

УДК 62 515.5

В.И. Колмыков, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: mtio@kurskstu.ru)

И.Н. Родионова, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: irodionovadoc@mail.ru)

О.В. Воробьева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: mtio@kurskstu.ru)

Л.М. Фомичева, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» (Курск, Россия) (e-mail: liliya.fomichewa@yandex.ru)

О КОМПЛЕКСНЫХ КРИТЕРИЯХ НАДЕЖНОСТИ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

В статье, на примере цепных транспортёров, показана связь между изменением в процессе эксплуатации конструктивных, энергетических и других параметров машины и показателями надёжности. Приведен анализ методического подхода, который основывается на учете изнашивания и повреждения деталей машин по мере увеличения длительности их работы и на влиянии этих изменений на показатели работы машины.

Представлена методика на примере тяжело нагруженных транспортёров, которая показывает, что при постоянной нагрузке транспортёра (Q и $W - const$) по мере увеличения длительности эксплуатации будет возрастать мощность, необходимая для его привода. По данному показателю можно судить о текущем состоянии силовых элементов транспортёра, а также рассчитать показатели надёжности (долговечности, безотказности и др.).

В случаях использования цепи со звеньями, упроченной по инновационным технологиям (например, нанесение износостойких покрытий или модификацией поверхностных слоев диффузионным насыщением и др.) повышается долговечность. Энергия, подводимая к машине, затрачивается на полезную работу и на преодоление сил трения и других сил сопротивления, возникающих в элементах машины. По мере увеличения длительности работы и изменения состояния деталей машины (за счёт изнашивания, коррозии, усталости и других деструктивных процессов) эти силы изменяются, главным образом увеличиваются, что вызывает дополнительный расход энергии на их преодоление. Таким образом, при постоянной нагрузке транспортёра (Q и $W - const$) по мере увеличения длительности эксплуатации будет возрастать мощность, необходимая для его привода. По этому показателю, который легко измеряется соответствующими приборами, можно судить о текущем состоянии силовых элементов транспортёра, а также рассчитать показатели надёжности (долговечности, безотказности и др.).

Одним из важных показателей надёжности сложных машин является ремонтпригодность. Составные части машин восстанавливаются параллельно в специализированных цехах или на предприятиях, и время ремонта не перекрывается временем простоя всей машины в ремонте. Поэтому ремонтпригодность в таких случаях более правильно оценивать с помощью такого показателя, как трудоёмкость технического обслуживания и ремонта.

В статье показана возможность оценки надёжности машин по трудоёмкости работ, по их техническому обслуживанию и ремонту. Полученные зависимости, установленные для оценки надёжности машин на основе комплексных критериев, можно использовать на стадии проектирования, когда вместо дорогостоящих натурных или стендовых испытаний можно проводить расчеты их выходных параметров.

Ключевые слова: надёжность, технический уровень машин и оборудования, долговечность, увеличение производительности, конструктивные, энергетические параметры машин, показатели надёжности, ремонтпригодность, трудоёмкость технического обслуживания и ремонта.

DOI: 10.21869/2223-1560-2017-21-6-96-102

Ссылка для цитирования: О комплексных критериях надёжности машин и оборудования / В.И. Колмыков, И.Н. Родионова, О.В. Воробьева, Л.М. Фомичева // Известия Юго-Западного государственного университета. 2017. Т. 21, № 6(75). С.96-102.

Повышение надёжности и технического уровня машин и оборудования, выпускаемых отечественной промышленностью, является важной народно-хозяйст-

венной задачей. Одним из основных путей решения этой задачи является повышение долговечности машин и их агрегатов. Это может стать предпосылкой со-

здания новых машин улучшенного качества и повышенной конкурентоспособности.

Приоритетными задачами, которые необходимо решать при разработке таких машин, являются: увеличение производительности и снижение металлоёмкости; снижение трудоёмкости технологического обслуживания и ремонта и повышение показателей надёжности [1,2,3]. При этом, необходимо разработать теоретические предпосылки и мероприятия по повышению надежности машин, уделив главное внимание увеличению ресурсов машин и агрегатов (долговечности) и снижению их отказов, приводящих к аварийным ситуациям (безотказности).

Для количественной оценки показателей надёжности машин имеются стандартные методики [4, 5], однако они весьма трудоёмки, так как основаны на разборке машины и микрометраже деталей. С нашей точки зрения, необходимо разработать методический подход, который учитывал бы изменения этих показателей в процессе их эксплуатации. Указанный подход должен основываться на учете изнашивания и повреждаемости деталей машин по мере увеличения длительности их работы и на влиянии этих изменений на показателях работы машины. Ниже представлена такая методика на примере тяжело нагруженных транспортёров, широко используемых в народном хозяйстве.

Одними из самых распространенных транспортёров являются цепные (пластинчатые и скребковые) транспортёры и конвейеры. Они работают на горнодобывающих и горнообогатительных комбинатах, на промышленных предприятиях, в сельском хозяйстве и многих других объектах. Тяговые цепи скребковых и

пластинчатых транспортёров, которые являются их силовыми элементами и во многом определяют работоспособность и долговечность этих машин, работают в очень тяжёлых условиях. Детали цепей подвергаются значительным силовым и динамическим нагрузкам, абразивному и коррозионному воздействию и поэтому, интенсивно изнашиваясь, изменяют надёжность машин в целом. На рисунке показана схема формирования показателей надёжности таких транспортёров. Подобные схемы подходят для широкого круга других машин, поскольку они основываются на наиболее общих, универсальных критериях.

Энергия, подводимая к транспортёру, расходуется не только на перемещение груза, но и проявляется в элементах транспортёра в механической, тепловой, химической и других формах, изменяет состояние материала его деталей. В результате в его деталях, главным образом в деталях тяговой цепи, возникают процессы изнашивания, деформации, ползучести, коррозии и др., которые приводят к повреждениям звеньев цепи. Повреждения вызывают увеличение шага и длины цепи. Это увеличение компенсируется перемещением осей звездочек натяжного устройства, что может быть зафиксировано и может рассматриваться как параметр, характеризующий техническое состояние транспортёра.

Изменение этого параметра и выход его за установленные пределы формирует, согласно принятой модели, показатель надёжности цепи транспортёра в целом. Отказ транспортёра произойдет тогда, когда рассматриваемый параметр - расстояние между осями натяжных звездочек и, соответственно, длина цепи, достигнет своего предельного значения.

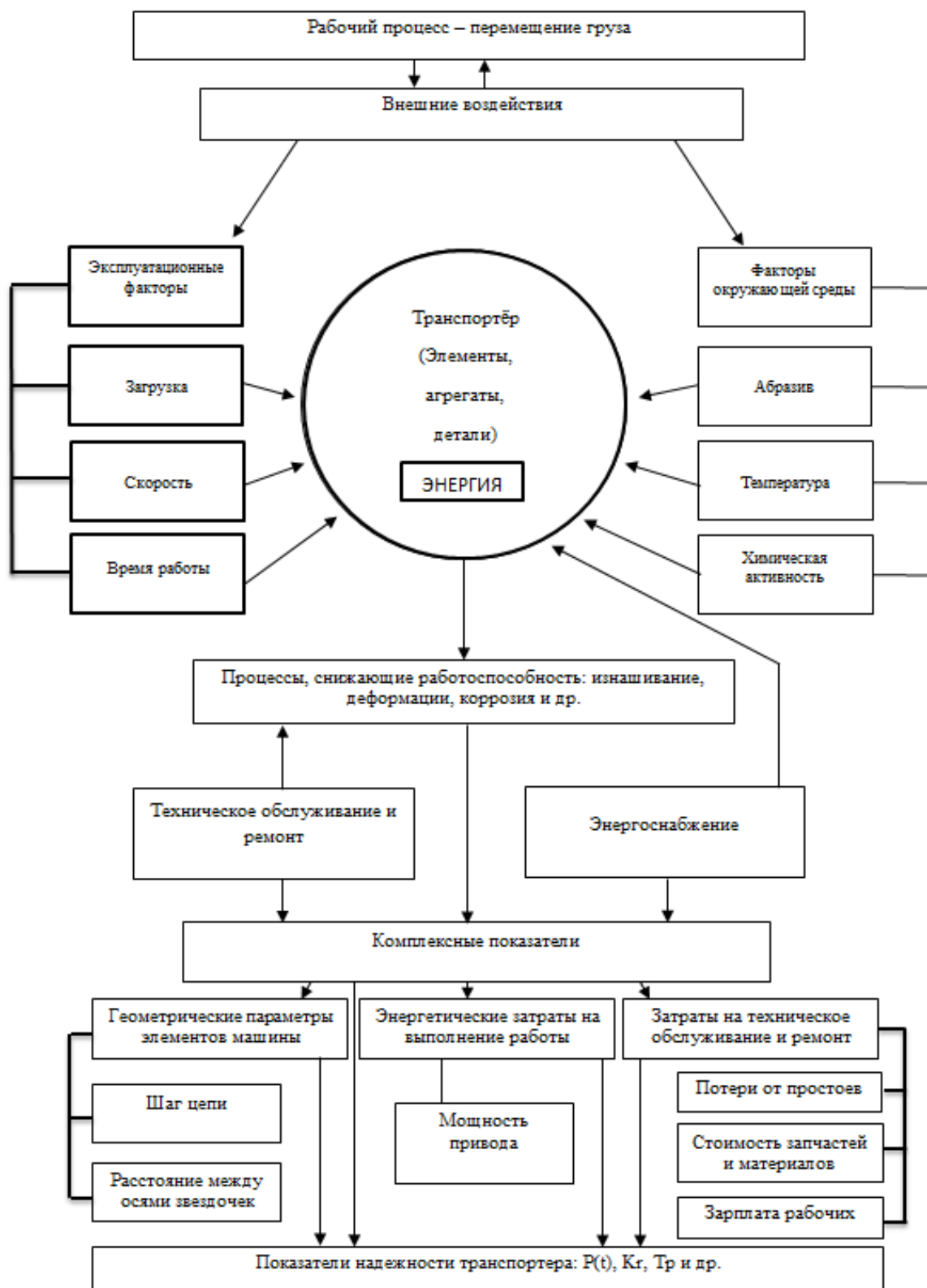


Рис. Схема формирования показателей надежности цепного транспортера

Показатель долговечности транспортера (срок службы - T) можно оценить во вре-

мени работы транспортера до достижения предельной длины (шага) тяговой цепи.

Долговечность тяговых цепей транспортёров и цепных конвейеров предлагается определить по формуле

$$T = \frac{\Delta L - \Delta L_H - \Delta L_{II}}{\Delta L_T}, \quad (1)$$

где ΔL – предельное увеличение длины шага тяговой цепи;

ΔL_H – начальное отклонение длины от номинала;

ΔL_{II} – увеличение длины цепи в процессе приработки;

ΔL_T – среднегодовое увеличение шага тяговой цепи.

Технический уровень новых или усовершенствованных (модифицированных) транспортёров, например, с упрочненными звеньями тяговой цепи, можно определить, оценив показатели долговечности данного транспортёра и аналогов.

По представленному выше параметру (изменению длины тяговой цепи) можно оценить скорость изнашивания ее звеньев

$$v_{зв} = \frac{\Delta L}{T_{д.р.} \cdot n}, \quad (2)$$

где ΔL – предельное увеличение длины тяговой цепи;

n – число звеньев, входящих в состав цепи;

$T_{д.р.}$ – доремонтный ресурс цепи.

В период нормальной эксплуатации (после приработки) скорость изнашивания звеньев тяговой цепи становится постоянной и в этот период можно оценить безотказность транспортёра по таким характеристикам, как параметр потока отказов.

Для восстанавливаемых объектов, каковыми являются цепные транспортёры, вероятно многократное появление отказов, которые являются случайными событиями. При этом отказавшие элементы заменяют на исправные и работоспособ-

ность объекта восстанавливается, то есть наблюдается поток отказов и поток восстановлений.

Поток отказов $\omega(t)$ характеризуется параметром потока отказов, определяемым по формуле

$$\omega(t) = \frac{m_{cp}(t + \Delta t) - m_{cp}(t)}{\Delta t}, \quad (3)$$

где $m_{cp}(t)$ – среднее число отказов объекта (цепи) до наработки t ;

$m_{cp}(t + \Delta t)$ – среднее число отказов за период от t до Δt .

После периода приработки $\omega(t) = \omega = \text{const}$, т.е. параметр потока отказов тяговой цепи, как и средняя скорость изнашивания звеньев цепи является постоянной величиной. По значению этой величины можно судить о безотказности данного транспортёра - чем меньше $\vartheta_{зв}$, и, соответственно ω , тем более высокой является его безотказность (меньше вероятность появления отказов).

В случаях использования цепи со звеньями, упрочненной по инновационным технологиям (например, нанесение износостойких покрытий или модификацией поверхностных слоев диффузионным насыщением и др.) повышается долговечность [5, 6, 7, 8]. Показатель увеличения долговечности модифицированной цепи по сравнению с серийной P_d можно определить по формуле

$$P_d = \frac{T_{упр}}{T_o} = \frac{\vartheta_{упр}}{\vartheta_o}, \quad (4)$$

где $T_{упр}$ и T_o – соответственно, долговечность цепи с упрочненными звеньями и долговечность стандартной цепи;

$\vartheta_{упр}$ и ϑ_o – скорость изнашивания цепи с упрочненными звеньями и скорость изнашивания стандартной цепи.

Состояние транспортёра (как, впрочем, и многих других машин) можно оценить также по затратам энергии, не-

обходимой для выполнения заданного (например, годового) объема работ

$$\mathcal{E}_r = N_{\text{пр}} \cdot Q^{-1} \cdot W, \quad (5)$$

где \mathcal{E}_r – энергия, затрачиваемая на выполнение годового объема работ, квт·час;

$N_{\text{пр}}$ – мощность, необходимая для привода транспортёра, квт;

Q^{-1} – часовая производительность транспортёра, (кг/ч, м/ч);

W – годовой (заданный) объем работ, (кг, м).

Энергия, подводимая к машине, затрачивается на полезную работу (в случае транспортёра на перемещение груза), а также на преодоление сил трения и других сил сопротивления, возникающих в элементах машины. По мере увеличения длительности работы и изменения состояния деталей машины (за счёт изнашивания, коррозии, усталости и других деструктивных процессов) эти силы изменяются, главным образом увеличиваются, что вызывает дополнительный расход энергии на их преодоление.

Таким образом, при постоянной нагрузке транспортёра (Q и W – const) по мере увеличения длительности эксплуатации будет возрастать мощность, необходимая для его привода. По этому показателю, который легко измеряется соответствующими приборами, можно судить о текущем состоянии силовых элементов транспортёра, а также рассчитать показатели надежности (долговечности, безотказности и др.).

Одним из важных показателей надежности сложных машин, состоящих из большого количества элементов (агрегатов, деталей), является ремонтпригодность. Показателем ремонтпригодности элементов машин является среднее время их восстановления. Однако для изделий, ремонтируемых во время общего ремонта

всей машины, определить среднее время восстановления практически невозможно. Составные части машин восстанавливаются параллельно в специализированных цехах или на предприятиях, и время ремонта не перекрывается временем простоя всей машины в ремонте [9]. Поэтому ремонтпригодность в таких случаях более правильно оценивать с помощью такого показателя, как трудоёмкость технического обслуживания и ремонта.

Для определения этой трудоёмкости необходимо установить перечень работ при каждом виде ремонта и техническом обслуживании и использовать нормы времени на выполнение этих работ.

Общее представление о надёжности цепных транспортёров (и других машин) можно получить с помощью значений удельной суммарной трудоёмкости технического обслуживания и ремонтов. Для каждого конкретного изделия эти показатели не должны превышать соответствующие показатели лучших изделий – аналогов. При отсутствии сведений об изделиях – аналогах, допустимо удельную суммарную трудоёмкость ремонтнообслуживающих работ $A_{\text{доп}}$ оценивать, исходя из норм амортизированных отчислений по формуле

$$A_{\text{доп}} = K \cdot A_{\text{изг}} \cdot R_{\text{сп}}^{-1}, \quad (6)$$

где K – коэффициент, учитывающий трудоёмкость и число ремонтов ($K=1,5\dots 2$);

$A_{\text{изг}}$ – трудоёмкость изготовления изделия;

$R_{\text{сп}}^{-1}$ – нормативный ресурс или срок службы до списания.

С помощью показателя $A_{\text{доп}}$ можно сравнить только ремонтпригодность изделий с одинаковыми характеристиками.

Зависимости, установленные для оценки надежности машин на основе комплексных критериев, можно использовать на стадии проектирования, когда

вместо дорогостоящих натуральных или стендовых испытаний можно проводить расчеты их выходных параметров. При этом необходимо учитывать влияние на регламентированные характеристики машины особенностей их конструкции, размеров и других параметров.

Список литературы

1. Польский Е.А., Филькин Д.М. Технологическое обеспечение качества сборочных единиц на этапах жизненного цикла на основе анализа размерных связей с учетом эксплуатации // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2014. №3. С. 8-19
2. Коган Я.Д. Технологические методы повышения надежности и долговечности деталей машин (наплавленные покрытия, электроискровое легирование, гальванические и химические покрытия): учеб. пособие. М.: МАДИ, 1988. 201 с.
3. Бойцов В.Б., Чернявский А.О. Технические методы повышения прочности и долговечности. М.: Машиностроение, 2005. 125.
4. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надёжности и планы контрольных испытаний на надежность. М., 1987.
5. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. М., 1995.
6. Технологическое обеспечение эксплуатационной надежности машин и оборудования/ С.Г. Емельянов, Е.А. Лукашев, А.В. Олейник [и др.]. Курск, 2010. 303с.
7. Бурумкулов Ф.Х., Лялякин В.П., Галин Д.А. Повышение межремонтного ресурса агрегатов с использованием нанотехнологий // Техника в сельском хозяйстве. 2007. №3. С.8-13.
8. Восстановление деталей машин / Ф.И.Пантелеев, В.П.Лялякин, В.П.Иванов [и др.]. М.: Машиностроение, 2003. 672 с.
9. Лунин Д.Ю., Алтухов А.Ю. Внедрение групповой технологии на предприятиях Курской области // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2014. №3. С. 33-36.

Поступила в редакцию 28.09.17

UDC 62 515.5

V.I. Kolmykov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: mtio@kurskstu.ru)

I.N. Rodionova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: irodionovadoc@mail.ru)

O.V. Vorobyeva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: mtio@kurskstu.ru)

L.M. Fomichyeva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Southwest State University (Kursk, Russia) (e-mail: liliya.fomichewa@yandex.ru)

ON THE INTEGRATED CRITERIA OF MACHINERY AND EQUIPMENT RELIABILITY

On the example of chain conveyors, the article shows the relationship between the change in the operation process of constructive, energy and other parameters of a machine and reliability parameters. The authors have presented the analysis of methodological approach that is based on wear and damage of machine parts with increase in the duration of their operation and the impact of these changes on the performance of a machine.

On the example of heavy-duty transporters, the paper presents the method which shows that at a constant load of conveyor (Q и $W - const$) with increase in the duration of its operation, the power required to drive it will also in-

crease. According to this parameter, one can judge about the current status of power components of a conveyor, and it is also possible to calculate the reliability (longevity, failure-free performance, etc.).

If you use a chain with links strengthened by innovative technologies (e.g., wear-resistant coatings and modification of surface layers by diffusion saturation, etc.) longevity increases. The energy supplied to the machine is spent on useful work and overcoming friction forces and other resistance forces arising in the machine elements. As you increase the duration of operation, the condition of machine parts changes (due to wear, corrosion, fatigue and other destructive processes). These changes mainly cause more energy consumption for overcoming them. Thus, when having a constant load of conveyor ($Q u W = const$) with increase in the duration of its operation the power required to drive it will increase too. For this parameter which is easily measured by appropriate instruments, it is possible to judge the current status of the power components of a conveyor, and calculate the reliability (longevity, failure-free performance, etc.), etc.).

One of the important indicators of reliability of complex machinery is maintainability. Machines parts are re-stored in parallel in specialized shops or businesses, and the repair time does not overlap with the downtime of the whole machine to be repaired. Therefore, maintainability in such cases can be more properly evaluated using such an indicator as the complexity of maintenance and repair.

The article shows the possibility of evaluating machine reliability according to the complexity of works, their maintenance and repair. The obtained dependences established for evaluation of reliability of machines on the basis of complex criteria can be used at the design stage, when calculations of the output parameters can be carried out instead of costly full-scale or bench testings.

Key words: reliability, technical level of machinery and equipment, longevity, performance increase, constructive and energy parameters of machines, reliability parameters, maintainability, complexity of maintenance and repair..

DOI: 10.21869/2223-1560-2017-21-6-96-102

For citation: Kolmykov V.I., Rodionova I.N., Vorobyeva O.V., Fomichyeva L.M. On the Integrated Criteria of Machinery and Equipment Reliability, Proceedings of the Southwest State University, 2017, vol. 21, no. 6(75), pp. 96-102 (in Russ.).

References

1. Pol'skij E.A., Fil'kin D.M. Tehnologicheskoe obespechenie kachestva sborochnyh edinic na jetapah zhiznennogo cikla na osnove analiza razmernyh svyazej s uchetom jekspluatatsii. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Tehnika i tehnologii*, 2014, no.3, pp. 8-19.
2. Kogan Ja.D. Tehnologicheskie metody povyshenija nadezhnosti i dolgovechnosti detalej mashin (naplavlennye pokrytija, jelektroiskrovoe legirovanie, gal'vanicheskie i himicheskie pokrytija). Moscow, 1988. 201 p.
3. Bojcov V.B., Chernjavskij A.O. Tehnicheskie metody povyshenija prochnosti i dolgovechnosti. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2005, 125 p.
4. GOST 27.410-87. Nadezhnost' v tehnike. Metody kontrolja pokazatelej nadezhnosti i plany kontrol'nyh ispytaniya na nadezhnost'. Moscow, 1987.
5. GOST 27.301-95. Nadezhnost' v tehnike. Raschet nadezhnosti. Osnovnye polozhenija. Moscow, 1995.
6. Emel'janov S.G., Lukashev E.A., Olejnik A.V. Tekhnologicheskoe obespechenie jekspluatatsionnoj nadezhnosti mashin i oborudovanija. Kursk, 2010. 303 p.
7. Burumkulov F.H., Ljaljakin V.P., Galin D.A. Povysenie mezhremontnogo resursa agregatov s ispol'zovaniem nanotekhnologij. *Tehnika v sel'skom hozjajstve*, 2007, no.3, pp.8-13.
8. Pantelev F.I., Ljaljakin V.P., Ivanov V.P. Vosstanovlenie detalej mashin. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2003. 672 p.
9. Lunin D.Ju., Altuhov A.Ju. Vnedrenie gruppovoj tehnologii na predpriyatijah Kurskoj oblasti. *Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Serija Tehnika i tehnologii*, 2014, no.3, pp. 33-36.