

тельной коррекции и прочной фиксации грудного и поясничного отделов позвоночника при его повреждениях, деформациях, опухолях и др. заболеваниях. Достижимая достаточно прочная фиксация позвоночника обеспечивает возможность ранней активации пациентов в послеоперационном периоде с минимальным использованием внешней иммобилизации.

Этот далеко не полный перечень освоенной белорусскими организациями продукции медицинского назначения постоянно расширяется. В перспективе — освоение изделий из сплавов с эффектом памяти формы.

Рис. 5. Внутренний транспедикулярный фиксатор позвоночника

УДК 631.312.3: 519.25

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЧВЕННОЙ ФРЕЗЫ

*И.С. Нагорский, академик, В.В. Азаренко, к.т.н., В.К. Клыбик, инженер  
Институт механизации сельского хозяйства НАН Беларуси*

*Эксплуатация в течение трёх и более лет сенокосов и пастбищ с бобово-злаковым травостоем, вследствие его изреживания по тем или иным причинам, приводит к снижению их продуктивности. Эффективным приёмом поверхностного улучшения лугопастбищных угодий является подсев бобовых трав в разрыхлённые почвенной фрезой полосы. В РУНИП «Институт механизации сельского хозяйства НАН Беларуси» создана машина МТД-3 для экологически и экономически состоятельной безгербицидной технологии подсева трав в дернину.*

Обеспечение продовольственной безопасности страны на основе претворения в жизнь программы возрождения и развития села требует оснащения сельских производителей ресурсосберегающей техникой для интенсивных технологий. Это позволит, снизив себестоимость продукции, сделать её конкурентоспособной на внутреннем и внешнем рынках.

Важное направление совершенствования сельскохозяйственного производства нашей страны, с учётом её почвенно-климатических условий, — это приоритетное развитие отрасли животноводства и, прежде всего, создание для него прочной кормовой базы, в том числе за счёт устойчиво высокой продуктивности лугопастбищных угодий. Поэтому

актуальной задачей агроинженерной науки является обоснование рациональных параметров новой техники для поверхностного улучшения сенокосов и пастбищ подсевом бобовых трав.

**Агротехнические требования к полосовому подсеву трав.** Благоприятные условия для развития подсеваемых трав создаются измельчением дернины в обрабатываемой полосе, согласно требованиям агротехники, и ослаблением конкуренции всходам со стороны исходного травостоя.

За рубежом для подавления роста или уничтожения исходного травостоя на участках подсева используют гербициды. Однако, с учётом высокой стоимости химической обработки (затраты на обработку раундапом 1 га травостоя составляют

40...50 у.е.), загрязнения гербицидами кормов и окружающей среды, необходимости иметь специальные технические средства для их внесения, представляется наиболее перспективной экологически безопасная безгербицидная технология подсева трав в дернину.

Исследования структуры травостоя показали, что при такой технологии благоприятные условия прорастания семян бобовых трав создаются при ширине обработанной полосы 8...10 см, глубине фрезерования 2...6 см, высева в неё семян трав на глубину 0,5...1,0 см и прикатывании для надёжного контакта семян с почвой.

Согласно исходным требованиям на разработку машины для подсева трав в дернину [1, с. 190], в измельчённой почве фрезеруемых полос должны преобладать комки размерами менее 2,5 см (70 %), а комков размерами свыше 5,0 см не должно быть более 10 %. Таким образом, можно принять, что вероятность превышения агротехнического допуска  $[l]_1 = 0,025$  м  $P(l \geq [l]_1) = 0,3$  и для  $[l]_2 = 0,05$  м  $P(l \geq [l]_2) = 0,1$ .

**Методы исследования.** Теоретическое обоснование параметров конструкции и режимов работы почвенной фрезы проведено методом математического моделирования. Составлены уравнения образующей свободной поверхности стружки и траектории ножа, срезающего стружку, при попутном и встречном фрезеровании (по аналогии с обработкой металлов резанием [2, с. 517] попутным считаем фрезерование, когда направление движения ножей, срезающих стружку, противоположно поступательному движению фрезы).

В качестве целевой функции принята энергоёмкость фрезерования почвы

$$q_3 = q_3(v, r, \omega, h) = \min,$$

где  $v, r$  и  $\omega$  - соответственно скорость поступательного движения фрезы (м/с), её радиус (м) и угловая скорость вращения, рад/с;  $h$  - глубина фрезерования, м.

Проведен компьютерный эксперимент, в котором на трёх уровнях варьировали факторы  $x_j$  показателя  $q_3(x_j)$ , представленного уравнением регрессии в виде степенного многочлена. Коэффициенты регрессии определены шаговым регрессионным методом [3, с. 180-182, 188-203]: Начинали с построения корреляционной матрицы  $z$ -переменных и функции отклика [4], последовательно включали в уравнение регрессии переменные, наиболее сильно коррелированные с откликом, и дополнительно исследова-

ли на каждом шаге все ранее включённые в модель переменные с исключением из неё тех, вклад которых незначимый.

На основании уравнений, определяющих форму и размеры стружек, срезаемых ножами фрезы, выполнены расчёты размеров измельчённых частиц горизонтально и вертикально расположенных корневищ. С использованием геометрического определения вероятности получены статистические распределения (гистограммы) длин измельчённых корневищ. Это позволило, с учётом агротехнических требований, скорректировать режим работы фрезы так, чтобы при минимальной энергоёмкости обеспечивалось требуемое качество процесса фрезерования.

Достоверность теоретических положений проверена исследованием экспериментального образца фрезы в почвенном канале и реальных условиях её эксплуатации.

**Результаты исследования.** Энергоёмкость резания стружки по схеме попутного фрезерования ( $q_{3,п}$ ) меньше [5], чем при встречном фрезеровании ( $q_{3,в}$ ). Для локальной области факторного пространства, в которой наблюдаются наименьшие значения показателя  $q_3$ , например, если  $r = 0,25$  м,  $h = 0,08$  м,  $v = 2,0$  м/с,  $\omega = 40$  рад/с и  $z = 12$ , отношение  $q_{3,в}/q_{3,п} = 1,38$ . Таким образом, с точки зрения ресурсосбережения надо отдать предпочтение схеме попутного фрезерования.

Меньшая энергоёмкость попутного фрезерования по сравнению со встречным объясняется тем, что при одних и тех же параметрах конструкции и режимах работы площадь продольного сечения срезаемой стружки практически одинакова для обеих схем фрезерования, а длина пути резания стружки меньше при попутном фрезеровании.

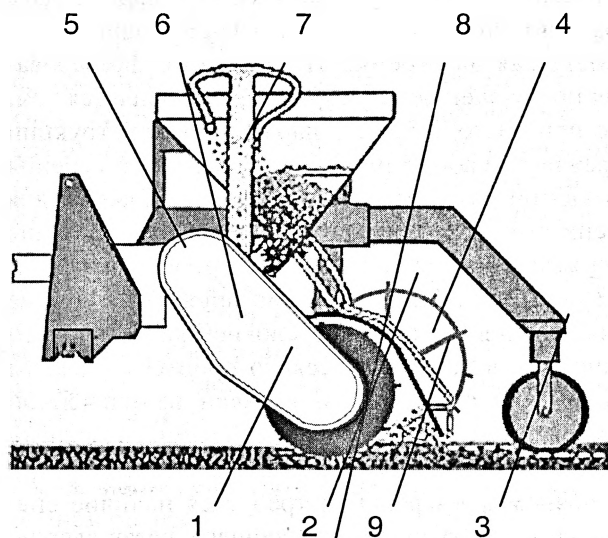
В пользу этой схемы можно привести и другие обоснования. Во-первых, условием качественного выполнения технологического процесса является заполнение фрезеруемой канавки измельчённой почвой. При попутном фрезеровании обеспечить выполнение этого условия проще, поскольку при встречном фрезеровании требуется наличие специального кожуха, охватывающего фрезу сверху, с направляющими ребрами над каждым диском с ножами. Это связано с увеличением металлоёмкости орудия в целом, дополнительными затратами энергии на транспортирование почвы под кожухом, угрозой забивания пространства под кожухом растительными остатками. Более того, во избежание выброса камней, направленного на

трактор и кабину тракториста, необходимо оснастить охватывающий фрезу кожух лыжей, которая пружинами должна прижиматься к почве. Это, в свою очередь, чревато возникновением перед ней призмы волочения и опять-таки увеличением сопротивления перемещению почвообрабатывающего орудия.

Во-вторых, в пользу попутного фрезерования можно отнести то, что снятие стружки в этом случае начинается ударом ножа о почву, а это способствует её крошению. Наоборот, в конце отделения стружки при встречном фрезеровании происходит её отрыв (скол) без должного крошения.

В-третьих, представляется, что избежать поломок при встрече ножей фрезы с крупными камнями более вероятно, используя схему попутного фрезерования, поскольку в этом случае диски с ножами перекачиваются по препятствию.

С учётом требуемого агротехникой измельчения дернины, а также других ограничений, определены следующие рациональные параметры конструкции и режимы работы фрезы:  $r = 0,25$  м,  $h = 0,08$  м,  $v = 1,8$  м/с,  $\omega = 45$  рад/с и  $z = 12$ . Результаты проведенных исследований использованы при разработке новой машины МТД-3, технологическая схема (рис.) работы которой в полной мере соответствует требованиям безгербицидной технологии подсева трав в дернину.



Технологическая схема работы машины

При движении машины фрезерные диски 1, вращаясь попутно движению, прорезают в дернине полосы. Измельчённая почва, выбрасываемая фрезерными дисками, улавливается кожухом 2 и направляется на дно обрабатываемых полос.

Колесо 4 через механизм привода вращает катушку дозатора, которая подаёт семена из бункера 5 в эжекторную трубу 6. Воздушным потоком они транспортируются в распределитель 7 и далее по семяпроводам 8 к сошникам 9. Высеванные в обработанные полосы семена прикатываются катком 3. Таким образом, машина одновременно выполняет несколько технологических операций: фрезерование дернины, посев семян трав и прикатывание посевов. Требуемое давление на почву прикатывающих катков обеспечивается передачей на них части веса машины.

Основные технические показатели машины МТД-3 приведены в табл. 1.

Для расчёта экономической эффективности новой машины МТД-3 рассмотрены следующие варианты:

1. **Новый** — трактор МТЗ-1221 + новая машина МТД-3.

2. **Базовый отечественный** — трактор МТЗ-82+машина МД-3,6; МТЗ-80 + опрыскиватель Мекосан 2000-12 + 2 л/га раундапа.

3. **Базовый импортный** — трактор МТЗ-1221+сеялка Uni-Drill-4; МТЗ-80 + опрыскиватель Мекосан 2000-12 + 5 л/га раундапа.

Основными статьями затрат являются приведенные затраты на выполнение технологического процесса подсева семян трав в дернину лугов и пастбищ, а также затраты на гербициды, которые используют в базовых вариантах. Показатели экономической эффективности новой машины МТД-3 и базовых вариантов при сопоставимом объёме работ приведены в табл. 2.

Предлагаемый вариант имеет малый срок окупаемости абсолютных капитальных вложений и лучшие значения по удельным затратам, за исключением расхода топлива. Кроме того, при использовании в технологии подсева трав в дернину машины МТД-3 отпадает необходимость применения гербицидов, что благоприятно сказывается на окружающей среде.

ГУ «Белорусская МИС» по результатам приёмочных испытаний рекомендовала изготовить опытную партию машин МТД-3. В настоящее время 9 этих машин проходят хозяйственную проверку в Брагинском районе Гомельской области.

#### Выводы

1. Математическое моделирование технологических процессов сельскохозяйственного производства позволяет без значительных затрат материальных средств и времени обосновывать параметры новой техники на стадии её проектирования.

2. По экологическим и экономическим соображениям целесообразно применять безгербицидную технологию подсева трав на базе машины МТД-3.

**Таблица 1. Техническая характеристика машины МТД-3**

Показатели	Значения показателей
Тип машины	навесная
Агрегируется с трактором класса	2,0
Производительность за 1 ч основного времени, га	1,1...1,8
Ширина захвата, м	3,0
Рабочая скорость, км/ч	3,5...6,0
Норма высева семян, кг/га	5,0...15,0
Глубина обрабатываемых полос, см	не менее 2
Ширина обрабатываемых полос, см	8±2
Глубина заделки семян, см	не менее 0,5
Масса, кг	1350
Габаритные размеры, мм:	
длина	2500
ширина	3800
высота	2000

*Литература*

1. Исходные требования на разработку машины для подсева трав в дернину / Сборник исходных требований на тракторы и сельскохозяйственные машины. Т. 40, М.: Госагропром, 1988. 263 с.
2. Справочник машиностроителя: В 6 т. / Н.С. Ачеркан, М.П. Вукалович, В.Н. Кудрявцев и др.; Под ред. Э.А. Сатяля.- М.: Машиностроение, 1961-1964. Т.5. 920 с.
3. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Статистика, 1973. 392 с.
4. Нагорский И.С. Моделирование сельскохозяйственных объектов / Agricultural machinery, buildings, energy and hydraulic engineering, Transactions № 215.-Tartu: Estonian Agricultural University, 2002. s. 93-102.
5. Нагорский И.С., Азаренко В.В., Клыбик В.К. Исследование энергоёмкости фрезерования почвы / Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 4-й Международной научно-технической конференции // Ч. 2. Энергосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике. М.: ГНУ ВИЭСХ, 2004. С. 39-43.

**Таблица 2. Сравнительная экономическая оценка новой машины**

Показатели	Техника			Снижение затрат по вариантам, %
	отечественная МД-3,6	импортная Uni-Drill-4	новая МТД-3	
Срок окупаемости абсолютных капитальных вложений, лет			$\frac{2,2}{1,1}$	
Себестоимость механизированных работ, у.е./га	41,94	109,04	21,20	$\frac{49,5}{80,6}$
Годовая экономия себестоимости механизированных работ, у.е.			$\frac{3453}{14626}$	
Трудоёмкость механизированных работ, чел.-ч/га	1,23	0,40	0,87	$\frac{29,8}{-116,6}$
Годовая экономия труда, чел.-ч			$\frac{61,18}{-77,60}$	
Удельная металлоёмкость, кг/га	1,80	1,60	1,51	16,0
Годовая экономия металла, кг			$\frac{48}{15}$	
Удельный расход топлива, кг/га	13,04	5,75	17,06	$\frac{-30,8}{-196,8}$
Капитализированная стоимость новой техники, у.е.			$\frac{7760}{49505}$	
Цена техники (по данным завода-изготовителя), у.е.	7300	45000	7050	$\frac{3,4}{84,3}$

*Примечание.* В числителе приведено сравнение с базовым отечественным вариантом, в знаменателе — с базовым импортным.