



УДК 67.02

DOI: 10.26731/1813-9108.2017.3(55).152-158

Подрез Никодим Владимирович,
техник УЦКТ, кафедры самолетостроения и эксплуатации
авиационной техники,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
e-mail: podrez-nikodim@mail.ru

Божеева Татьяна Владимировна,
старший преподаватель кафедры самолетостроения
и эксплуатации авиационной техники,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
e-mail: btv1974@mail.ru

N. V. Podrez,
Technician of the Computer Technologies Training Centre, the
Subdepartment of the Aircraft Engineering and Equipment Oper-
ation, Irkutsk National Research Technical University,
e-mail: podrez-nikodim@mail.ru

T. V. Bozheeva,
Asst. Prof., the Subdepartment of the Aircraft Engineering and
Equipment Operation,
Irkutsk National Research Technical University,
e-mail: btv1974@mail.ru

Информация о статье
Дата поступления: 10 июля 2017 г.

Article info
Received: July 10, 2017

ВЫБОР МЕТОДА УВЯЗКИ ИЗДЕЛИЙ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ В СОВРЕМЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

CHOOSING THE METHOD OF AIRCRAFT EQUIPMENT LINKAGE IN MODERN PRODUCTION CONDITIONS

Аннотация. Статья посвящена выбору метода увязки изделий авиационной техники в современных производственных условиях. В данной статье рассматриваются 2 метода увязки, а именно плазово-шаблонный метод и безплазовый метод. Представлены их схемы увязки, преимущества и недостатки данных методов, расчет точности каждого метода, а также рациональный выбор использования плазово-шаблонного метода при сборке самолета. У каждого метода увязки, включая плазовые, есть своя область эффективного использования, где они обеспечивают наибольшую точность увязки с наименьшими затратами труда, материалов и позволяют получить наиболее высокий уровень взаимозаменяемости. Именно поэтому плазово-шаблонный метод увязки до сих пор актуален, несмотря на тенденцию развития цифрового производства как при конструктивно-технологической подготовке производства, так и в современных производственных цехах, где применяются станки с числовым программным управлением. Данный метод в серийном производстве дает низкую себестоимость изготавливаемых изделий за счет универсального оборудования (в отличие от станков с ЧПУ).

Ключевые слова: авиационная техника, плазово-шаблонный метод, безплазовый метод, увязка, расчет точности, геометрическая точность, шаблоны.

Abstract. The article focuses on to the selection of the method of the aircraft equipment linkage in modern production conditions. Two methods of linking are considered in the article: a mould loft template method and a mouldless method. Their linkage schemes, advantages and disadvantages are presented, including the accuracy calculations of each method and the rational choice of the use of the mould loft template method for aircraft assembly. Each linkage method, including the mould loft one, has its own area of effective use where they provide the greatest linkage accuracy with the lowest cost of labor, materials and make it possible to obtain the highest interchangeability level. That's why the mould loft template method of linkage is still relevant, despite the trend of digital production development, as in design and technological preparation of production, as in modern manufacturing plants which use machines with numerical control. In mass production, this method provides low cost of manufactured products at the expense of the universal equipment (unlike the CNC machines).

Keywords: aircraft equipment, mould loft template method, mouldless method, linkage, accuracy calculation, geometric accuracy, templates.

Выбор метода увязки является важным этапом сборки самолета. От увязки зависит множество факторов в производстве. Следует оптимально подобрать такой метод увязки, чтобы изготовление изделия было рационально с точки зрения себестоимости. Увязка - процесс согласования геометрических параметров технологической оснастки, деталей и СЕ планера [1-16]. В данной статье в качестве примера рассматривается деталь, которая является элементом поперечного силового набора фюзеляжа самолета и придает самолету необходимую геометрию.

Для данной детали будем сравнивать 2 метода увязки - плазово-шаблонный и безплазовый.

На рис. 1 и 2 представлены две схемы увяз-

ки данных методов для типовой детали конструкции планера самолета - диафрагмы.

Преимущества плазово-шаблонного метода увязки заключаются в низкой себестоимости изготавливаемой детали, универсальности при изготовлении (например, можно использовать ШФ на обычном раскройном станке) и др. Недостатками являются большая трудоемкость и материалоемкость при изготовлении шаблонов; высокая стоимость комплекта плазово-шаблонной оснастки; невысокая точность и сложность контроля шаблонов; невозможность дублирования плазов с высокой точностью вследствие ручного прочерчивания, хранение шаблонов (наличие специальных складов) и др.



Преимуществами бесплазового метода являются: наглядное представление сборочной единицы в 3D, более высокая точность изготовления, простота изготовления изделия со сложной геометрией. Бесплазовый метод позволяет:

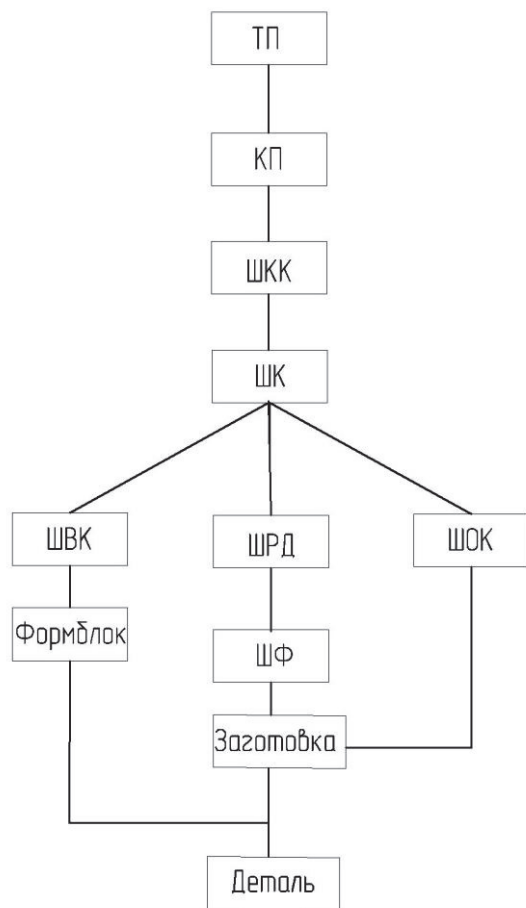


Рис. 1. Схема плазово-шаблонного метода увязки

- сократить почти в 10 раз цикл и трудоемкость изготовления элементов некоторых видов оснастки, связанных с обводами;
- избежать изготовления при запуске изделия большого числа специальных средств;
- создать в сфере подготовки производства систему расчета и записи управляющих программ для всего оборудования с ЧПУ.

Несмотря на развитие бесплазового метода, он не может полностью заменить все другие методы увязки, применяемые в производстве летательного аппарата (ЛА).

Применение шаблонов в современном производстве основывается на технико-экономических расчетах, в частности, на себестоимости получаемого при таком методе готового изделия. С точки зрения автоматизации технологической подготовки производства, изготовление

плазов и шаблонов дает отрицательное влияние в связи с дороговизной изготовления [17-26]. С развитием компьютерного моделирования некоторые предприятия полностью избавились от плазов, что дает сокращение сроков конструкторско-технологической подготовки производства.

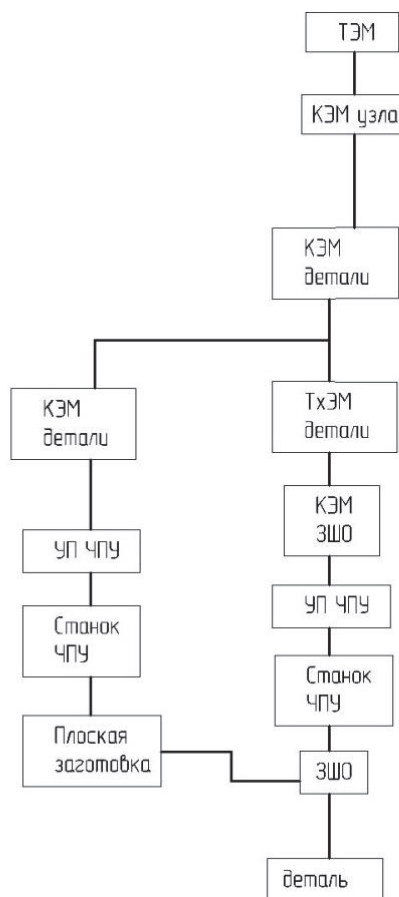


Рис. 2. Схема бесплазового метода увязки

В качестве основного показателя достижения качества в авиастроении принимается геометрическая точность получаемого узла, агрегата или самолета в целом. Геометрическая точность – степень отклонения геометрических параметров деталей и СЕ планера, элементов технологической оснастки от номинальных значений (проектных характеристик) [16]. Рассмотрим типовую схему самолета, изображенную на рис. 3 [16].

Самолет делится на 2 зоны по допускаемым отклонениям от теоретических обводов. В зависимости от зоны при сборке узлов, выходящих на аэродинамический обод, отклонения не должны превышать значений, записанных в табл. 1. Произведем расчет точности по двум методам:

- метод максимума-минимума;
- теоретико-вероятностный метод.

Расчет теоретико-вероятностного метода рассчитывается по следующему алгоритму [27-36].



Расчет середины поля допуска замыкающего звена относительно номинального размера

$$\Delta_{\Sigma} = \sum A_i \cdot (\Delta_i + \alpha_i \cdot \delta_i),$$

где A_i – коэффициент передачи погрешности;

Δ_i – центр группирования погрешностей на i -м этапе;

α_i – коэффициент асимметрии;

δ_i – половина поля допуска.

Половина поля погрешности составляющего звена на i -м этапе

$$\delta_i = \frac{BO - HO}{2}$$

где BO – значение верхнего отклонения;

HO – значение нижнего отклонения.

Координата середины поля погрешности составляющего звена цепи

$$\Delta_i = \frac{BO + HO}{2}$$

Среднеквадратическое отклонение:

$$\delta_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum A_i^2 \cdot K_i^2 \cdot \delta_i^2}$$

где K_i – коэффициент рассеивания.

Окончательно погрешность замыкающего звена размерной цепи вычисляется следующим образом:

$$\begin{aligned} BO_{\Sigma} &= \Delta_{\Sigma} + \delta_{\Sigma}, \\ HO_{\Sigma} &= \Delta_{\Sigma} - \delta_{\Sigma}, \\ \delta_L &= \frac{BO}{HO}. \end{aligned}$$

Расчет максимума-минимума производится по следующей формуле:

$$\delta_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \delta_i A_i,$$

где A_i – коэффициент передачи, учитывающий

влияние погрешностей, входящих звеньев на результирующее отклонение замыкающего звена;

$i = 1 \dots m$ – количество этапов перенесения (копирования) размеров.

Результаты расчетов занесем в табл. 2 и 3. Исходя из расчетов на точность двух методов увязки, получили следующие результаты:

1) теоретико-вероятностный метод расчета точности:

– плазово-шаблонный метод $\delta_L = \begin{matrix} 1,4\text{мм} \\ 0,3\text{мм} \end{matrix}$;

– безплазовый метод $\delta_L = \begin{matrix} 1,004\text{мм} \\ -0,3\text{мм} \end{matrix}$;

2) метод максимума-минимума расчета точности:

– плазово-шаблонный метод $\delta_{\Sigma} = 1$ мм;

– безплазовый метод $\delta_{\Sigma} = 0,85$ мм.

Из полученных данных видим, что плазово-шаблонный метод увязки следует использовать там, где погрешность сборки узлов и агрегатов меньше ± 2 мм, а безплазовый метод следует применять там, где погрешность сборки должна быть не более ± 1 мм.

Таким образом, можно сделать вывод, что у каждого метода увязки, включая и плазовые, есть своя область эффективного использования, где они обеспечивают наибольшую точность увязки с наименьшими затратами труда, материалов и позволяют получить наиболее высокий уровень взаимозаменяемости. Именно поэтому плазово-шаблонный метод увязки до сих пор актуален, несмотря на тенденцию развития цифрового производства как при конструктивно-технологической подготовке производства, так и в современных производственных цехах, где применяются станки с числовым программным управлением. Данный метод в серийном производстве дает низкую себестоимость изготавливаемых изделий за счет универсального оборудования (в отличие от станков с ЧПУ).

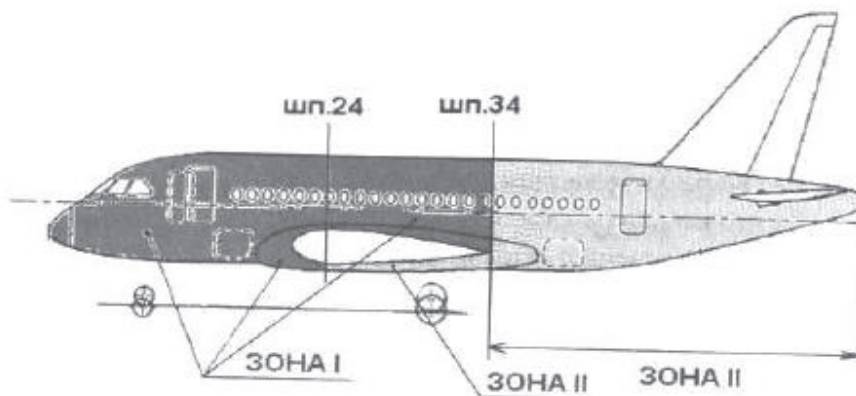


Рис.3. Деление самолета на зоны поверхности

Таблица 1

Отклонения поверхностей самолета

Агрегат	I зона	II зона
Фюзеляж	±0,2 мм	±2 мм
Крыло	±0,1 мм	±1 мм
Оперение	±0,1 мм	±1 мм
Пилон и мотогондола	±0,2 мм	±2 мм

Таблица 2

Расчет точности по плазово-шаблонному методу увязки

Этапы переноса размеров	Точность выполнения размеров	α_i	A_i	K_i	δ_i	Δ_i	Δ_{Σ}	δ_{Σ}
Изготовление плаза	±0,1	0	1	1	0,1	0	0	0,01
Изготовление ШКК	±0,15	0,5	1	1,4	0,15	0	0,075	0,0441
Изготовление ШК	±0,1	0,5	1	1,4	0,1	0	0,05	0,0196
Изготовление ШОК	±0,1	0,5	1	1,4	0,1	0	0,05	0,0196
Изготовление ШРД	±0,1	0,5	1	1,4	0,1	0	0,05	0,0196
Изготовление ШФ	±0,1	0,5	1	1,4	0,1	0	0,05	0,0196
Изготовление заготовки	+0,3	0,2	1	1,4	0,15	0,15	0,18	0,0441
Изготовление ШВК	±0,1	0,5	1	1,4	0,1	0	0,05	0,0196
Изготовление формблока	±0,1	0,5	1	1,4	0,1	0	0,05	0,0196
Изготовление детали	+0,5	0,2	1	1,4	0,25	0,25	0,3	0,09

Таблица 3

Расчет точности по безплазовому методу увязки

Этапы переноса размеров	Точность выполнения размеров	α_i	A_i	K_i	δ_i	Δ_i	Δ_{Σ}	δ_{Σ}
Создание ТЭМ	+0,01	0	1	1	0,01	0	0	0,0001
Создание КЭМ узла	+0,01	0	1	1	0,01	0	0	0,0001
Создание КЭМ детали	+0,01	0	1	1	0,01	0	0	0,0001
Создание КЭМ заготовки	+0,01	0	1	1	0,01	0	0	0,0001
Создание УП ЧПУ заготовки	+0,01	0	1	1	0,01	0	0	0,0001
Считывание информации с программоносителя	+0,02	0,5	1	1	0,01	0,01	0,015	0,0001
Изготовление заготовки с помощью ЧПУ	+0,3	0,2	1	1,4	0,15	0,15	0,18	0,0441
Создание ТхЭМ детали	+0,01	0	1	1	0,01	0	0	0,0001
Создание КЭМ ЗШО	+0,01	0	1	1	0,01	0	0	0,0001
Создание УП ЧПУ ЗШО	+0,01	0	1	1	0,01	0	0	0,0001
Считывание информации с программоносителя	+0,02	0,5	1	1	0,01	0,01	0,015	0,0001
Изготовление ЗШО	±0,1	0,5	1	1	0,1	0	0,05	0,01
Изготовление детали на ЗШО	±0,5	0,2	1	1,2	0,5	0	0,1	0,36



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vertical dynamics of the vehicle taking into account roughness gauge / V.E. Gozbenko et al. // Proceedings of the XV International Academic Congress "Fundamental and Applied Studies in the Modern World" (United Kingdom, Oxford, 06-08 September 2016). Volume XV. "Oxford University Press", 2016. Pp. 373–383.
2. Definition of the main coordinates of the car with two-level spring suspension / V.E. Gozbenko et al. // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER), 2016. Vol. 11. No 20. Pp. 10367–10373.
3. Simulation of the vibration of the carriage asymmetric parameters in MATHCAD / V.E. Gozbenko et al. // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER), 2016. Vol. 11. No 23. Pp. 11132–11136.
4. Гибкое автоматическое производство / под ред. С.А. Майорова. М. : Машиностроение, 1985.
5. Гозбенко В.Е., Каргапольцев С.К., Карлина А.И. Главные координаты в решении задач вертикальной динамики транспортного средства // Системы. Методы. Технологии. 2016. №3 (31). С. 58–62.
6. ГОСТ 2.102-2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов. Введ. 2014–06–01. М., 2014. 14 с.
7. Григорьев В.П., Ганиханов Ш.Ф. Приспособление для сборки узлов и агрегатов самолетов и вертолетов : учеб. пособие для авиац. вузов. М. : Машиностроение, 1977. 140 с.
8. Елисеев С.В. Математические модели и анализ динамических свойств механических систем / С.В. Елисеев и др. Деп. в ВИНТИ 08.12.2009, № 782-В2009.
9. Каргапольцев С.К. Остаточные деформации при фрезеровании маложестких деталей с подкреплением / науч. ред. А.И. Промптов. Иркутск, 1999.
10. Пат. 2141390 Рос. Федерация. Способ правки тонкостенных оболочек / С.К. Каргапольцев, М.В. Некрытый ; заявитель и патентообладатель Вост.-Сибир. ин-т МВД РФ. № 98110229/02 ; заявл. 26.05.1998; опубл. 20.11.1999.
11. Лаврентьева М.В. Распознавание электронных моделей для анализа конструктивно-технологических параметров изделия // Актуальные вопросы развития науки : сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Уфа : РИЦ БашГУ, 2014. С. 89–91.
12. Чьен Х.В., Лаврентьева М.В. Определение состава базирующих элементов сборочного приспособления при сборке авиационного изделия // Вестник ИрГТУ. 2013. № 11 (82). С. 74–80.
13. Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г., Каргапольцев С.К. Высокочастотная обработка полимерных материалов. Организация систем управления. Иркутск : Изд-во ИрГУПС, 2013.
14. Основы автоматизации машиностроительного производства / под ред. Ю.М. Соломенцева. М. : Высш. шк., 1999. 312 с.
15. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. М. : Машиностроение, 1965.
16. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / А.И. Пекарш и др. М. : Аграф-пресс, 2006. 304 с.
17. Технология самолетостроения : учебник для авиац. вузов / под ред. А. Л. Абибова. М. : Машиностроение, 1982. 551 с.
18. Филиппенко Н.Г., Каргапольцев С.К., Лившиц А.В. Повышение эффективности высокочастотной обработки полимерных материалов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2011. № 4. С. 50–54.
19. Пат. 56858 Рос. Федерация. Устройство для управления состоянием объекта защиты / А.П. Хоменко, С.В. Елисеев, В.Е. Гозбенко, Н.В. Банина ; заявитель и патентообладатель Иркут. гос. ун-т путей сообщ. ; заявл. 21.04.2006 ; опубл. 27.09.2006.
20. Яценко О.В., Карлина Ю.И., Карлина А.И. Автоматизация учета движения производственных ресурсов и объемно-календарное планирование // Авиамашиностроение и транспорт Сибири : сб. ст. IX Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск : Изд-во ИрНТУ, 2017. С. 287–291.
21. Description of the heat exchanger unit construction, created in IRNITU / V. Kondrat'ev et al. // International Journal of Applied Engineering Research. 2016. Т. 11. № 19. С. 9979–9983.
22. Карлина А.И., Гозбенко В.Е. Моделирование объектов машиностроения для снижения влияния внешних вибрационных воздействий // Вестник ИрГТУ. 2016. Т. 20. № 10. С. 35–47.
23. Карлина А.И., Каргапольцев С.К., Гозбенко В.Е. Приведение обобщенных сил в математических моделях транспортных систем // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 3 (51). С. 175–179.
24. Гозбенко В.Е., Каргапольцев С.К., Карлина А.И. Приведение динамической системы с тремя степенями свободы к главным координатам // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 3 (51). С. 35–38.
25. Гозбенко В.Е., Карлина А.И. Математическая модель вагона с двумя степенями свободы, находящегося под действием периодической вынуждающей силы // Известия Транссиба. 2016. № 3 (27). С. 23–31.
26. Штайгер М.Г. Проблемы качества компонентов путевого комплекса // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 12. С. 6–9.
27. Штайгер М.Г. Инспекционная деятельность ЦТА в путевом комплексе // Путь и путевое хозяйство. 2011. № 3. С. 14–17.
28. Савченко А.А., Каимов Е.В., Карлина А.И. Влияние структуры внешних воздействий на динамические свойства механических колебательных систем // Кулагинские чтения : материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. Чита, 2011. С. 203–205.
29. О моделировании механических систем с неударяющими связями / О.В. Чуринова и др. // Информационные и математические технологии в науке и управлении : материалы конф. Иркутск, 2012. С. 182–186.
30. Logical-mathematical modeling of complex subject areas based on the logics vector semantics / L.V. Arshinsky et al. // Far East Journal of Mathematical Sciences. 2017. Т. 101. № 4. С. 813–823.
31. Карлина Ю.И., Говорков А.С. Конструктивно-технологические характеристики номенклатуры выпускаемых изделий при автоматизации процессов подготовки производства и выбор базовой САД-системы предприятия для создания цифрового макета изделия // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 3 (51). С. 49–55.
32. Карлина Ю.И., Яценко О.В. Исследование конструктивно-технологических характеристик номенклатуры выпускаемых изделий при автоматизации процессов подготовки производства // Авиамашиностроение и транспорт Сибири : сб. ст. VII Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск, 2016. С. 53–57.



33. Карлина Ю.И., Яценко О.В. Выбор базовой САД-системы предприятия для создания цифрового макета изделия // В сборнике: Авиамашиностроение и транспорт Сибири : сб. ст. VII Всерос. науч.-практ. конф. Иркутск, 2016. С. 48–52.
34. Карлина Ю.И., Яценко О.В., Шабалин А.В. Разработка мероприятий по внедрению компонентов информационной системы конструкторско-технологической подготовки производства // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 4 (52). С. 74–78.
35. Govorkov A.S. Technique of designing of the product of aviation technics with maintenance of the set criteria of adaptability to manufacture // Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies. 2011. Т. 5. № 3. С. 156–161.
36. Говорков А.С., Ахатов Р.Х. Представление данных об объектах производственной среды при разработке технологических процессов сборки // Решетневские чтения. 2009. Т. 2. № 13. С. 411–412.
37. Гозбенко В.Е. Методы управления динамикой механических систем на основе вибрационных полей и инерционных связей : дис. ... д-ра техн. наук. Иркутск, 2004. 365 с.

REFERENCES

1. Gozbenko V.E. et al. Vertical dynamics of the vehicle taking into account roughness gauge. *Proceedings of the XV International Academic Congress "Fundamental and Applied Studies in the Modern World" (United Kingdom, Oxford, 06-08 September 2016)*. Volume XV. "Oxford University Press", 2016, pp. 373–383.
2. Gozbenko V.E. et al. Definition of the main coordinates of the car with two-level spring suspension. *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, Volume 11, Number 20 (2016), pp. 10367–10373.
3. Gozbenko V.E. et al. Simulation of the vibration of the carriage asym-metric parameters in MATHCAD. *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, Volume 11, Number 23 (2016), pp. 11132–11136.
4. Maierov S.A. (ed.). *Gibkoe avtomaticheskoe proizvodstvo [Flexible automatic production]*. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1985.
5. Gozbenko V.E., Kargapol'tsev S.K., Karlina A.I. Glavnnye koordinaty v reshenii zadach vertikal'noi dinamiki transportnogo sredstva [The main coordinates in solving problems of the vehicle's vertical dynamics]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies]*, No.3 (31), 2016, pp. 58–62.
6. GOST 2.102-2013 – Edinaya sistema konstruktorskoj dokumentatsii. Vidy i komplektnost' konstruktorskikh dokumentov [Unified system of design documentation. Types and completeness of design documents]. Introd. 2014–06–01. Moscow: 2014, 14 p.
7. Grigor'ev V.P., Ganikhanov Sh.F. Prispособlenie lya sborki uzlov i agregatov samoletov i vertoletov. Uchebnoe posobie dlya aviatsionnykh vuzov [Adaptation for assembly of assemblies and assemblies of aircraft and helicopters. Textbook for aviation universities]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1977, 140 p.
8. Eliseev S.V. et al. Matematicheskie modeli i analiz dinamicheskikh svoystv mekhanicheskikh system [Mathematical models and analysis of the dynamic properties of mechanical systems]. Deponirovannaya rukopis' No. 782-V2009 08.12.2009 [deposited manuscript No. 782-B2009 08.12.2009].
9. Kargapol'tsev S.K. Ostatochnye deformatsii pri frezerovanii malozhestkikh detalei s podkrepleniem [Residual deformations during milling of pedestal parts with reinforcement]. In Promptov A.I. (sc. ed.). Irkutsk, 1999.
10. Kargapol'tsev S.K., Nekryti M.V. *Sposob pravki tonkostennykh obolochek [Method for straightening thin-walled casings]*. Patent RF no. 2141390 ; patent applicant and holder is East-Siberian Institute of MIA RF no. 98110229/02 ; applied May 26, 1998; published Nov. 20, 1999.
11. Lavrent'eva M.V. Raspoznavanie elektronnykh modelei dlya analiza konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov izdeliya [Recognition of electronic models for the analysis of design and technological parameters of the product]. *Aktual'nye voprosy razvitiya nauki : sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Current issues of science development: collection of articles of the International Scientific and Practical Conference]*. Ufa: BashSU EPC Publ., 2014, pp. 89–91.
12. Ch'en Kh.V., Lavrent'eva M.V. Opredelenie sostava baziruyushchikh elementov sborochnogo prispособleniya pri sborke aviatsionnogo izdeliya [Determining the base elements of the assembly device for the assembly of an aviation product]. *Vestnik IrGTU [Bulletin of Irkutsk State Technical University]*, 2013, No. 11 (82), pp. 74–80.
13. Livshits A.V., Filippenko N.G., Kargapol'tsev S.K. Vysokochastotnaya obrabotka polimernykh materialov. Organizatsiya sistem upravleniya [High-frequency processing of polymeric materials. Organization of management systems]. Irkutsk: ISTU Publ., 2013.
14. Solomentsev Yu.M. (ed.). *Osnovy avtomatizatsii mashinostroitel'nogo proizvodstva [Basics of automation of machine-building production]*. Moscow: Vyssh. shk. Publ., 1999, 312 p.
15. Romanovskii V.P. *Spravochnik po kholodnoi shtampovke [Reference book on cold stamping]*. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1965.
16. Pekarsh A.I. et al. *Sovremennyye tekhnologii agregatno-sborochnogo proizvodstva samoletov [Modern technologies of aggregate assembly production of aircraft]*. Moscow: Agraf-press Publ., 2006, 304 p.
17. Abibov A. L. (ed.). *Tekhnologiya samoletostroeniya : uchebnyk dlya aviats. vuzov [Technology of aircraft construction: A textbook for aviation universities]*. Moscow: Mashinostroenie, 1982, 551 p.
18. Filippenko N.G., Kargapol'tsev S.K., Livshits A.V. Povyshenie effektivnosti vysokochastotnoi obrabotki polimernykh materialov [Increase of efficiency of high-frequency processing of polymeric materials]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2011, No. 4, pp. 50–54.
19. Khomenko A.P., Eliseev S.V., Gozbenko V.E., Banina N.V. *Ustroistvo dlya upravleniya sostoyaniem ob'ekta zashchity [Device for controlling the state of the object of protection]*. Patent RF no. 56858.; applicant and patent holder is Irkut. state transport un-ty; applied Apr. 21, 2006; published Sept. 27, 2006.
20. Yatsenko O.V., Karlina Yu.I., Karlina A.I. Avtomatizatsiya ucheta dvizheniya proizvodstvennykh resursov i ob'emno-kalendarnoe planirovanie [Automation of accounting for the flow of production resources and volume scheduling]. *Aviamashinostroenie i transport Sibiri : sb. st. IX Vseros. nauch.-prakt. konf. [Aviation machine building and transport of Siberia. Collection of articles of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference]*. Irkutsk: INRTU Publ, 2017, pp. 287–291.
21. V. Kondrat'ev et al. Description of the heat exchanger unit construction, created in IRNITU. *International Journal of Applied*



Engineering Research, 2016, Vol. 11, No. 19, pp. 9979–9983.

22. Karlina A.I., Gozbenko V.E. Modelirovanie ob"ektov mashinostroeniya dlya snizheniya vliyaniya vneshnikh vibratsionnykh vozdeystvii [Modeling of machine-building objects to reduce the influence of external vibration effects]. *Vestnik IrGTU [Bulletin of Irkutsk State Technical University]*, 2016, Vol. 20, No. 10, pp. 35–47.

23. Karlina A.I., Kargapol'tsev S.K., Gozbenko V.E. Privedenie obobshchennykh sil v matematicheskikh modelyakh transportnykh sistem [Reduction of generalized forces in mathematical models of transport systems]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2016, No. 3 (51), pp. 175–179.

24. Gozbenko V.E., Kargapol'tsev S.K., Karlina A.I. Privedenie dinamicheskoi sistemy s tremya stepenyami svobody k glavnym koordinatam [Reduction of the dynamic system with three degrees of freedom to the main coordinates]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2016, No. 3 (51), p. 35–38.

25. Gozbenko V.E., Karlina A.I. Matematicheskaya model' vagona s dvumya stepenyami svobody, nakhodyashchegosya pod deystviem periodicheskoi vyzhdayushchei sily [A mathematical model of a car with two degrees of freedom, under the influence of a periodic force of compulsion]. *Izvestiya Transsiba [Journal of Transsib Railway Studies]*, 2016, No. 3 (27), pp. 23–31.

26. Shtaiger M.G. Problemy kachestva komponentov putevogo kompleksa [Quality problems of the track complex components]. *Put' i putevoe khozyaistvo [Railway Track and Facilities]*, 2011, No. 12, pp. 6–9.

27. Shtaiger M.G. Inspektsionnaya deyatelnost' TsTA v putevom komplekse [Inspection activity of the CTA in the track complex]. *Put' i putevoe khozyaistvo [Railway Track and Facilities]*, 2011, No. 3, pp. 14–17.

28. Savchenko A.A., Kaimov E.V., Karlina A.I. Vliyanie struktury vneshnikh vozdeystvii na dinamicheskie svoystva mekhanicheskikh kolebatel'nykh sistem [Influence of the structure of external influences on the dynamic properties of mechanical oscillatory systems]. *Kulaginskie chteniya : materialy XI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. [Kulagin readings. Materials of the XI International Scientific and Practical Conference]*. Chita, 2011, pp. 203–205.

29. Churina O.V. et al. O modelirovanii mekhanicheskikh sistem s neuderzhivayushchimi svyazyami [On the modeling of mechanical systems with unilateral constraints]. *Informatsionnye i matematicheskie tekhnologii v nauke i upravlenii: materialy konf. [Information and Mathematical Technologies in Science and Management: conference materials]*. Irkutsk, 2012, pp. 182–186.

30. Arshinsky L.V. et al. Logical-mathematical modeling of complex subject areas based on the logics vector semantics. *Far East Journal of Mathematical Sciences*, 2017, Vol. 101, No. 4, pp. 813–823.

31. Karlina Yu.I., Govorkov A.S. Konstruktivno-tekhnologicheskie kharakteristiki nomenklatury vypuskaemykh izdelii pri avtomatizatsii protsessov podgotovki proizvodstva i vybor bazovoi CAD-sistemy predpriyatiya dlya sozdaniya tsifrovogo maketa izdeliya [Structural and technological characteristics of the nomenclature of manufactured products during the automation of production preparation processes and selection of the basic CAD-system of the enterprise to create a digital model of the product]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2016, No. 3 (51), pp. 49–55.

32. Karlina Yu.I., Yatsenko O.V. Issledovanie konstruktivno-tekhnologicheskikh kharakteristik nomenklatury vypuskaemykh izdelii pri avtomatizatsii protsessov podgotovki proizvodstva [Research of constructive and technological characteristics of the nomenclature of manufactured products in the process of automation of production preparation]. *Aviamashinostroenie i transport Sibiri : sb. st. VII Vseros. nauch.-prakt. konf. [Aviamashinostroenie and transport of Siberia: collection of articles of the VII All-Russian scientific and practical conference]*. Irkutsk, 2016, pp. 53–57.

33. Karlina Yu.I., Yatsenko O.V. Vybor bazovoi CAD-sistemy predpriyatiya dlya sozdaniya tsifrovogo maketa izdeliya [Selection of the basic CAD-system of the enterprise to create a digital model of a product]. *V sbornike: Aviamashinostroenie i transport Sibiri : sb. st. VII Vseros. nauch.-prakt. konf. [In the collection: Aviamashinostroenie and transport of Siberia Collection of articles of the VII All-Russian scientific and practical conference]*. Irkutsk, 2016, pp. 48–52.

34. Karlina Yu.I., Yatsenko O.V., Shabalin A.V. Razrabotka meropriyatiy po vnedreniyu komponentov informatsionnoi sistemy konstruktorsko-tekhnologicheskoi podgotovki proizvodstva [Development of measures for the introduction of components of the information system for design and technological preparation of production]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2016, No. 4 (52), pp. 74–78.

35. Govorkov A.S. Technique of designing of the product of aviation technics with maintenance of the set criteria of adaptability to manufacture. *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods & Technologies*, 2011, Vol. 5, No. 3, pp. 156–161.

36. Govorkov A.S., Akhatov R.Kh. Predstavlenie dannykh ob ob"ektakh proizvodstvennoi sredy pri razrabotke tekhnologicheskikh protsessov sborki [Representation of data on objects of the production environment during the development of technological processes of assembly]. *Reshetnevskie chteniya [Reshetnev readings]*, 2009, Vol. 2, No. 13, pp. 411–412.

37. Gozbenko V.E. Metody upravleniya dinamikoi mekhanicheskikh sistem na osnove vibratsionnykh polei i inertsiionnykh svyazey : dis. ... d-ra tekhn. nauk [Methods for controlling the dynamics of mechanical systems based on vibrational fields and inertial constraints. Dr. Sci. (Engineering) thesis] Irkutsk, 2004, 365 p.