

опубл. 20.12.2018, Бюл. № 35. – Текст: непосредственный.

6. Стрикунов, Н. И. Обоснование основных параметров пневмо-центробежно-вихревого сепаратора / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 7 (188). – С. 115-121.

7. Стрикунов, Н. И. Параметры кольцевого пневмосепарирующего канала центробежно-воздушного сепаратора / Н. И. Стрикунов, С. В. Леканов, А. А. Хижников. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2021. – № 6 (200). – С. 117-121.

References

1. Lekanov S.V. Tekhnika i tekhnologii dlia posleuborochnoi obrabotki zerna i semian: rekomendatsii / S.V. Lekanov, N.I. Strikunov. – Barnaul: Izd-vo Alt. IPK APK, 2019. – 74 s.

2. Marks N. Maszyny do czyszczenia i sortowania plodow rolnych. Uniwersytet Rolniczy im. H. Kollataja w Krakowie. Krakow, 2012.

3. Kotov B. I. Tekhnologichni aspekti separatsii zerna u vertikalnomu kanali / B.I. Kotov, S.P. Ste-

panenko // Zagalnoderzhavnii mizhvidomchii naukovotekhnichnii zbirnik. Konstruiuvannia, virobnitstvo ta ekspluatatsiia silskogospodarskikh mashin, vip. 46. – Kirovograd: KNTU, 2016. – S. 154-159.

4. Strikunov, N.I. Klassifikatsiia aspiratsionnykh sistem tsentrobezhno-reshetnykh separatorov s vertikalnoi osiu vrashcheniia / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov // Molodoi uchenyi. – 2016. – No. 26. – S. 90-93.

5. Patent Rossii No. 2675607 S1 MPK B07B 7/083 (2006.01). Tsentrobezhno-vozdushnyi separator / Lekanov S.V., Strikunov N.I., Cherkashin S.A. 2017146182; zaiavl. 26.12.2017; opubl. 20.12.2018, Biul. No. 35.

6. Strikunov, N.I. Obosnovanie osnovnykh parametrov pnevmo-tsentrobezhno-vikhrevogo separatora / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – No. 7 (188). – S. 115-121.

7. Strikunov N.I. Parametry koltseвого пневмосепарирующего канала tsentrobezhno-vozdushnogo separatora / N.I. Strikunov, S.V. Lekanov, A.A. Khizhnikov // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2021. – No. 6 (200). – S. 117-121.



УДК 004.942: 621.311

DOI: 10.53083/1996-4277-2021-206-12-111-116

В.В. Ковалёв
V.V. Kovalev

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК С ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ ВИБРООПОРАМИ

STUDY OF VIBRATION ISOLATION SYSTEM OF AGRICULTURAL POWER UNITS WITH HYDRAULIC VIBRATION MOUNTS

Ключевые слова: силовые установки, механизация технологических процессов, системы виброизоляции, гидравлические виброопоры, динамика механических систем, математическое моделирование, численные методы.

Совершенствование систем виброизоляции оборудования, машин и агрегатов в настоящее время остаётся достаточно актуальной задачей. Пути решения данной проблемы базируются на оптимизации существующих конструкций, разработке и применении новых виброизолирующих элементов, совершенствовании методов расчета. В частности, для обеспечения надежного функционирования сельскохозяйственных машин, агрегатов, отдельных рабочих органов и других

средств механизации технологических процессов в сельскохозяйственном производстве одним из перспективных направлений исследований является применение в системах подвески агрегатов гидравлических виброопор. Такой вид опор применяется для крепления двигателей и кабин современной сельскохозяйственной техники, а также в силовых энергетических установках (дизель-генераторах). В данной статье рассмотрено моделирование динамического поведения силовой установки, в качестве крепления которой к неподвижному основанию используются гидроопоры. Для учета динамической жесткости виброизоляторов предлагается использование аппроксимирующих функций, моделирующих реальные жесткостные характеристики. Приводится сравнительный анализ дизель-

генераторной установки на гидроопорах с аналогичной конструкцией, использующей в качестве виброизоляционных элементов резинометаллические опоры.

Keywords: *power units, vibration isolation system, hydraulic vibration mounts, dynamic of mechanical systems, mathematical modeling, numerical methods.*

At the present, the improvement of vibration isolation systems for equipment, machines and units remains an urgent task. The ways to solve this problem are based on the optimization of existing structures, the development and application of new vibration-insulating elements as well as the improvement of design methods. In particular, to

ensure the reliable functioning of agricultural machines, units, working elements and other mechanization means for the technological processes of agricultural production one of the perspective areas is the use of hydraulic vibration mounts in suspension systems for units. This type of mounts is used to mount engines, cabins of agricultural vehicles, and power units. This paper discusses the simulation of the dynamic behavior of a power unit attached to a fixed base by the hydraulic mounts. It is proposed to use approximating functions modelling real stiffness characteristics of the mounts. A comparative analysis with a similar design using rubber-metal mounts as vibration-insulating elements is presented.

Ковалёв Виталий Витальевич, к.т.н., доцент, Барнаулский юридический институт МВД России, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: 89095020200@yandex.ru.

Kovalev Vitaliy Vitalevich, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Barnaul Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Barnaul, Russian Federation, e-mail: 89095020200@yandex.ru.

Введение

Одним из самых распространённых путей виброзащиты в целях обеспечения надёжности, долговечности работы современной сельскохозяйственной техники и улучшения условий труда в агропромышленном комплексе является применение упругих амортизаторов. Данный способ достаточно экономичен и в определенных условиях является достаточным. В настоящее время имеется большое число разновидностей виброзащитных устройств, которые монтируются на неподвижных, а также перемещающихся основаниях. Наибольшее распространение получили резинометаллические амортизационные опоры. Как отмечают многие авторы, в течение достаточно продолжительного периода конструкции отечественных виброизоляторов непрерывно претерпевали модернизацию [1]. Однако в конечном итоге применение эластичных резиноподобных опор практически исчерпало свои возможности. Опыт их использования в системах виброизоляции был обоснован простотой конструкции. Тем не менее их применение ограничивается узким спектром частот внешнего возмущения. В целях повышения надёжности, долговечности использования сельскохозяйственной техники и улучшения условий труда альтернативой такой конструкции опор могут быть гидравлические виброопоры, обеспечивающие эффективную виброизоляцию агрегатов в широком диапазоне возмущающих частот.

В данной работе рассматривается использование в качестве демпфирующих элементов крепления силовых установок гидравлических

виброопор. В настоящее время в сельском хозяйстве большее распространение получила мощная сельскохозяйственная техника, в которой применяется данный тип элементов виброзащиты. Чаще всего такая виброзащита используется для крепления двигателей и кабин сельскохозяйственной техники, а также для крепления навесных агрегатов, компрессоров, насосов и дизель-генераторных установок в сельскохозяйственном производстве. Работы многих авторов, посвященных изучению гидравлических опор, подтверждают актуальность и перспективность данного направления [1-3]. Конструкционные особенности гидравлических виброопор определяют их упругие и демпфирующие параметры. Одним из специфических свойств такого рода элементов является нелинейность их упругих и демпфирующих характеристик, которые зависят от частоты и амплитуды внешнего воздействия. Это необходимо учитывать при расчете и проектировании систем виброизоляции, так как нелинейные свойства вносят влияние на динамическое поведение механической системы.

Цель работы – оценка влияния характеристик гидравлических виброопор крепления силовых установок на их динамическое поведение.

Задачи исследований:

1) математическое моделирование динамического поведения силовой установки на гидравлических виброопорах с учетом нелинейности их характеристик;

2) исследование влияния параметров гидравлических виброопор на динамическое поведение силовой установки.

Основная часть

Основные принципы моделирования динамического поведения силовой установки на упругих опорах были ранее рассмотрены автором при исследовании динамического поведения стационарной дизель-генераторной установки (ДГУ) ДГ-100-Т/400А [4, 5]. При этом исходная силовая установка на опорах заменяется пространственной одномассовой механической системой с вязкоупругими связями, характеризующимися коэффициентами жесткости и демпфирования (рис. 2), а «текущее положение тела в пространственной системе координат $OXYZ$ определяется координатами точки, совпадающей с центром масс (x , y и z), и углами поворота относительно осей X , Y и Z (φ_{xi} , φ_{yi} и φ_{zi} соответственно). Размещение опор задается координатами в локальной системе относительно центра масс – X_a , Y_a и Z_a » [4].

Принимается допущение, что внешнее воздействие формируется в результате неуравновешенности подвижных частей силовой установки, является гармоническим и зависит от частоты вращения коленчатого вала двигателя. В расчет принимается установившийся режим работы. На основе предложенного алгоритма разработан программный комплекс для расчета амплитудно-частотных характеристик ДГУ при различных условиях.

В работе [4] автором предполагалось, что коэффициенты жесткости и демпфирования являются постоянными величинами. Большинство гидроопор имеют в осевом направлении меньшую жесткость, чем в радиальном, поэтому, как правило, они предназначены для нагрузок в осевом направлении и именно в этом случае имеет место нелинейность характеристик. В настоящей работе в качестве примера автором рассматривается использование в качестве элемента виброизоляции гидропоры серии VL 03618704, вид динамических жесткостных параметров в осевом направлении которой представлен на рисунке 2 [6].

Чтобы учесть в разработанной математической модели жесткостные характеристики предлагается использовать не постоянные значения коэффициентов жесткости, справедливые для статических расчетов, а вычислять в зависимости от актуального значения частоты внешнего воздействия по аппроксимационным формулам. Наименьшую погрешность дает выражение вида $K=K_0(a+b \cdot \ln(\nu+c))$, где K_0 – начальное (справочное) значение коэффициента жесткости; ν – частота внешнего гармонического воздействия; a , b и c – коэффициенты аппроксимирующей функции, вычисленные по методу наименьших квадратов [7] (табл. 1).

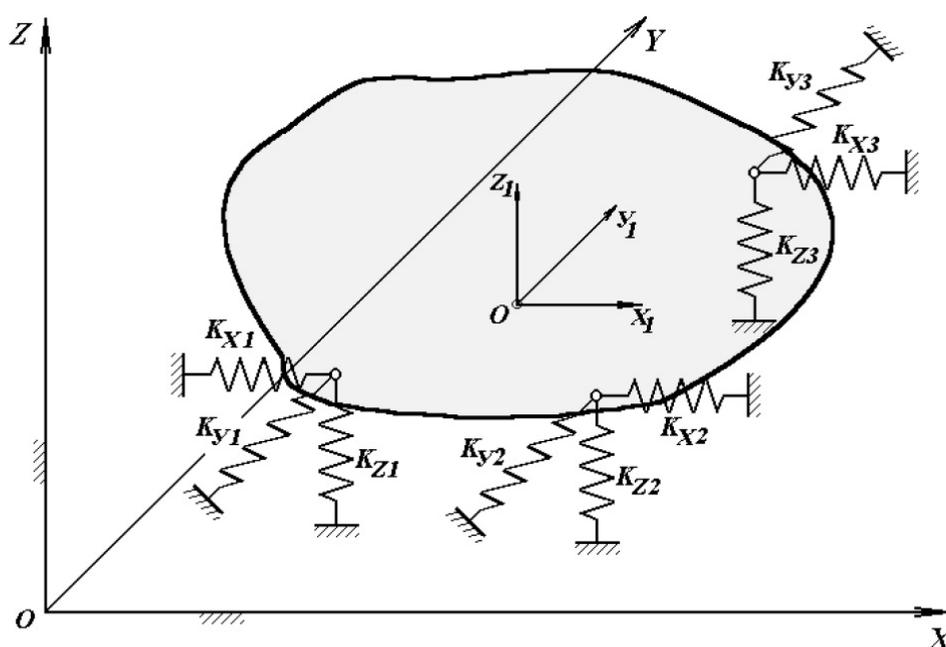


Рис. 1. Расчетная модель

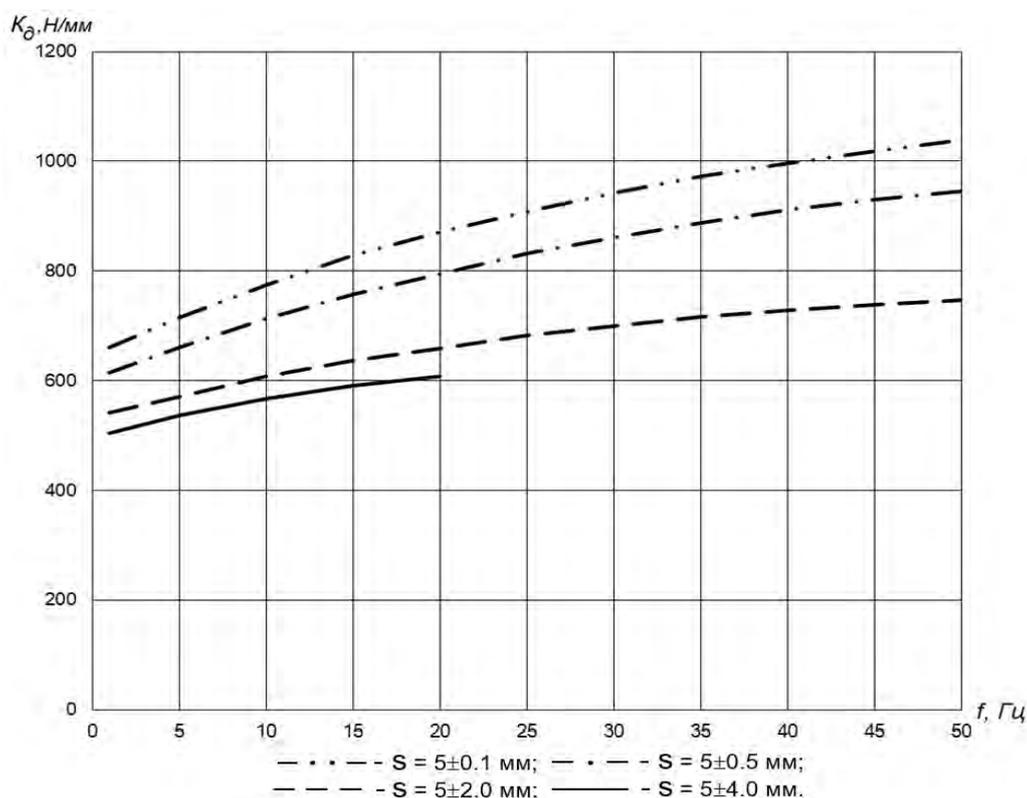


Рис. 2. Динамическая жесткость гидравлической виброопоры

Таблица 1
Коэффициенты аппроксимации графиков динамической жесткости гидроопоры VL в осевом направлении

s, мм	a	b	c
5±0,1	-0,2780	0,4416	17,0653
5±0,5	-0,1621	0,4075	15,9493
5±2,0	0,3305	0,2553	12,4505
5±4,0	0,4252	0,2236	11,9234

В соответствии с вышеизложенным в разработанный ранее программный комплекс были внесены изменения. С применением адаптированного под динамические характеристики гидроопор программного комплекса было проведено теоретическое исследование динамического поведения ДГУ. Исходные данные для расчета приведены в таблице 2.

С использованием программного комплекса [2] была проведена серия расчетов, в результате которых построены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) в диапазоне частот внешнего воздействия $\nu = 1-50 \text{ с}^{-1}$, что соответствует частоте вращения коленчатого вала двигателя 60-3000 об/мин. Результаты расчетов приведены на рисунке 3. Для сравнения также приводятся амплитудно-частотные характеристики ДГУ, имеющей в качестве опор резинометалли-

ческие корабельные амортизаторы с аналогичной номинальной нагрузкой на единичную опору [5].

Выводы

1. Предложенная методика позволяет рассматривать динамическую жесткость гидравлических виброопор как функцию частоты внешнего воздействия при исследовании динамики силовых установок.

2. С учетом предложенной методики внесены изменения в ранее разработанный программный комплекс, а также проведена серия расчетов.

3. На основании результатов расчета проведен сравнительный анализ динамики силовой установки исходной конструкции с резинометаллическими опорами и конструкции с гидравлическими виброизоляторами.

4. При аналогичных характеристиках номинальной вертикальной нагрузки на единичный элемент виброизоляции гидравлические виброопоры обладают лучшими характеристиками за счет большей вертикальной податливости при той же несущей способности и динамическом изменении коэффициента жесткости в зависимости от частоты внешнего воздействия. Благодаря этому возможно смещение зоны резонанса из рабочего диапазона оборотов двигателя силовой установки, что повышает надежность ра-

боты агрегатов, узлов и деталей сельскохозяйственной техники. Кроме того, это обеспечивает улучшение условий труда и технического серви-

са в агропромышленном комплексе за счет снижения вредных воздействий.

Таблица 2

Параметры силовой установки

№	Коэффициенты жесткости, кН/м		Коэффициенты демпфирования, кН·с/м			Координаты крепления, мм			
	K_x	K_y	K_z	C_x	C_y	C_z	X_a	Y_a	Z_a
1	580	580	380	3,9	3,9	3,1	-1350	-370	-700
2	580	580	380	3,9	3,9	3,1	-1350	370	-700
3	580	580	380	3,9	3,9	3,1	-650	-370	-700
4	580	580	380	3,9	3,9	3,1	-650	370	-700
5	580	580	380	3,9	3,9	3,1	0	-370	-700
6	580	580	380	3,9	3,9	3,1	0	370	-700
7	580	580	380	3,9	3,9	3,1	850	-370	-700
8	580	580	380	3,9	3,9	3,1	850	370	-700

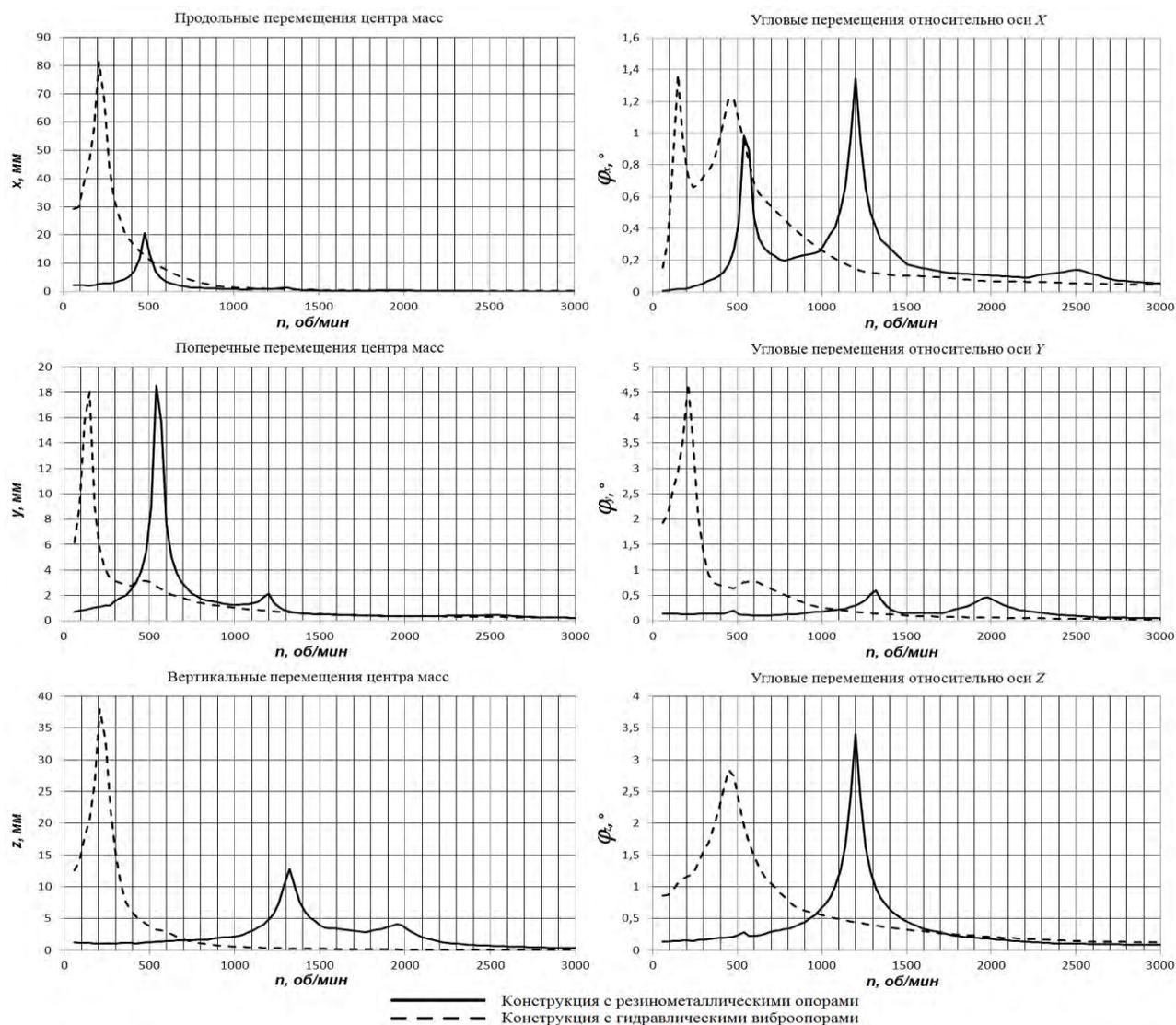


Рис. 3. АЧХ конструкций виброизоляции с резинометаллическими опорами и гидроопорами

Библиографический список

1. Гордеев, Б. А. Математические модели виброзащитных систем: монография / Б. А. Гордеев, Л. В. Филатов, Р. М. Айнбиндер; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород: ННГАСУ, 2018. – 168 с. – ISBN 978-5-528-00324-5. – Текст: непосредственный.

2. Royston, T., Singh, R. Study of Nonlinear Hydraulic Engine Mounts Focusing on Decoupler Modeling and Design. *SAE Technical Paper 971936*, 1997. DOI: <https://doi.org/10.4271/971936>.

3. Пронина, Ю. О. Совершенствование системы виброзащиты оператора промышленного трактора при проектировании на основе моделирования процесса низкочастотного воздействия со стороны гусеничного движителя: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.05.03 / Пронина Юлия Олеговна. – Челябинск, 2018. – 139 с. – Текст: непосредственный.

4. Вербилов, А. Ф. Оптимизация параметров подвески стационарных силовых установок / А. Ф. Вербилов, В. В. Ковалёв, А. Л. Новоселов. – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2006. – № 4. – С. 205-208.

5. Ковалёв, В. В. Влияние параметров амортизирующего крепления силовых установок на их динамическое поведение / В. В. Ковалёв. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2020. – № 11(193). – С. 131-136.

6. Simrit Technical Manual 2007: Vibration Control // <http://www.powerparts.it>: Информационно-справочный портал «Divisione automotive Tecnica Industriale». – URL: http://www.powerparts.it/simrit_pdf/vibration_control.pdf (дата обращения: 30.09.2021). – Текст: электронный.

7. Тынкевич, М. А. Введение в численный анализ: учебное пособие / М. А. Тынкевич,

А. Г. Пимонов; КузГТУ. – Кемерово, 2017. – 176 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Gordeev B. A. Matematicheskie modeli vibrozashchitnykh sistem: monografiia / B. A. Gordeev, L. V. Filatov, R. M. Ainbinder; Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – N. Novgorod: NNGASU, 2018. – 168 s.

2. Royston, T., Singh, R. Study of Nonlinear Hydraulic Engine Mounts Focusing on Decoupler Modeling and Design. *SAE Technical Paper 971936*, 1997. DOI: <https://doi.org/10.4271/971936>.

3. Pronina, Ju.O. Sovershenstvovanie sistemy vibrozashchity operatora promyshlennogo traktora pri proektirovanii na osnove modelirovaniia protsessa nizkochastotnogo vozdeistviia so storony gusenichnogo dvizhitelia.: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.05.03: – Cheliabinsk, 2018. – 139 s.

4. Verbilov A.F. Optimizatsiia parametrov podveski stacionarnykh silovykh ustanovok / A.F. Verbilov, V.V. Kovalev, A.L. Novoselov // *Polzunovskii vestnik*. – 2006. – No. 4. – S. 205-208.

5. Kovalev V.V. Vliianie parametrov amortiziruiushchego krepneniia silovykh ustanovok na ikh dinamicheskoe povedenie // *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2020. – No. 11 (193). – S. 131-136.

6. Simrit Technical Manual 2007: Vibration Control [Elektronnyi resurs] // <http://www.powerparts.it>: Informatsionno-spravochnyi portal «Divisione automotive Tecnica Industriale». URL: http://www.powerparts.it/simrit_pdf/vibration_control.pdf (Data obrashcheniia 30.09.2021).

7. Tynkevich, M. A. Vvedenie v chislennyi analiz: ucheb. posobie / M. A. Tynkevich, A. G. Pimonov; KuzGTU. – Kemerovo, 2017. – 176 s.

