

7. Scholtes L., Hicher P. - Y., Nicot F., Chareyre B, Darve. F. On the capillary stress tensor in wet granular materials. – Int. J. For Numerical and Analytical Methods in Geomechanics 01/30/2009.

8. Kozicki J. Donze VF. YADE-OPEN DEM: an open-source software using discrete element method to simulate granular material. Engineering Computations 2009, 26 (7): 786–805.

9. Мирсаянов И. Т., Брехман А. И., Королёва И. В. [и др.]. Указ. соч.

10. Баранчик В. П. Рациональная толщина слоев дорожной одежды автомобильных дорог // Проблемы и достижения строительного комплекса : тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Стройкомплекс-2013». – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2013.

* * *

V. P. Baranchik, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

M. F. Zakirov, PhD in Engineering, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

K. A. Ivanov, Master's Degree Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

N. A. Kibardina, Master's Degree Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Defining mechanical properties of the sand soils under cyclic loads by machines actuators

The paper presents the results of applying the method of discrete elements to evaluate mechanical properties of sandy soils under cyclic loading. It is based on a comparison of the results of numerical experiments and the results of laboratory tests conducted at the Kazan State University of Architecture and Construction. A mathematical model adequately reflects the change in the strength and deformation parameters of sandy soils under cyclic compression volume. The mathematical model permits to determine the optimal parameters and the number of cycles of the machine actuator exposure for which the absence of drawdown of soil construction with specified sizes is provided.

Keywords: soil compaction, principal stresses, lateral pressure, relative deformation, module deformation, cyclic strength, number of loading cycles, limit load, ultimate strength, method of discrete particles, numerical experiments, internal energy of the system, power consumption of process compaction.

Получено: 15.08.14

УДК 621.833

В. И. Гольдфарб, доктор технических наук, профессор

Институт механики

Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

НАУЧНАЯ ШКОЛА ИНСТИТУТА МЕХАНИКИ В ОБЛАСТИ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ СПИРОИДНЫХ ПЕРЕДАЧ

В докладе приводится краткая историческая информация и направления развития теории проектирования спироидных передач и редукторов в Институте механики ИжГТУ, аспекты освоения и развития их производства на предприятиях ООО «Механик».

Ключевые слова: спироидные передачи и редукторы, теория проектирования, освоение производства.

Введение

История существования зубчатых передач насчитывает тысячелетия и наполнена большим количеством замечательных событий и выдающихся инженеров и ученых, благодаря которым этот вид техники стал незаменимым. За многие годы появились сотни видов и разновидностей передач, создана стройная теория зубчатых зацеплений, одним из выдающихся творцов которой является проф. Ф. Л. Литвин [1–3 и др.], разработаны эффективные технологии производства передач, оборудование и инструмент для их реализации. Этот процесс, получивший активное развитие в 19-м и 20-м столетиях, продолжается с наименьшей интенсивностью в настоящее время, находя новые формы и направления развития.

Одним из таких событий, обративших на себя внимание специалистов, стало изобретение талантливым инженером Oliver Saari в 1954 г. спироидной передачи [4], которая благодаря особенностям геометрии и кинематики зацепления и, как следствие, высокой нагрузочной способности, износостойкости, стойкости против ударных и вибрационных нагрузок, технологичности изготовления и монтажа и ряду

других достоинств [5], заняла достойное место среди других передач с перекрещивающимися осями. Первое и достаточно подробное описание передачи и метода ее проектирования было дано в работах W. Nelson [6], а пионером в организации производства спироидных передач и редукторов и широком ее внедрении в различные области техники стала корпорация Illinois Tool Works (США), которая запатентовала названия SPIROID и HELICON (разновидность спироидной передачи с цилиндрическим червяком, также изобретенная O. Saari [7]) и в 60–70-е гг. издала обстоятельные каталоги, рекламирующие успешное применение передач в станкостроении, подъемно-транспортной и военной технике, в точных приборах и других областях и демонстрирующие их большие возможности, в том числе возможность получения в одной паре передаточных отношений от 8 до 360.

В России (тогда это был СССР) изучением спироидных передач стали заниматься в Ижевском механическом институте (с 1993 г. Ижевский государственный технический университет) молодые ученые Б. Д. Зотов и Н. С. Голубков. Были изготовлены и ис-

пытаны первые образцы спироидных редукторов, один из которых долгое время эксплуатировался на Ижевской ТЭЦ, и сделана попытка разработать методику их расчета. Более серьезное развитие эти работы получили в трудах А. К. Георгиева [8, 9], организовавшего в 1965 г. лабораторию спироидных передач, в которой выросло целое поколение инженеров и исследователей: В. И. Гольдфарб, В. А. Шубин, В. А. Лонг, С. В. Езерская, А. С. Кунивер, С. Д. Маньшин, В. А. Ивайкин, В. А. Модзелевский, Л. Н. Сабуров, Э. К. Шибанов, В. И. Матвеев и другие. Исследования и разработки велись в различных направлениях: создание геометрической теории спироидных передач и метода их инженерного расчета, разработка новых разновидностей, две из которых запатентованы в ряде стран [10, 11], разработка конструкции редукторов общемашиностроительного и специального применения, проведение стендовых испытаний, разработка терминологического [12] и ряда отраслевых стандартов.

С 80-х гг. центр тяжести работ в области разработки и исследования спироидных передач стал смещаться в СКБ передач, организованное В. И. Гольдфарбом и преобразованное в 1994 г. в Институт механики (ИМ) ИжГТУ, ставший основным научным центром в этой области. О работах по развитию теории проектирования спироидных передач и практическому освоению их производства, выполненных в ИМ и созданном на его основе предприятии ООО «Механик», пойдет изложение в настоящей работе.

Замечание. Библиографический список опубликованных работ, посвященных спироидным передачам, превышает 400, из них не менее половины выполнено в ИМ. Здесь и ниже приводится лишь небольшая их часть.

Развитие теории и практики проектирования спироидных передач и редукторов

Решение данной проблемы является основным научным направлением Института механики. Работы по реализации этой проблемы выполнялись и выполняются в следующих направлениях.

1. Развитие теории сопряженного зацепления спироидной передачи в общем (неортогональном) случае расположения осей звеньев, разработка принципов, структуры, математического обеспечения и средств автоматизированного проектирования и исследования передачи. Результаты этих работ легли в основу докторской диссертации В. И. Гольдфарба [13] (первая из известных четырех докторских диссертаций, посвященных спироидным передачам; остальные три [14–16] также выполнены в ИМ) и САПР «SPDIAL» [17], которая была основным инструментом проектирования передач и исследования геометрии, кинематики их зацепления, расчета их силовых показателей.

Фрагментами этого направления стали исследования:

- по анализу и синтезу схем передач [18, 19], результатом которых явилось патентование их ряда новых разновидностей [20–22 и др.];
- неортогональных спироидных передач [23];

- спироидных передач с червяками, имеющими переменный шаг витков [24];

- комбинированных двухступенчатых передач и редукторов [25];

- точности спироидных передач [26, 27].

На основе созданной методологии были разработаны и освоены в серийном производстве редукторы и мотор-редукторы общемашиностроительного применения, передачи станков, автоматических линий, ряда точных устройств.

2. Разработка теории реального спироидного зацепления с учетом возможных погрешностей изготовления, монтажа и деформаций как элементов передач, так и узлов содержащих их редукторов. Начало работ этого направления было положено докторской диссертацией Е. С. Трубачева [28].

В настоящее время работы этого направления являются основным научным багажом ИМ, позволяя (с помощью воссозданной на основе разработанной методологии САПР «SPDIAL+» [29]) решать, в частности, следующие фундаментальные и имеющие большое практическое значение задачи:

- развитие принципов, структуры и методологии проектирования реальных спироидных передач и редукторов;

- определять точку касания зацепляющихся поверхностей при наличии факторов, нарушающих сопряженный (идеальный) контакт (решение обратной задачи теории зацепления), что, в свою очередь, открывает широкие возможности для решения целого класса задач, связанных с исследованием влияния практически любых погрешностей, в том числе искусственно вводимых при модификации зубьев для достижения необходимой локализации контакта, на качество зацепления и точность передачи, в том числе построения системы нормирования точности;

- находить положение, размеры, форму мгновенных площадок касания и суммарного пятна контакта в реальном зацеплении;

- управлять положением пятна контакта путем изменения параметров установки и геометрии инструмента при нарезании колеса и червяка; данная задача имеет большое практическое значение для снижения чувствительности передачи к различного рода погрешностям.

Заметим, что разработанные методология, математическое обеспечение, система «SPDIAL+» являются: а) основным инструментом решения проектных и большинства исследовательских задач в ИМ; б) универсальным средством исследования и проектирования не только спироидных, но и червячных цилиндрических передач, что неоднократно provedено на практике.

3. Опираясь на предыдущие работы, активно развивается направление, связанное с оценкой нагруженности, деформативности, прочности передач на основе предложенных моделей нагруженности [30], распределения сил в реальном зацеплении, с использованием МКЭ и опираясь на результаты многочисленных экспериментальных исследований. Одной из важных научных и практических целей этого на-

правления является адекватная оценка прочности спироидной передачи при различных режимах и условиях нагружения. Непосредственно к этому направлению примыкают работы по оценке износостойкости передач [31], начатые В. Н. Анферовым в Свердловском машиностроительном институте [32] и активно развиваемые под его руководством в НГУПС (Новосибирск) в сотрудничестве с ИМ.

4. Технологическое проектирование также представляет собой активно развиваемое научно-практическое направление выполняемых в ИМ работ, без которого невозможно создание эффективно-го производства.

Помимо решения типовых задач технологического проектирования разработан принципиально новый подход, согласно которому проектирование передачи подчинено двум условиям:

- применение для зубообработки колеса одной из фрез заранее известного весьма ограниченного ряда;
- обеспечение необходимой степени локализации контакта, делающей передачу малочувствительной к погрешностям и деформациям.

Решение первой из этих задач позволяет резко сократить номенклатуру инструмента для нарезания колес достаточно широкой номенклатуры, что в свою очередь ведет к заметной экономии средств, затрачиваемых на изготовление фрез. На основе разработанного подхода решается задача унификации фрез для нарезания зубьев колес. Указанный подход инвариантен по отношению к виду передачи червячного типа. Перспективой развития данного направления является разработка новых производительных схем и оборудования для формообразования зубьев колес и витков червяков.

5. Формализация процесса конструирования редукторов, которая позволит максимально автоматизировать этот процесс. Это новое направление, которое находится в стадии формирования.

6. Применение полимерных материалов для изготовления спироидных колес. Первые работы этого направления [33] показали его перспективу. Развитие работ здесь представляется связанным с применением нанотехнологий.

7. Исследование и разработка методов проектирования новых разновидностей передач, а также передач, имеющих нетрадиционное сочетание параметров, например передач с малым передаточным отношением (меньше 10).

8. Экспериментальные исследования передач и редукторов, развитие методов контроля, разработка методологии и оборудования для проведения испытаний. Работы этого направления чрезвычайно важны для проверки адекватности разработанного математического и программного обеспечений, накопления данных о состоянии передач и редукторов и их возможностях при различных сочетаниях параметров и условиях нагружения, проверки работоспособности разработанных и изготовленных редукторов. Отвечая на указанные вопросы, результаты испытаний одновременно являются базой для построения на их основе расчетно-эксперимен-

тальных моделей оценки важнейших показателей передач и редукторов.

Помимо указанных направлений в ИМ получили развитие работы, связанные:

– с разработкой нового подхода проектирования эвольвентных цилиндрических передач на основе метода блокирующих контуров [34, 35], позволяющего прогнозировать качество передачи на ранних этапах проектирования и решать проектную задачу в оптимизационной постановке;

– созданием теории построения систем автоматизированного синтеза объектов и процессов на основе метода характеристики (руководитель работ О. В. Малина [36]).

Выполняя НИР по указанным направлениям, сотрудники ИМ ведут большую работу по разработке конструкции спироидных редукторов и мотор-редукторов для дальнейшего освоения их производства и внедрения в различные отрасли промышленности, технологическую подготовку и сопровождение этого производства на базе научно-производственного предприятия ООО «Механик».

Освоение производства спироидных передач и редукторов

Внедрение разработанных передач и редукторов в промышленность всегда было и остается одной из главных задач. Начиная с первых работ, было сделано большое количество опытных, опытно-промышленных образцов и мелких серий спироидных редукторов. Первое серийное производство разработанных в СКБП спироидных мотор-редукторов транспортных модулей ГАП, механизмов стружкоуборки металло-режущих станков, поворотных устройств вакуумных установок было организовано в начале 80-х годов на заводе «Точмаш» (г. Чайковский). Справедливости ради отметим, что в эти годы на заводе Электростальтяжмаш были спроектированы С. А. Лагутиным и серийно освоены в производстве спироидные редукторы для металлургического оборудования.

В начале 90-х гг. в связи с известными событиями многие производства были закрыты, и для поддержки вузовских научных школ, основным источником финансирования которых была промышленность, Министерство высшего образования РФ организовало инновационные программы, обязательным условием выполнения которых было внедрение разработок в производство. Начав участвовать в этих программах с 1991 г., Институт механики добился в 1994 г. открытия Федеральной целевой программы «Прогрессивные зубчатые передачи», став ее головным исполнителем и объединив многие научные школы вузов России. Тогда и возникла и была быстро реализована идея создания самостоятельного производства наукоемких спироидных редукторов и мотор-редукторов в рамках ИМ ИжГТУ на базе оборудования, имеющегося на кафедре «КТПМП» (тогда «Технология роботизированного производства») в виде научно-производственного предприятия «Механик». На предприятии сначала было освоено производство спироидных мотор-редукторов малых типоразмеров (нагрузочный момент до 100 Нм), а с середины 90-х гг. по

заказу ООО «Самараволгомаш», производящего шаровые краны для трубопроводов, начато специализированное производство редукторов трубопроводной арматуры. В настоящее время освоенная в серийном производстве номенклатура для четвертьоборотных редукторов насчитывает 10 наименований (нагрузочные моменты от 500 до 64000 Нм в передаточных отношениях от 6 до 80 в одноступенчатом исполнении и от 100 до 2000 и более – в двухступенчатом) и 3 типоразмера для многооборотных. Особенности конструкции и производства этих редукторов описаны в [37], их потребителями являются крупные арматуростроительные предприятия. Интересно отметить, что созданное уникальное («Механик») является единственным производителем спироидных редукторов (ТПА) производство стало в России первым специализированным самостоятельным редукторным производством в арматуростроении.

Очевидно, что все работы на предприятии выполняются при непосредственном участии и по разработкам ИМ. Совместно с кафедрой «КТПИП» они образуют учебно-научное производственное объединение, при этом предприятие является производственной базой для проведения лабораторных занятий, производственных практик, внедрения научных разработок при выполнении выпускных и диссертационных работ в конкретное наукоемкое производство.

Заключение

В статье кратко описаны некоторые исторические аспекты и современное состояние развития научных исследований и производства спироидных передач и редукторов в Институте механики ИжГТУ и на предприятии «Механик». Совершенствование знаний о спироидных передачах, методе их проектирования, разработка новых их видов, конструкций, технологий изготовления, поиск новых материалов, смазок, новых перспективных областей их применения – постоянно в центре внимания коллектива ИМ и предприятия «Механик». Благодаря выполненным работам и судя по известным публикациям, ИМ является мировым лидером в этой области. Активное участие ИМ и ООО «Механик» в подготовке рабочих, инженерных и научных кадров обеспечивает постоянное участие молодежи в их научной и производственной деятельности.

В заключение с благодарностью хочу назвать имена тех, с кем выполнялись и выполняются описанные работы: д-р техн. наук Е. С. Трубачев, д-р техн. наук В. Н. Анферов, д-р техн. наук А. С. Кунивер, д-р техн. наук О. В. Малина, канд. техн. наук Ю. В. Пузанов, канд. техн. наук А. С. Кузнецов, канд. техн. наук Е. И. Попова, канд. техн. наук Н. А. Бармина, канд. техн. наук А. А. Ткачев, канд. техн. наук Д. В. Кошкин, канд. техн. наук В. Ю. Пузанов, В. А. Ивайкин, М. П. Надеина, Д. В. Иванов, В. М. Лукин, Т. В. Савельева, А. В. Береснева, А. В. Санников, А. А. Корнилов, М. В. Верецагин, Л. А. Коровкина, Д. В. Пушкарев, А. Ю. Овчинников, С. В. Косолапов, М. Г. Логунова, А. П. Дашина, Е. В. Королева, З. Е. Попова, Н. Д. Кулябина, Т. В. Григорьева, рабочий коллектив предприятия.

Мы с благодарностью и теплотой помним незабвенных Н. С. Голубкова, Д. П. Громова, Э. К. Шибанова, В. И. Матвеева, С. А. Ленкову.

Библиографические ссылки

1. *Литвин Ф. Л.* Теория зубчатых зацеплений. – М. : Наука, 1968. – 584 с.
2. *Litvin F. L.* Gear geometry and applied theory. Upper Saddle River. – NJ: Prentice Hall, 1994.
3. *Litvin F. L.* Development of Gear Technology and Theory of Gearing. NASA Reference Publication 1406, ARL-TR-150, 1997.
4. *Saari O.* Speed reduction gearing. Pat. USA № 26996125, 1954.
5. *Goldfarb V. I.* What we know about spiroid gearing. Proceedings of the International Conference on Mechanical Transmissions. China. Vol. 1, Science Press, 2006, p. 19–26.
6. *Nelson W. D.* Spiroid gearing. Machine Design, 1961. № 3. P. 136–144. № 4. P. 93–100; № 5. P. 165–171.
7. *Saari O.* Pat. USA № 29547046 1961.
8. *Георгиев А. К.* Элементы геометрической теории и некоторые вопросы проектирования и производства гипоидно-червячных передач: дис. ... канд. техн. наук, Ижевск, 1965. – 263 с. (науч. руководитель проф. Н. В. Воробьев).
9. *Георгиев А. К., Гольдфарб В. И.* Аспекты геометрической теории и результаты исследования спироидных передач с цилиндрическими червяками. Механика машин. – Вып. 31. – М. : Наука, 1972. – С. 70–80.
10. Ортогональная червячно-коническая передача : а. с. 201864 СССР / А. К. Георгиев ; опубл. в Б. И. № 18, 1967, запатентовано в США и ФРГ.
11. Зубчатая передача с перекрещивающимися осями : а. с. 208396 СССР / А. К. Георгиев, В. И. Гольдфарб ; опубл. в Б. И. № 3, 1968, запатентовано в США, Германии, Англии, Канаде, Франции, Италии, Японии, Швеции.
12. ГОСТ 22850–77. Передачи спироидные. Термины, определения и обозначения. – Введ. 01.01.79. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 65 с.
13. *Гольдфарб В. И.* Основы теории автоматизированного геометрического анализа и синтеза червячных передач общего вида : дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск, 1985. – 415 с.
14. *Кунивер А. С.* Теоретические основы синтеза зацеплений модифицированных спироидных цилиндрических передач: дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск, 2001. – 342 с. (науч. консультант проф. В. И. Гольдфарб).
15. *Анферов В. Н.* Создание приводов подъемно-транспортных машин на основе спироидных передач : дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 2002. – 262 с. (науч. консультант проф. В. И. Гольдфарб).
16. *Трубачев Е. С.* Основы анализа и синтеза зацепления реальных спироидных передач : дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск, 2004. – 347 с. (науч. консультант проф. В. И. Гольдфарб).
17. *Гольдфарб В. И.* Опыт проектирования спироидных передач с использованием диалоговой САПР // Разработка и внедрение систем автоматизированного проектирования в машиностроении. – Ижевск, 1983. – С. 78–9.
18. *Goldfarb V. I.* The synthesis of nontraditional kind of skew axis gearing. Proceedings of the International Gearing Conference, BGA transmission technology, Newcastle, MEП, London, 1994, p. 513–516.
19. *Русских А. Г.* Автоматизированный синтез схем передач с перекрещивающимися осями : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 1977. – 169 с. (науч. руководитель проф. В. И. Гольдфарб).

20. А. с. 806935 СССР. Неортогональная зубчатая передача с перекрещивающимися осями / В. И. Гольдфарб, И. П. Несмелов. – Оpubл. в Б.И. № 7, 1981.

21. А. с. 875133 СССР. Двухступенчатый зубчатый редуктор / В. И. Гольдфарб, А. С. Никитин, И. П. Несмелов. – Оpubл. в Б. И. № 39, 1981.

22. А. с. 1059325 СССР. Двухвенцовая неортогональная зубчатая передача с перекрещивающимися осями / В. И. Гольдфарб, И. П. Несмелов, А. Н. Тетерин. – Оpubл. в Б. И. № 45, 1983.

23. Трубачев Е. С. Исследование пространства параметров неортогональных спироидных передач : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 1999. – 170 с. (науч. руководитель проф. В. И. Гольдфарб).

24. Исакова Н. В. Разработка и исследование спироидной передачи с идеальным винтовым параметром витков: дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 1999. – 145 с. (науч. руководитель проф. В. И. Гольдфарб).

25. Бармина Н. А. Структурный и параметрический синтез двухступенчатых редукторов со спироидной и цилиндрической передачами : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2002. – 183 с. (науч. руководитель проф. В. И. Гольдфарб).

26. Абрамов А. И. Теоретическое и экспериментальное исследование кинематической точности и виброактивности спироидных передач : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 1996. – 148 с. (науч. руководитель проф. В. И. Гольдфарб).

27. Кошкин Д. В. Исследование влияния погрешностей и геометрическое моделирование локализованного контакта в спироидной передаче: дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 1999. – 159 с. (науч. руководитель проф. В. И. Гольдфарб).

28. Трубачев Е. С. Основы анализа и синтеза зацепления реальных спироидных передач : дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск, 2004. – 347 с. (науч. консультант проф. В. И. Гольдфарб).

29. Трубачев Е. С., Орешин А. В. САПР спироидных передач // Информационная математика. – 2003. – № 1 (3). – С. 159–165.

30. Кузнецов А. С. Теоретическое и экспериментальное исследование статической нагруженности спироидных передач : дис. ... канд. техн. наук, Ижевск, 2005. – 174 с. (науч. руководитель проф. Е. С. Трубачев).

31. Анферов В. Н. Создание приводов подъемно-транспортных машин на основе спироидных передач : дис. ... д-ра техн. наук. – Новосибирск, 2002. – 262 с. (науч. консультант проф. В. И. Гольдфарб).

32. Анферов В. Н. Исследование износостойкости спироидных передач : дис. ... канд. техн. наук. – Курган, 1982. – 162 с. (науч. руководитель проф. Ю. Н. Дроздов, науч. консультант проф. В. И. Гольдфарб).

33. Попова Е. И. Разработка инструментов и технологии формообразования металлополимерных колес спироидных передач : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2004. – 164 с. (науч. руководитель проф. В. И. Гольдфарб).

34. Ткачев А. А. Разработка системы диалогового проектирования эвольвентных цилиндрических зубчатых передач : дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск, 2001. – 173 с. (науч. руководитель проф. В. И. Гольдфарб).

35. Гольдфарб В. И., Ткачев А. А. Проектирование эвольвентных цилиндрических передач. Новый подход. – Ижевск : Изд-во ИжГТУ, 2004. – 94 с.

36. Малина О. В. Теория и практика автоматизации структурного синтеза объектов и процессов с использованием методов характеристического анализа : дис. ... д-ра техн. наук. – Ижевск, 2002. – 392 с. (науч. консультант проф. В. И. Гольдфарб).

37. Гольдфарб В. И., Главатских Д. В., Трубачев Е. С., Кузнецов А. С., Лукин В. М., Иванов Д. Е., Пузанов В. Ю. Спироидные редукторы трубопроводной арматуры. – М. : Вече, 2011. – 222 с.

* * *

V. I. Goldfarb, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Scientific school of Institute of Mechanics in the field of developing the theory and practice of spiroid gears

The paper presents a short historical information and development directions of the design theory of spiroid gears and gearboxes in the Institute of Mechanics of ISTU, aspects of implementation and development of their production in the "Mechanic" Ltd.

Keywords: spiroid gears and gearboxes, theory of design, implementation of production.

Получено: 15.08.14

УДК 628.475

А. П. Ильин, кандидат технических наук, доцент
Камский институт гуманитарных и инженерных технологий
Г. Н. Жевлаков, кандидат физико-математических наук, доцент
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова
Л. С. Воробьева, кандидат технических наук, доцент
Институт непрерывного профессионального образования
Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДОТОПЛИВНЫХ ОТХОДОВ

Представлена математическая модель процесса сжигания древесных опилок в вихревом газогенераторе. Определены размеры камеры сгорания для установки с заданным расходом твердого топлива. Полученные результаты адекватны экспериментальным данным.

Ключевые слова: пиролиз, газогенератор, теплопередача, инфракрасный нагрев.