

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

УДК 621.43.036.9:636.085.55

В.И. Бровко, А.А. Шнайдер, В.В. Садов
V.I. Brovko, A.A. Schneider, V.V. Sadov

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВУХМАССНОГО ВИБРАЦИОННОГО СМЕСИТЕЛЯ

DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A TWO-MASS VIBRATION MIXER

Ключевые слова: *вибрация, антирезонанс, резонанс, двухмассная система, вибрационный смеситель, амплитуда колебаний, частота колебаний.*

Современные вибрационные машины имеют низкие эксплуатационные затраты, высокую эффективность и простоту конструкции. Однако значительный недостаток – передача вибрации на фундамент, не позволяет их широко использовать. Решением проблемы видится в применении двухмассной системы, передающей колебательные движения только на рабочий орган машины. Несмотря на особенность схемы двухмассной системы принцип работы смесителя не изменяется. Основываясь на предыдущие разработки, был проведен теоретический эксперимент по определению динамических характеристик двухмассной машины. Используя компьютерный метод решения обыкновенного дифференциального уравнения в программе PTC Mathcad Prime 4.0, сопоставив технические характеристики установки, был рассчитан принцип её поведения. Основными факторами, влияющими на работу динамической системы, были взяты промежуточная масса, масса рабочего органа и частота электрического тока. По итогу расчёта получили, что после запуска колебания промежуточной рамы затухают, и она переходит в режим антирезонанса. Во время работы установки промежуточная рама передает свои колебания ёмкости для смешивания, вследствие чего происходит смешивание компонентов. Результаты численного

эксперимента показали, что ситуация может развиваться по разным сценариям: неустановившийся режим, биение и установившийся режим с различной амплитудой. Абсолютный антирезонанс на промежуточной массе получить не удастся, из-за возбуждения воздуха поверхностью и других факторов. Несмотря на усложнение конструкции двухмассного смесителя, по сравнению с одномассной системой, такая схема позволяет добиться снижения вибрации на фундамент. Это качественно отразится на работоспособности обслуживающего персонала, элементах конструкции и окружающем оборудовании.

Keywords: *vibration, antiresonance, resonance, two-mass system, vibration mixer, vibration amplitude, vibration frequency.*

Modern vibration machines have low operating costs, high efficiency and simple design. However, a significant drawback - the transmission of vibration to the foundation, does not allow them to be widely used. The solution of the problem is the use of a two-mass system that transmits oscillatory movements only to the working body of the machine. Despite the peculiarity of the scheme of the two-mass system, the principle of operation of the mixer does not change. Based on previous developments, a theoretical experiment was conducted to determine the dynamic characteristics of a two-mass machine. Using a computer method for solving an ordinary differential equation in the PTC Mathcad Prime 4.0

software, comparing the technical characteristics of the installation, the principle of its behavior was calculated. The main factors affecting the operation of the dynamic system were the intermediate mass, the mass of the working body and the frequency of the electric current. As a result of the calculation, it has been found that after starting, the vibrations of the intermediate frame fade, and it goes into antiresonance mode. During the operation of the unit, the intermediate frame transmits its vibrations to the mixing tank, resulting in mixing of the components. The results of the numerical experiment

showed that the situation may develop according to different scenarios: unsteady mode, beating and steady mode with different amplitudes. Absolute antiresonance on the intermediate mass cannot be obtained due to the excitation of air by the surface and other factors. Despite the complexity of the design of a two-mass mixer, in comparison with a single-mass system, this scheme allows reducing the vibration on the foundation. This will have a qualitative impact on the performance of the service personnel, structural elements and surrounding equipment.

Бровко Валерий Иванович, магистрант, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: Odnoklacnik.valera@mail.ru.

Шнайдер Алексей Александрович, магистрант, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: aasch95@bk.ru.

Садов Виктор Викторович, д.т.н., зав. каф. механизации производства и переработки сельскохозяйственной продукции, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 203-272. E-mail: sadov.80@mail.ru.

Brovko Valeriy Ivanovich, master's degree student, Altai State Agricultural University. E-mail: Odnoklacnik.valera@mail.ru.

Schneider Aleksey Aleksandrovich, master's degree student, Altai State Agricultural University. E-mail: aasch95@bk.ru.

Sadov Viktor Viktorovich, Dr. Tech. Sci., Head, Chair of Agricultural Production and Processing Mechanization, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 203-272. E-mail: sadov.80@mail.ru.

Введение

При создании и эксплуатации любой машин с вращающимися рабочими органами необходимо иметь достаточную балансировку для избежания вибрации, так как это является источником повышенной опасности как для самой машины, строительных конструкций, так и для человека. Вибрация уменьшает ресурс деталей за счет быстрого их износа, что приводит к поломкам и авариям, а также значительно увеличиваются эксплуатационные показатели.

Несмотря на негативное воздействие вибрации данные машины используются в различных отраслях народного хозяйства, в строительстве, быту, транспорте и т.д.

Вибрационные машины довольно широко распространены в технологических процессах агропромышленного комплекса. Они позволяют приобрести материалу необходимые свойства при отсутствии каких-либо рабочих органов или их минимального исполнения.

Одним из основателей теории вибрационных машин для агропромышленного комплекса И.Я. Федоренко и его учениками были описаны теоретические основы машин. На основании этих фундаментальных теорий был создан ряд вибрационных машин, позволяющих использовать полезное действие вибрации при выполнении технологических процессах. В этом случае имеем низкие эксплуатационные затраты, высокую эффективность и простоту конструкции [1, 2].

Целью работы является определение амплитудных характеристик элементов двухмассного вибрационного смесителя.

Объекты и методы исследований

Качество смешивания компонентов, с точки зрения однородности для смесителей вибрационного действия, во многом определяется параметрами вибрации и динамического состояния слоя материала [1]. При сочетании определенных факторов возможно

достижение требуемой однородности сыпучего материала (рис 1). Объясняется это снижением сил сухого трения между слоями материала за счет вибрационных колебаний [2]. В этом случае материал приобретает большую текучесть, аналогично жидкости. Это можно характеризовать эффективной кинематической вязкостью. Один из параметров вибрации – амплитуда колебаний, генерируемая вибровозбудителем, оказывает значительное влияние на величину вязкости.

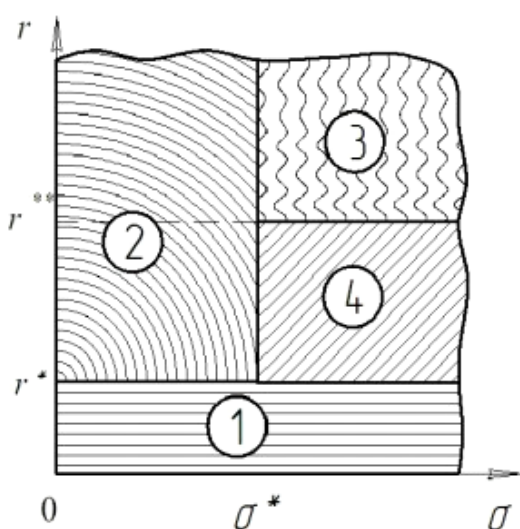


Рис. 1. Диаграмма динамических состояний слоя сыпучего материала при вибрациях (по Федоренко И.Я.)

- 1 – уплотнение и покой;
 2 – детерминированные (ламинарные) циркуляции; 3 – стохастические (турбулентные) циркуляции;
 4 – переходное состояние, комбинация 1, 2 и 3 стадий

Наибольшее распространение в агропромышленном комплексе получили вибраторы с вращающимися дебалансами определенной массы. В данных устройствах выходными параметрами является амплитуда и частота колебаний. Для некоторых технологических машин необходимо создавать

направленное поступательное колебание (горизонтальное, вертикальное, круговое и т.д.) и иметь возможность регулирования амплитуды либо частоты. [2].

Анализируя рисунок 1, можно сказать, что режим покоя и правильных циркуляционных движений не предназначен для процесса смешивания. В этом случае необходимо организовывать стохастический процесс, который возникает при втором критическом значении коэффициента перегрузки. В этой стадии частицы материала приобретают интенсивный хаос. Движение к поверхности в сыпучем материале газовых пузырей способствует его интенсивному перемешиванию [3].

Большое значение при вибрации оказывает резонанс. Он вызывает резкое возрастание амплитуды [1]. По причине неустойчивости этого режима многие вибрационные машины работают в зарезонансных режимах. Кроме того, в этом режиме достаточно трудно предотвратить распространение вибрации от рабочего органа на узлы самой машины и ограждающие конструкции.

Результаты исследования

Традиционно вибрационные машины – это одномассные системы. Однако при работе вибросмесителя, за счет действия управляемых и неуправляемых факторов, происходит изменение параметров технологической нагрузки (например, изменение массы смешиваемого материала). Это влечет за собой изменение параметров вибрации и в дальнейшем к нарушению технологического процесса. Если вибрационная машина достигает резонансного режима, то непременно произойдет распространение вибрации на фундамента, ограждающие конструкции и т.д. Это в дальнейшем приведет к их выходу из строя, что недопустимо [4].

Для устранения негативных факторов от вибрации возможно использовать двухмассную систему. В ее основу положен патент № 2150992 [6]. Установка состоит из рабочего органа – смесителя и промежуточной рамы, на котором закреплен вибровозбудитель (рис. 2) [4] Элементы соединены между собой пружинами.

Такая схема, во время режима антирезонанса, позволяет создать минимальную амплитуду на промежуточной раме. Это способствует значительному снижению при передаче вибрации на фундамент. [5].

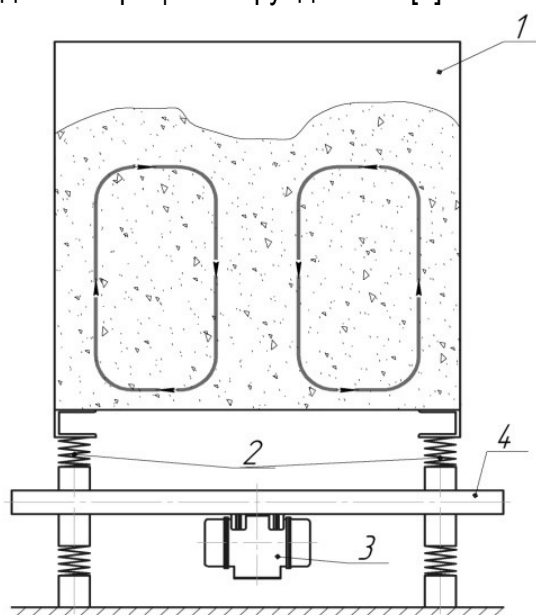


Рис. 2. Предлагаемая схема двухмассного вибрационного смесителя кормов: 1 – емкость для смешивания (масса 2), 2 – пружины, 3 – вибровозбудитель, 4 – промежуточная рама (масса 1)

При достижении режима антирезонанса промежуточная масса с вибровозбудителем остается неподвижной, а рабочий орган (в данном случае емкость смесителя) совершает колебания. Это позволяет снизить колебания на фундамент. Это происходит из-за того, что при резонансе (рис. 4) существенно увеличивается амплитуда A (т.е. стремится к бесконечности). В этом случае

можно наблюдать один из минимумов АЧХ (амплитудно-частотной характеристики) [4, 5].

Используя компьютерный метод решения обыкновенного дифференциального уравнения (ОДУ) в программе PTC Mathcad Prime 4.0, сопоставив технические характеристики установки (рис 5), был рассчитан принцип её поведения [7, 8]. При изменении массы m_1 и m_2 , а также частоты ω получим различное поведение динамической системы.

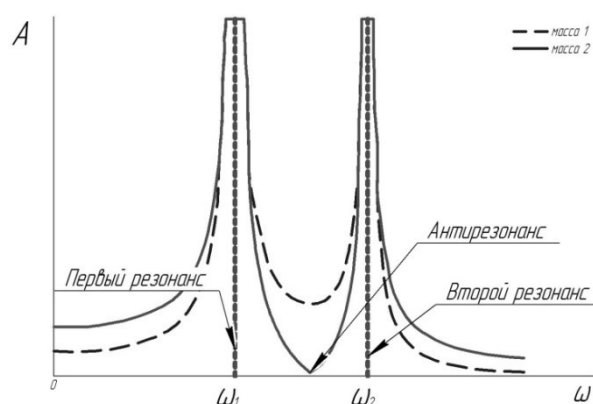


Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика двухмассной системы

По итогу расчёта получили, что после запуска колебания промежуточной рамы (масса 2) затухают, и она переходит в режим антирезонанса.

Во время работы установки, промежуточная рама (масса 2) передает свои колебания ёмкости для смешивания, вследствие чего происходит смешивание компонентов.

Из данных, представленных на рисунке 5, получаем значительную амплитуду m_1 и недостаточную m_2 (рис. 6а). При этом масса m_1 находится в неустановившемся режиме. Это наблюдается и при увеличении $\omega > 15$ Гц. При параметрах $m_1 = 5$; $m_2 = 5$; $\omega = 12$ наблюдается пульсирующая амплитуда, что называется биением (рис. 6б).

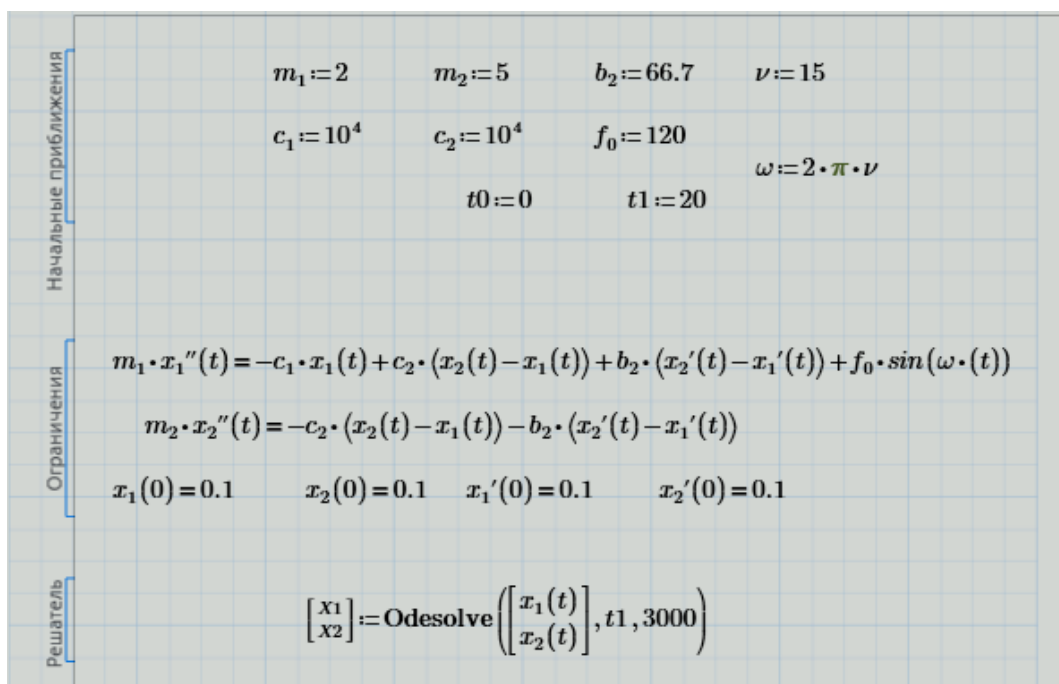


Рис. 5. Численный метод решения ОДУ

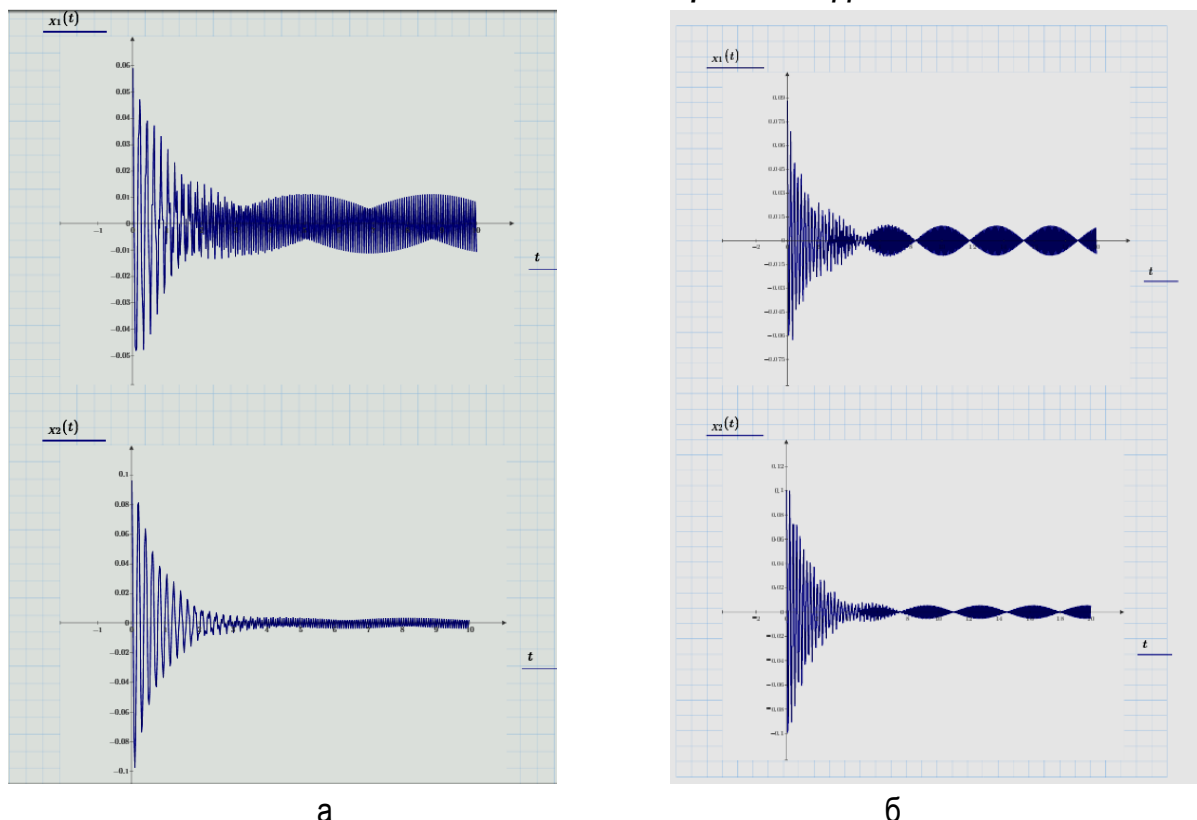


Рис. 6. Графики перехода промежуточной рамы (масса 2) в режим антирезонанса
 а) $m_1=2; m_2=5; \nu=15$; б) $m_1=5; m_2=5; \nu=12$

Аналогичный режиму (рис. 6а) будет установившийся режим (рис. 7а). Однако амплитуда m_2 является недостаточной для процесса смешивания. Необходимо добиваться снижения амплитуды m_1 для достижения режима антирезонанса и увеличения

амплитуды m_2 для повышения эффективности смешивания (рис. 7б). Абсолютный антирезонанс получить невозможно из-за возбуждения воздуха поверхностью m_1 и других факторов.

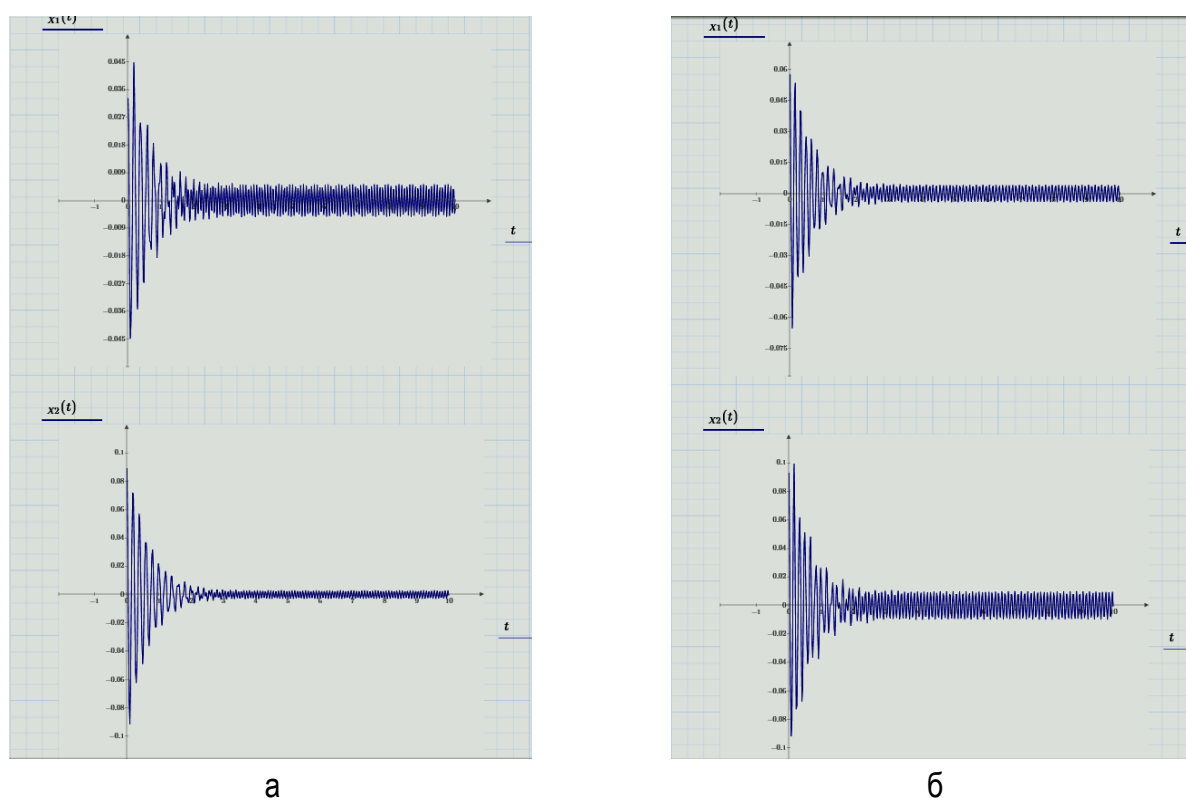


Рис. 7. Графики перехода промежуточной рамы (масса 2) в режим антрирезонанса:
а) $m_1=0,5$; $m_2=5$; $u=12$; б) $m_1=2$; $m_2=3$; $u=10$

Несмотря на особенность схемы двух-массной системы принцип работы смесителя остается прежним. После загрузки исходных ингредиентов в камеру смешивания включается вибропривод и колебательные движения через пружины передаются обрабатываемому материалу. Процесс смешивания зависит от параметров вибраций и имеет различные динамические состояния. Такая схема препятствует распространению вибрации через пружины на фундамент. После завершения процесса смешивания, готовая смесь выгружается из смесителя.

Выводы

Незначительное усложнение конструкции двухмассного смесителя, по сравнению с одномассной системой, позволяет добиться существенного снижения вибрации на фундамент. Наилучшего состояния системы, а именно антрирезонанса достичь практически невозможно, однако, как показал численный

эксперимент, приблизиться к нему все же можно. Это качественно отразится на работоспособности обслуживающего персонала, элементах конструкции и окружающем оборудовании.

Библиографический список

1. Федоренко, И. Я. Вибрационная техника с.-х. и перерабатывающих предприятий: учебное пособие / И. Я. Федоренко, П. И. Леонтьев, В. И. Лобанов. – Барнаул, 1995. – Ч. 1. – 98 с. – Текст: непосредственный.
2. Федоренко, И. Я. Вибрационные процессы и устройства в АПК: монография / И. Я. Федоренко. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2016. – 289 с. – Текст: непосредственный.
3. Сорокин, С. А. Влияние амплитудно-частотных характеристик вибрационного дозатора на равномерность истечения смеси / С. А. Сорокин. – Текст: непосредственный //

Сельское, лесное и водное хозяйство. – 2012. – № 5 [Электронный ресурс]. URL: <http://agro.snauka.ru>.

4. Федоренко, И. Я. Динамические свойства двухмассной вибрационной технологической машины / И. Я. Федоренко, А. А. Гнездилов. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3. – С. 179-183.

5. Бровко, В. И. Перспективы применения двухмассного вибрационного смесителя при приготовлении комбикормов / В. И. Бровко, А. А. Шнайдер, В. В. Садов. – Текст: непосредственный // Аграрная наука – сельскому хозяйству сборник материалов: в 2 кн. / XIV Международная научно-практическая конференция (7-8 февраля 2019 г.). – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2019. – Кн. 2. – С. 200-202. – Текст: непосредственный.

6. Пат. 2150992 Российская Федерация, С 1 В01 F3/18, В01 F 11/00. Вибросмеситель для кормов. – Текст: непосредственный / И. Я. Федоренко, В.И. Лобанов, А.Н. Кулинич; заявитель и патентообладатель Алтайский государственный аграрный университет - №99109844/12; заявл. 07.05.1999; опубл. 20.06.2000, Бюл. № 17.

7. Бахвалов, Н. С. Численные методы в задачах и упражнениях / Н. С. Бахвалов, А. В. Лапин, Е. В. Чижонков. – Текст: непосредственный. – Москва: Высшая школа, 2000. – 190 с.

8. Колдаев, В. Д. Численные методы и программирование / В.Д. Колдаев. – Текст: непосредственный. – Москва: ИД “Форум”, 2008. – 336 с.

References

1. Fedorenko I.Ya. Vibratsionnaya tekhnika s.-kh. i pererabatyvayushchikh predpriyatiy:

ucheb. posob. / I.Ya. Fedorenko, P.I. Leontev, V.I. Lobanov; Alt. gos. agrarn. un-t. – Barnaul, 1995. – Ch. 1.– 98 s.

2. Fedorenko, I.Ya. Vibratsionnye protsessy i ustroystva v APK: monografiya. – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2016. – 289 s.

3. Sorokin S.A. Vliyaniye amplitudno-chastotnykh kharakteristik vibratsionnogo dozatora na ravnomernost istecheniya smesi // Selskoe, lesnoe i vodnoe khozyaystvo. – 2012. – No. 5 [Elektronnyy resurs]. URL: <http://agro.snauka.ru>.

4. Fedorenko, I.Ya. Dinamicheskie svoystva dvukhmassnoy vibratsionnoy tekhnologicheskoy mashiny / I.Ya. Fedorenko, A.A. Gnezdilov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – No. 3. – S. 179-183.

5. Brovko, V.I. Perspektivy primeneniya dvukhmassnogo vibratsionnogo smesitelya pri prigotovlenii kombikormov / Brovko V.I., Shnayder A.A., Sadov V.V. // Agrarnaya nauka – selskomu khozyaystvu: sbornik materialov: v 2 kn. / XIV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (7-8 fevralya 2019 g.). – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2019. – Кн. 2. – S. 200-202.

6. Pat. 2150992 Rossiyskaya Federatsiya, S 1 В01 F3/18, В01 F 11/00. Vibrosmesitel dlya kormov / I.Ya. Fedorenko, V.I. Lobanov, A.N. Kulnich; zayavitel i patentoobladatel Altayskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet – No. 99109844/12; zayavl. 07.05.1999; opubl. 20.06.2000, Byul. No. 17.

7. Bakhvalov, N.S. Chislennye metody v zadachakh i uprazhneniyakh. / N.S. Bakhvalov, A.V. Lapin, E.V. Chizhonkov. – Moskva: Vysshaya shkola, 2000. – 190 s.

8. Koldaev, V.D. Chislennye metody i programmirovaniye. – Moskva: ID “Forum”, 2008. – 336 s.

