

УДК 691.175.2

КОТОВА АННА ПЕТРОВНА, магистрант,

annakotova1708@mail.ru

ШИЛЬКО ВЛАДИМИР КАЗИМИРОВИЧ, докт. техн. наук, профессор,

docent46@yandex.ru

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА ДЕКИНГА ПО ИСТИРАЕМОСТИ НАПОЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

Рассмотрен механизм разрушения напольных покрытий из древесно-полимерного композита (декинга) от истирания. Установлено, что контакт древесно-полимерного композита и обуви человека идет через «третье тело», представляющее собой микроскопическую пылевоздушную прослойку. Приведен пример расчета среднего ресурса напольного покрытия, проводимого с использованием скорректированной линейной гипотезы суммирования повреждений. В соответствии с ним установлено, что срок службы древесно-полимерного композита может составлять 17,5 лет.

Ключевые слова: древесно-полимерный композит; напольное покрытие; истирание; декинг; нагружение.

ANNA P. KOTOVA, Undergraduate Student,

annakotova1708@mail.ru

VLADIMIR K. SHIL'KO, DSc, Professor,

docent46@yandex.ru

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

DECKING RESOURCE DETERMINED BY FLOORING WEARING CAPACITY

The article describes the wearing mechanism of flooring made of wood-polymer composites (decking). It is shown that the contact between the wood-polymer composite and footwear is performed through the "third body" represented by a microscopic dust-air layer. The calculation of the average lifecycle of flooring is carried out using the corrected linear hypothesis of damage summation. According to this hypothesis, the service life of wood-polymer composite can achieve 17,5 years.

Keywords: wood-polymer composites; flooring; wearing capacity; decking; loading.

Древесно-полимерный композит как напольное покрытие может использоваться в общественных и жилых помещениях, а также на улице. Сохранность древесно-полимерного композита и продолжительность его эксплуатации зависят не только от качества изготовленного изделия, но и от вида нагружения, характерного для данной степени применения [1, 2].

Основной причиной повреждения древесно-полимерного композита и выхода его из эксплуатации является истирание вследствие износа наиболее нагруженных зон напольного покрытия. Действительно, в процессе истирания пола разрушение происходит в первую очередь там, где напольное покрытие

и отдельные его участки многократно соприкасаются с окружающим миром, т. е. «вышаркиваются и вытаптываются».

Различают понятия износостойкости материала и стойкости к истиранию. Износостойкость – это свойство материала оказывать сопротивление изнашиванию в определённых условиях трения, оцениваемое величиной, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания.

Износ древесно-полимерного композита в процессе эксплуатации подчиняется общим законам истирания рабочих поверхностей изделий и характеризуется общим законом износа, имеющим нормально-логарифмический характер. Интенсивность износа по времени зависит от интенсивности воздействий на половое покрытие и характеризуется скоростью износа, выраженной в массовых или размерных долях и являющейся первой производной этих долей по времени.

Стойкость к истиранию, которая характеризует способность противостоять истирающим воздействиям, является важнейшим показателем качества древесно-полимерных композитов и входит в состав основных эксплуатационных требований, предъявляемых к материалам различного назначения [1, 2].

Механизм разрушения декинга от истирания сложен и носит в основном усталостный (фрикционный) характер, т. е. разрушение идет постепенно в результате необратимых изменений в структуре материала. При этом могут быть выделены три основные стадии разрушения древесно-полимерных композитов от истирания. Рассмотрим их на примере изменения массы декинга при истирании. Прежде всего, необходимо привести графическую модель износа древесно-полимерного композита (рис. 1).

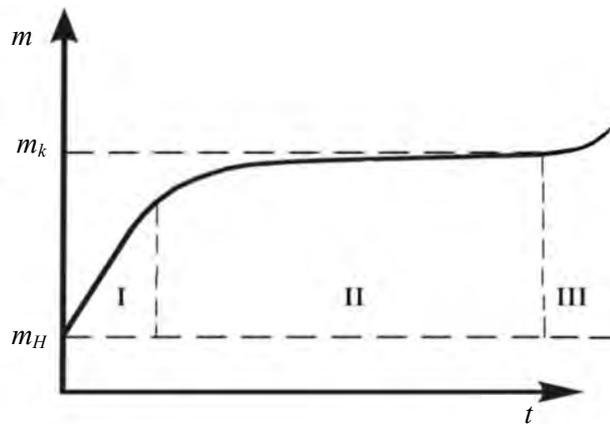


Рис. 1. Кривая износа нагруженного участка декинга:

I – зона приработочного износа (быстрый износ); II – зона монотонного износа (медленный, основной рабочий износ); III – зона аварийного износа (быстрый износ); t – период эксплуатации древесно-полимерного композита; m_H , m_k – начальная и конечная масса древесно-полимерного композита

В начальный период на поверхность древесно-полимерного композита выходят отдельные частицы, составляющие верхний слой. Одновременно

идет процесс разрушения этих частиц за счет деформаций многократного растяжения, изгиба, кручения, смятия и т. п. Масса декинга на данной стадии меняется незначительно, до каких-то прирабочных значений. Дальнейшее истирание ведет к затуханию процесса вывода частиц на поверхность материала, правда, происходит интенсивное расшатывание его структуры.

В конечной стадии истирания, когда нарушения в структуре материала достигают критических значений, процесс разрушения идет чрезвычайно быстро и сопровождается удалением из композита отдельных частиц. Имеет место значительная потеря массы материала.

Стойкость древесно-полимерных композитов к истиранию зависит от количества полимера в составе древесины. Наибольшей стойкостью к истиранию обладают декинги, которые наполовину состоят из древесины, а наполовину – из полимера. В таком соотношении декинг проявляет наилучшие свойства. Следует заметить, что испытания декинга на истирание не соответствуют реальным воздействиям и не могут быть гарантом успешной эксплуатации материала. В большинстве случаев воздействия на напольное покрытие носят случайный характер, поэтому схематизация нагружений декинга должна проводиться по аналогии с требованиями ГОСТ 25.101–83, учитывающими методы схематизации случайных процессов нагружения и статистического представления результатов¹. Наиболее целесообразно воздействия на напольное покрытие определять среднесуточными блоками нагружений, где один блок нагружений будет представлять среднесуточные воздействия, числом 20–80 нагруженных циклов с разными уровнями напряжений.

При этом разрушающее воздействие будут иметь только циклы со значительным уровнем воздействий от 0,2 до 0,4 кПа. Пример среднесуточного блока нагружений представлен на рис. 2. Как правило, число периодов нагружений соответствует числу возможных воздействий людьми на половое покрытие. Особенность эксплуатации половое покрытие состоит в том, что разные люди по-разному оказывают нагружающие воздействия. Чтобы знать рациональный период эксплуатации половых покрытий, необходимо точно определять их ресурс по сопротивлению истираемости, выраженный числом среднесуточных блоков нагружений.

По видам трения априорно примем, что трение может быть сухим или граничным, т. е. полусухим в условиях повышенной влажности. Само трение может иметь адгезионно-когезионный характер, однако доминирующим видом трения будет являться адгезионное.

Перенос материала древесно-полимерного композита при внешних воздействиях сопровождается потерей массы на следующих уровнях: наноуровне, мезоуровне, микроуровне и макроуровне. При этом повреждающая потеря материала ткани будет происходить на микроуровне и макроуровне.

В соответствии с классической теорией трения, разработанной И.В. Крагельским, контакт древесно-полимерного композита и обуви человека идет че-

¹ ГОСТ 25.101–83. Расчеты и испытания на прочность. Методы схематизации случайных процессов нагружения элементов машин и конструкций и статистического представления результатов. ГОСТ 25.507–85. Расчеты и испытания на прочность в машиностроении. Методы испытаний на усталость при эксплуатационных режимах нагружения.

рез «третье тело», представляющее собой микроскопическую пылевоздушную прослойку [3, 4]. При этом напряженно-деформированное состояние частиц «третьего тела» отражает поля напряжений, возникающих в древесно-полимерном композите и обуви человека. Композиция напряжений и деформаций частицы «третьего тела» представлена на схеме рис. 3. Схема нагружения декинга при эксплуатации в соответствии с композицией напряжений и деформаций частицы «третьего тела» представлена на рис. 4.

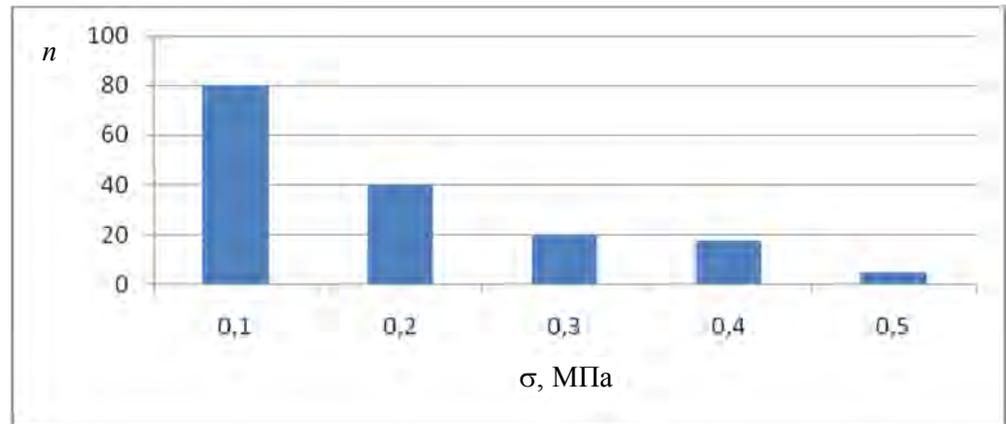


Рис. 2. Среднесуточный блок нагружений напольного покрытия:
 n – число воздействий; σ – уровень нагружений

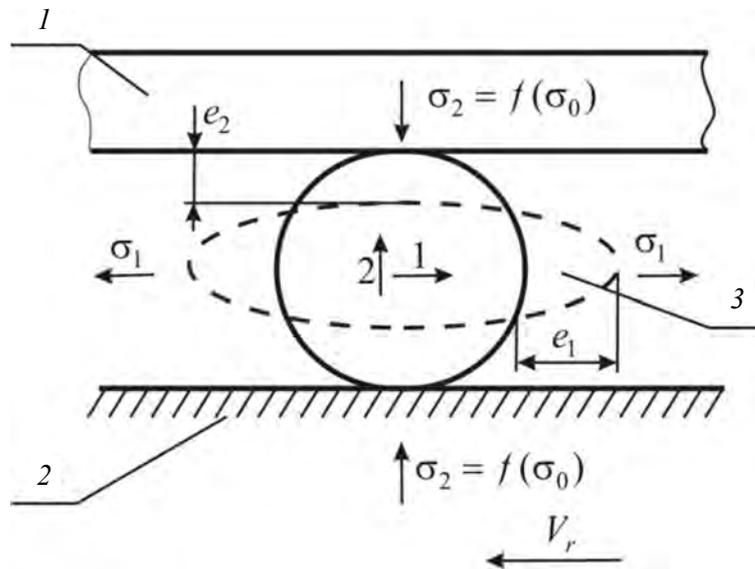


Рис. 3. Композиция напряжений и деформаций частицы «третьего тела»:
 1 – обувь человека; 2 – поверхность полового покрытия; 3 – частица «третьего тела»; σ_1 – растягивающие нормальные напряжения; σ_2 – сжимающие нормальные напряжения; e_1 и e_2 – компоненты пластической деформации «третьего тела» (величина или скорость)

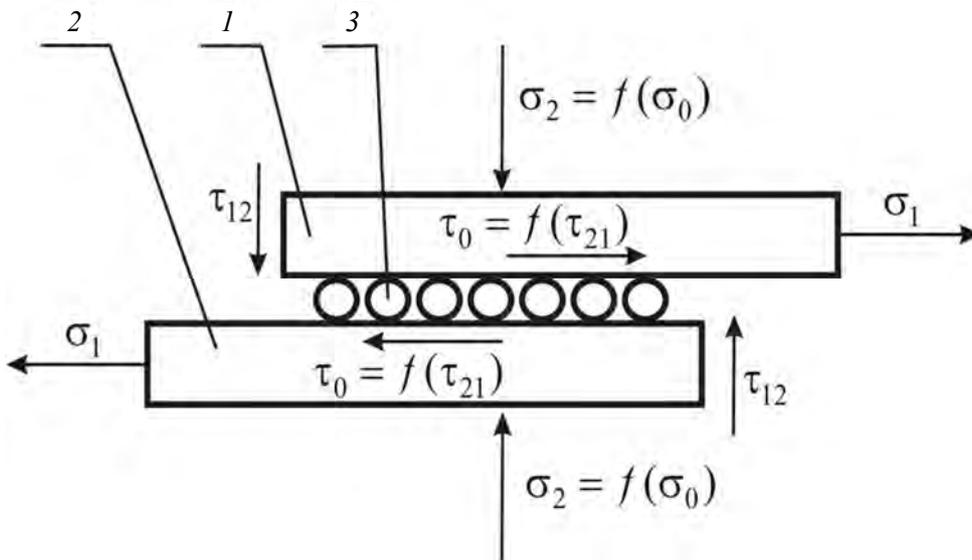


Рис. 4. Схема нагружения декинга при эксплуатации:

σ , τ – нормальные и касательные напряжения в общем тензоре нагружения декинга; 1 – обувь человека; 2 – поверхность полового покрытия; 3 – частицы «третьего тела» (пылевоздушная прослойка)

Основными разрушающими напряжениями в древесно-полимерном композите будут касательные напряжения [5]. Однако их уровень напрямую зависит от уровня нормальных напряжений, т. е. в данном случае между касательными и нормальными напряжениями существует прямая корреляционная связь.

Разрушение материалов, в том числе и вследствие трения, идет не по законам линейного суммирования повреждений, а только лишь в результате «разрушающих» воздействий [5, 6]. В нашем случае это будут повреждения на микро- и макроуровнях в соответствии с принятыми допущениями. В этой связи для расчета числа циклов устойчивости к истиранию древесно-полимерного композита можно воспользоваться скорректированной линейной гипотезой суммирования повреждений.

Чтобы знать рациональный период эксплуатации древесно-полимерного композита, необходимо точно определять его ресурс по сопротивлению истираемости, выраженный числом блоков нагружений [6]. Как правило, число периодов нагружений соответствует числу возможных воздействий людьми на половое покрытие. Особенность эксплуатации напольного покрытия состоит в том, что разные люди по-разному оказывают нагружающие воздействия. Закон распределения амплитуд средних нагружений за период эксплуатации декинга носит нормально-логарифмический характер и напоминает кривую износа (см. рис. 1).

Эмпирическую функцию плотности вероятности нормально-логарифмического распределения нагружений можно представить в виде

$$f(\sigma_i) = \sigma_{ai} (1 - \ln t_i), \quad (1)$$

где σ_{ai} – уровень нормальных напряжений в напольном покрытии, МПа, t_i – время с момента начала эксплуатации напольного покрытия, мин.

Совокупность амплитуд напряжений за суточный период эксплуатации материала будет составлять блок нагружения. Количество блоков нагружения за срок службы декинга определяет его ресурс. Особенностью блока нагружения является то, что амплитуды средних напряжений цикла нагружения действуют не непрерывно, а с «паузами отдыха» при отсутствии воздействий на древесно-полимерный композит.

Для напольных покрытий можно составить следующий усредненный тип блока нагружения, состоящий из 20–80 суточных циклов. При этом всплески напряжений при воздействии человека на напольное покрытие учитывать не будем. Длительность цикла нагружения ориентировочно можно принять в пределах 3–5 с.

Для определения средних амплитуд напряжений за цикл работы составим схему нагружения по нормальным и касательным напряжениям. Они соответственно составят:

- нормальные напряжения $\sigma_{1,2} = 0,2\text{--}0,5$ МПа;
- касательные напряжения $\tau_{1,2} = 0,06\text{--}0,15$ МПа.

После определения средних амплитуд цикла можно составить блок нагружения. При этом блоков нагружения должно быть не менее десяти за весь период работы. В нашем случае количество блоков нагружения будет соответствовать количеству дней эксплуатации декинга, т. е. (20–25 лет) \times (365 дней).

Расчет среднего ресурса напольного покрытия проводится с использованием скорректированной линейной гипотезы суммирования повреждений. Во-первых, установим коэффициент a_p , корректирующий линейную гипотезу суммирования повреждений:

$$a_p = \sum_{i=1}^c \frac{n_i}{N_i}, \quad (2)$$

где c – номер первого уровня амплитуды напряжения σ_{ai} элемента композита, которая превышает его предел прочности σ_{-1} ; n_i – общее количество циклов повторения амплитуд σ_{ai} за весь срок службы композита; N_i – число циклов до появления разрушения композита при действии напряжений с амплитудой σ_{ai} .

Физический смысл коэффициента a_p , корректирующего линейную гипотезу суммирования повреждений, заключается в определении значения суммы относительных повреждений, т. е. суммируются только циклы от повреждающих амплитуд напряжений.

Общее количество циклов повторения амплитуд i -го уровня σ_{ai} за срок службы декинга

$$n_i = \gamma_{i\sigma} \lambda, \quad (3)$$

где λ – число блоков нагружения; $\gamma_{i\sigma}$ – число циклов повторения амплитуд σ_{ai} в блоке нагружения.

Ресурс напольного покрытия, выраженный числом блоков нагружения λ до появления разрушения, определяется выражением

$$\lambda = \frac{a_p \sigma_{-1d}^m N_G}{\sum_{(\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1d})} \sigma_{ai}^m \gamma_{i\sigma}}, \quad (4)$$

где N_G – число разрушающих циклов; σ_{-1d} – предел прочности древесно-полимерного композита.

Данные величины определяются из уравнения истирания декинга

$$m \lg \sigma_{ai} + \lg N_i = m \lg \sigma_{-1d} + \lg N_G$$

или
$$\sigma_{ai}^m N_i = \begin{cases} \sigma_{-1d}^m N_G & \text{при } \sigma_{ai} \geq \sigma_{-1d}, \\ \infty & \text{при } \sigma_{ai} < \sigma_{-1d}. \end{cases} \quad (5)$$

Для практических расчётов ресурса декинга величину N_G можно принимать равной 730 000 циклов². Параметр m принимают в виде $m = \frac{C}{K}$, где K – суммарный коэффициент, учитывающий влияние всех вредных факторов на снижение предела прочности истираемого напольного покрытия (влажность, тепловые воздействия и др., как правило, $K \geq 1$); C – эмпирический коэффициент, характеризующий несущую способность материала (как правило, $C = 1$). Тогда параметр $m \leq 1$. Обычно $m = 0,2-0,5$.

Условие сопротивления истиранию декинга определяется выражением

$$\sigma_{-1d} = m \sqrt[m_\sigma]{\frac{\lambda_\sigma}{a_p N_G} \sum_{(\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1d})} \sigma_{ai}^m \gamma_{i\sigma}}. \quad (6)$$

Индекс $\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1d}$ под знаком суммы в уравнениях (5) и (6) указывает на то, что суммирование в этих выражениях следует производить только по амплитудам σ_{ai} , превышающим напряжения σ_{-1d} , ибо при $\sigma_{ai} < \sigma_{-1d}$, согласно зависимости (5), $N_i = \infty$.

Аналогично определяются касательные напряжения:

$$\tau_{-1d} = m \sqrt[m_\tau]{\frac{\lambda_\tau}{a_{p\tau} N_G} \sum_{(\tau_{ai} \geq \tau_{-1d})} \tau_{ai}^m \gamma_{i\tau}}. \quad (7)$$

Общий ресурс напольных покрытий при совместном действии касательных и нормальных напряжений, выраженный в количествах суточных блоков нагружений, определится из выражения

$$\lambda = \frac{\lambda_\sigma \lambda_\tau}{(\lambda_\sigma^{2/m} + \lambda_\tau^{2/m})^{2/m}}. \quad (8)$$

Таким образом, используя зависимости (6) – (8), можно определять ресурс эксплуатации напольного покрытия, выраженный в сутках, предельные уровни нагружения декинга в блоке и другие параметры.

² ГОСТ 16483.39–81. Древесина. Метод определения показателя истирания. ГОСТ 11529–86. Материалы поливинилхлоридные для полов. Методы контроля.

Приведем пример расчета ресурса древесно-полимерного композита при следующих исходных данных:

- тип блока нагружения 20–80 суточных циклов, примем 50;
- длительность цикла нагружения 3–5 с, примем 4 с;
- нормальные напряжения $\sigma_{1,2} = 0,2\text{--}0,5$ МПа, примем 0,4 МПа;
- касательные напряжения $\tau_{1,2} = 0,06\text{--}0,15$ МПа, примем 0,15 МПа;
- количество дней напольного покрытия (20–25 лет) \times (365 дней), примем 9125 дней;
- примем параметр кривой истирания $m = 0,4$.

Отсюда ресурс напольного покрытия, выраженный числом блоков нагружения λ до появления разрушения, определяется в соответствии с выражением (4)

$$\lambda = \frac{a_p N_G \sigma_{-1d}^m}{\sum_{(\sigma_{ai} \geq \sigma_{-1d})} \sigma_{ai}^m \gamma_{i\sigma}} = \frac{0,7 \cdot 0,125^{0,4} \cdot 7300000}{0,4^{0,4} \cdot 50} = 6415,15, \quad (9)$$

где

$$a_p = \sum_{i=1}^c \frac{n_i}{N_i} = 0,7. \quad (10)$$

Напряжения приняты для случая предельного нагружения, т. е.

$$\sigma_{ai} = \sigma_{-1d}.$$

В соответствии с выражением (9), срок службы древесно-полимерного композита составит 17,5 лет.

Аналогично определяется число блоков нагружения для касательных напряжений, а затем по формуле (8) определяется число блоков нагружений при совместном действии нормальных и касательных напряжений.

При увеличении интенсивности нагружений за счет увеличения числа внешних воздействий на напольное покрытие и напряженного состояния этих воздействий число блоков нагружений и, соответственно, срок службы декин-га будут уменьшаться.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клёсов, А.А. Древесно-полимерные композиты / А.А. Клёсов. – СПб. : Научные основы и технологии, 2010. – 736 с.
2. Галиев, И.М. Создание многослойного напольного настила на основе древесно-полимерных композитов : дис. ... канд. техн. наук. – Казань, 2015. – 161 с.
3. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с.
4. Крагельский, И.В. Коэффициенты трения : справочное пособие / И.В. Крагельский, И.Э. Виноградова. – М. : Машгиз, 1962. – 220 с.
5. Гриняев, Ю.В. Применение метода калибровочной теории дефектов при анализе напряженно-деформационного состояния трущихся пар в передачах трением / Ю.В. Гриняев, В.К. Шилько // Физическая мезомеханика. – 2005. – Т. 9. – № 2. – С. 27–33.
6. Серенсен, С.В. Несущая способность и расчеты деталей машин на прочность / С.В. Серенсен, В.П. Когаев, Р.М. Шнейдерович. – М. : Машиностроение, 1975. – 488 с.

REFERENCES

1. *Kljosov A.A.* Drevesno-polimernye kompozity [Wood-polymer materials]. St.-Petersburg : Nauchnye osnovy i tehnologii, 2010. 736 p. (rus)
2. *Galiev I.M.* Sozdanie mnogoslojnogo napol'nogo nastila na osnove drevesno-polimernyh kompozitov [Establishment of a multi-layer flooring based on wood-polymer composites. PhD Thesis]. 2015. 157 p. (rus)
3. *Kragel'skij I.V., Dobychin M.N., Kombalov V.S.* Osnovy raschetov na trenie i iznos [Basics of friction and wear calculations]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1977. 526 p. (rus)
4. *Kragel'skii I.V., Vinogradova I.E.* Koefficienty trenia [Friction coefficients]. 1962. 220 p. (rus)
5. *Grinyayev Yu.V., Shil'ko V.K.* Primenenie metoda kalibrovochnoj teorii defektov pri analize naprijazhenno-deformacionnogo sostojanija trushhihsja par v peredachah treniem [Application of gauge theory of defects in stress-strain state analysis of friction pairs in friction gears]. *Physical Mesomechanics*. 2005. No 2. Pp. 27–33. (rus)
6. *Serensen S.V., Kogaev V.P., Shnejderovich R.M.* Nesushhaja sposobnost' i raschety detalej mashin na prochnost' [Strength analysis and bearing capacity of machine parts]. Moscow : Mashinostroenie Publ., 1975. 488 p. (rus)