

УДК: 004.02

DOI:10.30987/2658-6436-2021-3-4-58-67

А.А. Шабанов, Е.Э. Аверченкова

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ МЕХАНИЧЕСКОЙ СБОРКИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АВТОМОБИЛЕСТРОИТЕЛЬНОГО КЛАСТЕРА

*Показано, что система обеспечения механической сборки на основе резьбовых соединений, применяемая на предприятиях автомобилестроительного кластера, может быть рассмотрена как совокупность подсистемы сборочного оборудования, подсистемы контроля и поверки, подсистемы запасных инструментов, приборов и запчастей. Предложена теоретико-множественная модель системы обеспечения механической сборки как совокупности подсистем организационно-технологического обеспечения механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера. Предложена модель системы управления подсистемой сборочного оборудования, системы управления подсистемой контроля и поверки и система управления подсистемой запасных инструментов, приборов и приспособлений. Предложена постановка частных задач управления подсистемами организационно-технологической системы обеспечения механической сборки, определены соответствующие критерии оптимального управления.*

**Ключевые слова:** система управления, организационно-технологическое обеспечение сборочного производства, автомобилестроительный кластер.

A.A. Shabanov, E.E. Averchenkova

## MODELING OF CONTROL SYSTEMS FOR ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL SUPPORT OF MECHANICAL ASSEMBLY AT AUTOMOTIVE CLUSTER ENTERPRISES

*A system for providing mechanical assembly based on threaded joints used at enterprises of the automotive cluster. This system combines a subsystem of assembly equipment, a subsystem of spare tools. The model of the mechanical assembly support system can be based on a set-theoretic approach as a set of subsystems of organizational and technological support for mechanical assembly at automotive cluster enterprises. Subsystems of organizational and technological support of mechanical assembly for automotive cluster enterprises can be described from the standpoint of management theory. In each control system being formed, an object, a control subject, a feedback mechanism is allocated, and it is also assumed that the PMD will interact with the subsystem of organizational and technological support for mechanical assembly through the information system database being formed. The task of managing the organizational and technological system for providing mechanical assembly involves solving particular problems, including those of managing the subsystem of assembly equipment, also the subsystem of controlling and testing, the subsystem of spare tools, instruments and devices. The criteria of optimal control of the generated control tasks are presented.*

**Keywords:** control system, organizational and technological support of assembly production, automotive cluster.

### Введение

Сборочные операции в машиностроении и приборостроении составляют значительную, а в ряде случаев, как например, в сборке автомобилей, основную часть технологического процесса изготовления изделий. Основным технологическим оборудованием, используемым на крупных сборочных предприятиях автомобилестроительного кластера, является оборудование для сборки на основе резьбовых соединений.

Как отмечено Ламиным И.И. в работе [1], возможность реализации основных требований к обеспечению качества продукции, заданной производительности, и получению максимального экономического эффекта, во многом определяется структурой парка и

параметрами технологического оборудования. Согласно исследованию Аббясова В.М., Бухтеевой И.В., Елхова П.Е., при проектировании технологических процессов сборки необходимо выбирать механосборочное оборудование с оптимальным уровнем надежности, которое обеспечит требуемую производительность и экономический эффект [2].

В данной работе принимается научный подход, развиваемый в том числе учеными ИПУ РАН им. В.А. Трапезникова [3], который позволяет формализовать системы управления организационно-технологическим обеспечением механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера с позиции теории управления. Также можно сослаться на работы Вороненко В.П. [4], в которых заложены основы проектирования и управления современными машиностроительными и приборостроительными производствами.

Однако, в современных исследованиях отсутствуют примеры формализации организационно-технологических систем, обеспечивающих механическую сборку изделий на предприятиях автомобилестроительного кластера. Таким образом, описание элементов, составляющих совокупность сборочного оборудования, применяемого на предприятиях автомобилестроительного кластера, а также разработка методик и алгоритмов рационального управления данной совокупностью оценивается как актуальное научно-практическое исследование.

В данной статье авторами развиваются идеи, заложенные в том числе в работах [5, 6], и предлагается модель системы управления организационно-технологическим обеспечением механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера.

### Постановка задачи

Система обеспечения механической сборки на основе резьбовых соединений, применяемая на предприятиях автомобилестроительного кластера (СОМС) рассматривается как сложная система, объединяющая три подсистемы. Функционально в СОМС выделяются составные части (подсистемы), среди которых, помимо собственно сборочного оборудования используемого в производстве, есть оборудование контроля и поверки, которое включает в себя средства измерения, предназначенные как для периодической поверки и калибровки применяемых сборочных инструментов, так и для выборочного контроля затянутых соединений. Кроме того, к СОМС относится и складское хозяйство, включающее необходимый для обеспечения ритмичного производства запас оборудования – подменный фонд на случай выхода оборудования из строя.

Таким образом, удобно рассматривать СОМС как совокупность трех подсистем:

1. Подсистема сборочного оборудования (ПСО) представляет собой совокупность сборочного оборудования (ССО), используемого в производстве (элементами ССО являются шуруповерты и гайковерты, динамометрические ключи, технологические приспособления), и средств автоматизации управления (САУ), планирования и учета оборудования. ССО непосредственно обеспечивает выполнение сборочного процесса. САУ ССО является составной частью ПСО и призвана обеспечивать эффективное функционирование ПСО. САУ ССО включает в себя технические средства, программное и методическое обеспечение, позволяющее сохранять информацию о каждом элементе ССО. Отметим, что, учитывая дороговизну сборочного инструмента, применяемого для промышленной сборки, его необоснованное использование может приводить к неоправданному повышению цен на производимую продукцию, что в условиях современного уровня конкуренции в автомобилестроительном кластере может приводить к падению спроса на продукцию.

2. Подсистема контроля и поверки (ПКП), которую также следует рассматривать как совокупность оборудования контроля и поверки (ОКП) и средств автоматизации управления данным оборудованием, обеспечивающих планирование и управление его использованием. САУ ОКП включают в себя технические средства, программное и методическое

обеспечение, предназначенное для организации периодического контроля сборочного инструмента, записи результатов его периодического контроля, а также осуществляющее управление измерительными стендами и датчиками измерения момента затяжки. В силу высокой стоимости приобретения оборудования контроля и поверки необходимо тщательно планировать состав оборудования контроля и поверки, типы входящих в него средств измерения и их количество. Это связано с тем, что в силу того, что в настоящее время состав оборудования контроля и поверки СОМС формируется, как правило, из оборудования, закупленного за границей, то заказ и доставка необходимых запчастей занимает обычно несколько месяцев. В случае отказа оборудования контроля и поверки и невозможности его замены запасным оборудованием из подменного фонда существует риск выпуска продукции оборудованием, не подвергающимся регулярному контролю момента затяжки, следовательно, есть риск выпуска изделия с возможным браком.

3. Подсистема запасных инструментов, приборов и запчастей (ПЗИП) состоит из совокупности запасных сборочных инструментов, приборов и запчастей (ЗИП), и средств автоматизации управления запасными сборочными инструментами, приборами и запчастями, обеспечивающих учет расхода, планирование и организацию пополнения ЗИП. САУ ЗИП, должны включать в себя технические средства, программное и методическое обеспечение поддерживающие процесс формирования и пополнения ЗИП и обеспечивающие учет ЗИП. Сформированная на предприятии ПЗИП создает уверенность в бесперебойной работе, снижаются потери, связанные с остановкой производства. Вместе с тем, содержание больших запасов сборочного инструмента, приспособлений и запчастей приводит к значительным расходам, которые обусловлены тем, что из оборота предприятия отвлекаются значительные средства, растут затраты по хранению и содержанию запасов. Это противоречие обуславливает необходимость установления оптимального размера запаса оборудования и запчастей.

### Материалы и методы решения задачи

Модель СОМС как совокупность подсистем организационно-технологического обеспечения механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера можно описать следующим образом:

$$\text{СОМС} = \{ATS, CES, STPS\}, \quad (1)$$

где,  $ATS = \{AT, IT AT\}$ ,  $CES = \{CE, IT CE\}$ ,  $STPS = \{STP, IT STP\}$ ; СОМС – организационно-технологическая система обеспечения механической сборки на основе резьбовых соединений (Assembly Production Organizational and Technological System);  $ATS$  – подсистема сборочного оборудования (Assembly Tools Subsystem);  $AT$  – совокупность сборочного оборудования (Assembly Tools Set);  $IT AT$  – средства автоматизации управления совокупностью сборочного оборудования (IT System of Assembly Tools Subsystem);  $CES$  – подсистема контроля и поверки (Calibration Equipment Subsystem);  $CE$  – совокупность оборудования контроля и поверки (Calibration Equipment);  $IT CE$  – средства автоматизации управления совокупностью оборудования контроля и поверки (IT System of Calibration Equipment Subsystem);  $STPS$  – подсистема запасных инструментов, приборов и запчастей (Spare Tools and Parts Subsystem);  $STP$  – совокупность запасных инструментов, приборов и запчастей (Spare Tools and Parts);  $IT STP$  – средства автоматизации управления совокупностью запасных инструментов, приборов и запчастей (IT System of Spare Tools and Parts Subsystem).

Рассмотрим подсистемы организационно-технологического обеспечения механической сборки на предприятиях автомобилестроительного кластера с позиции теории управления. В этих целях формализуем системы управления каждой подсистемой (рис. 1 – 3). Это позволит в дальнейшем перейти к постановке задачи оптимального управления.

1. Система управления подсистемой сборочного оборудования представлена на рис. 1.

Субъектом управления является руководитель соответствующего подразделения или иное лицо, принимающее решения (ЛПР) по вопросам управления подсистемой сборочного оборудования. Объектом управления является подсистема сборочного оборудования. Состояние объекта управления зависит от принятых ЛПР решений.

Стратегия принятия ЛПР управленческих решений заключается в следующем: решения принимаются на основании анализа текущего состояния ПСО предприятия, анализа накопленной базы данных о состоянии ПСО других предприятий автомобилестроительной корпорации. Руководствуясь соответствующей методикой и алгоритмами принятия решений, ЛПР принимает решение на основе критериев оптимального управления ПСО. В качестве таковых выступает: (1) возможность сборки имеющимися элементами ССО всей совокупности сборочных соединений изделий, собираемых на предприятии автомобилестроительного кластера; (2) минимизация стоимости сборочного оборудования; (3) согласование принятого ЛПР решения с его руководством.

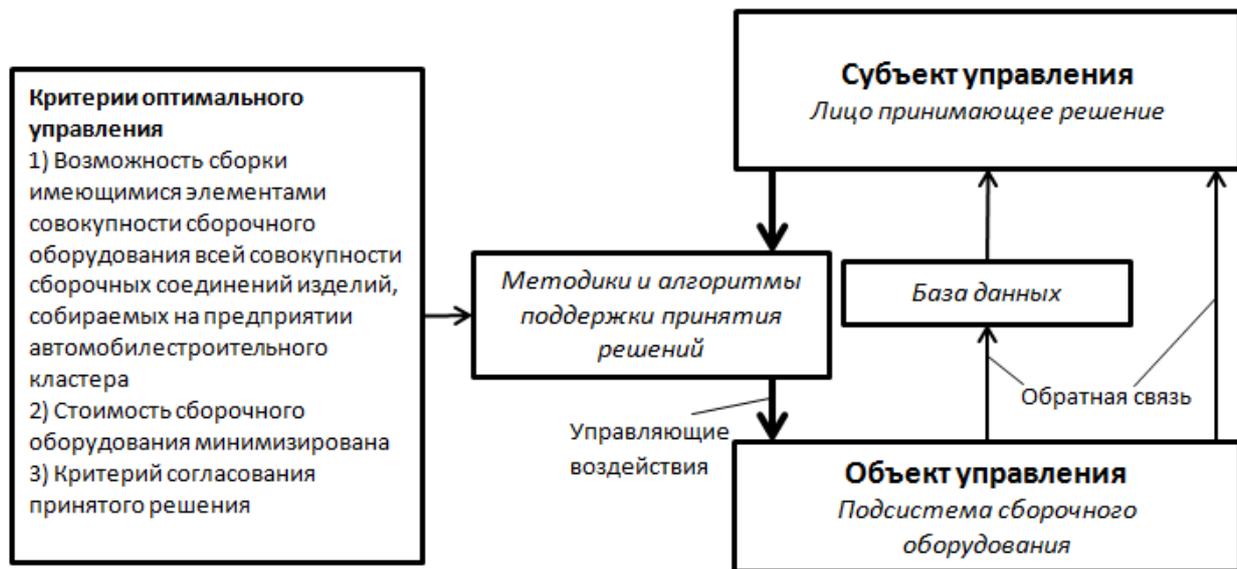


Рис. 1. Система управления подсистемой сборочного оборудования

Система управления ПСО обеспечивает наполнение базы данных информационной системы, с которой работает ЛПР, поступающей информацией о состоянии ПСО. Так реализуется механизм обратной связи в представленной системе управления. Задача субъекта управления заключается в том, чтобы осуществлять такие управляющие воздействия (жирная линия на рис. 1), чтобы с учетом всей полученной информации обеспечить требуемое состояние объекта управления на основании целевых характеристик ПСО.

2. Система управления подсистемой контроля и поверки представлена на рис. 2. Субъектом управления является руководитель соответствующего подразделения или иное ЛПР по вопросам управления подсистемой сборочного оборудования. Объектом управления является подсистема контроля и поверки (ПКП). Состояние объекта управления зависит от принятых ЛПР решений. Стратегия принятия ЛПР решений заключается в следующем: решения принимаются на основании анализа текущего состояния ПКП предприятия, анализа накопленной базы данных о состоянии ПКП других предприятий автомобилестроительной корпорации. Соответствующие методики и алгоритмы поддержки принятия решений основаны на таких критериях оптимального управления, как: (1) условие соответствия фактического калибровочного интервала момента затяжки сборочных инструментов до начала и в период эксплуатации моменту затяжки, на который был настроен инструмент в соответствии с технологическим процессом сборки изделия; (2) минимизация стоимости

оборудования контроля и поверки; (3) согласование принятого ЛПП решения с его руководством.

Система управления ПКП обеспечивает наполнение базы данных информацией о состоянии ПКП на основе механизма обратной связи. Задача субъекта управления заключается в том, чтобы осуществлять такие управляющие воздействия (жирная линия на рис. 2), чтобы с учетом всей полученной информации обеспечить требуемое состояние объекта управления на основании целевых характеристик ПКП.

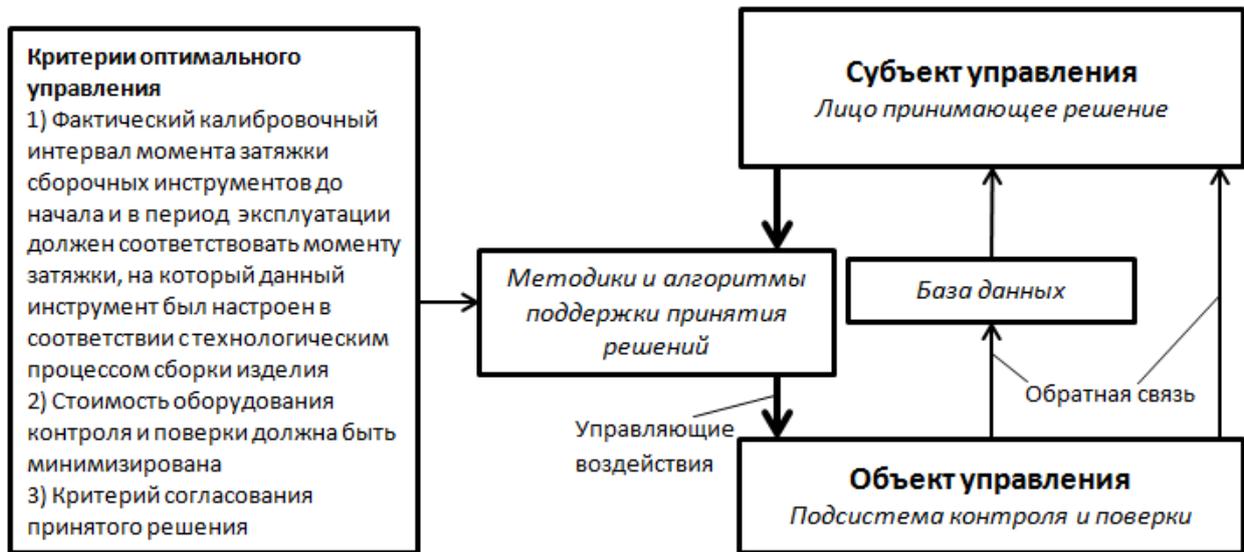


Рис. 2. Система управления подсистемой контроля и поверки

3. Система управления подсистемой запасных инструментов, приборов и приспособлений представлена на рис.3. Субъектом управления является руководитель соответствующего подразделения или иное ЛПП, обеспечивающее управление подсистемой запасных инструментов, приспособлений и запчастей на предприятии. Объектом управления является подсистема запасных инструментов, приспособлений и запчастей (ПЗИП).

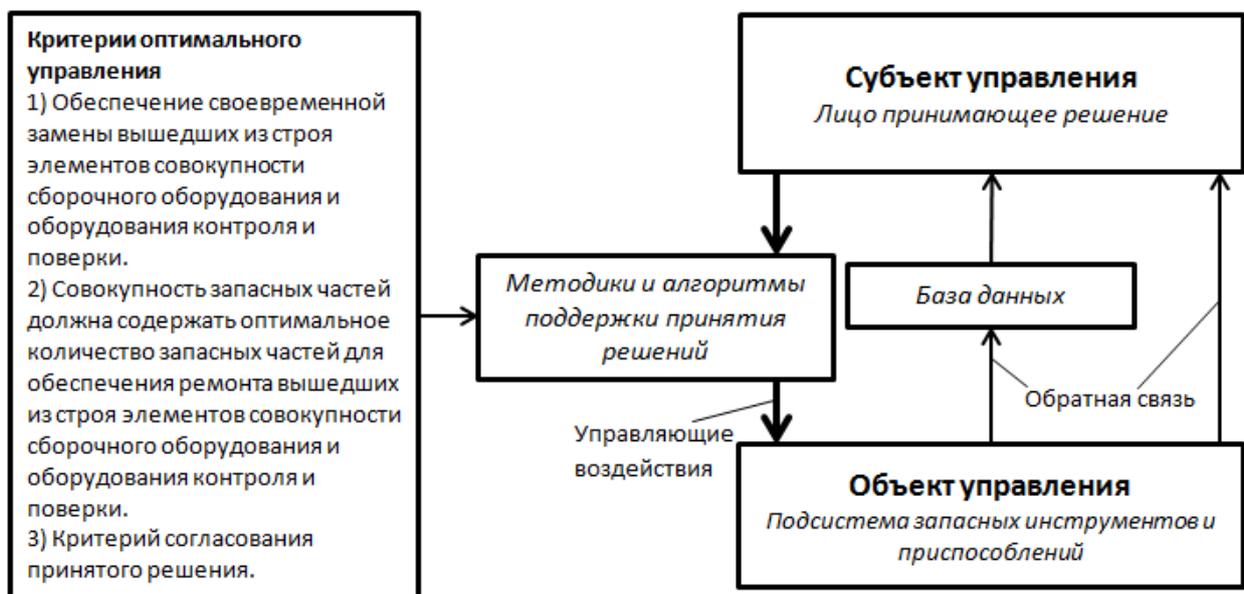


Рис. 3. Система управления подсистемой запасных инструментов, приспособлений и запчастей

Состояние объекта управления зависит от принятых ЛПР решений. Стратегия принятия ЛПР решений заключается в следующем: решения принимаются на основании анализа текущего состояния ПЗИП, анализа накопленной базы данных об отказах оборудования других предприятий автомобилестроительной корпорации.

Соответствующие методика и алгоритм оптимального управления ПЗИП обеспечивают поддержку принятия решений на основе следующих критериев оптимального управления: (1) обеспечение своевременной замены вышедших из строя элементов ССО и ОКП; (2) совокупность запасных частей должна содержать оптимальное количество запасных частей для обеспечения ремонта вышедших из строя элементов ССО и ОКП; (3) согласование принятого ЛПР решения с его руководством.

В процессе функционирования ПЗИП происходит наполнение базы данных информационной системы информацией о состоянии ПЗИП. Это основано на механизме обратной связи, реализованном в системе управления ПЗИП. Задача субъекта управления заключается в том, чтобы осуществлять такие управляющие воздействия (жирная линия на рис. 3), чтобы с учетом всей полученной информации обеспечить требуемое состояние объекта управления на основании целевых характеристик ПЗИП.

### Результаты и их обсуждение

Решение общей задачи управления организационно-технологической системы обеспечения механической сборки удовлетворяет решению всех частных задач управления подсистемами.

#### 1. Задача управления подсистемой сборочного оборудования (ПСО).

Задача управления ПСО состоит в определении такого вектора управляющего воздействия, который бы обеспечил достижение целевых характеристик совокупности сборочного оборудования, обеспечивающих стратегические ориентиры штаб-квартиры корпорации, которой принадлежит предприятие автомобилестроительного кластера. Стратегическими ориентирами является обеспечение выполнения плана по сборке изделий с требуемым качеством в условиях установленных штаб-квартирой финансовых ограничений.

Модель задачи управления ПСО:

$$УВ_{ПСО}^{ОПТИМ} = (X_{n,t}, X_{n,t+1}, \varepsilon), \quad (2)$$

где  $УВ_{ПСО}^{ОПТИМ}$  – вектор управляющего воздействия, обеспечивающих оптимальное управление подсистемой сборочного оборудования;  $X_{n,t}$  – характеристики совокупности сборочного оборудования до принятия  $УВ_{ПСО}^{ОПТИМ}$  в периоде  $t$ ,  $n$  – номер характеристики совокупности сборочного оборудования;  $X_{n,t+1}$  – характеристики совокупности сборочного оборудования после принятия  $УВ_{ПСО}^{ОПТИМ}$  в периоде  $(t+1)$ ;  $\varepsilon$  – ошибка обратной связи,  $\varepsilon = X_{t+1} - G_{ССО} \rightarrow 0$ , где  $G_{ССО}$  – целевое значение характеристики совокупности сборочного оборудования в соответствии со стратегическими ориентирами штаб-квартиры корпорации, которой принадлежит предприятие автомобилестроительного кластера.

Характеристики совокупности сборочного оборудования опишем множеством  $X = \{X_n | n = 1, 2, 3\}$ . Определим, что под характеристиками совокупности сборочного оборудования в данной работе понимается:  $X_1$  – совокупность настроенных моментов затяжки сборочного оборудования;  $X_2$  – стоимость сборочного оборудования;  $X_3$  – критерий согласования принятого решения.

Зададим, что целевые характеристики совокупности сборочного оборудования должны отвечать критериям оптимального управления:

(1)  $X_1^j \in W$  – настроенный момент затяжки  $j$ -го элемента совокупности сборочного оборудования, принадлежит совокупности  $W$  сборочных соединений изделий, собираемых на предприятии автомобилестроительного кластера;

$$(2) \quad X_2^i = \frac{C_i}{Z_i} \rightarrow \min - \text{приведенная стоимость сборочной операции } i\text{-ой модели}$$

инструмента из множества  $U_\xi$  возможных моделей сборочных инструментов для каждой  $\xi$ -й подгруппы оборудования должна быть минимизирована; где  $C_i$  – закупочная цена  $i$ -ой модели инструмента;  $Z_i$  – ресурс  $i$ -ой модели инструмента, выраженный в количестве затяжек за время эксплуатации.

(3)  $X_3^i \in [X_{3_{min}}^i; X_{3_{max}}^i]$  – критерий согласования принятого решения, т.е. заранее оговоренные штаб-квартирой пределы экономической стоимости решения – покупки  $i$ -ой модели инструмента; где  $X_3^i$  – закупочная цена  $i$ -ой модели инструмента;  $X_{3_{min}}^i$  – нижний предел стоимости  $i$ -ой модели инструмента,  $X_{3_{min}}^i = X_{3_{\text{среднемир}}}^i \cdot (1 - k)$ ;  $X_{3_{max}}^i$  – верхний предел стоимости  $i$ -ой модели инструмента,  $X_{3_{max}}^i = X_{3_{\text{среднемир}}}^i \cdot (1 + k)$ .

Отметим, что верхний и нижний пределы вводятся на основании данных о среднемировой закупочной цене  $i$ -ой модели инструмента  $X_{3_{\text{среднемир}}}^i$  с учетом  $k$  – параметра показывающего допустимое отклонение стоимости решения от среднемировой. Параметр  $k$  учитывает региональные особенности предприятия и определяется штаб-квартирой корпорации.

### 2. Задача управления подсистемой контроля и поверки (ПКП).

Задача управления ПКП состоит в достижении целевых характеристик совокупности оборудования контроля и поверки, обеспечивающих стратегические ориентиры штаб-квартиры корпорации, которой принадлежит предприятие автомобилестроительного кластера. Стратегическими ориентирами является обеспечение измерения моментов затяжки всех элементов совокупности сборочного оборудования и собранных соединений в условиях установленных штаб-квартирой финансовых ограничений. Модель задачи управления подсистемой сборочного оборудования представлена ниже:

$$\text{УВ}_{\text{ПКП}}^{\text{ОПТИМ}} = (Y_{g,t}, Y_{g,t+1}, \varepsilon), \quad (3)$$

где  $\text{УВ}_{\text{ПКП}}^{\text{ОПТИМ}}$  – вектор управленческих решений, обеспечивающих оптимальное управление ПКП;  $Y_{g,t}$  – характеристики совокупности оборудования контроля и поверки до принятия  $\text{УВ}_{\text{ПКП}}^{\text{ОПТИМ}}$  в периоде  $t$ ,  $g$  – номер характеристики оборудования контроля и поверки;  $Y_{g,t+1}$  – характеристики совокупности оборудования контроля и поверки после принятия  $\text{УВ}_{\text{ПКП}}^{\text{ОПТИМ}}$  в периоде  $(t + 1)$ ;  $\varepsilon$  – ошибка обратной связи,  $\varepsilon = Y_{t+1} - G_{\text{ОКП}} \rightarrow 0$ , где  $G_{\text{ОКП}}$  – целевое значение характеристики совокупности оборудования контроля и поверки в соответствии со стратегическими ориентирами штаб-квартиры корпорации, которой принадлежит предприятие автомобилестроительного кластера.

Целевые характеристики совокупности оборудования контроля и поверки опишем множеством  $Y = \{Y_g | g = 1, \dots, 4\}$ . Определим, что под характеристиками совокупности оборудования контроля и поверки в данной работе понимается:  $Y_1$  и  $Y_2$  – калибровочный интервал момента затяжки сборочного инструмента;  $Y_3$  – стоимость оборудования контроля и поверки;  $Y_4$  – критерий согласования принятого решения.

Зададим, что целевые характеристики совокупности оборудования контроля и поверки должны отвечать следующим критериям оптимального управления:

$$(1) \quad Y_{1,j}^{\text{ФАКТ\_ДО}} \in Y_{1,j}^{\text{ТЕХНОЛ}}, \text{ т.е. фактический калибровочный интервал момента затяжки } j\text{-го}$$

элемента совокупности сборочного оборудования до начала его эксплуатации должен соответствовать моменту затяжки, на который данный инструмент был настроен в соответствии с технологическим процессом сборки изделия.

$$(2) \quad Y_{2,j}^{\text{ФАКТ\_ЭКСП}} \in Y_{2,j}^{\text{ТЕХНОЛ}}, \text{ т.е. фактический калибровочный интервал момента затяжки } j\text{-го}$$

элемента совокупности сборочного оборудования в период эксплуатации должен соответствовать моменту затяжки, на который данный инструмент был настроен в соответствии с технологическим процессом сборки изделия.

(3)  $Y_{3-s} = \frac{C_s}{Z_s} \rightarrow \min$  – приведенная стоимость операции контроля и поверки, осуществляемой  $s$ -ой модели инструмента из множества  $R_\varphi$  возможных моделей оборудования контроля и поверки для каждой  $\varphi$ -ой подгруппы оборудования контроля и поверки, должна быть минимизирована; где  $C_s$  – закупочная цена  $s$ -ой модели инструмента контроля и поверки;  $Z_i$  – ресурс  $s$ -ой модели инструмента, выраженный в количестве затяжек за время эксплуатации.

(4)  $Y_4^s \in [Y_{4\_min}^s; Y_{4\_max}^s]$  – критерий согласования принятого решения, т.е. заранее оговоренные штаб-квартирой пределы экономической стоимости решения – покупки  $s$ -ой модели оборудования контроля и поверки; где  $Y_4^s$  – закупочная цена  $s$ -ой модели оборудования контроля и поверки;  $Y_{4\_min}^s$  – нижний предел стоимости  $s$ -ой модели оборудования контроля и поверки,  $Y_{4\_min}^s = X_{4\_среднемир}^s \cdot (1 - k)$ ;  $Y_{4\_max}^s$  – верхний предел стоимости  $i$ -ой модели оборудования контроля и поверки,  $Y_{4\_max}^s = X_{4\_среднемир}^s \cdot (1 + k)$ .

3. *Задача управления подсистемой запасных инструментов, приборов и приспособлений (ПЗИП).*

Задача управления подсистемой запасных инструментов, приборов и приспособлений (ПЗИП) состоит в достижении целевых характеристик совокупности запасных инструментов и приборов, обеспечивающих стратегические ориентиры штаб-квартиры корпорации, которой принадлежит предприятие автомобилестроительного кластера. Стратегическим ориентиром является обеспечение бесперебойного конвейерного производства. Модель задачи управления ПЗИП представлена ниже:

$$УВ_{ПЗИП}^{ОПТИМ} = (Z_{f\_t}, Z_{f\_t+1}, \varepsilon), \quad (4)$$

где  $УВ_{ПЗИП}^{ОПТИМ}$  – вектор управленческих решений, обеспечивающих оптимальное управление подсистемой контроля и поверки;  $Z_{f\_t}$  – характеристики совокупности запасных инструментов, приспособлений и запчастей до принятия  $УВ_{ПЗИП}^{ОПТИМ}$  в периоде  $t$ ,  $f$  – номер характеристики совокупности запасных инструментов, приспособлений и запчастей;  $Z_{f\_t+1}$  – характеристики совокупности запасных инструментов, приспособлений и запчастей после принятия  $УВ_{ПЗИП}^{ОПТИМ}$  в периоде  $(t+1)$ ;  $\varepsilon$  – ошибка обратной связи,  $\varepsilon = Z_{t+1} - G_{ПЗИП} \rightarrow 0$ , где  $G_{ПЗИП}$  – целевое значение характеристики совокупности запасных инструментов, приспособлений и запчастей в соответствии со стратегическими ориентирами штаб-квартиры корпорации, которой принадлежит предприятие автомобилестроительного кластера.

Целевые характеристики совокупности сборочного оборудования опишем множеством  $Z = \{Z_f | f = 1, 2, 3\}$ . Определим, что под характеристиками совокупности запасных инструментов и приспособлений в данной работе понимается:

1.  $Z_1$  – множество элементов, формирующих подменный фонд сборочных инструментов и приспособлений с целью предотвращения простоя, на случай выхода из строя инструмента или приспособления, работающего в производстве;
2.  $Z_2$  – множество запасных частей для осуществления ремонта сборочного инструмента, вышедшего из строя, в случае, если ремонт осуществляется в ремонтной службе, находящейся на территории предприятия.
3.  $Z_3$  – критерий согласования принятого решения.

Зададим, что целевые характеристики совокупности сборочного оборудования должны отвечать критериям оптимального управления:

(1)  $Z_1 = l_1 \cdot \sum_{i=1}^e m_i + l_2 \cdot \sum_{\varphi=1}^w \sum_{s=1}^q b_s$  – совокупность запасного оборудования (инструментов, приборов и приспособлений) должна содержать оптимальное количество элементов, обеспечивая своевременную замену вышедших из строя  $i$ -ых элементов совокупности сборочного оборудования и  $s$ -ых элементов совокупности оборудования контроля и поверки; где  $l_1, l_2$  – поправочные коэффициенты, обеспечивающие оптимальное

для конкретного автомобилестроительного производства количество соответственно для сборочного оборудования и оборудования контроля и поверки;  $m_i$  – количество  $i$ -ых элементов совокупности сборочного оборудования,  $i = 1, \dots, e, e \in N$ ;  $b_s$  – количество  $s$ -ых элементов для каждой  $\varphi$ -ой подгруппы оборудования контроля и поверки,  $s = 1, \dots, c$ ;  $\varphi = 1, \dots, \vartheta$ ;  $\vartheta, c \in N$ .

(2)  $Z_2 = l_3 \cdot \sum_{i=1}^e \alpha_i + l_4 \cdot \sum_{\varphi=1}^w \sum_{s=1}^q \beta_s$  – совокупность запасных частей инструментов, приборов и приспособлений должна содержать оптимальное количество запасных частей, обеспечивая ремонт вышедших из строя элементов совокупности сборочного оборудования и совокупности оборудования контроля и поверки; где  $l_3, l_4$  – поправочные коэффициенты, обеспечивающие оптимальное для конкретного автомобилестроительного производства количество запасных частей соответственно для сборочного оборудования и оборудования контроля и поверки;  $\alpha_i$  – количество запасных частей для  $i$ -ых элементов совокупности сборочного оборудования;  $\beta_s$  – количество запасных частей для  $s$ -ых элементов для каждой  $\varphi$ -ой подгруппы оборудования контроля и поверки.

(3)  $Z_3 = \{Z_3^s; Z_3^\alpha; Z_3^\beta\}$  – набор критериев согласования принятого решения;

(3.1)  $Z_3^s \in [Z_{3\_min}^s; Z_{3\_max}^s]$  – критерий согласования принятого решения, т.е. заранее оговоренные штаб-квартирой пределы экономической стоимости решения – покупки  $s$ -ой модели запасного оборудования контроля и поверки; где  $Z_3^s$  – закупочная цена  $s$ -ой модели запасного оборудования контроля и поверки;  $Z_{3\_min}^s$  – нижний предел стоимости  $s$ -ой модели запасного оборудования контроля и поверки,  $Z_{3\_min}^s = Z_{3\_среднемир}^s \cdot (1 - k)$ ;  $Z_{3\_max}^s$  – верхний предел стоимости  $s$ -ой модели запасного оборудования контроля и поверки,  $Z_{3\_max}^s = Z_{3\_среднемир}^s \cdot (1 + k)$ .

(3.2)  $Z_3^\alpha \in [Z_{3\_min}^\alpha; Z_{3\_max}^\alpha]$  – критерий согласования принятого решения, т.е. заранее оговоренные штаб-квартирой пределы экономической стоимости решения – покупки  $\alpha$  единиц запасных частей для  $i$ -ых элементов совокупности сборочного оборудования; где  $Z_3^\alpha$  – усредненная закупочная цена запасных частей для  $i$ -ого элемента совокупности сборочного оборудования;  $Z_{3\_min}^\alpha$  – нижний предел стоимости запасных частей для  $i$ -ого элемента совокупности сборочного оборудования;  $Z_{3\_min}^\alpha = Z_{3\_среднемир}^\alpha \cdot (1 - k)$ ;  $Z_{3\_max}^\alpha$  – верхний предел стоимости  $i$ -ой модели запасного оборудования контроля и поверки,  $Z_{3\_max}^\alpha = Z_{3\_среднемир}^\alpha \cdot (1 + k)$ .

(3.3)  $Z_3^\beta \in [Z_{3\_min}^\beta; Z_{3\_max}^\beta]$  – критерий согласования принятого решения, т.е. заранее оговоренные штаб-квартирой пределы экономической стоимости решения – покупки  $\beta$  единиц запасных частей для  $s$ -ых элементов для каждой  $\varphi$ -ой подгруппы оборудования контроля и поверки; где  $Z_3^\beta$  – усредненная закупочная цена запасных частей для  $s$ -ых элементов для каждой  $\varphi$ -ой подгруппы оборудования контроля и поверки;  $Z_{3\_min}^\beta$  – нижний предел стоимости запасных частей для  $s$ -ых элементов для каждой  $\varphi$ -ой подгруппы оборудования контроля и поверки;  $Z_{3\_min}^\beta = Z_{3\_среднемир}^\beta \cdot (1 - k)$ ;  $Z_{3\_max}^\beta$  – верхний предел стоимости запасных частей для  $s$ -ых элементов для каждой  $\varphi$ -ой подгруппы оборудования контроля и поверки,  $Z_{3\_max}^\beta = Z_{3\_среднемир}^\beta \cdot (1 + k)$ .

### Заключение

Применяемая на предприятиях автомобилестроительного кластера система обеспечения механической сборки на основе резьбовых соединений представляет собой сложную систему, состоящую из подсистемы сборочного оборудования, подсистемы контроля и поверки, подсистемы запасных инструментов, приборов и запчастей. Формализация всех подсистем рассматривалась в работе с позиции теории управления, что

позволило определить субъект, объект управления, особенности процесса принятия решения и перейти к постановке задачи управления. Решение частных задач управления подсистемами организационно-технологической системы обеспечения механической сборки обеспечивает решение общей задачи управления СОМС.

**Список литературы:**

1. **Ламин И.И.** Оптимизация структуры парка и параметров сборочного оборудования автомобильного производства / И.И. Ламин // Известия МГТУ «МАМИ». – № 2(6). – 2008. – С.279 – 287.
2. **Аббясов, В.М.** Задачи выбора компоновки роботизированного технологического комплекса / В.М. Аббясов, И.В. Бухтеева, О.Б. Бавыкин // Инженерный вестник Дона, №1 (2015). – Режим доступа: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2756](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2756)
3. **Новиков, Д.А.** Теория управления организационными системами. 3-е издание / Д.А. Новиков. Москва: Издательство физико-математической литературы, 2012. – 604 с.
4. **Вороненко, В.П.** Проектирование машиностроительного производства [Электронный ресурс] / В. П. Вороненко, М. С. Чепчуров, А. Г. Схиртладзе. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 416 с.
5. **Шабанов, А.А.** Разработка методики рационального выбора структуры и состава запаса сборочных инструментов и приспособлений для системы обеспечения механической сборки / А.А. Шабанов // Вопросы радиоэлектроники. Серия общетехническая (ОТ). Выпуск 6. – Москва: АО «ЦНИИ Электроника», 2015. – С. 115 –124.
6. **Шабанов, А.А.** Алгоритм эффективного управления составом подсистемы контроля и поверки / А.А. Шабанов // Труды XXXIV Всероссийской НТК «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем». – Филиал военной академии РВСН им. Петра Великого, Серпухов, 2015. – Сб. 5. – С. 222 – 226.

**References:**

1. Lamin I.I. Optimization of the structure and parameters of the assembly equipment stock in automobile production, I.I. Lamin. Izvestiya MSTU "MAMI", no. 2(6). – 2008, pp.279 - 287.
2. Abbyasov, V.M. Problems of choosing the construction arrangement of a robotic technological complex, V.M. Abbyasov, I.V. Bukhteeva, O.B. Bavykin. Engineering Bulletin of Don, no. 1 (2015), available at: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2756](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2756)
3. Novikov, D.A. Theory of management of organizational systems, 3rd edition, D.A. Novikov. Moscow: Publ. House Physico-matematicheskoy literaturi, 2012, 604 p.
4. Voronenko, V.P. Designing machine-building production [available at:], V. P. Voronenko, M. S. Chepchurov, A. G. Skhirtladze. - 2nd ed., ster., St. Petersburg: Lan', 2019, 416 p.
5. Shabanov, A.A. Development of a methodology for rational selection of the structure and composition of the stock of assembly tools and devices for the mechanical assembly support system / A.A. Shabanov // Questions of radio electronics. The series is General engineering (GE), issue 6, Moscow: AO "TSNII Electronica", 2015, pp. 115-124.
6. Shabanov, A.A. Algorithm of effective control of the the subsystem of controlling and testing, A.A. Shabanov [Proc. of the XXXIV All-Russian STC "Problems of efficiency and safety of functioning of complex technical and information systems"], Branch of the Military Academy of the RSMF named after Peter the Great, Serpukhov, 2015, no. 5, pp. 222-226.

*Статья поступила в редколлегию 08.10.2021*

*Рецензент: канд. техн. наук, доц. Брянский государственный технический университет  
Медведев Д.М.*

*Статья принята к публикации 18.10.2021*

**Сведения об авторах**

**Шабанов Алексей Александрович**

соискатель кафедры «Компьютерные технологии и системы» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет», АО «Московское производственное объединение «Металлист»  
E-mail: [aashabanov86@mail.ru](mailto:aashabanov86@mail.ru)

**Аверченкова Елена Эдуардовна**

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Цифровая экономика» ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»  
E-mail: [lena\\_ki@inbox.ru](mailto:lena_ki@inbox.ru),  
ORCID 0000-0003-2098-6156

**Information about authors:**

**Shabanov A.A.**

Candidate of the Department "Computer Technologies and Systems" Bryansk State Technical University, JSC "Moscow Production Association "Metalist"  
E-mail: [aashabanov86@mail.ru](mailto:aashabanov86@mail.ru)

**Averchenkova E.E.**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Assistant Professor of the Department of Digital Economics, Bryansk State Technical University  
E-mail: [lena\\_ki@inbox.ru](mailto:lena_ki@inbox.ru),  
ORCID 0000-0003-2098-6156