

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЧИЩЕНИЮ СЕМЯН САХАРНОЙ СВЕКЛЫ ОТ ВРЕДНЫХ ПРИМЕСЕЙ ДИКОЙ РЕДЬКИ

Головченко Г.С., ст. преподаватель, Калнагуз О. М., ст. преподаватель

СУМСКОЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНИЙ УНИВЕРСИТЕТ, УКРАИНА

### Постановка проблемы в общем виде

В сельскохозяйственном производстве послеуборочная обработка семян занимает важное место в получении высоких урожаев. Удаление из семян сахарной свеклы примесей значительно повышает товарную ценность семян, улучшает их посевные качества и распределение растений в рядке, снижает засоренность полей. Поэтому этот вопрос не потерял своей актуальности.

### Анализ последних исследований и публикаций

Производственной практикой и научными учреждениями доказано, что снижение затрат ручной работы при возделывании сахарной свеклы достигается равномерным распределением семян в рядке и высокой полевой схожестью. Очистка семян сахарной свеклы от примесей является основной операцией, которая обеспечивает получение высококачественного материала для сева. Использование для сева семян высокой чистоты имеет важное значение для равномерного посева.

Очистка семян сахарной свеклы от дикой редьки в воздушном потоке и на решетках не приводит к желательному результату [3]. Очистка возможна после изменения парусности компонентов семенной смеси [1].

### Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Получить зависимости по определению траектории движения в наклонном воздушном потоке компонентов семенной смеси: сахарная свекла – дикая редька, которые поступают без начальной скорости.

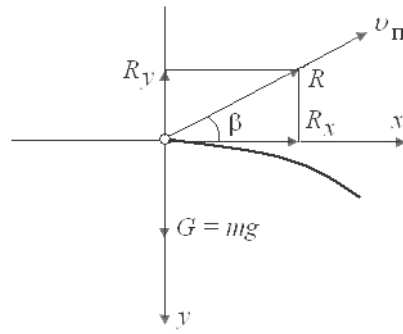
### Изложение основного материала

Рассмотрим поведение семян в воздушном потоке. Поведение материального тела, которое размещено в наклонном воздушном потоке, зависит от многих факторов, которые связаны со свойствами материального тела и потока.

Для выявления закономерности движения семян в вертикальном воздушном потоке сделаем некоторые предположения:

- 1) воздушный поток находится в одной плоскости;
- 2) воздушный поток постоянный за величиной и направлением скорости;
- 3) семена сахарной свеклы и дикой редьки перемещаются в потоке свободно, как материальные тела, без столкновения друг с другом.

Пусть имеем ламинарный поток, который характеризуется скоростью  $v_n$ . На семя, которое попадает в поток, действуют силы (рис. 1): сила тяжести  $G = mg$ , которая направлена вертикально вниз, сила действия воздушного потока  $R$ , которая определяется относительной скоростью  $v_{\text{от}}$ .



**Рис. 1. Скорости и силы, которые действуют на семя в наклонном воздушном потоке**

Исследование движения семени в воздушном потоке может быть выполнено с применением принципа Даламбера [5]. В связи с принятыми предположениями имеем на оси  $x$  и  $y$  следующие дифференциальные уравнения:

$$-m \frac{dv_{ax}}{dt} + R_x = 0, \quad (1)$$

$$-m \frac{dv_{ay}}{dt} - R_y + mg = 0, \quad (2)$$

где  $m \frac{dv_{ax}}{dt}$  и  $m \frac{dv_{ay}}{dt}$  – проекции сил инерции от относительной скорости соответственно на оси  $x$  и  $y$ , Н;

$R_x$  и  $R_y$  – проекции силы сопротивления воздуха на оси  $x$  и  $y$ , Н;

$mg$  – сила тяжести семени, Н;

$m$  – масса семени;

$v_s, \frac{dv_s}{dt}, m \frac{dv_s}{dt}$  – соответственно скорость семени в относительном движении, ускорение, сила инерции от относительной скорости.

Сила сопротивления воздушного потока определяется по формуле Ньютона

$$R = k \gamma_n F (v_n - v_s)^2, \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент сопротивления воздуха;

$\gamma_n$  – объемная масса воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$F$  – миделево сечение, то есть проекция семени на плоскость, перпендикулярную к направлению воздушного потока, м<sup>2</sup>;

$v_n, v_s$  – скорости соответственно воздушного потока и семени в относительном движении, м/с.

При относительной скорости  $v_s = 0$  за  $R = G$  семя будет находиться в зависшем состоянии, которое отвечает критической скорости воздушного потока, то есть  $v_n = v_{кр}$ . Тогда

$$k \gamma_n F = \frac{G}{v_{кр}^2}, \quad (4)$$

и формула (3) приобретает вид

$$R = \frac{G}{v_{кр}^2} (v_n - v_s)^2. \quad (5)$$

Исходя из выше приведенного, формулы (1) и (2) можно записать в виде

$$m \frac{dv_{ax}}{dt} = \frac{mg}{v_{кр}^2} (v_n - v_s)^2 \cos \beta, \quad (6)$$

$$m \frac{dv_{ay}}{dt} = -\frac{mg}{v_{кр}^2} (v_n - v_s)^2 \sin \beta + mg. \quad (7)$$

Сначала решим уравнение (6). Выполнив элементарные преобразования и проинтегрировав, получим

$$\frac{v_{кр}^2 \cos \beta}{g} \cdot \frac{1}{(v_n \cos \beta - v_{ax})} = t + C_1. \quad (8)$$

Постоянную интегрирования  $C_1$  найдем при  $t = 0$  и  $v_{ax} = 0$ :  $C_1 = \frac{v_{кр}^2}{g v_n}$ , тогда уравнение (8) можно записать в виде:

$$\frac{1}{v_n \cos \beta - v_{ax}} = \frac{gt}{v_{кр}^2 \cos \beta} + \frac{1}{v_n \cos \beta},$$

решив которое, найдем значение проекции относительной скорости движения  $v_{ax}$  на ось  $x$ :

$$v_{ax} = v_n \cos \beta - \frac{v_{кр}^2 \cos \beta}{gt + \frac{v_{кр}^2}{v_n}}. \quad (9)$$

Поскольку  $v_{ax} = \frac{dx}{dt}$ , это интегрируя (9), найдем значение перемещения  $X$ :

$$X = v_n \cos \beta t - \frac{v_{кр}^2 \cos \beta}{g} \ln \left| gt + \frac{v_{кр}^2}{v_n} \right| + C_2.$$

Постоянную интегрирования  $C_2$  найдем при  $t = 0$  и  $X = 0$ :

$$C_2 = \frac{v_{кр}^2 \cos \beta}{g} \ln \left| \frac{v_{кр}^2}{v_n} \right|.$$

Тогда, подставив найденное значение  $C_2$  в общее решение, получим:

$$X = v_n \cos \beta t - \frac{v_{кр}^2 \cos \beta}{g} \ln \left| gt + \frac{v_{кр}^2}{v_n} \right| + \frac{v_{кр}^2 \cos \beta}{g} \ln \left| \frac{v_{кр}^2}{v_n} \right|.$$

Выполнив тождественные преобразования, получили значение для перемещения  $X$ :

$$X = v_n \cos \beta t - \frac{v_{кр}^2 \cos \beta}{g} \ln \left| 1 + \frac{gt v_n}{v_{кр}^2} \right|. \quad (10)$$

Формулу (7) можно записать в виде:

$$\frac{dv_{ay}}{dt} = -\frac{g}{v_{кр}^2 \sin \beta} \left[ (v_n \sin \beta - v_{ay})^2 - v_{кр}^2 \sin \beta \right].$$

После интегрирования получим общее решение уравнения (7):

$$\frac{v_{кр} \sqrt{\sin \beta}}{2g} \ln \left| \frac{v_n \sin \beta - v_{ay} - v_{кр} \sqrt{\sin \beta}}{v_n \sin \beta - v_{ay} + v_{кр} \sqrt{\sin \beta}} \right| = t + C_3. \quad (11)$$

Постоянную интегрирования  $C_3$  найдем при  $t = 0$  и  $v_{ay} = 0$ :

$$C_3 = \frac{v_{кр} \sqrt{\sin \beta}}{2g} \ln \left| \frac{v_n \sin \beta - v_{кр} \sqrt{\sin \beta}}{v_n \sin \beta + v_{кр} \sqrt{\sin \beta}} \right|.$$

Тогда, подставивши найденное значение  $C_3$  в общее решение (11), получим:

$$\frac{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}{2g} \ln \left| \frac{\nu_{п} \sin \beta - \nu_{ey} - \nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}{\nu_{п} \sin \beta - \nu_{ey} + \nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}} \cdot \frac{\nu_{п} \sin \beta + \nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}{\nu_{п} \sin \beta - \nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}} \right| = t.$$

Обозначивши  $\nu_{п} \sin \beta + \nu_{кр} \sqrt{\sin \beta} = P$  и  $\nu_{п} \sin \beta - \nu_{кр} \sqrt{\sin \beta} = U$ , получим:

$$\ln \left| \frac{U - \nu_{ey}}{P - \nu_{ey}} \cdot \frac{P}{U} \right| = \frac{2gt}{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}} \rightarrow \frac{U - \nu_{ey}}{P - \nu_{ey}} = \frac{U}{P} e^{\frac{2gt}{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}}.$$

С помощью тождественных преобразований найдем значение  $\nu_{ey}$ :

$$\nu_{ey} = \frac{UP \left( 1 - e^{\frac{2gt}{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}} \right)}{P - U e^{\frac{2gt}{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}}}. \quad (12)$$

Поскольку  $\nu_{ey} = \frac{dy}{dt}$ , это интегрируя (12), найдем значение перемещения  $Y$ :

$$Y = UP \left( \frac{t}{P} - \frac{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}{2gP} \ln \left| P - U e^{\frac{2gt}{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}} \right| + \frac{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}{2gU} \ln \left| P - U e^{\frac{2gt}{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}} \right| \right) + C_4,$$

Выполнивши преобразование, получим общее решение уравнения  $\nu_{ey} = \frac{dy}{dt}$ :

$$Y = Ut - \frac{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}{2g} (U - P) \ln \left| P - U e^{\frac{2gt}{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}} \right| + C_4. \quad (13)$$

Постоянную интегрирования  $C_4$  найдем при  $t = 0$  и  $Y = 0$ :

$$C_4 = \frac{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}{2g} (U - P) \ln |P - U|.$$

Тогда, подставивши найденное значение  $C_4$  в общее решение (13), и учитывая, что  $\nu_{п} \sin \beta + \nu_{кр} \sqrt{\sin \beta} = P$  и  $\nu_{п} \sin \beta - \nu_{кр} \sqrt{\sin \beta} = U$  получим координату  $Y$  – перемещения по оси  $y$ :

$$Y = (\nu_{п} \sin \beta - \nu_{кр} \sqrt{\sin \beta})t + \frac{\nu_{кр}^2 \sin \beta}{g} \ln \frac{1}{2} \left| 1 + \frac{\nu_{п} \sqrt{\sin \beta}}{\nu_{кр}} + \left( 1 - \frac{\nu_{п} \sqrt{\sin \beta}}{\nu_{кр}} \right) e^{\frac{2gt}{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}} \right|. \quad (14)$$

Таким образом, получили уравнение перемещения материальной частички:

$$\begin{cases} X = \nu_{п} \cos \beta t - \frac{\nu_{кр}^2 \cos \beta}{g} \ln \left| 1 + \frac{gt \nu_{п}}{\nu_{кр}^2} \right|, \\ Y = (\nu_{п} \sin \beta - \nu_{кр} \sqrt{\sin \beta})t + \frac{\nu_{кр}^2 \sin \beta}{g} \ln \frac{1}{2} \left| 1 + \frac{\nu_{п} \sqrt{\sin \beta}}{\nu_{кр}} + \left( 1 - \frac{\nu_{п} \sqrt{\sin \beta}}{\nu_{кр}} \right) e^{\frac{2gt}{\nu_{кр} \sqrt{\sin \beta}}} \right|. \end{cases} \quad (15)$$

Предоставим  $\nu_{п}$  и  $\beta$  определенные значения:  $\nu_{кр} = 5$  м/с (к обволакиванию семян сахарной свеклы и дикой редьки увлажненным веществом),  $\beta = 30^\circ$ .

Предположим, что семена сахарной свеклы и дикой редьки имеют одинаковую парусность. Если их обволочь увлажненным веществом, которое

является естественным компонентом грунта, плотность которого больше, чем плотность семян, то поскольку семена сахарной свеклы имеют более шершавую поверхность, чем семена дикой редьки, первые изменяют свою массу сильнее, чем вторые. Вследствие этого меняется парусность (критическая скорость) семени в разных пропорциях.

Если увеличить массу семян сахарной свеклы на 40 %, а массу семян дикой редьки на 20 %, то, исходя из формулы (4)

$$v_{кр} = \sqrt{\frac{mg}{k\gamma_n F}}, \quad (16)$$

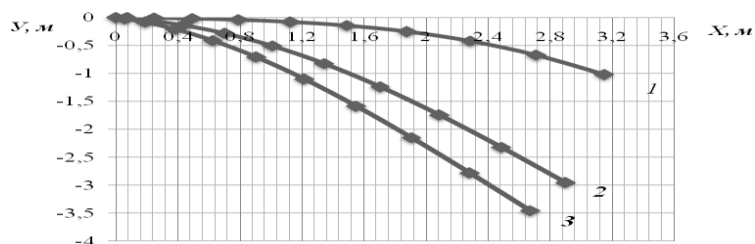
имеем, что критическая скорость семян сахарной свеклы увеличится  $\approx$  в 1, 2 раза, а критическая скорость семян дикой редьки  $\approx$  в 1, 1 раза.

Предположим, что критическая скорость семян сахарной свеклы и дикой редьки к обволакиванию составляла  $v_{кр} = 5,0$  м/с. После обволакивания увлажненным веществом критическая скорость семян дикой редьки  $v_{кр.д.р} = 5 \cdot 1,1 = 5,5$  м/с, а семян сахарной свеклы  $v_{кр.с.б} = 5 \cdot 1,2 = 6,0$  м/с. Для выполнения технологического процесса разделения смеси: сахарная свекла – дикая редька примем скорость воздушного потока  $v_{п} = 5,75$  м/с.

Проанализируем уравнение (15). Перемещение семян зависит от  $v_{п}$ ,  $v_{кр}$ , угла наклона воздушного потока  $\beta$  и времени его действия. В табл. 1 приведено перемещения сахарной свеклы и дикой редьки до обволакивания веществом и после обволакивания от времени  $t$ .

**Таблица 1. Перемещение сахарной свеклы и дикой редьки до обволакивания веществом и после обволакивания в зависимости от времени  $t$**

| Значение $t$ , с | Перемещение, м                                                  |        |                                                               |       |                                                              |       |
|------------------|-----------------------------------------------------------------|--------|---------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------|-------|
|                  | компонентов семенной смеси до обволакивания ( $v_{кр} = 5$ м/с) |        | семян сахарной свеклы после обволакивания ( $v_{кр} = 6$ м/с) |       | семян дикой редьки после обволакивания ( $v_{кр} = 5,5$ м/с) |       |
|                  | $X$                                                             | $Y$    | $X$                                                           | $Y$   | $X$                                                          | $Y$   |
| 0,1              | 0,071                                                           | 0,001  | 0,051                                                         | 0,018 | 0,060                                                        | 0,011 |
| 0,2              | 0,246                                                           | 0,006  | 0,185                                                         | 0,081 | 0,213                                                        | 0,051 |
| 0,3              | 0,492                                                           | 0,016  | 0,381                                                         | 0,206 | 0,432                                                        | 0,135 |
| 0,4              | 0,789                                                           | 0,037  | 0,623                                                         | 0,409 | 0,670                                                        | 0,280 |
| 0,5              | 1,124                                                           | 0,078  | 0,903                                                         | 0,704 | 1,006                                                        | 0,504 |
| 0,6              | 1,488                                                           | 0,140  | 1,213                                                         | 1,096 | 1,342                                                        | 0,822 |
| 0,7              | 1,876                                                           | 0,248  | 1,548                                                         | 1,581 | 1,703                                                        | 1,236 |
| 0,8              | 2,284                                                           | 0,417  | 1,905                                                         | 2,147 | 2,085                                                        | 1,740 |
| 0,9              | 2,709                                                           | -0,669 | 2,280                                                         | 2,777 | 2,484                                                        | 2,318 |
| 1                | 3,147                                                           | 1,016  | 2,670                                                         | 3,454 | 2,898                                                        | 2,950 |



**Рис. 2. Зависимость траектории движения семян сахарной свеклы и дикой редьки от времени  $t$ :**

1 – траектория движения семян сахарной свеклы и дикой редьки до обволакивания увлажненным веществом; 2 – траектория движения семян дикой редьки после обволакивания; 3 – траектория движения семян сахарной свеклы после обволакивания

По данным табл. 1 построена зависимость (рис. 2) траектории движения от времени  $t$  семяна сахарной свеклы и дикой редьки до обволакивания увлажненным веществом (кривая 1), траектории движения семян дикой редьки после обволакивания (кривая 2), траектории движения семян сахарной свеклы после обволакивания увлажненным веществом (кривая 3).

Анализ полученных зависимостей (15) показывает, что очищение семян сахарной свеклы от дикой редьки в наклонном воздушном потоке возможно по изменению критической скорости компонентов смеси, которые поступают без начальной скорости.

### **ВЫВОДЫ**

Получены зависимости по определению траектории движения в наклонном воздушном потоке компонентов семенной смеси: сахарная свекла – дикая редька. Анализ полученных зависимостей (15) показывает, что очищение семян сахарной свеклы от дикой редьки в наклонном воздушном потоке возможно за изменением критической скорости компонентов смеси, которые поступают без начальной скорости.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. А. С. СССР № 1202632 А, кл. В 07 В 4/00. Способ разделения зернистых материалов / В.М. Слугинов, Ю.А. Злобин, С.С. Яцун, С.И. Дяденко, Г.С. Яцун; Заявл. 11.07. 1984; Опубл. 07.01.1986, Б. И. № 1.
2. ГОСТ 10882 – 82 на насіння цукрового буряка.
3. Кулагин Михаил Сергеевич.. Механизация послеуборочной обработки и хранения зерна и семян / М.С. Кулагин, В.М. Соловьёв, В.С. Желтов. – М.: Колос, 1979. – 256 с.
4. Разработка способа очистки семян сахарной свёклы от дикой редьки (промежуточный отчет). Этап 1. Изыскание способа очистки семян сахарной свёклы на существующих машинах / В.М. Слугинов, С.С. Яцун, Г.Г. Данилов [та ін.]. – Сумы: 1983. – 38 с.
5. Булгаков Володимир Михайлович. Інженерна механіка (Частина 1. Теоретична механіка): підруч. для студ. ВНЗ / В.М. Булгаков, О.І. Литвинов, Д.Г. Войтюк; за заг. редакцією В.М. Булгакова. – Вінниця: Нова Книга, 2006. – 504 с.