



## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ СУБСТРАТА В ФОРМОВАТЕЛЬ ГРЯДЫ ДЛЯ ВЕРМИКУЛЬТИВИРОВАНИЯ

**ШАРДИНА Галина Евгеньевна**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

**СПЕВАК Николай Владимирович**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

**МОИСЕЕВ Евгений Владимирович**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

**ЛОГАЧЕВА Оксана Владимировна**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

*Описана конструкция агрегата, обеспечивающего механизацию выполнения основных технологических операций вермикультивирования. Выполнен силовой анализ взаимодействия частицы субстрата с вращающимися рабочими органами, обеспечивающими подачу субстрата в формователь гряды. Получены уравнения для определения траектории движения частиц субстрата, обеспечивающих необходимые начальные условия для формирования профиля гряды.*

**Введение.** В мировой практике земледелия для воспроизводства плодородия почв стали использовать вермикомпост (био-гумус) – продукт вермикультивирования, полученный путем переработки субстрата вермикультурой *Eisenia foetida* Andrei (красный калифорнийский червь). Основными компонентами субстрата является смесь отходов животноводства (навоз КРС, свиной навоз, птичий помет) и полеводства (измельченная солома, лузга подсолнечника и другие отходы переработки растениеводства), содержащая 20–25 % протеина и не менее 25–30 % клетчатки, с последующей ее ферментацией. Вермикомпост по содержанию гумуса превосходит навоз, птичий помет и компосты, приготовленные на их основе в 4–8 раз, причем навоз и компост нужно вносить ежегодно, а вермикомпост – один раз в три года. Для производства вермикомпоста широкое распространение получили следующие способы вермикультивирования: в ящиках, контейнерах, вермиинкубаторах, на стеллажах и в грядках. Перечисленные способы вермикультивирования характеризуются большими затратами ручного труда и небольшими объемами производства вермикомпоста [3].

**Методика исследований.** Для обеспечения промышленных объемов произ-

водства вермикомпоста нами предложен грядный способ с частично верхним и боковым распределением подкормки, а также разработан агрегат, обеспечивающий механизацию выполнения основных технологических операций вермикультивирования: формирование основной гряды, распределение подкормки, сбор и измельчение готового вермикомпоста. Одной из трудоемких операций вермикультивирования является процесс формирования основной гряды из субстрата [4].

**Результаты исследований.** Разработанный агрегат состоит из бункера 1, где расположен подающий горизонтальный транспортер 2, над которым со стороны выгрузки последовательно установлены подающий барабана 3 и барабан-ускоритель 4, направляющая камера, к боковинам которой с помощью четырех стоек прикреплен формователь, включающий в себя две комбинированные формирующие пластины 14 и трансформируемый скребок 20 [2].

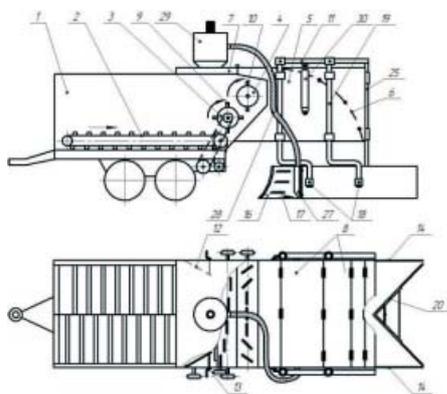
На одной из пластин 14 закреплен нож 16 с дополнительными режущими элементами 17, необходимыми для отделения и предварительного измельчения готового вермикомпоста. Для погрузки измельченного вермикомпоста в бункер 1 имеется заборное устройство 27 с гибким трубоп-

роводом 28 и циклоном 29. Для перемещения формователя в рабочее положение осуществляется с помощью гидроцилиндра 30 (рис. 1).

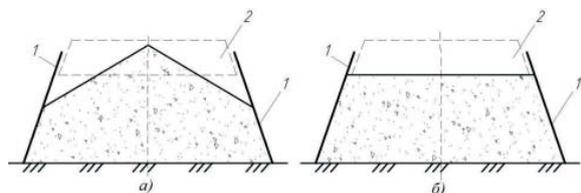
Процесс формования гряды состоит из двух этапов. Первый этап заключается в подаче барабанами 3 и 4 субстрата в пространство между комбинированными формующими пластинами 1, чтобы предварительно сформировать грядку с площадью поперечного сечения, представленной на рис. 2, а.

Второй этап заключается в воздействии стреловидного трансформируемого скребка 2 на верхний слой субстрата (см. рис. 2, а) с целью получения трапецевидного сечения гряды (рис. 2, б).

Для отделения субстрата от бурта, находящегося в бункере 1, и подачи его на барабан-ускоритель 4 предназначен подающий



**Рис. 1. Агрегат для формования гряд, распределения подкормки, сбора готового вермикомпоста и его измельчения:** 1 – бункер; 2 – горизонтальный транспортер; 3 – подающий барабан; 4 – барабан-ускоритель; 5 – направляющая камера; 6 – передняя стенка; 7 – рама; 8 – прямоугольная пластина; 9 – лопасти подающего барабана; 10 – лопасти барабана-ускорителя; 11 – коромысло; 12 – подвижные заслонки; 13 – механизма «винт-гайка»; 14 – комбинированные формующие пластины; 15 – пластина; 16, 17 – нож с дополнительными режущими элементами; 18 – поворотный механизм; 19 – стойка; 20 – трансформируемый скребок; 21, 22 – шарнирно соединенные пластины; 23 – съёмная трехгранная призма; 24 – фиксирующая втулка; 25 – стойка; 26 – фиксатор; 27 – заборное устройство; 28 – гибкий трубопровод; 29 – циклон; 30 – гидроцилиндр



**Рис. 2. Поперечное сечение субстрата в формующем устройстве:** 1 – комбинированная формующая пластина; 2 – трансформируемый скребок

барабан 3 с четырьмя рядами радиально установленных лопастей 9.

Для подачи субстрата в формующее устройство установлен барабан-ускоритель 4 (см. рис. 1) с двумя рядами лопастей, расположенных по следующей схеме (рис. 3), которые позволят сформовать грядку согласно рис. 2, а.

Частота вращения барабана-ускорителя  $\omega_2$  больше частоты вращения подающего барабана  $\omega$ , что обеспечивает необходимую траекторию подачи частиц субстрата в формующее устройство агрегата.

Отделению порции субстрата от бурта лопастями подающего барабана препятствует сила сопротивления материала отрыву, обусловленную прочностью массы на разрыв [1].

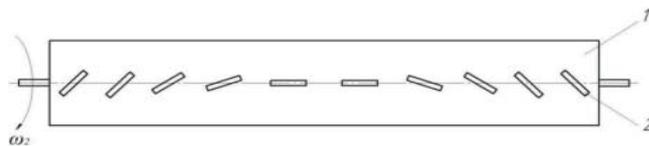
При скольжении массы субстрата  $m$  по лопасти на нее действуют сила тяжести  $mg$ , центробежная сила  $mr\omega^2$ , сила Кориолиса  $2m\omega v_r$ , сила трения от составляющей силы тяжести  $mg \sin \gamma$  и силы Кориолиса  $2fm\omega v_r$  (рис. 4).

Условие схода порции субстрата с лопасти подающего барабана имеет вид

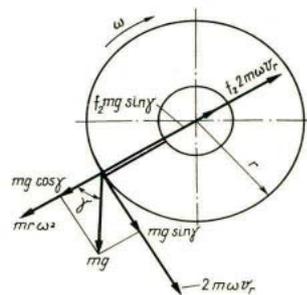
$$mg \cos \gamma + mr \omega^2 = f(mg \sin \gamma + 2m\omega v_r), \quad (1)$$

где  $m$  – масса частицы субстрата, кг;  $\gamma$  – текущий угол поворота лопасти, град;  $\omega$  – частота вращения подающего барабана,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $f$  – коэффициент трения;  $v_r$  – скорость движения частицы, м/с.

При попадании частицы на косоповерхность лопасть барабана-ускорителя, вращающуюся с угловой скоростью  $\omega_2$ , при движении по радиусу  $r$  под действием центробежной силы  $m\omega_2^2 r$  со скоростью  $v_r$  на нее действует Кориолисова сила прижима части-



**Рис. 3. Схема расположения лопастей на барабане-ускорителе:** 1 – барабан-ускоритель; 2 – лопасть



**Рис. 4. Схема действия сил на лопасть подающего барабана**





цы к лопасти  $2m\omega_2 v_r$ , перпендикулярно радиусу вместе с составляющей силы тяжести  $mg$  (рис. 5). При выборе естественной системы координат с началом в центре вращения барабана-ускорителя для вращения по часовой стрелке за ноль отсчета углов принимаем ось  $Y$ , тогда суммарное выражение для всей силы прижима  $P$  принимает следующий вид:

$$P = 2m\omega_2 v_r + mg \sin \gamma, \quad (2)$$

где  $\gamma$  – текущий угол косо поставленной поворота лопасти.

Сила  $P$  действует в плоскости вращения барабана-ускорителя на лопасть, повернутую под углом  $\alpha$ , и раскладывается на нормальную силу  $N = P \cos \alpha$  и касательную  $Q = P \sin \alpha$  [4].

Сила  $N$  определяет полную силу трения  $F$  по плоскости в виде

$$F = fN, \quad (3)$$

где  $f$  – коэффициент трения.

Сила  $Q$  определяет полную силу сопротивления от трения  $F_\tau$  по боковому направлению на плоскости и инерционной силы  $F_{uc}$  в виде

$$Q = F_\tau + F_{uc}. \quad (4)$$

При этом

$$F_{uc} = m dv_\tau / dt = m d^2 \tau / dt^2, \quad (5)$$

где  $v_\tau$  – скорость бокового движения частицы по координате  $\tau$ , обеспечивающая ее сход с лопасти.

Величины  $F_\tau$  и  $v_\tau$  связаны с  $F$  и  $v_r$  соотношениями проекций в виде

$$\begin{cases} \beta = \text{atg} \left( \frac{v_\tau}{v_r} \right), & F_\tau = F \sin \beta, \quad F_r = F \cos \beta, \\ v = \sqrt{v_\tau^2 + v_r^2}, & v_\tau = v \sin \beta, \quad v_r = v \cos \beta, \\ F = \sqrt{F_\tau^2 + F_r^2}, & F_r = F v_r / v, \quad F_\tau = F v_\tau / v. \end{cases} \quad (6)$$

где  $\beta$  – угол отклонения полной скорости скольжения  $v$  от радиальной скорости  $v_r$  (рис. 6).

Сила  $R$  определяет полную силу сопротивления от трения  $F_r$  по радиальному направлению на плоскости и инерционной силы  $m dv_r / dt$ :

$$R = F_r + m dv_r / dt = F v_r / v + m d^2 r / dt^2. \quad (7)$$

С другой стороны, эта сила равна центробежной силе  $R$ :

$$R = m \omega_2^2 r. \quad (8)$$

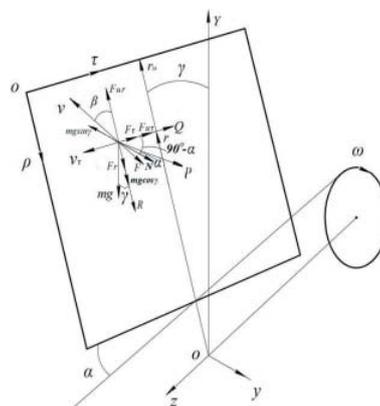


Рис. 5. Схема сил, действующих на частицу при движении по косо поставленной лопасти барабана-ускорителя

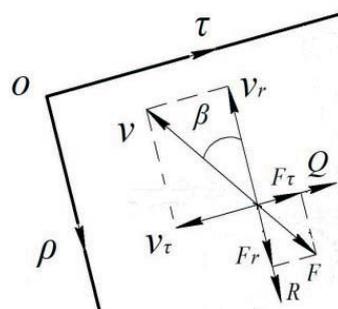


Рис. 6. Схема сил и скоростей при движении частицы по плоскости косо поставленной лопасти

Эти соотношения определяют основное дифференциальное уравнение движения по радиальному направлению, и с учетом соотношения проекций:

$$m \omega_2^2 r = m d^2 r / dt^2 + F v_r / v. \quad (9)$$

Для описания движения по плоскости лопасти более удобна локальная система координат  $\rho, \tau$  с началом  $O$  в углу сторон схода с лопасти, для которой смена знака  $\rho$  или  $\tau$  является признаком схода частицы с лопасти. Связь  $\rho$  с радиусом имеет вид

$$\rho = r_m - r, \quad v_r = -d\rho / dt, \quad v_\rho = d\rho / dt, \quad (10)$$

где  $r_m$  – максимальный радиус по краю лопасти.

Для данных параметров основное дифференциальное уравнение примет следующий вид:

$$m d^2 \rho / dt^2 + F (d\rho / dt) / v = -m \omega_2^2 (r_m - \rho) + mg \cos \gamma. \quad (11)$$

Для бокового движения частицы по лопасти:

$$m d^2 \tau / dt^2 + F (d\tau / dt) / v = -P \sin \alpha.$$

После подстановки выражений для сил и скоростей получим:

$$\begin{cases} md^2\rho/dt^2 + f\cos\alpha(2m\omega v_\rho + mg\sin\gamma)(d\rho/dt)/ \\ m d^2\tau/dt^2 + f\cos\alpha(2m\omega v_\tau + mg\sin\gamma)(d\tau/dt)/ \\ \sqrt{((v_\rho)^2 + (v_\tau)^2)^{1/2}} = -m\omega^2(r_m - \rho) + mg\cos\gamma \\ \sqrt{((v_\rho)^2 + (v_\tau)^2)^{1/2}} = (2m\omega v_\rho + mg\sin\gamma)\sin\alpha \end{cases} \quad (12)$$

Добавив в уравнение (12) кинематические соотношения для скоростей и проведя необходимые сокращения, получаем уравнения в виде формы Коши, пригодные для непосредственного использования в стандартных программах решения дифференциальных уравнений.

$$\begin{cases} d\rho/dt = v_\rho \\ dv_\rho/dt = -f\cos\alpha(2\omega v_\rho + g\sin\gamma)v_\rho / \sqrt{((v_\rho)^2 + (v_\tau)^2)^{1/2}} - \\ d\tau/dt = v_\tau \\ dv_\tau/dt = -f\cos\alpha(2\omega v_\tau + g\sin\gamma)v_\tau / \sqrt{((v_\rho)^2 + (v_\tau)^2)^{1/2}} + \\ -\omega^2(r_m - \rho) + g\cos\gamma \\ + (2\omega v_\rho + g\sin\gamma)\sin\alpha \end{cases} \quad (13)$$

**Заключение.** Полученные решения уравнений дают начальные условия для определения траекторий движения частиц субстрата, направленных в барабаном-ускорителем в формирующее устройство агрегата.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Догановский М.Г., Козловский Е.В. Машины для внесения удобрений. – М., 1972. – 272 с.
2. Способ производства вермикомпоста и устройство для его осуществления: Пат. на изобретение Рос. Федерация / Спевак Н.В., Спевак В.Я., Медведев Р.М., Лифатов В.В., Никульникова А.А., Шарапова И.Г., Моисеев Е.В. – №2546893; опубл. 10.04.2015. Бюл. №10.
3. Технология и комплекс оборудования для производства вермикомпоста / Н.В. Спевак [и др.] // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2010. – № 9. – С. 23–27.
4. Технология промышленного производства вермикомпоста / В.Я. Спевак [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2016. – № 7. – С. 57–63.

**Шардина Галина Евгеньевна**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в агропромышленном комплексе», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

**Спевак Николай Владимирович**, канд. техн. наук, докторант кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в агропромышленном комплексе», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

**Моисеев Евгений Владимирович**, соискатель кафедры «Процессы и сельскохозяйственные машины в агропромышленном комплексе», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

**Логачева Оксана Владимировна**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Инженерная физика, электрооборудование и электротехника», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410056. г. Саратов, ул. Советская, 60.  
Тел.: (8452) 74-96-59.

**Ключевые слова:** вермикультивирование; гряда; вермикомпост; субстрат; лопасть; формователь.

## ANALYSIS OF SUBSTRATE SUBMISSION PROCESS IN SHAPE FORMER FOR VERMICULTURE

**Shardina Galina Evgenievna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Processes and Agricultural Machines in the Agroindustrial Complex", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Spevak Nikolai Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Applicant of the chair "Processes and Agricultural Machines in the Agroindustrial Complex", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Moiseev Evgeny Vladimirovich**, Applicant of the chair "Processes and Agricultural Machines in the Agroindustrial Complex", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Logachova Oksana Vladimirovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Engineering Physics, Electric Equipment and Electrotech-

nologies", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Keywords:** vermiculture; ridge; vermicompost; substrate; vane; molder.

**The design of the aggregate providing mechanization of the main technological operations of vermicultivation is described. The force analysis of the interaction of a particle of a substrate with rotating working organs, providing the supply of a substrate to the bedformer, is performed. Equations are obtained for determining the trajectory of the motion of the substrate particles, providing the necessary initial conditions for shaping the ridge profile.**

