УДК 631.331.024.2/.3.001.24 https://doi.org/10.26160/2542-0127-2026-18-161-165

МЕТОДИКА СТАТИЧЕСКОГО РАСЧЁТА АНКЕРНОГО СОШНИКА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Шепелёв С.Д.[1,2], Ваганов Д.Е.[1], Рыбалченко К.Ю.[2]
[1]Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск;
[2]Челябинский институт путей сообщения – филиал Уральского государственного университета путей сообщения, Челябинск

Ключевые слова: анкерный сошник, тяговое сопротивление, конструктивные изменения, посевные комплексы, урожайность, минеральные удобрения, эффективность.
Аннотация. Предложена технология посева с расположением семян и удобрений на разных уровнях, что позволяет увеличить урожайность на 20-25% по сравнению с традиционным посевом. В результате этого корни растений получат возможность развиваться в зоне концентрации азота и направляться к доступным нитратам. Для реализации технологии проведены экспериментальные исследования посева с инновационным рабочим органом.

INVESTIGATION OF THE DRAFT RESISTANCE OF AN ANCHOR COULTER

Shepelev S.D.[1,2], Vaganov D.E.[1], Rybalchenko K.Yu.[2]
[1]South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk;
[2]Chelyabinsk Institute of Railway Transport – Branch of Ural State University of Railway Transport, Chelyabinsk

Keywords: anchor opener, draft resistance, design modifications, seeding complexes, crop yield, mineral fertilizers, efficiency.
Abstract. A sowing technology is proposed that involves placing seeds and fertilizers at different levels, enabling a 20-25% increase in crop yield compared to traditional sowing methods. This approach allows plant roots to develop within the zone of nitrogen concentration and grow toward available nitrates. Experimental studies were conducted to evaluate the technology using an innovative sowing tool.

Для реализации ресурсосберегающих технологий посева семян и внесения удобрений разработана конструкция рабочего органа для их разноуровнего внесения [1]. Разработка инновационной конструкции анкерного сошника, обеспечивающего разноуровневое внесение семян и минеральных удобрений, осуществлялась в отечественном программном комплексе трехмерного моделирования КОМПАС-3D. Его графическая модель представлена на рисунке 1. Основным назначением программы КОМПАС-3D в рамках данного исследования являлось:

– Высокоточное геометрическое моделирование: создание сквозной параметрической 3D-модели модернизированного наральника с учетом сложной внутренней архитектуры – двух независимых высевных каналов и измененной формы внутренних полостей.

– Расчет масс-инерционных характеристик: автоматическое определение точного объема детали, координат центра тяжести и веса будущего изделия исходя из плотности применяемого высокопрочного чугуна ВЧ60.

– Интеграция с расчетными модулями: экспорт твердотельной геометрии без потери точности в интегрированную среду конечно-элементного анализа **APM FEM** для имитации реальных эксплуатационных нагрузок.

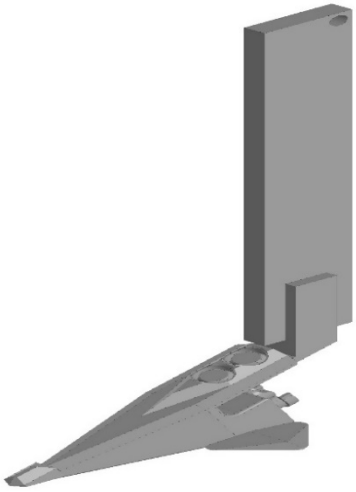


Рис. 1. Конструкция анкерного сошника посевной секции

Для подтверждения работоспособности разработанной конструкции модернизированного анкерного сошника выполнен прочностной расчёт наральника методом конечных элементов в программном комплексе APM FEM [2, 3]. Расчёт выполнен с учётом изменённой геометрии корпуса сошника (наличие двух высевных отверстий, изменённая форма внутренних полостей) и физико-механических характеристик применяемого материала.

Материал и его характеристики.

Носок модернизированного сошника, как и в базовой конструкции, изготовлен из высокопрочного чугуна ВЧ60 ГОСТ 7293-85 [1]. Выбор данного материала обусловлен его высокими литейными свойствами, позволяющими получать детали сложной конфигурации, а также достаточной износостойкостью для работы в абразивной почвенной среде [2, 4]. Механические характеристики материала, принятые для расчёта:

– предел текучести: $\sigma_т = 370 \frac{Н}{мм^2}$;

– предел прочности (временное сопротивление): $\sigma_в = 600 \frac{Н}{мм^2}$;

– нормальный модуль упругости: $E = 1{,}6 \cdot 10^5$ Н/мм^2;

– коэффициент Пуассона: $\nu = 0{,}25$;

– плотность: $\rho = 7{,}2 \cdot 10^{-6}$ кг/мм^3.

Для повышения износостойкости рабочая поверхность носка дополнительно упрочняется наплавкой карбида вольфрама, что увеличивает ресурс детали в условиях абразивного износа до 30-40% по сравнению с неупрочнённой поверхностью [4, 5].

Геометрическая модель модернизированного наральника построена на основании разработанной конструкторской документации с учётом реальных размеров, формы рабочей части и наличия двух высевных каналов. Модель включает носок, внутренние полости для прохода семян и удобрений, а также зоны крепления к стойке сошника.

Для обеспечения высокой точности расчёта использована трёхмерная тетраэдральная сетка с элементами второго порядка (10-узловые тетраэдры), которые хорошо аппроксимируют криволинейные поверхности и обеспечивают сходимость решения при относительно небольшом количестве элементов [3]. Параметры конечно-элементной сетки приведены в таблице 1.

Сгущение сетки выполнено в области острия носка, мест перехода сечений и вокруг высевных отверстий – зонах предполагаемой концентрации напряжений. Разрежение сетки в объёмной части детали позволило сократить вычислительные затраты без потери точности в критических зонах.

Табл. 1. Параметры конечно-элементной сетки модернизированного наральника

Наименование параметра	Значение
Тип элементов	10-узловые тетраэдры
Максимальная длина стороны элемента, мм	5
Максимальный коэффициент сгущения на поверхности	1,2
Коэффициент разрежения в объёме	1,5
Количество конечных элементов	52104
Количество узлов	90540

Величина нагрузки принята равной 320 Н по направлению оси X (горизонтальная составляющая тягового сопротивления), полученным для модернизированного сошника с учётом увеличения тягового сопротивления на 28-30%.

Результаты расчёта собственных частот и форм колебаний.

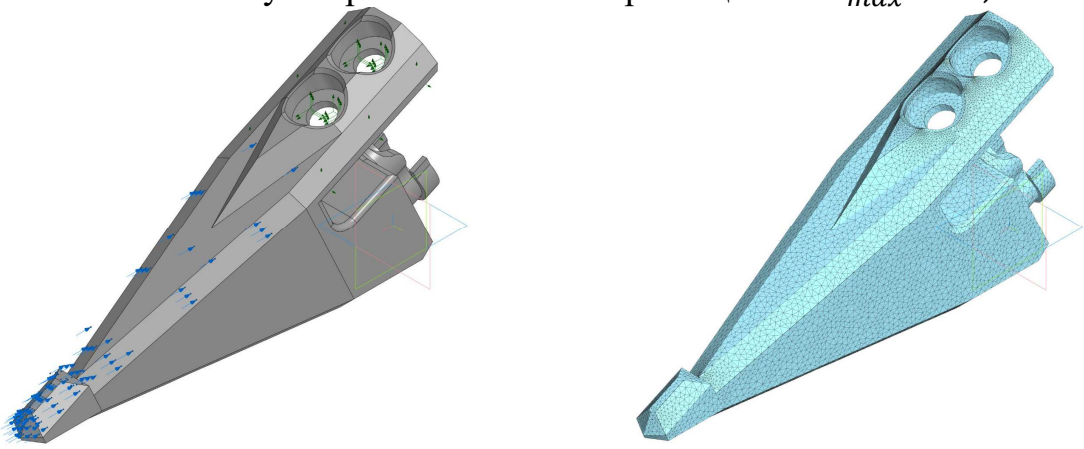
Для оценки динамической устойчивости детали выполнен расчёт первых пяти собственных частот и соответствующих им форм колебаний. Результаты представлены на рисунках 2-5.

Результаты статического прочностного расчёта.

По результатам статического расчёта методом конечных элементов получены следующие значения напряжённо-деформированного состояния:

– максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу: $\sigma_{экв} = 120{,}28(МПа)$;

– максимальное суммарное линейное перемещение: $U_{max} = 0{,}0091$ мм.



а б

Рис. 2. Конечно-элементная модель модернизированного наральника:
а – геометрическая модель; б – сетка конечных элементов

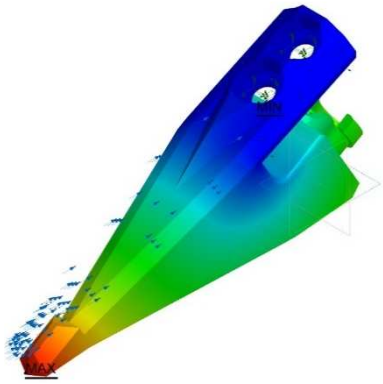


Рис. 3. Суммарное линейное перемещение

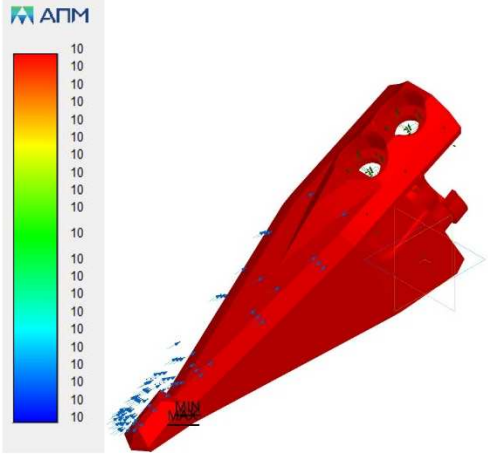


Рис. 4. Коэффициент запаса по пределу прочности

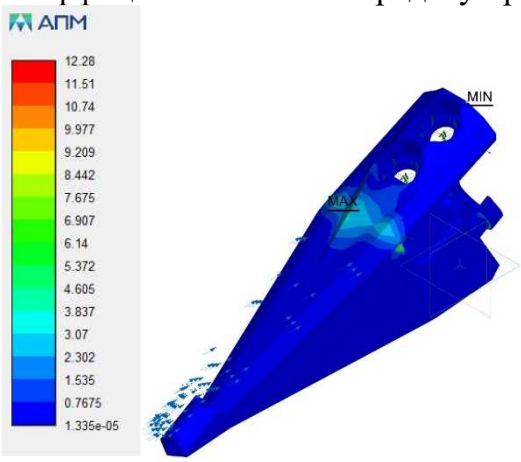


Рис. 5. Эквивалентное напряжение по Мизесу

Зона максимальных напряжений локализована в месте перехода от рабочей части носка к элементам крепления, что обусловлено концентрацией напряжений в данном сечении [2]. При этом величина напряжений существенно ниже предельно допустимых значений для материала ВЧ60. В программном комплексе APM FEM коэффициент запаса отображается как 10, что является верхним предельным значением, установленным в программе по умолчанию. Фактический запас прочности значительно превышает этот порог, что свидетельствует о высокой надёжности конструкции.

Коэффициент запаса по пределу прочности: $n_{\text{в}} = \frac{600}{120{,}28} \approx 4{,}98$.

Сравнительный анализ прочности базового и модернизированного наральников.

Табл. 2. Сравнение прочностных характеристик базового и модернизированного наральников

Параметр	Базовый наральник	Модернизированный наральник	Изменение
Материал	Сталь ($\sigma_в$=1800 МПа, $\sigma_т$=1200 МПа)	Чугун ВЧ60 ($\sigma_в$=600 МПа, $\sigma_т$=370 МПа)	–
Модуль упругости, МПа	$2{,}1\cdot10^5$	$1{,}6\cdot10^5$	↓ на 24%
Количество КЭ	6 476	52 104	↑ в 8 раз
Количество узлов	12 188	90 540	↑ в 7,4 раза
Максимальное напряжение, МПа	485	120,28	↓ в 4 раз
Коэффициент запаса по пределу прочности	1,24	≈4,98	↑ в 4раза

Таким образом, результаты прочностного расчёта подтверждают, что модернизированный наральник обладает достаточной статической и динамической прочностью, превосходящей базовую конструкцию по запасу прочности, и может быть рекомендован к эксплуатации в составе модернизированного анкерного сошника.

Список литературы

1. Шепелёв С.Д., Кравченко И.Н., Кравченко Е.Н. Сеялка ПК-12,7 для посева по No-till технологии // Сельский механизатор. – 2019. – №1. – С. 8-9.
2. Справочник конструктора сельскохозяйственных машин / под ред. инж. А.В. Красниченко. – М.: Машгиз, 1962-1964. – Т. 3. – 560 с.
3. Баутин В.М., Бердышев В.Е., Буклагин Д.С. и др. Механизация и электрификация сельскохозяйственного производства. – М.: Колос, 2000. – 536 с.
4. Босой Е.С., Верняев О.В., Смирнов И.И., Султан-Шах Е.Г. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения / под ред. Е.С. Босого. – М.: Машиностроение, 1977. – 576 с.
5. Яковлев Д.А., Беляев В.И., Поляков Г.Н. Обоснование рациональных параметров сошниковой группы сеялки СЗС-2,1 для прямого посева // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – №9(179). – С. 131-135.

Сведения об авторах:
Шепелёв Сергей Дмитриевич – д.т.н., профессор;
Ваганов Дмитрий Евгеньевич – аспирант;
Рыбалченко Константин Юрьевич – доцент.