

Исследование напряжённо-деформированного состояния трубчатой стойки культиватора

С.П. Пирогов, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья, ФГБОУ ВО ТИУ; **Д.А. Черенцов**, к.т.н., ФГБОУ ВО ТИУ; **С.Н. Кокошин**, к.т.н., ФГБОУ ВО ГАУ Северного Зауралья

При возделывании сельскохозяйственных культур предпосевная обработка почвы оказывает влияние на структуру и физико-механические свойства почвы [1, 2]. Применение упругих стоек культиваторов позволяет снизить тяговое сопротивление агрегата [3, 4], но приводит к неравномерности глубины обработки почвы. С целью стабилизации необходимой глубины обработки почв с различными физико-химическими свойствами было предложено использовать гибкие трубчатые элементы (манометрические трубчатые пружины) в качестве упругих стоек культиваторов [5, 6].

Конструкции рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин должны обеспечивать оптимальные агротехнические требования при минимизации энергетических затрат. Добиться этого позволяет создание машин с управляемыми рабочими органами, способными точно соблюдать агротехнические требования и своевременно реагировать на изменяющиеся внешние условия. Так, в конструкции культиватора [7] в качестве рабочего органа предложено использовать гибкий трубчатый элемент (рис. 1).

Конструкция рабочего органа культиватора представляет собой рыхлительную лапу 1, закреплённую на С-образной стойке 2. Стойка выполнена из гибкого трубчатого элемента со штуцером 3, который позволяет изменять давление в полости внутри элемента. Кронштейн 5 предназначен для крепления стойки 2 к раме 4. Изменение давления во внутренней полости стойки заставляет попереч-

ные сечения деформироваться, и свободный конец с рыхлительной лапой 1 совершает перемещение. В процессе обработки почвы на рабочий орган культиватора оказывают влияние силы сопротивления почвы переменного характера, что вызывает колебания стойки. Подача рабочей жидкости через штуцер 3 в полость стойки 2 под переменным давлением приводит к колебательным движениям рыхлительной лапы с определённой амплитудой и частотой, которые зависят от параметров подаваемого давления. Обзор конструкций и области применения упругих трубчатых элементов (манометрических пружин), параметры затухающих колебаний трубок в вязкой среде исследованы, приводятся в ранее опубликованных работах [8–11].

Материал и методы исследования. Применение гибкого трубчатого элемента – манометрической трубчатой пружины (МТП) в культиваторе позволяет снизить тяговое сопротивление почвообрабатывающих машин за счёт эффекта вибрации при взаимодействии с почвой, а также повысить

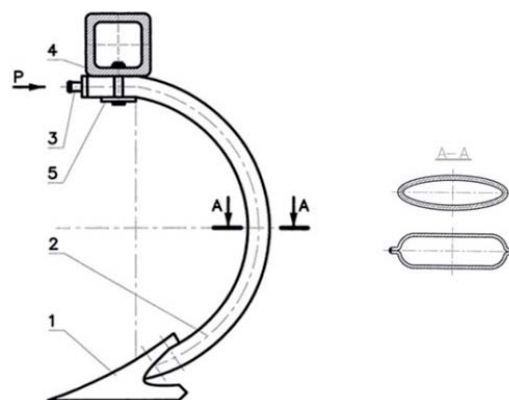


Рис. 1 – Рабочий орган культиватора

качественные показатели процесса обработки почвы за счёт регулировки жёсткости стойки. При взаимодействии культиватора с обрабатываемой почвой необходимо ограничивать скорость перемещения культиватора, так как превышение предельного значения скорости перемещения влечёт к нарушению целостности МТП и, как следствие, к поломке всей конструкции. Расчёт напряжений и деформаций МТП производится с помощью метода конечных элементов, реализованного в программном комплексе ANSYS.

Для обеспечения безаварийной работы культиватора необходимо решить следующие задачи:

1. Построение сеточной модели трубчатого элемента;
2. Определение горизонтальной составляющей тягового сопротивления – R_{nx} воздействия почвы на сошник, при которой наблюдается потеря устойчивости;
3. Оценка влияния геометрических характеристик МТП на R_{nx} .

Стойка, представленная в виде МТП, выполнена из стали 36НХТЮ и имеет следующие геометрические характеристики: центральный угол – 180 град., радиус кривизны – 500 мм, большая полуось поперечного сечения – 25 мм, малая полуось поперечного сечения – 12,5 мм, толщина стенки – 2,5 мм. Точность дальнейших расчётов будет напрямую зависеть от качества сеточной модели рассматриваемой конструкции. Жёсткая заделка (место крепления) и наконечник (рабочий орган) построены по умолчанию с помощью метода Sweep, а для построения сеточной модели необходимо определить наилучший метод построения сетки (Tetrahedrons или Sweep (рис. 2) и минимальный размер элементов, обеспечивающих корректность решения без потери точности.

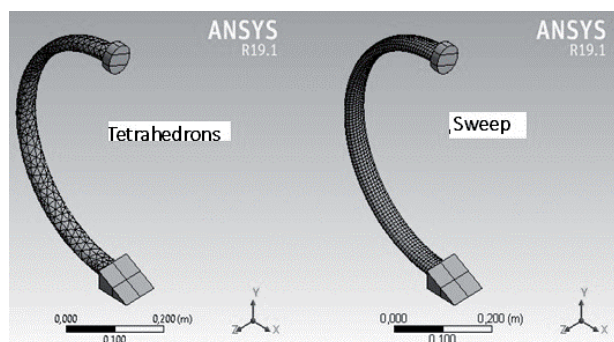


Рис. 2 – Построение сеточной модели культиватора

Результаты исследования. Оценим, как будет изменяться перемещение свободного конца трубки при воздействии горизонтальной силы (1000 Н) на свободный конец при изменении метода и размера элементов расчётной модели. Расчёты производились в toolbox – StaticStructural, результаты представлены на рисунке 3.

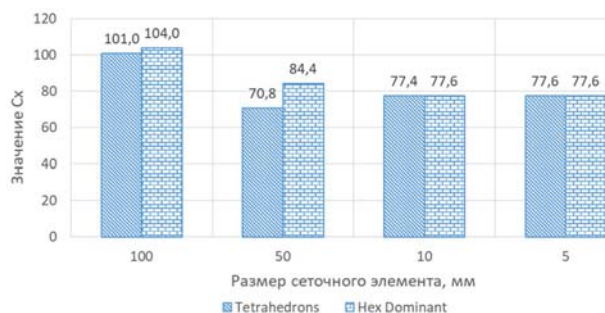


Рис. 3 – Результаты оценки перемещений свободного конца

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что при уменьшении размера элементов сеточной модели трубки значения перемещения свободного конца стремятся к некоторому пределу. Более «гладкое» решение получается при использовании метода Sweep, минимальный размер элемента, при котором наблюдается отклонение результатов расчёта менее 0,5%, составляет 5 мм.

Определение максимального значения R_{nx} , при котором наблюдается потеря устойчивости рассматриваемой конструкции, производится в toolbox – Eigenvalue Buckling. Результаты расчёта показали, что потеря устойчивости произойдёт при значении горизонтальной составляющей силы R_{nx} – 12,8 кН. Максимальные напряжения как и нарушение целостности МТП наблюдаются в основании жёсткой заделки (в месте крепления МТП к раме).

Для увеличения допустимого значения силы R_{nx} необходимо исследовать влияние и определить наиболее оптимальные геометрические характеристики МТП. Исследуем влияние формы сечения трубчатого элемента на допустимую горизонтальную составляющую R_n . Многообразие конструктивных решений рассмотрено в ранее опубликованной работе [8]. Плоскоовальное сечение обеспечивает достаточную чувствительность, большую, чем сечение в виде восьмёрки, и в то же время способствует технологичности конструкции. Результаты оценки влияния размеров плоскоовального сечения показали, что более сплюснутая форма выдержит большую нагрузку (рис. 4а).

Пружина эллиптического сечения при одинаковых габаритах обладает большей чувствительностью по сравнению с плоскоовальными и восьмёркообразными. Результаты оценки влияния размеров эллиптического сечения также показали, что более сплюснутая форма тоже выдерживает большую нагрузку (рис. 4б).

Пружины восьмёркообразного сечения обладают большой прочностью и жёсткостью к действию внешних сил, их применяют для измерения повышенных давлений. Результаты оценки влияния размеров восьмёркообразного сечения показали (рис. 4в), что при прочих равных условиях такое сечение выдерживает большую нагрузку. Однако

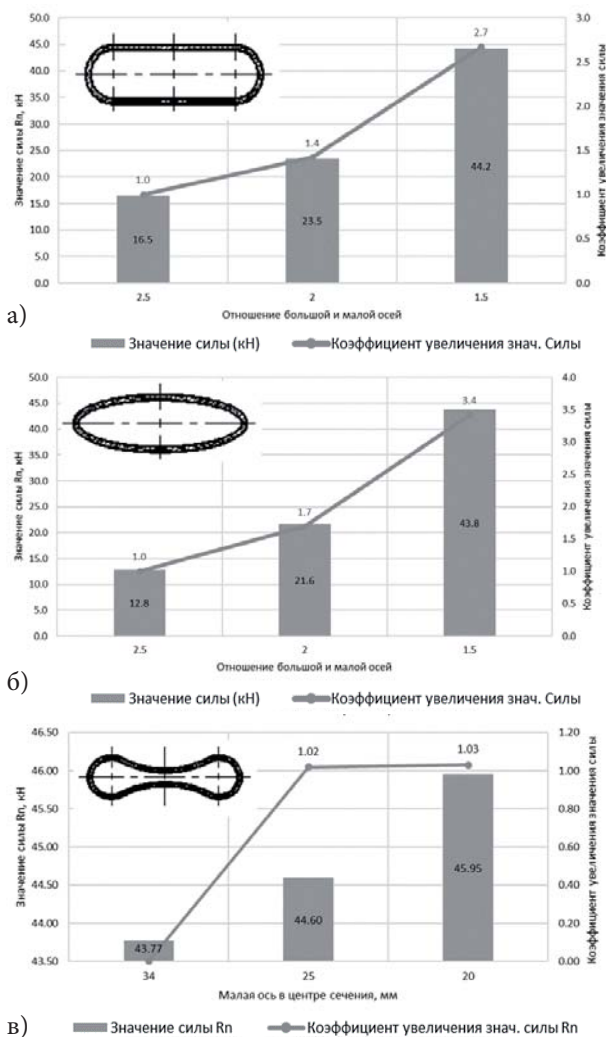


Рис. 4 – Оценка влияния формы поперечного сечения

следует отдать предпочтение плоскоовальной форме, как наиболее технологичной.

Для улучшения прочностных характеристик МТП предложен ряд конструкций пружин с переменным вдоль центральной оси сечением и толщиной стенки. С целью увеличения частоты собственных колебаний предложена манометрическая пружина с переменной, увеличивающейся от основания к её свободному концу толщиной стенки сечения.

Для повышения чувствительности, относительной жёсткости и прочности МТП, работающих в силовом режиме и в условиях вибрации, возможно использовать конструкцию МТП с переменным по длине сечением, плавно изменяющимся от эллиптического на свободном конце к восьмёркообразному на закреплённом.

С целью упрощения конструкции и расширения функциональных возможностей можно использовать конструкцию МТП, имеющую переменное по длине сечение, состоящую из нескольких соединённых между собой трубок, каждая из которых имеет постоянную толщину стенки и соотношение полуосей сечения, причём толщина стенки и раз-

мер полуосей сечения трубок увеличиваются от свободного конца пружины к закреплённому.

Исследуем влияние изменения толщины стенки вдоль МТП на R_{nx} . Результаты оценки (рис. 5) показали, что хоть наибольшие напряжения и возникают у основания МТП, увеличение толщины стенки около основания увеличит значение предельной силы лишь на 10%, в случае увеличения толщины стенки вдоль всей МТП увеличивает предельное значение R_n в 3 раза.

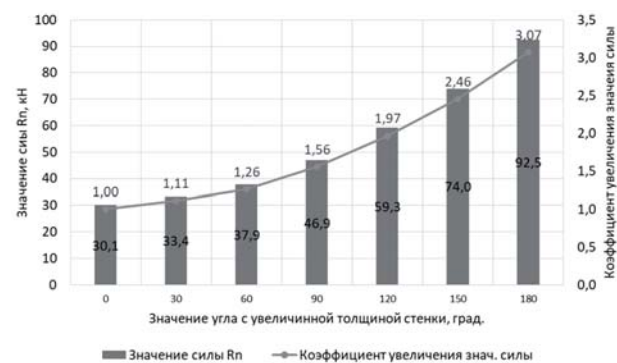


Рис. 5 – Оценка влияния изменения толщины стенки вдоль МТП на R_n

Выводы. Изменение массы рыхлительной лапы практически не оказывает влияние на R_{nx} , поэтому в расчётах на потерю устойчивости массой рыхлительной лапы можно пренебречь. Уменьшение центрального угла МТП увеличивает значение горизонтальной составляющей R_{nx} , а уменьшение радиуса кривизны МТП увеличивает значение R_{nx} .

При моделировании культиваторной стойки в виде гибкого трубчатого элемента было выявлено, что наилучший метод построения сетки (Tetrahedrons или Sweep) и минимальный размер элементов, обеспечивающих корректность решения без потери точности, составляет 1 мм. Потеря устойчивости предлагаемой стойки культиватора произойдёт при значении горизонтальной силы 12800 Н. Оценка влияния геометрических характеристик МТП позволяет увеличить значение горизонтальной силы R_{nx} . Предлагаемое поперечное сечение сохраняет устойчивость под действием силы сопротивления почвы до 12800 Н, что в реальности доказывает возможность применения предлагаемой конструкции даже на тяжёлых почвах. Применение пульсирующего гидравлического давления в пределах прочности материала создаст вибрационное воздействие лапы на почву и будет способствовать снижению тягового сопротивления.

Литература

1. Ерёмин Д.И., Ерёмин Д.В., Фисунова Ж.А. Физические свойства выщелоченных чернозёмов Северного Зауралья в условиях длительного сельскохозяйственного использования // Аграрный вестник Урала. 2009. № 4 (58). С. 49–51.
2. Абрамов Н.В., Ерёмин Д.И. Формирование профиля чернозёмов выщелоченных Северного Зауралья в условиях длительной распашки // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 3. С. 7–9.

3. Кокошин С.Н. Физические основы процесса разрушения почвы // Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2015. № 4 (31). С. 100–104.
4. Николаев Л.А., Союнов А.С. Применение вибрации в обработке почвы // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2017. № 1 (8). С. 36.
5. Пирогов С.П., Чуба А.Ю. Применение манометрических трубчатых пружин в сельскохозяйственных машинах // Агропродовольственная политика России. 2017. № 9 (69). С. 82–88.
6. Кокошин С.Н. Культиваторные стойки с изменяемой жёсткостью // Сельский механизатор. 2012. № 5. С. 8.
7. Патент РФ № 116000 U1 на полезную модель, А01В 39/20, А01В 35/20. Рабочий орган культиватора / А.А. Маратканов, Н.И. Смолин, С.Н. Кокошин, Н.Н. Устинов. Заявл. 03.05.2011; опубл. 20.05.2012. Бюл. № 14.
8. Пирогов С.П. Манометрические трубчатые пружины. СПб.: Недра, 2009. 276 с.
9. Устинов Н.Н., Маратканов А.А. Экспериментальное определение характеристик активного рабочего органа культиватора со стойкой в виде гибкого трубчатого элемента // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 4 (126). С. 102–105.
10. Пирогов С.П., Черенцов Д.А. Теоретические основы проектирования вибростойких манометров // Измерительная техника. 2016. № 8. С. 38–41.
11. Константинов М.М. Почвообрабатывающие орудия с источником направленных колебаний / М.М. Константинов, С.Н. Дроздов, А.У. Туманов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015. № 3 (53). С. 87–89.