

УДК 004.94:62-235

DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-62-67

## Возможности программного комплекса Gearac1 для проектирования зубчатых передач и элементов трансмиссии

Д. В. Дорофеев, кандидат технических наук, ФАУ «ЦИАМ им. П. И. Баранова», Москва, Россия

Создание математической модели работы зубчатых передач относится к одной из наиболее наукоемких областей знаний. Для разработки модели проводятся междисциплинарные исследования. Для практического использования результаты этой работы находят воплощение в стандартах расчета на прочность. Из-за сложности процессов, протекающих в зубчатых передачах, выполнение расчета одной пары зубчатых колес стало требовать от инженера не только существенных временных затрат, но и глубокого понимания сотен страниц расчетных методик, описанных группами взаимосвязанных стандартов. В формулы расчета входят уточняющие коэффициенты, вклад и значения которых определяются группой специалистов, разрабатывающих стандарт, в результате исследований по согласованию аналитических вычислений, экспериментальных данных и расчетов, выполненных с помощью метода конечных элементов. Для выполнения расчета проектировщику необходимы знания о принципах выбора значений коэффициентов и их смысла. Выполнение расчета зубчатых передач по стандарту – трудоемкий процесс, который может быть корректно выполнен только инженером, имеющим опыт проектирования зубчатых передач. Для облегчения труда инженера были созданы программные продукты как отечественного, так и зарубежного производства. Однако тенденции, сложившиеся в последние годы, требуют замещения зарубежных программных продуктов. В 2022 году специалистами ФАУ «ЦИАМ им. П. И. Баранова» был разработан программный комплекс Gearac1, позволяющий заменить иностранные продукты в объеме, востребованном на предприятиях авиационной промышленности в областях расчета цилиндрических зубчатых передач, валов и подшипников. В программный комплекс были внедрены современные методики расчета. Возможностям программного комплекса Gearac1 посвящена данная статья.

**Ключевые слова:** зубчатые передачи, валы, подшипники, программное обеспечение, проектирование.

### Введение

От работоспособности зубчатых передач часто зависит работоспособность машины. Особую роль зубчатые передачи играют в приводах авиационных газотурбинных двигателей. Редуктор обеспечивает согласованную работу винта и турбины, воспринимая всю передаваемую мощность от турбины при сравнительно малых массе и габаритах. Необходимость минимизации массы конструкции при сохранении необходимых запасов прочности определяет тщательный подход к выбору конструктивных параметров при выполнении их проектирования.

За последние десятилетия было решено много практических задач по повышению качества зубчатых передач. Были созданы стандарты для выполнения аналитического расчета, позволяющего сравнивать различные варианты конструкций авиационных зубчатых передач. В общем случае зубчатые колеса являются одними из наиболее ответственных и сложных деталей. Они подвержены силовым, вибрационным и температурным нагрузкам. В текущей ситуации развития объема и номенклатуры необходимых для применения стандартизованных методик изменяются требования к квалификации инженеров и использованию стандартов. Сейчас без применения программного обеспечения для автоматизированного расчета на основе имплементированных стандартов выбор оптимальных параметров зубчатых передач становится малоэффективным.

Для облегчения работы инженера как отечественными, так и зарубежными организациями были разработаны [1–3] программные продукты для выполнения расчетов.

К программному обеспечению применяются ограничения расчетных методик, которые в нем заложены. Отечественный стандарт (ГОСТ 21354–87 «Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность») был издан более 30 лет назад и в дальнейшем не обновлялся. Из названия следует, что представленная в стандарте методика ограничена внешним зацеплением. В последние годы ГОСТ 21354–87 применяется все реже.

Развитие аналитических методик при регулярном пересмотре международных стандартов приводит к тому, что их область применения может оказаться выше по сравнению с отечественными стандартами. Например, стандарт ГОСТ 21354–87 ограничен окружной скоростью  $v \leq 25$  м/с, в ISO 6336 (ISO 6336 – Calculation of load capacity of spur and helical gears) прямого запрета на использование стандарта при окружных скоростях  $v > 50$  м/с нет, но раздел 4.1.10.4 ISO 6336-1:2019 предъявляет дополнительные требования, связанные с увеличением минимального коэффициента запаса. Основным направлением развития стандартов в мировой практике является уточнение возможности учета таких факторов, как возникновение заедания, формы диафрагм, модификации и других факторов. Эти факторы, а также возможность учета формы модификации зубьев приобретает все большее значение при проектировании зубчатой передачи. Для ликвидации разрыва в развитии методик в отечественных промышленных организациях и конструкторских бюро стало использоваться иностранное программное обеспечение, в котором заложены более современные методики расчета. С точки зрения возможности перечисленных

выше факторов наиболее передовыми стандартами являются ISO 6336-2019 для цилиндрических зубчатых передач и стандарт ISO 103000-2014 для конических зубчатых передач с круговым зубом.

Стандарты представляют собой сборники из нескольких частей. Методика является деревом расчетных цепочек, ветви которого соединены через узловые точки выбора варианта продолжения расчета. Примером узловой точки может быть коэффициент  $Z_H$ , его расчет осуществляется по различным формулам в зависимости от типа материала, при этом на результаты расчета накладываются ограничения, которые могут быть приведены в примечаниях к стандарту или в приложении. Поэтому даже при наличии программного обеспечения необходима своевременная поддержка инженера.

Но с 2022 года дистрибьюторы иностранного программного обеспечения сообщают о сложностях с дальнейшей покупкой и поддержкой. Российские пользователи оказались лишены не только возможности купить иностранное программное обеспечение, но и возможности получить профессиональную консультацию по использованию уже купленного лицензионного продукта.

По совокупности причин, выполнение расчета зубчатых передач является в настоящий момент одной из наиболее острых проблем для отечественной промышленности.

В 2022 году ФАУ «ЦИАМ им. П. И. Баранова» на основании запросов от промышленных организаций была начата разработка программного комплекса Gearac1 [4]. Целью разработки является замена иностранных программных продуктов современным отечественным программным обеспечением для расчета зубчатых передач и элементов трансмиссии. В программный продукт был заложен уникальный опыт теоретических и экспериментальных исследований, проведения инженерных расчетов зубчатых передач в ФАУ «ЦИАМ им. П. И. Баранова».

Gearac1 предназначен для решения широкого круга задач инженерного анализа. Основные выполняемые задачи разделены на модули.

#### Используемые методы

В Gearac1 внедрены современные методики выполнения аналитических расчетов. Расчет основных геометрических размеров и показателей качества зацепления цилиндрических зубчатых колес осуществляется по стандартам (ISO 21771 Gears – Cylindrical involute gears and gear pairs Concepts and geometry, ISOTR 10064 Cylindrical gears Code of inspection practice), несущая способность рассчитывается по группе стандартов ISO 6336, расчет подшипников осуществляется по стандартам (ISO 76-2006, ISO 281-2007), допуски рассчитываются по стандартам (ISO 1328-1 – ISO system of flank tolerance classification, DIN 3967 Flankenspiel Zahndickenabma Be Zahndickentoleranzen, OCT 1 41671–91 – Колеса зубчатые цилиндрические авиационные), перерасчет твердости материалов осуществляется по стандарту (ISO 18265 Metallic materials – Conversion of hardness values).

#### Функциональные возможности Gearac1

Модуль расчета зубчатых передач (рис. 1) предназначен для расчета на прочность эвольвентных цилиндрических зубчатых передач внешнего и внутреннего зацепления по критериям контактной, изгибной выносливости и заедания.

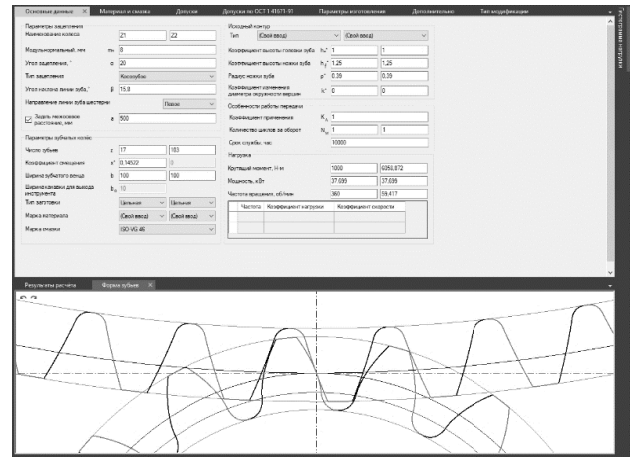


Рис. 1. Интерфейс модуля расчета цилиндрических зубчатых колес

Fig. 1. Interface of the cylindrical gear calculation module

Помимо своего основного назначения, модуль расчета зубчатых передач позволяет создавать трехмерные модели для облегчения подготовки данных к последующему выполнению расчета [2] с помощью метода конечных элементов. Модель строится на основании расчета координат точек боковых поверхностей зубьев, распределенных по сечениям. На основании этих данных строятся поверхности зубьев в программе трехмерного [6] моделирования. На рис. 2 представлены результаты работы программы – модели зубчатых колес с внутренними зубьями, косозубое и прямозубое с внешними зубьями. В процессе создания новой геометрии может изменяться количество граней, что может привести к изменению идентификаторов граней и в свою очередь нарушить корректность выполнения расчета. Для предотвращения подобной проблемы боковые грани зубьев автоматически снабжаются метками, воспринимаемыми при импорте модели в программу конечно-элементного анализа.

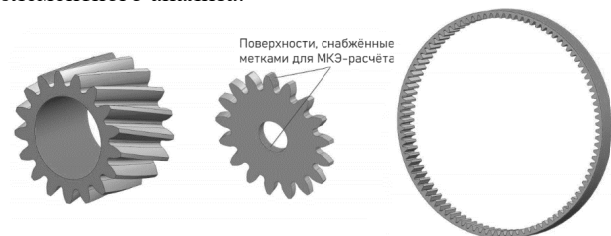


Рис. 2. Виды трехмерных моделей, создаваемых с помощью Gearac1

Fig. 2. Types of 3D models created by Gearac1

Для повышения точности подобного анализа важно получить именно ту геометрию зубьев, которая будет получена в результате изготовления на станке. Особенно это важно при использовании ин-

струмента с нестандартными параметрами геометрии или инструмента с протуберанцем. Был разработан модуль моделирования процесса нарезания зубьев методом обката (рис. 3). Результатом моделирования являются координаты точек, также распределенные по сечениям, что позволяет использовать их при построении трехмерных моделей.

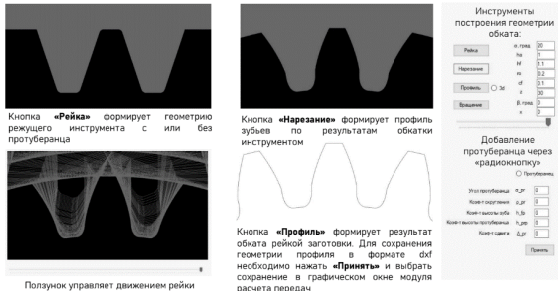


Рис. 3. Элементы интерфейса модуля обката

Fig. 3. Interface of the elements gear rolling module

В некоторых случаях может требоваться ввод специальной информации, имеющей приоритет перед результатами расчета, такими данными могут быть результаты испытаний, расчет деформаций, выполненный методом конечных элементов. Это не является нарушением методики расчета, поскольку стандарт ISO 6336 допускает ввод экспериментальных данных при расчете по методу А. Для реализации этой функции был разработан инструмент, получивший название «Консоль».

Для подготовки чертежей может быть использована функция передачи формы зубьев, полученной аналитически или на основании работы модуля моделирования обката, в файл (формат DXF [7]) для подготовки конструкторской документации. На основании результатов расчета формируется файл, воспринимаемый большинством программ для создания чертежей.

Модуль расчета валов (рис. 4) служит [8] для расчета запасов усталостной и статической прочности валов, определения реакций опор и построения эпюр. Алгоритм по схеме вала определяет реакции опор и рассчитывает коэффициенты концентрации нагрузок по данным, внесенным в программу из справочной литературы. Промежуточные значения коэффициентов рассчитываются программой автоматически.

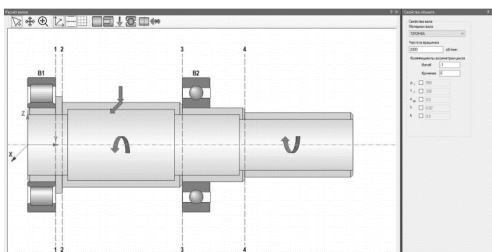


Рис. 4. Интерфейс модуля расчета валов

Fig. 4. Interface of the shaft calculation module

Модуль расчета подшипников (рис. 5) предназначен для определения долговечности [9] подшипников качения, а также статической и динамической грузоподъемности при наличии необходимых данных о

внутренней геометрии. В этом модуле для выполнения расчета также допустим ввод дополнительных коэффициентов нагрузки, таких как коэффициент безопасности и температурный коэффициент. Необходимо отметить, что эта функция является отклонением от стандартов и является дополнительной.

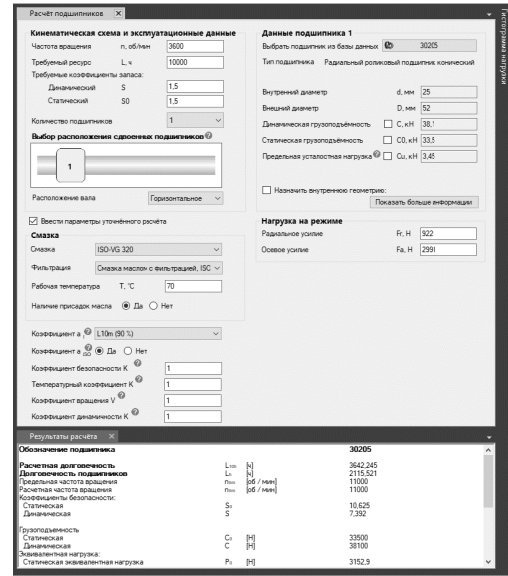


Рис. 5. Интерфейс модуля расчета подшипников

Fig. 5. Interface of the bearing calculation module

Интерфейс взаимодействия пользователя с базой данных при выборе подшипника показан на рис. 6. База данных подшипников Gearac1 является одной из самых крупных среди существующих программ и включает более 12 000 наименований подшипников. Для выбора пользователя доступны иностранные подшипники фирмы SKF [10], стандартизованные отечественные подшипники, а также подшипники фирмы erc [11], применяемые для авиационной техники. База данных содержит сведения: о внутренней геометрии подшипников, грузоподъемности, допустимых скоростях вращения в зависимости от вида смазки, коэффициентах нагрузки и другие сведения. Для каждого подшипника может быть сформирована справка с данными.

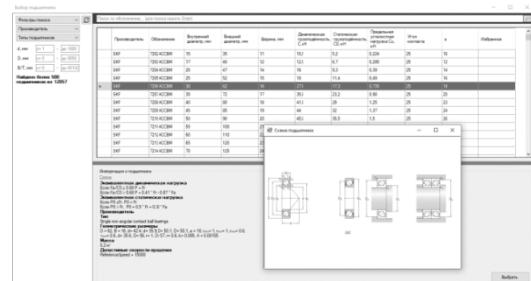


Рис. 6. Интерфейс работы с базой данных подшипников

Fig. 6. Interface of the data base of bearing

Это основные функциональные возможности программы. К дополнительным возможностям, стоит отнести интерфейс оболочки программы, который может быть настроен под предпочтения пользовате-

ля за счет использования окон с магнитной привязкой. Оболочка программы позволяет одновременно работать с набором расчетов различных деталей, относящихся к одному изделию. Гибкостью также обладает и формат выводимых отчетов. Пользователь может полностью определить объем и формат выводимых данных отчета о результатах вычислений. Пользователем может быть настроена информация, выводимая как в виде кратких результатов расчета (эта функция работает для модуля расчета зубчатых передач) в основном окне программы, так и полностью может быть определен формат выводимых данных для печати. При создании полного отчета создается файл в формате RTF на основании шаблона, который может быть полностью изменен пользователем. В программу внедрены база данных материалов и смазочных веществ, а также справочная система на каждый параметр, которая может дополняться и расширяться пользователем.

Оболочка программы позволяет включать и отключать отдельные возможности программы на уровне доступных лицензий, набор которых прописывается в электронный ключ.

#### Заключение

В 2024 году планируется адаптация стандартов по расчету конических зубчатых колес. Также планируется реализация модулей для расчета соединений, КПД, алгоритмов оптимизации конструкции пар зубчатых передач и расширение возможностей создания трехмерных моделей, в том числе за счет использования системы трехмерного моделирования «Компас» [12–15].

ФАУ «ЦИАМ им. П. И. Баранова» предлагает демонстрационную версию программы при заключении Лицензионного договора на использование программы на безвозмездной основе. Результаты обратной связи обрабатываются разработчиками и проводятся работы, направленные на повышение удобства работы с интерфейсом Gearacl, а также расширение функциональных возможностей модулей программного комплекса. В настоящее время тестирование демонстрационных версий завершено на Редуктор-ПМ. Мы благодарим наших коллег за положительный отклик.

#### Библиографические ссылки

1. *Пушкарев И. А., Сунцов М. В., Пушкарева Т. А.* Информационные технологии в машиностроении при проектировании рациональных конструкций планетарных передач // 3D-технологии в решении научно-практических задач : Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 23 мая 2023 года. Красноярск : Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева, 2023. С. 73–76.

2. *Рычина С. А., Ахмедова Л. Н., Пушкарев И. А.* Возможности программного комплекса Kisssoft для расчета геометрии рациональной конструкции планетарной передачи типа 2K-h // 3D-технологии в решении научно-практических задач : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 23 мая 2023 года. Красноярск : Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева, 2023. С. 67–72.

3. *Плясов А. В., Поликарпов А. Н.* Инструментально-метрологическое обеспечение планетарной передачи 3K-2G-H в программе KISSOFT для повышения качества зацеплений // Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении : сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции, Тула, 23–25 октября 2019 года. Тула : Тульский государственный университет, 2019. С. 54–58.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023688854 Российская Федерация. «Программа расчёта цилиндрических зубчатых колёс, трансмиссионных валов и подшипников качения» ("GEARACL 2023") : № 2023687512 : заявл. 08.12.2023 :опубл. 25.12.2023 / Д. В. Дорофеев, Д. В. Калинин, А. В. Жуков, Варсеева С. А., Лаврентьев Ю. Л. ; заявитель Федеральное автономное учреждение «Центральный институт авиационного моторостроения имени П. И. Баранова».

5. *Калинин Д. В.* Разработка метода расчёта динамических нагрузок в высоконагруженных зубчатых передачах планетарных редукторов ТРДД : специальность 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Калинин Дмитрий Владимирович, 2021. 197 с.

6. *Раков А. П.* Технологии трёхмерного моделирования в промышленном дизайне // Градостроительство и архитектура. 2021. Т. 11, № 2 (43). С. 155–161. DOI 10.17673/Vestnik.2021.02.20.

7. *Соколов И. В.* Методы чтения векторной графики на примере DXF-формата // Экономика и социум. 2020. № 5-2(72). С. 715–721.

8. *Зобнин А. П.* Прочностные расчёты с применением САПР в машиностроении при проектировании валов // 3D-технологии в решении научно-практических задач : сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Красноярск, 29 сентября 2022 года. Красноярск : «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева», 2022. С. 17–20.

9. *Беломытцев О. М.* О совершенствовании методики расчета авиационных подшипников качения в ГТД // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. 2021. № 67. С. 35–42. DOI 10.15593/2224-9982/2021.67.04.

10. Rolling bearings – SKF, PUB BU/P1 17000/1 EN, October 2018. URL: [http://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802809de-Rolling-bearings---17000\\_1-EN\\_tcm\\_12-121486.pdf](http://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802809de-Rolling-bearings---17000_1-EN_tcm_12-121486.pdf) (дата обращения: 17.01.2020).

11. Каталог продукции. 5-е изд. М. : ЕПК. 608 с. : ил. URL: <https://epkggroup.ru/common/upload/1/12332.pdf> (дата обращения: 05.04.2024).

12. *Феоктистова Л. А., Рзаева Т. В., Фардеев А. Р.* Краткий обзор приложений системы КОМПАС -3D // Научно-технический вестник Поволжья. 2024. № 1. С. 126–128.

13. *Жихорев А. С., Жихорева М. Д.* Использование компоновочной геометрии в программе КОМПАС-3D // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2021. № 1-1.

14. *Даманский Д. В., Бурменский А. Д.* Практический опыт использования новых инструментов моделирования судовых конструкций в КОМПАС-3D // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований : материалы IV Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 4 ч., Комсомольск-на-Амуре, 12–16 апреля 2021 года. Т. 1. Комсомольск-на-Амуре : Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2021. С. 232–235.

DOI 10.17084/978-5-7765-1474-6-2021-232.

15. Пилипенко М. С., Василенков Л. Н. Создание трехмерной модели редуктора в КОМПАС-3D // Качество продукции: контроль, управление, повышение, планирование : сборник научных трудов 9-й Международной молодежной научно-практической конференции, Курск, 18 ноября 2022 года. Курск : Юго-Западный государственный университет, 2022. С. 167–169.

### References

1. Pushkarev I.A., Suncov M.V., Pushkareva T.A. *Informacionnye tehnologii v mashinostroenii pri proektirovanii racional'nyh konstrukcij planetarnyh peredach* [Information technologies in mechanical engineering in the design of rational designs of planetary gears]. *3D-tehnologii v reshenii nauchno-prakticheskikh zadach : Sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Krasnojarsk, 23 maja 2023 goda* [Proc. 3D technologies in solving scientific and practical problems: Collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference, Krasnojarsk, May 23, 2023]. Krasnojarsk : Sibirskij gosudarstvennyj universitet nauki i tehnologii im. akad. M. F. Reshetneva, 2023. Pp. 73-76 (in Russ.).

2. Rychina S.A., Ahmedova L.N., Pushkarev I.A. *Vozможности программного комплекса Kisssoft для расчёта геометрии рациональной конструкции планетарной передаточной пары 2K-h* [Possibilities of the Kisssoft software package for calculating the geometry of a rational design of a 2K-h planetary gear]. *3D-tehnologii v reshenii nauchno-prakticheskikh zadach : Sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Krasnojarsk, 23 maja 2023 goda* [Proc. 3D technologies in solving scientific and practical problems: Collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference, Krasnojarsk, May 23, 2023]. Krasnojarsk : Sibirskij gosudarstvennyj universitet nauki i tehnologii im. akad. M. F. Reshetneva, 2023. Pp. 67-72 (in Russ.).

3. Pljasov A.V., Polikarpov A.N. *Instrumental'no-metrologicheskoe obespechenie planetarnoj peredachi 3K-2G-H v programme KISSOFT для повышения качества зацеплений* [Instrumental and metrological support of planetary gear 3K-2G-H in KISSOFT program to improve the quality of engagements]. *Otechestvennyj i zarubezhnyj opyt obespechenija kachestva v mashinostroenii : sbornik dokladov Vserossijskoj nauchno-tehnicheskoy konferencii, Tula, 23–25 oktjabrja 2019 goda* [Domestic and foreign experience in quality assurance in mechanical engineering: collection of reports of the All-Russian scientific and technical conference, Tula, October 23–25, 2019]. Tula: Tul'skij gosudarstvennyj universitet, 2019. Pp. 54–58 (in Russ.).

4. Dorofeev D.V., Kalinin D.V., Zhukov A.V., Varseeva S.A., Lavrent'ev Ju.L. *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM № 2023688854 Rossijskaja Federacija. «Programma raschjota cilindricheskikh zubchatyh koljos, transmissionnyh valov i podshipnikov kachenija» ("GEARACL 2023") : № 2023687512 : zajavl. 08.12.2023 : opubl. 25.12.2023* [Certificate of state registration of computer program No. 2023688854 Russian Federation. "Program for calculating cylindrical gears, transmission shafts and rolling bearings" ("GEARACL 2023"): No. 2023687512: declared. 08.12.2023: published. 25.12.2023] (in Russ.).

5. Kalinin D.V. *Razrabotka metoda raschjota dinamičeskikh nagruzok v vysokonagruzhenykh zubčatyh peredachah planetarnyh reduktorov TRDD : special'nost' 01.02.06 «Dinamika, prochnost' mashin, priborov i apparatury»* [Development of a method for calculating dynamic loads in highly loaded gear transmissions of turbofan

engine planetary gearboxes: specialty 01.02.06 "Dynamics, strength of machines, devices and equipment"]: PhD thesis, 2021. 197 s. (in Russ.).

6. Rakov A.P. [3D Modeling Technologies in Industrial Design]. *Gradostroitel'stvo i arhitektura*. 2021. Vol. 11, no. 2. Pp. 155-161 (in Russ.). DOI 10.17673/Vestnik.2021.02.20.

7. Соколов И.В. [Methods of reading vector graphics using DXF format as an example]. *Jekonomika i socium*. 2020. No. 5-2. Pp. 715-721 (in Russ.).

8. Zobnin A.P. *Prochnostnyye raschjoty s primeneniem SAPR v mashinostroenii pri proektirovanii valov* [Strength calculations using CAD in mechanical engineering when designing shafts]. *3D-tehnologii v reshenii nauchno-prakticheskikh zadach : sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Krasnojarsk, 29 setjabrja 2022 goda* [Proc. 3D technologies in solving scientific and practical problems: collection of articles of the All-Russian scientific and practical conference, Krasnojarsk, September 29, 2022]. Krasnojarsk : Sibirskij gosudarstvennyj universitet nauki i tehnologii im. akad. M. F. Reshetneva, 2022. Pp. 17-20 (in Russ.).

9. Belomytcev O.M. [On improving the calculation methodology for aircraft rolling bearings in gas turbine engines]. *Vestnik Permskogo nacional'nogo isNo. № 67*. Pp. 35-42 (in Russ.). DOI 10.15593/2224-9982/2021.67.04.

10. Rolling bearings – SKF, PUB BU/P1 17000/1 EN, October 2018. Available at: [http://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802809de-Rolling-bearings---17000\\_1-EN\\_tcm\\_12-121486.pdf](http://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196802809de-Rolling-bearings---17000_1-EN_tcm_12-121486.pdf) (accessed 17.01.2020).

11. *Katalog produkcii* [Product Catalog]. Vol. 5. Moscow : EPK. 608 p. Available at: <https://epkgroup.ru/common/upload/1/12332.pdf> (Accessed 05.04.2024).

12. Feoktistova L.A., Rzaeva T.V., Fardeev A.R. [Brief overview of the KOMPAS-3D system applications]. *Nauchno-tehnicheskij vestnik Povolzh'ja*. 2024. No. 1. Pp. 126-128.

13. Zhihorev A.S., Zhihoreva M.D. [Using layout geometry in the KOMPAS-3D program]. *Nedelja nauki Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo morskogo tehničeskogo universiteta*. 2021. No. 1-1 (in Russ.).

14. Damanskij D.V., Burmenskij A.D. *Prakticheskij opyt ispol'zovanija novykh instrumentov modelirovanija sudovykh konstrukcij v KOMPAS-3D* [Practical experience of using new tools for modeling ship structures in KOMPAS-3D]. *Molodezh' i nauka: aktual'nye problemy fundamental'nyh i prikladnyh issledovanij : materialy IV Vserossijskoj nacional'noj nauchnoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh. V 4 ch., Komsomol'sk-na-Amure, 12–16 aprelja 2021 goda*. [Proc. Youth and Science: Current Issues in Fundamental and Applied Research: Proceedings of the IV All-Russian National Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists. In 4 parts, Komsomolsk-on-Amur, April 12–16, 2021]. Vol. 1. Komsomolsk-on-Amur, Komsomol'skij-na-Amure gosudarstvennyj universitet, 2021. Pp. 232-235 (in Russ.). DOI 10.17084/978-5-7765-1474-6-2021-232.

15. Pilipenko M.S., Vasilenkov L.N. *Sozdanie trehmernoj modeli reduktora v KOMPAS-3D* [Creating a 3D model of a gearbox in KOMPAS-3D]. *Kachestvo produkcii: kontrol', upravlenie, povysenie, planirovanie : sbornik nauchnyh trudov 9-j Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Kursk, 18 nojabrja 2022 goda* [Product quality: control, management, improvement, planning: collection of scientific papers of the 9th International Youth Scientific and Practical Conference, Kursk, November 18, 2022]. Kursk: Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet, 2022. Pp. 167-169 (in Russ.).

**Capabilities of Software Package Gearacl for Design Gearings and Transmission Elements**

*D.V. Dorofeev*, PhD in Engineering, Head of Section, Central Institute of Aviation Motors, Moscow, Russia

*Creation of a mathematical model of gearing operation belongs to one of the most knowledge-intensive fields of knowledge. Interdisciplinary research is being conducted to develop the model. For practical use, the results of this work are embodied in strength analysis standards. Due to the complexity of the processes occurring in gearings, performing analysis of one pair of gears today requires not only significant time costs from the engineer, but also a deep understanding of hundreds of pages of calculation techniques described by groups of interrelated standards. The calculation formulae include clarifying coefficients, the contribution and values of which are determined by a group of specialists developing the standard, based on research of analysis result coordination, experimental data and calculations performed using the finite element method. To perform the analysis, the designer needs knowledge about the principles of choosing coefficient values and their meaning. Performing the analysis of gearings according to the standard is a time-consuming process that can be correctly performed only by an engineer with experience in designing gearings. To facilitate the work of the engineer, software products both domestic and foreign were created. However, the trends of recent years require replacement of foreign software products. In 2022, the specialists of the Central Institute of Aviation Motors developed the Gearacl software package, which allows replacing foreign products in the volume required by the aviation industry enterprises in the field of cylindrical gearings, shafts and bearings analysis. Modern analysis methods have been introduced into the software package. This article is devoted to the capabilities of the Gearacl software package.*

**Keywords:** gearings, shafts, bearings, software, design.

Получено: 08.04.24

**Образец цитирования**

*Дорофеев Д. В.* Возможности программного комплекса Gearacl для проектирования зубчатых передач и элементов трансмиссии // Интеллектуальные системы в производстве. 2024. Т. 22, № 3. С. 62–67. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-62-67.

**For Citation**

*Dorofeev D.V.* [Capabilities of software package gearacl for design gearings and transmission elements]. *Intellectual'nye sistemy v proizvodstve*. 2024, vol. 22, no. 3, pp. 62-67. DOI: 10.22213/2410-9304-2024-3-62-67.