



ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 621.19
DOI: 10.18503/1995-2732-2024-22-2-139-144

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОСАДОК ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Рогов Е.Ю.¹, Овсянников В.Е.², Кулемина А.А.², Ковенский И.М.²

¹ Курганский институт железнодорожного транспорта, Курган, Россия

² Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Аннотация. Постановка задачи (актуальность работы). Подшипники качения являются самыми распространенными опорами для вращающихся частей машин. Наряду с неоспоримыми преимуществами, основными среди которых являются высокий коэффициент полезного действия и компактность, имеется ряд недостатков. Главным недостатком являются высокие требования к точности посадочных поверхностей. Применительно к опорным шейкам предъявляются требования к точности размеров, шероховатости поверхности и точности взаимного расположения посадочных поверхностей. Определенным пробелом в данном случае является недостаточно четко сформулированные и обоснованные требования в части точности формы посадочных поверхностей в поперечном сечении. **Цель работы.** Исследование влияния точности формы (отклонений от круглости) посадочных поверхностей валов на качество посадок подшипников качения. **Используемые методы.** В работе использованы методы технологии машиностроения, расчетов посадок деталей, методы исследования точности формы и метод конечных элементов. **Новизна.** На основании комплексного технико-экономического анализа получено обоснование величины точности формы посадочных поверхностей под подшипники качения, которые обеспечивают требуемые параметры посадки при оптимальной себестоимости. **Результат.** Проведены исследования влияния погрешности формы посадочных поверхностей в поперечном сечении на параметры посадки с натягом. В программном пакете Компас исследовалось влияние отклонений формы в поперечном сечении на величину контурного коэффициента трения в месте посадки подшипника качения на вал. Получены зависимости данного показателя от погрешности формы и проведено экономическое обоснование полученных результатов. **Практическая значимость.** Разработанная конечно-элементная модель дает возможность исследовать взаимодействие посадочных поверхностей валов и внутренних колец подшипников качения. При этом имеется возможность изменения физико-механических свойств материала деталей, действующих нагрузок и других параметров взаимодействия. Использование полученных результатов на стадии проектирования узлов машин дает возможность повысить качество продукции за счет снижения числа проворотов внутреннего кольца подшипника и, как следствие, снижения интенсивности изнашивания данных сопряжений.

Ключевые слова: посадка, натяг, погрешность, подшипник, контакт

© Рогов Е.Ю., Овсянников В.Е., Кулемина А.А., Ковенский И.М., 2024

Для цитирования

Некоторые аспекты технологического обеспечения качества посадок подшипников качения / Рогов Е.Ю., Овсянников В.Е., Кулемина А.А., Ковенский И.М. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2024. Т. 22. №2. С. 139-144. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-139-144>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

SOME ASPECTS OF PROCESS QUALITY ASSURANCE OF ROLLER BEARING FIT

Rogov E.Yu.¹, Ovsyannikov V.E.², Kulemina A.A.², Kovenskii I.M.²

¹ Kurgan Institute of Railway Transport, Kurgan, Russia

² Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

Abstract. Problem Statement (Relevance). Roller bearings are the most widely used supports for rotating parts of machines. Along with the undeniable advantages, whose main ones include high efficiency and compactness, there are a number of disadvantages. The main disadvantages are high requirements for accuracy of mounting surfaces. Requirements for support necks are dimensional accuracy, surface roughness, and accuracy of relative positioning of mounting surfaces. A certain gap in this case is insufficiently clearly formulated and justified requirements in terms of accuracy of the shape of mounting surfaces in the cross section. **Objectives.** The research is aimed at studying the influence of the shape accuracy (out-of-roundness) of the shaft mounting surfaces on the quality of roller bearing fits. **Methods Applied.** The research uses methods of mechanical engineering technology, calculations of part fits, methods of studying accuracy of the shape and the finite element method. **Originality.** A comprehensive technical and economic analysis contains a rationale for accuracy of the shape of the mounting surfaces for roller bearings, which provide the required mounting parameters at the optimal cost. **Result.** The authors studied the influence of mounting surface shape error in the cross-section on interference fit parameters. The Kompas software suite was applied to investigate the effect of shape deviations in the cross-section on the value of the contour coefficient of friction at the place of fitting the roller bearing on the shaft. The authors determined the relationship between this indicator and the shape error and provided an economic rationale for the results. **Practical Relevance.** The developed finite element model makes it possible to investigate the interaction between the mounting surfaces of the shafts and the inner rings of the roller bearings. It is possible to change physical and mechanical properties of a material of parts, acting loads and other parameters of the interaction. Using the obtained results at the stage of designing machine assemblies makes it possible to improve the quality of products by reducing the number of turns of the inner bearing ring and, as a result, reducing the intensity of wear of these interfaces.

Keywords: fit, tightness, error, bearing, contact

For citation

Rogov E.Yu., Ovsyannikov V.E., Kulemina A.A., Kovenskii I.M. Some Aspects of Process Quality Assurance of Roller Bearing Fit. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2024, vol. 22, no. 2, pp. 139-144. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2024-22-2-139-144>

Введение

Подшипники качения являются самыми распространенными опорами для вращающихся частей машин. Основные преимущества от использования в конструкциях машин подшипников качения хорошо известны. Одними из основных плюсов является высокий коэффициент полезного действия. Вместе с тем у подшипников качения имеются и определенные недостатки. Одним из главных являются повышенные требования к точности установки. Учитывая специфику производства подшипников, которая заключается в том, что их изготавливают в условиях массового производства с отклонениями, которые не зависят от посадки их в изделия, имеет смысл рассмотреть требования к сопряженным поверхностям.

Долговечность работы подшипника во многом зависит от обоснованного выбора и дальнейшего технологического обеспечения посадки наружного кольца в корпус и внутреннего на вал. Известно, что выбор посадки зависит, прежде всего, от типа нагружения подшипника. Выделяют местное, циркуляционное и колебательное нагружение [1]. Если говорить о

распространенности, то наиболее распространенным типом нагружения в машинах является местное. В данном случае внутреннее кольцо подшипника устанавливается на вал неподвижно. Обоснованность выбора данного вида посадки была получена экспериментально. В работе [2] показано, что долговечность подшипников при местном типе нагружения, которые установлены на вал с натягом, в среднем на 25% выше, чем при использовании посадки с зазором.

Величину минимального натяга, который необходимо создать в контакте внутреннего кольца подшипника и посадочной поверхности вала, можно определить по формуле [3]

$$N_{\min} > \left[\frac{d+3}{d} \right] \cdot \left(0,08 \sqrt{\frac{dF_r}{B^l}} + d \cdot 0,0015 \cdot \Delta T \right), \quad (1)$$

где d – номинальный диаметр сопряжения, мм; B^l – рабочая ширина места посадки (ширина подшипника минус фаски), мм; F_r – радиальная нагрузка, которая действует на подшипник, Н; ΔT – величина разности температур подшипника во время передачи нагрузки и окружающей среды, °С.

Исследования, проведенные в работе [4], показывают, что использование зависимости (1) при назначении посадок позволяет увеличить качество посадок подшипников качения. Однако около 25% пар все равно допускают проворот внутреннего кольца подшипника качения относительно посадочной поверхности вала.

Поэтому для более корректного рассмотрения процессов, происходящих в зоне контакта, имеет смысл воспользоваться понятием «контурный коэффициент трения» [4, 5]. При этом учитывается влияние погрешности формы на параметры посадки.

Влияние отклонений от круглости на характеристики посадок исследовано в работах [4, 5]. При этом зависимость для коэффициента трения в контакте имеет вид

$$f_c = \tau_0 \cdot \left(\frac{A_C}{P_N} \right)^{\frac{1}{2\nu+1}} \cdot \left(\frac{2,35 \cdot b^{2\nu} \cdot \sigma_T \cdot R^{0,5} \cdot (1-\mu^2)}{2^{2\nu} \cdot 0,04 \cdot h_{\max}^{0,5} \cdot E} \right) + \beta, \quad (2)$$

где τ_0 – сопротивление на срез, МПа; A_C – контурная площадь касания, мм²; P_N – нормальная сила давления, Н; ν и b – параметры кривой опорной поверхности; σ_T – предел текучести материала, МПа; R – радиус контакта, мм; μ – коэффициент Пуассона; h_{\max} – максимальная высота выступа, мкм; E – модуль продольной упругости, МПа; β – константа в биномиальном законе трения.

При этом взаимосвязь между параметрами натяга и значениями коэффициента трения в паре выражается следующей формулой [6]:

$$N_{\min} = \frac{\sqrt{P^2 + \left(\frac{2M}{d} \right)^2}}{f_c \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\frac{c_1}{E_1} + \frac{c_2}{E_2} \right), \quad (3)$$

где l – длина сопряжения, мм; E – модуль продольной упругости материалов контактирующих деталей; c – приведенный радиус контакта, мм; P – действующая сила, Н; M – действующий крутящий момент, Н·м.

Анализируя зависимости (1)-(3), можно сделать вывод, что при прочих равных условиях на качество посадки существенное влияние оказывает параметр A_C (контурная площадь касания). При этом контурная площадь касания в значительной степени зависит от точности формы посадочной поверхности в поперечном сечении.

Материалы и методы исследования

В работе рассматривались валы редукторов поворота от мини-погрузчика. Диаметр посадочной поверхности под подшипник 40 и 50 мм. Материал валов – сталь 45 ГОСТ 1050-88. Термическая обработка – улучшение. В качестве исходных данных для построения трехмерных моделей были использованы круглограммы поверхностей, обработанных чистовым и тонким точением. В качестве режущих инструментов использовались резцы с пластинами из твердых спла-

вов и сверхтвердых материалов. Значения режимов резания принимались согласно рекомендациям [7-9]. Измерение отклонений от круглости производилось непосредственно на станке. Схема измерений представлена на рис. 1.



Рис. 1. Схема измерения
Fig. 1. Measurement diagram

После измерения результаты подвергались предварительной обработке, которая заключалась в разложении в ряд Фурье и последующем отсеивании погрешности установки, эксцентриситета и т.д. Обработка выполнялась в специально разработанной компьютерной программе [10]. Интерфейс программы приведен на рис. 2.

Полученные круглограммы использовались для построения 3d-моделей контакта посадочной поверхности вала и кольца подшипника. Пример расчетной схемы приведен на рис. 3.

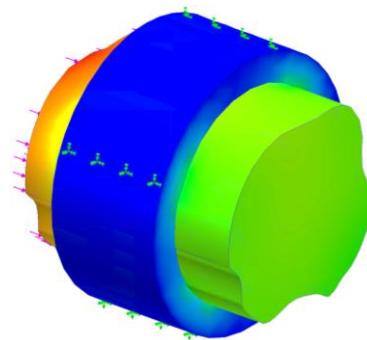


Рис. 3. Схема измерения
Fig. 3. Design diagram

Также был выполнен расчет себестоимости обработки в зависимости от требований к точности формы (отклонению от круглости Δ). Расчеты проводились по следующей формуле [9]:

$$C_{\text{оп}} = Z_0 + Z_{\text{в.р.}} + A_0 + A_{\text{т.о.}} + P_0 + И + Л_0 + П_{\text{л}} + П_{\text{пр}} + Z_{\text{бр}}, \quad (4)$$

где Z_0 – заработная плата станочника; $Z_{\text{в.р.}}$ – заработная плата наладчика; A_0 – амортизационные отчисления от стоимости основного оборудования; $A_{\text{т.о.}}$ – амортизационные отчисления от стоимости технологического оснащения; P_0 – затраты на ремонт и обслуживание оборудования; $Л_0$ – затраты на силовую электроэнергию; $П_{\text{л}}$ – затраты на содержание площадей; $П_{\text{пр}}$ – затраты на разработку управляющей программы; $Z_{\text{бр}}$ – затраты на устранение брака.

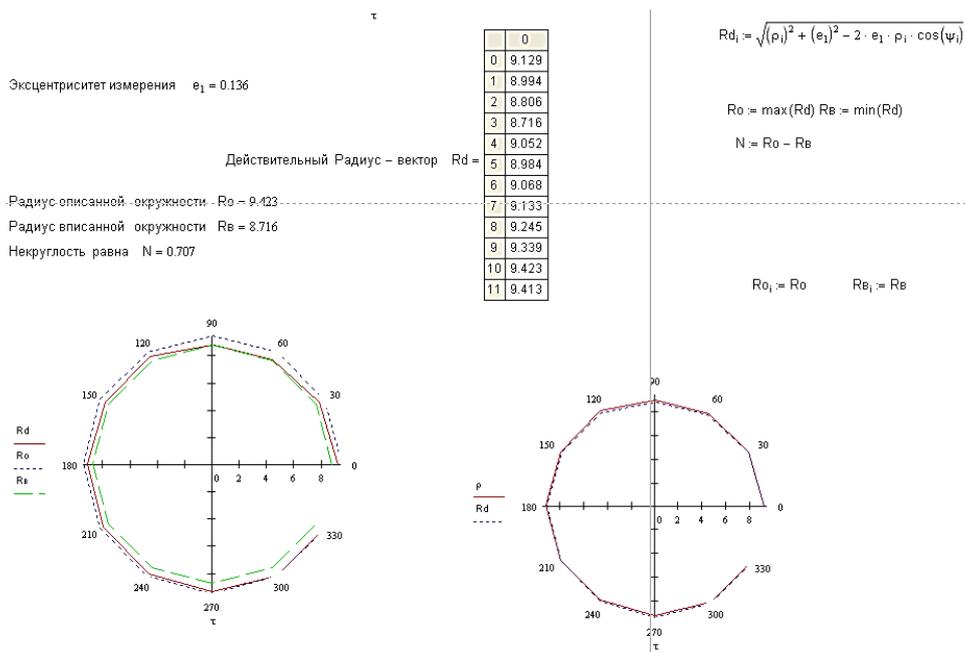


Рис. 2. Интерфейс программы для анализа отклонений от круглости
 Fig. 2. Interface of the program to analyze out-of-roundness

Полученные результаты и их обсуждение

На рис. 4 показан пример определения величины контурной площади касания.

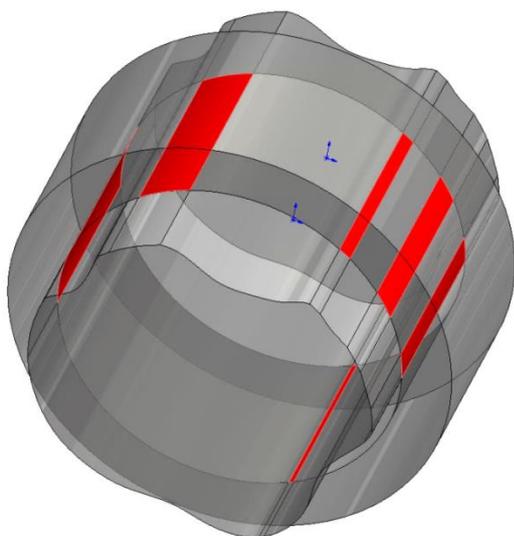


Рис. 4. Пример определения величины контурной площади касания
 Fig. 4. Example of determining the contour contact area

Используя указанный выше инструментарий, была определена зависимость изменения величины Δf_c от овальности сечения посадочной поверхности вала Δ , которая представлена на рис. 5.

На рис. 6 представлена зависимость изменения величины $\Delta C_{оп}$ от овальности сечения посадочной поверхности вала Δ .

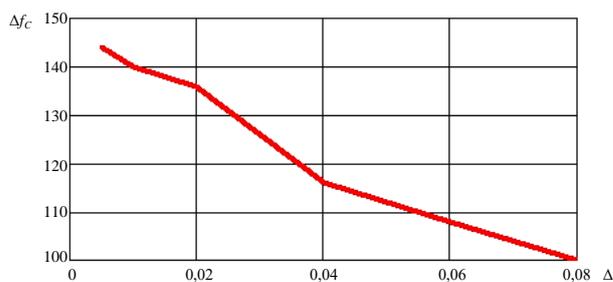


Рис. 5. Зависимость изменения величины Δf_c от овальности сечения посадочной поверхности вала Δ , мкм
 Fig. 5. Relationship between a variation of Δf_c and out-of-roundness of the section of the mounting surface of shaft Δ , μm

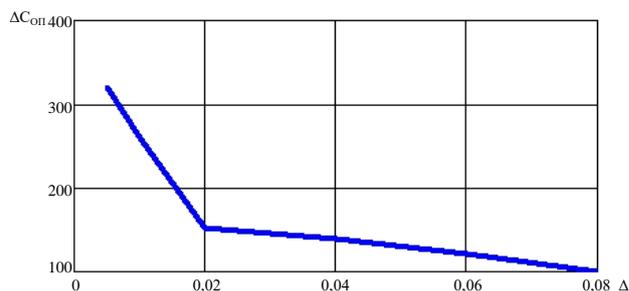


Рис. 6. Зависимость изменения величины $\Delta C_{оп}$ от овальности сечения посадочной поверхности оси колесной пары Δ , мкм
 Fig. 6. Relationship between a variation of $\Delta C_{оп}$ and out-of-roundness of the section of the mounting surface of wheelset axle Δ , μm

Заключение

Таким образом, на основе выполненных расчетов было установлено, что уменьшение погрешности формы с 0,02 до 0,005 мкм не дает существенного изменения Δf_c . Однако чрезмерный рост требований к точности приводит к увеличению затрат. Таким образом, назначение допуска формы, которые ограничивает круглость в пределах 0,01-0,02 мм является оптимальным как с технической, так и с экономической точки зрения.

Анализируя нормативную документацию по назначению требований к посадочным поверхностям валов под подшипники качения (например, ГОСТ 520-71), можно сказать, что там отсутствуют сформулированные рекомендации по назначению отклонений от круглости. Поэтому, используя рассматриваемый в данной статье методологический подход, возможно определить оптимальные требования к посадочным поверхностям в части точности формы и для других подшипниковых пар.

Список источников

1. Основы взаимозаменяемости: учеб. пособие для вузов / Голыгин Н.Х., Педь С.Е., Дружинин П.В., Бойцов А.Г. М.: Изд-во МИИГАиК, 2020. 316 с.: ил.
2. Куликов А.А., Сапожников И.И. Обеспечение взаимозаменяемости в посадках колец подшипников качения // Технико-технологические проблемы сервиса. 2020. №2(52). С. 17-20.
3. Кокорев Ю.А., Звягин Ф.В. Способы расчета точностных характеристик деталей и узлов приборов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. 211 с.
4. Куприянов А.Ю. Прочность соединения с натягом при наличии погрешности геометрии формы // Вестник Херсонского национального технического университета. 2015. №3. С. 145-150.
5. Безъязычный В.Ф. Метод подобия в технологии машиностроения: монография. М.: Инфра-инженерия, 2021. 356 с.
6. Огар П.М., Горохов Д.Б., Турченко А.В. Механика контактирования шероховатых поверхностей. Братск: БрГУ, 2016. 282 с.
7. Козлов А.А., Козлов А.М. Расчет режимов резания: учеб. пособие. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2017. 96 с.
8. Дудак Н.С., Касенов А.Ж. Расчет режимов резания: учеб. пособие. Алматы: Эверо, 2015. 128 с.
9. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т. 1 / под ред. А.С. Васильева, А.А. Кутина. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Инновационное машиностроение, 2018. 756 с.: ил.
10. Расчет параметров корреляционной модели профиля поверхностей, обрабатываемых резанием /

Остапчук А.К., Овсянников В.Е., Рогов Е.Ю.; заявитель и патентообладатель Уральский государственный университет путей и сообщения. – №2012611804; дата рег. 17.02.2012.

References

1. Golygin N.Kh., Ped S.E., Druzhinin P.V., Boitsov A.G. *Osnovy vzaimozamenyaemosti: ucheb. posobie dlya vuzov* [Basics of interchangeability: study guide for universities]. Moscow: Moscow State University of Geodesy and Cartography. 2020, 316 p. (In Russ.)
2. Kulikov A.A., Sapozhnikov I.I. Ensuring interchangeability in fitting roller bearing rings. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa* [Technical and Technological Problems of Service]. 2020;(2(52)):17-20. (In Russ.)
3. Kokorev Yu.A., Zvyagin F.V. *Sposoby rascheta tochnostnykh kharakteristik detaley i uzlov priborov* [Methods of calculating the accuracy characteristics of parts and components of instruments]. Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2018, 211 p. (In Russ.)
4. Kupriyanov A.Yu. Strength of a joint with tension in case of the shape geometry error. *Vestnik Kherсонского natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kherson National Technical University]. 2015;(3):145-150. (In Russ.)
5. Bezyazychny V.F. *Metod podobiya v tekhnologii mashinostroeniya: monografiya* [A similarity method in mechanical engineering technology: monograph]. Moscow: Infra-inzheneriya, 2021, 356 p. (In Russ.)
6. Ogar P.M., Gorokhov D.B., Turchenko A.V. *Mekhanika kontaktirovaniya sherokhovatykh poverkhnostey* [Rough surface contact mechanics]. Bratsk: Bratsk State University, 2016, 282 p. (In Russ.)
7. Kozlov A.A., Kozlov A.M. *Raschet rezhimov rezaniya: ucheb. posobie* [Calculation of cutting modes: study guide]. Lipetsk: Lipetsk State Technical University, 2017, 96 p. (In Russ.)
8. Dudak N.S., Kasenov A.Zh. *Raschet rezhimov rezaniya: ucheb. posobie* [Calculation of cutting modes: study guide]. Almaty: Evero, 2015, 128 p. (In Russ.)
9. Vasilyev A.S., Kutin A.A. *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya* [Mechanical engineer's reference book]. In 2 vol. Vol. 1. Moscow: Innovatsionnoe mashinostroenie, 2018, 756 p. (In Russ.)
10. Ostapchuk A.K., Ovsyannikov V.E., Rogov E.Yu. *Raschet parametrov korrelyatsionnoy modeli profilya poverkhnostey, obrabatyvaemykh rezaniem* [Calculation of correlation model parameters of the profile of surfaces machined by cutting]. Patent RU, no. 2012611804, 2012.

Поступила 09.01.2024; принята к публикации 01.02.2024; опубликована 27.06.2024
Submitted 09/01/2024; revised 01/02/2024; published 27/06/2024

Рогов Евгений Юрьевич – преподаватель,
Курганский институт железнодорожного транспорта, Курган, Россия.
Email: evro-evgen@yandex.ru. ORCID 0009-0007-5918-3015

Овсянников Виктор Евгеньевич – доктор технических наук, доцент,
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия.
Email: vik9800@mail.ru. ORCID0000-0002-8775-0781

Кулемина Алёна Александровна – кандидат технических наук, доцент,
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия.
Email: kuleminaaa@tyuiu.ru. ORCID 0000-0003-2076-166X

Ковенский Илья Моисеевич – доктор технических наук, профессор,
Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия.
Email: kovenskijim@tyuiu.ru. ORCID 0000-0003-3241-8084

Evgenii Yu. Rogov – Senior Lecturer,
Kurgan Institute of Railway Transport, Kurgan, Russia.
Email: evro-evgen@yandex.ru. ORCID 0009-0007-5918-3015

Viktor E. Ovsyannikov – DrSc (Eng.), Associate Professor,
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia.
Email: vik9800@mail.ru. ORCID 0000-0002-8775-0781

Alena A. Kulemina – PhD (Eng.), Associate Professor,
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia.
Email: kuleminaaa@tyuiu.ru. ORCID 0000-0003-2076-166X

Ilya M. Kovenskii – DrSc (Eng.), Professor,
Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia.
Email: kovenskijim@tyuiu.ru. ORCID 0000-0003-3241-8084