

Управление в организационных системах

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 004.02

doi: 10.30987/2658-6436-2024-3-75-83

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСНОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ СБОРКИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ АВТОМОБИЛЕСТРОИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА

Сергей Александрович Шептунов¹, Андрей Владимирович Аверченков²,
Елена Эдуардовна Аверченкова³, Алексей Александрович Шабанов⁴

^{1, 2} Институт конструкторско-технологической информатики Российской Академии Наук,
г. Москва, Россия

³ Брянский государственный технический университет, г. Брянск, Россия

⁴ ООО "ЭРГА", г. Калуга, Россия

¹ship@ikti.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7947-9525>

²mahar@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0196-1332>

³lena_ki@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2098-6156>

⁴aashabanov86@mail.ru

Аннотация. Информационные основания поддержки принятия решений по оптимальному формированию автоматизированных систем технологической подготовки производства сборки востребованы на предприятиях автомобилестроительного кластера. Предложено в процессе формирования оптимальной совокупности оборудования контроля и поверки и совокупности запасного оборудования и запчастей разработать две базы данных. Это позволит в процессе функционирования автоматизированных систем технологической подготовки производства сборки накапливать информацию за счет обратной связи о состоянии ее подсистем. В этих целях предложена база данных «Совокупность элементов системы обеспечения механической сборки», а также база данных «Статистическая информация для формирования запаса сборочного оборудования и запчастей в системе обеспечения механической сборки». Представлена информация о регистрационных выходных данных, структуре и количестве записей двух разработанных баз данных. Произведен расчет экономического эффекта при затратах на технологическую подготовку производства с использованием описанных баз данных.

Ключевые слова: базы данных, система технологического обеспечения механической сборки, предприятия автомобилестроительного кластера

Для цитирования: Шептунов С.А., Аверченков А.В., Аверченкова Е.Э., Шабанов А.А. Информационные основания системы технологического обеспечения механической сборки в условиях цифровой трансформации предприятий автомобилестроительного кластера // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. №3 (25). С. 75-83. doi: 10.30987/2658-6436-2024-3-75-83.

Original article

Open Access Article

INFORMATION GROUNDS FOR THE TECHNOLOGICAL SUPPORT SYSTEM FOR MECHANICAL ASSEMBLY IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF THE AUTOMOTIVE CLUSTER ENTERPRISES

Sergey A. Sheptunov¹, Andrey V. Averchenkov², Elena E. Averchenkova³, Alexey A. Shabanov⁴

^{1,2} Institute for Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³ Bryansk State Technical University, Bryansk, Russia

⁴ Erga LLC, Kaluga, Russia

¹ship@ikti.ru, <http://orcid.org/0000-0001-7947-9525>

²mahar@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0003-0196-1332>

³lena_ki@inbox.ru, <http://orcid.org/0000-0003-2098-6156>

⁴aashabanov86@mail.ru

Abstract. *Information grounds for supporting decision-making on the optimal formation of automated systems for technological preparation of assembly production are in demand at the automotive cluster enterprises. The paper proposes to develop two databases in the process of forming the optimal set of control and verification equipment and the set of spare equipment and spare parts. This will allow accumulating information due to the feedback on the state of its subsystems in the process of operating automated systems for the technological preparation of assembly production. For this purpose, the paper proposes the database “A set of the system elements for providing mechanical assembly”, as well as the database “Statistical information for forming the stock of assembly equipment and spare parts in the system for ensuring mechanical assembly”. The work presents the information on the registration output, the structure and number of records of two developed databases, calculates the economic effect in the cost of technological preparation of production using the described databases.*

Keywords: databases, system of technological support of mechanical assembly, automotive cluster enterprises

For citation: Sheptunov S.A., Averchenkov A.V., Averchenkova E.E., Shabanov A.A. Information Grounds for the Technological Support System for Mechanical Assembly in the Context of Digital Transformation of the Automotive Cluster Enterprises. *Automation and modeling in design and management*, 2024, no. 3 (25). pp. 75-83. doi: 10.30987/2658-6436-2024-3-75-83.

Введение

В условиях предприятий автомобилестроительного кластера совокупность производственного оборудования, обеспечивающего процессы сборки, представляет собой разнородную сложную систему. Ранее данная совокупность и обеспечивающие ее работу автоматизированные системы управления не были рассмотрены как единая система подготовки сборочного производства на основе резьбовых соединений, поэтому разработка ее математического, информационного и алгоритмического обеспечения является важной и актуальной задачей для развития сборочного производства.

Вопросы формирования состава оборудования, автоматизации механосборочных цехов и автоматизированных систем управления технологическими процессами были рассмотрены, в частности, в работах Соломенцева Ю.М. [1 – 3], Долгова В.А. [4], Фролова Е.Б. [5, 6], Тимирязева В.А., Схиртладзе А.Г. [7], Дацко А.Г. [8]. Особенности разработки сборочных технологических процессов, расчета параметров сборочного оборудования и затяжки резьбовых соединений рассматривались в работах ученых Аббясова В.М. [9, 10], Бухтеевой И.В., Елхова П.Е. [10], Ламина И.И. [11]. Работы иностранных авторов Zhang X., Zeng J. [12], Basten R.J.I., Van der Heijden M.C., Schutten J.M.J. [13], Chen N., Ou L., Bai F. [14], Tan L., Sun C., Pang M., Xiang K., Tang B. [15] посвящены оборудованию сборки изделий на основе резьбовых соединений, работы Geda, M.W., Kwong, C.K., Jiang, H. [16] – автоматизированным системам технологической подготовки производства, исследования Tesfay Y.Y. [17], Xu W., Cheng Q., Yang C. [18] – автоматизации сборочных производств.

Изучение отечественных и зарубежных публикаций по автомобилестроительному кластеру показало, что на сегодняшний день востребованы формализация и разработка соответствующих алгоритмов для автоматизированных систем технологической подготовки

производства сборки. Кроме того, информационное обеспечение автоматизированных систем технологической подготовки производства сборки позволит обеспечить оптимальную совокупность оборудования, применяемого на крупных предприятиях конвейерной отверточной сборки.

Предметная область исследования

Поддержка принятия решений по оптимальному формированию автоматизированных систем технологической подготовки производства сборки должна быть обеспечена информацией о конкретных элементах совокупности сборочного оборудования. Информационное сопровождение процесса принятия решений позволит повысить эффективность сборочного производства. Технолог получает четкое представление о том, какое оборудование используется для сборки изделия, что в целом упрощает его работу и позволяет оптимизировать процесс выбора конкретных сборочных инструментов, станков и датчиков для проверок момента затяжки сборочных инструментов.

В качестве оснований информационной системы технологического обеспечения механической сборки автоматизированных систем технологической подготовки производства сборки могут выступать классификаторы, позволяющие группировать оборудование по следующим параметрам: степень автоматизации процесса затяжки, конструкция сборочного инструмента, возможность и удобство калибровки сборочного инструмента.

Ранее в работах авторов [19 – 21] была выполнена реализация разработанных моделей, классификаторов, баз данных и алгоритмов управления подсистемами автоматизированных систем технологической подготовки производства сборки. Также в работе [22] авторы описали информационное обеспечение поддержки принятия решений, формирующих систему обеспечения механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера.

В процессе формирования информационного сопровождения системы технологического обеспечения механической сборки возникла необходимость разработать базу данных «Совокупность элементов системы обеспечения механической сборки», а также базу данных «Статистическая информация для формирования запаса сборочного оборудования и запчастей в системе обеспечения механической сборки». Это позволит учесть особенности цифровой трансформации предприятий автомобилестроительного кластера, в том числе тот факт, что в процессе функционирования автоматизированных систем технологической подготовки производства сборки происходит накопление баз данных информацией за счет обратной связи о состоянии подсистем ее составляющих.

Материалы, модели, эксперименты и методы

База данных «Совокупность элементов системы обеспечения механической сборки». Структура базы данных «Совокупность элементов системы обеспечения механической сборки» обусловлена наличием необходимой и достаточной информации для принятия управленческих решений по формированию оптимальной совокупности оборудования контроля и проверки и совокупности запасных сборочных инструментов и запасных частей.

База данных «Совокупность элементов системы обеспечения механической сборки» имеет регистрационный номер №2021623100 от 21.12.2021 (рис. 1).

Среда разработки базы данных: Microsoft Excel. Объем базы данных «Совокупность элементов системы обеспечения механической сборки» – 13 884 записей (рис. 2). База данных содержит следующую информацию в столбцах с первого по восьмой: местоположение элемента совокупности сборочного оборудования; серийный номер элемента совокупности сборочного оборудования; артикул элемента совокупности сборочного оборудования; выполняемые элементом совокупности сборочного оборудования операции технологического процесса; числовое значение момента затяжки элемента совокупности сборочного оборудования измеряемое в ньютон-метр; дата поступления элемента совокупности

сборочного оборудования на рабочий пост в цехе; индекс воспроизводимости процесса C_p элемента совокупности сборочного оборудования; индекс воспроизводимости процесса C_{pk} элемента совокупности сборочного оборудования.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ RU 2021623100



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ БАЗЫ ДАННЫХ

Номер регистрации (свидетельства): 2021623100	Авторы: Аверченкова Елена Эдуардовна (RU), Шабанов Алексей Александрович (RU)
Дата регистрации: 21.12.2021	Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Брянский государственный технический университет» (RU)
Номер и дата поступления заявки: 2021622990 09.12.2021	
Дата публикации: 21.12.2021	

Название базы данных:
«База данных: совокупность элементов системы обеспечения механической сборки»

Реферат:
База данных предназначена для информационного обеспечения поддержки принятия решений по созданию системы обеспечения механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера. Область применения: организационно-технологическая система обеспечения механической сборки на основе резьбовых соединений, создаваемая на крупных сборочных предприятиях. Функциональные возможности: хранение и накопление информации об элементах совокупности сборочного оборудования, используемой для поддержки принятия решений в системе обеспечения механической сборки. База данных содержит информационное обеспечение математических моделей элементов совокупности сборочного оборудования организационно-технологической системы обеспечения механической сборки.

Вид и версия системы управления базой данных: Excel

Объем базы данных: 140524 байт

Рис. 1. Свидетельство о регистрации базы данных «Совокупность элементов системы обеспечения механической сборки»

Fig. 1. Certificate of registration of the database «Set of elements of the mechanical assembly support system»

Идентификационный номер элемента совокупности	Степень износа инструмента	Артикул (оборудования инструмента)	Видовые обозначения (оборудования инструмента)	Числовые значения (коэффициенты)	Дата изготовления (оборудования инструмента)	Время изготовления (оборудования инструмента)	Время использования (оборудования инструмента)
373120462	00000004	АНКСТ.КАСТ.15	СР702КАМ.11	4,00	08.12.2020	2,11	1,43
373120463	00000004	КАСТ.КАМ	СР702КАМ.11	2,00	20.12.2020	2,04	1,47
373120464	00000014	КАСТ.КАМ	СР702КАМ.11	2,00	28.12.2020	2,04	1,58
373120465	00000011	КАСТ.КАМ	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,37	1,31
373120466	00000011	КАСТ.11	СР702КАМ.11	2,00	30.11.2020	2,19	1,31
373120467	00000026	КАСТ.11	СР702КАМ.11	2,00	22.12.2020	2,14	1,52
373120468	00000019	АНКСТ.КАСТ.15	СР702КАМ.11	3,00	13.01.2021	3,33	2,39
373120469	00000004	АНКСТ.КАСТ.15	СР702КАМ.11	14,00	17.12.2020	2,91	2,11
373120470	00000006	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	30.11.2020	2,10	2,47
373120471	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120472	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120473	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120474	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120475	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120476	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120477	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120478	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120479	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120480	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120481	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120482	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120483	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120484	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120485	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120486	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120487	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120488	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120489	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120490	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120491	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120492	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120493	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120494	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120495	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120496	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120497	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120498	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120499	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44
373120500	00000004	КАСТ.15	СР702КАМ.11	2,00	18.12.2020	2,10	2,44

Рис. 2. Структура базы данных «Совокупность элементов системы обеспечения механической сборки»

Fig. 2. The structure of the database «The set of elements of the mechanical assembly support system»

Назначение базы данных «Совокупность элементов системы обеспечения механической сборки» – накопление информации об элементах совокупности сборочного оборудования, например, об измерении моментов затяжки. Также информация базы данных «Совокупность элементов системы обеспечения механической сборки» может применяется при формировании оптимальной совокупности запасных сборочных инструментов, т.к. совокупность запасных сборочных инструментов призвана подготовить замену неисправного оборудования в установленные сроки.

Развитием базы данных «Совокупность элементов системы обеспечения механической сборки» может быть ее расширение полями «Степень износа k -ого сборочного инструмента» и «технологические приспособления, используемые с k -м сборочным инструментом».

База данных содержит следующую информацию (столбцы с 1-го по 8-й): о дате выдачи в производство элемента совокупности сборочного оборудования; о дате поломки сборочного элемента совокупности сборочного оборудования; внутренний номер сборочного инструмента в организационно-технологической системе обеспечения механической сборки; серийный номер элемента совокупности сборочного оборудования присваиваемый производителем; модель элемента совокупности сборочного оборудования; срок работы элемента совокупности сборочного оборудования; вид исправности элемента совокупности сборочного оборудования и замененные при его ремонте детали; числовое значение момента затяжки, на который настроен элемент совокупности сборочного оборудования измеряемое в Ньютон-метр.

База данных «Статистическая информация для формирования запаса сборочного оборудования и запчастей в системе обеспечения механической сборки» накапливает сведения об отказах конкретных позиций сборочного оборудования, а также об отказах оборудования контроля и поверки. Информация, представленная в базе данных, касается сроков работы оборудования, а также датах выхода из строя. Указанные сведения могут быть применимы для расчета численности запасных инструментов, приборов и приспособлений для последующего изучения статистики отказов и расчета оптимального количества запасных позиций потребного оборудования. Сведения о характере неисправности конкретной позиции сборочного оборудования или оборудования контроля и поверки, а также сведения об использованных при его ремонте деталях также может быть применена для конкретизации потребных запасных частей к оборудованию.

Результаты и их обсуждение

Рассмотренные базы данных могут быть использованы в работе предприятий автомобилестроительного кластера. На примере предприятия ООО «СМРК Аутомотив Текнолоджи Ру» были проведены экспериментальные исследования и рассчитана экономия затрат от применения разработанных баз данных. В качестве области расчетов была выбрана сфера технологической подготовки производства, в том числе на выполнение операций калибровки оборудования, на закупку оборудования и запчастей.

Рассмотрим экономию затрат на технологическую подготовку производства, при этом учтем размер часовой ставки занятого инженера-технолога. Примем, что средняя оплата в час работника составит $D_{и} = 500$ руб/час (с социальными отчислениями). Экономический эффект, определяемый с учетом затрат на технологическую подготовку производства может быть определен следующим образом (1):

$$\Delta Э_i = \Delta T_i \cdot D_{и}, \quad (1)$$

где $\Delta Э_i$ – формируемая экономия затрат на технологическую подготовку производства, получаемая с учетом обеих представленных баз данных; ΔT_i – экономия затрат с учетом временного фактора.

Экономия затрат на технологическую подготовку производства в относительном выражении представлена в выражении (2):

$$\Delta T_{\Pi i} = \frac{\Delta T_i}{T_{Б}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $\Delta T_{\Pi i}$ – экономия затрат на технологическую подготовку производства с учетом использования баз данных, %; $T_{Б}$ – общая трудоемкость без учета возможности использования представленных обеих баз данных, ч.

Расчет производился для 3350 единиц совокупности сборочного оборудования на примере предприятия ООО «СМРК Аутомотив Текнолоджи Ру». Общая трудоемкость технологической подготовки производства без применения разработанных баз данных составила $T_{Б} = 960$ ч. Таким образом, расчет экономии затрат на технологическую подготовку производства с применением каждой из разработанных баз данных составит:

$$\Delta T = 40 \text{ ч,}$$

$$\Delta T_{\Pi} = (40/960) \cdot 100 \% = 4,17 \%,$$

$$\Delta \mathcal{E} = 40 \cdot 500 = 20\,000 \text{ руб.,}$$

$$\Delta T_{\Pi} = 24 \text{ ч,}$$

$$\Delta T_{\Pi} = (24/960) \cdot 100 \% = 2,5 \%,$$

$$\Delta \mathcal{E} = 24 \cdot 500 = 12\,000 \text{ руб.}$$

Таким образом, экономический эффект при затратах на технологическую подготовку производства с применением двух описанных выше баз данных составит 32 000 руб.

Заключение

Таким образом, использование представленных баз данных позволяет обеспечить снижение трудоемкости технологической подготовки производства и обеспечивает оптимизацию работы оператора по периодической калибровке оборудования. Важно, что применение указанных баз данных востребовано в условиях работы предприятий автомобилестроительного кластера. Внедрение описанных баз данных способствует значительной экономии финансовых затрат на закупку оборудования и запчастей при формировании организационно-технологической системы обеспечения механической сборки.

Список источников:

1. Solometsev Yu.M., Frolov E.B. "Digital Twin" of manufacturing system – promising tool to increase machine park effectiveness of engineering enterprise // *Machine Park*. – 2018. – No.8. – pp. 36.-39.
2. Planning in modern systems of production control / Yu.M. Solomentsev, R.R. Zagidullin, E.B. Frolov // *Engineering Technique*. – 2010. – No.4. – pp. 76-81.
3. Solomentsev Yu.M., Frolov E.B. Modern methods to increase effectiveness of engineering enterprises // *Engineering Technique*. – 2015. – No.8. – pp. 54-58.
4. Dolgov, V.A., Kabanov A.A. Basic approaches to formation of information model of industrial-processing system of engineering enterprise // *Automation. Modern Technologies*. – 2018. – No.4. – pp. 178-184.
5. How to achieve production "transparency" or ISO Standards and industrial soft at enterprise / E.B. Frolov, V.V. Kryukov, D.M. Timofeev, A.V. Kryukov // *Director General*. – 2010. – No.11. – pp. 22-27.
6. Executive manufacturing systems – tool for efficient management of engineering enterprise / E.B. Frolov, A.R. Zalygin, A.V. Nesterov // *Director General*. – 2013. – No.2. – pp. 76-79.
7. Timiryazev, V.A., Skhirtladze, A.G., Datsko, A.G. Controlling the Accuracy of Contouring Grooves in the Manufacture of Parts in the Repair Industry. *Steel Transl.* – 2023. – No.53. – pp. 257–261.
8. Datsko A.G., Timiryazev V.A., Khostikoev M.Z., Danilov I.K. Controlling the accuracy in contour milling. *Russian Engineering Research*. – 2021. – T. 41. – № 3. – pp. 262-265.
9. Abbyasov V.M., Samoiloa A.S., Makarov S.V., Baikin D.S., Chunina A.A. Rear axel assembly process structure formation using universal assembly conveyor. *AIP Conference Proceedings. International scientific and practical symposium "Materials science and technology" (MST2021)*. – 2022. – P. 209.

References:

1. Solometsev Yu.M., Frolov E.B. "Digital Twin" of Manufacturing System – Promising Tool to Increase Machine Park Effectiveness of Engineering Enterprise. *Machine Park*. 2018;8:36.-39.
2. Solomentsev Yu.M., Zagidullin R.R., Frolov E.B. Planning in Modern Systems of Production Control. *Engineering Technique*. 2010;4:76-81.
3. Solomentsev Yu.M., Frolov E.B. Modern Methods to Increase Effectiveness of Engineering Enterprises. *Engineering Technique*. 2015;8:54-58.
4. Dolgov V.A., Kabanov A.A. Basic Approaches to Formation of Information Model of Industrial-Processing System of Engineering Enterprise. *Automation. Modern Technologies*. 2018;4:178-184.
5. Frolov E.B., Kryukov V.V., Timofeev D.M., Kryukov A.V. How to Achieve Production "Transparency" or ISO Standards and Industrial Soft at Enterprise. *Director General*. 2010;11:22-27.
6. Frolov E.B., Zalygin A.R., Nesterov A.V. Executive Manufacturing Systems – Tool for Efficient Management of Engineering Enterprise. *Director General*. 2013;2:76-79.
7. Timiryazev V.A., Skhirtladze A.G., Datsko A.G. Controlling the Accuracy of Contouring Grooves in the Manufacture of Parts in the Repair Industry. *Steel in Translation*. 2023;53:257-26.
8. Datsko A.G., Timiryazev V.A., Khostikoev M.Z., Danilov I.K. Controlling the Accuracy in Contour Milling. *Russian Engineering Research*. 2021;41(3):262-265.
9. Abbyasov VM, Samoiloa AS, Makarov SV, Baikin DS, Chunina AA. Rear Axel Assembly Process Structure Formation Using Universal Assembly Conveyor. In: *AIP Conference Proceedings of the International Scientific and Practical Symposium on Materials Science and Technology (MST2021)*: 2022. p. 209.

10. Бухтеева И.В., Аббясов В.М., Елхов П.Е. Направленный выбор компоновки гибкой автоматизированной линии сборки валов // Известия МГТУ МАМИ. – 2013. – Т. 2. – №1 (15). – С. 134-140.
10. Bukhteeva I.V., Abbyasov V.M., Elkhov P.E. Directed Selection of a Configuration of Flexible Automated Assembly Line for Assembling of Gearbox Shafts. *Izvestiya MGTU "MAMI"*. 2013;2-1(15):134-140.
11. Ламин И.И. Укрупненный метод проектирования технологических процессов сборки изделий в автостроении // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2014. – № 2. – С. 32-36.
11. Lamin I.I. Integrated Design Method of Technological Processes of Assembly in Auto Structure. *Assembly in Mechanical Engineering, Instrument Making*. 2014;2:32-36.
12. Zhang X., Zeng J. Joint Optimization of Condition-Based Repair-by-Replacement and Spare Parts Provisioning Policy with Random Maintenance Time and Lead Time. In: Qi E., Shen J., Dou R. (eds) *Proceedings of the 22nd International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2015*. Atlantis Press, Paris.
12. Zhang X, Zeng J. Joint Optimization of Condition-Based Repair-by-Replacement and Spare Parts Provisioning Policy With Random Maintenance Time and Lead Time. In: Qi E, Shen J, Dou R, editors. *Proceedings of the 22nd International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*; Atlantis Press, Paris: 2015.
13. Basten R.J.I., Van der Heijden M.C., Schutten J.M.J. et al. An approximate approach for the joint problem of level of repair analysis and spare parts stocking. *Ann Oper Res* 224, 121–145 (2015).
13. Basten RJI, Van der Heijden MC, Schutten JMJ, et al. An Approximate Approach for the Joint Problem of Level of Repair Analysis and Spare Parts Stocking. *Annals of Operations Research*. 2015;224:121-145.
14. Chen N., Ou L., Bai F. (2020) Research on Calculating Method of Repairable Spare Parts and Non-repairable Spare Parts. In: Duan B., Umeda K., Hwang W. (eds) *Proceedings of the Seventh Asia International Symposium on Mechatronics*. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 588. Springer, Singapore.
14. Chen N, Ou L, Bai F. Research on Calculating Method of Repairable Spare Parts and Non-Repairable Spare Parts. In: Duan B, Umeda K, Hwang W, editors. *Proceedings of the 7th Asia International Symposium on Mechatronics*. Lecture Notes in Electrical Engineering; Springer, Singapore: 2020, vol. 588.
15. Tan L., Sun C., Pang M., Xiang K., Tang B. Design of Screw Fastening Tool Based on SEA. In: Yu H., Liu J., Liu L., Ju Z., Liu Y., Zhou D. (eds) *Intelligent Robotics and Applications. ICIRA 2019*. Lecture Notes in Computer Science, vol 11740. Springer, Cham.
15. Tan L, Sun C, Pang M, Xiang K, Tang B. Design of Screw Fastening Tool Based on SEA. In: Yu H, Liu J, Liu L., Ju Z, Liu Y, Zhou D, editors. *Intelligent Robotics and Applications. ICIRA 2019*. Lecture Notes in Computer Science. Springer, Cham: 2019, vol. 11740.
16. Geda M.W., Kwong C.K., Jiang H. Fastening method selection with simultaneous consideration of product assembly and disassembly from a remanufacturing perspective. *Int J Adv Manuf Technol* 101, 1481–1493 (2019).
16. Geda M.W., Kwong C.K., Jiang H. Fastening Method Selection With Simultaneous Consideration of Product Assembly and Disassembly From a Remanufacturing Perspective. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019;101:1481-1493.
17. Tesfay Y.Y. Process Capability Analysis. In: *Developing Structured Procedural and Methodological Engineering Designs*. Springer, Cham. 2021
17. Tesfay YY. Process Capability Analysis. In: *Developing Structured Procedural and Methodological Engineering Designs*. Springer, Cham; 2021.
18. Xu W., Cheng Q., Yang C. et al. Dynamic analysis and looseness evaluation of bolted connection under vibration of machine tools. *Int J Adv Manuf Technol*. 2021.
18. Xu W, Cheng Q, Yang C, et al. Dynamic Analysis and Looseness Evaluation of Bolted Connection Under Vibration of Machine Tools. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2021.
19. Аверченкова Е.Э., Шабанов А.А. Моделирование систем управления организационно-технологическим обеспечением механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2021. – № 3-4. – С. 58-67.
19. Averchenkova E.E., Shabanov A.A. Modelling of Control Systems for Organizational and Technological Support of Mechanical Assembly at Automotive Cluster Enterprises. *Automation and Modelling in Design and Management*. 2021;3-4:58-67.
20. Аверченкова Е.Э., Шабанов А.А., Аверченков В.И. Модель и алгоритм управления совокупностью сборочного оборудования системы обеспечения механической сборки // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. – 2022. – № 1. – С. 43-55.
20. Averchenkova E.E., Shabanov A.A., Averchenkov V.I. Model and Algorithm for Controlling the Assembly Equipment of Mechanical Assembly Supply System. *Automation and Modelling in Design and Management*. 2022;1:43-55.
21. Аверченкова Е.Э., Шабанов А.А. Методика формирования оптимальной совокупности запасного оборудования в организационно-технологической системе обеспечения механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2021. – №25 (4). – С. 201-219.
21. Averchenkova E.E., Shabanov A.A. The Methodology for Creating the Optimal Set of Spare Equipment in the Organizational and Technological System for Providing Mechanical Assembly at the Enterprises of the Motor-Car Construction Cluster. *Proceedings of the Southwest State University*. 2021;25(4):201-219.

22. Control System of Assembly Production Organizational and Technological System of Automotive Cluster Factories A.A. Shabanov1 and E.E. Averchenkova Published under licence by IOP Publishing Ltd Journal of Physics: Conference Series, Volume 2091, 5th International Scientific Conference on Information, Control, and Communication Technologies (ICCT-2021) 4-7 October 2021, Astrakhan, Russian Federation Citation A A Shabanov and E E Averchenkova 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 2091 012057

22. Shabanov AA, Averchenkova EE. Control System of Assembly Production Organizational and Technological System of Automotive Cluster Factories. In: Proceedings of the 5th International Scientific Conference on Information, Control, and Communication Technologies ICCT-2021; 2021, Oct 4-7; Astrakhan. Journal of Physics Conference Series: 2021, vol. 2091 p. 012057.

Информация об авторах:

Шептунов Сергей Александрович

доктор технических наук, директор Института конструкторско-технологической информатики Российской Академии Наук, ORCID 0000-0001-7947-9525

Аверченков Андрей Владимирович

доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института конструкторско-технологической информатики Российской Академии Наук, ORCID 0000-0003-0196-1332

Аверченкова Елена Эдуардовна

кандидат технических наук, доцент, кафедры «Цифровая экономика» Брянского государственного технического университета, ORCID 0000-0003-2098-6156

Шабанов Алексей Александрович

ООО «ЭРГА»

Information about the authors:

Sheptunov Sergey Alexandrovich

Doctor of Technical Sciences, Director of the Institute for Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, ORCID: 0000-0001-7947-9525

Averchenkov Andrey Vladimirovich

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Institute for Design-Technological Informatics of the Russian Academy of Sciences, ORCID: 0000-0003-0196-1332

Averchenkova Elena Eduardovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department of the Digital Economy of Bryansk State Technical University, ORCID: 0000-0003-2098-6156

Shabanov Alexey Alexandrovich

Erga LLC

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.**

Статья поступила в редакцию 27.05.2024; одобрена после рецензирования 15.06.2024; принята к публикации 26.06.2024.

The article was submitted 27.05.2024; approved after reviewing 15.06.2024; accepted for publication 26.06.2024.

Рецензент – Пугачев А.А., доктор технических наук, доцент, Брянский государственный технический университет.

Reviewer – Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Bryansk State Technical University.