

УДК 631.354.2.076

05.20.01-Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

**ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ШУМА МОЛОТИЛЬНОГО БЛОКА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА**

Сиротин Павел Владимирович  
к.т.н, доцент, заведующий кафедрой  
AuthorID: 793890  
SPIN – код: 2801-3166  
[spv\\_61@mail.ru](mailto:spv_61@mail.ru)

Коханенко Виктор Николаевич  
д.т.н., профессор  
AuthorID: 354353  
SPIN – код: 7530-1047  
[kosichenkonv@mail.ru](mailto:kosichenkonv@mail.ru)

Перушкин Максим Викторович  
аспирант  
SPIN – код: 7068-7802  
ORCID ID: 0000-0002-1506-6868  
[perushkin.maksimm.99@mail.ru](mailto:perushkin.maksimm.99@mail.ru)  
*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия*

В работе представлены результаты экспериментальных замеров, спектрального анализа и аналитического исследования шума, генерируемого молотильным блоком зерноуборочного комбайна. Натурные испытания проведены на специализированном испытательном стенде, созданном для исследования виброакустических характеристик, сопровождающих рабочий процесс молотильного блока как наиболее мощного источника нагрузок. Описана конструкция специального лабораторного стенда, а также методика проведения исследований. Приведены результаты экспериментальных замеров шума при различных эксплуатационных режимах работы молотильного блока. На основе спектрометрии проведен качественный и количественный анализ шума в кабине, на площадке входа в кабину и в зоне молотильного блока. Выявлены основные источники формирования шума и вклад каждого из них в общий уровень звукового давления. Представлены результаты аналитического расчета достигаемых сверхзвуковых скоростей воздушных потоков в исследуемой зоне молотильного блока. На основе проведенного анализа обоснована необходимость разработки комплекса мер по улучшению акустического фона рассматриваемого класса машин за счет изменения формы и конфигурации молотильного блока. Сформулированы пути улучшения общего

UDC 631.354.2.076

05.20.01-Technologies and means of mechanization of agriculture (technical sciences)

**INVESTIGATION AND ANALYSIS OF THE NOISE OF THE THRESHING UNIT OF THE COMBINE HARVESTER**

Sirotin Pavel Vladimirovich  
Cand.Tech.Sci., Associate Professor, Head of the Department, AuthorID: 793890  
RSCI SPIN – code: 2801-3166  
[spv\\_61@mail.ru](mailto:spv_61@mail.ru)

Kohanenko Viktor Nikolaevich  
Dr.Sci.Tech., professor  
Author ID: 354353  
RSCI SPIN-code: 7530-1047  
[kosichenkonv@mail.ru](mailto:kosichenkonv@mail.ru)

Perushkin Maxim Viktorovich  
graduate student  
RSCI SPIN-code: 7068-7802  
ORCID ID: 0000-0002-1506-68  
[perushkin.maksimm.99@mail.ru](mailto:perushkin.maksimm.99@mail.ru)  
*Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia*

The article presents the results of experimental measurements, spectral analysis and analytical study of noise generated by the threshing unit of a grain harvester. Full-scale tests were carried out on a specialized test bench created to study the vibroacoustic characteristics accompanying the working process of the threshing block as the most powerful source of loads. The design of a special laboratory stand is described, as well as the research methodology. The results of experimental measurements of noise at various operating modes of the threshing unit are presented. On the basis of spectrometry, a qualitative and quantitative analysis of noise in the cabin, at the entrance to the cabin and in the area of the threshing unit was carried out. The main sources of noise formation and the contribution of each of them to the overall sound pressure level are identified. We presented the results of an analytical calculation of the achieved supersonic speeds of air flows in the investigated zone of the threshing block. On the basis of the analysis, the necessity of developing a set of measures to improve the acoustic background of the considered class of machines by changing the shape and configuration of the threshing unit is substantiated. The work formulates ways of improving the general acoustic background of the considered class of machines

акустического фона рассматриваемого класса машин

Ключевые слова: ШУМ, ЗЕРНОУБОРОЧНЫЙ КОМБАЙН, МОЛОТИЛЬНЫЙ БЛОК, ВОЗДУШНЫЙ ШУМ, СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ, ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ГАЗОВ

Keywords: NOISE, COMBINE HARVESTER, THRESHING UNIT, AIRBORNE NOISE, SPECTRAL ANALYSIS, GAS DYNAMICS

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-179-014>

## Введение

Эффективная организация производственной деятельности, перенятие мирового уровня технологий управлений жизненным циклом продукции, обновление производственно-технологической базы, применение передового программного обеспечения и современных вычислительных возможностей позволило отечественным машиностроителям создать образцы продукции с конкурентоспособным уровнем, прежде всего, технологических и эксплуатационных показателей [1, 2]. Однако параметры эргономики, дизайна, комфортности отечественных сельскохозяйственных машин и механизмов, как правило, отстают от мирового уровня, поскольку до недавнего времени эти параметры рассматривали как второстепенные. Однако, изменение структуры субъектов агропромышленного комплекса, процессы урбанизации и другие причины, заставляют сельхоз машиностроителей пересмотреть подходы к проектированию изделий в части повышения их комфортности и удобства эксплуатации. Повышение комфортности машин также имеет законодательную основу [3]. Одним из важнейших показателей обеспечения стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России является достижения значительного экспорта продукции предприятий данной отрасли, для обеспечения чего требуется создавать машины с принципиально лучшим уровнем условия труда операторов. Зерноуборочные комбайны (ЗУК) являются одним из энергонасыщенных в классе самоходных машин, в связи с чем вопросы виброакустической защиты их операторов являются особенно актуальными [4], а для их

<http://ej.kubagro.ru/2022/05/pdf/14.pdf>

решения требует проведения комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

В предыдущих работах авторов показано [5-7], что операторы ЗУК воспринимают значительные виброакустические нагрузки, превышающие пороговые показатели отечественных и международных стандартов. По результатам проведенных экспериментальных замеров уровней шума на серийных ЗУК с барабанным типом молотильного блока, выявлено, что основным источником воздушного шума на рабочем месте оператора является молотильный барабан. Также установлена прямая зависимость между частотой действующего шума и частотой вращения молотильного барабана [6, 7]. Однако из-за наличия большого количества других действующих источников шума в виде силовой установки, жатвенной части, наклонной камеры, механизмов очистки и измельчения технологической массы, проведение достаточно полного спектрального анализа, позволяющего выявить узел или сопряжение узлов как основных источников воздушного шума в молотильном блоке, представляется достаточно сложной, а в некоторых случаях даже невозможной задачей. В работе [5] на основе моделирования методом конечных элементов газодинамического процесса в молотильном блоке ЗУК предпринята попытка локализовать проблемные зоны молотильного блока. По результатам моделирования определено несколько зон, в которых наблюдаются процессы пульсирующего наполнения газом, либо достигаются градиентные значения скоростей и давления воздуха. Однако точно локализовать проблемную зону и раскрыть механизм формирования шума с помощью цифрового моделирования не удалось.

В связи с чем целью настоящей работы стало экспериментальное уточнение и теоретическое обоснование возможных причин и механизмов формирования шума, а также определение эксплуатационных и конструктивных мероприятий по его снижению.

### Методы и оборудование

Для решения поставленной цели разработан и изготовлен специализированный испытательный стенд, включающей молотильный блок, несущую систему (площадку входа в кабину) и кабину ЗУК. Молотильный барабан имел серийное исполнение с десятью бичами. Привод молотильного барабана осуществляли через ременную передачу от электродвигателя с питанием от частотного регулятора, что обеспечивало возможность изменять частоту вращения барабана ( $n_6$ ) в диапазоне от 0 до 1050 об/мин. Для исключения резонансных явлений и упрощения спектрального анализа привод стенда спроектирован таким образом, что его частотные характеристики разнесены с динамическими параметрами молотильного блока. Таким образом, стенд позволяет исследовать характеристики шума и вибрации, генерируемые только молотильным блоком ЗУК. Измерение внутреннего и внешнего шума проводили с помощью регистратора-анализатора *OctavaSoundbook 8-PCB* с микрофоном *Grace 6E*. Замеры шума, генерируемые молотильным блоком, проводили внутри кабины (точка 1, рис.1), на площадке входа в кабину (точка 2, рис.1) и внутри молотильного блока (точка 3, рис.1).



Рисунок 1 – Испытательный стенд шума и точки замеров на нем.

Для исследований характера и условий формирования аэродинамического шума в молотильном блоке замеры УЗД в контрольных точках проведены при различных значениях частоты вращения барабана, которое меняли в диапазоне от 360-900 об/мин с

шагом 90 об/мин. Полученные результаты измерений во временной области преобразовали в спектральную область на основе быстрого преобразования Фурье с помощью программного комплекса *PoverGraph*

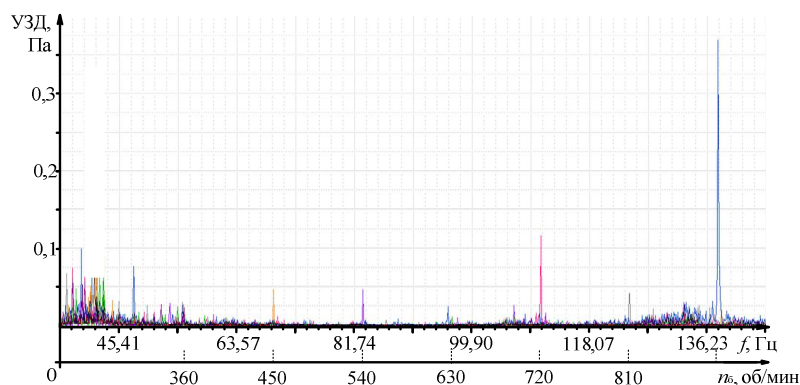
3.3. Аналитическое исследование газодинамического процесса проводили на основе уравнений движения Эйлера для идеального газа, а также уравнениями неразрывности.

### Результаты и их обсуждения

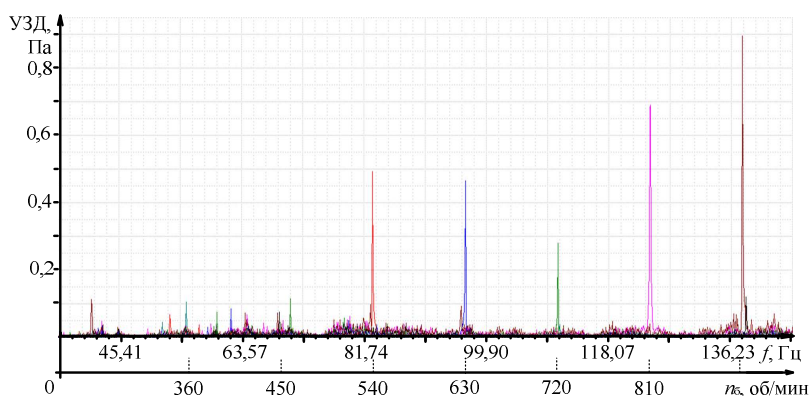
На рис. 2 представлены спектры уровней шума в кабине давления в кабине (а), на площадке входа (б) и в зоне молотильного блока (в) при частотах вращения молотильного барабана 360, 450, 540, 630, 720, 810 и 900 об/мин. На всех полученных спектрах четко выделяются гармоники кратные количеству бичей на барабане и частоте его вращения, что подтверждает гипотезу формирования шума каждым бичем барабана (рис. 2). Очевидно, что четкое соотношение между частотой генерируемого шума с количеством бичей барабана и  $n_6$ , свидетельствует о том, что выявленные возмущения являются результатом взаимодействия каждого бича через воздушный слой с каким-то другим элементом молотильного блока.

По результатам экспериментальных замеров в кабине отмечается сложная зависимость УЗД от частоты вращения барабана. Так, при частоте вращения до 630 об/мин УЗД был примерно сопоставим и составлял до 0,05 Па, но при дальнейшем увеличении до 720 об/мин УЗД увеличился до 0,1 Па и при последующем увеличении частоты вращения до 810 об/мин УЗД уменьшился до 0,05 Па. С увеличением частоты вращения до номинальных значений (900 об/мин) отмечается резкое увеличение УЗД до 0,35 Па. Также сложная зависимость УЗД от частоты вращения отмечается на площадке входа. С повышением частоты вращения от 540 до 720 об/мин УЗД уменьшился с 0,5 до 0,3 Па, а затем при дальнейшем увеличении частоты вращения до 900 об/мин УЗД кратно увеличивается до 0,9 Па.

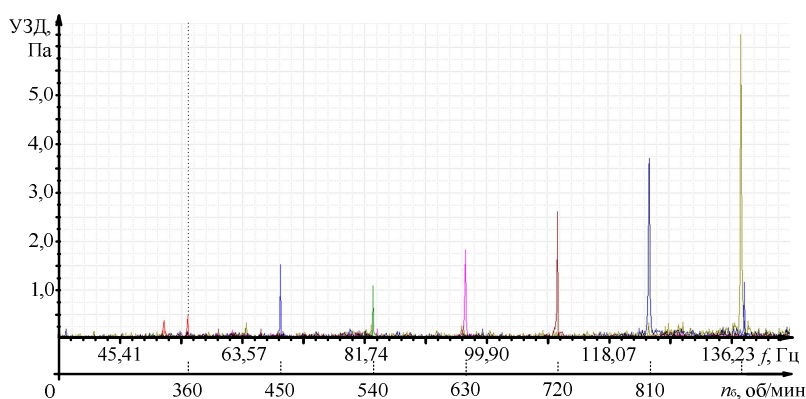
Звуковое давление, замеренное в молотильном блоке по мере увеличения  $n_6$  увеличилось с 0,5 до 6,5 Па. При частоте вращения 540 об/мин УЗД составлял около 1,0 Па. При дальнейшем увеличении  $n_6$  от 540 до 900 об/мин отмечено пропорциональное увеличения УЗД до 6,5 Па.



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Спектры УЗД в кабине (а), на площадке входа (б) и в зоне молотильного блока (в) при частотах вращения молотильного барабана 360, 450, 540, 630, 720, 810 и 900 об/мин



Анализ конструкции молотильного блока показывает, что на пути вращения бича, основным элементом, встречающим воздушный поток от него, является подбарабанье (рис. 3). С целью раскрытия механизма и определения основных закономерностей формирования шума проведено аналитическое исследование рассматриваемого газодинамического процесса в зоне сопряжения бичей барабана и подбарабанья.

Для анализа газодинамического процесса молотильного блока в нем условно выделили четыре характерные зоны (рис. 3. а). В зоне 1 происходит слияние потока воздуха из наклонной камеры и потока, перемещаемого бичами барабана при его вращении. Зона почти замкнутого кольцевого движения потока воздуха, заключенного между барабаном и подбарабаньем, с уменьшающимся живым сечением по мере перемещения потока от зоны 1 – это зона 2. В зоне 3 происходит слияние потока воздуха из зоны 4 и встречных потоков, формируемых отбойным биттером, свободно поступающих из области очистки технологической массы. Зона 4 представляет собой кольцевой зазор с постоянным сечением и равномерным движением воздушных потоков.

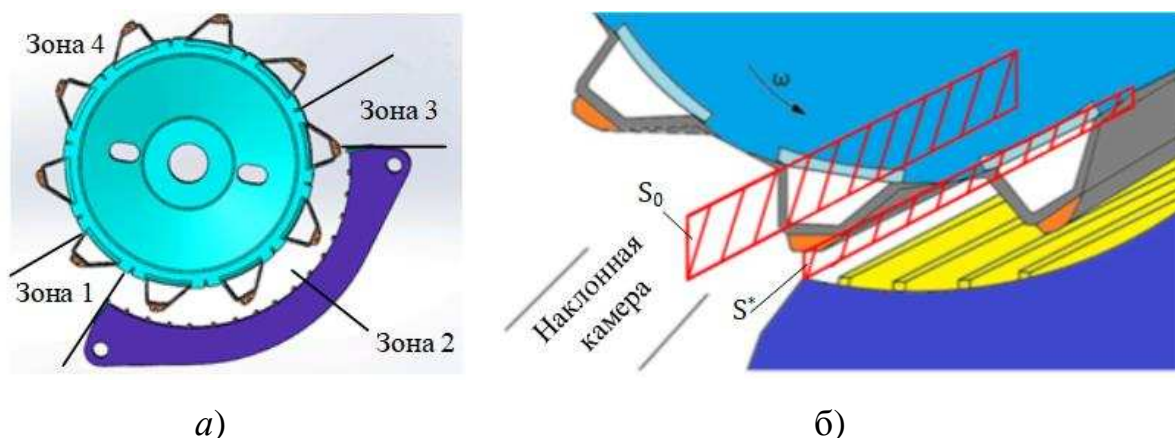


Рисунок 3 – Схема деления (а) и расчетная модель (б) газодинамического процесса молотильного блока

Анализируемый процесс представляли в виде идеализированного течения одномерного потока воздуха постоянной массы. Принято, что

барабан вращает воздушную массу в почти замкнутом пространстве. Для анализа происходящих газодинамических процессов с учетом негерметичной связи барабана с окружающей средой допускается определенный массообмен между воздушным потоком в области барабана и окружающей средой. При проведении данной части исследования приняты следующие допущения:

1. Массообменом воздуха внутри барабана с окружающей средой пренебрегаем;
2. Процесс движения газа описан системой дифференциальных уравнений одномерного течения потока следующих из динамики газа и термодинамических уравнений состояния газа;
3. Газ принят идеальным;
4. Процесс - адиабатный.

Допущение 1 подтверждается экспериментальными исследованиями в работе [5] и предварительными модельными исследованиями на 3D-модели. Допущение 2 правомерно так как используются общие классические законы динамики газа и уравнений состояния газа, которые применимы к движению фиксированной массы газа в кольцевом зазоре между вращающимся барабаном и конструктивными элементами молотильного блока. Допущение 3 считаем приемлемым в первом приближении процесса с малым пограничным слоем при учете вязкости газа, который соприкасается с вращающимся барабаном. Допущение 4 общеизвестно при реальных процессах, которые происходят быстро в сравнении с обменом тепла в системах.

Для аналитического исследования формирования шума предложен упрощенный вариант одномерного стационарного движения воздуха в кольцевом зазоре между барабаном и конструктивными элементами подбарабанья (рис. 3 б). Тогда анализируемую схему можно рассмотреть, как движение газа в конфузоре (рис. 4).



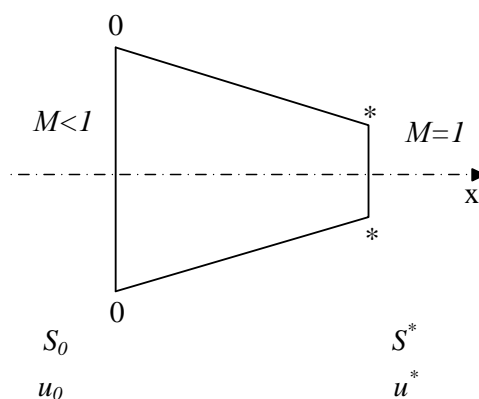


Рисунок 4 – Схема движения газа в конфузоре

Пользуясь уравнениями движения Эйлера для идеального газа, в совокупности с уравнением неразрывности, игнорируя кривизной оси потока, принимая ее за координатную ось «x», получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} u \frac{du}{dx} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dx} ; \\ m = \rho \cdot u \cdot S \end{cases} \quad (1)$$

где  $u$  – скорость потока;  $\rho$  – массовая плотность;  $m$  – масса газа;  $S$  – площадь живого сечения потока;  $p$  – давление газа.

Из реальной схемы молотильного барабана (рис.3. а) определено, что слияние потоков воздуха из зон 1 и 4 (рис. 3. б) происходит при соотношении площадей:

$$\frac{S^*}{S_0} = \frac{1}{2,6}.$$

Тогда задача раскрытия механизма формирования шума будет заключаться в оценке возможности достижения местной скорости звука в сечении «\*-\*» при известных параметрах  $S_0, u_0$ .

Дополнив систему уравнений (1) уравнением для скорости звука в газе:

$$a = \sqrt{k \cdot R \cdot T}, \quad (2)$$

где  $k$  – показатель адиабаты;  $R$  – универсальная газовая постоянная. Для воздуха  $R = 287,0 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}}$ ,  $k = 1,4$ ;  $T$  – абсолютная температура газа.

Из совместного рассмотрения системы уравнений (1) и выражения (2) в совокупности следует известная в литературе формула Гюгонио, которая связывает скорость газа, число Маха и площадь живого сечения потока:

$$(M^2 - 1) \cdot \frac{du}{u} = \frac{dS}{S}, \quad (3)$$

где  $M$  – число Маха:

$$M = \frac{u}{a},$$

где  $a$  – местная скорость звука в газе.

Как показали результаты моделирования газодинамического процесса в молотильном барабане достигается скорость около 50 м/с [5]. Тогда в соответствии с полученным выше выражением в сечении (0-0) число Маха составляет:

$$M_0 = \frac{u_0}{a_0} = \frac{50}{300} = \frac{1}{6}.$$

Исходя из требований формирования шума полагаем, что в сечении (\*-\*)  $M^* = 1$ . Тогда, усредняя функцию числа Маха можем получить приведенную функцию  $\tilde{f}(M)$ :

$$f(M) = M^2 - 1 = \tilde{f}(M).$$

Откуда получим:

$$\tilde{f}(M) = \frac{M_0^2 - 1 + M^{*2} - 1}{2} = \frac{M_0^2 + 1}{2} - 1.$$

Вследствие этого уравнение (3) преобразуется к виду:

$$\tilde{f}(M) \ln u|_{u_0}^{u^*} = \ln S|_{S_0}^{S^*}. \quad (4)$$

Из уравнения (4) следует:

$$\ln \left( \frac{u^*}{u_0} \right)^{\tilde{f}(M)} = \ln \left( \frac{S^*}{S_0} \right). \quad (5)$$

Из уравнения (5) получим скорость потока воздуха в сечении «\*-\*»:

$$\left( \frac{u^*}{u_0} \right)^{\tilde{f}(M)} = \left( \frac{S^*}{S_0} \right). \quad (6)$$

Подставляя известные величины в уравнение (6), получим:

$$\left( \frac{u^*}{50} \right)^{-0,5} = \frac{1}{2,6}. \quad (7)$$

Таким образом скорость потока воздуха в сечении (\*-\*) составит:

$$u^* = 50 \cdot 2,6^2 = 338 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Достижение полученного значения скорости подтверждает и обосновывает предложенный механизм формирования шума. Далее вследствие взаимодействия потока воздуха со сверхзвуковой скоростью из зоны 2 с потоком из зоны 3 возникает ударная волна, образуемая скачком параметров потоков в сечении их слияния.

### ***Выводы***

1. На основе экспериментальных замеров, проведенных на специально разработанном стенде для исследования акустических параметров молотильного блока ЗУК, и последующего спектрального анализа показано, что частота генерируемого шума имеет прямую зависимость с частотой вращения барабана и количеством бичей на нем. Выявленный факт подтверждает гипотезу формирования виброакустических возмущений каждым бичем в результате его взаимодействий через газовую среду с подбарабаньем, как единственным конструктивным элементом молотильного блока с перпендикулярным расположением поверхностей по отношению к сформированному газовому потоку.

2. Проведенное аналитическое исследование зоны перехода, перемещаемого бичами воздушного потока из наклонной камеры в область, заключенную между молотильным барабаном и подбарабаньем, на основе представления этого процесса в виде одномерного стационарного движения воздуха в кольцевом зазоре показал, что в данной зоне формируются сверхзвуковые потоки воздуха. Появление локальной области со сверхзвуковыми потоками является прямым подтверждением механизма формирования шума в молотильном блоке и предопределяет возможные технические решения борьбы с этим явлением.

### Список используемой литературы

1. Бурак П.И. и др. Сравнительные испытания сельскохозяйственной техники: науч. издание. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2013. -416 с.
2. Вестник испытаний сельскохозяйственной техники ... [Текст] / М-во сельского хоз-ва Российской Федерации, Ассоц. испытателей с.-х. техники и технологий (АИСТ). - пос. Усть-Кинельский : Ассоц. испытателей с.-х. техники и технологий, 2017. - 116 с.
3. Распоряжение Правительства РФ от 07.07.2017 N 1455-р «Об утверждении Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года».
4. ОТЧЕТ № 11-23-14 (4060252) от 18 ноября 2014 г по результатам базовых испытаний сельскохозяйственной машины КОМБАЙНА ЗЕРНОУБОРОЧНОГО РСМ-181 «TORUM-760». ФГБОУ СЕВ.-КАВ. ГОС. ЗОНАЛЬНАЯ МИС. – Зерноград. – 2014 г. – 24 с.
5. P.V. Sirotin, I. Y. Lebedinsky and A. G. Sapegin, «Experimental External Noise Level's Evaluation of the Combine Harvester and Simulation of the Noise Process in it», 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, 2018, pp. 1-4.
6. Сиротин П.В. Анализ виброакустической нагруженности рабочего места операторов зерноуборочных комбайнов / П.В. Сиротин, И.Ю. Лебединский, В.В. Кравченко // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение: Иваново. – 2018г. - №1(53).
7. Исследование внешнего шума зерноуборочных комбайнов с барабанным типом молотильно-сепарирующего устройства. Сиротин П.В., Лебединский И.Ю. В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. Сборник статей 11-й международной научно-практической конференции в рамках 21-й международной агропромышленной выставки "Интерагромаш - 2018". 2018. С. 537-541.
8. Cieslikowski B. et al. Analysis of the noise level in the cabin of a combine harvester //The scientific journal for agricultural engineering. – 2008.
9. Kim H. J. et al. Analysis and Reduction Method of Noise from Head of a Combine Harvester //Journal of Biosystems Engineering. – 2007. – Т. 32. – №. 3. – С. 153-159.

10. Maleki A., Lashgari M. Analysis of combine harvester sound pressure level in one-third octave band frequency // *Journal of Agricultural Machinery*. – 2016.

11. Гайда А.С. Шум в сельском хозяйстве и подходы к вопросу борьбы с ним при эксплуатации оборудования и машин на основе новейших технологий // *Научный журнал КубГАУ - Scientific Journal of KubSAU*. 2016. №121.

12. Гайда А.С. Методика измерений акустической безопасности в кабинах операторов сельскохозяйственных машин // *Научный журнал КубГАУ - Scientific Journal of KubSAU*. 2016. №120.

13. Кириченко, В.Е. Методы борьбы с шумом и вибрацией при эксплуатации зерноуборочных комбайнов [Текст] / В.Е. Кириченко, З.У. Болотошвили, А.С. Гайда / *Технический сервис машин для растениеводства. - Вестник ХНТУСГ им. П. Василенка. - Вып. 145. - Харьков, 2014. - С.193-197.*

14. J. Matsson An Introduction to engineering analysis SOLIDWORKS Flow Simulation 2017 / J. Matsson, SDC Publications 2017, 336 p.

15. Pozdnyakov N. A. et al. Modeling of work regimes of agricultural tractor incorporated in machine-tractor aggregate // *Agropanorama: scientific and technical journal for the agro-industrial complex workers*. – 2010.

### References

1. Burak P.I. i dr. *Sravnitel'nye ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki: nauch. izdanie*. – М.: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2013. -416 p.

2. *Vestnik ispytanij sel'skohozyajstvennoj tekhniki ... [Tekst] M-vo sel'skogo hoz-va Rossijskoj Federacii, Assoc. ispytatelej s.-h. tekhniki i tekhnologij (AIST)*. - pos. Ust'-Kinel'skij : Assoc. ispytatelej s.-h. tekhniki i tekhnologij, 2017. - 116 p.

3. *Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 07.07.2017 N 1455-r «Ob utverzhdenii Strategii razvitiya sel'skohozyajstvennogo mashinostroeniya Rossii na period do 2030 goda»*.

4. *ОТЧЕТ № 11-23-14 (4060252) ot 18 noyabrya 2014 g po rezul'tatam bazovyh ispytanij sel'skohozyajstvennoj mashiny KOMBAJNA ZERNOUBOROCHNOGO RSM-181 «TORUM-760»*. FGBOU SEV.-KAV. GOS. ZONAL'NAYA MIS. – Zernograd. – 2014 g. – 24 p.

5. P.V. Sirotnin, I. Y. Lebedinsky and A. G. Sapegin, «Experimental External Noise Level's Evaluation of the Combine Harvester and Simulation of the Noise Process in it», 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, 2018, pp. 1-4.

6. Sirotnin P.V. *Analiz vibroakusticheskoy nagruzhennosti rabocheho mesta operatorov zernouborochnyh kombajnov* / P.V. Sirotnin, I.YU. Lebedinskij, V.V. Kravchenko, *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie: Ivanovo*. – 2018g. – No 1. pp. 53.

7. *Issledovanie vneshnego shuma zernouborochnyh kombajnov s barabannym tipom molotil'no-separiruyushchego ustrojstva*. Sirotnin P.V., Lebedinskij I.YU. *Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skohozyajstvennogo mashinostroeniya. Sbornik statej 11-j mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii v ramkah 21-j mezhdunarodnoj agropromyshlennoj vystavki "Interagromash - 2018*. 2018 g. pp. 537-541.

8. Cieslikowski B. et al. Analysis of the noise level in the cabin of a combine harvester, *The scientific journal for agricultural engineering*. – 2008.

9. Kim H. J. et al. Analysis and Reduction Method of Noise from Head of a Combine Harvester, *Journal of Biosystems Engineering*. – 2007. – T. 32. – No 3. – pp. 153-159.

10. Maleki A., Lashgari M. Analysis of combine harvester sound pressure level in one-third octave band frequency, *Journal of Agricultural Machinery*. – 2016.

11. Gajda A.S. SHum v sel'skom hozyajstve i podhody k voprosu bor'by s nim pri ekspluatacii oborudovaniya i mashin na osnove novejsih tekhnologij, *Nauchnyj zhurnal KubGAU - Scientific Journal of KubSAU*. 2016. No 121.

12. Gajda A.S. Metodika izmerenij akusticheskoy bezopasnosti v kabinah operatorov sel'skohozyajstvennyh mashin, *Nauchnyj zhurnal KubGAU - Scientific Journal of KubSAU*. 2016. No 120.

13. Kirichenko, V.E. Metody bor'by s shumom i vibraciej pri ekspluatacii zernouborochnyh kombajnov [Tekst] / V.E. Kirichenko, Z.U. Bolotshvili, A.S. Gajda / Tekhshchnij servyu mashin dlya roslinnictva. *Vyunik HNTUSG im. P. Vasilenka*. - Vip. 145. - Har'kov, 2014. -pp. 193-197.

14. J. Matsson An Introduction to engineering analysis SOLIDWORKS Flow Simulation 2017 / J. Matsson, SDC Publications 2017, 336 p.

15. Pozdnyakov N. A. et al. Modeling of work regimes of agricultural tractor incorporated in machine-tractor aggregate, *Agropanorama: scientific and technical journal for the agro-industrial complex workers*. – 2010.