

Для цитирования: Шахматов К.Л., Орлов Т.В., Пухова О.В., Архипова М.В., Бондарь В.В. Методология инвентаризации торфяного фонда Российской Федерации для реализации геотехнологий и целей национального кадастра парниковых газов // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2025. № 3 (27). С. 59–70.

**METHODOLOGY OF INVENTORY OF THE PEATLANDS
OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR THE IMPLEMENTATION
OF GEOTECHNOLOGIES AND OBJECTIVES
OF THE NATIONAL GREENHOUSE GAS CADASTRE**

K.L. SHAKHMATOV¹, Cand. Sc., T.V. ORLOV², Cand. Sc., O.V. PUKHOVA¹, Cand. Sc.,
M.V. ARKHIPOVA², Cand. Sc., V.V. BONDAR², Postgraduate

¹Tver State Technical University,

22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: krl81@list.ru

²Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS,

13, bldg 2, Ulanskiy lane, Moscow, 101000, e-mail: tim.orlov@gmail.com

The article discusses methodological approaches to inventorying the current state of peat birthplaces for the purposes of selecting a site for climate projects, as well as to clarify the areas and state of peatlands for conducting an inventory of anthropogenic young greenhouse gases. A sequence of actions, as well as materials and methods for achieving the stated goals are proposed. The results of practical implementation of the developed algorithm of actions are also presented using the example of two municipalities of the Tyumen region.

Keywords: peatlands, peatland inventory, drained peatlands, greenhouse gas inventory, climate project.

Поступила в редакцию/received: 17.04.2025; после рецензирования/revised: 27.04.2025;
принята/accepted: 30.04.2025

УДК 622.232.8

**СОЗДАНИЕ И ОЦЕНКА 3D-МОДЕЛИ СПИРАЛЬНО-КОНИЧЕСКОЙ
ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ТРАНСМИССИИ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ**

К.Х. ФАМ¹, канд. техн. наук, Х.Т. ДИНЬ¹, асп.,
В.Т. ФАМ¹, магистр, М.Ю. КУХАРЬ², асп.

¹Технический университет им. Ле Куи Дона,

Вьетнам, Ханой, ул. Хоанг Куок Вьет, 100, e-mail: phqhoang@gmail.ru

²Национальный исследовательский технологический университет МИСИС,
119049, Москва, Ленинский пр., 4, стр. 1, e-mail: artvik@bk.ru

© Фам К.Х., Динь Х.Т., Фам В.Т., Кухарь М.Ю., 2025

В статье представлены основные этапы создания 3D-модели спирально-конической зубчатой передачи с помощью пакета программ Autodesk Inventor. Построение модели выполнено с помощью расчета координат сетки точек на поверхности зуба в программном модуле MITCalc. Результаты проверки геометрии

*Вестник Тверского государственного технического университета.
Серия «Технические науки». № 3 (27), 2025*

ческих параметров и оценки зацепляемости компьютерной модели подтверждают ее высокую точность и хорошую сходимость с проектными расчетами. Полученная виртуальная копия может использоваться для моделирования работы спирально-конической зубчатой передачи, а также при изготовлении и ремонтном восстановлении ее элементов.

Ключевые слова: спирально-коническая зубчатая передача, горные машины, проектирование, 3D-модель, Autodesk Inventor, MITCalc, геометрические параметры, точность, работоспособность.

DOI: 10.46573/2658-5030-2025-3-70-80

ВВЕДЕНИЕ

Спирально-коническая зубчатая передача широко используется в передаточных механизмах и трансмиссиях промышленного оборудования и транспорта благодаря таким преимуществам, как большая передаваемая мощность, стабильное передаточное отношение, высокая эффективность и низкий уровень шума [1–3]. В частности, эти передачи часто применяют в трансмиссиях автомобилей, строительной техники, воздушного и морского транспорта, коробках скоростей и подач металлорежущих станков, робототехнике. Горные машины и оборудование, работающие в тяжелых условиях и под воздействием больших нагрузок, также часто используют в своих трансмиссиях спирально-конические зубчатые передачи. На рис. 1 показана главная передача заднего моста самосвала БелАЗ, которая представляет собой спирально-коническую зубчатую передачу. Данный механизм отвечает за передачу мощности и момента от выхода редуктора (через карданный вал) к ведущим колесам. В связи с работой в тяжелых условиях больших, меняющихся и ударных нагрузок к проектированию и обработке спирально-конических зубчатых передач предъявляются строгие технические требования.



Рис. 1. Главная передача заднего моста самосвала БелАЗ

Построение модели спирально-конической зубчатой передачи имеет большое значение на этапе проектирования изделия, поскольку созданную цифровую модель можно использовать для выполнения прочностного анализа конструкции методом конечных элементов (FEA) [4–7], анализа контакта зубьев без нагрузок (TCA) и с нагрузками (LTCA) [8–12], для моделирования и оптимизации процесса механической обработки и сборки изделия [13–15], а также для параметрической оптимизации поверхности зуба с целью повышения качества зацепления спирально-конической зубчатой передачи [16–18]. Поэтому исследование этапов построения модели спирально-конической зубчатой передачи представляет интерес для исследователей, инженеров-конструкторов проектных организаций и инженеров-технологов предприятий горного машиностроения.

В технической литературе опубликовано множество работ по построению 3D-модели спирально-конической зубчатой передачи. В частности, в работах Литвина (Litvin) и др. [19, 20] накоплены достаточно обширные данные по этой передаче, представлены важные сведения. Авторы смоделировали процесс обработки спирально-конических колес с круговыми зубьями математическим способом и рассчитали поверхность зуба, решив уравнение зацепления, которое является сложным нелинейным уравнением, связанным с производственным процессом. Уравнение зацепления применялось многими другими исследователями для моделирования поверхности зуба. Ши (Shih) и др. [21] изучили математическую модель поверхности зуба спирально-конических колес с удлиненными эпициклоидными зубьями. Чжоу (Zhou) и Чэн (Chen) [22] предложили новую геометрическую теорию зацепления для получения замкнутого представления поверхности зубьев спирально-конических колес с круговым зубом. Дин (Ding) и др. [23] предложили подход к моделированию для построения CAD-модели спирально-конических зубчатых передач.

Точность модели повышается с помощью различных методов оптимизации [24]. Чжоу (Zhou) и коллеги [25] представили новый метод пересчета точек поверхности зуба для генерации новых приблизительно равноудаленных точек и кривых. Для пересчета точек поверхности зуба используется отображение между изопараметрической кривой и новой приблизительно равноудаленной кривой. Для решения нелинейного уравнения, установленного из отображения, предложен новый глобальный алгоритм оптимизации – генетический алгоритм релаксации с реальным кодированием (RRGA) для стабильного получения решений.

Авторами указанных выше исследований на основе принципа обработки спирально-конической зубчатой передачи рассчитаны и построены параметрические кривые на поверхности зуба. Однако в связи с тем, что профиль зуба включает множество сложных кривых, этот расчет требует больших усилий и построение 3D-модели спирально-конической зубчатой передачи в целом остается сложной задачей.

В настоящее время, благодаря развитию программного обеспечения, построение 3D CAD-модели спирально-конической зубчатой передачи стало более удобным. В частности, программное обеспечение MITCalc (Mechanical, Industrial and Technical Calculations) позволяет рассчитывать и проектировать многие детали распространенных типов механических передач, таких как цилиндрические шестерни, конические шестерни, цепные передачи, подшипники, пружины, валы, защелки и т.д. Программное обеспечение написано в Microsoft Excel и имеет дружественный интерфейс, поэтому его достаточно легко использовать. MITCalc особенно подходит для многих 2D и 3D CAD-систем (AutoCAD, AutoCAD LT, IntelliCAD, TurboCAD, BricsCAD, ZWCAD, ProgeCAD, Autodesk Inventor, SolidWorks, SolidEdge, Creo и пр.). Результаты большинства расчетов можно легко преобразовать в 2D-чертежи или 3D-модели, поэтому создание CAD-моделей для деталей со сложными профилями, таких как спирально-коническая зубчатая передача, требует гораздо меньших усилий.

В данной статье предлагается метод создания 3D-модели спирально-конической зубчатой передачи с использованием CAD-системы и программного обеспечения MITCalc для расчета координат точек на поверхности зуба и импорта их в Autodesk Inventor для построения поверхности. Для оценки точности и надежности модели измерены геометрические параметры зубчатой модели и проверена способность зацепления.

ПОСТРОЕНИЕ 3D-МОДЕЛИ СПИРАЛЬНО-КОНИЧЕСКОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ

Спирально-коническая зубчатая передача, выбранная для построения модели, рассчитана по стандарту ISO 23509:2006 с исходными данными, указанными в табл. 1.

Таблица 1. Таблица исходных данных спирально-конической зубчатой передачи

| Параметр | Символ | Единица | Шестерня | Колесо |
|-----------------------------|------------|---------|----------|---------|
| Количество зубьев | Z | — | 14 | 39 |
| Гипоидное смещение | a | мм | 0 | |
| Межосевой угол | Σ | град | 90 | |
| Средний нормальный модуль | m_n | мм | 3,213 | |
| Внешний делительный диаметр | d_e | мм | — | 176,893 |
| Ширина зубчатого венца | b | мм | 25,4 | |
| Средний угол наклона зуба | β_n | град | — | 35 |
| Угол профиля | α_n | град | 20 | 20 |
| Направление линии зуба | — | — | Левое | Правое |

Вышеуказанные параметры вводятся в программу MITCalc для расчета остальных параметров зубчатой передачи. Результаты расчета (рис. 2) полностью совпадают с расчетами по стандартам ISO 23509:2006.

| Определение параметров делительного конуса | | |
|--|----------------|----------------------|
| 4.9. Угол делительного конуса | delta1,2 | 19,7468 [°] |
| 4.10. Внешнее конусное расстояние | Re1,2 | 93,9726 [мм] |
| 4.11. Среднее конусное расстояние | Rm1,2 | 81,2726 [мм] |
| 4.12. Внутреннее делительное конусное расстояние | Ri1,2 | 68,5726 [мм] |
| 4.13. Средний угол наклона зуба | betam1,2 | 35,0000 [°] |
| 4.14. Ширина зубчатого венца | b1,2 | 25,4000 [мм] |
| 4.15. Фактор ширины зубчатого венца | cbe2 | 0,5000 [~] |
| Определение исходных данных | | |
| 4.16. Внешний делительный диаметр | de1,2 | 63,5001 [мм] |
| 4.17. Средний делительный диаметр | dm1,2 | 54,9183 [мм] |
| 4.18. Внутренний делительный диаметр | di1,2 | 46,3365 [мм] |
| 4.19. Угол отклонения вала от 90 градусов | DeltaSigma | 0,0000 [°] |
| 4.20. Угол смещения в осевой плоскости шестерни | zetam | 0,0000 [°] |
| 4.21. Угол смещения в делительной плоскости | zetamp | 0,0000 [°] |
| 4.22. Смещение в делительной плоскости | ap | 0,0000 [мм] |
| 4.23. Средний нормальный модуль | mmn | 3,2133 1,6300 < [мм] |
| 4.24. Внешний поперечный модуль | met2 | 4,5357 1,6300 < [мм] |
| 4.25. Предельный угол давления | alfa_lim | 0,0000 [°] |
| 4.26. Сгенерированный нормальный угол давления | alfanD, alfanC | 20,0000 [°] |
| 4.27. Эффективный угол давления | alfaD, alfaeC | 20,0000 [°] |
| 4.28. Внешняя ширина поверхности шестерни/колеса от расчетной точки | be1,2 | 12,7000 [мм] |
| 4.29. Внутренняя ширина поверхности шестерни/колеса от расчетной точки | bi1,2 | 12,7000 [мм] |
| 4.30. Точка пересечения до точки расчета вдоль оси шестерни/колеса | tzm1,2 | 76,4933 27,4591 [мм] |
| 4.31. Вершина тангажа за точкой пересечения вдоль оси | tz1,2 | 0,0000 0,0000 [мм] |
| 4.32. Средняя рабочая глубина | hmv | 6,4266 [мм] |
| 4.33. Средняя дополнительная глубина шестерни/колеса | ham1,2 | 4,8369 1,5897 [мм] |
| 4.34. Средняя выступающая глубина шестерни/колеса | hfm1,2 | 2,3931 5,6402 [мм] |
| 4.35. Средняя общая глубина | hm | 7,2299 [мм] |
| 4.36. Угол конуса вершин шестерни/колеса | deltaa1,2 | 26,2402 72,3874 [°] |
| 4.37. Угол конуса впадин шестерни/колеса | deltaf1,2 | 17,6126 63,7598 [°] |

Рис. 2. Результаты расчета параметров спирально-конической зубчатой передачи в программе MITCalc

Программное обеспечение MITCalc вычисляет координаты сетки точек на поверхности зуба и экспортирует их в файлы Excel для создания набора данных и построения 3D-модели в программном обеспечении CAD. Процесс построения

3D-модели спирально-конической шестерни Z14 в Autodesk Inventor включает следующие этапы:

- 1) построение заготовки путем поворота сечения на 360° вокруг оси;
- 2) построение 3D-эскиза и разрез заготовки для создания канавки зуба;
- 3) выполняемое 13 раз копирование канавки зуба на 360° вокруг оси координат (рис. 3).

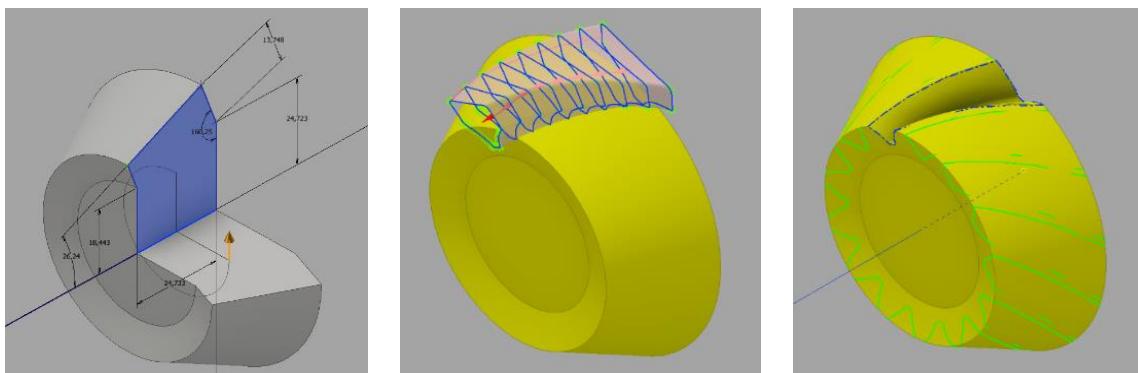


Рис. 3. Построение 3D-модели спирально-конической шестерни в Autodesk Inventor

Аналогично для колеса Z39, прорисовав вал шестерни Z14 и отверстие колеса Z39, получим 3D-модель спирально-конической зубчатой передачи, показанную на рис. 4.



Рис. 4. 3D-модель спирально-конической зубчатой передачи

ПРОВЕРКА ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Для того чтобы проверить точность полученной 3D-модели спирально-конической зубчатой передачи, сначала измеряем геометрические параметры модели и сравниваем с результатами расчета по стандарту ISO 23509:2006. Результаты измерения и сравнения показаны на рис. 5 и обобщены в табл. 2. Измеряют 20 параметров, включая те, которые связаны: 1) с точностью заготовки, в том числе внешнее конусное расстояние, среднее конусное расстояние, ширина зубчатого венца, угол делительного конуса, угол конуса вершин, средний делительный диаметр, внешний делительный диаметр, внешний диаметр вершин зубьев; 2) с точностью профиля зуба, в том числе средний угол наклона зуба, внешний угол наклона средней линии зуба, внутренний угол наклона средней линии зуба, угол конуса впадин, средняя делительная толщина зуба.

Результат проверки показывает, что 19 из 20 измеренных параметров полностью совпадают с расчетным значением по стандарту ISO 23509:2006. Имеется только один параметр, который не соответствует расчету, – это внешний угол наклона средней линии зуба. Однако погрешность его ничтожно мала и составляет $0,0005^\circ$. Тот факт,

что параметры, связанные с точностью профиля зуба, практически полностью совпадают с теоретическими расчетами, показывает, что полученная 3D-модель имеет высокую точность.

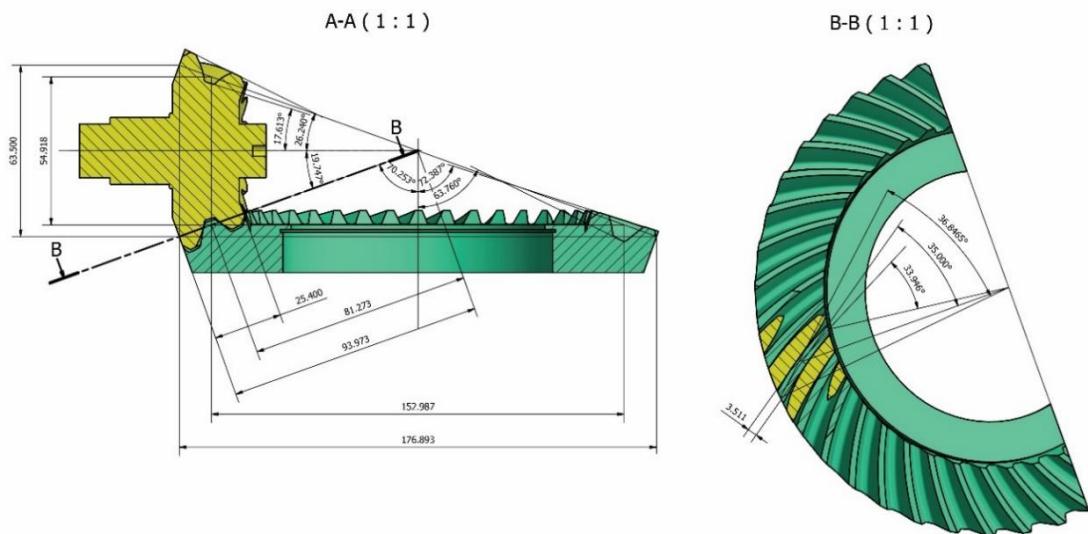


Рис. 5. Измерение геометрических параметров зубчатой передачи на модели

Таблица 2. Результат проверки параметров зубчатой передачи

| № | Параметр | Символ | Единица измерения | Результат проверки | | |
|----------|--|---------------|-------------------|--------------------|------------------------|-------------|
| | | | | Расчетное значение | Измерительное значение | Погрешность |
| 1 | Внешнее конусное расстояние | R_e | мм | 93,973 | 93,973 | 0 |
| 2 | Среднее конусное расстояние | R_m | мм | 81,273 | 81,273 | 0 |
| 3 | Ширина зубчатого венца | b | мм | 25,4 | 25,4 | 0 |
| 4 | Средний угол наклона зуба | β | град | 35 | 35 | 0 |
| 5 | Внешний угол наклона средней линии зуба | β_e | град | 36,846 | 36,846 5 | 0,000 5 |
| 6 | Внутренний угол наклона средней линии зуба | β_i | град | 33,946 | 33,946 | 0 |
| Шестерня | | | | | | |
| 7 | Угол делительного конуса | δ_1 | град | 19,747 | 19,747 | 0 |
| 8 | Угол конуса вершин | δ_{a1} | град | 26,240 | 26,240 | 0 |
| 9 | Угол конуса впадин | δ_{f1} | град | 17,613 | 17,613 | 0 |
| 10 | Средний делительный диаметр | d_{m1} | мм | 54,918 | 54,918 | 0 |
| 11 | Внешний делительный диаметр | d_{e1} | мм | 63,500 | 63,500 | 0 |

Окончание табл. 2

| № | Параметр | Символ | Единица измерения | Результат проверки | | |
|--------|----------------------------------|---------------|-------------------|--------------------|------------------------|-------------|
| | | | | Расчетное значение | Измерительное значение | Погрешность |
| 12 | Внешний диаметр вершин зубьев | d_{ae1} | мм | 75,324 | 75,324 | 0 |
| 13 | Средняя делительная толщина зуба | s_{mnc1} | мм | 6,460 | 6,460 | 0 |
| Колесо | | | | | | |
| 14 | Угол делительного конуса | δ_2 | град | 70,253 | 70,253 | 0 |
| 15 | Угол конуса вершин | δ_{a2} | град | 72,387 | 72,387 | 0 |
| 16 | Угол конуса впадин | δ_{f2} | град | 63,760 | 63,760 | 0 |
| 17 | Средний делительный диаметр | d_{m2} | мм | 152,987 | 152,987 | 0 |
| 18 | Внешний делительный диаметр | d_{e2} | мм | 176,893 | 176,893 | 0 |
| 19 | Внешний диаметр вершин зубьев | d_{ae2} | мм | 178,288 | 178,288 | 0 |
| 20 | Средняя делительная толщина зуба | s_{mnc2} | мм | 3,511 | 3,511 | 0 |

ОЦЕНКА ЗАЦЕПЛЯЕМОСТИ

Для оценки зацепляемости полученной 3D-модели шестерню и колесо размещают в проектное положение сборки, чтобы проверить, пересекаются ли они друг с другом, с помощью функции «Анализ пересечений» в Autodesk Inventor (рис. 6). Было установлено, что между шестерней и колесом отсутствует область пересечения, т.е. в этом положении шестерня и колесо не соприкасаются друг с другом, между ними имеется зазор, что согласуется с расчетами. Затем, оставив колесо неподвижным, поворачивают шестерню на очень малый угол $0,075^\circ$, после чего проявляется область пересечения шестерни и колеса объемом $3,295 \cdot 10^{-5}$ мм³ (рис. 7). Это доказывает, что в данном положении шестерня и колесо начинают контактировать друг с другом.

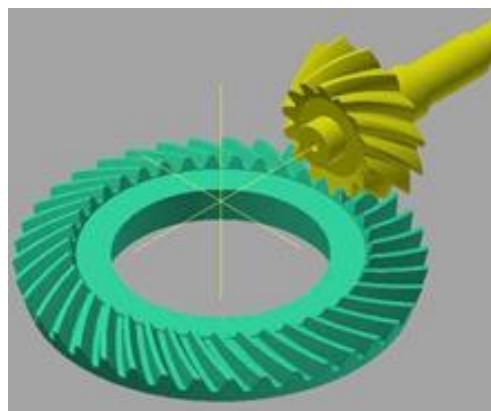


Рис. 6. Проектное положение сборки



Рис. 7. Начальное положение контакта

Если рассматривать шестерню и колесо как два абсолютно жестких объекта, то при вращении шестерни колесо будет вращаться в результате зацепления. Отношение угловых скоростей шестерни и колеса соответствует передаточному числу зубчатой передачи и составляет 39/14. Затем шестерня и колесо одновременно вращаются вокруг своей оси в данном соотношении. Наблюдаем и останавливаем в случайных положениях, чтобы оценить зацепляемость. Результаты испытаний показывают, что при остановке в любом положении появляется область пересечения шестерни и колеса с очень малым объемом ($2,191 \cdot 10^{-4}$; $8,743 \cdot 10^{-4}$; $5,974 \cdot 10^{-4}$; $4,632 \cdot 10^{-4}$ мм^3). Это доказывает, что шестерня и колесо контактируют друг с другом на протяжении всего процесса и хорошо зацепляются во время движения.

Таким образом, проверка геометрических параметров и оценки зацепляемости полученной модели показала, что она имеет более высокую точность по сравнению с проектными расчетами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный метод построения 3D-модели спирально-конической зубчатой передачи в программе Autodesk Inventor с помощью расчета координат сетки точек на поверхности зуба в программе MITCalc обладает важным преимуществом: он обеспечивает требуемую точность изделия и при этом менее трудоемок по сравнению с выполнением проектных расчетов.

Результаты проверки геометрических параметров показывают, что значения 19 из 20 измеряемых параметров совпадают с расчетными по стандартам ISO 23509:2006. Не соответствует расчету только внешний угол наклона средней линии зуба. Однако его погрешность составляет всего 0,000 5°.

Результат оценки зацепляемости показывает, что в исходном положении сборки между шестерней и колесом имеется зазор. При повороте шестерни на очень малый угол 0,075° шестерня и колесо начинают контактировать друг с другом, и этот контакт сохраняется на протяжении всего процесса зацепляемого движения шестерни и колеса.

Приведенные результаты подтверждают, что полученную модель можно использовать для моделирования рабочего процесса функционирования спирально-конической зубчатой передачи (например, напряженно-деформированного состояния зубьев, износа, вибрации и т.д.), а также при разработке управляющих программ для

станков с ЧПУ по обработке зубчатых профилей на этапах изготовления и ремонтного восстановления зубчатой передачи [26].

ЛИТЕРАТУРА

1. Wang J., Kong L., Liu B., Hu X., Yu X., Kong W. The mathematical model of spiral bevel gears – A review // *Strojniški vestnik-Journal of Mechanical Engineering*. 2014. V. 60. № 2. P. 93–105.
2. Zheng F., Han X., Lin H., Zhao W. Research on the cutting dynamics for face-milling of spiral bevel gears // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2021. V. 153. P. 107488.
3. Vivet M., Acinapura A., Dooner D.B., Mundo D. Loaded tooth contact analysis of spiral bevel gears with kinematically correct motion transmission // *Proceedings of the International Gear Conference*. Chartridge Books Oxford, 2018. P. 223–232.
4. Hotait M., Kahraman A., Nishino T. An investigation of root stresses of hypoid gears with misalignments // *Journal of Mechanical Design*. 2011. V. 133. № 7. P. 071006.
5. Ural A., Heber G., Wawrynek P.A., Ingraffea A.R., Lewicki D.G., Neto J.B. Three-dimensional, parallel, finite element simulation of fatigue crack growth in a spiral bevel pinion gear // *Engineering Fracture Mechanics*. 2005. V. 72. № 8. P. 1148–1170.
6. Hua X., Lim T., Peng T., Wali W. Dynamic analysis of spiral bevel geared rotor systems applying finite elements and enhanced lumped parameters // *International Journal of Automotive Technology*. 2012. V. 13. P. 97–107.
7. Hirmand M.R., Shojaei A., Riahi H.T. Finite element modeling of incremental bridge launching and study // *International Journal of Civil Engineering*. 2015. V. 13. № 1. P. 112–125.
8. Kawasaki K., Tsuji I. Analytical and experimental tooth contact pattern of large-sized spiral bevel gears in cyclo-palloid system // *Journal of Mechanical Design*. 2010. V. 132. № 4. P. 041004.
9. Astoul J., Geneix J., Mermoz E., Sartor M. A simple and robust method for spiral bevel gear generation and tooth contact analysis // *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*. 2013. V. 7. P. 37–49.
10. Wang P.Y., Fan S.C., Huang Z.G. Spiral bevel gear dynamic contact and tooth impact analysis // *Journal of Mechanical Design*. 2011. V. 133. № 8. P. 084501.
11. Fu Y., Zhuo Y., Zhou X., Wan B., Lv H., Wang Z. Theoretical and Experimental Study on Contact Characteristics of Spiral Bevel Gears under Quasi-Static and Large Loading Conditions // *Applied sciences*. 2020. V. 10. № 15. P. 5109.
12. Simon V. Computer simulation of tooth contact analysis of mismatched spiral bevel gears // *Mechanism and Machine Theory*. 2007. V. 42. № 3. P. 365–381.
13. Brecher C., Klocke F., Brum M., Hardjosuwito A. Analysis and Optimization of Bevel Gear Cutting Processes by Means of Manufacturing Simulation // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2013. V. 197. P. 271–284.
14. Mazak J., Klocke F., Bergs T., Brecher C. Simulation-based process analysis for discontinuous cutting of generated bevel gears // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part C Journal of Mechanical Engineering Science*. 2019. V. 233. № 21–22. P. 7378–7390.
15. Efstathiou C., Tapoglou N. A novel CAD-based simulation model for manufacturing of spiral bevel gears by face milling // *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*. 2021. V. 33. P. 277–292.

16. Mermoz E., Astoul J., Sartor M., Linares J.M., Bernard A. A new methodology to optimize spiral bevel gear topography // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 2013. V. 62. № 1. P. 119–122.
17. Artonia A., Gabiccini M., Kolivandb M. Ease-off based compensation of tooth surface deviations for spiral bevel and hypoid gears: Only the pinion needs corrections // *Mechanism and Machine Theory*. 2013. V. 61. P. 84–101.
18. Artoni A., Gabiccini M., Guiggiani M., Kahraman A. Multi-Objective Ease-Off Optimization of Hypoid Gears for Their Efficiency, Noise and Durability Performances // *Journal of Mechanical Design*. 2011. V. 133. № 12. P. 121007.
19. Litvin F.L., Fuentes A. Gear Geometry and Applied Theory. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 798 p.
20. Argyris J., Fuentes A., Litvin F.L. Computerized integrated approach for design and stress analysis of spiral bevel gears // *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 2002; V. 191. № 11–12. P. 1057–1095.
21. Shih Y.P., Fong Z.H., Lin G.C.Y. Mathematical model for a universal face hobbing hypoid gear generator // *Journal of Mechanical Design*. 2007. V. 129. № 1. P. 38–47.
22. Zhou Y., Chen Z.C. A new geometric meshing theory for a closed-form vector representation of the face-milled generated gear tooth surface and its curvature analysis // *Mechanism and Machine Theory*. 2015. V. 83. P. 91–108.
23. Ding H., Tang J., Zhou Z., Cui W. Tooth flank reconstruction optimizations after simulation process modeling for the spiral bevel gear // *Proceedings of the institution of mechanical engineers, part C journal of mechanical engineering science*. 2015. V. 230. № 13. P. 2260–2272.
24. Ding H., Tang J., Zhong J., Wan G., Zhou Z. Simulation and optimization of computer numerical control-milling model for machining a spiral bevel gear with new tooth flank // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B Journal of Engineering Manufacture*. 2016. V. 230. № 10. P. 1897–1909.
25. Zhou Y., Peng S., Liu X., Liu S., Tang J. A novel method to generate the tooth surface model of face-milled generated spiral bevel gears // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019. V. 102. P. 1205–1214.
26. Кухарь М.Ю. Повышение эффективности восстановления зубчатых колес трансмиссий горных машин на основе автоматизации технологической подготовки ремонтного производства // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2023. № 19. С. 172–179.

Для цитирования: Фам К.Х., Динь Х.Т., Фам В.Т., Кухарь М.Ю. Создание и оценка 3D-модели спирально-конической зубчатой передачи трансмиссии горной техники // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2025. № 3 (27). С. 70–80.

CREATING AND EVALUATING OF HELICAL-BEVEL GEAR 3D MODEL OF MINING MACHINERY TRANSMISSION

Q.H. PHAM¹, Cand. Sc., H.T. DINH¹, Postgraduate,
V.T. PHAM¹, Postgraduate, M.Yu. KUKHAR², Postgraduate

¹Le Qui Don Technical University,
100, Hoang Quoc Viet st., Hanoi, Vietnam, e-mail: phqhoang@gmail.ru
²National Research Technological University "MISIS",
Building 1, 4, Leninsky pr., Moscow, 119049, e-mail: artvik@bk.ru

The article presents the main stages of creating a 3D model of a helical-bevel gear train using the Autodesk Inventor software package. The 3D model of the gears transmissions was constructed by calculating the coordinates of a grid of points on the tooth surface in the MITCalc software module. The results of checking the geometric parameters and evaluating the engagement of the computer model confirm its high accuracy and good convergence with the design calculations. The resulting virtual copy can be used to simulate the operation of a helical-bevel gear transmission, as well as in the manufacture and repair of its elements.

Keywords: Helical-bevel gear, mining machines, design, 3D model, Autodesk Inventor, MITCalc, geometric parameters, accuracy, operability.

Поступила в редакцию/received: 21.04.2025; после рецензирования/revised: 27.04.2025;
принята/accepted: 30.04.2025

УДК 504.062

ТЕХНОГЕННОЕ ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ: ОБЗОР ПРОБЛЕМ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

А.С. ДАНИЛОВ¹, канд. техн. наук, Э.А. КРЕМЧЕЕВ², д-р техн. наук

¹Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,
199106, Санкт-Петербург, линия 21-я В.О., д. 2, e-mail: Danilov_AS@pers.spmi.ru

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,
190121, Санкт-Петербург, ул. Союза Печатников, д. 16, e-mail: kremcheev@mail.ru

© Данилов А.С., Кремчев Э.А., 2025

Засоление считается основным фактором, который негативно воздействует более чем на 1 млрд га почв в мире и продолжает увеличиваться на 1,5 млн га/год. Проблема засоления в первую очередь связана с сельскохозяйственными землями аридных зон, однако горнодобывающие предприятия также способствуют росту площадей засоленных почв, извлекая рассолы и вскрышные породы на поверхность. Процессы засоления в арктических регионах России протекают более остро, поскольку соли способствуют развитию термокарста, термоэрозии и солифлюкции, вследствие