

## ЦИФРОВОЙ ФОРМАТ ПОДГОТОВКИ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА. Ч. II. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ЭТАП

В. Ф. БУЛАВИН, Т. Г. БУЛАВИНА, В. В. ЯХРИЧЕВ, А. С. СТЕПАНОВ

*Вологодский государственный университет, 160000, Вологда, Россия  
E-mail: bulavin35@mail.ru*

Рассматривается процесс внедрения инновационных цифровых технологий в ходе технологического этапа подготовки производства на средних и малых приборостроительных предприятиях. На этом этапе формируется полный пакет технической документации. Подробно представлена программа „Вертикаль“, обеспечивающая возможности параллельной работы инженеров-технологов при проектировании сложных конструкторско-технологических объектов в реальном времени. Приведен пример работы управляющей программы на основе САМ-приложения, позволяющего визуализировать работу программного продукта.

**Ключевые слова:** 3D-модель, цифровое изображение, технологическая подготовка производства, информационное пространство

Инициативный доклад, выполненный acatech (Немецкой академией науки и техники) [1], позволяет оценить соответствие модели развития производственной компании, с технологической, организационной и культурной точек зрения, требованиям, предъявляемым предприятиям уровня Industrie 4.0 (Индустрия 4.0). В условиях динамичной обстановки гибкость компании проявляется в адаптации к новой ситуации и в ускорении принятия организационных решений. Эти вопросы затрагивают сферы как повышения эффективности проектирования и производства, так и деятельности структурных подразделений.

Сохранение конкурентоспособности в долгосрочной перспективе невозможно без учета требований рынка на этапе подготовки производства в короткие сроки. Быстрые модификация и изменения конструкции по требованиям заказчика возможны при внедрении в производство на подготовительном этапе инновационных цифровых технологий [2—4].

Гибридные программные продукты в технологическом процессе производства на средних и малых приборостроительных предприятиях внедряются в рамках систем САПР на основе CAPP- и CAD/CAM-технологий. В функции платформ входит проектирование технологических процессов, их поддержка и сопровождение. Специализированные базы содержат информацию о типовых, групповых и индивидуальных технологических процессах, инструментах и оборудовании, а также формы отчетных документов.

Отечественные программные продукты компании „Аскон“ — „Компас-3D“, „Вертикаль ТП“ и „ЛОЦМАН:PLM“ — направлены на формирование модели виртуального предприятия путем создания информационной среды, имеющей целью получить доступ к новым видам и способам работ [5].

Сетевое взаимодействие конструкторско-технологических подразделений позволяет объединить процедуры автоматизированного проектирования и производства CAD/CAM/CAPP/CAE со средствами MES-управления и выстроить логику их взаимодействия [6—8]. Наличие цифрового отображения, связанного с системами PLM, MES и ERP, дает возможность контролировать технологический процесс предприятия в реальном времени и принимать логически обоснованные решения в условиях быстро изменяющейся конъюнктуры.

Целью этапа технологической подготовки производства является автоматизированное проектирование технологических процессов (ТП) изготовления деталей: металлообработки, формообразования, аддитивных технологий. Задача этого подготовительного периода — выполнение условий по технологичности процесса формообразования компонентов и конструкции в целом [9—12].

САПР ТП обеспечивает:

- многовариантность при проектировании ТП;
- выбор станочного оборудования, инструментария, приспособлений, оснастки и мерительных средств;
- назначение режимов металлообработки;
- расчет себестоимости, материальных и трудовых норм и затрат на изготовление детали;
- формирование пакета технологических документов.

Российская САПР ТП „Вертикаль“ со справочными базами сортаментов, материалов и стандартных комплектующих сопровождает все процессы технологического обеспечения и электронного документооборота — начиная от проектирования ТП и управления технологическими изменениями до заявок на разработку средств технического оснащения.

В основу построения платформы „Вертикаль“ положена многоуровневая упорядоченная система организованных взаимодействий между отдельными структурами, которые состоят из операций и переходов, оборудования и оснастки, а также других вспомогательных объектов. В ней реализованы условия коллективного инжиниринга комплексных технологических процессов в реальном времени.

САПР ТП обеспечивает взаимодействие операций технологического процесса с атрибутами графических программ „КОМПАС-3D“ (чертежами, эскизами). Модификация параметров в графических документах приводит к поправкам соответствующих параметров ТП. Возможен и обратный характер изменений — обновление атрибута в графическом документе в ответ на изменения в ТП [9—11]. На рис. 1 показан скриншот технологического маршрута, соответствующего последовательности операций с деталью „кронштейн“.

На базе платформы „Вертикаль“ разрабатываются три категории ТП: индивидуальный технологический процесс, технологический процесс изготовления сборочной единицы, типовой (групповой) технологический процесс. По окончании проектирования технологического процесса платформа „Вертикаль“ в автоматическом режиме формирует сводную базовую и дополнительную документацию. В банке данных программной среды имеются шаблоны, предусмотренные стандартами серии ЕСКД. К базовой информации относятся сведения о планово-экономических, организационных и технологических мероприятиях, об операциях изготовления деталей (технологические карты), о ремонте и обслуживании; на основе этих сведений формируется маршрутная карта изделия (рис. 2). Дополнительная информация — это документы, необходимые при проектировании и внедрении технологических процессов и операций: карты заказов на разработку технологической оснастки, акты внедрения технологических процессов, различные ведомости и др.

Комплект технологических документов содержит сведения как о ТП единичных изделий, так и сводную технологическую отчетность по всем разделам проекта. Модуль „Вертикаль“ обеспечивает формирование пакета документации в MS Excel согласно гос. стандартам, а также создание операционных эскизов и эскизов различных форматов.

САПР ТП позволяет в сжатые сроки составить перечень оборудования, инструментов, оснастки, сопроводив этот перечень операционным эскизом детали. Это позволяет обеспечить эффективный инструментальный контроль после выполнения всех операций.

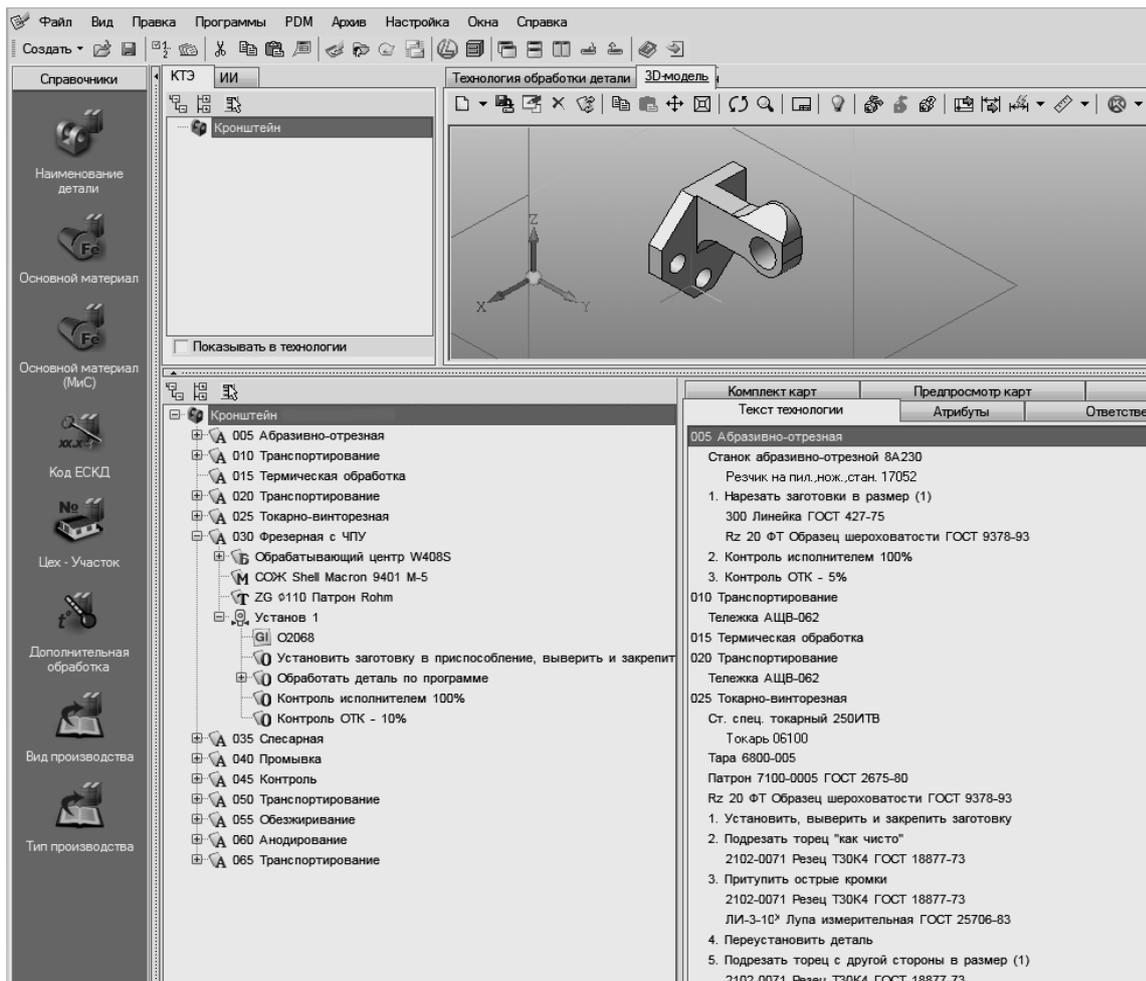


Рис. 1

M01	Пруток АМг6	Дубл.	Взам.	Подл.
Код	Λ	Цех	Уч.	PM
M02	114633			
A	Цех	Уч.	PM	
B	A01	103	20	
A03	135	00	E02	3811832232
B04	3813385028	03	A01	103 00 045 020000 Контроль
05		04	B02	3867542814 Стол контролёра
06		A05	103 20	
A07	135 00	A05	506 10	050 040100 Транспортирование в цех 1:
B08	3171111139	E07	3812673205	B06
09		08	3171111139	Тележка АЦВ-062
10		A13	103 20	A09
A11	214 41	E11	3867181013	B10
B12		12		
13		13		
14		A14	103 04	A13
A15	135 00	E15	3445110006	B14
B16	3171111139	16		
MK	Марш	MK	Марш	MK
Маршрутная карта				

Рис. 2

Автоматизированное проектирование управляющих программ для оборудования с цифровым кодом обеспечивается САМ-приложениями [13]. САМ-комплекс генерирует CL-файл, в котором содержится информация о траектории движения инструмента и о технологических командах. Постпроцессорная обработка преобразует промежуточный файл в управляющую программу в соответствии с конкретной кинематической схемой оборудования. Таким образом, постпроцессор, соответствующий определенному типу станка с ЧПУ (многокоординатный фрезерный, токарно-фрезерный, токарный, электроэрозионный, обрабатывающие центры), может настраиваться на любые типы устройств [13].

В качестве примера работы управляющей программы на рис. 3 представлена траектория (технология — High Speed Machining) режущего инструмента при фрезерной обработке детали „основание“ на обрабатывающем центре BMV-850; траектория соответствует требованию о минимуме затрат по времени обработки [14].

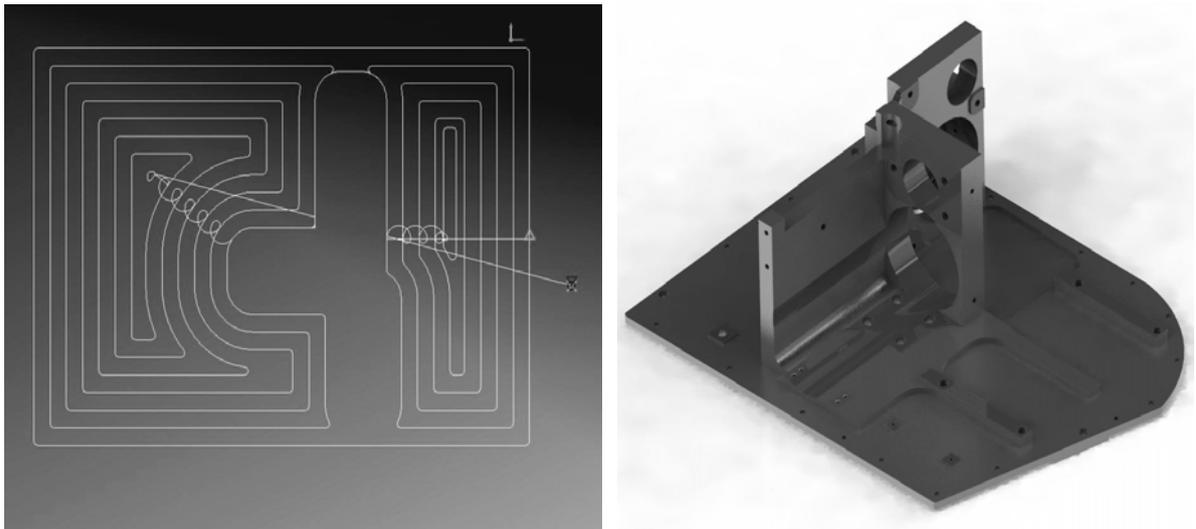


Рис. 3

Функционал САМ-приложения позволяет визуализировать работу программного продукта, имитируя выработку детали из заготовки. Моделирование траектории режущего инструмента осуществляется с учетом перемещений исполнительных и вспомогательных органов, при этом выявляются погрешности процесса обработки. На рис. 4 проиллюстрирована имитация траектории инструмента при изготовлении деталей „оправа“ и „ось“ (в среде „SpritCAM“).

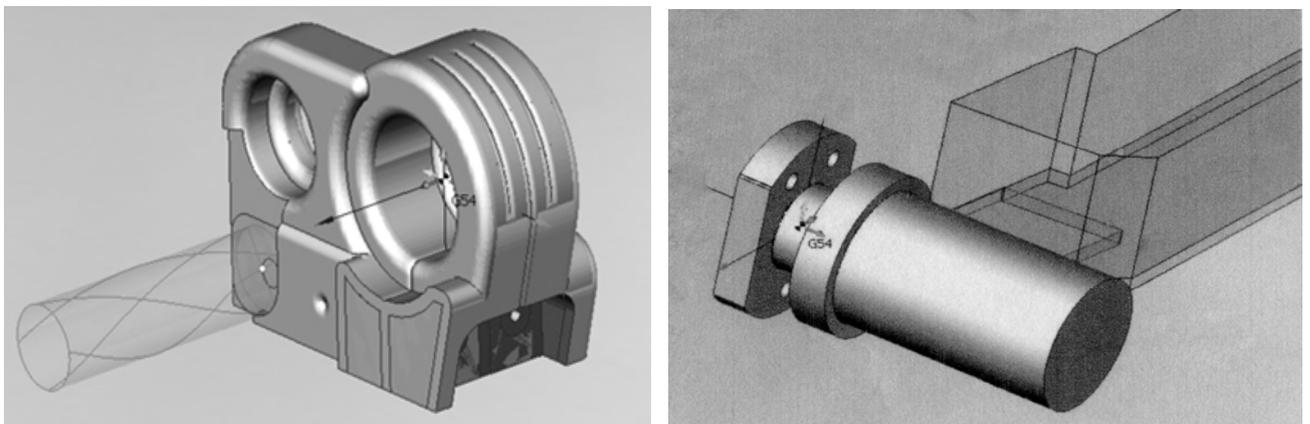


Рис. 4

Цифровое проектирование и сопровождение процесса технологической подготовки производства позволяет изменять конструкцию с помощью опций управления конфигурациями

изделия. Этот функционал обеспечивает платформа „ЛОЦМАН:PLM“, где формируется дерево изделия как объектная структура, связанная со всеми компонентами конструкции и процессами их изготовления. Выполнение проекта в едином информационном пространстве технологических и конструкторских служб является одним из условий цифрового производства, что позволяет говорить о первой фазе готовности предприятия в соответствии с тезисами Industrie 4.0. Цифровой набор конструкторско-технологической документации, сформированный в PLM-платформе [15], является целью подготовительного цикла и условием начала выпуска продукции. Совместное использование комплекса программных средств, построенных на базе PLM-технологий, позволяет реализовать прямое взаимодействие в цепи менеджер проекта — конструктор-разработчик — технолог — группа инженерных расчетов — заказчик.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Industrie 4.0 Maturity Index – Managing the Digital Transformation of Companies/ *G. Schuh, R. Anderl, J. Gausemeier, M. ten Hompel, W. Wahlster*: Eds.; The National Academy of Science and Engineering of Germany. Munich: Herbert Utz Verlag, 2017.
2. *Боровков А. И., Рябов Ю. А.* Перспективные направления развития передовых производственных технологий в России // Материалы XVII Апрельской междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества, Москва, 19—22 апр. 2016 г. М.: НИУ ВШЭ, 2017. Т. 3. С. 381—389.
3. Цифровое производство. Методы, экосистемы, технологии // Рабочий доклад Департамента корпоративного обучения Московской школы управления „Сколково“, ноябрь 2017 [Электронный ресурс]: <[http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11\\_november/17/tsifrovoe\\_proizvodstvo\\_112017.pdf](http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf)>, 6.11. 2019.
4. *Питерс Д.* Дигитализация преобразует экономику и повышает эффективность инвестиционных проектов // САПР и графика. 2016. № 1. С. 4—7.
5. *Зильбербург Л. И., Молочник В. И., Яблочков Е. И.* Информационные технологии в проектировании и производстве. СПб: Политехника, 2008. 304 с.
6. *Булавин В. Ф., Яхричев В. В., Степанов А. С.* Политика цифровых технологий на малых машиностроительных предприятиях // Изв. вузов. Машиностроение. 2019. № 9. С. 35—45. DOI: 10.18698/0536-1044-2019-9-35-45.
7. *Булавин В. Ф., Яхричев В. В., Глазков В. А.* PLM-стратегия в мелкосерийном производстве машиностроительной отрасли // Изв. вузов. Машиностроение. 2018. № 8. С. 37—49. DOI: 10.18698/0536-1044-2018-8-37-49.
8. *Булавин В. Ф., Булавина Т. Г., Яхричев В. В.* Валидация САД-продуктов в малых предприятиях машиностроительного сектора // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2017. № 5(325). С. 64—72.
9. *Быков А., Карабчиев К.* Задачи и инструменты валидации моделей для конструкторско-технологической подготовки производства // САПР и графика. 2016. № 1. С. 18—19.
10. *Булавин В. Ф., Яхричев В. В.* Цифровые технологии в малом бизнесе машиностроительной отрасли // САПР и графика. 2018. № 6. С. 52—55.
11. *Волков Е. В., Кузьмина М. С., Помещиков В. Э., Булавин В. Ф., Григорьев Н. С., Яхричев В. В.* Российские САД-системы в приборостроительном секторе производства // Евразийское научное объединение. 2017. Т. 1, № 10(32). С. 65—68.
12. *Яхричев В. В., Благовестова М. Е., Казакова С. А., Нестерова А. А., Столетова А. Н., Панченко Е. Н., Громов А. А., Булавин В. Ф.* САД/САПР-технологии в машиностроительном производстве // Евразийское научное объединение. 2018. Т. 1, № 1(35). С. 70—73.
13. *Ловыгин А.* Будущее САМ-систем // САПР и графика, 2016. № 1.
14. Введение в технологию динамического фрезерования в MasterCam. М.: ООО „ЦОЛЛА“, 2016. 126 с.
15. *Никифоров А. Д., Бакиев А. В.* Процессы жизненного цикла продукции в машиностроении. М.: Абрис, 2011. 688 с.

## Сведения об авторах

- Вячеслав Федорович Булавин** — канд. техн. наук, доцент; Вологодский государственный университет, кафедра технологии машиностроения; E-mail: bulavin35@mail.ru
- Тамара Георгиевна Булавина** — канд. техн. наук, доцент; Вологодский государственный университет, кафедра технологии машиностроения; E-mail: tamarabulavina35@mail.ru
- Виктор Васильевич Яхричев** — Вологодский государственный университет, кафедра технологии машиностроения; ст. преподаватель; E-mail: yahrichev@yandex.ru
- Александр Сергеевич Степанов** — канд. техн. наук, доцент; Вологодский государственный университет, кафедра технологии машиностроения; E-mail: alex.stepanov@mail.ru

Поступила в редакцию  
05.12.19 г.

**Ссылка для цитирования:** Булавин В. Ф., Булавина Т. Г., Яхричев В. В., Степанов А. С. Цифровой формат подготовки приборостроительного производства. Ч. II. Технологический этап // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 3. С. 250—256.

**DIGITAL FORMAT FOR PREPARATION OF INSTRUMENT PRODUCTION.  
PART II. TECHNOLOGICAL STAGE**

**V. F. Bulavin, T. G. Bulavina, V. V. Yakhrichiev, A. S. Stepanov**

*Vologda State University, 160000, Vologda, Russia  
E-mail: bulavin35@mail.ru*

The process of introducing innovative digital technologies during the technological stage of production at medium and small instrument-making enterprises is considered. At this stage, a complete package of technical documentation is generated. The program "Vertical" is presented in detail, which provides the possibility of parallel work of process engineers in the design of complex engineering and technological objects in real time. An example of a control program based on a computer-aided manufacturing system is demonstrated; the application allows for visualization of the software product operation.

**Keywords:** 3D model, digital image, production technology, information environment

## REFERENCES

- Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., ten Hompel M., Wahlster W., eds., *Managing the Digital Transformation of Companies*, Munich: Herbert Utz, 2017.
- Borovkov A.I., Ryabov Yu.A. XVII *Aprel'skaya mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya po problemam razvitiya ekonomiki i obshchestva* (XVII April International Scientific Conference on the Problems of Economic and Social Development, Moscow, April 19–22, 2016), Moscow, 2017, vol. 3, pp. 381–389. (in Russ.)
- [http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11\\_november/17/tsifrovoe\\_proizvodstvo\\_112017.pdf](http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf). (in Russ.)
- Piters D. *SAPR i grafika* (CAD and graphics), 2016, no. 1, pp. 4–7. (in Russ.)
- Zil'berburg L.I., Molochnik V.I., Yablochkov E.I. *Informatsionnyye tekhnologii v proyektirovanii i proizvodstve* (Information Technology in Design and Production), St. Petersburg, 2008, 304 p. (in Russ.)
- Bulavin V.F., Yakhrichiev V.V., Stepanov A.S. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2019, no. 9, pp. 35–45, DOI:10.18698/0536-1044-2019-9-35-45. (in Russ.)
- Bulavin V.F., Yakhrichiev V.V., Glazkov V.A. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 2018, no. 8, pp. 37–49, DOI:10.18698/0536-1044-2018-8-37-49. (in Russ.)
- Bulavin V.F., Bulavina T.G., Yakhrichiev V.V. *Fundamental and Applied Problems of Technics and Technology*, 2017, no. 5(325), pp. 64–72. (in Russ.)
- Bykov A., Karabcheyev K. *SAPR i grafika* (CAD and graphics), 2016, no. 1, pp. 18–19. (in Russ.)
- Bulavin V.F., Yakhrichiev V.V. *SAPR i grafika* (CAD and graphics), 2018, no. 6, pp. 52–55. (in Russ.)
- Volkov E.V., Kuz'mina M.S., Pomeshchikov V.E., Bulavin V.F., Grigor'yev N.S., Yakhrichiev V.V. *Eurasian Scientific Association*, 2017, no. 10(32), pp. 65–68. (in Russ.)
- Yakhrichiev V.V., Blagovestova M.E., Kazakova S.A., Nesterova A.A., Stoletova A.N., Panchenko E.N., Gromov A.A., Bulavin V.F. *Eurasian Scientific Association*, 2018, no. 1(35), pp. 70–73. (in Russ.)
- Lovygin A. *SAPR i grafika* (CAD and graphics), 2016, no. 1, pp. 8–17. (in Russ.)
- Vvedeniye v tekhnologiyu dinamicheskogo frezerovaniya v MasterCam* (Introduction to Dynamic Milling Technology at MasterCam), Moscow, 2016, 126 p. (in Russ.)
- Nikiforov A.D., Bakiyev A.V. *Protsessy zhiznennogo tsikla produktsii v mashinostroyenii* (Product Life Cycle Processes in Mechanical Engineering), Moscow, 2011, 688 p. (in Russ.)

**Data on authors**

- Vyacheslav F. Bulavin** — PhD, Associate Professor; Vologda State University, Department of Engineering Technologies; E-mail: bulavin35@mail.ru
- Tamara G. Bulavina** — PhD, Associate Professor; Vologda State University, Department of Engineering Technologies; E-mail: tamarabulavina35@mail.ru
- Victor V. Yakhrichev** — Vologda State University, Department of Engineering Technologies; Senior Lecturer; E-mail: yahrichev@yandex.ru
- Alexander S. Stepanov** — PhD, Associate Professor; Vologda State University, Department of Engineering Technologies; E-mail: alex.stepanov@mail.ru

**For citation:** Bulavin V. F., Bulavina T. G., Yakhrichev V. V., Stepanov A. S. Digital format for preparation of instrument production. Part II. Technological stage. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, 3. P. 250—256 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-3-250-256