

Научная статья
УДК 621.9.016

Повышение долговечности карданных передач автомобилей КАМАЗ за счет применения комбинированной химикотермической обработки

Екатерина Алексеевна Постнова¹, Алексей Александрович Пегачков²

^{1,2}Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, Россия

¹kate57318@gmail.com

²pegachkov@yandex.ru

Аннотация. В данной статье рассматривается применение различных видов термической и химикотермической обработки с целью повышения долговечности и увеличения ресурса как наиболее дефектоносных элементов карданных передач – крестовин, так и карданных передач автомобилей КАМАЗ серии 740.735 в целом. В статье приведены результаты анализа первого этапа испытаний, где все показатели долговечности напрямую связаны с тремя основными критериями – со свойствами базового материала, режимами и видом предварительной и окончательной термической обработки.

Для выбора оптимального варианта комбинированной обработки запланировано использование уравнений регрессии, где одновременно применяются два критерия: экспериментальные данные износа каждого образца, полученные при испытаниях на износостойкость, а также микротвердость поверхностного слоя, полученная, после совместного (комбинированного) применения термической и химикотермической обработки. Как результат, получены первичные уравнения регрессии, позволяющие оценить эффективность комбинированной обработки как для образцов из стали 30ХГСА, так и образцов из стали 45 в зависимости от полученной микротвердости.

Ключевые слова: термическая обработка, химико-термическая обработка, упрочнение, барирование, карбонитрирование, износостойкость, долговечность, крестовина карданной передачи, детали машин.

Для цитирования: Постнова Е.А, Пегачков А.А. Повышение долговечности карданных передач автомобилей КАМАЗ за счет применения комбинированной химикотермической обработки // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. 2024. №1(39).

Original article

Increasing the durability of cardan transmissions of KAMAZ vehicles through the use of combined chemical-thermal treatment

Ekaterina A. Postnova¹, Aleksey A. Pegachkov²

^{1,2}Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI),

Moscow, Russia

¹kate57318@gmail.com

²pegachkov@yandex.r

Abstract. This article describes the use of various types of thermal and chemical-thermal treatment in order to increase the durability and increase the resource of both the most defect-prone elements of cardan transmissions – crosses and cardan transmissions of KAMAZ 740.735 in general. The article presents the results of an analysis of the first stage of testing, where all durability indicators are directly related to three main criteria - the properties of the base material, modes and type of preliminary and final heat treatment.

To select the optimal option for combined treatment, it is planned to use regression equations, where two criteria are simultaneously applied: experimental data on the wear of each sample obtained during wear resistance tests, as well as the microhardness of the surface layer obtained after the joint (combined) application of thermal and chemical-thermal treatment. As a result, primary regression equations were obtained that make it possible to evaluate the effectiveness of combined processing for both samples made of two steel grades (steel 45 and steel 30 HGSА), depending on the obtained hardness.

Keywords: heat treatment, chemical-thermal treatment, hardening, barring, carbonitriding, wear resistance, durability, cardan shaft cross, machine parts.

For citation: Postnova E.A., Pegachkov A.A. Increasing the durability of cardan transmissions of KAMAZ vehicles through the use of combined chemical-thermal treatment. *Avtomobil'. Doroga. Infrastruktura*. 2024. №1 (39).

Введение

При работе механизмов грузовых автомобилей и дорожной техники их элементы и детали, передающие крутящий момент, испытывают постоянные динамические воздействия и значительные знакопеременные нагрузки. При этом, рабочие механизмы дорожных машин эксплуатируются в сложных эксплуатационных условиях – сильной запыленности или условиях повышенной влажности.

В процессе эксплуатации возникает множество факторов, влияние которых на безопасность и надежность невозможно предвидеть [1].

Эксплуатация автомобиля с неисправной карданной передачей связана с риском возникновения нештатной ситуации, способной привести как к материальным потерям, так и к человеческим жертвам [2].

Именно поэтому, с целью повышения надежности и снижения вероятности выхода карданных передач КАМАЗ из строя, в данной работе решалась задача, связанная с повышением долговечности наиболее ее дефектоносных элементов – крестовин за счет повышения их прочности и износостойкости.

Для анализа влияния различных видов термической и термико-химической обработки на показатели долговечности деталей, для проведения исследований была выбрана крестовина карданной передачи автомобиля КАМАЗ-5490. Крестовина карданного вала является важнейшим элементом трансмиссии, поскольку она передает крутящий момент между двумя валами, которые могут располагаться под различными углами.

Отметим, что шипы крестовины должны обладать высокой износостойкостью, при этом выдерживать знакопеременные нагрузки, а также обладать повышенными антикоррозионными свойствами.

Перечислим основные дефекты выбранной детали:

1. Износ подшипников крестовины.
2. Износ, задиры или деформация шипов крестовины. Шипы крестовины являются частью, которая входит в зацепление с ответными элементами на валах.
3. Изменение механических свойств и коррозия шипов крестовины. Со временем покрытие крестовины может подвергнуться коррозии и износу, что может привести к нарушению герметичности и ускоренному износу шипов.

Исследуемая деталь изготавливается из стали 30Х, согласно ГОСТу 4542-71. Также существует исполнение детали, в котором ее

изготавливают из стали 30ХГСА. При этом, основной целью работы является повышение долговечности, поэтому в нашей работе одним из предложений является использование стали 45 в качестве альтернативного материала для изготовления крестовин.

Основной задачей являлось повышение прочности и износостойкости шипов крестовины, чего можно достичь путем применения комбинированной термической и химико-термической обработки.

Существует большое количество способов повышения прочности и износостойкости поверхностей, в том числе: цементация, азотирование, борирование, карбонитрирование и др.

Перед каждым из вышеперечисленных процессов должна проводиться соответствующая предварительная термическая обработка. Для проведения экспериментальных исследований в лаборатории кафедры ПРАДМ Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета из двух видов сталей (30ХГСА и 45) были созданы образцы двух видов – втулки для проведения механических, триботехнических и металлографических исследований, а также образцы прямоугольной и квадратной формы для проведения металлографических испытаний.

Все образцы испытывались после различных вариантов проведения химической и химикотермической обработки.

Образцы (рис.1) были изготовлены согласно ГОСТ 26614-85 [13] с внутренним диаметром $D1 = 30\text{мм}$, внешним диаметром $D2 = 50\text{мм}$ и шириной $L = 15\text{ мм}$, с целью дальнейших испытаний на машине трения М-22П.

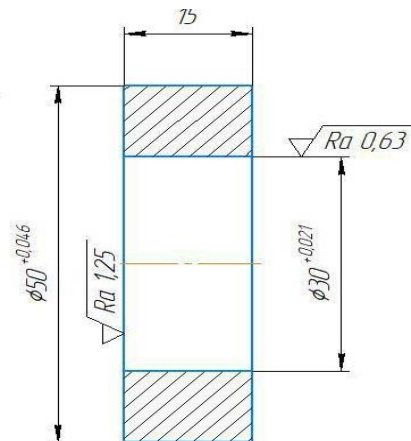


Рис. 1. Чертеж образцов для проведения испытаний

В связи с тем, что стали 45 и 30ХГСА являются углеродистыми, для них, в виде предварительной термической обработки, возможно применение как нормализации, так и улучшения (заковки с последующим высоким отпуском). В таблице 1 указаны параметры предварительной термической обработки образцов из стали 30ХГСА и из стали 45.

Таблица 1
Основные параметры предварительной термической обработки образцов

Сталь	Нормализация		Улучшение			
	Время, ч	Температура, °C	Заковка		Высокий отпуск,	
			Время, ч	Температура, °C	Время, ч	Температура, °C
30ХГСА	0,25	875	0,25	830	2	570
45	0,25	870	0,25	800	2	550

После предварительной термической термообработки, образцы, представленные на рис. 2, были подготовлены ко второй фазе испытаний – химико-термической обработке.



Рис. 2. Образцы стали 30ХГСА и стали 45 после предварительной термообработки

Далее приведем анализ возможных видов окончательной химико-термической обработки.

Достоинством азотирования (рис. 3) является значительное повышение прочности за счет нитридов, которые сохраняют поверхность твердой и износостойкой вплоть до 600 °С, что предпочтительнее для тяжело нагруженных деталей по сравнению с цементацией. [1]

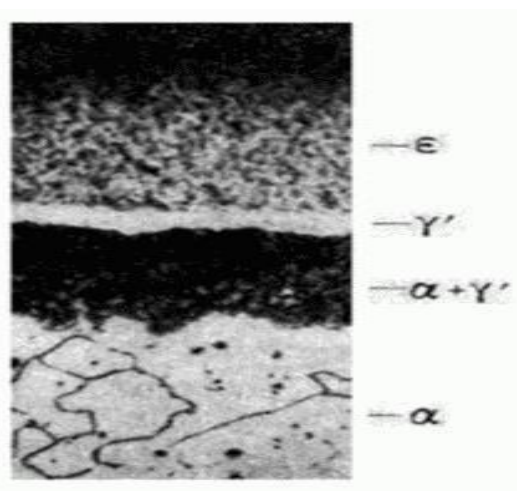


Рис. 3. Структура азотированного слоя

Известен способ одноступенчатого по температуре газового азотирования, включающий в себя изотермическую выдержку изделий в интервале температур 450-600 °С в аммиачно-водородной среде с

добавлением к концу пресса смеси, состоящей из аммиака и углеродосодержащего газа. [7]

Более технологичным является также способ кратковременного газового азотирования стали, включающий в себя выдержку детали при 570 °С в течение 6-8 ч с постоянной подачей смеси, состоящей из 50% аммиака и 50% пропанбутана. [9]

Получаемый этим способом слой состоит из нитридной зоны, толщиной 7–15 мкм и диффузионной зоны, толщиной 0,1–0,4 мм. Поверхностная твердость на стали 30Х HV₅ 550. Слой обладает повышенной износостойкостью и идентичной износостойкостью со сталями, азотированными в аммиаке при 520 °С. [9]

С целью повышения твердости поверхностного слоя и увеличения его глубины процесс ведут двухступенчато: по температуре и по подаче газовой смеси (рис. 4).

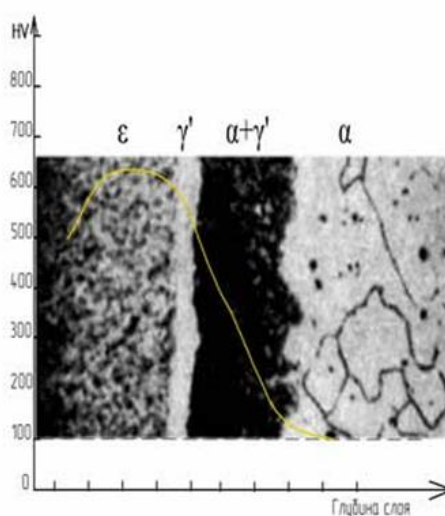


Рис. 4. График распределения твердости по азотированному слою

В первой ступени процесса поддерживают температуру 530-540°С с подачей только аммиака, во второй ступени температуру поднимают до 570-580°С и подают смесь, состоящую из 50% аммиака и 50 % пропанбутана. [9]

Как альтернатива газовому азотированию также возможно применение карбонитрирования, что позволяет многократно сократить длительность

цикла обработки, а также повысить эксплуатационные свойства исследуемых образцов, поскольку после карбонитрирования на поверхности образуется диффузионный слой, состоящий из двух зон (рис. 5). [6, 12]

Верхняя зона, толщиной 15 мкм, представляет собой карбонитрид типа $\text{Fe}_3(\text{N}, \text{C})$, а под карбонитридным слоем располагается гетерофазный слой, твердость которого значительно выше твердости сердцевины. [6, 8]



Рис.5. Структура конструкционной стали после карбонитрирования

Борирование – вид обработки, который чаще всего выполняется при электролизе расплавленной буры ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$). Изделие служит катодом. Температура насыщения 930-950 °С, выдержка составила 3,5 часа. В результате борирования стали 45 по предлагаемому способу в течение 2 ч. глубина боридного слоя достигла 140 мкм. [4, 10, 11]

При этом количество фазы Fe_2B составило 90%, фазы FeB – 10%. Микроструктура боридного слоя и переходной зоны на стали 45 представлена на рис. 6. [5]

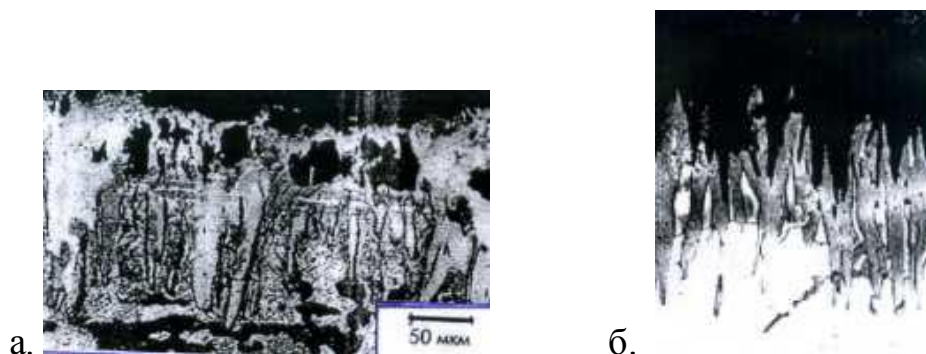


Рис. 6. Структура боридных покрытий стали 45

Результаты экспериментальных исследований

При проведении испытаний, стало очевидным, что показатели долговечности будут напрямую зависеть от материала, предварительной термообработки и самое главное – режимов окончательной химикотермической обработки.

Отметим, что образцы из сталей 30ХГСА и 45 первоначально подвергались улучшению и нормализации, что по сути являлось предварительной термической обработкой. Далее, для окончательной химико-термической обработки, образцы подвергались борированию и кабонитрированию. Для выбора оптимального варианта комбинированной обработки использовались два уравнения регрессии, где одновременно должны использоваться два критерия y :

y_1 – экспериментальные данные износа каждого образца, полученные на машине трения;

y_2 – полученная при эксперименте микротвердость.

Для дальнейшего экспериментального подбора оптимальной технологии химико-термической обработки каждой из выбранных сталей должны будут обеспечиваться два условия: значения y_1 должны стремиться к минимуму, а значения y_2 – к максимуму. При составлении уравнений регрессии были приняты во внимание следующие факторы:

x_1 – ударная вязкость;

x_2 – процентное содержание углерода в стали;

x_3 – температура химико-термической обработки.

Уравнение регрессии для каждой из моделей выглядит следующим образом:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_1 x_2 + b_5 x_1 x_3 + b_6 x_2 x_3 \quad (1)$$

Для сталей 45 и 30ХГСА в таблице 2 представлены значения уровней интервалов варьирования факторов.

Таблица 2

Значение верхнего нижнего основного уровня факторов
для сталей 45 и 30ХГСА

Фактор	-1	0	+1
x ₁	0,59	1	1,2
x ₂	0,3	0,37	0,45
x ₃	650	730	820

Учитывая, что количество факторов небольшое, а сама модель предположительно линейная, варьирование факторов проводилось на трех уровнях. Зависимость долговечности стали от указанных факторов можно проанализировать по показателям износа образцов и изменению микротвердостей поверхностных слоев. Результаты экспериментальных исследований микротвердости поверхностей образцов представлены в таблице 3. В таблицах 4 и 5 представлены матрицы планирования эксперимента для сталей стали 30ХГСА и стали 45.

Таблица 3

Результаты эксперимента

i	y _i , HRC			
	30ХГСА		Ст. 45	
1	51	50	49	53
2	44	48	50	49
3	45	49	53	50
4	48	49	51	52
5	46	50	44	50
6	46	51	54	52
7	50	44	50	49
8	45	48	48	52
9	47	46	50	50

Таблица 4

Матрица планирования и результаты расчетов средних арифметических и дисперсий для стали 30ХГСА

i	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$\bar{y}_i$	s_i^2
1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	50.5	0,0015
2	-1	-1	-1	+1	+1	+1	46	0,0218
3	+1	-1	-1	-1	-1	+1	47	0,001
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	48.5	0,00169
5	-1	+1	+1	-1	-1	+1	48	0,0194
6	-1	-1	+1	+1	-1	-1	48.5	0,00168
7	+1	-1	+1	-1	+1	-1	47	0,0162
8	+1	-1	+1	-1	-1	+1	46.5	0,00138
9	+1	+1	+1	+1	+1	+1	46.5	0,0208

Таблица 5

Матрица планирования и результаты расчетов средних арифметических и дисперсий для образцов из стали 45

i	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$\bar{y}_i$	s_i^2
1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	51	0,00227
2	-1	-1	-1	+1	+1	+1	49,5	0,0238
3	+1	-1	-1	-1	-1	+1	51,5	0,00153
4	+1	+1	-1	+1	-1	-1	51,5	0,001481
5	-1	+1	+1	-1	-1	+1	47	0,01672
6	-1	-1	+1	+1	-1	-1	53	0,003483
7	+1	-1	+1	-1	+1	-1	49,5	0,0224
8	+1	-1	+1	-1	-1	+1	50	0,01943
9	+1	+1	+1	+1	+1	+1	50	0,01948

Далее проводился расчёт коэффициентов регрессии b_0, b_k, c применением зависимости:

$$b_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_k \bar{y}_i \quad (2)$$

Обработав результаты экспериментов на ЭВМ можно сделать вывод, что коэффициенты b_k регрессии значимы, если $b_k > |\Delta b_k|$. При $\alpha = 0,01$ и $|\Delta b_k| = 4,536$ (для стали 30ХГСА), $|\Delta b_k| = 4,683$ (для стали 45), регрессионные уравнения для стали 30ХГСА и стали 45 примут вид зависимостей 3 и 4:

$$y = 47,6 + 4,7x_1 + 4,9x_3 \quad (3)$$

$$y = 50,3 + 5,78x_1 + 5,1x_3 + 6,1x_1x_2 \quad (4)$$

Выводы

Как результат, после обработки полученных данных, на первом этапе проведения эксперимента, где использовались данные полученных микротвердостей, были предложены как базовые следующие способы комбинированной упрочняющей обработки – нормализация с последующим борированием для стали 45 и улучшение с последующим борированием для стали 30ХГСА, что в итоге позволит повысить долговечность как шипов крестовины, так и карданной передачи в целом. Тем не менее, эти данные являются предварительными, поскольку далее необходимо провести вторую сессию триботехнических испытаний, что позволит провести коррекцию полученных уравнений, исходя из полученных данных, что будет отражено в дальнейших исследованиях.

Список источников

1. Пегачков, А. А. Обеспечение долговечности машин по результатам анализа технического состояния : Учебное пособие / А. А. Пегачков, В. А. Зорин. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2023. – 120 с. – EDN MIMNHU.
2. Zorin, V. A. Assessment of products risks of mechanical engineering by results of diagnosing / V. A. Zorin, N. I. Baurova, A. A. Pegachkov // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2019. – Vol. 7, No. 1. – P. 287-293. – DOI 10.21533/pen.v7i1.391. – EDN QJQBGB.
3. Лахтин, Ю. М. Материаловедение / Ю. М. Лахтин, В. П. Леонтьев. – 5-е издание. – Москва: издательский дом Альянс, 2009. – 527 с.
4. Повышение работоспособности специальных деталей из доэвтектонидных сталей диффузионным борированием. Вопросы технологии; структура, фазовый состав сталей после борирования / В. Н. Гадалов, А. Е. Гвоздев, Н. Е. Стариков [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 11-2. – С. 124-140. – EDN YSJXU.

5. Филонников, А. Л. Борирование как способ упрочнения рабочих поверхностей технологической оснастки / А. Л. Филонников, С. В. Ринчинова // Символ науки: международный научный журнал. – 2019. – № 1. – С. 33-35. – EDN YWSDUD.
6. Toxicological evaluation of the waste of carbonitration process at the machine building enterprise / V. F. Kuksanov, O. V. Chekmareva, A. A. Moiseeva, S. V. Shabanova // Journal of Physics: Conference Series : International Conference "High-Tech and Innovations in Research and Manufacturing," HIRM 2019, Krasnoyarsk, 06 мая 2019 года. Vol. 1353. – Krasnoyarsk: Institute of Physics Publishing, 2019. – P. 012134. – DOI 10.1088/1742-6596/1353/1/012134. – EDN QIXUSA.
7. Степень сопротивления пластической деформации - критерий выбора режимов азотирования триботехнического назначения / Л. И. Куксенова, С. А. Герасимов, В. Г. Лаптева [и др.] // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2012. – № 7. – С. 1. – DOI 10.7463/0712.0429061. – EDN PHGRXL.
8. Моисеева, А. А. Оценка контактным методом фитотестирования токсичности отходов от технологии карбонитрации деталей с последующим оксидированием / А. А. Моисеева, В. Ф. Куксанов, О. В. Чекмарева // Экономика строительства и природопользования. – 2020. – № 2(75). – С. 116-124. – DOI 10.37279/2519-4453-2020-2-116-124. – EDN DUFZKA.
9. Патент № 2614292 С1 Российская Федерация, МПК С23С 28/04, С23С 8/26, С23С 8/34. Способ циклического газового азотирования деталей из конструкционных легированных сталей : № 2015155668 : заявл. 24.12.2015 : опубл. 24.03.2017 / В. А. Александров, Л. Г. Петрова, А. А. Брежнев, П. Е. Демин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)". – EDN ZYLUQO.
10. Гилязов, И. Н. О возможности использования электролитно-плазменного борирования деталей / И. Н. Гилязов, В. И. Астащенко, Д. В. Емельянов // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2017 (МНТК "ИМТОМ-2017") : Материалы VIII Международной научно-технической конференции, Казань, 06–08 декабря 2017 года. Том Часть 2. – Казань: Акционерное общество "Казанский научно-исследовательский институт авиационных технологий", 2017. – С. 305-308. – EDN TKDGYF.
11. Давидян, Л. В. К вопросу о температурном режиме борирования при микродуговом нагреве / Л. В. Давидян, Л. А. Захарова, К. Ю. Шакитько // Техника и технологии машиностроения : материалы V Международной студенческой научно-практической конференции, Омск, 04–10 апреля 2016 года / Омский государственный технический университет. – Омск: Омский государственный технический университет, 2016. – С. 105-106. – EDN WXNUMJ.

12. Шарая, О. А. Упрочнение автомобильных деталей карбонитрацией / О. А. Шарая, Д. В. Сподин // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке : Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию кафедры технической механики конструирования машин, Майский, 24 января 2018 года / Редакционная коллегия: С.В. Стребков (председатель), А.Г. Пастухов (заместитель председателя), А.П. Слободюк, Д.Н. Бахарев, Н.В. Водолазская, А.С. Колесников, И.Ш. Бережная, О.А. Шарая, А.Г. Минасян, Компьютерная верстка: Д. Н. Бахарев, Н. В. Водолазская, А. С. Колесников. – Майский: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2018. – С. 420-426. – EDN YPGVLN.
13. ГОСТ 26614-85. Электронные издания. Метод определения триботехнических свойств. Введен с 01.01.87. – Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу.

References

1. Pegachkov A.A., Zorin V. A. *Obespecheniye dolgovechnosti mashin po rezul'tatam analiza tekhnicheskogo sostoyaniya* (Ensuring the durability of machines based on the results of technical condition analysis), Moscow, MADI, 2023, 120 p.
2. Zorin V.A., Baurova N.I., Pegachkov A.A. *Periodicals of Engineering and Natural Sciences*, 2019, vol. 7, no. 1, pp. 287-293.
3. Lakhtin YU. M., Leont'yev V.P. *Materialovedeniye* (Materials science), Moscow, Al'yans, 2009, 527 p.
4. Gadlov V.N., Gvozdev A.Ye., Starikov N.Ye., etc, *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki*, 2017, no. 11-2, pp. 124-140.
5. Filonnikov A.L., Rinchinova S.V. *Simvol nauki: mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal*, 2019, no. 1, pp. 33-35.
6. Kuksanov V.F., Chekmareva O.V., Moiseeva A.A., Shabanova S.V. *Journal of Physics: Conference Series: International Conference "High-Tech and Innovations in Research and Manufacturing," HIRM 2019*, Krasnoyarsk, Institute of Physics Publishing, 2019, vol. 1353, p. 012134.
7. Kuksenova L.I., Gerasimov S.A., Lapteva V.G., etc, *Nauka i obrazovaniye: nauchnoye izdaniye MGTU im. N.E. Baumana*, 2012, no. 7, pp. 1.
8. Moiseyeva A.A., Kuksanov V.F., Chekmareva O.V. *Ekonomika stroitel'stva i prirodopol'zovaniya*, 2020, no. 2(75), pp. 116-124.
9. Aleksandrov V.A., Petrova L.G., Brezhnev A.A., Demin P.Ye. Patent RU 2614292 C1, 24.03.2017.
10. Gilazov I.N., Astashchenko V.I., Yemel'yanov D.V. *Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*, Kazan', Aktsionernoye obshchestvo "Kazanskiy nauchno-issledovatel'skiy institut aviatsionnykh tekhnologiy", 2017, pp. 305-308.

11. Davidyan L.V., Zakharova L.A., Shakit'ko K.YU. *Tekhnika i tekhnologii mashinostroyeniya*, materialy V Mezhdunarodnoy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Omsk, Omskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet, 2016, pp. 105-106.
12. Sharaya O.A., Spodin D.V. *Aktual'nyye problemy agroinzhenerii v XXI veke*, Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, Mayskiy, Belgorodskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni V.YA. Gorina, 2018, pp. 420-426.
13. Elektronnyye izdaniya. Metod opredeleniya tribotekhnicheskikh svoystv, GOST 26614-85 (Electronic publications. Method for determining tribological properties, State Standart 26614-85).

Рецензент: Н.И. Баурова, д-р техн. наук, проф., МАДИ

Информация об авторах

Постнова Екатерина Алексеевна, магистрант, МАДИ.

Пегачков Алексей Александрович, канд. техн. наук, доц., МАДИ.

Information about the authors

Postnova Ekaterina A., undergraduate, MADI.

Pegachkov Aleksey A., Candidate of Sciences (Technical), associate professor, MADI.

Статья поступила в редакцию 26.02.2024; одобрена после рецензирования 28.02.2024; принята к публикации 12.03.2024.

The article was submitted 26.02.2024; approved after reviewing 28.02.2024; accepted for publication 12.03.2024.