

УДК 539

Оценка прочности рабочего органа дисковой бороны при взаимодействии с преградой

Л.В. Автономова, С.В. Бондарь, А.В. Степук, Д.С. Ягудин

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт» (г. Харьков, Украина)*

В работе представлен подход к проведению оценки прочности рабочего органа дисковой бороны при ударе о массивную жесткую преграду. Рассматривается задача определения напряженно-деформированного состояния составной конструкции (пружинной стойки и диска) при ударном нагружении абсолютно жестким телом. Динамическая контактная упругая задача решается методом конечного элемента в трехмерной постановке. В контактной зоне при ударном взаимодействии диска с массивным телом учитывается трение. Полученные распределения полей перемещений и эквивалентных напряжений позволяют судить о прочности рабочего органа. Проведен анализ характера усталостного разрушения инструмента; приведены сечения пружинной стойки, которые подтверждают картину зарождения и развития трещин в результате накопления усталостных повреждений, что приводит к потере прочности при критическом перегрузе (удар о преграду).

Ключевые слова: *диск бороны, пружинная стойка, метод конечного элемента, ударное воздействие, прочность, накопление усталостных повреждений*

Постановка проблемы. В современном сельском хозяйстве для обработки почвы широко применяются дисковые бороны. Рабочие органы дисковой бороны представляет собой как дискаторы, посаженные на единый вал, так и систему пружинных стоек, к каждой из которых крепятся одиночные диски. Статистика показывает, что за один год эксплуатации происходит поломка 25% дисковых рабочих органов. Экспериментально получено, что поломки и деформирование рабочих органов почвообрабатывающих машин происходит как от усталостного разрушения, так и от единичных ударных нагрузок (наезд на камень или не перерезаемое препятствие), которые в 50-100 раз больше величины средних почвенных нагрузок [1]. Поэтому при эксплуатации бороны необходимо обеспечить прочность ее рабочих органов при различных видах силового нагружения (статического и динамического).

Анализ последних исследований и публикаций. Теоретическому и экспериментальному определению сил, действующих на дисковый рабочий орган бороны, посвящено ряд литературных источников [1-4]. Методике расчета на прочность рабочих органов почвообрабатывающих машин посвящена работа [1]. В этой статье предложено определение геометрических параметров рабочих органов с учетом физико-механических свойств стали и действующих нагрузок. Расчет рабочих органов для обработки почвы сельскохозяйственных машин представлен также в работе [2], в которой в соответствии

с физико-механическими свойствами почвы приведен расчет схемы нагружения и расчет сил, действующих на диски рабочих органов. Аналитический расчет суммарного силового воздействия с учетом ударного динамического воздействия с твердыми частицами почвы на дисковый рабочий орган представлен в статье [3]. В работе [4] описан эксперимент, который позволил провести динамометрические измерения усилий, действующих на дисковые батареи при обработке различных видов обработки почвы.

Численное моделирование процесса силового нагружения всех элементов рабочего органа бороны позволяет на стадии разработки и проектирования их проводить соответствующий предварительный расчет на прочность.

Цель работы. В данной работе представлен численный расчет напряженно-деформированного состояния рабочего органа дисковой бороны при ударном воздействии на диск (наезд на преграду), и также проанализирован характер усталостного разрушения пружинной стойки.

Главная часть. Пружинная стойка с диском представляет собой пространственную конструкцию (взаимное расположение крепления стойки, изогнутой в своей плоскости, и наклонной к плоскости крепления диска, а также выпуклость диска). На рисунке 1. приведена расчетная схема рабочего органа дисковой бороны. Вводится допущение о том, что диск и стойка жестко соединены. Пружинная стойка также

жестко крепится к раме борона с 98 рабочими органами общей массой 11 т. О диск ударяет массивное тело, кинетическая энергия которого равна приходящейся на рабочий орган энергии при движении борона со скоростью 12 км/ч. Выделением теплоты при ударе пренебрегаем. Для анализа прочности данной пространственной конструкции необходимо решать динамическую контактную упругую задачу с соответствующими краевыми и начальными условиями.

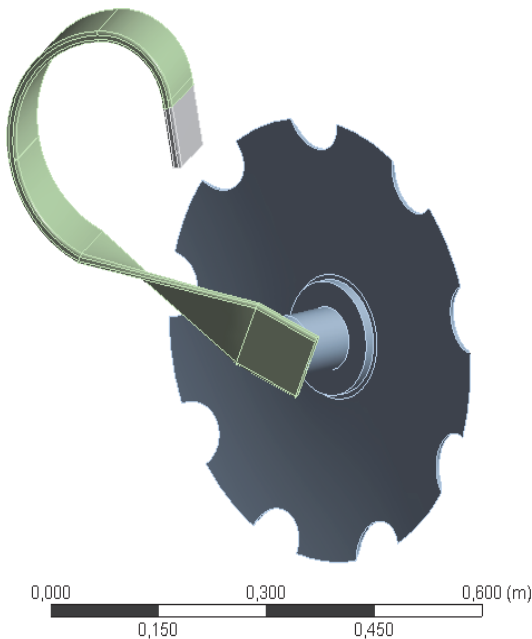


Рис. 1. Расчетная схема рабочего органа дисковой борона

Рассматриваемый динамический процесс описывается математической моделью, которая включает уравнения закона сохранения импульса, закона сохранения энергии, линейные физические соотношения, учитывается изменение механических характеристик материала от скорости деформаций. Полная система разрешающих уравнений для такого динамического процесса приведена в работе [5]. В контактной зоне при взаимодействии диска с массивным телом выполняется закон трения

$$F_t = \mu_t \sigma (1 - e^{5\sigma_n/4\sigma}) / \sqrt{3}, \quad (1)$$

где F_t – контактные касательные напряжения, σ_n – нормальное контактное давление, μ_t – коэффициент трения.

Численное решение данной динамической задачи реализуется методом конечного элемента. Конечноэлементная модель рабочего

органа дисковой борона, представленная на рисунке 2, включает 49594 элемента и 12381 узел. Физико-механические свойства и характеристики материала для диска и пружинной стойки соответствуют стали Still 4340. Скорость абсолютно жесткого тела о диск при ударе равна $V = 10$ м/сек.

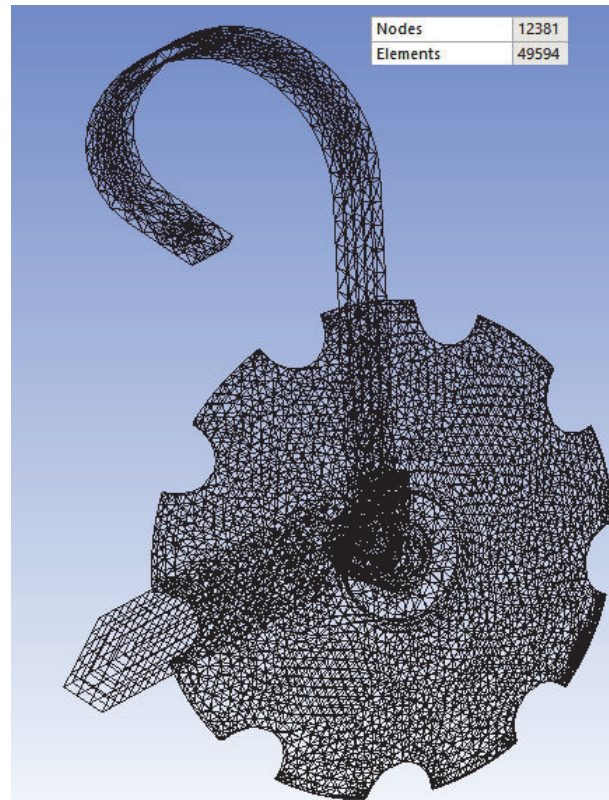


Рис. 2. Конечноэлементная модель для моделирования ударного процесса

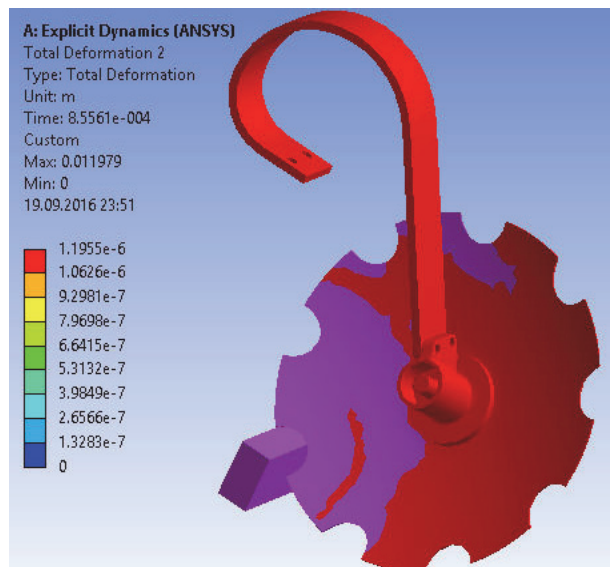
На рис. 3 приведено распределение параметров напряженно-деформированного состояния в рабочем органе дисковой борона: а) поле перемещений, б) поле эквивалентных напряжений.

Максимальный уровень эквивалентных напряжений по Мизесу $\sigma_e = 348$ МПа не достигает предела текучести для данного материала, т.е. при ударе составная конструкция упруго деформируется и не разрушается.

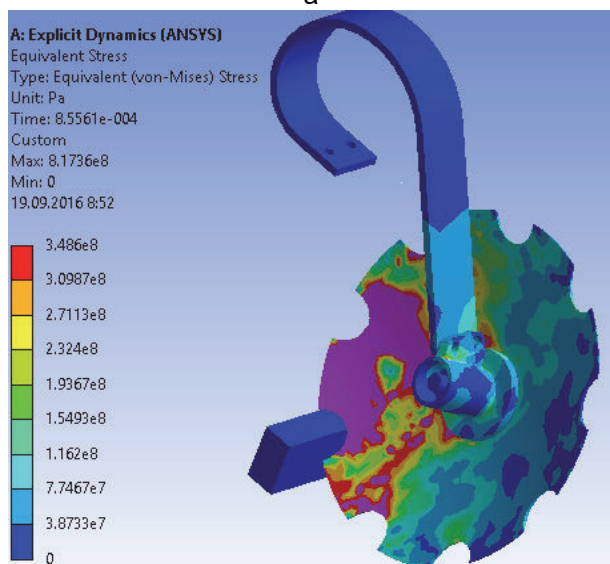
Однако, в сочетании с явлением возникновения и развития усталостной трещины в пружинной стойке может произойти ее разрушение, что подтверждается практикой.

Усталостные трещины зарождаются на наружной поверхности стойки (смотри рисунок 4) и растут вглубь, что приводит к уменьшению площади рабочего сечения стойки и соответ-

ствующему росту эквивалентных напряжений при повторном ударном воздействии.



а



б

Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние рабочего органа борона при ударном воздействии

На рис. 5 приведены наиболее характерные поверхности излома сечения стойки, на которых видны кольцеобразные поверхности. Характер излома сечения подтверждает, что трещина зарождается и развивается в результате накопления усталостных повреждений (гладкая часть сечения разрушения), зарождается из угла сечения, развивается вглубь сечения и завершается «рваной» хрупкой полумкой, характерной для потери статической прочности при критическом перегрузе (удар при наезде на препятствие).

Численное моделирование и расчет на прочность показали, что при данном ударном нагружении уменьшение площади рабочей поверхности сечения пружинной стойки на 30% за счет роста усталостной трещины может привести к ее разрушению.

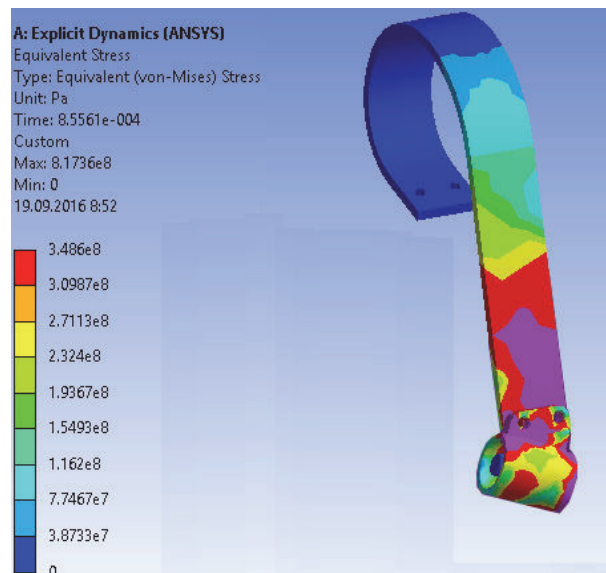


Рис.4. Распределение эквивалентных напряжений в стойке

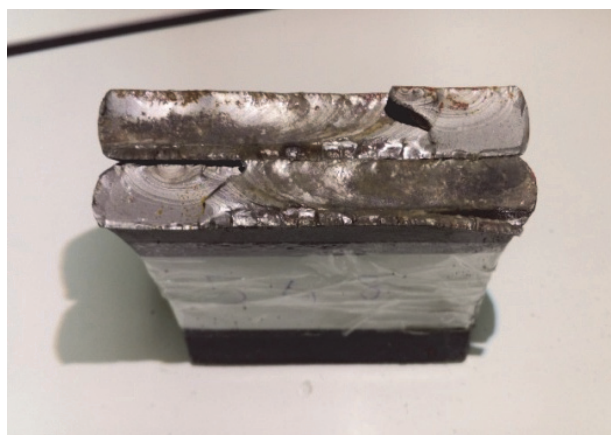


Рис.5. Поверхность излома сечения стойки

Выводы. Численные расчеты напряженно-деформированного состояния на стадии проектирования составной пространственной конструкции диска борона с пружинной стойкой при ударном нагружении в сочетании с учетом характера возникновения и развития усталостных повреждений, позволяют выбрать рациональную конструкцию рабочего органа дисковой борона и продлить срок службы его до разрушения при эксплуатации.

Литература

1. Сидоров С.А. Методика расчета рабочих органов почвообрабатывающих машин на прочность / С.А. Сидоров // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2008. – № 2. – С. 74 - 77.
2. Трубилин Е.И. Сельскохозяйственные машины (конструкция, теория и расчет): учебное пособие, часть I: / Е.И. Трубилин, В.А. Абликов, А.Н. Лютый, Л.П. Соломатина. – 2-е изд. Пере-раб. и дополн. – Краснодар: КГАУ, 2008. – 200 с.
3. Борак К.В. Исследование силового взаимодействия рабочих органов дисковых почвообрабатывающих орудий с почвой / К.В. Борак, С.С. Бобранский, С.С. Блезнюк // Вісник Хар-

ківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка: Технічний сервіс машин для рослинництва. – 2014. – Вип. 145. – С. 56 - 62.

4. Стрельбицкий В.Ф. Силовые характеристики рабочих органов дисковых луцильщиков и борон / В.Ф. Стрельбицкий // Тракторы и сельхозмашины. – 1968. – № 1. – С. 30 - 33.

5. Степук А.В. Влияние модели состояния материала на напряженно-деформированное состояние П-образной конструкции при ударе шаром / А.В. Степук, Л.В. Автономова, С.В. Бондарь // Сб. науч. Тр. «Вестник НТУ «ХПИ»: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – №18. – Вестник НТУ «ХПИ». – 2014. – № 18(1061). – С. 161-166.

Анотація

Оцінка міцності робочого органу дискової борони при взаємодії з перешкодою

Л.В. Автономова, С.В. Бондар, А.В. Степук, Д.С. Ягудін

У роботі представлено підхід до проведення оцінки міцності робочого органу дискової борони при ударі об масивну жорстку перешкоду. Розглядається задача визначення напружено-деформованого стану складеної конструкції (пружинної стійки і диска) при ударному навантаженні абсолютно жорстким тілом. Динамічна контактна пружна задача вирішується методом скінченного елемента в тривимірній постановці. У контактній зоні при ударній взаємодії диска з масивним тілом враховується тертя. Отримані розподіли полів переміщень і еквівалентних напружень дозволяють судити про міцність робочого органу. Проведено аналіз характеру втомного руйнування інструменту; наведені перетини пружинної стійки, які підтверджують картину зародження та розвитку тріщин в результаті накопичення втомних пошкоджень, що призводить до втрати міцності при критичному перевантаженні (удар об перешкоду).

Ключові слова: *диск борони, пружинна стійка, метод скінченного елемента, ударна дія, міцність, накопичення втомних пошкоджень*

Abstract

Strength value for the disc harrow working body contacting with an obstacle

L.V. Avtonomova, S.V. Bondar, A.V. Stepuk, D.S. Yagudin

In operation approach to evaluating strength of the working organ of disk harrow in case of impact about a massive rigid barrier is provided. The task of determination of the intense deformed status of a composite construction (a spring stand and a disk) in case of impact loading has been considered by absolutely rigid body. The dynamic contact elastic task has been solved by finite element method in three-dimensional setting. In a contact zone in case of impact interaction of a disk with a massive body friction has been considered. The received distributions of relocation fields and the equivalent tension allow to judge strength of a working organ. The analysis of nature of fatigue failure of the tool has been carried out. Sections of a spring stand which confirm a pattern of origin and development of cracks as a result of accumulation of fatigue damages were specified. It brings to loss of durability in case of a critical overload (impact about a barrier).

Keywords: *disc harrows, spring rack, finite element method, impact force, strength yield, fatigue damage accumulation*

Представлено від редакції: В.А. Войтов / Presented on editorial: V.A. Vojtov

Рецензент: В.В. Коломoeць / Reviewer: V.V. Kolomijec

Подано до редакції / Received: 04.10.2016