



ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

УДК 621.833

В.Е. СТАРЖИНСКИЙ, д-р техн. наук, доц.¹
E-mail: star_mpri@mail.ru

С.В. ШИЛЬКО, канд. техн. наук, доц.
заведующий лабораторией «Механика композитов и биополимеров»¹
E-mail: shilko_mpri@mail.ru

Н.Н. ИШИН, д-р техн. наук, доц.
начальник НТЦ «Карьерная техника»²
E-mail: ishin@oim.by

¹Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси, г. Гомель, Республика Беларусь

²Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 15.10.2024.

БЕЛОРУССКАЯ НАУЧНАЯ ШКОЛА «ЗУБЧАТЫЕ ПЕРЕДАЧИ»

Приведена информация о белорусской научной школе «Зубчатые передачи» (И.С. Цитович, О.В. Берестнев, В.Б. Альгин, В.Е. Антонюк и другие) от момента ее зарождения в 1973 году в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси (в то время — Институт машиноведения АН БССР) и дальнейшего развития в упомянутом институте, а также в Институте механики металлополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси (В.Е. Старжинский, С.В. Шилько и другие) и Белорусско-Российском университете (П.Н. Громыко, А.М. Даньков, М.Е. Лустенков и другие). Статья снабжена ссылками на статьи, монографии и учебные пособия, подробно описывающие тематику и авторские коллективы этих публикаций.

Ключевые слова: мобильные машины, зубчатые передачи, технология производства, контроль качества, вибромониторинг, остаточный ресурс

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2025-1-70-80-83>

Наиболее информативным источником по тематике «Зубчатые передачи», развиваемой в Беларуси, является монография [1], в которой представлены практически все научные и учебные организации в Беларуси, участвующие в указанных исследованиях. Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси: авторы В.Б. Альгин, В.Е. Антонюк, В.Л. Басинюк, А.И. Гоман, Н.Н. Ишин, Е.И. Мардосевич, С.П. Руденко, А.С. Скороходов); Белорусский национальный технический университет (БНТУ): автор М.М. Кане; Институт механики ме-

таллополимерных систем имени В.А. Белого НАН Беларуси (ИММС НАН Беларуси): авторы А.Т. Кудинов, А.И. Свириденко*, В.Е. Старжинский, С.В. Шилько; Белорусско-Российский университет (БРУ): авторы П.Н. Громыко, А.М. Даньков, М.Е. Лустенков, А.Е. Науменко, С.Н. Хатетовский; Брестский государственный технический университет (БрГТУ): автор А.В. Драган.

Англоязычный читатель может ознакомиться с основными положениями данной монографии по источнику [2].

*А.И. Свириденко (1936–2023) с 1959 по 1991 год работал в ИММС; в 1965 году защитил кандидатскую диссертацию по металлополимерным зубчатым передачам с зацеплением Новикова.

Для полноты сведений о вкладе белорусской школы зубчатых передач в мировую «копилку» знаний по данному направлению упомянем здесь учебное пособие [3] и монографию [4], в подготовке которых принимали участие белорусские авторы с обзорами и результатами собственных исследований (авторы из Беларуси составили от 50 % [3] до 73 % [4] авторских коллективов), а также монографии [5–7], подготовленные авторами из Объединенного института машиностроения НАН Беларуси, в которых рассматриваются вопросы комплексного обеспечения качества проектирования и изготовления зубчатых передач [5] и трансмиссий [6], включая расчет и проектирование трансмиссий мобильных машин на основе созданного комплекса ресурсно-функциональных моделей [7].

Основополагающей, очевидно, можно назвать созданную в 1973 году научную школу И.С. Цитовича (1917–1985) по направлению «Надежность машин». В 1980 году в Объединенном институте машиностроения НАН Беларуси сформировалось направление «Вибродиагностика технических систем», которое возглавил О.В. Берестнев [8] и развил Н.Н. Ишин, начальник НТЦ «Карьерная техника» [9]. В 2007 году оба направления интегрировались в общую школу «Надежность технических сложных изделий», которой в период 2014–2020 годов руководил В.Б. Альгин. История и современное состояние этой школы подробно описаны в главе 1 упомянутой монографии [1].

Этапы становления и развития металлополимерных зубчатых передач и зубчатых колес из полимерных композитов представлены в главах 2 и 3 [1] авторами из ИММС НАН Беларуси. Подтверждением дальнейшего развития тематики зубчатых колес из полимерных материалов явились публикации [10–12], в которых обсуждаются вопросы совершенствования методики расчета и технологии производства таких зубчатых колес.

В разделе 2 монографии [1] изложены отдельные аспекты обеспечения качества зубчатых передач при проектировании и изготовлении: особенности проектирования и оценки нагруженности зубчатых колес планетарных передач (В.Е. Антонюк), обеспечение сопротивления усталости поверхностно-упрочненных зубчатых колес (С.П. Руденко), технологическое обеспечение качества высоконагруженных зубчатых колес (М.М. Кане).

Раздел 3 монографии [1] посвящен проблеме вибромониторинга, контроля и испытания зубчатых передач. Направление «Мониторинг качества, технического состояния и остаточного ресурса зубчатых передач мобильных машин на стадиях изготовления, сборки и эксплуатации» возглавляет Н.Н. Ишин (Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси).

Авторами отдельных глав этого раздела являются сотрудники Объединенного института

машиностроения НАН Беларуси: А.М. Гоман, А.С. Скороходов — глава 7; В.Е. Антонюк — глава 9; В.Л. Басинюк, Е.И. Мардосевич — глава 10), а также БрГТУ А.В. Драган — автор главы 8 «Оценка качества зубчатых передач на основе анализа кинематической погрешности».

Особенности проектирования передач нестандартных типов (с промежуточными телами качения, прецессионных и планетарных с плавно регулируемым передаточным отношением), разрабатываемых в БРУ, рассмотрены в разделе 4 [1].

Результаты исследований передач с промежуточными телами качения представлены в монографии [13] и статьях [14, 15].

В главе 12 [1] рассматриваются вопросы проектирования, компьютерного моделирования и внедрения прецессионных передач. Подробную информацию о передачах данного типа можно получить из источника [16].

В главе 13 представлено складывающееся в соответствии с законами развития технических систем научное направление по созданию и исследованию зубчатых передач с плавно регулируемым передаточным отношением. В ней описана концепция, вариант конструкции и основы расчета на прочность зубчатой планетарной плавно регулируемой передачи, созданной на основе описанных в [17, 18] условий и принципов и получившей дальнейшее развитие в [19].

В недавних публикациях сотрудников Объединенного института машиностроения НАН Беларуси [20–22] изучена глубинная контактная усталость, характерная для поверхностно упрочненных зубчатых колес.

Актуальные разработки, востребованные в производстве зубчатых передач потенциальными заказчиками, обозначены ниже, в том числе:

- повышение рабочих характеристик планетарных зубчатых передач на основе автоматизированного двухпрофильного контроля (селективная сборка) (Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси);
- технология и контроль высокоскоростных зубчатых передач скоростного железнодорожного транспорта (Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси);
- технология стабилизации зубчатых колес автоматических коробок передач (Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси);
- методы расчета зубчатых колес из полимерных композитов на прочность и износостойкость (ИММС НАН Беларуси).

Список литературы

1. Зубчатые передачи и трансмиссии в Беларуси: проектирование, технология, оценка свойств / В.Б. Альгин, В.Е. Антонюк, В.Л. Басинюк [и др.]; под общ. ред. В.Б. Альгина, В.Е. Старжинского. — Минск: Беларус. навука, 2017. — 406 с.
2. Development of mechanism and machine science in Belarus by an example of gears and gear transmissions / S. Pad-

- dubka, V. Algin, V. Starzhinsky, S. Shil'ko // KOD 2018 IOP Publishing Conf. Series: Materials Science and Engineering. — 2018. — Vol. 393. — DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/393/1/012043>.
3. Технология производства и методы обеспечения качества зубчатых колес и передач: учеб. пособие / В.Е. Антонок, Б.В. Иванов, М.М. Кане, А.Г. Схиртладзе; под общ. ред. В.Е. Старжинского, М.М. Кане. — СПб.: Профессия, 2007. — 830 с.
 4. Элементы привода приборов: расчет, конструирование, технологии / В.Е. Старжинский, Е.В. Шалобаев, С.В. Шилько [и др.]; под общей ред. чл.-корр. НАН Беларуси Ю.М. Плещачевского. — Минск: Беларус. навука, 2012. — 769 с.
 5. Антонок, В.Е. Зубчатые передачи. Нормативно-методическое обеспечение точности зубчатых передач на этапе проектирования / В.Е. Антонок, В.Л. Басинюк, П.С. Серенков. — Минск: Беларус. навука, 2016. — 254 с.
 6. Цитович, И.С. Трансмиссии автомобилей / И.С. Цитович, И.В. Каноник, В.А. Вавуло. — Минск: Наука и техника, 1979. — 256 с.
 7. Альгин, В.Б. Ресурсная механика трансмиссий мобильных машин / В.Б. Альгин, С.Н. Поддубко. — Минск: Беларус. навука, 2019. — 549 с.
 8. Цитович, И.С. Пути повышения надежности машин / И.С. Цитович, О.В. Берестнев. — Минск: Наука и техника, 1979. — 88 с.
 9. Ишин, Н.Н. Динамика и вибромониторинг зубчатых передач / Н.Н. Ишин. — Минск: Беларус. навука, 2013. — 432 с.
 10. Старжинский, В.Е. Технология производства зубчатых колес из термопластичных полимерных материалов (обзор) / В.Е. Старжинский, С.В. Шилько, Е.В. Шалобаев // Полимерные материалы и технологии. — 2018. — Т. 4, № 2. — С. 6–31.
 11. Polymer gears: design, technology, application (review) / V.E. Starzhinsky, S.V. Shilko, E.V. Shalobaev, M. Rackov // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2019. — Вып. 8. — С. 195–198.
 12. Plastic gears: State-of-the-art design and technology (review) / V. Starzhinsky, S. Shil'ko, E. Shalobaev [et al.] // Machines. Technologies. Materials. — 2020. — Vol. 14, iss. 3. — P. 100–105. — DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16005.50405>.
 13. Лустенков, М.Е. Планетарные шариковые передачи цилиндрического типа / М.Е. Лустенков, Д.М. Макаревич. — Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2005. — 123 с.
 14. Lustenkov, M.E. Strength calculations for cylindrical transmissions with compound intermediate rolling elements / M.E. Lustenkov // Int. J. of Mechanisms and Robotic Systems. — 2015. — Vol. 2, no. 2. — P. 111–121. — DOI: <https://doi.org/10.1504/IJMRS.2015.069021>.
 15. Лустенков, М.Е. Ключ для демонтажа ведущих колес грузовых автомобилей ЗИЛ и ГАЗ / М.Е. Лустенков // Автомобильная промышленность. — 2003. — № 5. — С. 24–25.
 16. Прецессионные редуцирующие механизмы для приводных устройств различного назначения / П.Н. Громыко, Д.М. Макаревич, Л.Г. Доконов [и др.]; под общ. ред. П.Н. Громыко. — Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2013. — 273 с.
 17. Даньков, А.М. Сборка и регулировка основных модификаций плавнорегулируемой зубчатой передачи / А.М. Даньков // Сборка в машиностроении, приборостроении. — 2005. — № 10. — С. 38–43.
 18. Даньков, А.М. Три принципа в основе конструкции зубчатой планетарной плавнорегулируемой передачи, обеспечивающие ее потребительские свойства / А.М. Даньков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. — 2020. — № 4(68). — С. 65–74.
 19. Даньков, А.М. Беззазорное зацепление зубьев сателлита и центрального зубчатого колеса планетарной плавнорегулируемой передачи: особенности, достоинства и недостатки / А.М. Даньков // Вестник ИЖГТУ им. М.Т. Калашникова. — 2017. — Т. 20, № 1. — С. 27–34.
 20. Руденко, С.П. Контактная усталость зубчатых колес трансмиссий энергонасыщенных машин / С.П. Руденко, А.Л. Валько. — Минск: Беларус. навука, 2014. — 126 с.
 21. Руденко, С.П. Построение кривых глубинной контактной усталости поверхностно упрочненных зубчатых колес / С.П. Руденко, А.Л. Валько // Механика машин, механизмов и материалов. — 2022. — № 2(59). — С. 48–54. — DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2022-2-59-47-53>.
 22. Руденко, С.П. Расчет зубчатых колес трансмиссий на глубинную контактную выносливость / С.П. Руденко, С.Г. Сандомирский, А.Л. Валько // Вестник машиностроения. — 2024. — № 5. — С. 375–381.

STARZHINSKY Victor E., D. Sc. in Eng., Assoc. Prof.¹

E-mail: star_mpri@mail.ru

SHIL'KO Sergey V., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.

Head of the Laboratory “Mechanics of Composites and Biopolymers”¹

E-mail: shilko_mpri@mail.ru

ISHIN Nikolay N., D. Sc. in Eng., Assoc. Prof.

Chief of the R&D Center “Mining Machinery”²

E-mail: ishin@oim.by

¹V.A. Belyi Metal Polymer Research Institute of the NAS of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

²Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Received October 15, 2024.

BELARUSIAN SCIENTIFIC SCHOOL “GEARS”

Information is presented on Belarusian scientific school “Gears” (I.S. Tsitovich, O.V. Berestnev, V.B. Algin, V.E. Antonyuk etc.) from the moment of its origin in 1973 at the Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus (at that time – Institute of Machine Study of the Academy of Sciences of the BSSR) and further development at the mentioned Institute, as well as at the V.A. Belyi Metal Polymer Research Institute of the NAS of Belarus (V.E. Starzhinsky, S.V. Shil'ko etc.) and Belarusian-Russian University (P.N. Gro-

myko, A.M. Dankov, M.E. Lustenkov etc.). The paper is provided with references to articles, monographs and textbooks detailing the subject matter and authorship of these publications.

Keywords: mobile machines, gears, production technology, quality control, vibration monitoring, residual life

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2025-1-70-80-83>

References

- Algin V.B., Antonyuk V.E., Basiniuk V.L. *Zubchatye peredachi i transmissii v Belarusi: proektirovanie, tekhnologiya, otsenka svoystv* [Gears and transmissions in Belarus: design, technology, evaluation of properties]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2017. 406 p. (in Russ.).
- Paddubka S., Algin V., Starzhinsky V., Shil'ko S. Development of mechanism and machine science in Belarus by an example of gears and gear transmissions. *IOP conference series: Materials science and engineering*, 2018, vol. 393. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/393/1/012043>.
- Antonyuk V.E., Ivanov B.V., Kane M.M., Skhirtladze A.G. *Tekhnologiya proizvodstva i metody obespecheniya kachestva zubchatykh koles i peredach* [Production technology and methods of ensuring the quality of gears and gears]. Saint Petersburg, Professiya Publ., 2007. 830 p. (in Russ.).
- Starzhinskiy V.E., et al. *Elementy privoda priborov: raschet, konstruirovaniye, tekhnologii* [Device drive elements: calculation, design, technology]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2012. 769 p. (in Russ.).
- Antonyuk V.E., Basiniuk V.L., Serenkov P.S. *Zubchatye peredachi. Normativno-metodicheskoe obespechenie tochnosti zubchatykh peredach na etape proektirovaniya* [Gears. Regulatory and methodological support for the accuracy of gears at the design stage]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2016. 254 p. (in Russ.).
- Tsitovich I.S., Kanonik I.V., Vavulo V.A. *Transmissii avtomobilye* [Vehicle transmissions]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1979. 256 p. (in Russ.).
- Algin V.B., Poddubko S.N. *Resursnaya mekhanika transmissiy mobilnykh mashin* [Lifetime mechanics of mobile machine transmissions]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2019. 549 p. (in Russ.).
- Tsitovich I.S., Berestnev O.V. *Puti povysheniya nadezhnosti mashin* [Ways to improve the reliability of machines]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1979. 88 p. (in Russ.).
- Ishin N.N. *Dinamika i vibromonitoring zubchatykh peredach* [Dynamics and vibration monitoring of gears]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2013. 432 p. (in Russ.).
- Starzhinsky V.E., Shil'ko S.V., Shalobaev E.V. *Tekhnologiya proizvodstva zubchatykh koles iz termoplastichnykh polimernykh materialov (obzor)* [Production technology of gears from thermoplastic polymer materials (review)]. *Polymer materials and technologies*, 2018, vol. 4, no. 2, pp. 6–31 (in Russ.).
- Starzhinsky V.E., Shil'ko S.V., Shalobaev E.V., Rackov M. *Polymer gears: design, technology, application (review)*. *Aktualnye voprosy mashinovedeniya*, 2019, iss. 8, pp. 195–198.
- Starzhinsky V., Shil'ko S., Shalobaev E., Rackov M., Algin V., Dubrovskii V. *Plastic gears: State-of-the-art design and technology (review)*. *Machines. Technologies. Materials*, 2020, vol. 14, iss. 3, pp. 100–105. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16005.50405>.
- Lustenkov M.E., Makarevich D.M. *Planetarnye sharikovye peredachi tsilindricheskogo tipa* [Cylindrical planetary ball gears]. Mogilev, Belorussko-Rossiyskiy universitet Publ., 2005. 123 p. (in Russ.).
- Lustenkov M.E. Strength calculations for cylindrical transmissions with compound intermediate rolling elements. *International journal of mechanisms and robotic systems*, 2015, vol. 2, no. 2, pp. 111–121. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJMRS.2015.069021>.
- Lustenkov M.E. Klyuch dlya demontazha vedushchikh koles gruzovykh avtomobilye ZIL i GAZ [A wrench for dismantling the driving wheels of ZIL and GAZ trucks]. *Avtomobilnaya promyshlennost*, 2003, no. 5, pp. 24–25 (in Russ.).
- Gromyko P.N., et al. *Pretsessionnye redutsiruyushchie mekhanizmy dlya privodnykh ustroystv razlichnogo naznacheniya* [Precession reducing mechanisms for drive devices for various purposes]. Mogilev, Belorussko-Rossiyskiy universitet Publ., 2013. 273 p. (in Russ.).
- Dankov A.M. *Sborka i regulirovka osnovnykh modifikatsiy plavnoreguliruemoy zubchatoy peredachi* [Assembly and adjustment of the main modifications of the continuously adjustable gear]. *Assembling in mechanical engineering and instrument-making*, 2005, no. 10, pp. 38–43 (in Russ.).
- Dankov A.M. *Tri printsipa v osnove konstruksii zubchatoy planetarnoy plavnoreguliruemoy peredachi, obespechivayushchie ee potrebitelskie svoystva* [Three ground rules at the heart of the toothed planetary continuously variable gearing design that ensure its consumer properties]. *Modern technologies. System analysis. Modeling*, 2020, no. 4(68), pp. 65–74 (in Russ.).
- Dankov A.M. *Bezzazornoe zatsseplenie zubev satelлита i tsentralnogo zubchatogo kola planetarnoy plavnoreguliruemoy peredachi: osobennosti, dostoinstva i nedostatki* [Backlash-free meshing of teeth of satellite and central gearwheel of planetary continuously adjustable gear: features, advantages and drawbacks]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 27–34. DOI: <https://doi.org/10.22213/2413-1172-2017-1-27-34> (in Russ.).
- Rudenko S.P., Valko A.L. *Kontaktnaya ustalost zubchatykh koles transmissiy energonasyshchennykh mashin* [Contact fatigue of gears of transmissions of energy-saturated machines]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2014. 126 p. (in Russ.).
- Rudenko S.P., Valko A.L. *Postroenie krivykh glubinnoy kontaktnoy ustalosti poverkhnostno uprochnennykh zubchatykh koles* [Construction of deep contact fatigue curves for surface-hardened gear wheels]. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2022, no. 2(59), pp. 48–54. DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2022-2-59-47-53> (in Russ.).
- Rudenko S.P., Sandomirskiy S.G., Valko A.L. *Raschet zubchatykh koles transmissiy na glubinnuyu kontaktную vy-noslivost* [Calculation of transmission gears for deep contact endurance]. *Vestnik mashinostroeniya*, 2024, no. 5, pp. 375–381 (in Russ.).