

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДОПУСТИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ САЕ-МОДУЛЕЙ  
AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL R11 ДЛЯ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

*А.В. Новак, студент, Е.В. Хмаренко, студент,  
С.М. Ващенко, преподаватель, В.Г. Концевич, доцент,  
Сумский государственный университет, г. Сумы*

*Статья посвящена исследованию допустимости применения САЕ-модулей, встроенных в Autodesk Inventor 11, поскольку данный продукт является наиболее распространенным на машиностроительных предприятиях Украины. Для анализа был выбран встроенный модуль «Мастер проектирования».*

***Ключевые слова:** Inventor, САЕ, Мастер проектирования, генераторы, зубчатое колесо, червячное колесо, роликотая цепь.*

*Стаття присвячена дослідженню допустимості застосування САЕ-модулів, вбудованих у Autodesk Inventor 11, оскільки цей продукт є найбільш поширеним на машинобудівних підприємствах України. Для аналізу був вибраний вбудований модуль «Майстер проектування».*

***Ключові слова:** Inventor, САЕ, Майстер проектування, генератори, зубчасте колесо, черв'ячне колесо, роликотий ланцюг.*

На сегодняшний день основными требованиями к промышленному производству являются сокращение срока выхода продукции на рынок, снижение ее себестоимости и повышение качества. Как показывает практика конструкторско-технологической подготовки производства ведущих отечественных предприятий, удовлетворить вышеописанные требования можно только при использовании современных CAD/CAM/CAE/PDM-систем [1].

Одним из самых распространенных программных продуктов, включающий в себя основные системы создания САПР, является пакет программ для автоматизированного проектирования компании Autodesk Inventor Professional R11 (далее Inventor) [2-4]. На многих машиностроительных предприятиях этот пакет достаточно широко применяется для решения САД-задач, но встроенные в него модули инженерных расчетов (САЕ) практически не используются, т.к. специалисты не имеют информации о соответствии используемых в нем методологий расчетов машиностроительных изделий, принятых в Украине.

Для анализа на соответствие был выбран встроенный в Inventor модуль «Мастер проектирования», который [3, 5]:

– является инструментальной программой содержащей элементы искусственного интеллекта. Поддерживает функциональное проектирование, используя в процессе расчета геометрических, кинематических и динамических свойств изделий экспертные знания;

– метод формирования библиотеки экспертных знаний совместим с концепцией CALS;

– представляет собой комплект программ расчета и твердотельного моделирования, которые позволяют создавать машиностроительные изделия с учетом простых и/или комплексных механических свойств. Такие параметры, как мощность, скорость, крутящий момент, свойства материала, рабочая температура, свойства смазки и т.п., хранятся в качестве составных элементов собственных файлов Inventor;

– реализует набор вычислений, отображающих стандартные математические и физические модели, обеспечивающих высокое качество разработки проектов в условиях параллельного инжиниринга.

Мастер проектирования состоит из трех компонентов [5, 6]:

1. «Механические калькуляторы». В ходе проектирования и проверки механических систем инженерные калькуляторы используют стандартные математические формулы и физические законы. Калькуляторы позволяют рассчитать посадки, допуски, крутящие моменты, давления, динамические или статические нагрузки и др.

2. «Генераторы». Компоненты мощность, скорость, свойства материала используются для подбора, анализа и создания часто используемых деталей машин на основе функциональных требований и технических условий. Генераторы позволяют в среде проектирования деталей с помощью операций выдавливания, вращения и сдвига элементов спроектировать такие компоненты, как механические соединения, валы и ступицы, передачи, уплотнительные кольца, ременные и цепные приводы, пружины и т. п.

3. «Блокнот инженера». Представляет собой доступный в режиме реального времени справочник сведений и вычислительных соотношений для всех расчетов, содержащий теорию машиностроения, формулы и алгоритмы, используемые при проектировании машин, которые можно найти в Мастере проектирования.

Аналізу на відповідність були підвргнуті наступні компоненти генераторів і калькуляторів:

- генераторы: болтовое соединение; зубчатые передачи; червячные передачи; планетарные передачи; подшипники качения; цепные передачи;

- механические калькуляторы: пределов и посадок; размерных цепей; сварного соединения; паяного соединения; упорного винта.

Расчеты таких компонентов конструкций наиболее распространены и часто используются, кроме этого, для них существует большое количество учебно-методического материала [7, 8, 9], который позволяет произвести такой анализ. Кроме выше перечисленных модулей, в Inventor существуют: генератор уплотнительных колец, штифтовые соединения, генератор пружин, генератор валов, калькулятор пластины, калькулятор тормозов, калькулятор зажимного соединения и т.д., но объем статьи не позволяет их рассмотреть. Эти модули будут исследованы в дальнейшем.

## ГЕНЕРАТОРЫ

**Болтовое соединение.** Является наиболее часто применяемым и рассчитываем типом соединений. Применение генератора позволяет пользователю осуществлять проектирование нагруженных осевой или касательной силами (растяжение/сжатие) болтовых соединений с предварительным натягом.

При расчете прочности выполняется проверочный расчет болтового соединения (например, давление в резьбе и напряжение болта при закручивании болта и во время работы). В расчете учитываются несколько значений напряжения: уменьшение нагрузки на болт, расчетное/допустимое напряжение растяжения, напряжение винтов и напряжение деформации. Результаты расчета представлены на рисунке 1.

Исходя из полученных из расчетов данных по конкретному примеру, можно сделать вывод: расчет диаметров болтов, сделанный в расчетном модуле Inventor 11, сходится. Кроме того, программа выдает ряд дополнительных значений, таких, как требуемый момент затягивания ( $M=4,149$  Нм), рабочая сила ( $F_{\max}=1685,938$  Н) и др., которые возможно понадобятся инженеру при конструировании. Поэтому можно использовать этот расчетный модуль, что значительно сократит время.

**Зубчатая передача.** Результаты расчетов зубчатых передач (коническая, червячная, косозубая) представлены на рис. 2- 4. Сравнение результатов расчетов позволяют сделать вывод о соответствии

методологий расчетов зубчатых передач, встроенных в Inventor с принятыми в Украине.

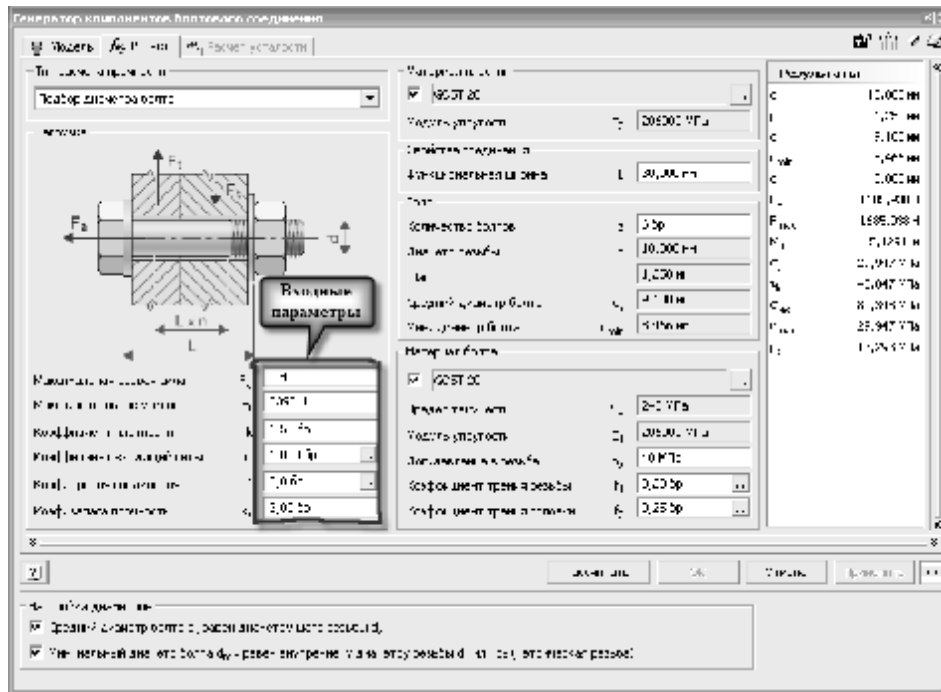


Рисунок 1 – Диалоговое окно Генератора болтового соединения

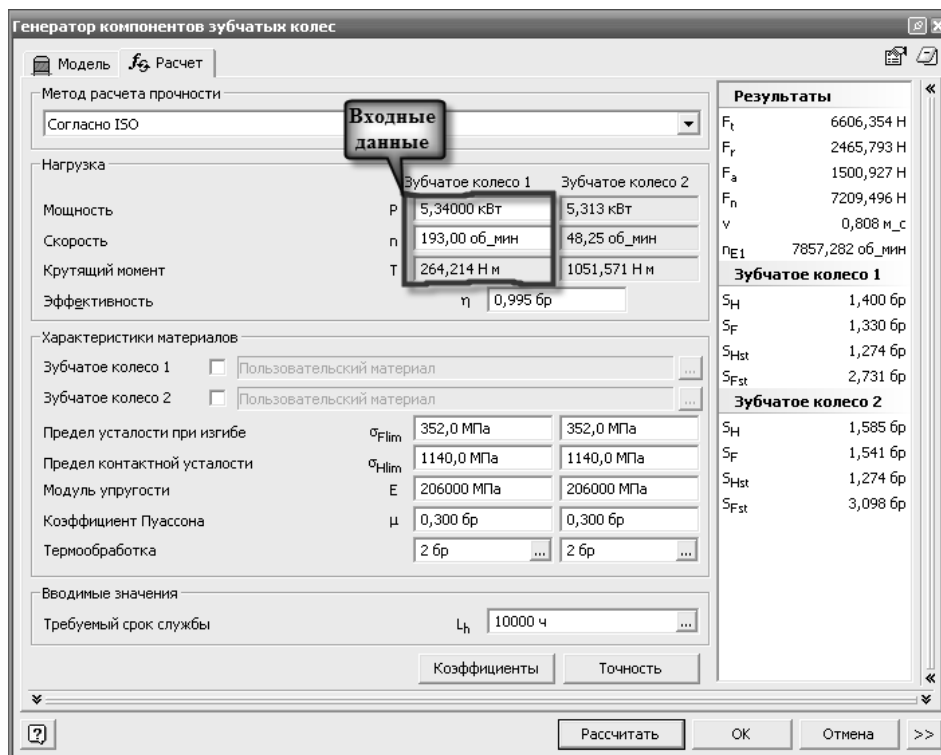


Рисунок 2 – Диалоговое окно Генератора компонентов зубчатых колес

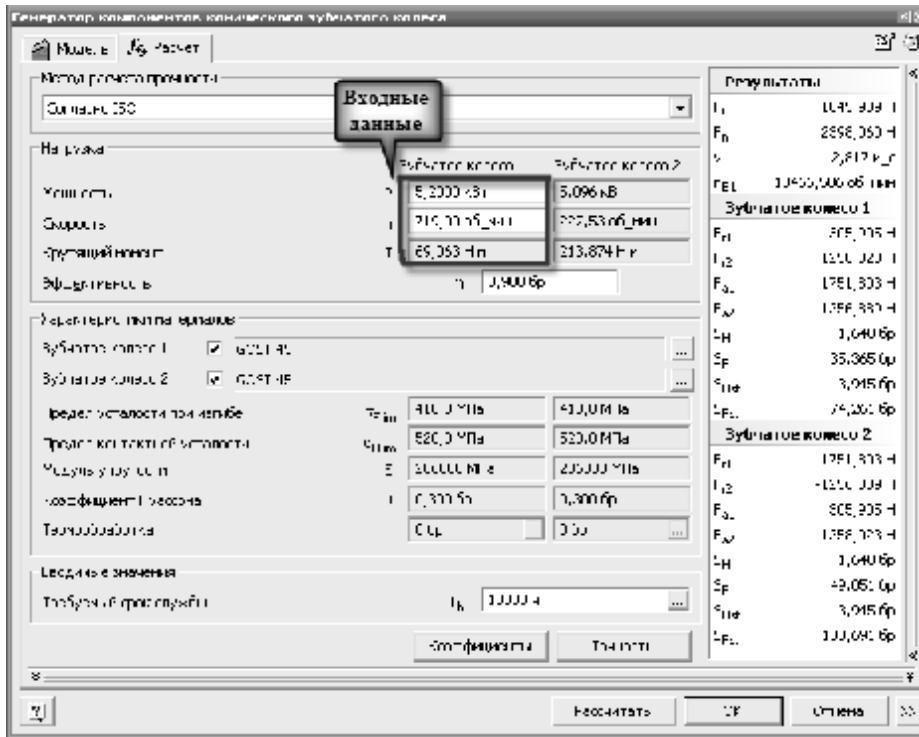


Рисунок 3 – Диалоговое окно Генератора компонентов конических зубчатых колес

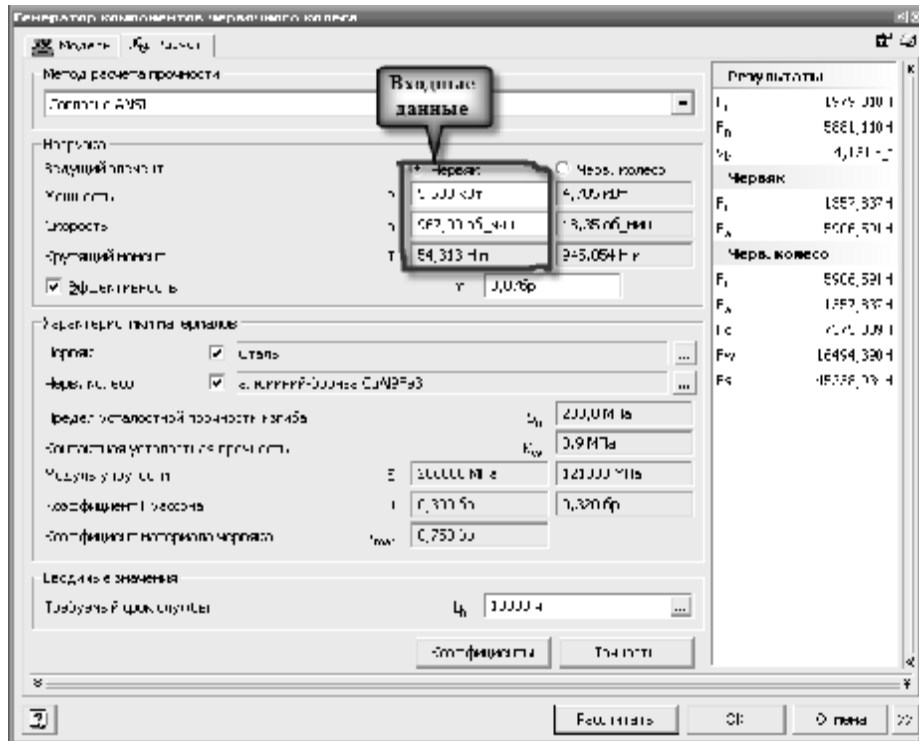


Рисунок 4 – Диалоговое окно Генератора компонентов червячных колес

Однако следует отметить, что в базе данных материалов Inventor отсутствуют параметры материалов по ДСТУ. Поэтому для получения достоверных результатов следует рекомендовать пополнить встроенную базу данных и тогда данный модуль расчетов может быть рекомендован к применению.

**Подшипники качения.** Генератор расчета подшипников обеспечивает проведение поверочного расчета для выбранного подшипника.

Выполненный расчет подшипника качения показал наличие расхождений в результатах. Как видно из рис. 5, генератором был рассчитан срок службы подшипников, который равен 945 ч, а расчет по принятой методологии показал, что данный параметр составляет более 16000 ч.

Сравнительный анализ методологий показал, что математическая модель, заложенная в Inventor, отличается от математической модели, которая использовалась согласно требованиям ДСТУ. Это связано с расхождением в формулах расчета долговечности в часах. По методологии расчета ДСТУ формула расчета долговечности имеет вид

$$L_h = \frac{10^6 \cdot L}{60 \cdot n},$$

где  $n$  – частота вращения вала, об/мин;

$$L = \left( \frac{C}{P_3} \right)^P - \text{долговечность подшипника, млн об.}$$

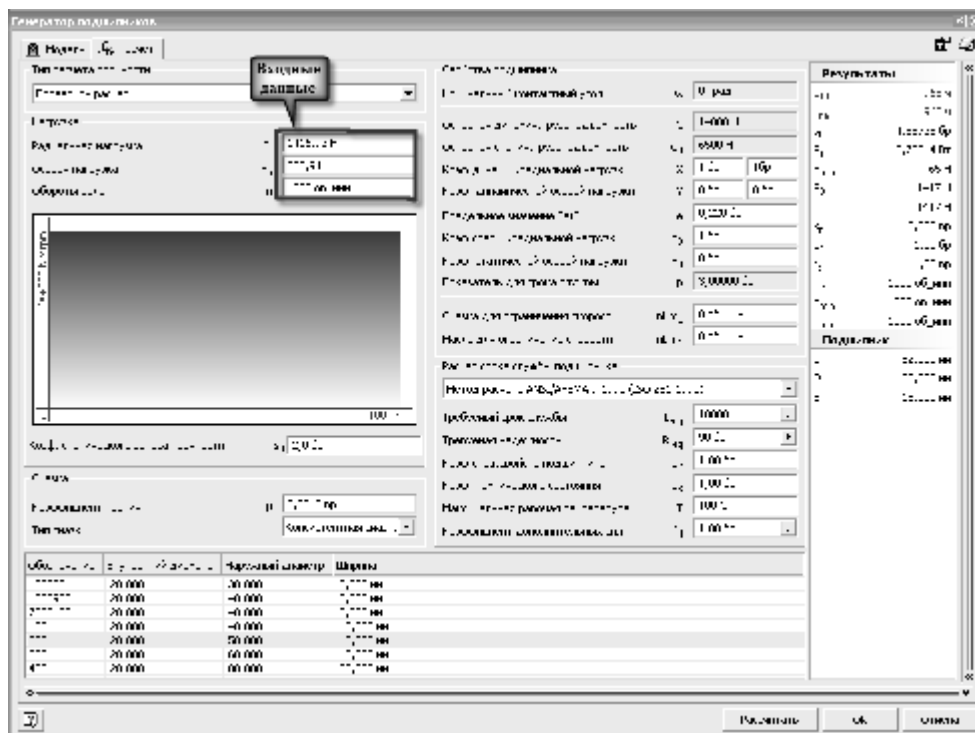


Рисунок 5 – Диалоговое окно Генератора подшипников

В расчетном модуле Inventor 11 используется другая формула. Основной номинальный срок службы радиальных шариковых подшипников рассчитывается по формуле

$$L_{10} = \left( \frac{C_r}{P_k} \right)^3, \quad (2)$$

где  $C_r$  – основная номинальная радиальная динамическая нагрузка, фунт-сила, Н;  $P_r$  – динамическая эквивалентная радиальная нагрузка, фунт-сила, Н.

Логичным будет сделать вывод о недопустимости использования данного модуля для расчетов подшипников качения. Однако если принять во внимание, что результатом расчета по данной формуле является количество оборотов (млн.об), то ее применение может быть допустимо.

**Ценная передача.** Анализ методологий расчетов показал, что принципиальной разницы в результатах не существует.

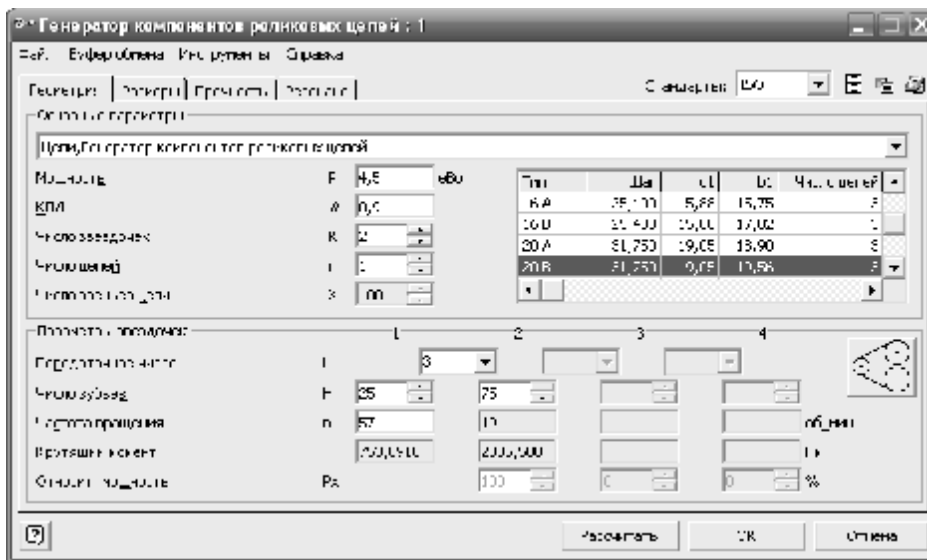


Рисунок 6 – Диалоговое окно Генератор компонентов роликовых цепей

Разница в результатах вызвана тем, что в Inventor используются иная математическая модель, чем в ДСТУ. Например.

Расчет числа звеньев в цепи по методологии Inventor (рис.6):

$$X = 2 \frac{A}{t} + \frac{z_1 - z_2}{2} + \left( \frac{z_1 - z_2}{2\pi} \right)^2 \frac{A}{t}, \quad (3)$$

где  $A = \frac{t}{8} \left[ 2X - z_1 - z_2 \sqrt{(2X - z_1 - z_2)^2 - F(z_2 - z_1)^2} \right]$  – межосевое расстояние;

$Z_1$  – количество зубьев ведущей звездочки;

$Z_2$  – количество зубьев ведомой звездочки;

$F$  – табличное значение, которое связано со значениями  $z$  и  $X$ .

Согласно методологии расчетов ДСТУ использовались формулы:

$$L_t = 2a_t + 0,5z_\Sigma + \frac{\Delta^2}{a_t}, \quad (4)$$

где  $L_t$  – число звеньев в цепи;  $a_t = \frac{a_y}{t}$ ;

$$z_{\Sigma} = z_1 + z_2 - \text{сумарное число зубьев}; \quad \Delta = \frac{z_2 - z_1}{2\pi} - \text{поправка.}$$

Поэтому можно сделать вывод, что для расчетов цепных передач генератор Inventor использовать не рекомендуется.

### КАЛЬКУЛЯТОРЫ

Допусков и посадок. Калькулятор используется для проектирования стандартной посадки в отверстие или на валу. В диалоговом окне автоматически подбирается размер зон допусков, и рассчитываются все возможные посадки в соответствии с указанными максимальными и минимальными значениями натяга или зазоров. С помощью приложения можно спроектировать посадку с зазором, переходную посадку и посадку с натягом. Входные параметры и результаты расчета калькулятора допусков и посадок представлены на рисунке 7.

Сопоставления методологий расчетов и полученных результатов показало полную сходимость, что в принципе является естественным, так как в основу обеих методологий положена единая система допусков и посадок.

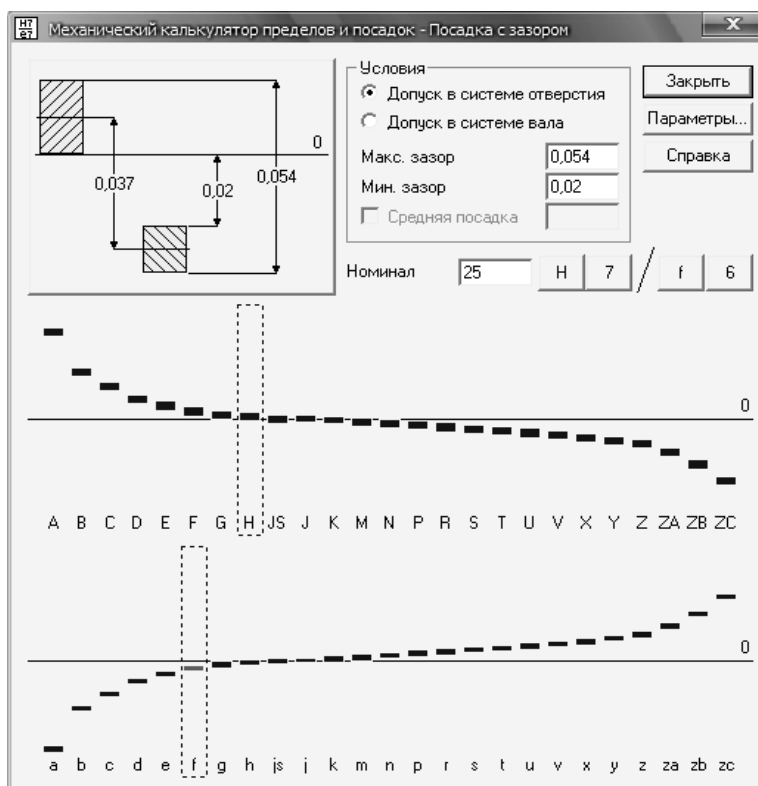


Рисунок 7 – Калькулятор пределов и посадок

**Размерные цепи.** С помощью калькулятора размерных цепей (рис. 8) выполняется расчет замкнутых линейных размерных цепей внутри индивидуальных компонентов или в сборочных узлах. Индивидуальные элементы цепи могут быть увеличительными, уменьшительными или замыкающими. Замыкающими элементами являются параметры, образуемые во время сборки заданной детали (производные элементы сборки) или в процессе производства (производные элементы изготовления).

Калькулятор предназначен для работы в двух режимах:

- проверка вычисления - вычисление итогового размера с целью оценки соблюдения расчетных размеров;
- расчет конструкции - расчет допусков замыкающего элемента цепи.

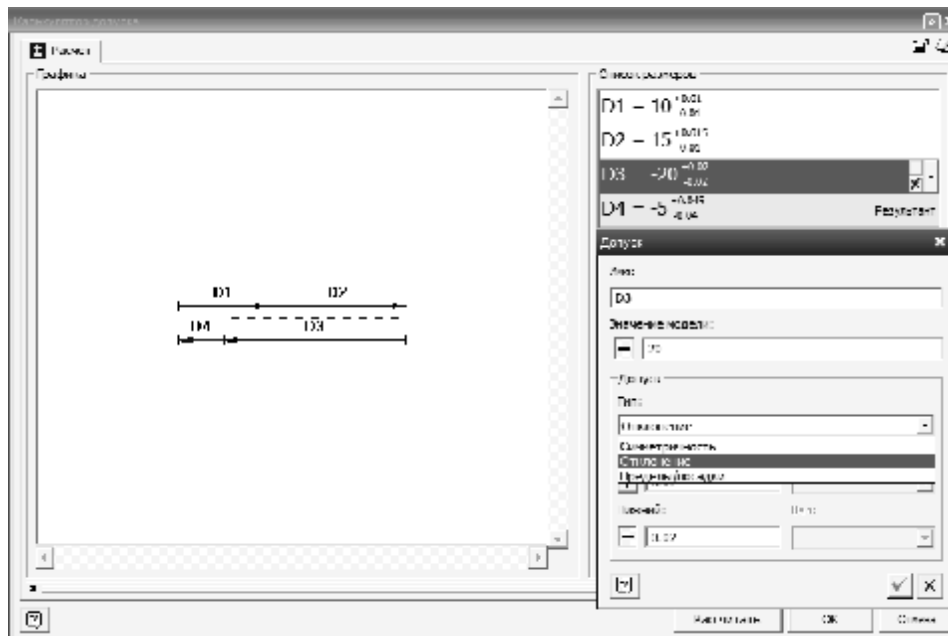


Рисунок 8 – Калькулятор допуска

Выполненные два проверочных расчета, проведенный расчет итогового размера и допусков замыкающего элемента цепи дали идентичные результаты. Таким образом, можно сделать вывод о возможности применения калькулятора в пределах расчета допусков замыкающего элемента цепи и вычисления итогового размера с целью оценки соблюдения расчетных размеров.

**Калькулятор сварного соединения.** Рассчитывает и проверяет прочностные характеристики сварных соединений с различными типами сварных швов: стыковой, прорезной и угловой сварные швы, сварные швы с разделкой кромок, соединения электрозаклепки и точечной сварки.

С помощью калькулятора можно выбрать требуемый тип сварного шва, его геометрические характеристики и материал, выполнить проверку прочности (рис. 9).

Для сварных соединений со статической нагрузкой можно выбирать один из двух методов расчета. В обоих методах результирующие напряжения вычисляются аналогичным образом, однако результаты проверки прочности оцениваются по-разному. Типы переключателей зависят от типа сварки, проекта и нагрузки. С помощью переключателей можно адаптировать весь процесс расчета сварного соединения к национальным стандартам или правилам эксплуатации.

Сварные соединения были рассчитаны с разным типом нагрузок и величинами моментов. В процессе расчета определялись прочностные и геометрические характеристики таких сварных соединений: стыковое соединение; соединение, полученное точечной контактной сваркой; соединение электрозаклепками; соединения с прорезями; угловое соединение.



Результаты полустыкового соединения со скошенными кромками вызвали сомнения. При вычислении обратного пересчета его результат указывал на то, что калькулятор закладывает другой угол на входных данных. Этот вопрос предполагается исследовать в дальнейшем.

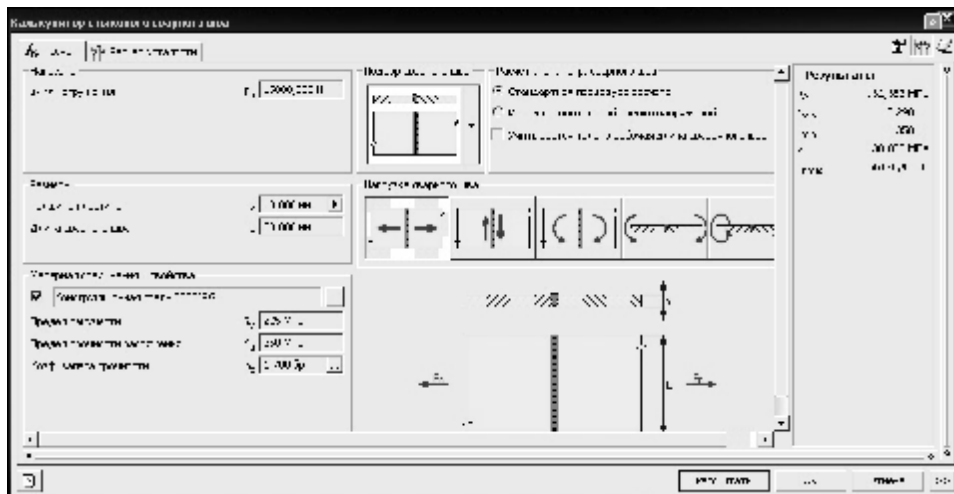


Рисунок 9 – Калькулятор сварного соединения

Результаты расчетов показали полную сходимость, кроме описанного выше, поэтому расчет сварных соединений может быть рекомендован для применения.

Калькулятор паяного соединения. Механический калькулятор паяного соединения используется для проверки прочности под воздействием нагрузок разного типа. Можно рассчитывать геометрические параметры паяного соединения, указывать минимальную толщину материала, используемого в проекте, и выполнять проверку прочности, как показано на рис. 10. Расчет можно сохранить в файл (\*.html), определенный пользователем.

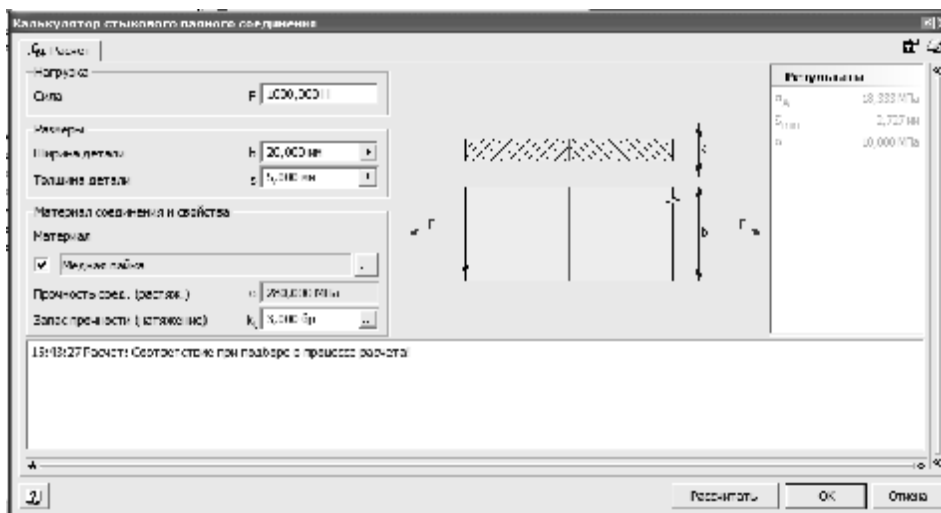


Рисунок 10 – Калькулятор паяного соединения

После проведения расчетов паяного соединения результаты показали хорошую сходимость, поэтому методология расчета может быть рекомендована для применения.

**Калькулятор упорного винта.** Рассчитывает упорные винты, работающие в условиях закручивания и давления, и выполняет проверку изгибов и давления в резьбе.

Анализ показал, что по методологии ДСТУ все геометрические параметры упорного винта рассчитываются и являются выходными параметрами, а в методологии Inventor они являются входными параметрами, т.е. расчет геометрии не производится.

При проведении тестовых расчетов в Inventor геометрия упорного винта была получена в результате расчета по ДСТУ, поэтому полученные данные значительно отличаются от данных по расчету ДСТУ. Проведенный обратный пересчет показал значительную несходимость, что заставило провести дополнительный анализ исследования методологии расчета Inventor, который показал, что математические модели, заложенные в эти две методологии, отличаются.

Таким образом, можно сформулировать вывод, что этот калькулятор для расчетов упорных винтов использовать нельзя.

## ВЫВОДЫ

На основании вышеизложенного материала можно сделать вывод, что имеющиеся в Inventor CAE-модули (за некоторыми исключениями) могут быть рекомендованы для использования в конструкторско-технологической подготовке машиностроительного производства и в учебном процессе по курсу «Сопrotivления материалов» и «Детали машин» как проверочный расчет.

При разработке параметрических моделей результаты расчета калькуляторов можно передавать в модель, что даст возможность конструктору осуществлять вариантное проектирование. При использовании Мастера проектирования для инженерных расчетов происходит параллельный инжиниринг, то есть параллельно идет и проектирование, и расчет. Это дает улучшение качества и сокращение времени на процесс проектирования. Уменьшается вероятность ошибки, т.к. конструктивные элементы и материал, выбираются из базы данных.

## SUMMARY

### RESEARCH OF THE ADMISSIBILITY OF APPLICATION CAE-MODULES AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL R11 FOR DESIGNING OF MACHINE-BUILDING PRODUCTS

*A.V. Novak, E.V. Khmarenko, S.M. Vashenko, V.G. Kontsevich*

*This article is devoted research of an admissibility of application of the CAE-modules which have been built in Autodesk Inventor 11, as given product is the most widespread at the machine-building enterprises of Ukraine. For the analysis the built in module «Master of designing» has been chosen.*

**Key words:** *Inventor, CAE, The Master of designing, generators, a cogwheel, a worm wheel, a roller chain.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ващенко С.М. Использование современных информационных технологий для повышения качества компрессорного оборудования / С.М. Ващенко, В.Г. Концевич // Компрессорное и энергетическое машиностроение. – 2007. - №4(10). - С. 57 – 60.
2. Autodesk Inventor 11 – удачный выбор - [http://www.arcada.com.ua/infot/it\\_news.html](http://www.arcada.com.ua/infot/it_news.html)
3. Выбор оптимальной САПР для задач машиностроения – <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=8031&iid=324#10>
4. Преимущества Autodesk Inventor – <http://www.cad.dp.ua/sovets/invent2.php#part1>
5. Концевич В. Г. Твердотельное моделирование в Autodesk Inventor / В. Г. Концевич. - Киев, Москва: ДиаСофтЮП, ДМК Пресс, 2008. - 672с.
6. Комплексные решения в области САПР и ГИС. - <http://www.cad.ru>
7. Дунаев П. Ф. Детали машин / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов. – М.: Высш. шк., 1984.-336 с.
8. Чернавский С.А. Курсовое проектирование деталей машин / С.А. Чернавский, К.Н. Боков, И.М. Чернин и др. - М.: Машиностроение, 1988. - 416с.
9. Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин / А.Е. Шейнблит. – М.: Высш. шк., 1991. - 432 с.

*Поступила в редакцию 19 июня 2009 г.*