

Литература

1. Janiak, G. Metodyka okreslania cech wytrzymaosciowych ziarna dla potrzeb procesow przetworstwa / G. Janiak, J. Laskowski // Biul. Nauk. Przem. Pasz. XXXV. – 1996. – N 1. – S. 45–58.
2. Методика обоснования параметров двухстадийного измельчителя зерна / В.Н. Дашков, Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд // Вестник БГСХА. – 2014. – № 2. – С. 190–193.
3. Мельников, С.В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С.В. Мельников. – Ленинград: Колос, 1978. – 560 с.
4. К вопросу об исследовании разрушения зерна при динамическом и статическом сжатии / Н.А. Воробьев, С.А. Дрозд, Л.Г. Ванькович, Т.В. Паромчик // МНПК: Пер. с/х продукции. – Минск: БГАТУ, 2015. – С. 153–156.

УДК 631.333:631.862

Э.В. Дыба
(РУП «НПЦ НАН Беларуси
по механизации сельского хозяйства»,
г. Минск, Республика Беларусь)

А.И. Бобровник
(Белорусский национальный
технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь)

**К ОБОСНОВАНИЮ ТИПА
РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ
ВНУТРИПОЧВЕННОГО
ВНЕСЕНИЯ ЖИДКОГО НАВОЗА**

Введение

Внесение жидкого навоза (ЖН) осуществляют внутрипочвенным или поверхностным способами. Внутрипочвенное внесение выполняется специальными комбинированными машинами. Процесс внутрипочвенного внесения ЖН происходит следующим образом. Во время движения машины рабочий орган образует канавку (щель, полость), размеры которой зависят от его типа и конструктивных и кинематических параметров. Навоз, находящийся в цистерне, подается по трубопроводам в распределитель (делительную головку), ротор которого, вращаясь, распределяет ЖН в равных количествах по выливным шлангам. Концы шлангов закреплены к рабочим органам таким образом, чтобы навоз из них непрерывно заполнял продельваемые в почве канавки. Объем подаваемого навоза должен быть равен объему образованной канавки.

Актуальность

Процесс внутрипочвенного внесения ЖН более энергоемок, чем распределение его по поверхности поля, так как операция внесения осуществляется одновременно с почвообработкой. Однако затраты окупаются дополнительной прибавкой урожая основных сельскохозяйственных культур на 10–15 %. При подаче навоза непосредственно в почву эффективно используется до 90 % аммиачного азота, исключение поверхностного стока и снижение испарения аммиачного азота ведет к уменьшению загрязнения окружающей среды [1].

Тип рабочих органов и их параметры выбираются с таким расчетом, чтобы при внутрипочвенном внесении не происходило выливания навоза на поверхность почвы. Поэтому обоснование типа и параметров рабочего органа для внутрипочвенного внесения навоза является актуальной задачей.

Основная часть

При разработке машин для внутрипочвенного внесения ЖН важно прежде всего обосновать тип рабочего органа, который в наибольшей степени удовлетворял бы

агротехническим требованиям, предъявляемым к машинам нового поколения. Рассмотрим известные конструкции рабочих органов машин для внутривспашечного внесения навоза и выполним анализ на соответствие агротехническим требованиям, предъявляемым к внутривспашечному внесению ЖН для условий республики.

В качестве рабочих органов на машинах для внутривспашечного внесения ЖН используют плоский диск, стрелчатую лапу на жесткой стойке, долотообразную рыхлительную лапу, стрелчатую лапу на чизельной стойке, клиновидный рабочий орган, инжекторное колесо, сферический диск [2–8]. В настоящее время чаще всего для заделки навоза в почву используют плоский диск, стрелчатую лапу на жесткой стойке и сферический диск. Рассмотрим принцип действия каждого из них на предмет выбора наиболее рационального для условий Беларуси.

Плоский диск (рисунок 1) в качестве рабочего органа для доставки ЖН в почву используют такие фирмы, как Zunhammer, Fliegl (Германия); Joskin (Бельгия); Bomex,



Ag-Chem-Europe, Kaweco (Нидерланды); Samson Agro (Дания); Maugum Citagri, Sodimas (Франция). Рабочий орган состоит из плоского заостренного диска, прикрепленного к ступице, в которой запрессованы два шариковых подшипника, фиксированных от боковых смещений. Ступица с диском вращается на оси, закрепленной на кронштейне, соединенном с наконечником. Диск разрезает почву на глубину до 8 см, оставляя после себя щель, в которую через наконечник подается необходимая доза ЖН.

Рисунок 1. – Плоский диск

Как отмечалось выше, для исключения выхода навоза из канавки, образуемой рабочим органом, на поверхность почвы объем его $V_{жс}$, подаваемый через один разливочный шланг, должен соответствовать вместимости формируемой канавки, то есть удовлетворять условию:

$$V_k \geq V_{жс}, \quad (1)$$

где V_k – объем канавки, образованный одним рабочим органом, $м^3$;
 $V_{жс}$ – объем навоза, подаваемый через один разливочный шланг, $м^3$.

После прохода плоского диска в почве остается щель (рисунок 2), объем которой определяется выражением:

$$V_k = b \cdot h \cdot l_{нд},$$

где b – ширина щели, $м$;
 h – глубина щели, $м$;
 $l_{нд}$ – длина открытой щели, $м$.

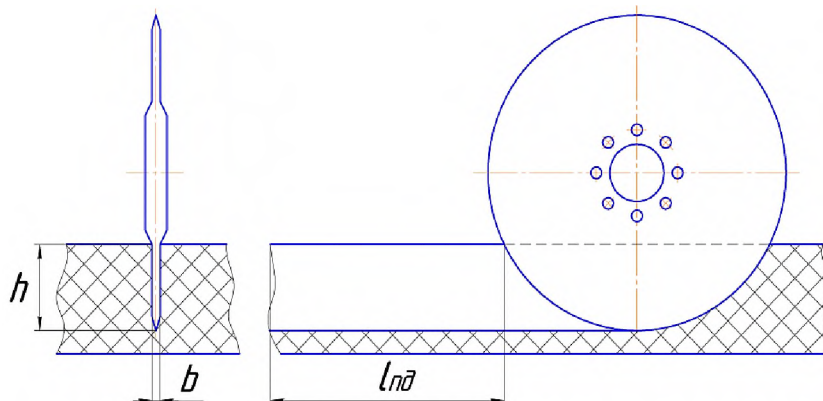


Рисунок 2. – Профиль щели, образованной плоским диском в почве

В силу наличия реологических свойств почва стремится вернуться в первоначальное состояние, поэтому щель, образованная плоским диском, существует непродолжительное время, а ее длина $l_{нд}$ стремится к нулю. В этой связи необходимо ввести коэффициент, который будет учитывать изменение параметров образованной щели:

$$V_k = b \cdot h \cdot l_{нд} \cdot k_p,$$

где k_p – коэффициент, учитывающий изменение ширины щели под действием реологических свойств почвы (значение коэффициента определяется экспериментально для различных типов почв).

Недостатком плоских дисков является малая ширина и глубина прорезаемых ими в почве щелей, в которые по трубкам подается навоз. А поскольку вносимые дозы ЖН варьируют в широком диапазоне (от 20 до 80 *т/га* и более), то такие устройства не обеспечивают внутривредного внесения их в полном объеме. Значительная доля удобрений растекается по поверхности почвы. При внесении удобрений такими устройствами на почвах, характеризующихся слабой водопроницаемостью, щели, прорезываемые плоскими дисками, тем более не обеспечивают необходимой впитываемости. В конечном итоге эффект от применения данного рабочего органа сопоставим с поверхностным внесением ЖН, кроме того, он не выполняет никакой почвообрабатывающей операции, например лущения, рыхления.

Таким образом, с технологической точки зрения такие устройства могут иметь только ограниченное использование в республике при подкормке трав, сенокосов обеззараженным ЖН.



Рисунок 3. – Стрельчатая лапа на жесткой стойке

Стрельчатую лапу на жесткой стойке (рисунок 3) в качестве рабочего органа для доставки ЖН в почву используют такие фирмы, как Fliegl (Германия); Joskin (Бельгия); Pichon, Maugum Citagri, Sodimac (Франция); Kaweco (Нидерланды); Samson Agro (Дания); Bauer (Австрия); Tezborg Agro (США – Канада). Копьевидный наконечник стрельчатой лапы прикреплен к жесткой стойке. Угол наклона лезвия к горизонтальной плоскости – 23...30°, угол между лезвиями – 60...65°, ширина захвата – 100–300 мм. Стрельчатая лапа одновременно с подрезанием сорной растительности рыхлит почву на глубину 6–15 см. К задней части стойки прикреплено сопло, через которое осуществляется подача ЖН в полости, образовавшиеся после прохода стрельчатой лапы.

При использовании стрельчатой лапы почва деформируется и перемещается в продольном, поперечном и вертикальном направлениях, что приводит к образованию полости в виде призмы (рисунок 4). Ее объем определяется по формуле:

$$V_{кл} = \frac{1}{2} b_1 \cdot h_1 \cdot l_{сл},$$

где b_1 – ширина захвата стрельчатой лапы, м;

h_1 – высота стрельчатой лапы, м;

$l_{сл}$ – длина открытой полости, м.

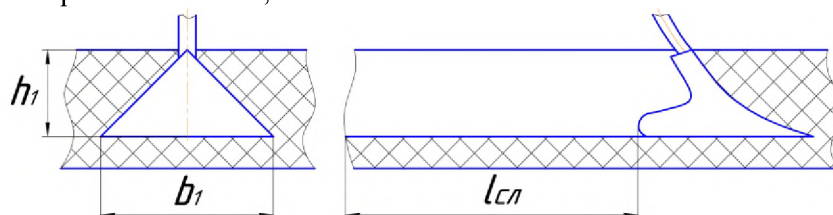


Рисунок 4. – Профиль полости, образованной стрельчатой лапой в почве

После прохода данного рабочего органа может происходить осыпание почвы, поэтому длина полости, образованной стрелчатой лапой $l_{сл}$, как и в случае с плоским диском, будет принимать близкое к нулю значение, что приведет к уменьшению объема образованной полости. Поэтому следует ввести коэффициент, учитывающий изменение объема полости после осыпания почвы:

$$V_{к1} = \frac{1}{2} b_1 \cdot h_1 \cdot l_{сл} \cdot k_o,$$

где k_o – коэффициент осыпания почвы (значение коэффициента определяется экспериментально для различных типов почв).

Недостатком этого рабочего органа является неизменность, причем малого, объема полости под стрелчатой лапой, в которую подается из цистерны навоз. Данный факт обуславливает прием внутрипочвенно только незначительного количества навоза. Практически вносимые основные дозы варьируют еще в большем диапазоне по сравнению с подкормочными (от 40 до 180 $m/га$). Поэтому большая часть навоза выдавливается (выливается) на поверхность почвы. Следовательно, эффект от внутрипочвенного внесения навоза с использованием стрелчатой лапы будет неполным, так как испарение аммиачного азота с поверхности почвы при этом не исключается. Поэтому данный тип рабочего органа в условиях республики будет иметь ограниченное использование.

При движении агрегата *сферический диск* образует в почве канавку желобчатой формы (рисунок 5). Причем кверху ширина канавки увеличивается, стенки ее получают наклонными (отклонены от вертикали). Тем самым обеспечиваются устойчивость формы и постоянство размеров канавки на большинстве типов почв.

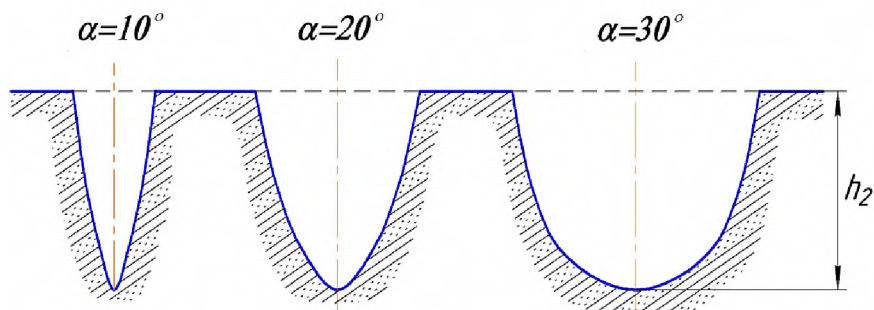


Рисунок 5. – Схема канавок при различных углах атаки диска

Даже на чистых песчаных почвах канавка может сохраняться открытой (неосыпавшейся) какое-то время. При этом минимальный объем канавки $V_{к \min}$ (рисунок 6) для приема навоза определится с достаточной для практики точностью по формуле:

$$V_{к \min} = \frac{1}{2} \cdot h_2 \cdot r_д^2 \cdot tg\alpha,$$

где h_2 – глубина канавки, образованной сферическим диском, m ;

$r_д$ – радиус сферического диска, m ;

α – угол атаки сферического диска, $град$.



1 – разливочный шланг; 2 – сферический диск

Рисунок 6. – Схема к определению объема канавки

Как отмечалось выше, канавка, проделанная сферическим диском, практически не деформируется и сохраняется до тех пор, пока соседний сферический диск не сместится на расстояние $l_{сд}$, равное дальности отбрасывания почвы в продольном направлении Y_T , и не закроет канавку отбрасываемой почвой. Тогда время сохранения открытой канавки Δt будет равно

$$\Delta t = \frac{Y_T}{g}, \quad (2)$$

где Y_T – дальность отбрасывания почвы диском в продольной плоскости, м;

g – поступательная скорость движения агрегата, км/ч.

Дальность отбрасывания почвы в продольном направлении можно определить по выражению [9]:

$$Y_T = \frac{1}{g} \cos^2 \alpha \sqrt{g^2 \cos^2 \alpha + \frac{0,84 q (f - \varphi_{em}) \operatorname{tg} \alpha \sqrt{h_2^3 (2r_\partial - h_2)}}{m}}, \quad (3)$$

где q – коэффициент объемного смятия почвы, МН/м³;

f – коэффициент внешнего трения почвы о сталь;

φ_{em} – коэффициент внутреннего трения почвы;

m – масса единицы объема, приходящаяся на площадь соприкосновения в зоне сжатия, кг/м²;

g – ускорение свободного падения, м/с².

Подставив уравнение (3) в выражение (2), определим время существования открытой канавки:

$$\Delta t = \frac{1}{g} \cos^2 \alpha \sqrt{g^2 \cos^2 \alpha + \frac{0,84 q (f - \varphi_{em}) \operatorname{tg} \alpha \sqrt{h_2^3 (2r_\partial - h_2)}}{m}}.$$

С учетом формулы (3) можно вычислить фактический объем канавки:

$$V_{к 2} = V_{к \min} + \frac{1}{2} Y_T b_2 h_2 = \frac{1}{2} h_2 (r_\partial^2 \operatorname{tg} \alpha + Y_T b_2), \quad (4)$$

где b_2 – ширина канавки, м.

Ширину канавки определим по формуле [10]:

$$b_2 = 2 \sin \alpha \sqrt{h_2 (2r_\partial - h_2)}.$$

Сферический диск имеет вырезы, которые оказывают влияние на величину объема формируемой канавки.

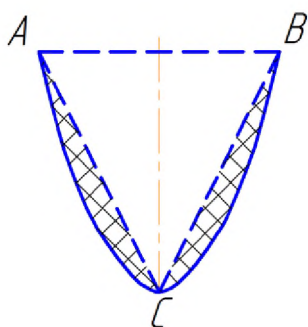


Рисунок 7. – Схема к определению неучтенного объема канавки

При определении фактического объема канавки форму поперечного сечения мы с некоторым допущением представили в виде сегмента ABC (рисунок 7), а открытую часть – в виде прямоугольного треугольника. Так как боковые стенки канавки имеют криволинейную поверхность, то существует зазор между стенками канавки и сторонами сегмента ABC , который и компенсирует неучтенную площадь, образуемую за счет вырезов в диске. Результаты расчетов объема полостей, образованных плоским диском, стрельчатой лапой и сферическим диском, приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты расчетов объема полостей, образованных плоским диском, стрельчатой лапой и сферическим диском

$\alpha, \text{град.}$	при $h = 0,06 \text{ м}$			при $h = 0,08 \text{ м}$		
	$V_k, \text{ м}^3$	$V_{к1}, \text{ м}^3$	$V_{к2}, \text{ м}^3$	$V_k, \text{ м}^3$	$V_{к1}, \text{ м}^3$	$V_{к2}, \text{ м}^3$
15	0,00076	0,0018	0,0017	0,00095	0,00225	0,0026
20			0,0022			0,0036
25			0,0027			0,0040
30			0,0030			0,0046

Расчеты показывают, что наиболее эффективным рабочим органом для внутрпочвенного внесения ЖН является сферический диск, прорезывающий канавки в почве для приема ЖН в широких пределах вносимых доз с одновременным ее лушением. Из расчетов видно, что при скорости движения агрегата $\mathcal{G} = 2,22 \text{ м/с}$ и изменении угла атаки диска в диапазоне от 15° до 30° фактический объем канавки, в зависимости от ее глубины $h = 0,06 \dots 0,08 \text{ м}$, составляет $V_{к2} = 0,0017 \dots 0,0046 \text{ м}^3$.

Учитывая дальность отбрасывания почвы в поперечном направлении Y_T , определим объем жидкости, подаваемой через разливочный шланг:

$$V_{жс} = \frac{Y_T B D}{10^4 \rho n}, \quad (5)$$

где B – ширина захвата агрегата, м ;
 D – доза внесения навоза, т/га ;
 ρ – плотность навоза, т/м^3 ;
 n – количество сферических дисков в одном ряду адаптера, шт .
 Подставив в условие (1) формулы (4) и (5), получим:

$$\frac{1}{2} h_2 (r_o^2 \operatorname{tg} \alpha + Y_T b_2) \geq \frac{Y_T B D}{10^4 n \rho}.$$

Результаты технологического расчета взаимоувязки параметров роторного распределителя и дискового адаптера приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Результаты расчета доз и объема подаваемого в канавки ЖН, объема образованных канавок при различной скорости движения агрегата

$D, \text{ м}$	$\alpha, \text{ град.}$	$h, \text{ м}$	$\mathcal{G}, \text{ м/с}$	$D, \text{ т/га}$	$V_{жс}, \text{ м}^3$	$V_{к0}, \text{ м}^3$
0,5	22	0,06	1,67	67,4	0,00044	0,0018
			1,95	57,8	0,00038	0,0021
			2,22	50,6	0,00033	0,0024
			2,5	44,9	0,00029	0,0028
			2,78	40,5	0,00026	0,0033
			3,05	36,8	0,00024	0,0037
			3,33	33,7	0,00022	0,0043

Из данных таблицы 1 следует, что при скорости движения агрегата от 1,67 до 3,33 м/с будет обеспечиваться заданная доза внесения навоза в интервале от 30 до 60 т/га. Кроме того, будет выполняться условие (1), при котором исключается выход навоза из канавки на поверхность почвы, что соответствует агротехническим требованиям внутрипочвенного внесения удобрений.

Заключение

1. Наиболее эффективным рабочим органом для внутрипочвенного внесения навоза является сферический диск, продельвающий канавки в почве для приема навоза в широких пределах вносимых доз с одновременным ее мульчированием.

2. Полученные формулы позволяют выполнить согласование объема канавки и объема подаваемого навоза в нее без перелива через край.

3. Для адаптера со сферическими дисками при рабочих скоростях $v = 6 \dots 12$ км/ч, диапазонах доз $D = 30 \dots 60$ т/га и углах атаки $\alpha = 10 \dots 30^\circ$ обеспечивается условие, при котором исключается перелив навоза через край канавки на поверхность почвы.

22.06.2016

Литература

1. Попробуйте органику! Современные технологии внесения в почву отходов животноводства // Новое сельское хозяйство. – 2009. – № 2. – С. 58–63.
2. Sexton, B. Performance evaluation of five liquid manure injection systems / B. Sexton, B. Metzger, V. Nelson // Practical information for Alberta Agriculture Industry. – 2005. – Vol. 743, № 1. – P. 4–27.
3. Chen, Y. A liquid manure injection tool adapted to different soil conditions / Y. Chen // Transactions of the ASAE. – 2002. – Vol. 45, № 6. – P. 1729–1736.
4. Nyord, T. Injection methods to reduce ammonia emission from volatile liquid fertilisers applied to growing crops / T. Nyord [et al.] // Biosystems Engineering. – 2008. – Vol. 100, № 1. – P. 235–244.
5. Chen, Y. High performance tool for liquid manure injection / Y. Chen, X. Ren // Soil and Tillage Research. – 2002. – Vol. 67. – P. 75–83.
6. Moseley, P.J. The effect of injector tine design on odour and ammonia emissions following injection of bio-solids into arable cropping / P.J. Moseley [et al.] // Journal of Agricultural Engineering Research. – 1998. – Vol. 71. – P. 385–394.
7. Rahman, S. Performance of a liquid manure injector in a soil bin and on established forages / S. Rahman [et al.] // Canadian Biosystems Engineering. – 2001. – Vol. 43. – P. 33–40.
8. Rodhe, L. The influence of shallow injector design on ammonia emission and draught requirement under different soil conditions / L. Rodhe, T. Rydberg, G. Gebresenbet // Biosystems Engineering. – 2004. – Vol. 89. – P. 237–251.
9. Степук, Л.Я. Обоснование шага установки дисков и расстояния между их рядами в адаптере для внутрипочвенного внесения жидкого навоза / Л.Я. Степук, А.А. Жешко, Э.В. Дыба // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2013. – Вып. 47. – Т. 1. – С. 132–140.
10. Бледных, В.В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий / В.В. Бледных. – Челябинск, 2010. – 203 с.