

## Технологии и средства механизации

УДК 502/504 : 631.626

**А. В. НИКИТЕНКО**

Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Новочеркасская государственная мелиоративная академия»

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВОДООБРАЗОВАНИЯ СЫПУЧЕГО ЗАЩИТНО- ФИЛЬТРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА В ГРУЗОВОМ ОТСЕКЕ БУНКЕРА ДРЕНОУКЛАДЧИКА**

*Рассмотрен вопрос математического моделирования процесса сводообразования в бункере дреноукладчика. Цель моделирования – разработка мер по предотвращению образования статически устойчивых сводов, влияющих на качество строительства дренажа.*

*Сводообразование, бункер дреноукладчика, динамический свод, дренаж.*

*The article considers the question of mathematical simulation of the arch formation process in the drainage machine bunker aiming at working out of measures on prevention of formation of statically stable arches influencing the quality of drainage construction.*

*Arch formation, drainage machine bunker, dynamic arch, drainage.*

При регулярном орошении неизбежно происходит подъем уровня грунтовых вод, что приводит к подтоплению и засолению почвогрунтов. Для регулирования уровня грунтовых вод с целью создания необходимого водно-солевого режима почвогрунтов, обеспечивающего оптимальные условия для развития сельскохозяйственных культур на орошаемых землях, необходимо сделать дренаж. Как показала практика, горизонтальный дренаж достаточно полно отвечает

современным техническим требованиям. Он автоматический (главным образом самотечный), долговечный, простой в эксплуатации, не препятствует перемещению по полям сельскохозяйственных машин.

Из известных способов строительства закрытого горизонтального дренажа (полумеханизированный, траншейный, узкотраншейный, бестраншейный) наибольшее распространение получил узкотраншейный способ строительства дренажа, который является экономически

целесообразным, исключая значительный объем земляных работ и позволяющий полностью механизировать процесс строительства. Однако при узкотраншейном способе строительства дренажа существует высокий риск нарушения проектной конструкции дрена, в том числе ухудшения равномерности обсыпки дренажной трубы сыпучим защитно-фильтрующим материалом (ЗФМ).

Исследования бункеров дреноукладчиков как отечественного, так и зарубежного производства, проведенные А. Н. Панченко в производственных условиях, показали, что при устройстве фильтра вокруг дренажной трубы из гравийно-песчаного материала внутри грузового отсека бункера образуется неподвижная уплотненная зона фильтра, которая перемещается вместе с ним. Подача гравийно-песчаного фильтра через щелевой распределитель происходит с перебоями, слой защитно-фильтрующего материала вокруг дренажной трубы раскладывается с разрывами [1].

Как показали наблюдения за работой дреноукладчиков, отклонения верхнего и нижнего слоев фильтра от заданной толщины доходили до 40 %. Трубы укладывались волнообразно с обратным уклоном. Таким образом, для повышения качества строительства дренажа требовалось обеспечить равномерное истечение защитно-фильтрующего материала из бункера дреноукладчика.

В основу теоретического решения процесса истечения сыпучего материала из емкости положена комбинированная механическая модель дискретного сыпучего тела, предложенная Л. В. Гячевым и В. А. Богомягих, которая включает допущения, позволяющие рассматривать процесс движения защитно-фильтрующего материала в желобе бункера с точки зрения образования в нем статически устойчивых и неустойчивых сводов [2, 3].

Для определения параметров процесса подачи защитно-фильтрующего материала из бункера к его выпускным отверстиям рассмотрим движение

такого материала под действием гравитационных сил (рис. 1).

Любая частица  $A$  защитно-фильтрующего материала в потоке участвует фактически в двух движениях – поступательном (переносном) со скоростью  $v_{A,E}$  и относительном со скоростью  $v_{A,R}$ . Такое перемещение частиц в потоке обуславливает то, что в процессе движения частицы сближаются, выбирая в точках контакта с соседними частицами «зазор». Происходит «эффект» сужения потока. Это ведет к возрастанию нормальных составляющих сил, действующих в плоскости контакта частиц и, следовательно, к увеличению сил трения между ними. Последнее способствует появлению тормозящих импульсов, препятствующих движению частиц. Эти импульсы обуславливают возникновение неустойчивых (динамических) и статически устойчивых сводов в сплошном потоке частиц защитно-фильтрующего материала (см. рис. 1).

В зависимости от величины вышележащей нагрузки и формы кривой давления, на которой располагаются контакты частиц образовавшегося

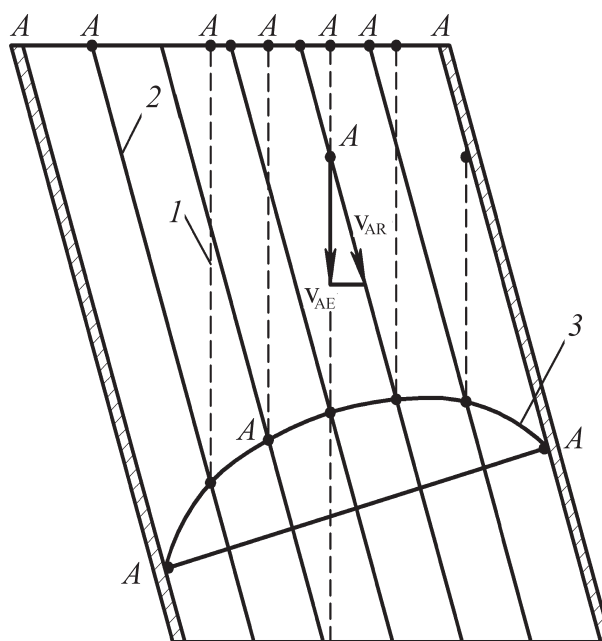


Рис. 1. Процесс движения защитно-фильтрующего материала в желобе бункера: 1 – линии переносного движения; 2 – линии скольжения относительного движения; 3 – динамический свод или статически устойчивый свод

свода, будет определяться та сила, с которой отдельные частицы данного свода прижимаются друг к другу и к поверхности, ограничивающей поток.

Если составляющая этой силы, действующая в плоскости соприкосновения частиц друг с другом и частиц с поверхностью скольжения потока, окажется больше сил трения между частицами и поверхностью скольжения потока, то такой свод будет неустойчивым (динамическим) и разрушится. В противном случае образуется статически устойчивый свод, препятствующий

перемещению частиц потока по направлению желобу бункера.

Образование и разрушение динамических сводов защитно-фильтрующего материала отрицательно сказывается на равномерности его подачи к выходному отверстию бункера.

Поскольку вид истечения защитно-фильтрующего материала – гидравлический, то при рассмотрении этого вопроса за опору статически устойчивого свода принята частица защитно-фильтрующего материала, расположенная на стенке желоба (рис. 2).

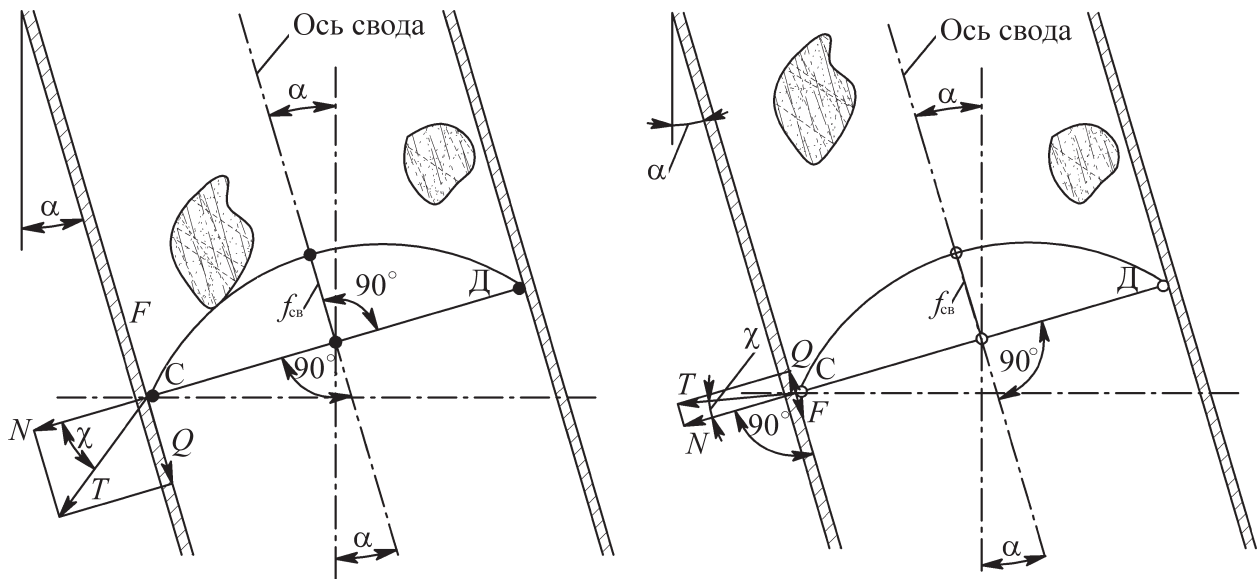


Рис. 2. Схема условия образования статически устойчивого свода

Передаваемая опорой статически устойчивого свода поверхности скольжения сила давления вышележащей нагрузки определяется силой  $T$ , касательной к кривой свода в точке опоры  $C$  и составляющей с пролетом свода  $CD$  угол  $\chi$ .

Составляющая этого усилия сила давления  $N$ , нормальная к поверхности скольжения, прижимает опору свода к последней, а составляющая  $Q$  в плоскости, касательной к поверхности скольжения опоры, сдвигает опору во внешнюю или внутреннюю сторону свода. Последнее обусловлено величиной угла  $\chi$ , определяющего направление силы  $T$  к горизонтали (в нашем случае к пролету свода  $CD$ ).

Для равновесия опоры свода необходимо, чтобы выполнялось условие

$Q \leq F$ . При  $Q = F$  условие устойчивости опоры свода для гидравлического движения защитно-фильтрующего материала в желобе имеет вид

$$\chi = \alpha \pm \varphi_{ст}, \tag{1}$$

где  $\varphi_{ст}$  – угол трения частиц защитно-фильтрующего элемента о стенку желоба.

Из приведенного выше следует, что равновесие опоры статически устойчивого свода не нарушится даже тогда, когда  $\varphi_{ст} = 0$ . В этом случае условие устойчивости опоры статически устойчивого свода запишется в виде

$$\chi = \alpha. \tag{2}$$

Таким образом, максимальная устойчивость опоры статически устойчивого свода наблюдается при силе давления  $T$ , касательной к кривой свода в

точке контакта опоры свода с поверхностью скольжения желоба, когда она является нормальной в этой точке контакта.

При гидравлическом движении защитно-фильтрующего материала в желобе устойчивость опоры статического свода зависит от угла наклона стенки желоба. Статический свод наиболее устойчив при диаметре желоба, который меньше или равен его наибольшему сводообразующему размеру, т. е. при условии

$$R_{\text{ж}} \leq R_{\text{н.св}}. \quad (3)$$

Таким образом, статически устойчивый свод образуется при выполнении условий (1), (2) и (3).

При возникновении в бункере статически устойчивого свода пространство под ним не заполняется сыпучим материалом. Если приложить внешний импульс на его «замковую» частицу, то она выйдет за пределы кривой свода и начнет свободное падение с высоты, равной стреле  $f_{\text{св}}$  свода под действием гравитационной силы  $G_m$ .

Дифференциальное уравнение свободного падения замковой частицы  $m$  по оси  $x'$  с высоты, равной стреле  $f_{\text{св}}$  свода, будет иметь следующий вид (рис. 3):

$$m \frac{d^2 x'}{dt^2} = mg; \quad \frac{dv_{x'}}{dt} = g; \quad v_{x'} = gt + c_1.$$

$$\text{При } t = 0; \quad v_x = 0; \quad c_1 = 0; \quad v_{x'} = gt;$$

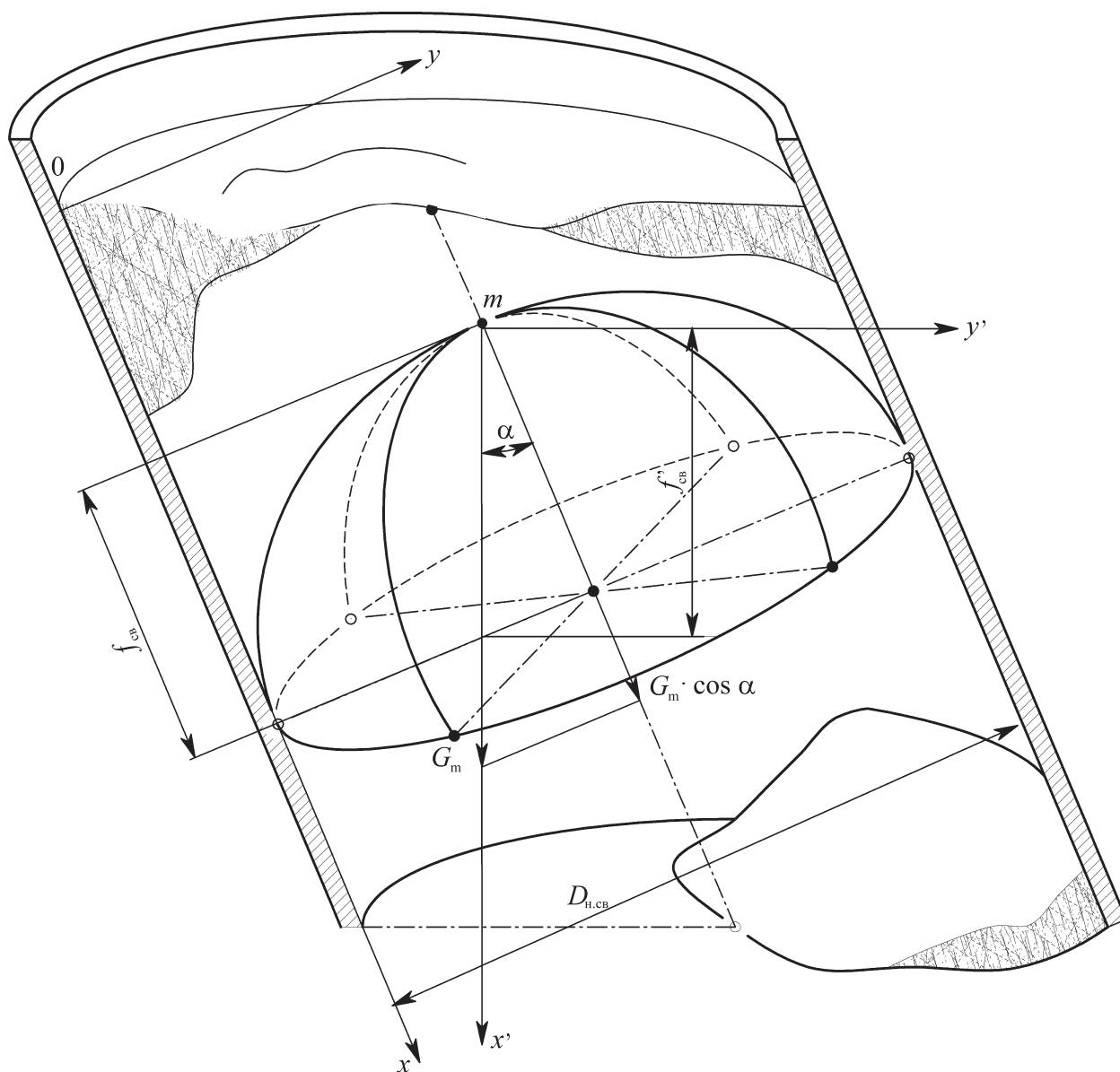


Рис. 3. Схема определения частотной характеристики свода

$$\frac{dx'}{dt} = gt; x' = \frac{gt^2}{2} + c_2.$$

При  $t = 0; x' = 0; c_2 = 0: x' = \frac{gt^2}{2}.$

Поскольку  $x' = f'_{cb}$ , а  $f'_{cb} = \frac{f_{cb}}{\cos \alpha}$ , то

$$f_{cb} = g \cos \alpha \cdot \frac{t^2}{2} \text{ и } t_{раз} = \sqrt{\frac{2f_{cb}}{g \cos \alpha}}.$$

Полученное  $t_{раз}$  не учитывает прочности (осевой податливости  $\lambda_0$ ) статически устойчивого свода и, следовательно, темп его разрушения.

Из теории и практики известно, что полное время разрушения статически устойчивого свода в 10–15 раз больше теоретического  $t_{раз}$ , т. е.

$$t_{п.раз} = k_p t_{раз}; k_p = \frac{1}{\lambda_0}; [\lambda = (0,1...0,08)],$$

где  $k_p = (10...15)$  – коэффициент, характеризующий прочность свода.

По предположению,  $t_{п.раз} = t_{п.обр}$ , где  $t_{п.обр}$  – время полного образования статически устойчивого свода.

Тогда линейная частота возникновения или разрушения статически устойчивого свода будет равна:

$$v = \frac{1}{t_{п.обр}} = \frac{1}{k_p} \cdot \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{2f_{cb}}}. \quad (4)$$

Графики изменения функций  $v = f(\alpha)$  и  $v = f(f_{cb})$  показаны на рис. 4 и 5.

Принимая во внимание частотную характеристику статически устойчивого свода, можно рекомендовать режим работы сводоразрушающего механизма, например: известно, что угловая частота

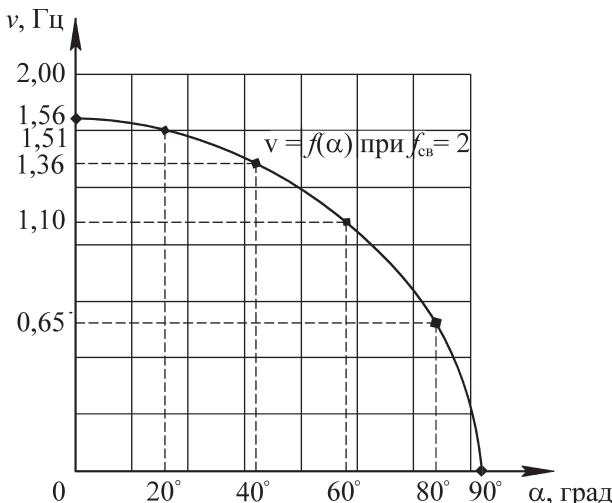


Рис. 4. График функции  $v = f(\alpha)$  при  $f_{cb} = 2$

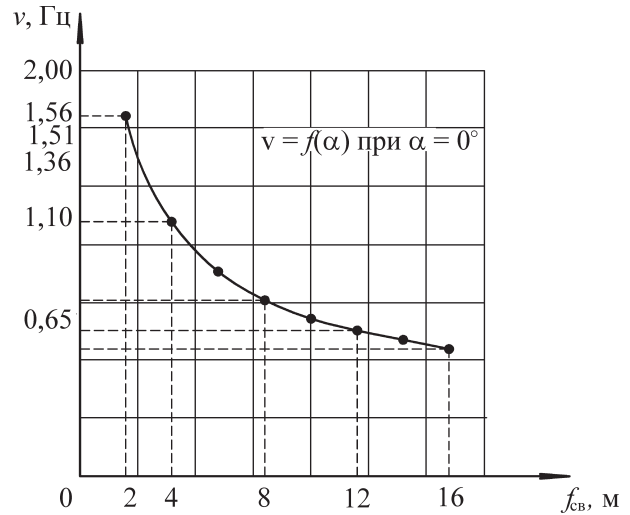


Рис. 5. График функции  $v = f(\alpha)$  при  $\alpha = 0$

та вращения рыхлительного устройства-ворошилки

$$w_B = 2\pi v; v = \frac{w_B}{2\pi}. \quad (5)$$

Приравнивая (4) к (5), имеем

$$\frac{w_B}{2\pi} = \frac{1}{k_p} \cdot \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{2f_{cb}}}, \text{ но } w_B = \frac{\pi n_B}{30}.$$

Следовательно,

$$n_B = \frac{60}{k_p} \cdot \sqrt{\frac{g \cos \alpha}{2f_{cb}}}. \quad (6)$$

Формула (6) определяет максимальные допустимые обороты ворошилки.

В таком режиме работы ворошилки достигается околорезонансное разряжение защитно-фильтрующего материала, предотвращающее возникновение статически устойчивых сводов при движении защитно-фильтрующего материала в желобе бункера исследуемого агрегата.

1. **Панченко А. Н.** Бункеры дренаж-ладчиков зоны орошения : монография. – Ашхабад : Ылым, 1985. – 90 с.

2. **Богомягких В. А.** Теория и расчет бункеров для зерновых материалов: монография. – Ростов-на-Дону: Издательство Ростовского университета, 1973. – 148 с.

3. **Гячев А. В.** Движение сыпучих материалов в трубах бункерах: учебное пособие для вузов. – М. : Машиностроение, 1962. – 184 с.

Материал поступил в редакцию 29.04.09.

**Никитенко Андрей Васильевич**, заведующий лабораторией

Тел. 8 (6352) 2-21-70

E-mail: Nikitenko\_ngma@mail.ru