

3. Бишутин, С.Г., Пиляев, А.С. Особенности формирования рабочих поверхностей протяженных направляющих при финишной комбинированной антифрикционной обработке // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2013. – №3. – С.5.

4. Бишутин, С.Г., Пиляев, А.С. Износостойкость поверхностных слоев направляющих, сформированных при финишной комбинированной антифрикционной обработке // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2014. – №2. – С. 9-13.

5. Писаренко, Г.С., Яковлев, А.П., Матвеев, В.В. Справочник по сопротивлению материалов. – Киев: Наукова думка, 1988. – 736 с.

6. Суслов, А.Г., Горленко, О.А. Экспериментально-статистический метод обеспечения качества поверхности деталей машин. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 303 с.

7. Суслов, А.Г., Бишутин, С.Г. Математическая модель шероховатости шлифованной поверхности // Справочник. Инженерный журнал. – 2004. – № 8. – С. 17-20.

## REFERENCES

1. Myshkin, N.K., Petrokovets, M.I. *Friction, Lubrica-*

*tion, Wear. Physical Fundamentals and Technical Applications of Tribology.* – М.: Physmathlit, 2007. – pp. 368.

2. Bishutin, S.G. Machinery surface wear-resistance increase at abrasive-finishing // *Bulletin of Bryansk State Technical University.* – 2013. – No.2. – pp. 11-15.

3. Bishutin, S.G., Pilyaev, A.S. Peculiarities of work surface formation in extended guides at combined anti-friction finishing // *Bulletin of Bryansk State Technical University.* – 2013. – No.3. – pp. 5.

4. Bishutin, S.G., Pilyaev, A.S. Wear-resistance in surface layers of guides formed at combined anti-friction finishing // *Bulletin of Bryansk State Technical University.* 2014. – No.2. – pp. 9-13.

5. Pisarenko, G.S., Yakovlev, A.P. Matveev, V.V. *Material Resistance Reference Book.* – Kiev: Scientific Conception, 1988. – pp. 736.

6. Suslov, A.G., Gorlenko, O.A. *Experimental Statistical Method to Ensure Surface Quality of Machinery.* – М.: Mechanical Engineering – 1, 2003. – pp. 303.

7. Suslov, A.G., Bishutin, S.G. Simulator of polished surface roughness // *Reference Book. Engineering Journal.* – 2004. – No.8. – pp. 17-20.

Рецензент д.т.н. А.В. Томай

УДК 621.75

DOI: 10.30987/article\_5bd8aa894253a8.73896914

Е.А. Польский, к.т.н.

(ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»  
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7)

E-mail: polski.eugene@hotmail.com

## Обеспечение надежности высокотехнологичных сборочных узлов

Рассмотрена методика технологического обеспечения требуемых параметров надежности сборочных узлов с учетом анализа изменения параметров точности функциональных размеров на этапах эксплуатации. Представлены рекомендации по корректировке допусков и предельных отклонений размеров контактирующих поверхностей деталей сборочных единиц с учетом их формирования на этапах механической обработки.

**Ключевые слова:** размерный анализ; качество поверхности; технологическое обеспечение эксплуатационных свойств; сборочные единицы.

Е.А. Polsky, Can. Sc. Tech.

(FSBEI HE "Bryansk State Technical University", 7, 50<sup>th</sup> October Anniversary Boulevard, Bryansk, Russia 241035)

## Reliability assurance of high-technological sub-assemblies

A procedure is considered for technological support of reliability parameters required in sub-assemblies taking into account the analysis of parameter accuracy changes in operation dimensions at operation stages. There are presented recommendations on updating tolerances and size limit deviations in contact surfaces of parts in assembly units taking into account their formation at machining stages.

**Keywords:** dimension analysis; surface quality; technological support of operation properties; assembly units.

В настоящее время в рамках этапов разработки и постановки продукции на производство требуется параллельная разработка документации при выполнении мероприятий конструкторско-технологической подготовки производства и создания единых конструкторско-технологических отделов. В результате создаются предпосылки реализации нового принципа проектирования – технологического обеспечения требуемых эксплуатационных показателей высокотехнологичных сборочных узлов и их надежности при одновременном проектировании технологии механической обработки с уточнением параметров сборки. Такой подход к этапам проектирования для обеспечения точности конструкций предполагает управление точностью непосредственно элементами разрабатываемых технологических процессов изготовления и сборки. Данное проектирование актуально при любом типе производства и любой сложности технического проекта. Наибольший эффект, как показывает опыт внедрения автоматизированных подсистем, обеспечивается при непрерывной компьютерной поддержке основных этапов жизненного цикла (CALS-технологии) [1, 2, 3].

### Методика и результаты исследований

Статья посвящена анализу внедрения результатов исследования для различных типов объектов:

- высокоточные сборочные единицы с замыкающим звеном, имеющим малый допуск (погрешность совпадения образующих конусов зубчатого конического зацепления);
- сборочные единицы с высоким процентом слесарных доводочных работ и малым допуском взаимного расположения отдельных конструктивных элементов (вырубные штампы);
- сборочные единицы высокотехнологичных, высокоточных изделий, собираемые из покупных узлов и отдельных деталей, обеспечивающих их взаимное положение (узлы оборудования).

Приведем описание порядка работы созданного программного комплекса расчета размерных цепей конструкций машин с возможностью учета погрешностей эксплуатации.

Начальное окно ввода размерной цепи представлено на рис. 1. Оно предназначено для задания необходимой информации по всем типам размеров, используемых системой, и редактированию уже введенных.

Для эксплуатационных размеров необходи-

мо использовать дополнительное окно ввода информации (рис. 2), которое открывается при выборе типа размера «Эксп» и нажатии кнопки «Экспл. размер».

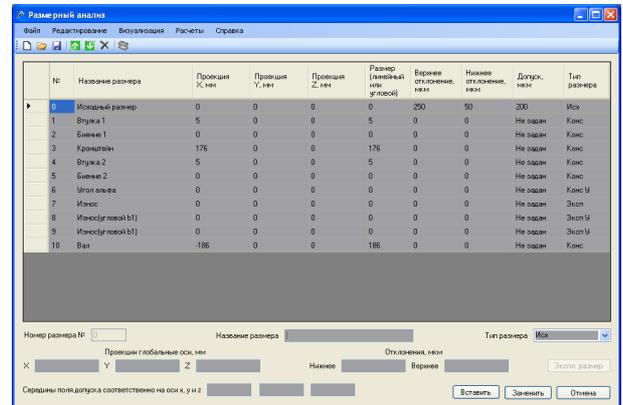


Рис. 1. Окно ввода размерной цепи

Здесь выбирается тип эксплуатационного размера: износ или контактные деформации. После этого производится выбор типа контакта в сопряжении. Информацию о допуске звена можно задать тремя способами:

- 1) эксплуатационное свойство (соответствует  $k_{внут}$ ), и коэффициенты  $k_{Тэк}$ ,  $k_{внеш}$ ,  $k_d$ ;
- 2) непосредственно допуск и эксплуатационное свойство (допуск используется для расчетов размерной цепи, эксплуатационное свойство – для вывода в отчет);
- 3) использование встроенных моделей.

Последний способ становится доступным после нажатия кнопки « >> ». Также можно использовать эти модели для расчета допуска эксплуатационного звена, после чего задавать размер вторым способом (для известных размеров).

Так как эксплуатационные размеры чаще всего имеют номинальный размер равный нулю, то для задания направления этого размера может быть использована панель «Направления размера», где можно выбрать три варианта: 1) в направлении предыдущего; 2) в противоположном направлении; 3) указать самостоятельно, для чего задаются три координаты вектора направления (размер вектора не важен).

В случае выбора соответствующих типов контакта становятся доступными позиции для задания угловых эксплуатационных размеров. Возможны две схемы.

1. По умолчанию (рис. 3). Рекомендуется при расчете линейных размерных цепей (при задании размеров используется только позиция «x») или в том случае, когда задание

направления угловых износов не имеет значения.  
 2. Указать самостоятельно. В этом случае задается плоскость первого углового размера. Она проходит через линейный эксплуатац-

онный размер и дополнительный вектор, задаваемый пользователем. Второй угловой эксплуатационный размер располагается в перпендикулярной плоскости.

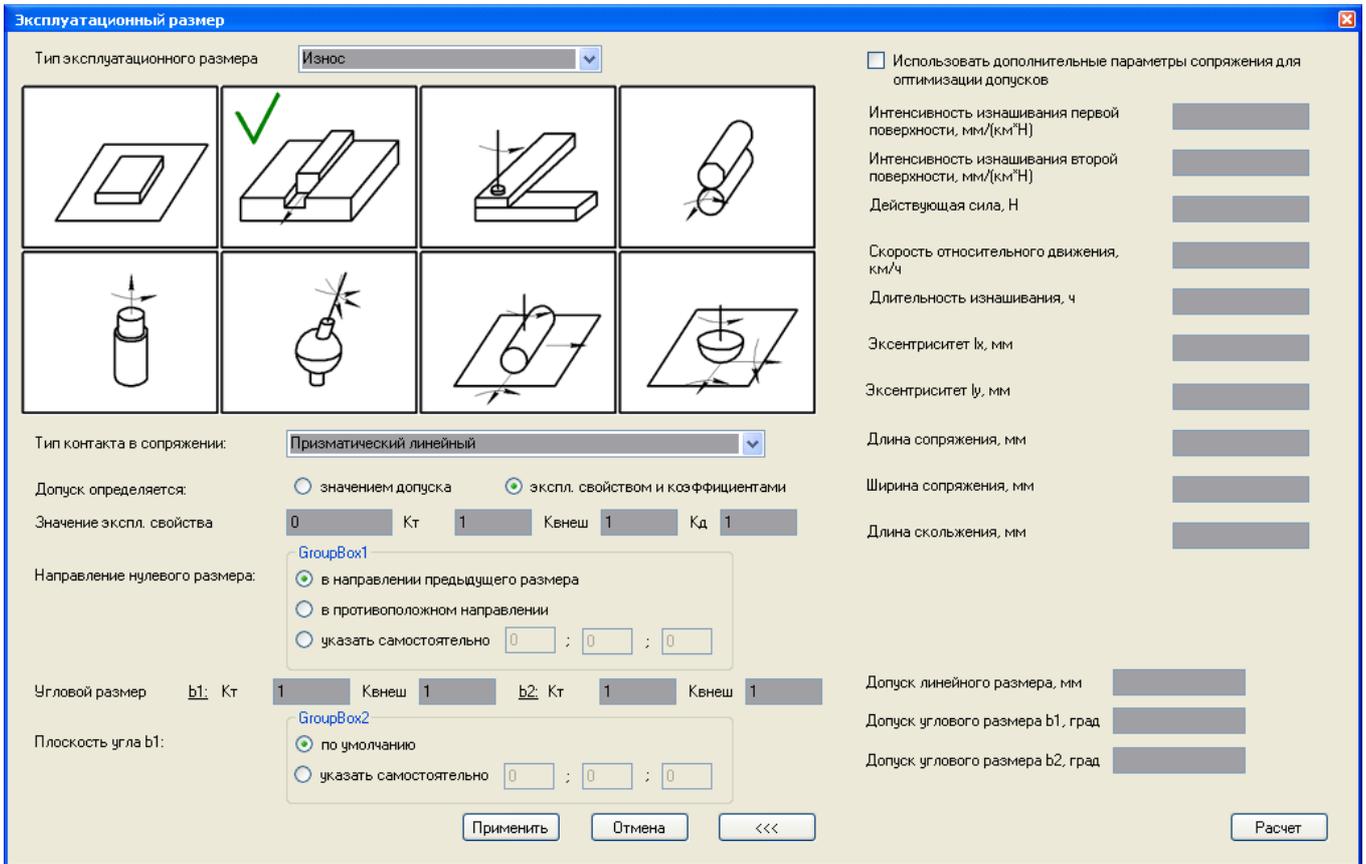


Рис. 2. Окно ввода эксплуатационного размера

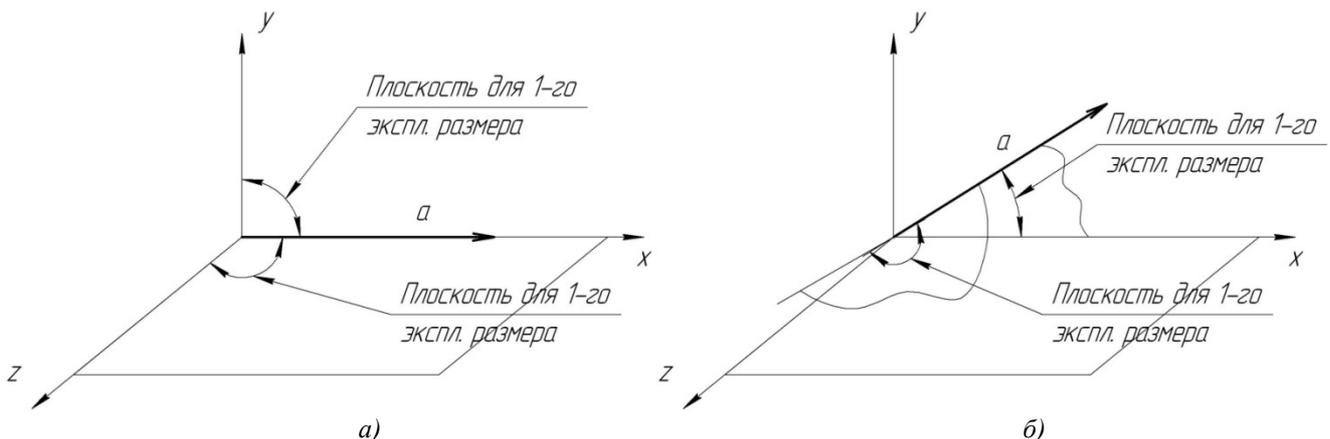


Рис. 3. Схема задания углового эксплуатационного размера: а – линейная цепь; б – общий случай

Система в состоянии отсеивать многие ошибки ввода, что повышает удобство работы. После запуска расчета («Расчеты») – «Размерный анализ» или нажатием соответствующей кнопки на панели инструментов) открывается окно «Коэффициенты передаточных отношений» (рис. 4).

На этом этапе выводятся рассчитанные коэффициенты передаточных отношений составляющих размеров, а также вводится необходимая информация для выполнения следующего этапа расчета «Оптимизация». В частности весовые коэффициенты, позволяющие оказывать дополнительное влияние на расчет

допусков и эксплуатационных свойств, при решении прямой задачи.

На рис. 5 показано окно «Допуски / середины полей допусков», где выполняется увязка допусков и середин полей допусков, расчет компенсаторов или звеньев используемых под пригонку.

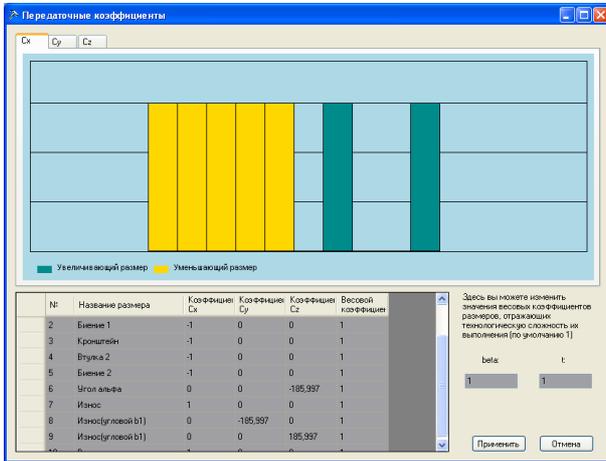


Рис. 4. Окно «Коэффициенты передаточных отношений»

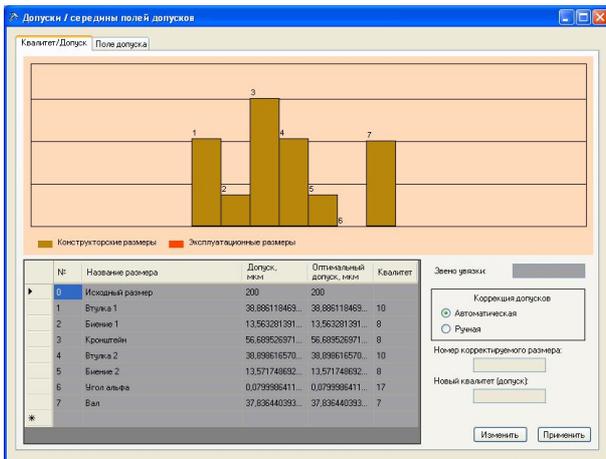


Рис. 5. Окно «Допуски/середины полей допусков»

После выполнения всех расчетов результа-

$$T_{\Delta p} = 0,02 + 0,009 + 0,021 + 0,011 + 0,009 + 0,02 + 0,02 = 0,11 ;$$

- величина необходимой компенсации, мм:

$$\delta_K = T_{\Delta p} - T_{\Delta} = 0,11 - 0,05 = 0,06 ;$$

- расчет координаты середины поля допуска замыкающего звена для принятых значений размеров цепи, мм:

$$\Delta_{0\Delta p} = -0 + 0,00105 - 0,0105 + 0,0125 + 0,0105 - 0 + 0 = 0,023 ;$$

- при выполнении компенсационного звена методом пригонки необходимо расположить его поле допуска таким образом, чтобы обеспечить достаточную величину припуска под механическую обработку, поэтому требуется определить середину поля допуска размера. Размер-компенсатор уменьшающий, а его величина при пригонке увеличивается, следовательно, его середина

выводятся в виде информации по передаточным коэффициентам, номинальным размерам, допускам и отклонениям, а также по эксплуатационным свойствам.

Наиболее точным размером на детали «Штырь» Ш-КЦ-2003 ДКО является  $1,59_{-0,05}$ . По данным конструкторской документации он формируется следующей размерной цепью (рис. 6).

Здесь размер  $2,57 \pm 0,01$  определяет точность перемещения ленты в штампе, остальные размеры – точность линейных размеров вставок, из которых формируется матрица. Из схемы видно, что требуемой точности размера  $1,59_{-0,05}$  наиболее технологично обеспечивать пригонкой боковой поверхности вставок. В данной размерной цепи не требуется учитывать износ кромок матрицы, так как затупление не допускается при штамповке тонколистных материалов (менее 0,6 мм).

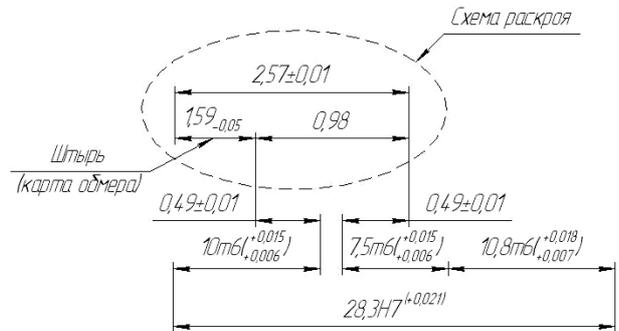


Рис. 6. Размерная цепь

Выбрав один из размеров 0,49 (либо вставка «Ш-КЦ-2003-1-2», либо «Ш-КЦ-2003-1-3») в качестве звена пригонки, выполним перерасчет его отклонений с учетом необходимого припуска под шлифование. Значения отклонений оставляем прежними, т.к. они являются экономически оправданными.

В результате получим:

- допуск замыкающего звена  $T_{\Delta p}$ , мм:

поля допуска определяется по формуле, мм:

$$\Delta_{0_K} = \Delta_{0_{Kp}} + \frac{\Delta_{0_{\Delta}} - \Delta_{0_{\Delta p}} + 0,5(\beta - 1)T_{\Delta}}{c_K} = 0 + \frac{-0,025 - 0,023 + 0,5 \cdot 0,06}{-1} = 0,018,$$

где  $\Delta_{0_{Kp}}$  – принятая для расчета середина поля допуска звена компенсации;  $\Delta_{0_{\Delta}}$  – необходимая по чертежу середина поля допуска замыкающего звена (размер 1,59<sub>-0,05</sub>); величина  $(\beta - 1)T_{\Delta}$  соответствует  $\delta_K$ ;  $c_K$  – коэффициент передаточного отношения звена компенсации.

Таким образом, на рабочем чертеже вставки для размера 0,49 необходимы следующие отклонения – 0,49<sup>+0,028</sup><sub>-0,008</sub> мм.

Вторая цепь обеспечивает необходимую величину зазора в сопряжении матрица–пуансон. Величина замыкающего звена в соответствии с техническим заданием определяется как двусторонний зазор равный  $(0,1...0,15)S$ , т.е. для толщины листа в 0,5 мм необходим зазор 0,05<sup>+0,025</sup> мм или на сторону 0,02<sup>+0,0175</sup><sub>-0,0050</sub> мм. Размерная цепь включает большое количество составляющих звеньев, поэтому точность указанного замыкающего звена может быть обеспечена только с помощью пригонки пуансона по матрице.

Расчетная схема показана на рис. 7.

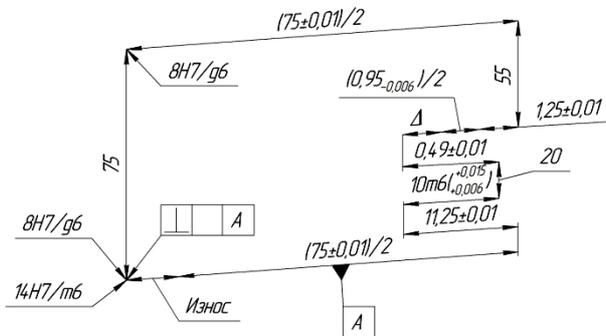


Рис. 7. Размерная цепь 2

В качестве звена компенсатора был выбран размер 0,95 пуансона Ш-КЦ-2003-8 (его половина), который может быть получен шлифованием. Так, при расчете учитывалось изнашивание в процессе эксплуатации сопряжений втулки–колонки, возможности получения зазора в сопряжениях с посадками H7/m6 и неперпендикулярности отверстий матрицы к плоскости А.

Для автоматизации расчетов использовался программный комплекс, разработанный в Брянском государственном техническом университете.

Приведем основные этапы расчетов.

1) В соответствии с техническим заданием для получения деталей используется пресс 23тК2320.

Усилие воздействующей на стенки матрицы определяются выражением, Н [1]:

$$P = (0,1...0,2) P_n H = 0,15 \cdot 10\,000 \cdot 9,8 \cdot 3 = 44\,000,$$

где  $P_n$  – сила прессы;  $H$  – ширина пуансона.

По литературным данным на направляющие будет воздействовать не более 10 % этого усилия. Таким образом, для дальнейших расчетов будет использоваться значение нагрузки равное  $P = 4400$  Н.

2) Расчет параметров контакта в сопряжении втулка–колонка (рис. 8).

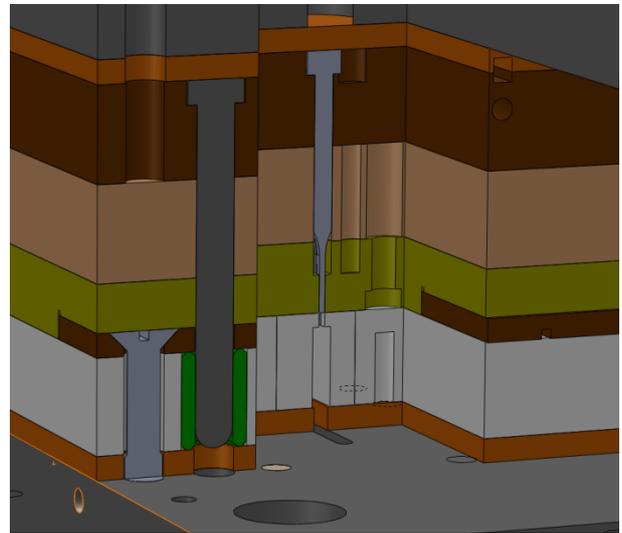


Рис. 8. 3D-модель сопряжения «пуансон-колонка»

Погонное давление  $p_l$ , Н/м:

$$p_l = \frac{P}{l_{\text{вт}}} = \frac{4400}{0,018} \approx 250000.$$

Коэффициент

$$\frac{E \cdot \Delta R}{p_l} = \frac{1,3 \cdot 105 \cdot 0,029}{250000} = 0,015.$$

Здесь  $E$  – модуль упругости первого рода, МПа;  $\Delta R$  – величина зазора в сопряжении. В результате по данным Перссона определяются параметры сопряжения (рис. 9).

Так как  $\text{tg}(\alpha/2) \approx 0,9$ , то  $2\alpha = 168^\circ$ . Следовательно, длина и ширина сопряжения (необходимые параметры для дальнейших расчетов) составляют  $a = 18$  мм и  $b = 12$  мм, соответственно.

3) Путь трения  $L$ , м.

$$L = 2hN = 2 \cdot 0,003 \cdot 2000000 = 12000,$$

где  $2$  – коэффициент, учитывает возвратно-поступательный характер движения;  $h$  – ширина вставки;  $N$  – число циклов, равное долговечности штампов (до 2 млн заготовок по ТЗ).

4) Для автоматизации выполнения расчетов связанных с расчетом коэффициентов передаточных отношений и оптимизации допусков использовался программный комплекс Dimensional Analysis (рис. 10).

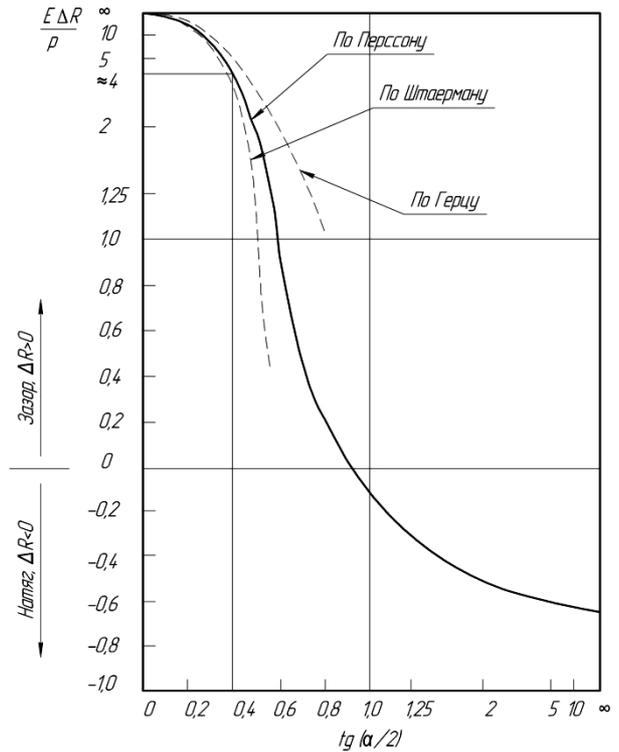


Рис. 9. Определение угла контакта

№	Название размера	Проекция X, мм	Проекция Y, мм	Проекция Z, мм	Размер (линейный или угловой)	Верхнее отклонение, мкм	Нижнее отклонение, мкм	Допуск, мкм	Тип размера
0	Зазор	0,0149999999...	0	0	75	17,5	5	12,5	Исх
1	Пуансон 0,95	0,475	0	0	0,475	0	0	Не задан	Конс
2	Вспомогательный размер 1	0	75	0	75	0	-13,000001	13,000001	Конс
3	Допуск перпендикулярности	0	0	0	0	0,000254332...	-0,00025433...	0,000508664...	Конс У
4	Зазор пуансон-держатель	0	0	0	0	8	0	8	Конс
5	Пуансонодержатель 1,25	1,25	0	0	1,25	10	-10	20	Конс
6	Пуансонодержатель 75	-37,5	0	0	37,5	5	-5	10	Конс
7	Зазор держатель-колонка 1	0	0	0	0	29	5	24	Конс
8	Зазор держатель-колонка 2	0	0	0	0	29	5	24	Конс
9	Износ	0	0	0	0	11,01480856...	0	8,125678451...	Эксп
10	Износ (угловой b1)	0	0	0	0	0	0	8,125678451...	Эксп У
11	Износ (угловой b2)	0	0	0	0	0	0	8,125678451...	Эксп У
12	Зазор втулка-матрица	0	0	0	0	11	0	11	Конс
13	Вспомогательный размер 2	0	-75	0	75	13,02802674...	0	13,02802674...	Конс
14	Матрица 75	37,5	0	0	37,5	5	-5	10	Конс

Рис. 10. Вид окна ввода исходных данных

Используя полученные результаты после коррекции значений допусков, было вычислено необходимое значение износостойкости  $I$  сопряжения.

$$I = k \cdot p = 4,97 \cdot 10^{-9} \cdot 20,9 = 0,104 \frac{\text{МКМ}}{\text{КМ}} = 1,04 \cdot 10^{-7},$$

где  $k$  – рассчитанное значение удельной изно-

состоятельности поверхностей сопряжения;  $p$  – величина давления в сопряжении.

Полученное значение необходимой износостойкости поверхностей в сопряжении втулка–колонка указывает на то, что дополнительных мероприятий по ее увеличению не требуется.

Расчеты необходимой величины припуска на пуансоне также можно получить при использовании указанного программного комплекса. Приведем промежуточные значения.

- допуск замыкающего звена  $T_{\Delta p}$ , мм:

$$T_{\Delta p} = 170,3;$$

- координата середины поля допуска замыкающего звена для принятых значений размеров цепи, мм:

$$\Delta_{0\Delta p} = -0,069;$$

- размер-компенсатор уменьшающий, а его величина при пригонке уменьшается, следовательно, его середина поля допуска определяется выражением, мм:

$$\Delta_{0\kappa} = \Delta_{0\kappa p} + \frac{\Delta_{0\Delta} - \Delta_{0\Delta p} - 0,5(\beta - 1)T_{\Delta}}{C_{\kappa}} \approx 0.$$

Таким образом, на рабочем чертеже пуансона для размера 0,95 необходимы следующие отклонения:  $0,95 \pm 0,03$  мм.

Значения дополнительных эксплуатационных звеньев являются функциями, которые определяются внешними и внутренними факторами. К внешним факторам можно отнести условия эксплуатации. К внутренним факторам – параметры, которые определяют эксплуатационные свойства сопряженных поверхностей: материал деталей, смазочные материалы, параметры качества поверхностного слоя и др.

### Заключение

Предложена концепция автоматизированной подсистемы технологической подготовки производства, обеспечивающая определение конструктивных размеров и корректировку точности функциональных размеров отдельных деталей по критериям повышения технологичности конструкции при оптимизации простановки технологических размеров для различных вариантов реализации операций механической обработки. По критериям минимизации припуска и (или) минимуму рабо-

чих ходов оптимизируется РТА при различных схемах простановки операционных размеров.

Проведенный анализ позволил снизить объем слесарных доводочных работ более чем в три раза и обеспечить требуемую точность взаимного расположения отдельных элементов штампа. Это оказало значительное влияние на оптимальное распределение нагрузки при эксплуатации и, как следствие, возможность достижения установленной долговечности.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Инженерия** поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А.Г. Суслова. – М.: Машиностроение. 2008. – 320 с.
2. **Польский, Е.А., Филькин, Д.М.** Технологическое обеспечение качества сборочных единиц на основе анализа размерных связей с учетом эксплуатации // *Научно-технические технологии в машиностроении*. – 2014. – №11 (41). – С. 36-44.
3. **Суслов, А.Г., Федонин, О.Н., Польский, Е.А.** Научно-техническая технология повышения качества сборочных единиц машин на этапах жизненного цикла // *Научно-технические технологии в машиностроении*. – 2016. – №5 (59). – С 34 – 42.
4. **Польский, Е.А.** Технологическое обеспечение точности и качества поверхностей деталей машин при проектировании маршрутно-операционного технологического процесса методом синтеза на основе анализа размерных связей // *Научно-технические технологии в машиностроении*. – 2016. – №10 (64). – С. 39 – 48.

### REFERENCES

1. *Parts Surfaces Engineering* / Authors' group; under the editorship of A.G. Suslov. – M.: Mechanical Engineering. 2008. – pp. 320.
2. **Polsky, E.A., Filkin, D.M.** Quality technological support in assembly units based on dimension ties analysis taking into account operation / *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2014. – No.11 (41). – pp. 36-44.
3. **Suslov, A.G., Fedonin, O.N., Polsky, E.A.** High technology for quality increase in assembly units of machinery at life stages // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2016. – No.5 (59). – pp. 34-42.
4. **Polsky, E.A.** Technological support of accuracy and quality of machinery at designing routing-operation technological process by method of synthesis based on dimension ties analysis // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2016. – No.10 (64). - pp. 39-48.

Рецензент д.т.н. В.В. Непомилуев