

УДК 629.735.33.002.72:658.512:621.9.06-529

## МЕТОД ПОДДЕРЖКИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЦЕССА СБОРКИ ПАНЕЛЕЙ И УЗЛОВ САМОЛЕТОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

В. Н. Павленко<sup>1</sup>, В. В. Воронько<sup>2</sup>, О. К. Погудина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>pavlenko\_vitaliy@mail.ru, <sup>2</sup>vitaliy.voronko@gmail.com, <sup>3</sup>ok\_gabchak@ukr.net

Национальный аэрокосмический университет «Харьковский авиационный институт» (ХАИ)

*Поступила в редакцию 28.05.2013*

**Аннотация.** Проведен структурный анализ состава гибкого производственного модуля сборки плоских узлов. Сформированы технологические операции сборки для основных видов плоских панелей и узлов. Сформирован технологический алгоритм управления оборудованием гибкого производственного модуля. Разработан метод поддержки автоматизированного процесса сборки панелей и узлов самолетостроительного предприятия.

**Ключевые слова:** технологический процесс сборки; панели; узлы; авиастроительное производство; гибкий производственный модуль сборки плоских узлов.

В современном самолетостроении расчленение конструкции на секции и панели получило широкое распространение. Такой способ декомпозиции повышает трудоемкость механической обработки и сборки (за счет дополнительной обработки стыкуемых поверхностей и сборки стыка), но значительно облегчает условия труда сборщиков и монтажников, сокращает цикл сборки и потребные производственные площади. Учитывая, что в производстве агрегата и всего ЛА сборочные работы составляют значительную часть, следует оценивать вариант расчленения конструкции с учетом трудоемкости, производительности труда и масштаба производства. В работе [1] доказано, что технически возможно довести для каждого агрегата самолета коэффициент использования панелей до 90%. Следовательно, автоматизация сборочных процессов наименьших конструктивных элементов является важной задачей исследования. Несмотря на существующие работы [2–5], в которых рассмотрены различные подходы к автоматизации сборочных процессов наименьших конструктивных элементов, до настоящего момента не разработано методов и алгоритмов, позволяющих поддерживать автоматизированный процесс на этапах подготовки и производства ЛА.

Целью работы является сокращения сроков на подготовку сборочных операций самолетостроительного предприятия за счет программной настройки параметров обобщенного технологического алгоритма с учетом применения

гибкого автоматизированного оборудования с использованием разработанного метода поддержки процесса сборки панелей и узлов.

Метод поддержки автоматизированного процесса сборки панелей и узлов самолетостроительного предприятия включает в себя:

– структурный анализ состава рабочего места. Для каждого оборудования определяется множество выполнимых технологических операций (ТО);

– обобщенный технологический алгоритм и формирование баз данных ТО сборки для всех видов деталей, собираемых на рабочем месте.

Для формализации технологического алгоритма выбран язык регулярных схем алгоритмов (РСА) [6]. На основе технологического алгоритма и базы данных составляют технологические процессы (ТП) сборки выбранного вида детали. Детализируют ТО, рассматривая переходы, выполняемые оборудованием. Формируют технологический алгоритм в базе технологического оборудования, алгоритмы его работы. Проводят моделирование ТП. Дополняют базу данных ТО, вносят изменения в алгоритмы работы оборудования.

Наименьшие конструктивные элементы, такие как панели и узлы, состоят из деталей (базовой детали, каркасных элементов, деталей для передачи сосредоточенных усилий, компенсаторов) и крепежных элементов.

Рабочее место, на котором реализуется технологический алгоритм сборки панелей узлов, обладает свойством гибкости переналадки и в

его состав входят обрабатывающие центры, следовательно, можно говорить о гибком производственном модуле сборки плоских узлов (ГПМ СПУ). В ГПМ СПУ входит следующее оборудование (рис. 1):

- специализированные переналаживаемые приспособления с числовым программным управлением (СПП ЧПУ), обеспечивающие заданный аэродинамический контур по электронному шаблону;

- универсальный робот-манипулятор (УРМ), обеспечивающий установку (перенос из накопителя в зону установки) базовых сборочных частей (БСЧ) и основных деталей;

- инструментальные системы координатных измерений (СКИ) контролируют: положение захвата робота-манипулятора в зоне накопителя и точность установки деталей в процессе сборки в зоне СПП ЧПУ;

- автоматизированный накопитель (АН), который обеспечивает подачу и позиционирование БСЧ и основных деталей;

- роботизированное устройство, обеспечивающее соединение (РУС), с накопителем инструмента и оснастки,

- автоматизированное рабочее место (АРМ) ГПМ.

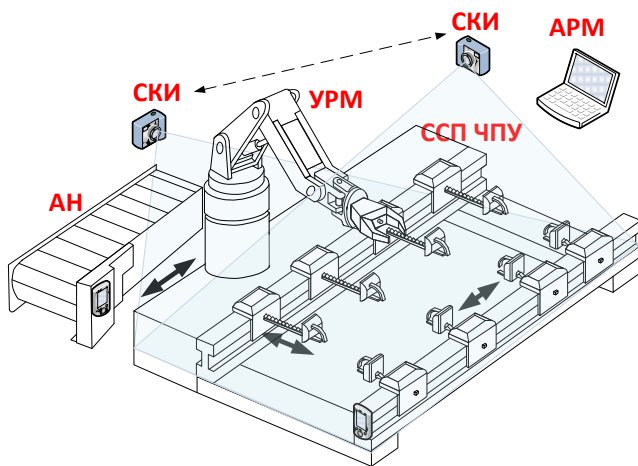


Рис. 1. Состав ГПМ СПУ

После определения множества выполнимых ТО на рассмотренном оборудовании составлен обобщенный технологический алгоритм:

- шаг 1. Установка фиксатора по электронному шаблону приспособления  $Y_1$  до установления всех имеющихся фиксаторов ( $\alpha_1$ );

- шаг 2. Универсальный робот берет базовую деталь из автоматизированного склада и устанавливает ее в приспособление  $Y_2$ . Базовой деталью, в зависимости от вида сборки, может

быть стенка или обшивка. В соответствии с особенностью их установки возможны ТО:  $Y_2 = \{Y_{21}, Y_{22}\}$ ;

- пока в списке каркасных элементов не рассмотрены все типы деталей  $\alpha_2$  и пока в списке каркасных элементов не установлены все детали текущего типа  $\alpha_3$  выполняют шаг 3:

- шаг 3. Процесс установки каркасных элементов:

- шаг 3.1. Универсальный робот берет каркасные элементы из автоматизированного склада и устанавливает их в приспособление согласно виртуальной электронной модели собираемого узла  $Y_3$ . Множество

$$Y_3 = \{Y_{31}, Y_{32}, Y_{33}, Y_{34}, Y_{35}\}$$

включает установку:  $Y_{31}$  – пояса,  $Y_{32}$  – стойки,  $Y_{33}$  – накладки,  $Y_{34}$  – стрингера,  $Y_{35}$  – уголка выштамповки;

- шаг 3.2. Фиксаторы приспособления закрываются  $Y_4$ ;

- шаг 3.3. Сверление отверстий в пакете «базовая деталь–каркасные элементы»  $Y_5$ ;

- шаг 3.4. Соединение пакета «базовая деталь–каркасные элементы» будет зависеть от вида крепежного элемента  $Y_6 = \{Y_{61}, Y_{62}\}$ , где  $Y_{61}$  – клепка,  $Y_{62}$  – выполнение болтового соединения;

- пока в списке деталей для передачи сосредоточенных усилий не рассмотрены все типы  $\alpha_4$ , и все детали определенного типа не установлены,  $\alpha_5$  выполняют шаги 4–6:

- шаг 4. Универсальный робот берет деталь для передачи сосредоточенных усилий из автоматизированного склада и устанавливает его согласно виртуальной электронной модели собираемого плоского узла и удерживает ее в данном положении.  $Y_7 = \{Y_{71}, Y_{72}\}$ . Рассмотрены ТО установки двух деталей: кронштейна  $Y_{71}$ , фитинга  $Y_{72}$ ;

- шаг 5. Сверление отверстий в пакете «деталь для передачи сосредоточенных усилий–каркасные элементы»  $Y_8$ ;

- шаг 6. Соединение пакета «деталь для передачи сосредоточенных усилий–каркасные элементы»  $Y_9 = \{Y_{91}, Y_{92}\}$ . Зависит от вида крепежного элемента:  $Y_{91}$  – клепка,  $Y_{92}$  – выполнение болтового соединения.

Обобщенный технологический алгоритм сборки узлов в языке РСА имеет вид

$$R = \alpha^1 \{Y_1\}_{\alpha 1} \bullet Y_2 \bullet \alpha^{2 \cup \alpha 3} \{Y_3 \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_6\}_{\alpha 2 \cup \alpha 3} \bullet \alpha^{4 \cup \alpha 5} \{Y_7 \bullet Y_8 \bullet Y_9\}_{\alpha 4 \cup \alpha 5} \quad (1)$$

Формирование технологического процесса сборки осуществляется последовательно, в зависимости от состава определенных параметров у рассматриваемых элементов деталей с учетом: типа изделия; точности сборки; методов базирования деталей в сборке и др. На основе полученного обобщенного технологического алгоритма ТП и после анализа параметров изделия происходит выбор возможных вариантов ТО для обеспечения точности сборки изделия из входящих в него деталей с помощью имеющихся в наличие средств технологического оснащения и соответствующего оборудования, а также типовых ТО сборки.

При формировании данных о сборочных ТП, составляется таблица технологических операций сборки панелей и узлов (табл.). Каждая строка содержит название вида сборки и возможную последовательность ее формирования, в соответствии с обобщенным алгоритмом (1). При этом учитывается наличие базирующих поверхностей (конструкторских и технологических) и другие факторы. Количество возможных последовательностей ТО ограничивается известными на данный момент технологиями сборки данного изделия, при необходимости с учетом структуры ГПМ СПУ. На основе технологического алгоритма (1) и таблицы строятся логико-алгоритмические модели ТП основных видов сборки:

$$\begin{aligned} \text{ТП}_1 &= \alpha^1 \{Y_1\}_{\alpha 1} \bullet Y_{21} \bullet \alpha^{21} \{Y_{31} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 21} \bullet \\ &\bullet \alpha^{22} \{Y_{32} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 22} \bullet \\ &\bullet \alpha^{23} \{Y_{33} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_6\}_{\alpha 23} \bullet \alpha^{51} \{Y_{71} \bullet Y_8 \bullet Y_{91}\}_{\alpha 51} \bullet \\ &\bullet \alpha^{52} \{Y_{72} \bullet Y_8 \bullet Y_{91}\}_{\alpha 52}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ТП}_2 &= \alpha^1 \{Y_1\}_{\alpha 1} \bullet Y_{21} \bullet \alpha^{21} \{Y_{31} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 21} \bullet \\ &\bullet \alpha^{22} \{Y_{32} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 22} \bullet \\ &\bullet \alpha^{51} \{Y_{71} \bullet Y_8 \bullet Y_{91}\}_{\alpha 51} \bullet \alpha^{52} \{Y_{72} \bullet Y_8 \bullet Y_{91}\}_{\alpha 52}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ТП}_3 &= \alpha^1 \{Y_1\}_{\alpha 1} \bullet Y_{21} \bullet \alpha^{21} \{Y_{31} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 21} \bullet \\ &\bullet \alpha^{22} \{Y_{32} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 22} \bullet \\ &\bullet \alpha^{41} \{Y_{71} \bullet Y_8 \bullet Y_{91}\}_{\alpha 41} \bullet \alpha^{42} \{Y_{72} \bullet Y_8 \bullet Y_{91}\}_{\alpha 42}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ТП}_4 &= \alpha^1 \{Y_1\}_{\alpha 1} \bullet Y_{22} \bullet \alpha^{21} \{Y_{31} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 21} \bullet \\ &\bullet \alpha^{22} \{Y_{34} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 22} \bullet \\ &\bullet \alpha^{51} \{Y_{71} \bullet Y_8 \bullet Y_{91}\}_{\alpha 51} \bullet \alpha^{52} \{Y_{72} \bullet Y_8 \bullet Y_{91}\}_{\alpha 52}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ТП}_5 &= \alpha^1 \{Y_1\}_{\alpha 1} \bullet Y_{21} \bullet \alpha^{21} \{Y_{31} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 21} \bullet \\ &\bullet \alpha^{22} \{Y_{32} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 22}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ТП}_6 &= \alpha^1 \{Y_1\}_{\alpha 1} \bullet Y_{21} \bullet \alpha^{21} \{Y_{31} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 21} \bullet \\ &\bullet \alpha^{22} \{Y_{34} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 22} \bullet \\ &\bullet \alpha^{23} \{Y_{33} \bullet Y_4 \bullet Y_5 \bullet Y_{61}\}_{\alpha 23} \bullet \alpha^{41} \{Y_{71} \bullet Y_8 \bullet Y_{91}\}_{\alpha 41}. \end{aligned}$$

Перед выполнением ТП должны быть согласованы координаты электронной модели рабочего места и фактических координат (рис. 2). После каждой ТО центральная программа технологического процесса (ЦТП) строит матрицу координат базовых точек и проводит пошаговый анализ текущих данных о геометрическом положении конструктивных элементов (КЭ) с данными, полученными из электронной модели. Рассогласование координат преобразовываются в команды для программ перемещения той технологической оснастки (РУС, СПП, УРМ), которая задействована в текущей ТО.

Таблица

Технологические операции сборки панелей и узлов

№	Вид сборки	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>9</sub>	Модель ТП
1	Нервюра	Y <sub>21</sub>	Y <sub>31</sub> , Y <sub>32</sub> , Y <sub>33</sub>	Y <sub>61</sub>	Y <sub>71</sub> , Y <sub>72</sub>	Y <sub>91</sub>	ТП <sub>1</sub>
2	Шпангоут	Y <sub>21</sub>	Y <sub>31</sub> , Y <sub>32</sub>	Y <sub>61</sub>	Y <sub>71</sub> , Y <sub>72</sub>	Y <sub>91</sub>	ТП <sub>2</sub>
3	Лонжерон	Y <sub>21</sub>	Y <sub>31</sub> , Y <sub>32</sub>	Y <sub>61</sub>	Y <sub>71</sub> , Y <sub>72</sub>	Y <sub>91</sub>	ТП <sub>3</sub>
4	Панель	Y <sub>21</sub>	Y <sub>31</sub> , Y <sub>34</sub>	Y <sub>61</sub>	Y <sub>71</sub> , Y <sub>72</sub>	Y <sub>91</sub>	ТП <sub>4</sub>
5	Перегородки	Y <sub>21</sub>	Y <sub>31</sub> , Y <sub>32</sub>	Y <sub>61</sub>	∅	∅	ТП <sub>6</sub>
6	Стенки	Y <sub>21</sub>	Y <sub>31</sub> , Y <sub>32</sub> , Y <sub>33</sub>	Y <sub>61</sub>	Y <sub>71</sub>	Y <sub>91</sub>	ТП <sub>7</sub>

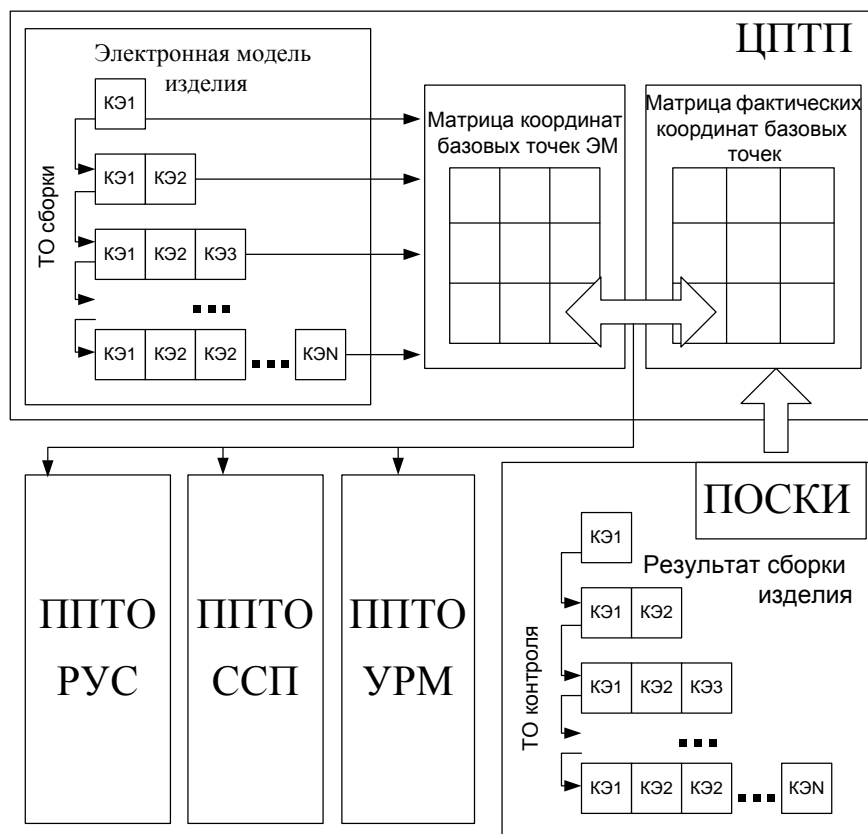


Рис. 2. Взаимодействие ПО оборудования КПМ СПУ

Программное обеспечение СКИ (ПОСКИ) одновременно с выполнением ТО сборки должно выполнять ТО контроля координат базовых точек КЭ. В языке РСА сформирован алгоритм для АРМ сборки:

$$R_{\text{АРМ}} = \alpha_1 \{Z_1\}_{\alpha_1} \cdot \alpha_2 \left\{ Z_2 \cdot \alpha_3 \left\{ Z_3 \cdot \alpha_4 \{Z_4 \vee Z_5 \vee Z_6 \vee \emptyset\}^{\alpha_4} \right\}_{\alpha_3} \right\}^{\alpha_2}$$

где  $Z_1$  – согласование координат электронной модели рабочего места и фактических координат,  $Z_2$  – выдача управляющего сигнала выполнения ТО,  $Z_3$  – контроль соответствия текущих данных о геометрическом положении конструктивных элементов (КЭ) данным, полученным из электронной модели,  $Z_4, Z_5, Z_6$  – выдача команд для программ перемещения технологической оснастки (РУС, СПП, УРМ),  $\alpha_1$  – условие завершения подготовительных операций,  $\alpha_2$  – контроль цикла по ТО,  $\alpha_3$  – условие контроля базовых точек модели,  $\alpha_4$  – условие выбора оснастки для выполнения ТО.

## ВЫВОДЫ

Разработан обобщенный технологический алгоритм, формализованный путем применения логико-алгоритмического подхода с использованием математического аппарата языка РСА. Данный подход позволяет перейти к вопросу разработки программно-аппаратного обеспечения процесса сборки плоских узлов.

Приведена модель использования 3D-представлений эталонных и текущих моделей объектов сборочного процесса. Рассмотрены варианты использования 3D-эталонных и текущих моделей в процессе управления сборочным процессом.

Сделан вывод о возможности унификации управляющих алгоритмов процессов сборки в рамках множества плоскихборок (зона гибкости).

Предложенный подход позволяет создавать ГПМ СПУ, обеспечивающих сокращение подготовительно-заключительного времени на подготовку к реализации сборочного процесса, и как следствие – повышение производительности сборочных гибких производственных систем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Тихонов В. М.** Резервы повышения эффективности технологической подготовки производства (На примере предприятий авиационной промышленности): дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. Саратов, 1999. 219 с.
2. **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. Bulgaria, 2011. Vol. 5, Part 3. P. 156–161.
3. **Ахатов Р. Х., Одинокурцев К. А.** Формализованный метод выбора и анализа сборочных баз в самолётостроении // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М. Ф. Решетнёва. 2009. Вып. 2 (№ 23). С. 232–237.
4. **Ахатов Р. Х.** Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства: учеб. пособие. Иркутск: ИрГТУ, 2007. 104 с.
5. **Руденко Л. В., Илюшко Я. В., Колесник К. И.** Технология создания компьютерно-интегрированных производств // Авиационно-космическая техника и технология. Харьков: ХАИ, 1999. Вып. 12. С. 132–133.
6. **Латкин М. А., Руденко Л. В.** Формирование системной модели проектируемых сложных автоматизированных систем управления // Авиационно-космическая техника и технология. Харьков: ХАИ, 1999. Вып. 14. С. 202–206.

## ОБ АВТОРАХ

**Павленко Виталий Николаевич**, зав. каф. теор. мех., машиновед. и роботомех. систем. Дипл. спец. по произв. изделий из композиционных материалов (ХАИ, 1998). Д-р техн. наук по машиностроению (ДГМА, 2013). Иссл. в обл. технол. изг. объектов ЛА.

**Воронько Виталий Владимирович**, доц. каф. технол. произв. ЛА. Дипл. магистр по технол. произв. самол. и верт. (ХАИ, 2002). Канд. техн. наук по проект., произв. и испыт. ЛА (там же, 2008). Иссл. в обл. сборки ЛА.

**Погудина Ольга Константиновна**, доц. каф. информ. техн. проект. Дипл. магистр по информ. системам управления (ХАИ, 2003). Канд. техн. наук по управлению проектами (там же, 2007). Иссл. в обл. сертификации сборки ЛА.

## METADATA

**Title:** Supporting method of aircraft panel and joints automated assembly process.

**Authors:** V. N. Pavlenko, V. V. Voronko, and O. K. Pogudina.

**Affiliation:** National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute", Ukraine.

**Email:** pavlenko\_vitaliy@mail.ru, vitaliy.voronko@gmail.com, ok\_gabchak@ukr.net

**Language:** Russian.

**Source:** Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 17, no. 4 (57), pp. 24–28, 2013. ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

**Abstract:** Structural analysis of plane joint flexible assembly production module has been executed. Assembly operations have been formed for basic kinds of plane panels and joints. Technological control algorithm for flexible production module has been developed. Method supporting automated assembly process of aircraft panels and joints has been developed.

**Key words:** assembly technology process; panels; joints; aircraft production; flexible production module of plane joint assembly.

## References (English transliteration):

1. V. M. Tikhonov, *Reserves of increasing efficiency of work preparation (E. g. aviation industry enterprises): Thesis Candidate for degree: 08.00.05, (in Russian)*. Saratov, 1999.
2. A. S. Govorkov, "Technique of designing of the product of aviation techniques with maintenance of the set criteria of adaptability to manufacture," *J. Int. Sci. Publications: Materials, Methods & Technologies*, vol. 5, part 3, pp. 156–161, Bulgaria, 2011.
3. R. H. Akhatov and K. A. Odnokurtsev, "Formalized method of selecting and analyzing assembly bases in aircraft production," (in Russian), *Vestnik Sibirskogo Gosudarstvennogo Aerokosmicheskogo Universiteta* (Bulletin of Siberian State Aerospace University named by M. F. Reshetnev), iss. 2, (no. 23), pp. 232–237, 2009.
4. R. H. Akhatov, *Automation of research and development and work preparation: Tutorial*, (in Russian). Irkutsk: ISTU, 2007.
5. L. V. Rudenko, Ya. V. Iljushko, and K. I. Kolesnik, "Technology of developing computer-aided integrated manufacture," (in Russian), *Aviatsionno-kosmicheskaya Tekhnika i Tekhnologiya* (Aircraft and technology), iss. 12, pp. 132–133, Kharkov: KhAI, 1999.
6. M. A. Latkin and L. V. Rudenko, "Forming system model of complicated automated control systems under development," (in Russian), *Aviatsionno-kosmicheskaya Tekhnika i Tekhnologiya* (Aircraft and technology), iss. 14, pp. 202–206, Kharkov: KhAI, 1999.

## About authors:

**Pavlenko, Vitaliy Nikolaevich**, head engineering mechanics, engineering science and robotics systems chair. Specialist in production of composite products (KhAI, 1998). PhD in mechanical engineering (DGMA, 2013). Investigation in aircraft production technology.

**Voronko, Vitaliy Vladimirovich**, assistant professor of aircraft production technology chair. Holder of master's degree in aircraft production technology (KhAI, 2002). Candidate of science in aircraft production, manufacture and tests (KhAI 2008). Investigations in aircraft assembly technology.

**Pogudina, Olga Konstantinovna**, assistant professor in IT design chair. Holder of master's degree in IT control systems (KhAI, 2003). Candidate of science in project management (KhAI 2007). Investigations in aircraft assembly certification.