

ЦИФРОВОЙ ФОРМАТ ПОДГОТОВКИ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА. Ч. I. КОНСТРУКТОРСКИЙ ЭТАП

В. Ф. Булавин, Т. Г. Булавина, В. В. Яхричев, А. С. Степанов

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

Обсуждается процесс внедрения цифровых платформ в конструкторский этап подготовки производства на средних и малых приборостроительных предприятиях. Этот процесс реализуется при активном использовании САПР на базе CAD- и CAE-технологий. Рассматриваются процессы, выполняемые в ходе конструкторской подготовки: 3D-проектирование, инженерный анализ конструкции, создание электронных прототипов узлов изделия — одного из факторов цифрового производства. Приведены полученные при моделировании результаты выработки конструкторского решения по вопросу о температурных деформациях узлов измерительных приборов.

Ключевые слова: 3D-модель, цифровое изображение, конструкторская подготовка производства, информационная среда

Федеральный проект „Цифровые технологии“ определяет политику и стратегию развития производства в условиях современной технической парадигмы. Составной частью этого процесса является перевод в цифровую форму всей технологической документации, необходимой на приборостроительном предприятии [1]. Эти новые тенденции определяют вектор развития отрасли и способствуют росту производительности труда [2—4].

Целью настоящей статьи является анализ внедрения инновационных цифровых технологий в процессе производства на средних и малых приборостроительных предприятиях. Актуальность работы связана с необходимостью зафиксировать достигнутый уровень использования высокотехнологичных программных платформ в производственной сфере в целях последующей реализации долгосрочной стратегии насыщения предприятий цифровыми технологиями [3—5].

Сложность проектных работ и стремление за счет быстрого выхода на рынок получить конкурентные преимущества диктуют внедрение цифровых технологий в сфере конструкторско-технологической подготовки производства (КТПП) [6]. В этих условиях основными направлениями совершенствования КТПП являются внедрение электронного документооборота и инновационные технологии в организации труда. Этому в полной мере удовлетворяют комплексы САПР, базирующиеся на формате 3D-проектирования, с поддержкой банков данных и экспертных систем для решения технологических задач [7—9].

Автоматизированная подготовка производства делится на три стадии: конструкторский и технологический этапы, а также инжиниринг элементов, модулей и конструкции в целом [7—9]. В рамках конструкторской подготовки производства уточняются компоновка и кинематическая схема, а также конфигурация будущего изделия при соблюдении требований к

унификации и предельному наполнению его стандартными узлами. Последующие операции заключаются в предварительной классификации и кодировании новых элементов с дальнейшим поиском их прототипов в базах данных типовых компонентов либо в выполненных ранее проектах. Автоматизированное проектирование базируется на методах адресации и синтеза. Технологии 3D предполагают создание цифрового двойника всех деталей, отдельных сборок и изделия в целом [10]. На рис. 1 представлен электронный прототип конструкции „основание“ из состава оптоэлектронного прибора, выполненного в технологии 3D.

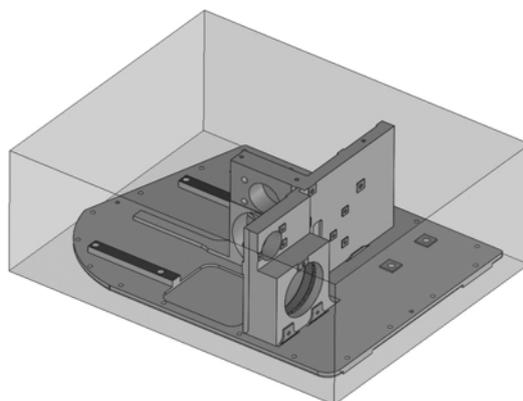


Рис. 1

В ходе конструкторской подготовки производства назначаются физико-химические свойства применяемых материалов, уточняются внешний вид и эргономические показатели изделия. Результатом завершения этапа является пакет конструкторской документации нового изделия (или прошедшего модернизацию) с последующим нормоконтролем материала посредством экспертного приложения. В функции модуля входит поиск ошибок и неточностей в оформлении чертежей, проверка размерных цепей. На рис. 2 представлена электронная копия детали „кронштейн“ из комплекта оптоэлектронного прибора и ее чертеж, который автоматически формируется в платформе „Компас-3D“.

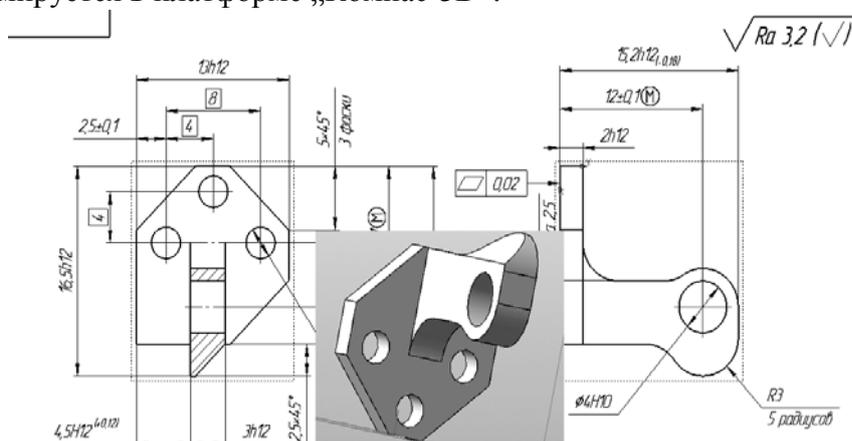


Рис. 2

Процесс принятия конструкторских решений требует согласования с технологическими службами возможностей изготовления отдельных узлов и деталей на имеющемся оборудовании, а со службами обеспечения — необходимости приобретения комплектующих компонентов и требуемых материалов [11—13].

Электронные прототипы узлов и всего изделия в комплекте позволяют выявить возможные ошибки при сборке. Технология параметризации позволяет создавать унифицированный образ объекта и обеспечивать разнообразие изделий на основе уже спроектированного цифрового двойника [7, 8].

Для визуализации комплекта изделия, сборки и разборки модулей и представления о конструкции в целом оформляется каталог разнесенной сборки. Функционал программ САД-платформы позволяет выполнить операцию разнесения модулей конструкции на детали, а отдельные узлы, входящие в сборку, могут быть представлены как одним элементом, так и подетально. Разнесенная сборка обеспечивает возможность быстрого редактирования деталей и наглядность. На заключительной стадии конструкторского этапа оформляется электронный каталог [9].

Автоматизированное проектирование включает в себя анализ напряженно-деформированного состояния детали (узла) и проводится в САЕ-приложениях. Платформы твердотельного моделирования ориентированы на расчет напряженно-деформированного состояния стержневых, пластинчатых, оболочечных конструкций, а также их комбинаций, собранных из отдельных 3D-элементов. Внешние нагрузка и ограничения могут быть произвольными как по характеру, так и по местоположению [11, 14, 15].

Анализ эксперимента, при статическом характере нагружения детали „корпус“, позволяет обнаружить опасные области, сечения и максимальные деформации исследуемой конструкции, а также определить коэффициент запаса прочности. Цветовая легенда распределения напряжений в детали „корпус“ визуализирует результаты моделирования, подтверждающие работоспособность детали (рис. 3).

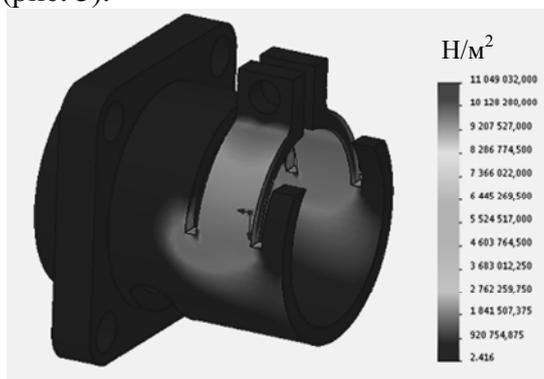


Рис. 3

Моделирование позволяет на стадии проектирования выработать конструкторские решения по вопросу о температурных деформациях узлов измерительных приборов. В качестве примера рассмотрим деталь „плита опорная“ (рис. 4, а). Сложная топология определяется схемой оптического прибора: на поверхности детали расположены вытянутые элементы, опорные пластики, технологические, конструктивные и крепежные отверстия. Вырез А является зоной расположения оптических компонентов. При изменении температуры в диапазоне от -50 до $+50$ °С ось информационного поля, образованного светоизлучающими элементами, смещается относительно геометрической оси прибора, что является одной из причин погрешности измерительного канала [16].

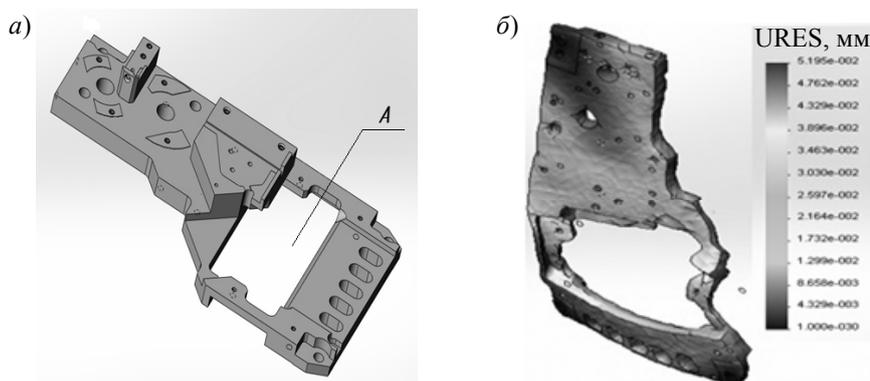


Рис. 4

Для уточнения влияния температурного фактора на элементы конструкции и устойчивость системы была проведена оценка изменения геометрической формы детали в тепловом поле; рис. 4, б иллюстрирует характер деформаций при охлаждении детали до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ (сплав АМгб).

Результаты имитационного моделирования позволяют судить о распределении термических напряжений по объему детали и свидетельствуют о трансформации исходной геометрической формы.

Требования по конфигурации и геометрии блока значительно сужают поле возможных конструкторских решений. В этих условиях предлагается сформировать два ребра жесткости в зонах наибольших деформаций. Это позволяет снизить деформации в 1,3 раза, но не исключает погрешность в работе измерительного канала.

В целях минимизации возникающих деформаций и перемещений был проведен анализ тепловых деформаций детали „плита опорная“ с подбором материалов заготовки, имеющих меньший коэффициент температурного расширения; были выбраны: сплав АМгб, сплав титана ВТ, легированная сталь 30ХГСА и инвар 36Н.

По результатам исследования образцов из выбранных материалов при температуре $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ в зоне максимальных перемещений (URES) и концентрации максимальных термических напряжений (без ребер жесткости) значения URES лежат в диапазоне от 0,058 до 0,0032 мм. После доработки конструкции и замены исходного материала на прецизионный материал — инвар 36Н получены удовлетворительные результаты эксперимента для нового варианта (рис. 5). Как видно из рисунка, максимальное перемещение по сравнению с базовым вариантом уменьшилось в 22,5 раза (0,0025 мм).

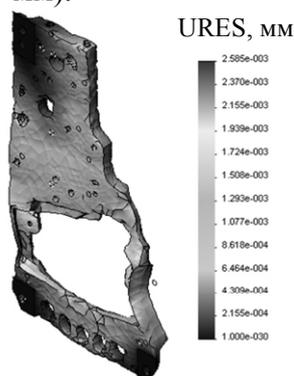


Рис. 5

Данное конструктивное решение и термообработка изделия для снятия остаточных напряжений являются необходимыми условиями производства детали.

Результаты численного эксперимента подтверждаются натурными испытаниями в термокамере с фиксацией фоторегистрирующим устройством. На рис. 6, а представлена картина информационного поля измерительного канала в базовом варианте конструкции детали при температуре $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Изображение дает представление о характере искажений поля оптических элементов при возникновении температурных деформаций. На рис. 6, б показано информационное поле светоформирующих излучателей измерительного канала в новом варианте конструкторского решения.

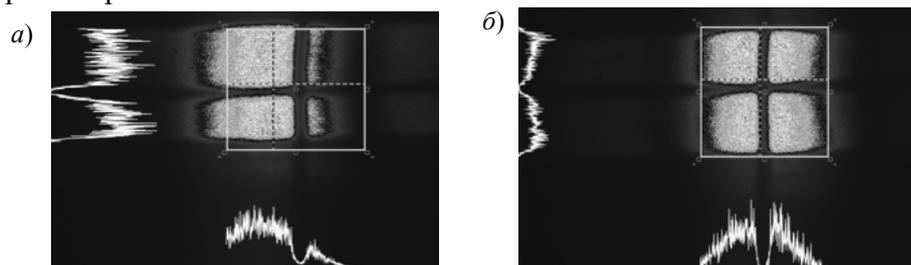


Рис. 6

В процесс испытаний включались только деталь „плита опорная“ и светоизлучающие элементы. Результаты натурального эксперимента свидетельствуют о возможности изменения геометрических размеров детали с одновременным сохранением проектной погрешности измерителя. Увеличение температуры к предельному значению $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ дает аналогичные результаты.

Сравнение результатов, полученных в ходе эксперимента и при натуральных испытаниях, показывает, что одним из факторов смещения оптической оси являются тепловые деформации в опорном основании. Проблема искажения информационного поля решается как за счет коррекции геометрической формы, так и подбора материала изделия „плита опорная“ [16].

Концепция технологии непрерывной поддержки проекта [17] обеспечивает быструю модификацию конструкции с помощью функций управления. Последняя операция выполняется программой „ЛОЦМАН:PLM“, в которой формируется объектная модель изделия с соответствующими деталями и технологическими процессами. Скриншот, отображающий дерево компонентов оптоэлектронного блока и вторичное представление сборки в среде „ЛОЦМАН:PLM“ (рис. 7), демонстрирует результаты конструкторского этапа по созданию модуля оптоэлектронного прибора и управлению данными и процессами.

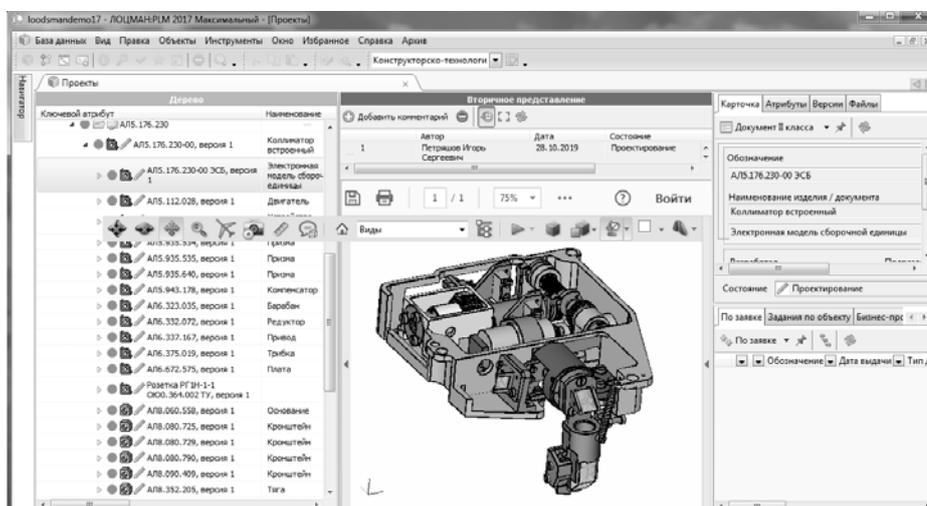


Рис. 7

Рынок программного обеспечения предоставляет платформы САПР с различными специализациями и прикладной ориентацией. Владение инструментами САПР — необходимая составляющая компетенций специалистов разных направлений. Цифровой формат качественно меняет содержание баз данных при подготовке производства и определяет новые тенденции перехода на наукоемкие виды продукции. Цифровая подготовка производства позволяет увеличить скорость проектирования и повысить качество выполненных проектов. Доработка типовых и создание новых проектов упорядочивают процесс проектирования и требуют хранения технической документации и технологий в электронной форме.

В целом инновационные принципы организации работы на базе цифровых технологий служат ступенью дальнейших модернизаций, а также являются средством объединения в единое информационное поле всех звеньев цепи в производстве — от заказчика до потребителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт национальной программы „Цифровая экономика Российской Федерации“: Утв. решением президиума Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам 24 декабря 2018 года.
2. Питерс Д. Дигитализация преобразует экономику и повышает эффективность инвестиционных проектов // САПР и графика. 2016. № 1. С. 4—7.

3. 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.
4. 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>, 6.11. 2019.
5. 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.
6. Зильбербург Л. И., Молочник В. И., Яблочков Е. И. Информационные технологии в проектировании и производстве. СПб: Политехника, 2008. 304 с.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Быков А., Карабчиев К. Задачи и инструменты валидации моделей для конструкторско-технологической подготовки производства // САПР и графика. 2016. № 1. С. 18—19.
11. Булавин В. Ф., Яхричев В. В. Цифровые технологии в малом бизнесе машиностроительной отрасли // САПР и графика. 2018. № 6. С. 52—55.
12. 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.
13. 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.
14. Алямовский А. А. Инженерные расчеты в Solid Works Simulation. М.: ДМК-Пресс, 2010. 464 с.
15. Булавин В. Ф., Булавина Т. Г., Яхричев В. В. Инженерный анализ и новые технологии в методе конечных элементов // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2018. № 2(328). С. 109—120.
16. Карачев А. Ю., Булавин В. Ф. Обеспечение термической стабильности элементов оптических систем // Вестн. Вологод. гос. ун-та. Сер. Технические науки. 2018. № 1(1). С. 6—10.
17. 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. I. Конструкторский этап // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 3. С. 242—249.

DIGITAL FORMAT FOR PREPARATION OF INSTRUMENT PRODUCTION. PART I. DESIGN STAGE

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

Vologda State University, 160000, Vologda, Russia

E-mail: bulavin35@mail.ru

Introduction of digital platforms in the design phase of production preparation at medium- and small instrument-building enterprises is discussed. The process is implemented with the active use of CAD-based and CAE-based products. The tasks performed during design preparation are considered, including 3D design, engineering analysis of the structure, creation of electronic prototypes of product components as one of the factors of digital production. Results obtained in the design solution simulation concerning temperature deformations of measuring instrument units are presented.

Keywords: 3D model, digital image, manufacturing design, information environment

REFERENCES

1. *Pasport natsional'noy programmy "Tsifrovaya ekonomika Rossiyskoy Federatsii": utv. resheniyem prezidiuma Soveta pri Prezidente RF po strategicheskomu razvitiyu i natsional'nym proyektam 24 dekabrya 2018 goda* (Passport of the National Program "Digital Economy of the Russian Federation": approved by Decision of the Presidium of the Presidential Council. Strategic Development and National Project Federations, December 24, 2018). (in Russ.)
2. Piters D. *SAPR i grafika* (CAD and graphics), 2016, no. 1, pp. 4–7. (in Russ.)
3. 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.)
4. http://assets.fea.ru/uploads/fea/news/2017/11_november/17/tsifrovoe_proizvodstvo_112017.pdf. (in Russ.)
5. Schuh G., Anderl R., Gausemeier J., ten Hompel M., Wahlster W., eds., *Managing the Digital Transformation of Companies*, Munich: Herbert Utz, 2017.
6. 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.)
7. 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.)
8. 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.)
9. 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.)
10. Bykov A., Karabcheyev K. *SAPR i grafika* (CAD and graphics), 2016, no. 1, pp. 18–19. (in Russ.)
11. Bulavin V.F., Yakhrichiev V.V. *SAPR i grafika* (CAD and graphics), 2018, no. 6, pp. 52–55. (in Russ.)
12. 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.)
13. 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.)
14. Alyamovskiy A.A. *Inzhenernyye raschety v Solid Works Simulation* (Engineering Calculations in Solid Works Simulation), Moscow, 2010, 464 p. (in Russ.)
15. Bulavin V.F., Bulavina T.G., Yakhrichiev V.V. *Fundamental and Applied Problems of Technics and Technology*, 2018, no. 2(328), pp. 109–120. (in Russ.)
16. Karachev A.Yu., Bulavin V.F. *Bulletin of Vologda State University Series Technical Sciences*, 2018, no. 1(1), pp. 6–10. (in Russ.)
17. 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: yakhrichev@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 1. Design stage. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, N 3. P. 242—249 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-3-242-249