

УДК. 631.3.024

©Р.В. Кірчук, к.т.н, М.М. Поліщук, к.т.н., Забродоцька Л.Ю., к.т.н.,
Хомич С.М., к.т.н.

Луцький національний технічний університет

Хвесик В.О.

Любешівський технологічний коледж Луцького НТУ

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОФІЛЮ СКРЕБКА ТРАНСПОРТЕРА

У статті представлені теоретичні дослідження та обґрунтування профілю скребка транспортера для машини для локального внесення твердих органічних добрив.

**ЧАСТИНКА, СКРЕБОК, КУТ, ШАР, САПРОПЕЛЬ,
ПЕРЕМІЩЕННЯ ТРАНСПОРТЕР, ЛОКАЛЬНЕ ВНЕСЕННЯ,
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ,**

Постановка проблеми. Серед органічних добрив найбільше поживних речовин для ґрунту дає підстилковий гній та компости на його основі. Ефективність підстилкового гною оцінюється нормою внесення 40-60 т/га, що при зменшенні поголів'я худоби в Україні за останні роки, унеможливує дотримання агротехнічних вимог для отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур.

Основним шляхом вирішення ситуації, що склалася, може стати локальне внесення виготовлених органічних добрив. Тому зростає потреба в органічних добривах, одними з яких можуть стати озерні сапропелі прісноводних водойм [1]. При зневодненні сапропелів широке застосування набуло їх проморожування температурами навколишнього середовища [2] з подальшою підготовкою до внесення. В результаті механічних дій при складанні сапропелю у бурти та тривалого їх зберігання, утворюються тверді агрегати, які впливають на процеси внесення та ефективність використання, як органічної сировини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В промисловості існують загалом машини та агрегати лише для внутрішньогрунтового внесення тільки рідких і напіврідких органо-мінеральних сумішей вологістю не менше 92% на певну глибину у ґрунт. Це здійснюється машинами АВМ-Ф-2,8, АВО-Ф-2,8 і АВВ-Ф-2,8 [3]. Машин чи агрегатів для локального внесення твердих органічних добрив вологістю менше 70% не існує. Тому нами запропонована машина для локального внесення твердих органічних добрив (рис 1) [4].

Мета дослідження. Теоретично обґрунтувати геометричні параметри робочої поверхні скребка транспортера (рис. 1), для оптимізації робочого процесу формування вхідного потоку твердих органічних добрив до сапропелепроводів.

Результати досліджень. Аналізі переміщення шару матеріалу поверхню скребка будемо розглядати як рух окремих матеріальних частинок M шорсткою поверхнею. Введемо систему координат YOX із центром у вершині скребка та припустимо, що ця система рухається у напрямку вектора швидкості транспортера \vec{V}_{cx} прямолінійно і рівномірно. У такому випадку матеріальна частинка M буде здійснювати переносний рух – разом із скребком транспортера, і відносний рух – поступальний вздовж робочої поверхні скребка з лінійною швидкістю V_r .

Для забезпечення постійної висоти вхідного потоку добрив у конструкції передбачено скребковий транспортер. Тому в роботі було поставлено завданням теоретично дослідити та обґрунтувати профіль робочої поверхні скребка транспортера. Це дозволить оптимізувати робочий процес формування вхідного потоку добрив під час переміщення в сапропелепроводах.

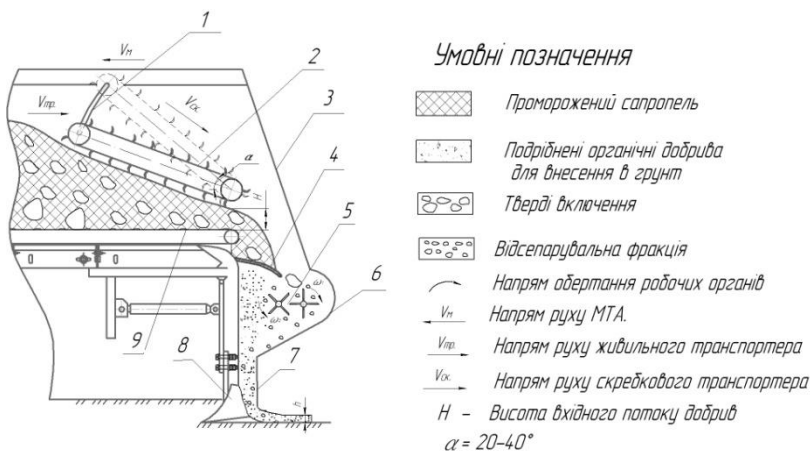


Рис. 1 – Схема процесу локального внесення промороженого сапропелю: 1 – направляюча; 2 – скребковий транспортер; 3 – огороджуючий щиток; 4 – прутковий сепаратор; 5 – подрібнюючий пристрій; 6 – скатна поверхня; 7 – сапропелепровод; 8 – сошник; 9 – подавальний транспортер

Для вирішення поставленого завдання необхідно прийняти допущення, що матеріальна частинка сапропелю (точка M) захоплюється скребком транспортера в крайньому нижньому положенні (т. A_1) та, переміщуючись у процесі роботи транспортера, сходиться з його робочої поверхні в крайньому верхньому положенні (т. A_2 , рис. 2).

Надалі під час аналізу переміщення шару матеріалу поверхнею скребка будемо розглядати його як рух окремих матеріальних частинок M шорсткою поверхнею. Введемо систему координат XOY , (рис. 2). Ця система рухається у напрямку вектора швидкості транспортера $\vec{v}_{ск}$ прямолінійно і рівномірно. У такому випадку матеріальна частинка M буде здійснювати переносний рух – разом із скребком транспортера, і відносний рух – поступальний вздовж робочої поверхні скребка з лінійною швидкістю V_r .

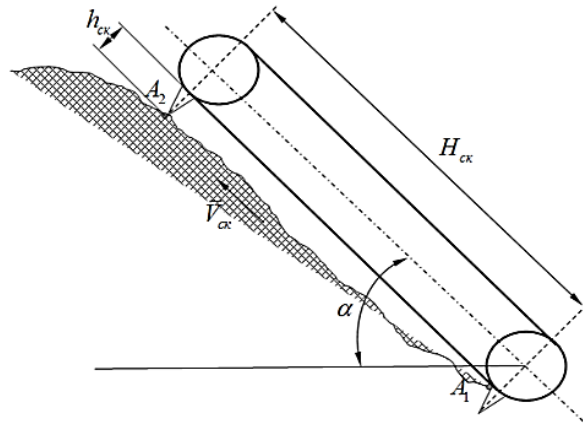


Рис. 2 – Схема до визначення переміщення частинки сапропелю робочою поверхнею скребка у процесі роботи транспортера

Для визначення профілю скребка транспортера розглянемо схему руху частинки сапропелю M (рис. 3), що надійшла на скребок. Частинка M буде підніматись разом зі скребком і переміщуватись його робочою поверхнею.

При цьому на матеріальну частинку діють такі сили:

- 1) сила ваги частинки $G = mg$, Н;
- 2) сила тертя $F_{mp} = f_{mp} \cdot N$, Н;

3) сила внутрішнього тертя між частинками сапропелю

$$F_{mp}^e = f_{mp}^e N, \text{ Н};$$

де f_{mp} – коефіцієнт тертя ковзання сапропелю по металу;

f_{mp}^e – коефіцієнт внутрішнього тертя маси сапропелю.

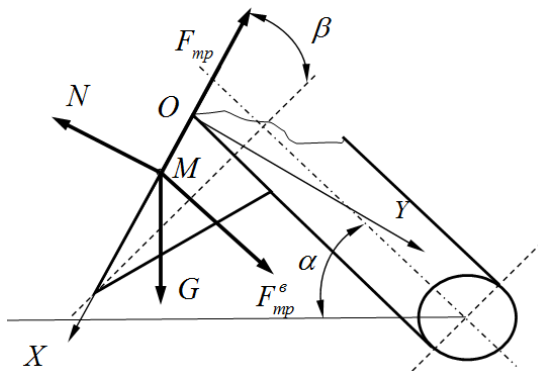


Рис. 3 – Розрахункова схема до визначення кута профілю скребка: α – кут нахилу транспортера, β – кут профілю робочої поверхні скребка

Для визначення профілю скребка транспортера необхідно встановити значення кута β та розробити модель, яка взаємопов’язує кут нахилу транспортера α , висоту скребка h та згаданий кут профілю скребка β .

Рівняння відносного руху частинки матеріалу вздовж осі Y (в напрямі, перпендикулярному до поверхні скребка буде, проекція на вісь OY):

$$m\ddot{y} = -N + F_{mp}^e \cos \beta + G \sin(\alpha - \beta). \tag{1}$$

Оскільки переміщення вздовж осі Y не відбувається, тоді $\ddot{y} = \dot{y} = y = 0$, відповідно, отримуємо:

$$-N + F_{mp}^e \cos \beta + G \sin(\alpha - \beta) = 0. \tag{2}$$

Звідки:

$$N = f_{mp}^e N \cos \beta + mg \sin(\alpha - \beta),$$

або

$$N = \frac{mg \sin(\alpha - \beta)}{1 - f_{mp}^e \cos \beta}. \quad (3)$$

Складаючи суму проєкцій сил на вісь OX і прирівнюючи її до добутку маси на прискорення, отримаємо диференціальне рівняння руху частинки робочою поверхнею скребка:

$$m\ddot{x} = -F_{mp} + F_{mp}^e \sin \beta + G \cos(\alpha - \beta), \quad (4)$$

або

$$m\ddot{x} = -f_{mp} N + f_{mp}^e N \sin \beta + mg \cos(\alpha - \beta). \quad (5)$$

Беручи до уваги рівняння (3) і (5) після відповідних перетворень система буде матиме вигляд:

$$\ddot{x} = \frac{g \cdot \sin(\alpha - \beta)}{1 - f_{mp}^e \cdot \cos \beta} (f_{mp}^e \sin \beta - f_{mp}) + g \cdot \cos(\alpha - \beta), \quad (3)$$

Двічі інтегруючи вираз (3) за часом t з урахуванням початкових умов при $t = 0$, $\dot{x} = V_{mp} = 0$ та $x = 0$, матимемо:

$$x = \left[\frac{g \cdot \sin(\alpha - \beta)}{1 - f_{mp}^e \cdot \cos \beta} (f_{mp}^e \sin \beta - f_{mp}) + g \cdot \cos(\alpha - \beta) \right] \frac{t^2}{2}. \quad (4)$$

За умови задачі, час руху частинки сапропелю робочою поверхнею скребка складе $t = \frac{H_{ск}}{V_{ск}}$, а відстань, яку вона пройде, буде рівною $\frac{h_{ск}}{\sin \beta}$.

Тому для отримання моделі взаємозв'язку параметрів α , β та $h_{ск}$ складемо систему рівнянь та обмежень:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{h_{ск}}{\sin \beta} &= \left[\frac{g \cdot \sin(\alpha - \beta)}{1 - f_{mp}^e \cdot \cos \beta} (f_{mp}^e \sin \beta - f_{mp}) + g \cdot \cos(\alpha - \beta) \right] \frac{\left(\frac{H_{ск}}{V_{ск}} \right)^2}{2}, \\ -45^\circ &\leq \beta \leq 45^\circ, \\ 20^\circ &\leq \alpha \leq 80^\circ. \end{aligned} \right. \quad (5)$$

За математичною моделлю (5) отримано результуючі графіки, зображені на рис. 4 і рис.5, за таких вхідних даних: $H_{ск} = 1,2$ м; $\bar{v}_{ск} = 1,0$ м/с; $f_{mp} = 0,25$; $f_{mp}^e = 0,5$.

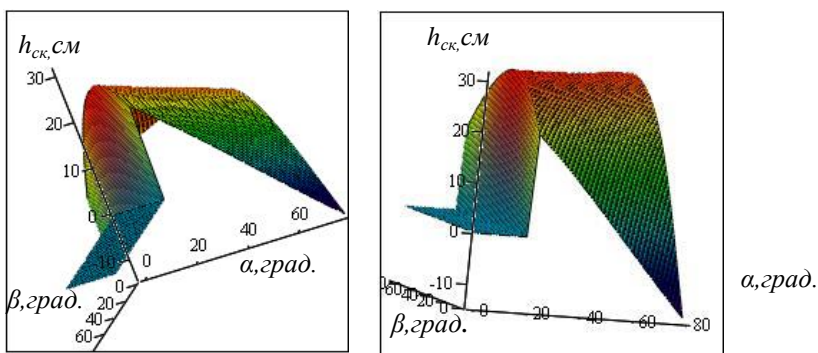


Рис. 4 – Графічна залежність параметрів α , β ($0^\circ \leq \beta \leq 90^\circ$) та $h_{ск}$

На основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що зі збільшенням кута підйому транспортера α зростає значення кута профілю скребка β .

Загалом, під час розгляду вищезазначеної задачі слід враховувати і те, що конструкція машини передбачає можливість зміни кута нахилу скребкового транспортера α . Тому введемо в розрахункову схему (рис. 3) відцентрову F_i та Кориолісову F_κ сили (рис. 6).

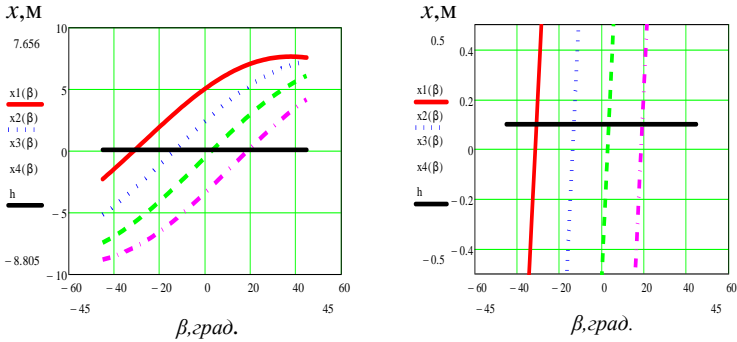


Рис. 5 – Відстань, яку пройде точка М робочою поверхнею скребка залежно від кута профілю скребка β : $x_1) \alpha=20^0$; $x_2) \alpha=40^0$; $x_3) \alpha=60^0$; $x_4) \alpha=80^0$

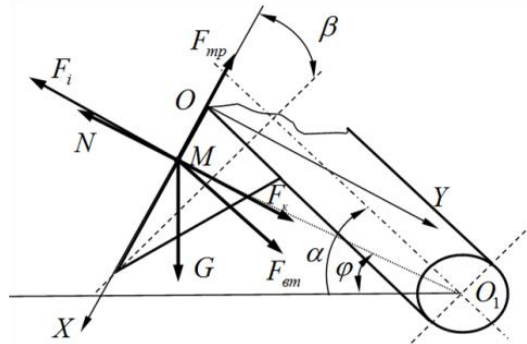


Рис. 6 – Розрахункова схема до визначення кута профілю скребка

Враховуючи можливість зміни кута нахилу транспортера α відносно т. O_1 , сума проєкцій всіх сил на вісь Y:

$$m\ddot{y} = -N + F_{mp}^e \cos \beta + G \sin(\alpha - \beta) + F_k - F_i \cos(\alpha - \varphi) \cos \beta. \quad (6)$$

Оскільки переміщення вздовж осі Y не відбувається, тоді $\ddot{y} = \dot{y} = y = 0$, відповідно, отримаємо:

$$-N + F_{mp}^e \cos \beta + G \sin(\alpha - \beta) + F_k - F_i \cos(\alpha - \varphi) \cos \beta = 0. \quad (7)$$

Звідси:

$$N = \frac{mg \sin(\alpha - \beta) + 2m\omega V_{mp} - mr\omega^2 \cos(\alpha - \varphi) \cos \beta}{1 - f_{mp}^e \cos \beta}, \quad (8)$$

де ω – кутова швидкість обертання транспортера навколо т. O_1
 $(\omega = \frac{V_{ck}}{H})$, рад/с;

V_{ck} – лінійна швидкість скребкового транспортера, м/с;

H – висота шару сапропелю, що формується скребковим транспортером (висота вхідного потоку добрив).

Оскільки $H_{ck} \gg h_{ck}$, то можна прийняти, що $\varphi \approx \alpha$ і радіус вектор $r = \frac{V_{ck}}{t}$, який зображено на рисунку 6, збігається з відрізком

O_1M .

Знову ж таки, складаючи суму проєкцій сил на вісь OX і прирівнюючи її до добутку маси на прискорення, отримаємо диференціальне рівняння руху частинки робочою поверхнею скребка:

$$m\ddot{x} = -F_{mp} + F_{mp}^e \sin \beta + G \cos(\alpha - \beta) - F_i \sin \beta \quad (9)$$

або

$$m\ddot{x} = N [f_{mp}^e \sin \beta - f_{mp}] + mg \cos(\alpha - \beta) - mr\omega^2 \sin \beta. \quad (10)$$

Підставляючи рівняння (8) в (10), отримаємо:

$$\ddot{x} = \frac{g \cdot \sin(\alpha - \beta) + 2\omega \dot{x} - r\omega^2 \cos \beta}{1 - f_{mp}^e \cdot \cos \beta} (f_{mp}^e \sin \beta - f_{mp}) + g \cdot \cos(\alpha - \beta) - r\omega^2 \sin \beta. \quad (11)$$

У такому випадку математична модель переміщення частинки сапропелю робочою поверхнею скребка матиме вигляд:

$$\begin{cases} \ddot{x} = \frac{g \cdot \sin(\alpha - \beta) + 2\omega \dot{x} - r\omega^2 \cos \beta}{1 - f_{mp}^e \cdot \cos \beta} (f_{mp}^e \sin \beta - f_{mp}) + g \cdot \cos(\alpha - \beta) - r\omega^2 \sin \beta, \\ -45^\circ \leq \beta \leq 45^\circ. \end{cases} \quad (12)$$

Для визначення профілю скребка транспортера слід виконати розрахунки згідно прийнятої моделі (12) в n точках за його висотою h_{ck} зважаючи на те, що:

$$\alpha = \omega \cdot t = \frac{V_{ck}}{H} \cdot t; \quad t = \frac{H_{ck}}{V_{ck}}, \quad (13)$$

та початкові умови:

$$\text{при } t = 0, \quad \dot{x} = 0 \text{ та } x = 0. \quad (14)$$

Так як $H_{ck} \gg h_{ck}$, то можна прийняти, що $\varphi \approx \alpha$ і радіус вектор $r = V_{ck} \cdot t$, (рис. 6) і співпадає з відрізком O_1M .

Зважаючи на те, що параметри x, α, r є функціями часу, то отримати аналітичний результат моделі (12) є складно. Для проведення розрахунків використовувався чисельний метод розв'язку диференціального рівняння Рунге-Кутта з постійним кроком у середовищі MathCad.

Провівши числове моделювання, отримали графічні залежності (рис. 7), які дають можливість розрахувати робочий профіль скребка транспортера за умови переміщення частинки матеріалу із крайньої нижньої точки A_1 (рис. 2) в крайню верхню точку A_2 і повороту транспортера навколо точки O_1 (рис. 6). Отримані значення кута дають можливість побудувати робочий профіль скребка транспортера (рис. 8).

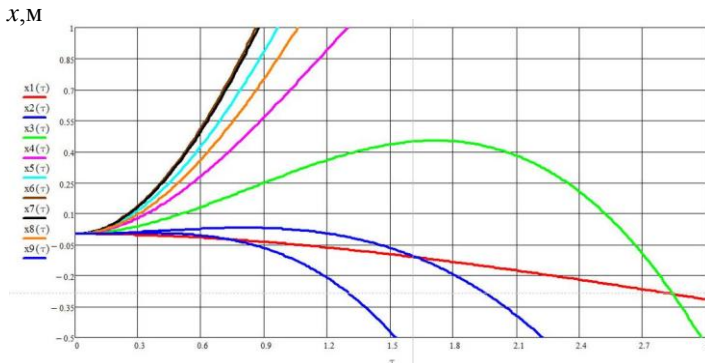


Рис. 7 – Залежність переміщення x частинки сапропелю M від часу τ_{pi} та кута профілю скребка β : $x_1 = 19^\circ$, $x_2 = 20^\circ$, $x_3 = 20,5^\circ$, $x_4 = 20,5^\circ$, $x_5 = 19^\circ$, $x_6 = 18^\circ$, $x_7 = 35^\circ$, $x_8 = 30^\circ$, $x_9 = 25^\circ$

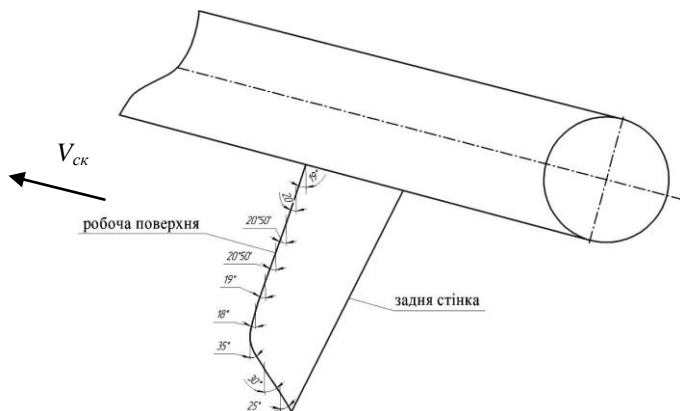


Рис. 8 – Робочий профіль скребка транспортера

Таким чином, запропонована математична модель дає можливість взаємозв'язати кінематичні і технологічні параметри машини та фізико-механічні властивості сапропелю. А також отримати профіль робочої поверхні скребка транспортера для формування шару сапропелю, який подається у зону формування смуг під час локального внесення добрив.

Висновки: Одержано математичні залежності, які враховують взаємозв'язок кінематичних і технологічних параметрів машини для локального внесення промороженого сапропелю та його фізико-механічні властивості. На основі аналізу переміщення елементарної маси криволінійною поверхнею встановлено, що кут профілю скребка є визначальним і перебуває у межах $\beta = 18^{\circ} - 35^{\circ}$ і суттєво впливає на якість переміщення матеріалу. Зміна положення скребкового транспортера, який характеризується кутом $\alpha = 20 - 80^{\circ}$, підтверджує необхідність у криволінійній формі робочої поверхні скребка.

Література.

1. Поліщук М.М. Зміна фізико-механічних властивостей промороженого сапропелю з часом // "Актуальні задачі сучасних технологій": збірник тез доповідей міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 19-20 грудня, 2012р., м. Тернопіль - Тернопіль,.; Видавництво ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2012. 17-18с.
2. Поліщук М.М., Бабарика С.Ф. Дослідження процесу подрібнення промороженого сапропелю. // Сільськогосподарські

машини. - 36. наук. ст. Вип. 24. - Луцьк: Ред. - вид. відділ ЛНТУ, 2013. - С. 298-305.

3. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Вища освіта, 2004. — 544 с.; іл.

4. Патент №92888 Україна, А01С 3/06, А01С15/00. Машина для локального внесення твердих органічних добрив / М.М. Поліщук, В.Ф. Дідух, Р.В. Кірчук, Р.А. Хлопецький, В.В. Сацюк, В.В. Тарасюк (Україна). – №u201403211; Заявл. 31.03.2014; Опубл. 10.09.2014 Бюл. №17.

5. Дідух В.Ф. Обґрунтування профілю скребка транспортера / В.Ф.Дідух, Р.В. Кірчук, М.М. Поліщук // Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки «Технічний сервіс машин для рослинництва».– Харків, 2014. – Вип. 145. – С. 82-90.

Рецензент д.т.н. Дідух В.Ф.

УДК 631.3: 631.674

©В.П. Ковбаса, д.т.н., Хайдер Раад Надим Аль-Хазаали
Национальный университет биоресурсов и природопользования
Украины

ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЛЕМЕХА КРОВОТАТЕЛЯ С ПОЧВОЙ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ ПОЛОСТИ ДЛЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННОГО ЭКРАНА

В статье приводятся результаты исследований взаимодействия лемешной части кротователя с почвой, которая представлена в виде упруго-вязкой модели, по определению компонент напряжений в ней на поверхности контакта с лемехом, а также ее уплотнения и определения составляющих усилий, которые возникают на рабочем органе в результате его взаимодействия с почвой.

Постановка проблемы. Для сохранения влаги (уменьшения проникновения воды в глубокие слои почвы) и лучшего распространения ее в горизонтальном направлении при внутривпочвенном орошении сельскохозяйственных растений возникает необходимость укладки увлажнителей совместно с