designing of processes of manufacturing and assemblage of products in mechanical engineering. A research method is use of databases on a production target, existing technological processes of the similar products, the available equipment, adaptations, the tool, logic algorithms and criteria of an estimation of variants of technological process.

Increase of efficiency and competitiveness of the domestic machine-building enterprises is possible only at the expense of elaboration and manufacturing of modern and qualitative production of the wide nomenclature. In this connection, an actual problem of the Ukrainian enterprises is not only outdated equipment, but also absence of modern software for the automated designing of technological processes of manufacturing and assemblage of products of mechanical engineering. Available techniques of technological

preparation of manufacture are enough outdated, bulky and not suitable as a basis for creation of such software. Proceeding from it, the author offers rational sequence of the automated designing of technological processes of machining and assemblage. Initial databases for designing are parameters of a product, that planned for manufacturing, production target parameters, typical technological processes of manufacture of products, that are near by destination and designs to new product, parameters available on the enterprise of the equipment, equipment and the tool. All sequence of designing is divided into some small algorithms, which easily give in to programming and which help variants of technological processes of manufacturing and assemblage of a new product are synthesized and analyzed. Thus criteria for a choice of the most rational variant are provided productivity and the finished goods cost price. The offered sequence can form a basis for creation of computer programs of the automated designing of modern highly effective technological processes of manufacture of new competitive products.

**Key words:** technological process, machining and assemblage, automated designing, database, equipment, tool.

*Sevostyanov Ivan*, doctor of technical science, professor, professor of the industrial engineering department, Vinnitsa national technical university, e-mail: ivansev70@gmail.com

**И. В. Севостьянов<sup>1</sup>**

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И СБОРКИ**

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет

Объект исследования – технологические процессы механической обработки и сборки в машиностроении. Цель работы – разработка рациональной последовательности автоматизированного проектирования процессов изготовления и сборки изделий в машиностроении. Метод исследования – использование баз данных по производственному заданию, существующим технологическим процессам аналогичных изделий, имеющемуся оборудованию, приспособлениям, инструменту, а также логических алгоритмов и критериев оценки вариантов технологического процесса.

Повышение эффективности и конкурентоспособности отечественных машиностроительных предприятий возможно только за счет внедрения и выпуска современной и качественной продукции широкой номенклатуры. В связи с этим, актуальной проблемой украинских предприятий является не только устаревшее оборудования, но и отсутствие современных программных средств для автоматизированного проектирования технологических процессов изготовления и сборки изделий машиностроения. Имеющиеся методики технологической подготовки производства являются достаточно устаревшими, громоздкими и не пригодными в качестве основы для создания таких средств. Исходя из этого, автором предложена рациональная последовательность автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки и сборки. Исходными базами данных для проектирования являются параметры планируемого к выпуску изделия, параметры производственного задания, типовые технологические процессы производства близких по назначению и конструкции изделий, параметры имеющихся на предприятии оборудования, оснастки и инструмента. Вся последовательность проектирования разделена на несколько небольших легко поддающихся программированию алгоритмов, с помощью которых синтезируются и анализируются варианты технологических процессов изготовления и сборки нового изделия. При этом критериями для выбора наиболее рационального варианта являются обеспечиваемая производительность и себестоимость готовой продукции. Предлагаемая последовательность может послужить основой для создания компьютерных программ автоматизированного проектирования современных высокоэффективных технологических процессов производства новых конкурентоспособных изделий.

**Ключевые слова:** технологический процесс, механическая обработка и сборка, автоматизированное проектирование, база данных, оборудование, инструмент.

*Севостьянов Иван Вячеславович*, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры отраслевого машиностроения Винницкого национального технического университета, e-mail: ivansev70@gmail.com