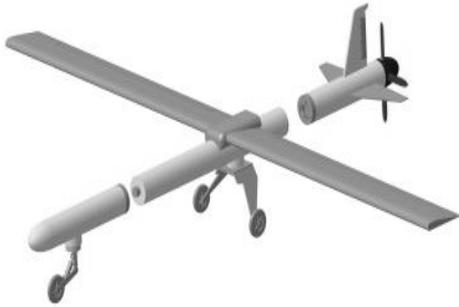


Пример элементарной компоновки МБЛА представлен на рисунке 7. В данном примере использованы два однотипных модуля с замковыми соединениями: к первому модулю присоединены крылья и шасси, ко второму – хвост, хвост, лопасти. Также второй модуль несет в себе двигатель. Носовая часть МБЛА в данной схеме представляет собой уникальный модуль с возможностью соединения со стандартными модулями за счет унифицированного с ними замкового соединения.

Предлагаемый подход к конструкции МБЛА дает возможность изменения геометрии базовой части самолета: изменение габаритов фюзеляжа, количества и размеров крыльев, количество и мощности двигателей с возможностью установки и крепления их в различных местах корпуса, как это продемонстрировано на рисунке 8.

а)



б)

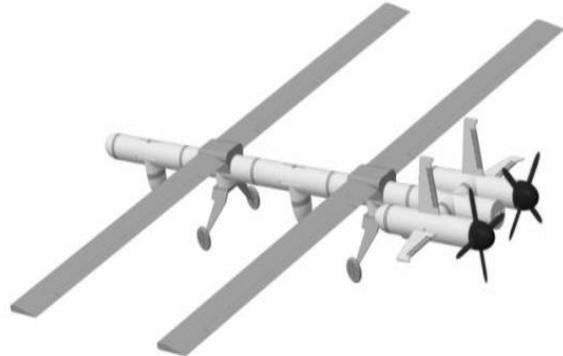


**Рисунок 8** – Беспилотный летательный аппарат:  
а) модули разъединены, б) собранный МБЛА

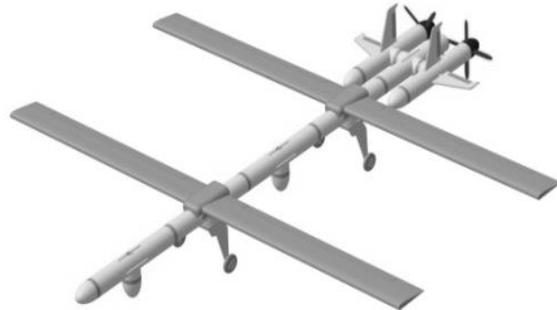
Данная конструкция позволяет в полевых условиях производить ремонт аппарата, заменяя в нем поврежденные модули; позволяет оперативно вводить в строй аппарат при разрядке батареи или выработке топлива путем замены модуля с соответствующими элементами; позволяет перенастраивать аппарат на решение различных задач, расширять диапазон функций при докупке модулей с необходимым оборудованием и заменой модуля с неиспользуемым оборудованием или установкой дополнительного модуля с необходимым в данный момент оборудованием.

**Заключение.** Таким образом, предложена модульная конструкция БЛА, позволяющая производить сборку аппарата любого функционального назначения из однотипных модулей с различным оборудованием. Предложена концепция создания модулей, их формы и способа соединения, позволяющая оперативно производить замену модулей.

а)



б)



**Рисунок 9** – Модульный БЛА в усложненной конфигурации

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мировой рынок беспилотников. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://vpk-news.ru/articles/18914> – Дата доступа : 02.11.2015.
2. Израильские беспилотники. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://ilgid.ru/science/bpla.html> – Дата доступа : 10.09.2015.
3. Малогабаритная беспилотная авиационная система. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.freepatent.ru/patents/2473455> – Дата доступа : 10.09.2015.
4. Россия создаст модульные беспилотники. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://topwar.ru/18504-rossiya-sozdast-modulnye-besplotniki.html> – Дата доступа : 10.09.2015
5. Агропрактик. Беспилотники. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://agropraktik.ru/blog/469.html> – Дата доступа : 10.09.2015.

08.10.2019

#### **OSTRIKOV O. M., RYUMTSEV A. A. A new method of using the principles of modularity in the design of unmanned aerial vehicles**

A modular design of an unmanned aerial vehicle has been proposed, allowing the assembly of any functional apparatus from similar modules with different equipment. The concept of creating modules, their form and method of connection, which allows for prompt replacement of modules, is proposed.

621.91.002

**Состояние вопроса, цель и задачи исследования.** Точность большинства изделий машиностроения и приборостроения является

важнейшей характеристикой их качества. Точность изготовления машины характеризуется степенью приближения действительных значе-

**Медведев Олег Анатольевич**, к. т. н., доцент кафедры машиностроения и эксплуатации автомобилей Брестского государственного технического университета.

Беларусь, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

ний параметров качества к требуемым значениям. Современные мощные и высокоскоростные машины не могут функционировать при недостаточной точности их изготовления в связи с возникновением дополнительных динамических нагрузок и вибраций, нарушающих нормальную работу машин и вызывающих их разрушение. Повышение точности изготовления деталей и сборки узлов увеличивает долговечность и надежность эксплуатации механизмов и машин. Долговечные изделия экономичнее в эксплуатации. Поэтому требования к точности изготовления деталей машин постоянно повышаются.

Точность детали характеризуется уровнем отклонений ее размеров, формы и взаимного расположения поверхностей от их идеальных значений, указанных на чертеже. Разность верхнего и нижнего предельно допустимого отклонения геометрического параметра детали называют его нормированным допуском. Фактическая точность одного экземпляра детали характеризуется действительными отклонениями ее геометрических параметров. Фактическая точность изготовления партии деталей характеризуется полями рассеяния ее геометрических параметров (технологическими допусками).

Оценка приемлемости разработанной технологии мехобработки для обеспечения заданной точности размеров детали выполняется путем выявления и решения технологических размерных цепей. Методики выявления и расчета линейных технологических размерных цепей достаточно подробно описаны в учебной и специальной технической литературе [1, 2]. Однако для угловых размерных цепей подобные методики отсутствуют, несмотря на ряд объективных факторов, определяющих их важность:

- в большинстве случаев требуемый уровень точности размеров, определяющих угловые положения поверхностей деталей и сборочных единиц (отклонение от перпендикулярности, параллельности, наклона поверхностей, торцевого биения и др.) значительно выше уровня точности линейных размеров, связывающих указанные поверхности. В соответствии с ГОСТ 24643-81, допуски формы и расположения не должны превышать определенной доли допуска соответствующего линейного размера (от 25 до 60%);
- для достижения высокой точности угловых замыкающих размеров при сборке технически затруднительно использовать методы пригонки, регулирования, селективной сборки. Эта точность обычно достигается методами полной и неполной взаимозаменяемости, что предполагает достаточно высокую точность получения угловых размеров при изготовлении деталей;
- точность углового положения поверхностей деталей при механической обработке так же обеспечивается методами полной и неполной взаимозаменяемости и зависит от точности угловых положений элементов станков, приспособлений, инструментов, так как на большинстве металлорежущих станков отсутствуют механизмы точной регулировки угловых положений рабочих органов, что делает невозможной корректировку получаемых угловых размеров детали.

Таким образом, усовершенствование методики оценки приемлемости техпроцессов с учетом специфики угловых размерных связей, возникающих между размерами получаемых деталей, является актуальной задачей.

**Методика теоретического исследования.** В технологической детальной цепи исходным звеном может быть размер детали, величина и допуск которого заданы в конструкторской документации и должны быть обеспечены при мехобработке, или припуск, удаляемый при выполнении технологического перехода.

В качестве исходного звена технологической детальной размерной цепи, используемой для оценки приемлемости техпроцесса мехобработки для достижения требуемой точности детали, обычно принимается чертежный размер детали, формируемый без смещения его измерительной базы (одной из двух его границ) с технологической базой.

Замкнутость размерной цепи обусловлена тем, что величина исходного звена является разностью координат двух его границ, заданных от начала одной и той же системы координат, принятой для установления позиционных связей элементов детали. Начало системы координат обычно принимается на пересечении технологиче-

ских баз заготовки, так как они контактируют с опорами станочного приспособления и занимают неизменное положение у всех заготовок партии, обрабатываемой на настроенном станке. Если любая из двух границ исходного звена по ходу обработки получает ориентацию в принятой системе координат опосредствованно через несколько промежуточных элементов заготовки, то координата этой границы будет равна алгебраической сумме размеров между этими элементами. Таким образом, выявление размерной цепи, отражающей реальные размерные связи между формируемыми при мехобработке элементами детали, невозможно без тщательного выяснения базирования детали и ориентации режущего инструмента при размерной настройке станка.

При проектировании техпроцессов мехобработки в ряде случаев возникает потребность отступить от принципа совмещения технологической базы с измерительной базой чертежного размера детали. Обычно это делают, чтобы упростить конструкцию станочного приспособления, снизить трудоемкость установки заготовки в приспособлении, повысить уровень концентрации технологических переходов в операции, обеспечив доступ инструментов к измерительным базам выдерживаемых размеров. Рассмотрим размерные связи, возникающие в таком случае в течении техпроцесса мехобработки между элементами детали, являющимися границами чертежного размера.

Перед выполнением технологической операции мехобработки партии заготовок (полуфабрикатов) положение режущего инструмента задают размером от опорных элементов приспособления до требуемого положения обрабатываемой поверхности во время размерной настройки станка. Эти опорные элементы занимают стабильное положение независимо от размеров обрабатываемой заготовки. Положение чистовых баз полуфабрикатов, контактирующих с этими элементами, так же стабильно (если погрешности формы баз пренебрежимо малы) и принимается за начало координат для отсчета менее стабильных положений других поверхностей (в том числе и обработанных при данном базировании). Поэтому значение чертежного размера будет функцией (алгебраической суммой) двух размеров (координат), определяющих положение его границ от технологической базы, ориентирующей заготовку в направлении чертежного размера. Схематично эту функциональную зависимость можно представить в виде трехзвенной размерной цепи, в которой чертежный размер детали в ходе выполнения технологической операции получается последним и поэтому является замыкающим звеном. Размер между технологической базой и обрабатываемой поверхностью (на который настраивается инструмент) и размер между технологической и измерительной базами формируются раньше замыкающего, независимо друг от друга, и поэтому являются составляющими звеньями.

Поле рассеяния (технологический допуск) размера между технологической базой и обрабатываемой поверхностью является погрешностью технологической системы станка, используемого для обработки. Эта погрешность равна сумме элементарных погрешностей возникающих при обработке партии деталей на данном станке. К ним относятся: геометрическая погрешность изготовления станка, инструмента, приспособления; погрешность теоретической схемы обработки; погрешность, вызванная силовыми деформациями элементов технологической системы; погрешность, вызванная тепловыми деформациями элементов технологической системы; погрешность, вызванная износом инструмента; погрешность размерной настройки инструмента; погрешность базирования, вызванная неточностью формы и шероховатостью технологической базы; погрешность закрепления заготовки. Поле рассеяния (технологический допуск) размера между технологической и измерительной базами является погрешностью схемы базирования. Она возникает, если технологическая база не совмещена с измерительной базой формируемого чертежного размера.

В тех случаях, когда технологическая база плотно не контактирует с опорным элементом приспособления, ее положение не стабильно. Поэтому в размерную цепь следует добавить составляющее звено, связывающее положение технологической базы относительно опорного элемента приспособления. Поле рассеивания этого звена является погрешностью базирования, вызванной неточностью размера или формы технологической базы.

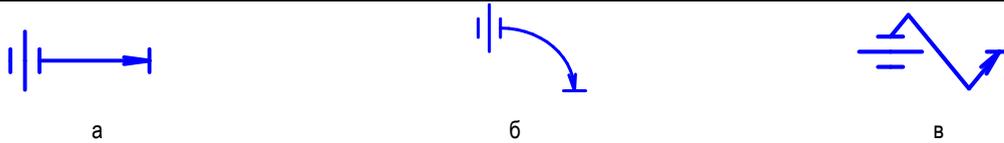


Рисунок 1 – Изображения угловых размеров: а – параллельности; б – перпендикулярности, в – соосности

Если в выявленной трехзвенной цепи составляющий размер, заключенный между измерительной и технологической базой, формируется на одном из предшествующих переходов (операций) без совмещения баз, то он сам является функцией двух размеров, выявляемых аналогично, но для условий этого предшествующего перехода. Такой размер в первой трехзвенной цепи следует заменить двумя его слагаемыми из второй размерной цепи, и первая трехзвенная цепь преобразуется в четырехзвенную цепь. Продвигаясь, таким образом, к началу техпроцесса, добавляем в предыдущую цепь новые составляющие звенья, пока не дойдем до операции (перехода), на которой последний выявленный составляющий размер формируется при совмещении его измерительной базы с технологической базой. Этот размер не зависит от других размеров, следовательно, других составляющих звеньев в цепи не будет. Таким образом, можно выявить все составляющие размеры, от которых в данном техпроцессе зависит чертежный размер детали.

Для наглядности схемы детальных технологических размерных цепей рекомендуется изображать на операционных эскизах мехобработки, совмещая границы звеньев с изображением элементов детали, между которыми эти звенья заключены.

Технологические детальные размерные цепи могут включать довольно большое число составляющих звеньев, если техпроцесс выполняется с отступлением от принципа постоянства технологических баз. Этот принцип предполагает использование одного комплекта технологических баз при обработке большинства поверхностей детали. Всякая смена технологических баз увеличивает погрешность взаимного расположения поверхностей, обработанных от разных баз на величину погрешности положения этих баз друг от друга. Но во многих случаях приходится отступать от этого принципа с целью обеспечения доступа инструмента к обрабатываемым поверхностям детали и упрощения технологической оснастки.

Несмотря на то, что основные положения теории линейных размерных цепей приемлемы и для угловых размерных цепей, расчеты последних не находят широкого применения в практике проектирования машин и техпроцессов. Это объясняется трудностями выявления, восприятия и изображения схем угловых размерных цепей, своеобразием построения системы допусков угловых размеров и отсутствием методики расчетов таких цепей, пригодной для практики.

При выявлении и решении угловых детальных размерных цепей приходится учитывать следующие основные особенности.

Для угловых размеров между номинально перпендикулярными, параллельными, соосными геометрическими элементами приходится применять специфические изображения (рисунок 1), так как обычные изображения неудобны для углов с данными номиналами:

При изображении схем угловых размерных цепей для лучшего восприятия входящих в них размеров часто приходится изображать границы этих размеров повернутыми от номинального положения (например, изображения осей номинально соосных цилиндров).

Технологические угловые размеры следует отсчитывать только от тех технологических баз полуфабриката, которые ориентируют его по угловым координатным направлениям. К таким базам относятся направляющие, двойные направляющие и установочные технологические базы.

При расчетах взаимосвязанных допусков и предельных отклонений угловых размеров методом максимума-минимума или теоретико-вероятностным методом значения угловых допусков в мкм/мм необходимо привести к единой базовой длине (например, 100 мм).

При наличии в угловых цепях составляющих звеньев в виде отклонений от параллельности, перпендикулярности, соосности все они должны считаться либо увеличивающими звеньями, либо уменьшающими звеньями. Такая цепь отражает худшее сочетание указанных звеньев по влиянию на замыкающее звено.

Поясним рассмотренные особенности выявления технологических размерных цепей на примере технологии сверления двух перпендикулярных отверстий в призме прямоугольного сечения. При этом следует выдержать допуск перпендикулярности осей этих отверстий (см. рисунок 2).

Рассмотрим два возможных варианта технологии сверления указанных отверстий и выявим для каждого из них угловые размерные цепи, в которых отклонение от перпендикулярности  $\alpha_d$  является исходным звеном.

В первом варианте технологии на вертикально-сверлильной операции 05 базирuem призму в координатный угол с прижимом справа к установочной базе и сверлим длинное отверстие. На вертикально-сверлильной операции 10 базирuem призму по тем же базам, но прижимаем ее сверху к установочной базе и сверлим короткое отверстие. Перпендикулярность отверстий окончательно формируется на операции 10 без соблюдения совмещения баз, так как призма не базирует по оси длинного отверстия (измерительная база). Технологической базой, ориентирующей призму в направлении отсчета перпендикулярности (по повороту вокруг координатной оси Y) является нижняя плоскость. Тогда перпендикулярность  $\alpha_d$  является функцией двух угловых размеров  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , связывающих ее границы с указанной технологической базой. Технологический допуск угла  $\alpha_d$  является погрешностью схемы базирования на второй операции. На первой операции  $\alpha_d$  выдерживается при совмещении баз, поэтому других составляющих звеньев в размерной цепи не будет.

Во втором варианте технологии, чтобы использовать одинаковые приспособления на обеих вертикально-сверлильных операциях (с прижимом сверху к нижней установочной базе), изменим установочную базу на операции 05. Операция 10 останется неизменной, и на ней сформируется угловая размерная цепь, аналогичная ранее составленной. Однако параллельность  $\alpha_2$  на операции 05 второго варианта технологии формируется без совмещения баз и является замыкающим звеном, зависящим от двух перпендикулярностей  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Размерами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  заменяем угол  $\alpha_2$  в размерной цепи для исходного звена. Если углы  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  сформированы при совмещении баз, то других составляющих звеньев не будет.

Проанализировав построенные логическим путем угловые размерные цепи, можно сделать вывод о том, что второй вариант технологии уступает по точности получаемой перпендикулярности осей отверстий первому варианту, так как она будет определяться как сумма угловых допусков трех размеров ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ). В первом варианте технологии перпендикулярность осей отверстий будет определяться как сумма угловых допусков только двух размеров ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ).

При большом числе операций в техпроцессе изготовления сложных деталей и несовпадении размеров детали с технологическими размерами, выявление большого числа длинных размерных цепей логическим способом, требует больших затрат времени. Сократить трудоемкость выявления технологических размерных цепей и формализовать эту работу можно путем формализованного построения графов размерных связей техпроцесса, с помощью которых можно представить эти связи в наглядной и компактной форме [1, 2]. Такой граф является моделью размерных связей в отдельном координатном направлении, представленной парой структурированных множеств: 1) множество объектов детали, объектов полуфабрикатов и заготовки (вершины графа); 2) множество размеров между этими объектами, формирующихся в ходе мехобработки и при получении заготовки (ребра графа). Схематично граф принято изображать плоской фигурой состоящей из конечного числа пронумерованных окружностей (символизируют вершины) и линий с обозначениями размеров между объектами (символизируют ребра). Для тщательного выявления и нумерации всех объектов (вершин графа),

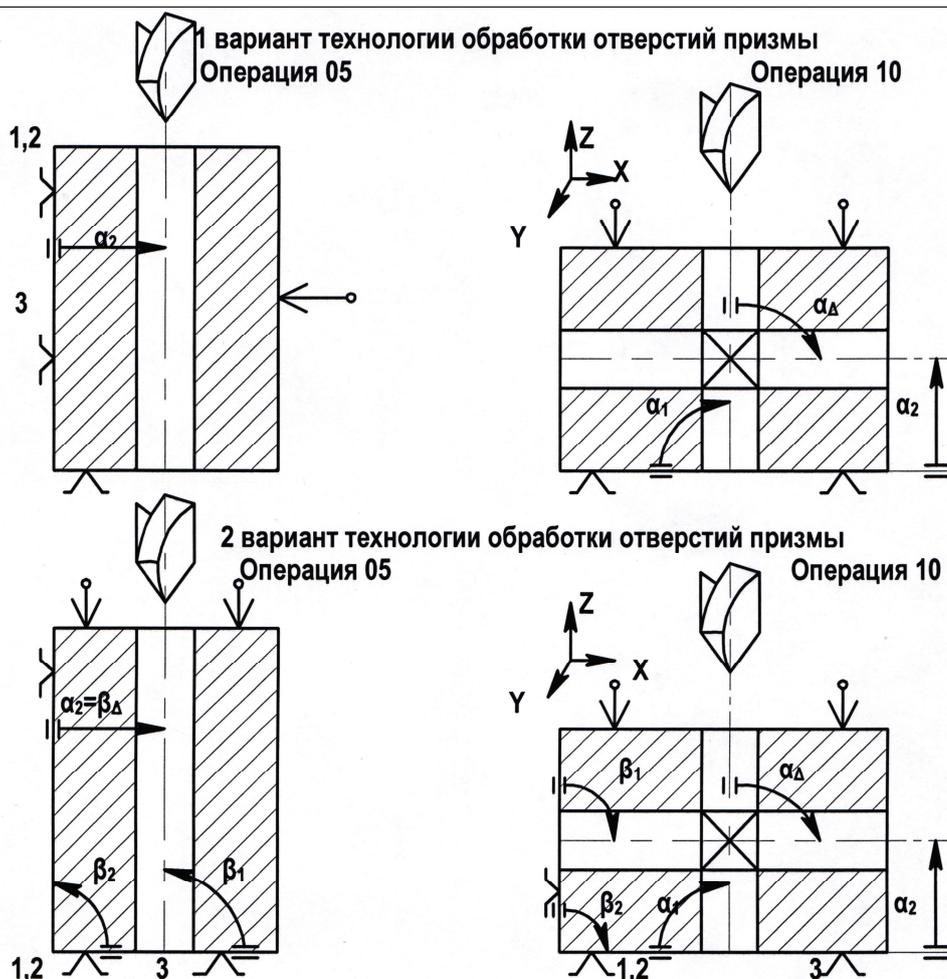


Рисунок 2 – Выявление размерных цепей для исходного размера

при двух вариантах технологии сверления отверстий призмы

формируемых на всех стадиях обработки и способных служить границами размеров в принятом координатном направлении, целесообразно выполнить совмещенный эскиз детали, заготовки и промежуточных полуфабрикатов. Число видов (проекций) на эскизе должно быть достаточно для изображения всех объектов и уяснения их положения. На эскизе объекты нумеруют по порядку их расположения в принятом для анализа направлении. Для одного координатного направления надо составить исходный и технологический графы.

На исходном графе все пронумерованные вершины соединяют рёбрами, соответствующими исходным размерам (размерам детали, припускам, смещениям осей поверхностей). На технологическом графе эти же вершины соединяют рёбрами, соответствующими технологическим размерам (размеры между технологическими базами и обрабатываемыми поверхностями, размеры полуфабриката, копируемые с инструмента, размеры, получаемые как приращения координаты инструмента при обработке на станках с ЧПУ) и размерам чертежа заготовки. На исходном и технологическом графе не должно быть оторванных вершин (или групп вершин) и замкнутых контуров, состоящих из вершин и рёбер. Их наличие свидетельствует о неправильном построении графа.

При совмещении исходного и технологического графов образуются замкнутые контуры из вершин и рёбер. Каждый кратчайший замкнутый контур совмещенного графа соответствует технологической размерной цепи и используется для составления уравнения взаимосвязи номиналов ее звеньев. В левой части уравнения записывается обозначение исходного ребра со знаком «+». В правой части записываются обозначения рёбер технологического графа в той последовательности, в которой они встречаются при обходе контура от границы исходного ребра с меньшим номером до его границы с большим номером. Обозначение технологического ребра записывают со знаком «+», если обход по нему

происходит от вершины с меньшим номером к вершине с большим номером, и со знаком «-», если наоборот. После обхода всех кратчайших замкнутых контуров получается система линейных алгебраических уравнений (число уравнений должно быть равно числу рёбер на исходном графе), представляющая математическую модель всех размерных связей техпроцесса по данному координатному направлению. В дополнение к каждому уравнению системы составляют уравнение или неравенства взаимосвязи допусков рёбер и два уравнения или неравенства взаимосвязи предельных значений рёбер, традиционно используемые при решении размерных цепей методом максимума-минимума [1]. Все составленные уравнения решаются совместно методом подстановки в таком порядке, чтобы в каждом решаемом уравнении оставался лишь один неизвестный параметр. К заранее известным параметрам уравнений размерных цепей относятся: размеры детали и их допуски (из чертежа детали); допуски размеров, формы и расположения поверхностей заготовки (из стандартов); допуски технологических размеров (из расчёта суммарной погрешности обработки или из таблиц средней экономической точности обработки). При определении допуска технологического размера, получаемого от черновой технологической базы, к табличному допуску следует добавить погрешность формы технологической базы. Расчёт уравнений размерных цепей целесообразно начинать с оценки приемлемости техпроцесса для достижения требуемой точности детали с помощью уравнения (неравенства) взаимосвязи допусков. Если они выдерживаются, то техпроцесс приемлем, и можно приступать к определению неизвестных параметров размерных цепей (технологических размеров, припусков, размеров заготовки). В противном случае необходимо изменить схемы базирования (соблюдать принцип совмещения баз), применять более точные методы обработки и оборудование.

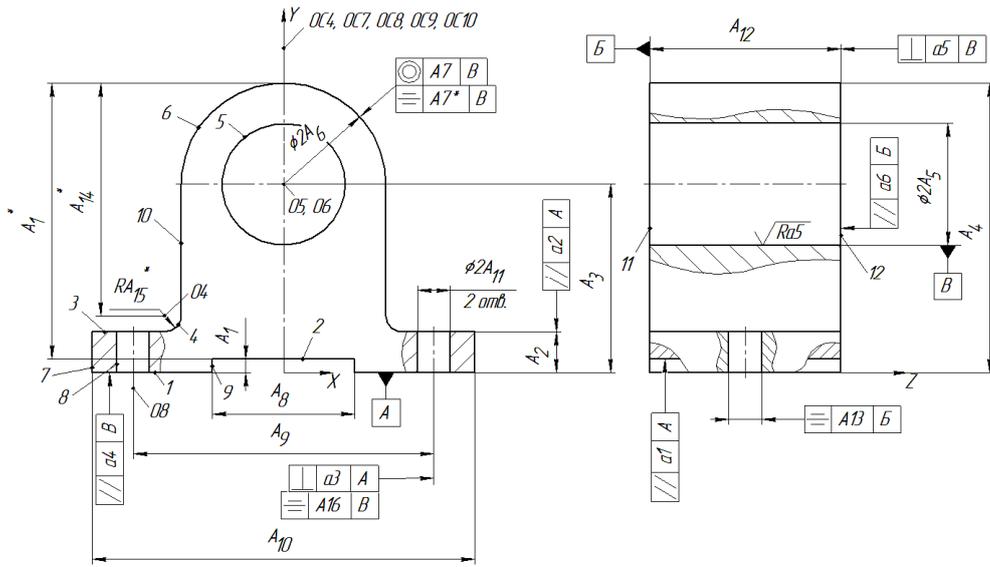
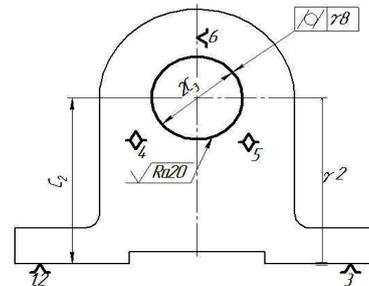
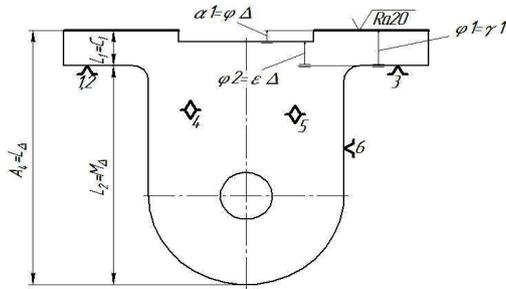


Рисунок 3 – Эскиз детали «Корпус»

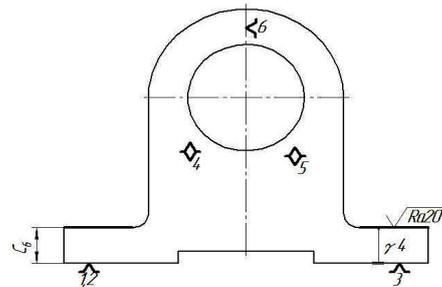
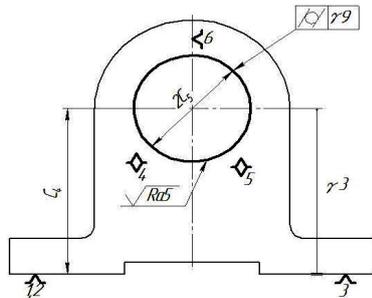
Операция 05

Операция 10  
переход 1



Операция 10  
переход 2

Операция 10  
переход 3



Операция 10  
переход 4,5

Операция 15

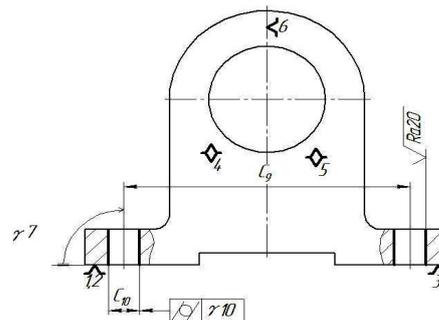
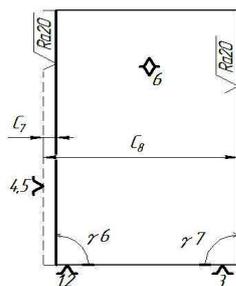


Рисунок 4 – Операционные эскизы

В ходе теоретических исследований формирования угловых размеров деталей при мехобработке выявлен ряд особенностей составления графов и уравнений угловых размерных связей технологических, а также решения таких уравнений:

- 1) графы и уравнения угловых размерных связей следует составлять и решать до графов и уравнений линейных размерных связей. Это позволяет определить угловые смещения поверхностей полуфабрикатов как составных частей промежуточных припусков. Эти смещения вносятся в исходный граф;
- 2) в общем случае достаточно составить исходный и технологический граф для трех координатных плоскостей детали. Одну из них следует совмещать с часто применяемой в технологическом процессе установочной, направляющей или двойной направляющей технологической базой;
- 3) при выявлении технологических угловых размеров следует учитывать технологические базы, способные ориентировать заготовки в угловых координатных направлениях;
- 4) при составлении графа размерных связей для одной координатной плоскости из рассмотрения исключаются угловые размеры, лежащие в перпендикулярных к ней плоскостях;
- 5) если все элементы детали номинально перпендикулярны или параллельны друг другу, достаточно составить только выражения взаимосвязи допусков параллельности и перпендикулярности. При этом не требуется строгая последовательность нумерации объектов и разделение ребер технологического графа на увеличивающие и уменьшающие. Их отклонения следует считать однонаправленными для оценки наибольшего отклонения получаемого размера детали;
- 6) для решения уравнений взаимосвязей угловых допусков их значения в мкм/мм приводятся к единой базовой длине (например, 100 мм).

**Пример анализа угловых размерных связей технологического процесса.** Поясним описанные особенности на примере размерного анализа технологического процесса обработки корпуса (рисунок 1) по угловым размерам вокруг оси X.

Заготовками являются отливки, полученные в песчано-глинистой форме, 8 класса точности, 5 степени коробления, 9 степени точности поверхности, 8 класса точности массы по ГОСТ 26645-85.

Технологический процесс мехобработки включает следующие операции: операция 05 вертикально-фрезерная (фрезерование плоскости 1 торцевой фрезой); операция 10, горизонтально-фрезерная с ЧПУ (переход 1 – черновое зенкерование отверстия 5, переход 2 – чистовое зенкерование отверстия 5, переход 3 – фрезерование плоскостей 2 концевой фрезой с поворотом детали на 180° вокруг вертикальной оси, переходы 4, 5 – фрезерование поверхностей 11 и 12 торцевой фре-

зой с поворотом детали на 180°); операция 15, вертикально-сверлильная (сверление 2-х отверстий 8).

Операционные эскизы с указанием технологических размеров  $j$  представлены на рисунке 4.

Совмещенный эскиз детали и заготовки в проекциях на плоскость, перпендикулярную оси X (плоскость YZ), представлен на рисунке 4. Этих проекций достаточно для указания всех объектов, формируемых на всех стадиях обработки детали.

На указанном совмещенном эскизе (рис. 5) номера соответствуют следующим объектам: 1 – нижняя плоскость заготовки (K); 2 – нижняя плоскость детали (D); 3 – плоскость дна канавки детали и заготовки; 4 – верхняя плоскость основания детали; 5 – верхняя плоскость основания заготовки; 6 – ось крепежного отверстия в основании детали; 7 – ось главного отверстия детали (E); 8 – ось главного отверстия после чернового зенкерования; 9 – ось отверстия заготовки; 10 – ось наружной цилиндрической поверхности заготовки (Г); 11 – поверхность отверстия заготовки; 12 – поверхность отверстия после чернового зенкерования; 13 – поверхность главного отверстия детали; 14 – наружная цилиндрическая поверхность заготовки; 15 – левая боковая поверхность детали; 16 – левая боковая поверхность заготовки; 17 – правая боковая поверхность детали; 18 – правая боковая поверхность заготовки; 19 – поверхность крепежного отверстия в основании детали.

Угловые размеры и допуски, заданные на чертеже детали, на совмещенном эскизе имеют обозначение  $\alpha_j$ , допуски формы и расположения элементов заготовки имеют обозначение  $\beta_j$ .

На основе совмещенного эскиза и операционных эскизов построены исходный и технологический графы размерных связей технологического процесса (рисунок 6). На исходном графе, кроме угловых размеров и допусков детали, представлены угловые смещения  $\delta_j$ , являющиеся составляющими минимальных промежуточных припусков.

В нашем случае угловые номинальные положения объектов детали и заготовки известны из изображения проекций (0° или 90°), поэтому нет необходимости составлять уравнения размерных цепей в номиналах и предельных значениях. Достаточно составить выражения взаимосвязи допусков угловых размеров. Поочередно мысленно перенося ребра исходного графа на технологический граф, получаем замкнутые кратчайшие контуры и составляем для них выражения взаимосвязи допусков размеров  $\beta_j, \alpha_j, \beta_j, \alpha_j$ .

Поочередно мысленно перенося ребра исходного графа на технологический граф, получаем замкнутые кратчайшие контуры и составляем для них уравнения взаимосвязи допусков:

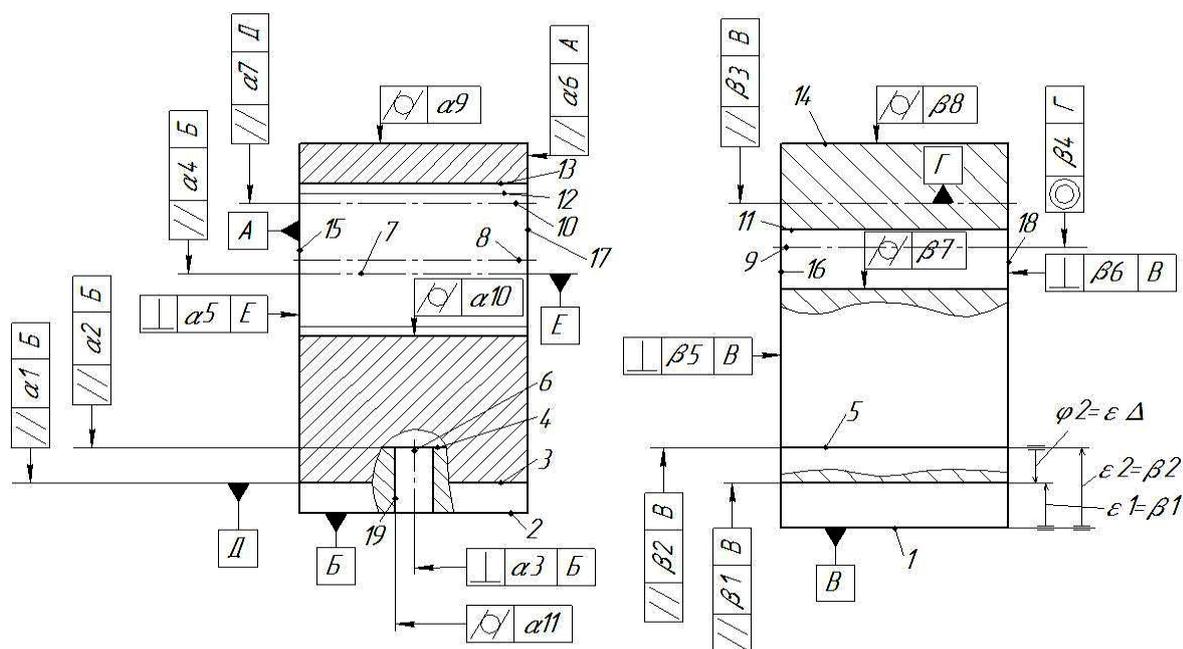


Рисунок 5 – Совмещенный эскиз детали (слева) и заготовки (справа) в проекциях на плоскость YZ

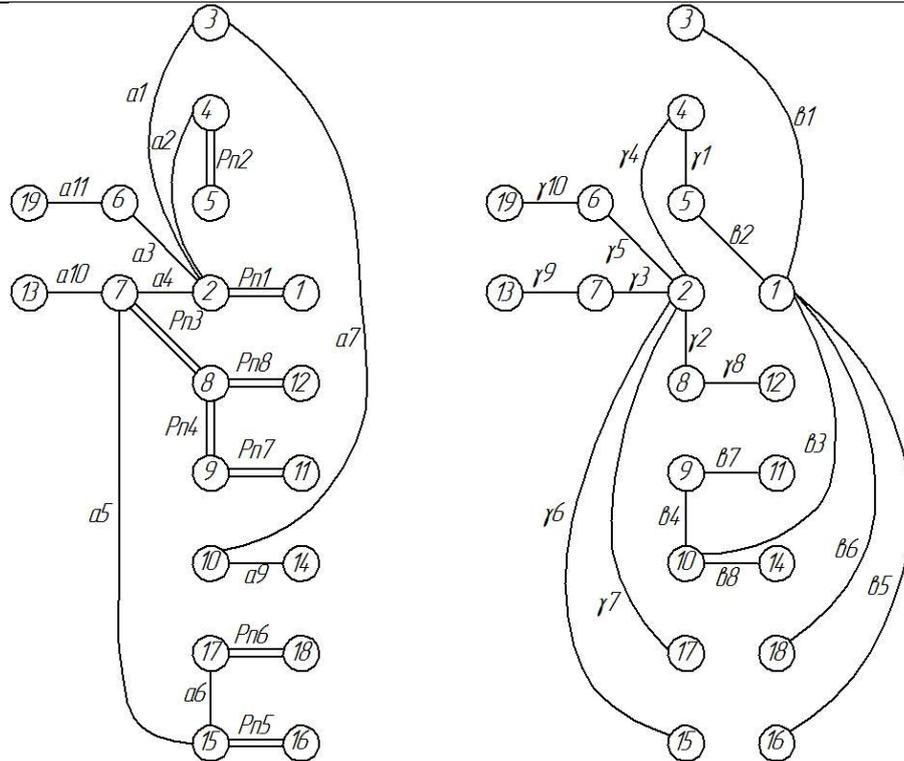


Рисунок 6 – Исходный (слева) и технологический (справа) графы размерных связей техпроцесса

$$1) \alpha_1 \geq \gamma_4 + \gamma_1 + \beta_2 + \beta_1;$$

$$2) \alpha_2 \geq \gamma_4;$$

$$3) \alpha_3 \geq \gamma_5; 4) \alpha_4 \geq \gamma_3;$$

$$5) \alpha_5 \geq \gamma_3 + \gamma_6;$$

$$6) \alpha_6 \geq \gamma_6 + \gamma_7;$$

$$7) \alpha_7 \geq \beta_1 + \beta_3;$$

$$8) \alpha_9 \geq \beta_8;$$

$$9) \alpha_{10} \geq \gamma_9;$$

$$10) \alpha_{11} \geq \gamma_{10};$$

$$11) \rho_1 = \beta_2 + \gamma_1;$$

$$12) \rho_2 = \gamma_1;$$

$$13) \rho_3 = \gamma_3 + \gamma_2;$$

$$14) \rho_{n4} = \sqrt{T\gamma_2^2 + T\gamma_1^2 + T\beta_3^2 + T\beta_2^2 + T\beta_4^2}$$

( ) ;

$$15) \rho_{n5} = \sqrt{T\gamma_6^2 + T\gamma_1^2 + T\beta_2^2 + T\beta_5^2}$$

( ) ;

$$16) \rho_{n6} = \sqrt{T\gamma_7^2 + T\gamma_1^2 + T\beta_2^2 + T\beta_6^2}$$

( ) ;

$$17) \rho_{n7} = \beta_7;$$

$$18) \rho_{n8} = \gamma_8.$$

Из чертежа детали принимаем следующие допуски  $\rho_i$  исходных размеров (в радиальном выражении на 100 мм базовой длины):

$$\begin{aligned} 1 &= 0,8/100; & 2 &= 0,2/100; & 3 &= 0,2/100; & 4 &= 0,1/100; \\ 5 &= 0,2/100; & 6 &= 0,2/100; & 7 &= 0,8/100; & 9 &= 0,5/100; \\ 10 &= 0,05/100; & 11 &= 0,2/100. \end{aligned}$$

Для указанной точности отливки по ГОСТ 26645-85 [5] принимаем следующие значения угловых допусков формы и расположения ее

поверхностей (в радиальном выражении на 100 мм базовой длины):  
 $\rho_1 = 0,16/100$ ;  $\rho_2 = 0,16/100$ ;  $\rho_3 = 0,16/100$ ;  $\rho_4 = 0,5/100$ ;  
 $\rho_5 = 0,16/100$ ;  $\rho_6 = 0,16/100$ ;  $\rho_7 = 0,5/100$ ;  $\rho_8 = 0,5/100$ .

По таблицам средней экономической точности [3] выбираем допуски угловых технологических размеров:

- допуск параллельности плоскости после однократного фрезерования  $T_{i7} = 0,05/100$ . Так как фрезерование выполняется от черновой базы, то технологический допуск будем определять с учётом погрешности формы черновой базы  $\rho_1 = 0,32/100$ ;  $T_1 = 0,05/100 + 0,32/100 = 0,37/100$ ;
- допуск параллельности оси отверстия в радиальном выражении относительно плоской базы после чернового зенкерования по 11-му качеству принимаем в пределах половины технологического допуска на диаметр  $T_2 = 0,06/40 = 0,15/100$ ;
- допуск параллельности оси отверстия в радиальном выражении относительно плоской базы после чистового зенкерования по 9-му качеству принимаем в пределах половины технологического допуска на диаметр  $T_3 = 0,026/40 = 0,065/100$ ;
- допуск параллельности плоскости после однократного фрезерования  $T_4 = 0,05/100$ ;
- допуск перпендикулярности оси отверстия после сверления относительно технологической базы  $T_5 = 0,15/100$ ;
- допуски перпендикулярности плоскости после однократного фрезерования относительно технологической базы  $T_6 = T_7 = 0,05/100$ ;
- допуск цилиндричности главного отверстия после чернового зенкерования в радиальном выражении  $T_8 = 0,03/40 = 0,075/100$  (по 11 степени точности);
- допуск цилиндричности главного отверстия после чистового зенкерования в радиальном выражении  $T_9 = 0,008/40 = 0,02/100$  (по 8-й степени точности);
- допуск цилиндричности крепежного отверстия после сверления в радиальном выражении  $T_{10} = 0,008/10 = 0,08/100$  (по 9-й степени точности).

Выполним оценку приемлемости техпроцесса для достижения требуемой точности детали по составленным уравнениям размер-

ных цепей. В расчетах опущена одинаковая для всех угловых допусков базовая длина (100 мм).

$$T\alpha_1 = 0,8 \geq T\gamma_1 + T\beta_2 + T\beta_1 + T\gamma_4 = 0,37 + 0,16 + 0,16 + 0,05 = 0,74$$

$$T\alpha_2 = 0,2 \geq T\gamma_4 = 0,05 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_3 = 0,2 \geq T\gamma_5 = 0,15 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_4 = 0,1 \geq T\gamma_3 = 0,065 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_5 = 0,2 \geq T\gamma_3 + T\gamma_6 = 0,065 + 0,05 = 0,115 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_6 = 0,2 \geq T\gamma_7 + T\gamma_6 = 0,05 + 0,05 = 0,1 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_7 = 0,8 \geq T\beta_1 + T\beta_3 = 0,16 + 0,16 = 0,32 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_9 = 0,5 \geq T\beta_8 = 0,5 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_{10} = 0,05 \geq T\gamma_9 = 0,02 \text{ - выполняется;}$$

$$T\alpha_{11} = 0,2 \geq T\gamma_{10} = 0,08 \text{ - выполняется.}$$

По результатам расчета взаимосвязей допусков можно сделать вывод, что для обеспечения точности угловых размеров вокруг оси X техпроцесс приемлем.

По остальным уравнения вычислим максимально возможные погрешности перекосов:

$$\rho_{n1} = T\beta_2 + T\gamma_1 = 0,16 + 0,37 = 0,53 \text{ мм;}$$

$$\rho_{n2} = T\beta_4 + T\gamma_1 = 0,05 + 0,37 = 0,42 \text{ мм;}$$

$$\rho_{n3} = T\beta_3 + T\gamma_2 = 0,065 + 0,15 = 0,215 \text{ мм;}$$

$$\rho_{n4} = \sqrt{T\gamma_2^2 + T\gamma_1^2 + T\beta_3^2 + T\beta_2^2 + T\beta_4^2} = \sqrt{0,15^2 + 0,37^2 + 0,16^2 + 0,16^2 + 0,5^2} = 0,678 \text{ ;}$$

$$\rho_{n5} = \sqrt{T\gamma_6^2 + T\gamma_1^2 + T\beta_2^2 + T\beta_5^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,37^2 + 0,16^2 + 0,16^2} = 0,437 \text{ ;}$$

$$\rho_{n6} = \sqrt{T\gamma_7^2 + T\gamma_1^2 + T\beta_2^2 + T\beta_6^2} = \sqrt{0,05^2 + 0,37^2 + 0,16^2 + 0,16^2} = 0,437 \text{ ;}$$

$$\rho_{n7} = \beta_7 = 0,5 \text{ мм;}$$

$$\rho_{n8} = \gamma_8 = 0,075 \text{ мм.}$$

Эти погрешности в значительной степени определяют неравномерность припусков, снимаемых с соответствующих поверхностей, а, следовательно, влияют на неравномерность сил резания и точности формы поверхностей. При сравнении нескольких вариантов техпроцессов, путем их размерного анализа, следует выбирать тот, при котором погрешности перекосов меньше.

**Заключение.** В ходе теоретических исследований выявлены особенности оценки приемлемости техпроцессов механической обработки по точности угловых размеров деталей методом графов. Апробирование предлагаемой усовершенствованной методики на большом числе техпроцессов доказывает ее работоспособность. Применение данной методики на стадии проектирования техпроцессов позволит повысить качество технологической подготовки производства.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Махаринский, Е. И. Основы технологии машиностроения : учебник / Е. И. Махаринский, В. А. Горохов – Минск : Выш. шк., 1997.
2. Проектирование технологии : учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов / И. М. Баранчукова, А. А. Гусев, Ю. Б. Крамаренко [и др.]; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1990. – 416 с.
3. Косилова, А. Г. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении : справочник технолога / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков, М. А. Калинин – М. : Машиностроение, 1976. – 288 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя : в 2-х т. – Т. 1 / Под ред. А. М. Дальского. – М. : Машиностроение-1, 2001. – 914 с.
5. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку : ГОСТ 26645-85 – М. : Издательство стандартов, 1985. – 55 с.

26.10.2019

#### MEDVEDEV O. A. Analysis of the relationship between angular parts formed by mechanical processing

In order to improve the methodology for assessing the acceptability of technical processes, a number of features of drawing up graphs and equations of angular dimensional connections have been identified, and also features of solving such equations. Graphs and equations of angular dimensional bonds should be made and solved before graphs and equations of linear dimensional bonds. Full information about such connections contains the original and technological graphs for the three coordinate planes of the part. When identifying technological angular dimensions, it is necessary to take into account the technological bases, orienting blanks in angular coordinate directions. This is an example of the application of a technique that improves the quality of production preparation.

629.113:004.94

**Введение.** При проектировании и реконструкции организаций автомобильного сервиса (ОАС) возникает задача оптимизации структуры производственных подразделений по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, т. е. определение оптимального количества постов технического обслуживания (ТО) и ремонта по критерию максимальной прибыли.

Для моделирования структуры подразделений по ТО и ремонту автомобилей широко используются теория массового обслуживания

и имитационное моделирование. Одним из преимуществ имитационного моделирования является возможность задавать требуемые законы распределения потока требований на обслуживания и потока обслуживания, а также отслеживать поведение системы во времени.

**Целью данной работы** является сравнительный анализ моделей для имитационного моделирования процессов функционирования производственных подразделений организаций автосервиса и выбор критерия оптимальности на примере оптимизации количества

**Монтик Сергей Владимирович**, к. т. н., доцент, заведующий кафедрой «Машиностроение и эксплуатация автомобилей» Брестского государственного технического университета.

**Санюкевич Федор Михайлович**, к. т. н., доцент, доцент кафедры «Машиностроение и эксплуатация автомобилей» Брестского государственного технического университета.

**Головач Анна Петровна**, старший преподаватель кафедры «Инженерная экология и химия» Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.