

УДК 631.352.02

В.И. ЖОРНИК, д-р техн. наук, проф.; К.М. МИХАЙЛОВ

Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

М.И. МИХАЙЛОВ

Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь

## ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ КРЕПЛЕНИЯ НОЖЕЙ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО БАРАБАНА КОРМОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА НА ИХ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ

*Разработана 3D-модель узла крепления ножа измельчающего барабана кормоуборочного комбайна, в которой учтены параметры элементов системы крепления и композиционное покрытие на основе полимеров для опорной поверхности под ножами. Установлен характер распределения значений относительных амплитуд колебаний элементов системы крепления. Определено влияние параметров элементов системы крепления и композиционного покрытия на динамическое поведение узла крепления.*

**Ключевые слова:** кормоуборочный комбайн, устройство измельчения растительной массы, измельчающий барабан, система крепления ножей, виброустойчивость

**Введение.** В настоящее время математические методы прогнозирования поведения уборочной техники в различных условиях занимают все больше времени в объеме, отведенном на их разработку. Мировые фирмы имеют в своем арсенале мощнейшие компьютерные средства для дополнения натурных экспериментов виртуальными испытаниями. Использование такого рода программ позволяет снизить затраты на проведение огромного количества испытаний как отдельных узлов, так и краш-тестов комбайна в целом. Стоимость одного такого теста составляет от 150 до 200 тыс. долл. США, экспериментальной модели комбайна — до 2 млн долл.

США, в то же время виртуальный краш-тест стоит 5–7 тыс. долл. США.

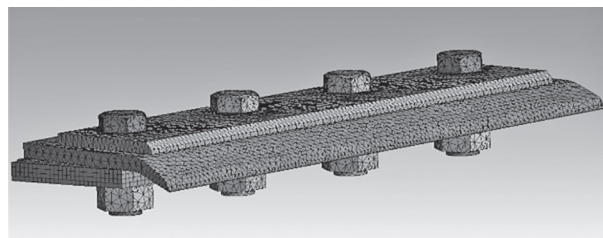
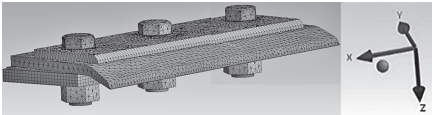
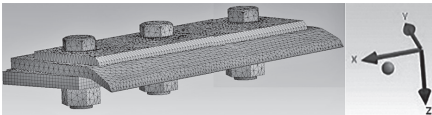
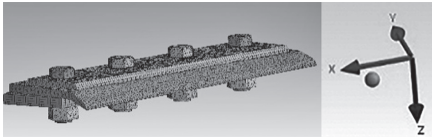
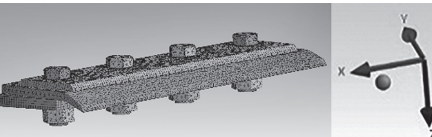
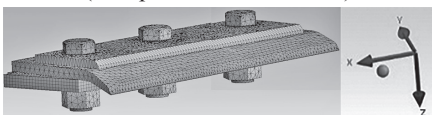
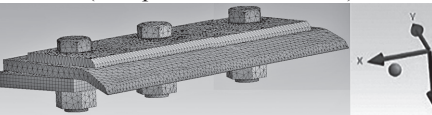
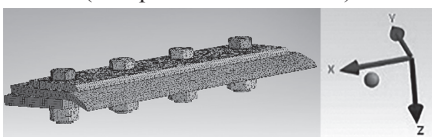
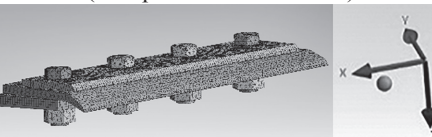


Рисунок 1 — 3D-модель, разделенная на конечные элементы

Таблица 1 — Расчетные схемы системы крепления ножа

№ расчетной схемы	Расчетная модель	№ расчетной схемы	Расчетная модель
1	Без покрытия с тремя болтами (материал ножа — сталь) 	5	С покрытием с тремя болтами (материал ножа — сталь) 
2	Без покрытия с четырьмя болтами (материал ножа — сталь) 	6	С покрытием с четырьмя болтами (материал ножа — сталь) 
3	Без покрытия с тремя болтами (материал ножа — ВЧТГ) 	7	С покрытием с тремя болтами (материал ножа — ВЧТГ) 
4	Без покрытия с четырьмя болтами (материал ножа — ВЧТГ) 	8	С покрытием с четырьмя болтами (материал ножа — ВЧТГ) 

При разработке новой модели комбайна производители проводят 150–200 виртуальных краш-тестов и 5–6 реальных.

Только с учетом этих условий можно ставить задачу об оптимизации и о повышении работоспособности устройств и их элементов [1–10].

В ряде работ профессоров М.А. Журавкова, С.С. Щербачева и других авторов приведены результаты исследования напряженно-деформированного состояния системы крепления ножей измельчающего барабана [6–15]. Кроме этого, экспериментально исследовались на работоспособность ножи из различных материалов в разных условиях [5–7, 9, 10]. Как известно, для повышения работоспособности систем используются разнообразные покрытия на основе металлов и полимеров.

Целью работы является разработка и анализ модели крепления ножей измельчающего барабана кормоуборочного комбайна, а также изучение влияния парамет-

тров системы крепления и контактных условий на ее виброустойчивость с использованием современных программных продуктов.

**Методика исследований.** Собственные частоты определялись методом конечных элементов [2]. На рисунке 1 представлена модель системы крепления ножа, разбитая сеткой на конечные элементы. Максимальный размер элемента сетки — 2 мм.

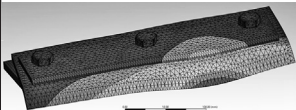
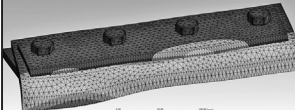
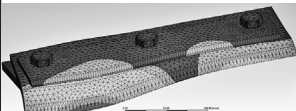
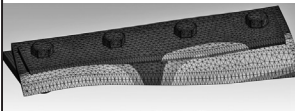
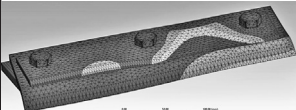
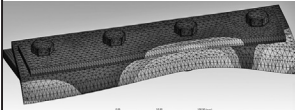
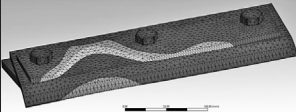
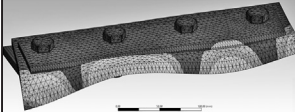
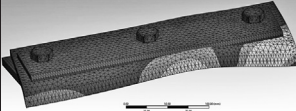
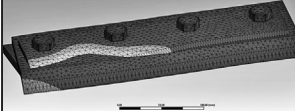
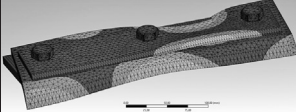
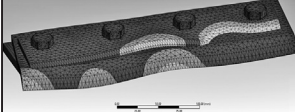
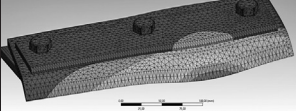
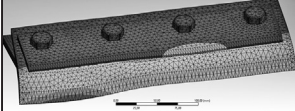
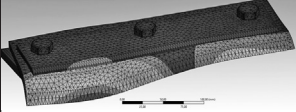
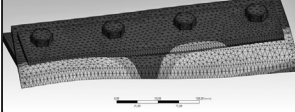
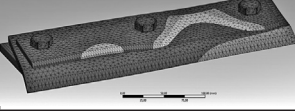
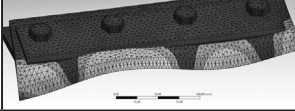
В исследованиях учитывалось влияние композиционных покрытий на основе эпоксиполиэфирных смол, наносимых на базовую поверхность ножа.

В таблице 1 приведены расчетные схемы системы крепления ножа.

В таблице 2 приведены собственные частоты шести форм двух моделей системы крепления ножа.

Анализ таблицы 2 позволил выявить, что при применении четырех болтов в конструкции крепления ножа виброустойчивость повысилась в 1,33 раза, по сравнению

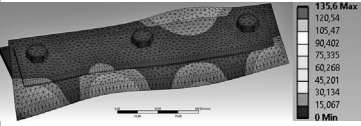
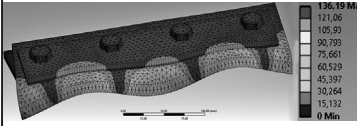
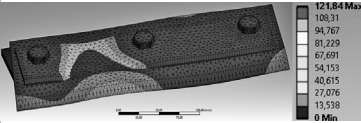
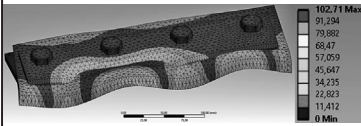
Таблица 2 — Картины распределения собственных частот систем крепления ножа

№ расчетной схемы	№ и значения собственных частот, Гц	Картина распределения собственных частот	№ расчетной схемы	№ и значения собственных частот, Гц	Картина распределения собственных частот
1	(1) 1601,4		2	(1) 2028,8	
	(2) 1832			(2) 2071,7	
	(3) 1982,5			(3) 2545,4	
	(4) 2084			(4) 3195,7	
	(5) 2347,9			(5) 3268,2	
	(6) 2679,1			(6) 3788,2	
3	(1) 1570,4		4	(1) 1972,6	
	(2) 1792,1			(2) 2020,9	
	(3) 1994,8			(3) 2476,5	

Продолжение таблицы 2

№ расчетной схемы	№ и значения собственных частот, Гц	Картина распределения собственных частот	№ расчетной схемы	№ и значения собственных частот, Гц	Картина распределения собственных частот
3	(4) 2113,3		4	(4) 3067,8	
	(5) 2288,9			(5) 3300,5	
	(6) 2398,2			(6) 3671,6	
5	(1) 1761,4		6	(1) 2127,1	
	(2) 1944,4			(2) 2228,8	
	(3) 2482,2			(3) 2588,4	
	(4) 2672,2			(4) 3125,6	
	(5) 2780,4			(5) 3844,4	
	(6) 2847,4			(6) 4580,8	
7	(1) 1758,3		8	(1) 2133,8	
	(2) 1950,5			(2) 2227,6	
	(3) 2467,8			(3) 2564,1	
	(4) 2667,8			(4) 3067,6	

## Окончание таблицы 2

№ расчетной схемы	№ и значения собственных частот, Гц	Картина распределения собственных частот	№ расчетной схемы	№ и значения собственных частот, Гц	Картина распределения собственных частот
7	(5) 2800		8	(5) 3749,8	
	(6) 2897,2			(6) 4635,3	

с креплением тремя болтами со значительным отличием характера относительных амплитуд колебаний. Так, у первой формы собственных частот при четырех крепежных болтах зона максимальных относительных амплитуд колебаний располагается с левой стороны ножа, а при трех — смещена на расстояние 0,7 длины кромки ножа.

Кроме того, значения относительных максимальных амплитуд для первых двух форм уменьшились в 1,06 раза, а для четырех остальных увеличились в среднем в 1,4 раза.

Применение в качестве материала ножа чугуна ВЧТГ (расчетные схемы № 3, 4) привело к снижению значений собственных частот в среднем в 1,025 раза, а максимальных амплитуд колебаний — в 1,02 раза.

Нанесение на базовые поверхности ножей демпфирующего покрытия (расчетные схемы № 5–8) привело к росту значений собственных частот в 1,1–1,2 раза.

## Список литературы

- Анилович, В.Я. Определение показателей надежности сельскохозяйственных машин по экспериментальным данным / В.Я. Анилович, И.П. Сычев // Труды Украинского научно-исследовательского института сельскохозяйственного машиностроения. — 1967. — № 4. — С. 267–280.
- Цитович, И.С. Безотказность и долговечность тракторов и сельскохозяйственных машин / И.С. Цитович, Н.Н. Дорожкин, В.А. Дьяченко. — Минск: Ураджай, 1977. — 152 с.
- Альгин, В.Б. Надежность технически сложных изделий в свете «Индустрии 4.0» / В.Б. Альгин, Н.Н. Ишин // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2017. — Вып. 6. — С. 43–54.
- Михлин, В.М. Управление надежностью сельскохозяйственной техники / В.М. Михлин. — М.: Колос, 1984. — 335 с.
- Псырков, Н.В. К анализу напряженно-деформированного состояния и поврежденности трибофатической системы режущего аппарата сельскохозяйственной техники / Н.В. Псырков, С.С. Щербаков // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: А.А. Дюжев [и др.]. — Минск, 2012. — Вып. 1. — С. 263–267.
- Журавков, М.А. Напряженно-деформируемое состояние трибофатической системы «прижим — нож — основание» режущего инструмента комбайна / М.А. Журавков, С.С. Щербаков, А.В. Круподеров // Теоретическая и прикладная механика: междунар. науч.-техн. сб. / Бел. нац. техн. ун-т; под ред. А.В. Чигарева. — Минск, 2012. — Вып. 27. — С. 219–224.
- Щербаков, С.С. Напряженно-деформированное состояние и повреждаемость трибофатической системы «прижим — нож — опора» режущего инструмента комбайна / С.С. Щербаков // Механика машин, механизмов и материалов. — 2012. — № 2(19). — С. 75–80.
- Объемная повреждаемость ножа и противорежущего бруса режущего аппарата комбайна в динамической постановке / М.А. Журавков, С.С. Щербаков, О.А. Насань [и др.] // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2015. — Вып. 4. — С. 232–236.
- Миренков, В.В. Анализ напряженно-деформированного состояния ножа измельчающего барабана кормоуборочного комбайна / В.В. Миренков, В.Ф. Хиженко, П.Е. Родзевич // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого. — 2014. — № 1(56). — С. 20–28.
- Оценка стойкости ножей питающе-измельчающих аппаратов сельскохозяйственных комбайнов: теория, стендовые и полевые испытания / А.А. Новиков, В.В. Комиссаров, В.О. Замятнин [и др.] // Вестник БелГУТа: наука и транспорт. — 2016. — № 1(32). — С. 201–208.
- Дробышевский, П.С. Опыт применения чугуна ВЧТГ для изготовления ножей режущих барабанов кормоуборочных комбайнов / П.С. Дробышевский, А.А. Новиков // Инновационные технологии в агропромышленном комплексе — сегодня и завтра: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 4–5 окт. 2018 г. / НТЦК ОАО «Гомсельмаш». — Гомель, 2018. — С. 126–127.
- Псырков, Н.В. Опыт внедрения специального чугуна марки ВЧТГ для изготовления ножей режущих кормоуборочной техники / Н.В. Псырков, А.А. Квитанов, В.О. Замятнин // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: А.А. Дюжев [и др.]. — Минск, 2013. — Вып. 2. — С. 388–390.
- Высокопрочный чугун с шаровидным графитом и высоким сопротивлением усталости. Марки и механические свойства: СТБ 2544-2019. — Введ. 01.10.2019. — Минск: ГОССТАНДАРТ, 2019. — 7 с.
- Ножи кормоуборочных комбайнов КВК-800. Программа и методика сравнительных доводочных эксплуатационных испытаний. — Гомель: Гомсельмаш, 2014. — 20 с.
- Тюрин, С.А. Эксплуатационные испытания ножей кормоуборочных комбайнов и их результаты / С.А. Тюрин // Актуальные вопросы машиноведения: сб. науч. тр. / Объедин. ин-т машиностроения НАН Беларуси; редкол.: С.Н. Поддубко [и др.]. — Минск, 2021. — Вып. 10. — С. 13–16.

Zhornik V.I., Mikhaylov K.M., Mikhaylov M.I.

### Effect of the attachment conditions of the shredding drum knives of the forage harvester on their vibration resistance

A 3D model of the knife attachment unit for the shredding drum of a forage harvester has been developed, which takes into account the parameters of the fastening system elements and a polymer-based composite coating for the support surface under the knives. The distribution nature of the values of the relative oscillation amplitudes of the fastening system elements has been established. The influence of the parameters of the fastening system elements and the composite coating on the dynamic behavior of the fastening unit is determined.

Поступила в редакцию 15.09.2025.