

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК631.862.2:631.333

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-28-33

**Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений и оценка их доз***Андрей Иванович Панов, канд. техн. наук, доцент*panov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8673-0885>*Николай Васильевич Алдошин*[✉], *д-р техн. наук, профессор*aldoshin@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>*Александра Анатольевна Манохина, д-р с.-х. наук, профессор*a.manokhina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9785-1164>*Валентин Владимирович Семин, аспирант*

vsemin@mzpotok.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

Аннотация. Внесение жидких органических удобрений в больших дозах (до 100 т/га и выше) внутрь почвы с использованием чизельного глубокорыхлителя со шланговой системой позволяет повысить плодородие почвы и является экологически безопасным. На чизельном глубокорыхлителе возможна установка 5 или 6 чизельных лап с плоскорезными открьлками (малыми с шириной захвата 325 мм и большими – 800 мм) с шириной междуследий стоек в поперечном направлении соответственно 890 и 680 мм. Глубина хода чизельных лап составляет 20...40 см. Рабочая скорость агрегата – 0,5...1,4 м/с. С целью оценки возможного количества вносимых жидких органических удобрений создана математическая модель, позволяющая определить дозу удобрений в зависимости от конструкционных и технологических параметров (геометрии и глубины установки чизельных лап с открьлками различной ширины захвата в вариантах настройки орудия для 5 и 6 рабочих органов, скорости движения агрегата) и свойств почвы. Установлено, что в диапазоне рабочих скоростей 0,5...0,8 м/с максимальная доза внесения жидких органических удобрений глубокорыхлителем с 5 рабочими органами с открьлками шириной 0,8 м составляет 80...90 т/га, с 6 рабочими органами – 110...120 т/га. Результаты исследований показывают, что различные варианты настройки агрегата обеспечивают внесение жидких органических удобрений в дозе от 40 до 120 т/га в соответствии с агротехническими требованиями и экологичностью технологии.

Ключевые слова: внесение жидких органических удобрений, внутрипочвенное внесение, доза внесения жидких органических удобрений, чизельный глубокорыхлитель

Формат цитирования: Панов А.И., Алдошин Н.В., Манохина А.А., Семин В.В. Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений и оценка их доз // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 2. С. 28-33. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-28-33>

© Панов А.И., Алдошин Н.В., Манохина А.А., Семин В.В., 2023

ORIGINAL ARTICLE

Assessment of the application rates of liquid manure sub-soil injection*Andrey I. Panov, PhD (Eng), Associate Professor*panov@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8673-0885>*Nikolay V. Aldoshin*[✉], *DSc (Eng), Professor*aldoshin@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>*Aleksandra A. Manokhina, DSc (Ag), Professor*a.manokhina@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9785-1164>*Valentin V. Semin, postgraduate student*

vsemin@mzpotok.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

Abstract. The subsoil injection of liquid manure in large application rates (up to 100 t/ha and above) using a chisel subsoiler with a hose system increases soil fertility and is environmentally safe. A chisel subsoiler can be equipped with five or six chisel tools with flat-cut openers (small, with a working width of 325 mm and large 800 mm) with a width of tine spacing in the transverse direction of 890 and 680 mm, respectively. The depth of the chisel tools is 20 to 40 cm. The operating speed of the unit is 0.7 to 1.4 m/s. To assess the possible amount of applied liquid manure, the authors have obtained a mathematical

model determining the application rate of fertilizers depending on the design and technological parameters (the geometry and installation depth of chisel tools of various widths in the tool settings, the unit speed) and soil properties. It has been established that in the range of operating speeds of 0.5 to 0.8 m/s, the maximum application rate of liquid manure for a subsoiler with five working tools with openings 0.8 m wide is 80 to 90 t/ha, with six working tools – 110 to 120 t/ha. The research results show that various options for the unit settings provide for the application of liquid manure at a rate of 40 to 120 t/ha in accordance with agrotechnical requirements and environmental friendliness of the technology.

Keywords: application of liquid manure, subsoil injection, application rates of liquid fertilizers, chisel subsoiler

For citation: Panov A.I., Aldoshin N.V., Manokhina A.A., Semin V.V. Assessment of the application rates of liquid manure sub-soil injection. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(2):28-33. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-28-33>

Введение. Внесение жидких органических удобрений большими дозами (до 100 т/га и выше) внутрь почвы при ее обработке позволяет сохранить ее плодородие [1]. Технология внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений с помощью шланговых систем имеет ряд преимуществ: максимальное обеспечение питательными веществами выращиваемых культур; использование до 90% аммиачного азота, содержащегося в жидком навозе; исключение поверхностного стока и существенное снижение испарения аммиака в атмосферу; ускоренное разложение растительных остатков и сидератов после заделки их в почву; равномерное распределение органических удобрений на большую глубину (до 36...40 см) слоя почвы; снижение неблагоприятных экологических последствий внесения больших доз жидкого навоза [2, 3].

Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений позволяет решить важную экологическую задачу по утилизации жидких фракций навоза с животноводческих ферм и снабжает растениеводство ценным органическим удобрением, играющим важную роль в сохранении почвенного плодородия и повышении продуктивности сельскохозяйственных культур без риска накопления избыточных нитратов в продукции [4]. При этом возникает вопрос о том, какие нормы внесения удобрений допустимы в определенных природно-производственных условиях с учетом параметров конструкции почвообрабатывающих орудий и режимов их работы [5].

Цель исследований: произвести оценку возможных доз внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений в зависимости от параметров и режимов работы почвообрабатывающих орудий в различных природно-производственных условиях с обеспечением экологичности технологии.

Материалы и методы. Для реализации данной технологии в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева создано орудие, в состав которого входят [6]:

- напорная шланговая система для транспортировки жидких органических удобрений от места накопления и хранения до поля;

- чизельный глубокорыхлитель-щелеватель с катком, выполняющий рыхление почвы, инъекцию заданной дозы удобрений внутрь почвы и выравнивание поверхности поля (рис. 1);

- пневматическая сеялка для одновременного высева промежуточной культуры (сидератов).

По шланговой магистрали 1 жидкие органические удобрения поступают к распределительному узлу 2 и по шлангам 3 подводятся к каждому из почвообрабатывающих рабочих органов на глубину обработки. Давление в шланговой магистрали 1 обеспечивается при помощи насосной станции, производящей перекачку удобрений. При больших расстояниях перекачки жидкой фракции могут дополнительно устанавливаться промежуточные насосные станции, поддерживающие необходимое давление в магистрали. Суммарная площадь сечений распределительных шлангов 3 не должна превышать площадь сечения шланговой магистрали 1.

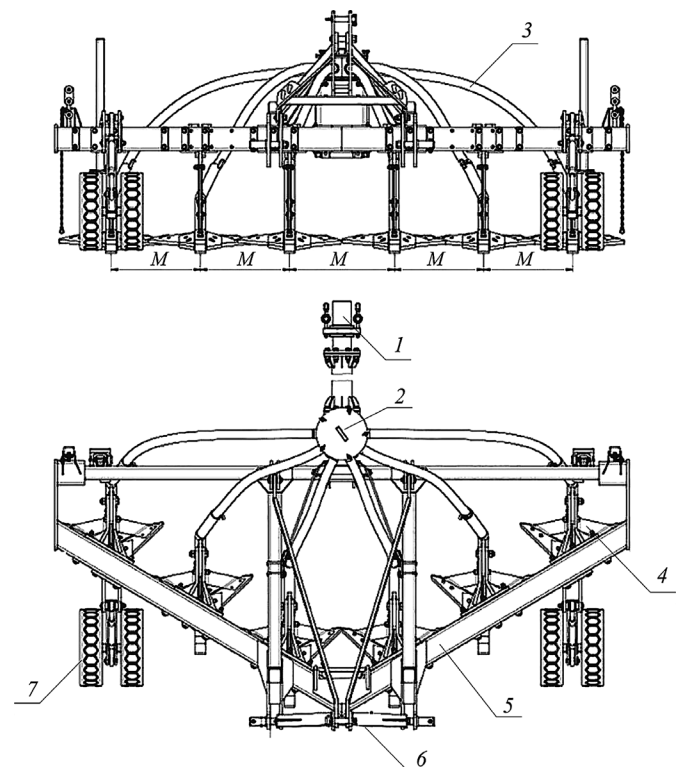


Рис. 1. Чизельный глубокорыхлитель для внутрипочвенного внесения жидкого навоза. Общий вид:

1 – шланговая магистраль;
2 – распределительный узел жидких органических удобрений;
3 – распределительные шланги; 4 – чизельные рабочие органы;
5 – рама; 6 – навесное устройство; 7 – опорные колеса

Fig. 1. Subsoiler used for the injection of liquid manure. General view:
1 – hose line; 2 – liquid manure distributing unit;
3 – distributing hoses; 4 – working tools;
5 – frame; 6 – mounting device; 7 – support wheels

Для полной инфильтрации больших доз жидких органических удобрений (100 т/га и более) пласты почвы на значительной глубине обработки (до 40 см) должны быть тщательно разрыхлены. Поэтому для внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений в качестве рабочих органов целесообразно использовать чизельные лапы, обеспечивающие максимальные зоны деформации пластов почвы на максимально возможную глубину¹.

Отличительной особенностью используемых чизельных лап является возможность их различной расстановки на раме орудия с шириной захвата 4 м. В зависимости от мощности двигателя трактора, его тягово-сцепных свойств и заданной дозы внесения удобрений на орудии может быть установлено 5 или 6 лап с различной шириной междуследий стоек в поперечном направлении $M = 680$ и 890 мм, а также чизельные лапы с плоскорезными открывками (малыми с шириной захвата $b = 325$ мм и большими $b = 800$ мм) (рис. 2).

При помощи чизельных лап происходит рыхление слежавшегося уплотненного пласта почвы. В основе технологического процесса работы чизельных лап лежит резание почвы клином с плоской рабочей поверхностью, сводящееся к разрушению почвенного пласта путем сдвига (скалывания) на куски (стружку) трапецеидальной формы [7].

Для анализа данного технологического процесса целесообразно использовать методы компьютерного моделирования [8, 9].

Распространение деформации почвы в стороны в поперечно-вертикальной плоскости ограничивается предельной глубиной обработки h_k , называемой критической. Дальнейшее заглубление рабочего органа

сопровождается смятием почвы в продольном направлении без увеличения зоны рыхления в поперечном направлении, поэтому увеличение глубины a установки чизельных лап больше критической глубины h_k нецелесообразно как с точки зрения увеличения поперечного сечения разрыхляемых пластов почвы, так и с учетом повышенного тягового сопротивления машины.

Произведенные расчеты показали, что для чизельных лап использованной конструкции на влажных тяжелых суглинистых и глинистых почвах критическая глубина составляет $h_k = 36 \dots 38$ см. Глубина хода чизельных лап рассматриваемого орудия регулируется в пределах $a = 20 \dots 40$ см.

В случае, когда глубина обработки a не превышает критическую глубину h_k , поперечная зона рыхления имеет форму трапеции. На чизельных лапах данной машины могут устанавливаться или сниматься открывки для увеличения или уменьшения площади поперечного сечения разрыхляемого пласта.

Ширина деформируемой полосы почвы на поверхности поля i -й лапой в поперечном сечении составляет:

$$b_{pi} = b_i + 2a \operatorname{tg}(\theta / 2), \text{ м}, \tag{1}$$

где b_i – ширина захвата i -й лапы, м; $\theta/2$ – угол скалывания почвы, °.

Схемы трапецевидных зон деформации чизельных лап с открывками различной ширины захвата представлены на рисунке 3.

Площадь поперечного сечения пласта разрыхляемой почвы в виде трапеции может быть определена для i -го рабочего органа по формуле:

$$S_i = (b_i + b_{pi}) a / 2, \text{ м}^2. \tag{2}$$

Основным агротехническим требованием при внутрипочвенном внесении жидких органических удобрений является их полная инфильтрация в почву без остатка на поверхности. Предполагая, что объем

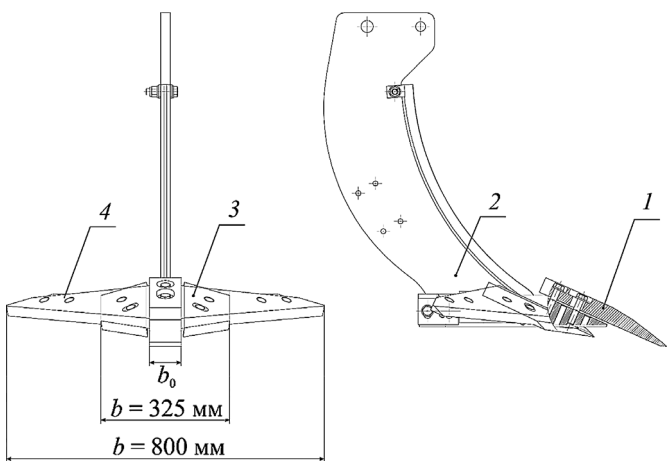


Рис. 2. Схема чизельной лапы с открывками: 1 – долото; 2 – стойка; 3 – открывки малые; 4 – открывки большие

Fig. 2. Scheme of the chisel tine with openers: 1 – chisel; 2 – leg; 3 – small openers; 4 – large openers

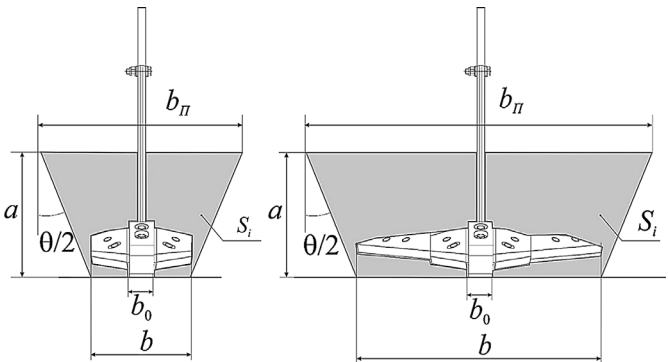


Рис. 3. Поперечные зоны деформации почвы на глубину a чизельной лапой с открывками различной ширины захвата b

Fig. 3. Transverse zones of soil deformation at depth a , by the chisel tine with openers of different working width b

¹ Машиностроение: Энциклопедия: В 40 т. / И.П. Ксеневич, Г.П. Варламов, Н.Н. Колчин и др. Т. IV-VI. М.: Машиностроение, 2002. 720 с.

зоны рыхления лап равен объему жидких органических удобрений, можно рассчитать их расход через шланговую магистраль, распределительный узел и n рабочих органов:

$$q = \sum_{i=1}^n S_i \cdot v, \text{ м}^3/\text{с}, \tag{3}$$

где v – скорость движения агрегата, м/с.

Доза внесения жидких органических удобрений на единицу площади поля составляет:

$$Q = \frac{q\rho}{10Bv}, \text{ т/га}, \tag{4}$$

где ρ – плотность жидких органических удобрений, кг/м³; B – общая ширина захвата орудия, м.

Результаты и их обсуждение. Для данной математической модели составлена программа в компьютерном приложении для электронных таблиц Microsoft Excel. Исходные данные для расчёта дозы внесения жидких органических удобрений приведены в таблице.

На основании произведенных расчетов по описанной выше математической модели можно получить ряд теоретических зависимостей параметров, характеризующих агротехнические показатели работы агрегата.

Примеры зависимостей доз внесения жидких органических удобрений Q на единицу площади поля от скорости v движения и глубины a установки чизельных лап для вариантов настройки орудия с 5 и 6 рабочими органами, с открьлками различной ширины захвата b представлены на рисунках 4, 5.

Анализ расчетов позволил определить, что увеличение ширины захвата орудия в целом и ширины открьлков чизельных лап обеспечивает прямо пропорциональное повышение доз внутрипочвенного внесения удобрений. При использовании орудия в 5-лаповом варианте с рабочими органами, имеющими открьлки шириной $b = 0,8$ м, максимальная доза внесения жидких органических удобрений составляет $Q = 80 \dots 90$ т/га, в 6-лаповом варианте – $Q = 110 \dots 120$ т/га при работе в диапазоне скоростей $0,5 \dots 0,8$ м/с.

Таблица

Исходные данные для расчёта дозы внутрипочвенного внесения жидкого навоза

Table

Input data for determining the rates of liquid manure injection

Показатель / Indicator	Значение / Value
Число рабочих органов (лап), n / Number of working tools (tines), n	5 или 6
Ширина захвата лапы, b , м / Working width, b , m	0,8 или 0,325
Ширина долота, b_0 , м / Chisel width, b_0 , m	0,08
Угол скалывания почвы, $\theta/2$, ° / Cutting angle, $\theta/2$, °	40...45
Диапазон рабочих скоростей агрегата, v , м/с / Working speed range of the machine, v , m/s	0,5...1,4
Плотность жидких органических удобрений, ρ , кг/м ³ / Density of liquid organic fertilizer, ρ , kg/m ³	990
Диапазон глубины обработки почвы, a , м / Tillage depth range, a , m	0,22...0,36

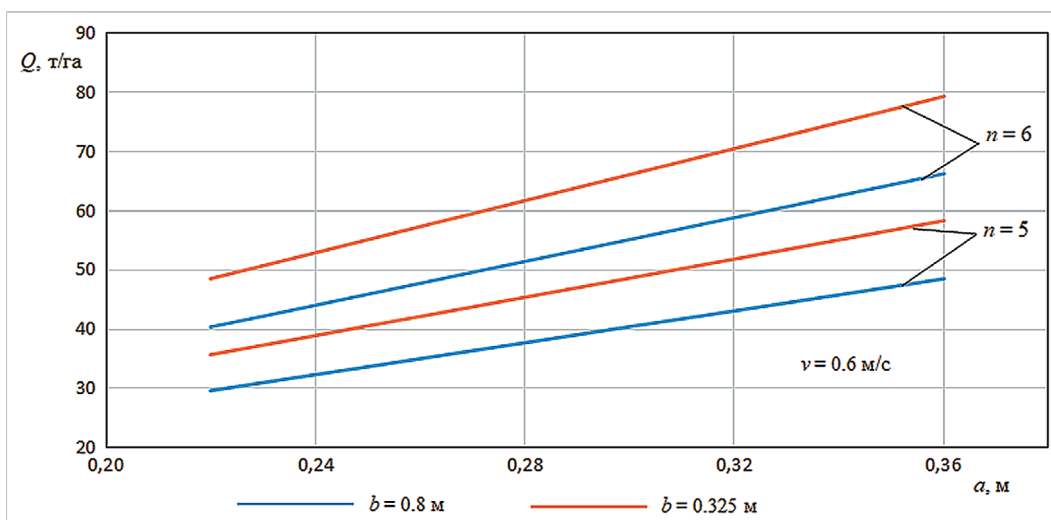


Рис. 4. Доза внесения жидких органических удобрений Q на единицу площади поля в зависимости от глубины a установки чизельных лап с открьлками шириной захвата $b = 0,8$ и $b = 0,325$ м (соответственно для $n = 5$ и $n = 6$ рабочих органов) при скорости движения $v = 0,6$ м/с

Fig. 4. Application rate of liquid organic fertilizers Q per unit area of the field as a function of depth a of open-bore tines with working width $b = 0.8$ and $b = 0.325$ m (respectively for $n = 5$ and $n = 6$ working tools) at travel speed $v = 0.6$ m/s

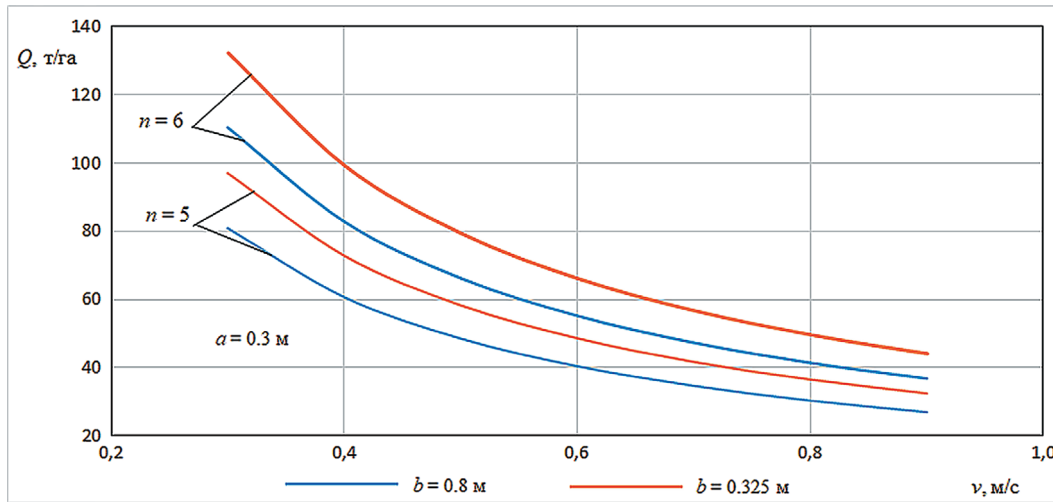


Рис. 5. Доза внесения жидких органических удобрений Q на единицу площади поля в зависимости от скорости v агрегата (для $n = 5$ и $n = 6$ рабочих органов) при глубине установки чизельных лап $a = 0,3$ м

Fig. 5. Application rate of liquid organic fertilizers Q per unit area of the field as a function of machine's speed v (for $n = 5$ and $n = 6$ working tools) at installation depth of tines $a = 0,3$ m

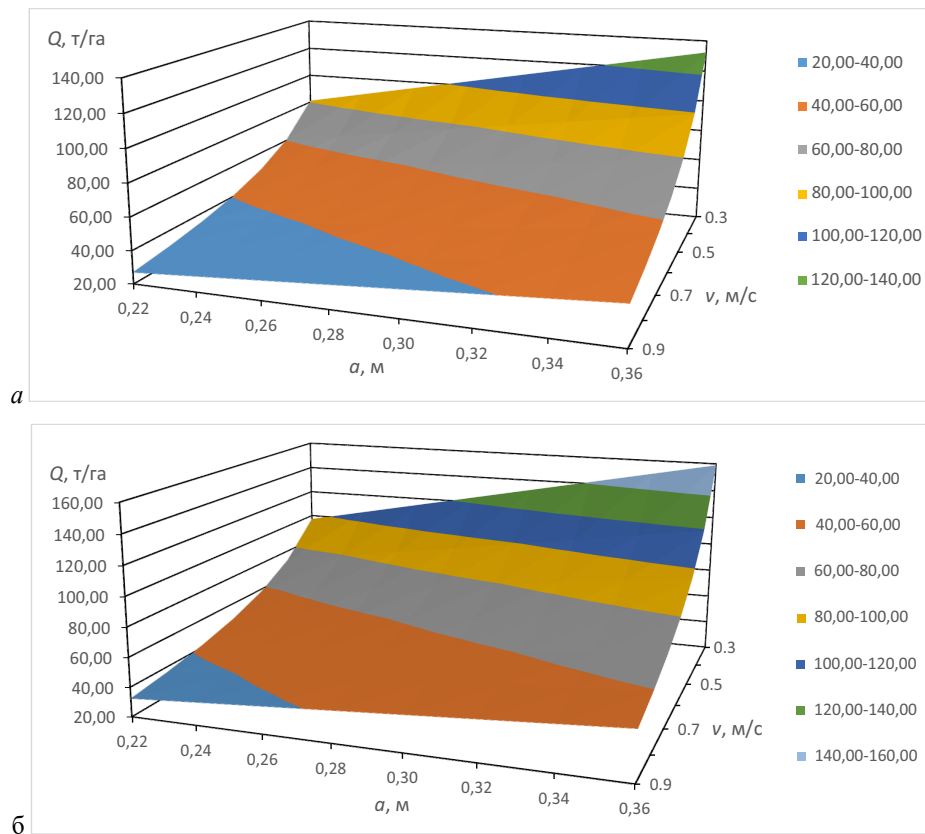


Рис. 6. Доза внесения жидких органических удобрений Q на единицу площади поля в зависимости от скорости v агрегата и глубины a установки чизельных лап с открылками шириной захвата $b = 0,8$ м для пяти (а) и шести (б) рабочих органов

Fig. 6. Application rate of liquid organic fertilizer Q per unit area of the field depending on the speed v of the machine and depth a of the installation of tines with openers with working width $b = 0,8$ m for five (a) and six (b) working tools

Выводы

1. Разработанная технология и глубокорыхлитель для внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений с рабочими органами в виде чизельных лап позволяют обеспечить полную инфильтрацию больших доз внесенных жидких органических удобрений

в соответствии с агротехническими требованиями и обеспечением экологичности технологии.

2. Математическая модель для расчета доз внесения удобрений учитывает геометрические размеры рабочих органов, их количество и расстановку на раме орудия, скорость агрегата, глубину обработки и свойства почвы.

3. Доза внесения жидких органических удобрений внутрь почвы прямо пропорциональна количеству чизельных рабочих органов и глубине их установки, ширине открьлок на них и обратно пропорциональна скорости движения агрегата.

Список использованных источников

1. Косолапов В.М., Цыгуткин А.С., Алдошин Н.В., Лылин Н.А. Агрономические основы инженерного обеспечения биологизации земледелия // Кормопроизводство. 2022. № 3. С. 41-47. EDN: IZUIQD
2. Алдошин Н.В., Евдокимов В.Г., Семин В.В. Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений при помощи шланговой системы // Доклады ТСХА. 2021. Т. 293. Ч. III. С. 246-248. EDN: JJEEOM
3. Baral K.R., Pedersen I.F., Rubæk G.H., Sørensen P. Placement depth and distribution of cattle slurry influence initial maize growth and phosphorus and nitrogen uptake. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2021;184(4):461-470. <https://doi.org/10.1002/jpln.202000492>
4. Pedersen I.F., Nyord T., Sørensen P. Tine tip width and placement depth by row-injection of cattle slurry influence initial leaf N and P concentrations and final yield of silage maize. *European Journal of Agronomy*. 2022;133. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126418>
5. Дыба Э.В., Бобровник А.И. К обоснованию типа рабочего органа для внутрипочвенного внесения жидкого навоза // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомственный тематический сборник. Минск: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства». 2016. Т. 50. С. 40-46. EDN: YKAFAZ
6. Алдошин Н.В., Манохина А.А., Семин В.В. Машины для внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений // Техника и оборудование для села. 2021. № 1(283). С. 7-10. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-1-7-10>
7. Жук А.Ф. Влияние почвенного нароста на работу клина // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 3. С. 24-29. EDN: QINCRD
8. Lysykh M.N. Computer simulation of the process soil treatment by tillage tools of soil processing machines. *Computer Research and Modeling*. 2020;12(3):607-627. <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2020-12-3-607-627>
9. Rahman S., Chen Y., Lobb D. Soil movement resulting from sweep type liquid manure injection tools. *Bio-systems Engineering*. 2005;91 (3):379-392. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.04.002>

Вклад авторов

А.И. Панов – подготовка начального варианта текста, формирование выводов, литературный и патентный анализ.
Н.В. Алдошин – формулирование основной концепции исследования.
А.А. Манохина – разработка методологии исследования.
В.В. Семин – представление результатов, описание результатов и формирование выводов исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 14.10.2022; поступила после рецензирования и доработки 16.02.2023; принята к публикации 17.02.2023

4. Максимальная доза внесения жидких органических удобрений при использовании глубокорыхлителя в диапазоне рабочих скоростей 0,5...0,8 м/с, имеющего 5 рабочих органов с открьлками шириной 0,8 м, составляет 80...90 т/га, с 6 рабочими органами – 110...120 т/га.

References

1. Kosolapov V.M., Tsygutkin A.S., Aldoshin N.V., Lylin N.A. Mechanized agronomy as means for arable farming biologization. *Kormoproizvodstvo = Fodder Journal*. 2022;3:41-47. (In Rus.)
2. Aldoshin N.V., Evdokimov V.G., Semin V.V. Subsoil introduction of liquid organic fertilizers using the hose system. *Doklady TSKHA*. 2021;293(III):246-248. (In Rus.)
3. Baral K.R., Pedersen I.F., Rubæk G.H., Sørensen P. Placement depth and distribution of cattle slurry influence initial maize growth and phosphorus and nitrogen uptake. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2021;184(4):461-470. <https://doi.org/10.1002/jpln.202000492>
4. Pedersen I.F., Nyord T., Sørensen P. Tine tip width and placement depth by row-injection of cattle slurry influence initial leaf N and P concentrations and final yield of silage maize. *European Journal of Agronomy*. 2022;133. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126418>
5. Dyba E.V., Bobrovnik A. Justification of a tool type for subsoil introduction of liquid manure. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva: mezhvedomstvennyy tematicheskyy sbornik. Minsk: Respublikanskoe unitarnoe predpriyatie "Nauchno-prakticheskyy centr Natsionalnoy akademii nauk Belarusi po mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva*. 2016;50:40-46. (In Rus.)
6. Aldoshin N.V., Manokhina A.A., Semin V.V. Machines for subsoil application of liquid organic fertilizers. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021;1(283):7-10. (In Rus.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-1-7-10>
7. Zhuk A.F. Effect of a soil build-up on the wedge operation. *Agricultural machinery and technologies*. 2013;3:24-29. (In Rus.)
8. Lysykh M.N. Computer simulation of the process soil treatment by tillage tools of soil processing machines. *Computer Research and Modeling*. 2020;12(3):607-627. <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2020-12-3-607-627>
9. Rahman S., Chen Y., Lobb D. Soil movement resulting from sweep type liquid manure injection tools. *Bio-systems Engineering*. 2005;91(3):379-392. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2005.04.002>

Contribution of the authors

A.I. Panov – preparation of the initial version of the text, formulation of conclusions, literature and patent analysis.
N.V. Aldoshin – formulation of the main research concept.
A.A. Manokhina – development of the research methodology.
B.V. Semin – presentation of the results, description of the results and formulation of the conclusions.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Received 14.10.2022; revised 16.02.2023; accepted 17.02.2023