

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАСЧЕТА ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ АДАПТЕРА РАЗБРАСЫВАТЕЛЯ СТТ-25

Э. В. ДЫБА, Л. И. ТРОФИМОВИЧ, П. В. ЯРОВЕНКО

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь, 220049*

А. И. ПУНЬКО

*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220023*

(Поступила в редакцию 19.07.2024)

Для снижения кислотности почвы в сельском хозяйстве широко применяются различные пылевидные известковые материалы, например, доломитовая мука. По расчетам ученых ежегодно в Республике Беларусь необходимо известковать около 550 тыс. га, внося при этом 2,8 млн. т известковых удобрений в пересчете на CaCO₃. При многих достоинствах доломитовой муки она отличается высокими энергозатратами на производство и применение, и за частую ежегодно выделяемых средств из республиканского бюджета на известкование почв в необходимых объемах попросту не хватает. Кроме того, высокая неравномерность внесения, значительные потери при использовании устаревших средств механизации снижают эффективность ее использования и требуют новых подходов к решению проблемы известкования почв.

Внесение новых видов мелиорантов – сыромолотого доломита и отходов свеклосахарного производства (дефеката), имеет ряд технологических преимуществ: сводится к упрощению системы транспортировки, облегчению хранения (известковые материалы влажностью 6–12 % не смерзаются), понижению себестоимости мелиоранта. Кроме того, имеет значение и экологический акцент, так как при их применении не образуется пылевое облако, а также можно избежать резких скачков кислотности почвы, что важно в целях предотвращения переизвесткования при проведении поддерживающего известкования.

Для реализации новой технологии необходима разработка конструкции рабочих органов, позволяющих эффективно распределять мелиоранты по поверхности поля. При этом с целью унификации с существующим оборудованием предполагается устанавливать адаптер как сменный разбрасыватель на разработанную и освоенную в производстве транспортно-технологическую систему СТТ-25. Это позволит применять данные машины как универсальные разбрасыватели.

Ключевые слова: *кислотность почвы, известкование, мелиорант, разбрасыватель, рабочие органы, адаптер, расчет параметров.*

To reduce soil acidity in agriculture, various powdered lime materials are widely used, for example, dolomite flour. According to scientists' calculations, about 550 thousand hectares need to be limed annually in the Republic of Belarus, adding 2.8 million tons of lime fertilizers in terms of CaCO₃. Despite the many advantages of dolomite flour, it is characterized by high energy costs for production and application, and often the funds allocated annually from the republican budget for liming soils in the required volumes are simply not enough. In addition, high unevenness of application, significant losses when using outdated mechanization tools reduce the efficiency of its use and require new approaches to solving the problem of soil liming. The introduction of new types of ameliorants – raw ground dolomite and waste from beet sugar production (defecate) – has a number of technological advantages: it comes down to simplifying the transportation system, facilitating storage (lime materials with a moisture content of 6-12% do not freeze), and reducing the cost of the ameliorant. In addition, the environmental emphasis is also important, since their use does not form a dust cloud, and it is also possible to avoid sharp jumps in soil acidity, which is important in order to prevent over-liming during maintenance liming.

To implement the new technology, it is necessary to develop a design of working bodies that allow for the effective distribution of ameliorants over the field surface. At the same time, for the purpose of unification with existing equipment, it is proposed to install an adapter as a replaceable spreader on the developed and mastered in production transport and technological system STT-25. This will allow using these machines as universal spreaders.

Key words: *soil acidity, liming, ameliorant, spreader, working bodies, adapter, calculation of parameters.*

Введение

Почва – важнейший и незаменимый природный ресурс, национальное достояние любой страны, от рационального использования которого зависит продовольственная безопасность и устойчивое социально-экономическое развитие. Сохранение плодородия и рациональное использование почв сельскохозяйственных земель является важнейшим государственным приоритетом, основным условием стабильного развития агропромышленного комплекса Республики Беларусь.

Агрохимический мониторинг почв сельскохозяйственных земель показывает, что в условиях системного известкования доля сильно- и среднекислых почв пахотных и луговых земель находилась на уровне 5–6 % от общей площади. За последний десятилетний период в связи с уменьшением объемов известкования прослеживается тенденция увеличения удельного веса кислых почв, как на пахотных и луговых землях.

С целью недопущения дальнейшего подкисления и деградации плодородия почв необходимо ежегодно известковать 572,0 тыс. га сельскохозяйственных земель, в том числе 548,8 тыс. га незагрязненных радионуклидами земель и 23,2 тыс. га загрязненных радионуклидами земель. Это в 2,7 раза больше фактической площади известкования, проводимого в 2017–2019 гг. [1].

Проведенные ранее патентные исследования позволили изучить технический уровень и тенденции развития средств механизации для внесения известковых материалов (мелиорантов), в том числе сыромолотого доломита, выявить лучшие аналоги машин, производимых на мировом рынке [2, 3].

Учитывая имеющийся опыт в разработке средств механизации для транспортировки и внесения удобрений, в качестве базовой машины при использовании сыромолотых форм известковых материалов была применена разработанная в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» транспортно-технологическая система СТТ-25, предназначенная для внесения твердых органических удобрений.

Конструкция комбинированного измельчающе-распределяющего рабочего органа должна включать в себя такие основные узлы, как фрезерный агрегат для измельчения материала, центробежные диски для распределения материала по полю, устройство для равномерного разбрасывания различных материалов, уменьшения загрязнения ими дорог, оврагов и т.д., а также снижения запыленности окружающей среды при внесении мелиорантов; предохранительные механизмы для защиты дискового распределителя при попадании крупных, посторонних предметов; систему гидропривода исполнительных механизмов.

С целью эффективного использования новых видов мелиорантов (сыромолотого доломита), снижения технологических и эксплуатационных затрат необходима разработка сменного адаптера к транспортно-технологической системе СТТ-25 путем расчета и обоснования конструктивных и кинематических параметров рабочих органов, обеспечивающих соблюдение агротехнических требований в процессе работы.

Основная часть

При разработке технологической схемы комбинированного рабочего органа для внесения мелиорантов необходимо было сохранить существующую конструкцию самого разбрасывающего механизма системы СТТ-25, путем разработки только дополнительного адаптера, обладающего всеми функциями, которые необходимы для настройки необходимого качества внесения различных форм известковых материалов (мелиорантов).

Техническая сущность модернизации комбинированного рабочего органа транспортно-технологической системы СТТ-25 заключается в использовании на битерах сегментов с привинченными фрезерными зубьями для более качественного измельчения различных сельскохозяйственных материалов, а также изменение конструкции шибера разбрасывателя для обеспечения подачи как твердых органических удобрений, так и известковых материалов.

Комбинированный рабочий орган состоит из фрезерного агрегата 1, дискового распределителя 2, клапана 3, предохранительного щитка 4 с левым и правым талрепами 5 и ограничителя распределения материалов 6, который приводится в движение от гидросистемы трактора через гидроцилиндр 7 (рис. 1). Форма лопаток, а также форма сегментов фрезерного агрегата и их количество определены экспериментально.

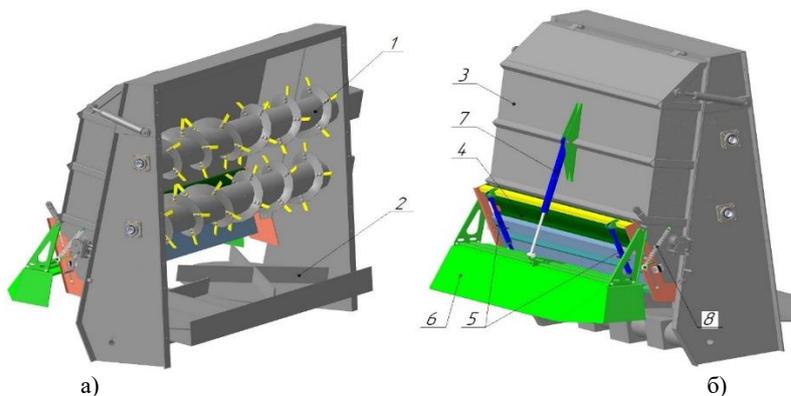


Рис. 1. Схема комбинированного рабочего органа для внесения мелиорантов
а) вид сзади; б) вид спереди

1 – фрезерный агрегат; 2 – дисковый распределитель; 3 – клапан; 4 – предохранительный щиток; 5 – талрепы; 6 – ограничитель распределения материалов; 7 – гидроцилиндр; 8 – пружины предохранительные

Предохранительный щиток служит для предохранения при попадании в комбинированный рабо-

чий орган крупных, посторонних предметов (камней, плит, металлолома и др.). Осуществляется данный процесс путём откидывания щитка в момент удара постороннего предмета о внутреннюю часть самого предохранительного щитка. После вылета постороннего предмета закрытие щитка производится автоматически посредством пружин 8. Регулировка зазора между нижней частью предохранительного щитка и верхней частью лопатки диска осуществляется ручным способом при помощи левого и правого талрепов 5. Привод комбинированного рабочего органа для внесения мелиорантов осуществляется от ВОМ трактора (рис. 2).

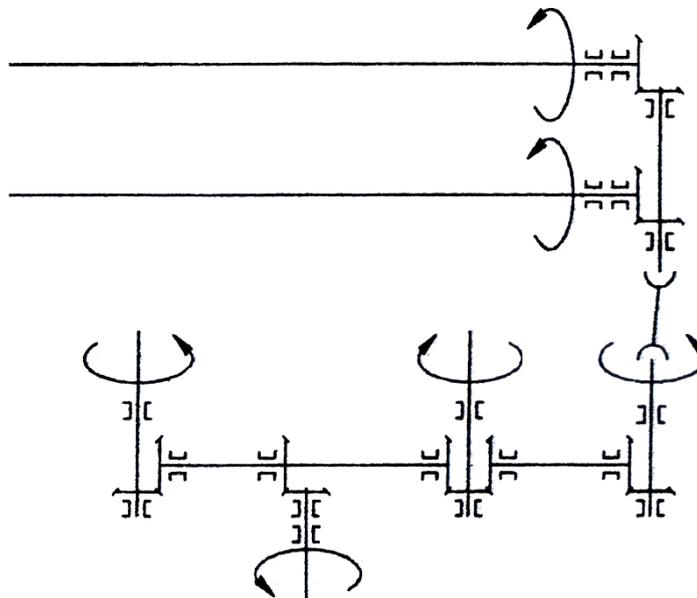


Рис. 2. Кинематическая схема комбинированного рабочего органа

Технологический процесс работы системы с комбинированным рабочим органом для внесения мелиорантов протекает следующим образом: при поступательном движении агрегата верхняя ветвь транспортера, перемещаясь с небольшой скоростью назад вдоль кузова, подводит слой удобрений к вращающимся шнековым барабанам. Нижний измельчающий барабан шнековой лентой с прерывистым зубчатым профилем разрыхляет, измельчает массу и ровным слоем перебрасывает через себя. Верхний разбрасывающий барабан, вращаясь в том же направлении, что и нижний, принимает от него материал, выравнивает слой, дополнительно измельчает, подаёт на горизонтальные разбрасывающие диски, которые распределяют его по поверхности поля.

Совместная технологическая схема работы фрезерного агрегата и подающего транспортера системы представлена на рис. 3.

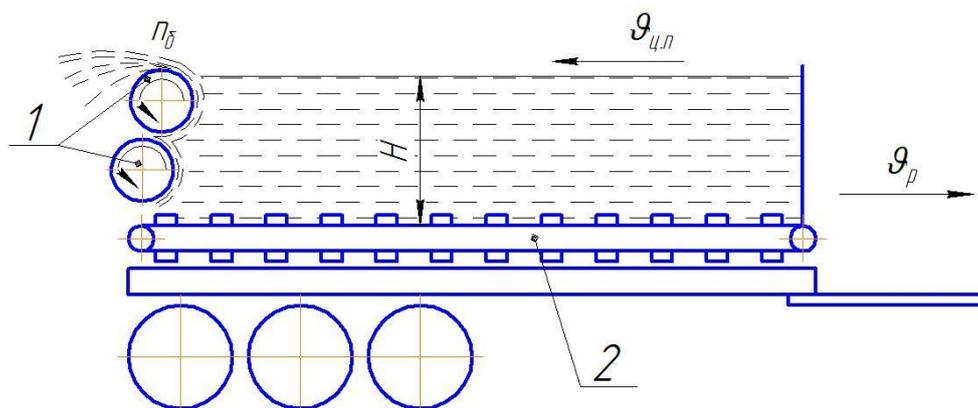


Рис. 3. Технологическая схема работы фрезерного агрегата и подающего транспортера: 1 – фрезерный агрегат; 2 – подающий цепочно-планчатый транспортёр

Из рис. 4 видно, что скорость движения транспортера необходимо определять исходя из секундной подачи материала [3]. В свою очередь масса сброшенных на поле материалов в секунду:

$$Q_{ц.н.} = v_{ц.н.} \cdot H \cdot L_{б.} \cdot \gamma \cdot k, \quad (1)$$

где $Q_{ц.н.}$ – скорость перемещения транспортера, м/с;

H – высота слоя материала на цепочно-планчатом транспортере, м;

$L_{б.}$ – длина шнекового барабана, м;

γ – насыпная плотность материала, кг/м³;

k – поправочный коэффициент.

Норма внесения материала Q_n на единицу площади находится в прямой зависимости от секундного расхода:

$$Q_n = \frac{Q_{ц.н.}}{B_p \cdot Q_p}, \quad (2)$$

где B_p – рабочая ширина захвата машины, м;

Q_p – рабочая скорость агрегата, м/с.

Принимая во внимание выражение (1) и подставляя значение $Q_{ц.н.}$ в формулу (2), получим:

$$Q_n = \frac{Q_{ц.н.} \cdot H \cdot L_{б.} \cdot \gamma \cdot k}{B_p \cdot Q_p}.$$

Для определённых марок машин величины H , $L_{б.}$, B_p постоянны, поэтому их можно выразить в виде постоянного коэффициента

$$C = \frac{H \cdot L_{б.}}{B_p}. \quad (3)$$

Тогда норма внесения может быть определена следующим образом:

$$Q_n = C \frac{Q_{ц.н.} \cdot \gamma \cdot k}{Q_p}. \quad (4)$$

Из формулы (4) следует, что количество материала, вносимых на поле системой, можно регулировать, изменяя скорость движения транспортера и системы. Кроме того, это количество зависит от насыпной плотности материала, на которую влияют влажность и состав материала. Отсюда следует, что регулировка необходима в каждом отдельном случае при изменении влажности и других физико-механических свойств материала, включая липкость.

Работу комбинированного рабочего органа можно представить как работу дозатора, в котором процесс перемещения материала совмещен с расходом (дозированием) по его длине через распределяющие диски, расположенные в нижней части комбинированного рабочего органа. При этом происходят три взаимосвязанных поочередных процесса: приём материала, перемещение их внутри комбинированного рабочего органа и дозирование, характеризующихся производительностью подающего цепочно-планчатого транспортера – $Q_{ц.н.}$, измельчающих винтовых барабанов – $Q_{б.}$ и распределяющих дисков – $Q_{д.}$ соответственно.

В этом случае для обеспечения достаточного заполнения распределяющих дисков необходимо, чтобы выполнялось следующее условие:

$$Q_{ц.н.} \leq Q_{б.} \leq Q_{д.}, \quad (5)$$

В связи с тем, что любая машина должна обеспечивать внесение материала в широком диапазоне доз, дальнейшую взаимоувязку параметров выполним, исходя из условия обеспечения внесения максимальной погектарной дозы. Суммарная производительность распределяющих дисков определяется по формуле:

$$Q_d = 10^{-4} D_{\max. \text{вн.}} \cdot B_p \cdot \mathcal{G}_p, \quad (6)$$

где $D_{\max. \text{вн.}}$ – максимальная доза внесения материала, кг/га.

Подставив в формулу (5) формулы (1) и (6), получим:

$$\mathcal{G}_{\text{ц.п.}} \cdot H \cdot L_{\bar{\sigma}} \cdot \gamma \cdot k \leq 10^{-4} D_{\text{вн.}} \cdot B_p \cdot \mathcal{G}_p.$$

Откуда скорость перемещения цепочно-планчатого транспортера, с учетом формулы (3), при которой будет обеспечиваться максимальная требуемая производительность $Q_{\text{ц.п.}}$:

$$\mathcal{G}_{\text{ц.п.}} \leq \frac{10^{-4} D_{\max. \text{вн.}} \cdot \mathcal{G}_p}{C \cdot \gamma \cdot k}.$$

Производительность измельчающих барабанов можно определяется по формуле:

$$Q_{\bar{\sigma}} = b \cdot h \cdot \mathcal{G}_0 \cdot \gamma, \quad (7)$$

где b – ширина захвата массы шнековым барабаном, м;

h – высота захвата массы шнековым барабаном, м;

\mathcal{G}_0 – окружная скорость шнекового барабана, м/с.

Окружную скорость шнекового барабана можно определить по формуле

$$\mathcal{G}_0 = \frac{\pi \cdot n_{\bar{\sigma}} \cdot d_{\bar{\sigma}}}{60},$$

где $n_{\bar{\sigma}}$ – частота вращения шнекового барабана, мин⁻¹;

$d_{\bar{\sigma}}$ – диаметр шнекового барабана, м.

Тогда подставляя значение \mathcal{G}_0 в формулу (7) и, с учетом неравенства (5) и преобразований получим:

$$n_{\bar{\sigma}} \geq \frac{3600 \cdot \mathcal{G}_{\text{ц.п.}} \cdot H \cdot L_{\bar{\sigma}} \cdot k}{b \cdot h \cdot \pi \cdot d_{\bar{\sigma}}},$$

где высоту захвата массы шнековым барабаном (рис. 2) можно определить по формуле:

$$h = \sqrt{4 \cdot \left[\left(\frac{d_{\bar{\sigma}}}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_{\bar{\sigma}}}{2} - a \right)^2 \right]},$$

где a – длина выхода ножа, м.

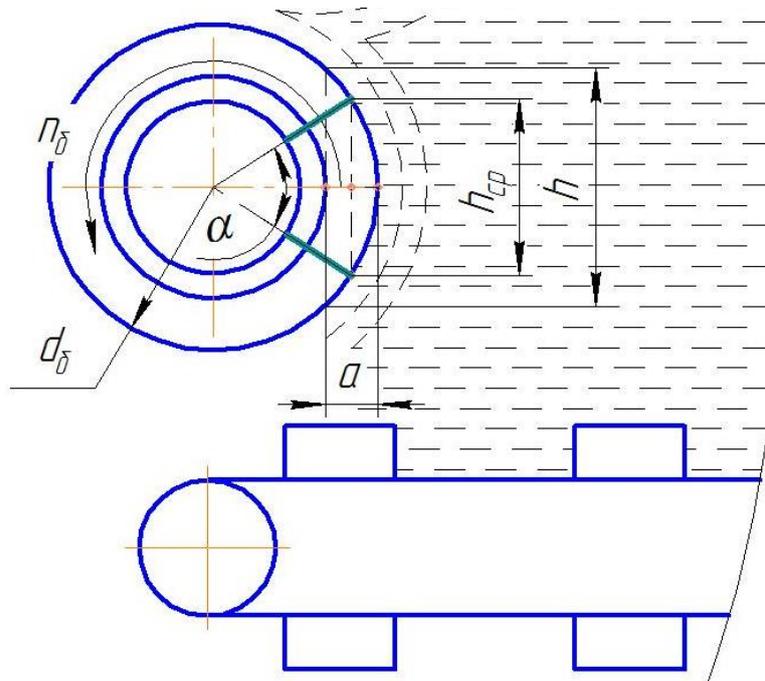


Рис. 4. Схема взаимодействия шнекового барабана и подаваемого материала

Понятно, что для обеспечения непрерывного, равномерного срезания и измельчения материала фрезерным агрегатом необходимо чтобы каждый последующий нож шнекового барабана входил в материал после завершения предыдущего. Таким образом, следующим параметром, подлежащим к определению, является шаг расстановки ножей S на шнековом барабане. Для последующего удобства расчета необходимого количества ножей на барабане шаг расстановки ножей целесообразнее определять через центральный угол, образованный режущими кромками смежными ножами на шнековом барабане, который можно определить по известной формуле:

$$\alpha = 2 \cdot \arcsin \left(\frac{h}{d_{\delta}} \right). \quad (8)$$

Однако из рис. 4 следует, что при завершении срезания режущей кромкой ножа материала, подаваемого из кузова системы подающим транспортером, последний переместится в сторону шнекового барабана на глубину $a/2$. Причем максимальное данное расстояние не может превышать половины выхода ножа из барабана, так как в данном случае при подходе следующего ножа до места максимального скопления материала, длина режущей кромки будет меньше глубины материала, подлежащего к срезанию и измельчению. Тогда из приведенного выше рассуждения формулу (8) справедливо записать в следующей редакции:

$$\alpha = 2 \cdot \arcsin \left(\frac{h_{cp}}{d_{\delta}} \right),$$

где h_{cp} – половина высота захвата массы шнековым барабаном, м, которая определяется по следующей формуле:

$$h_{cp} = \sqrt{4 \cdot \left[\left(\frac{d_{\delta}}{2} \right)^2 - \left(\frac{d_{\delta}}{2} - \frac{a}{2} \right)^2 \right]}.$$

Тогда зная количество навивок (шагов $n_{ш.б.}$) на шнековом барабане можно определить необходимое количество ножей $n_{нож}$ для непрерывного выполнения технологического процесса срезания и измельчения материала, подаваемого из кузова системы:

$$n_{нож} = n_{ш.б.} \frac{360}{\alpha}$$

Далее рассмотрим параметры дисковых распределяющих рабочих органов комбинированного рабочего органа. Ранее отмечалось, что производители зарубежных универсальных разбрасывателей применяют диски с 4–6 лопатками, которые на диске могут располагаться как радиально, так и под углом к осевой линии, при этом формы лопаток разнообразны. Очевидно, что данные параметры влияют на неравномерность внесения материала, поэтому данные параметры определялись экспериментальным путем.

Как известно, частота вращения дисков n_{δ} находится в прямой зависимости от частоты вращения шнековых барабанов n_{σ} фрезерного агрегата и у транспортно-технологической системы данная зависимость характеризуется следующим соотношением:

$$\frac{n_{\delta}}{n_{\sigma}} = 1,134. \quad (9)$$

Тогда из формулы (9) частота вращения дисков n_{δ} равна:

$$n_{\delta} = 1,134 \cdot n_{\sigma}$$

Рабочую ширину захвата B_p двухдискового центробежного разбрасывателя с достаточно высокой точностью можно определить по следующей формуле [5]:

$$B_p = 2 \cdot X_{\max} + l - \Delta B,$$

где X_{\max} – максимальная дальность полёта частицы материала, м;

l – расстояние между центрами дисков, м;

ΔB – перекрытие зоны разбрасывания, м.

Дальность полёта частицы материала вычисляется из выражения:

$$X_{\max} = \frac{\ln(\mathcal{G}_a \cdot K_n \cdot \sqrt{2 \cdot H_{\delta} / g} + 1)}{K_n},$$

где \mathcal{G}_a – абсолютная скорость частицы материала в момент схода с диска, м/с;

K_n – коэффициент парусности частицы материала;

H_{δ} – высота установки дисков, м;

g – ускорение свободного падения частицы материала, м/с².

Абсолютная скорость частицы материала в момент схода с диска равна:

$$\mathcal{G}_a = \sqrt{\mathcal{G}_r^2 + \mathcal{G}_o^2},$$

где \mathcal{G}_r – относительная скорость движения частиц удобрений, м/с;

\mathcal{G}_0 – окружная скорость диска, м/с.

Относительная скорость движения частиц удобрений принимается 6-12 м/с и зависит в основном от частоты вращения диска, который обычно находится в диапазоне 400-800 мин⁻¹ [6].

Окружная скорость диска определяется по формуле:

$$\mathcal{G}_0 = \frac{\pi \cdot n_d \cdot d_d}{60},$$

где d_d – диаметр диска, м.

Следует отметить, что для регулирования неравномерности распределения удобрений по ширине захвата место подачи гранул на диск можно изменять. При подаче ближе к оси вращения диска увеличивается количество высеваемого материала по краям захватываемой полосы, при подаче дальше от оси вращения – в средней части захватываемой полосы. С увеличением частоты вращения дисков материал распределяется равномернее, а при увеличении диаметра дисков равномерность ухудшается. Наклон лопастей к радиусу в сторону вращения на 10–12° способствует более равномерному распределению материала:

– скорость подающего транспортера $\mathcal{G}_{ч.л.} = 0,012$ м/с,

– частота вращения шнекового барабана $n_b = 411$ мин⁻¹ (принято исходя из технических возможностей привода фрезерного агрегата, $n_b = 428$ мин⁻¹),

– количество ножей на шнековом барабане $n_{нож} = 56$ шт.,

– частота вращения дисков $n_d = 483$ мин⁻¹),

– количество лопаток на диске 4 шт.,

– рабочая ширина захвата машины $B_p = 10$ м.

Заключение

В ходе выполнения разработки обоснована перспективная схема комбинированного измельчающе-распределяющего рабочего органа, рассчитаны его основные конструктивно-технологические параметры. Это позволило создать конструкцию сменного адаптера к отечественной транспортно-технологической системе СТТ-25 и использовать ее как универсальный разбрасыватель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Азаренок Т. Н., Шибут Л. И., Цыбулько Н. Н. Земельные ресурсы Беларуси и их производительная способность // Почвоведение и агрохимия. – 2020. – № 2(65). – С. 26.

2. Интернет-источник. Сайт компании STRAUTMANN. <https://www.strautmann.com> Германия. URL: https://www.strautmann.com/sites/default/files/2020-09/vs_1205-2005_russ.pdf. -12с. Дата доступа 08.08.2024г.

3. Интернет-источник. Сайт компании BERGMANN. <https://www.bergmann-goldenstedt.de>. URL: https://www.bergmann-goldenstedt.de/fileadmin/user_upload/Stalldungstreuer/Prospekte/M_TSW_1080-4190_DE_Prospekt_Ir.pdf. – 15 с. – Дата доступа 08.08.2024г.

4. Клочков А. В., Ковалев В. Г., Новицкий П. М. Сельскохозяйственные машины. Теория и расчет: учебное пособие. – Минск: ИВЦ Минфина, 2019. – С. 105–108.

5. Сельскохозяйственные машины Бердышев и др.– 2-е изд. – Москва: Проспект науки, 2018. – С. 51–53.

6. Капустин А.Н. Основы теории и расчета машин для основной и поверхностной обработки почв, посевных машин и машин для внесения удобрений: курс лекций // Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 121–124 с.