

УДК 631.33.024.4

**В.И. Сербин, проф., д-р техн. наук, Ю.В. Мельник, доц., канд. техн. наук, Р.Ф. Лысый, канд. техн. наук***Государственный Аграрный Университет Молдовы, г. Кишинев, Молдова**E-mail: v.serbin@uasm.md*

## Экспериментальные исследования транспортирования семян к заделывающим органам

В статье изложены результаты экспериментальных исследований транспортирования семян по вращающимся семяпроводам, при которых обеспечивается качественное выполнение технологического процесса посева пропашных культур на скоростях движения посевного агрегата до 13, 26 км/ч. Установлена функциональная зависимость скорости воздушной струи от давления, выраженного через коэффициент потерь, численное значение которого составило  $\bar{K} = 0,553$  с дисперсией  $\sigma_k^2 = 0,0011$ .

**семяпроводы, параметры, угол установки, угол выброса, угол поворота, скорость вылета семени, число кадров киноплёнки, дисперсия, регрессионная модель, эмпирический график, коэффициент потерь**

**В.І. Сербін, проф., д-р техн. наук, Ю.В. Мельник, доц., канд. техн. наук, Р.Ф. Лисий, канд. техн. наук**  
*Державний Аграрний Університет Молдови, м. Кишинів, Молдова*

### Експериментальні дослідження транспортування насіння до зароблюючих органів

У статті викладені результати експериментальних досліджень транспортування насіння по обертовим насінняпроводам, при яких забезпечується якісне виконання технологічного процесу посіву пропашних культур на швидкостях руху посівного агрегату до 13, 26 км / год. Встановлено функціональна залежність швидкості повітряного струменя від тиску, вираженого через коефіцієнт втрат, чисельне значення якого склало  $\bar{K} = 0,553$  з дисперсією  $\sigma_k^2 = 0,0011$ .

**насінняпроводи, параметри, кут установки, кут викиду, кут повороту, швидкість вильоту насіння, число кадрів кіноплівки, дисперсія, регресійна модель, емпіричний графік, коефіцієнт втрат**

**Постановка проблемы.** Одной из причин, ведущих к нарушению нормального функционирования технологического процесса ротационно-лунковой сеялки, является большая продолжительность движения семян по семяпроводам. Теоретически доказано, что с возрастанием скорости движения сеялки происходит выброс семян на поверхность почвы, обусловленный запаздыванием подачи семян в лункообразователи. Поэтому, чтобы произвести обоснованный выбор рабочих режимов сеялки и правильно управлять ими, необходимо иметь данные закономерности движения семян по семяпроводам. Семяпроводы ротационно-лунковой сеялки в плоскости вращения ротора можно в принципе устанавливать с различной осевой ориентацией. Теоретически нельзя исключать варианты с любыми значениями углов установки семяпроводов, однако наибольший практический интерес представляют, естественно, сеялки с установкой семяпроводов под углами  $0 \dots \pi/2$  радиан. В дальнейшем семяпроводы с нулевым углом установки будем называть радиальными, с углом установки  $\pi/2$  радиан – тангенциальными. Ведущим параметром направленности семяпроводов может служить угол, образованный продольной осью семяпровода и радиусом ротора, проходящими через ячейку высевашевого аппарата.

**Постановка задачи.** С целью проверки теоретических предпосылок транспортирования семян была проведена серия экспериментов для определения достоверности основных положений аналитической модели движения семян по

семяпроводам. При этом предполагалось получить зависимости, характеризующие влияние исходного давления воздуха и частоты вращения колеса (скорости движения сеялки) на угол поворота колеса, при котором семя выбрасывается из семяпровода, и на его выходную скорость. Ставилась также задача определения опытным путем энергетических характеристик транспортирующего семени воздуха.

**Изложение основного материала.** Опыты проводились на лабораторной установке с подключением к ней источника сжатого воздуха. Давление в напорной камере высевающего аппарата определялось и контролировалось с помощью жидкостного манометра. Соответствующая каждому из контролируемых давлений скорость воздушной струи в семяпроводе вычислялось по динамическому давлению, измеряемому при помощи трубки Прандтля [1]. В опытах использовались стандартные семена, коэффициент парусности которых не превышал  $0,1 \text{ м}^{-1}$ .

Модель объекта исследования строилась с учетом теоретических предпосылок применительно к радиальным семяпроводам. При постоянно заданном диаметре колеса и при неизменяемой длине семяпроводов входными контролируруемыми и управляемыми параметрами этой модели служили скорость воздуха в семяпроводах и частота вращения колеса. Ее выходные параметры – угол поворота семяпровода относительно горизонтальной оси колеса в момент выброса семян и скорость вылета семян из семяпровода.

Скорость воздушной струи в семяпроводе, как известно, функционально связана с давлением воздуха в камере высевающего аппарата соотношением. Поэтому в исследуемой модели скорость воздуха можно заменить давлением или напором, что в значительной мере облегчает контроль этого параметра как в ходе эксперимента, так и в производственных условиях. Выходные параметры снимались на пленку скоростной кинокамерой СКС-1М.

Методом последовательного эксперимента и анализа полученных данных предварительно была установлена область оптимизации выходных параметров модели, удовлетворяющих требованиям технологического процесса работы высевающего аппарата сеялки:

- угол поворота семяпровода при выбросе из него семян не должен превышать  $75...80^{\circ}$  ( $1,3...1,4$  рад);
- скорость вылета семени из семяпровода должна быть меньше  $7...6$  м/с, т.е. должна исключать возможность травмирования семян при ударе.

В результате постановки опытов была выявлена нелинейность функции отклика в зависимости от входных параметров.

На основании анализа результатов предварительных опытов было принято решение о реализации экспериментов в области оптимизации выходных параметров с помощью ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка типа  $N=3^2$  [2, 3]. При этом были установлены соответствующие требованиям области оптимизации, уровни варьирования факторов (табл. 1).

Таблица 1 – Уровни варьирования входных параметров

Уровни варьирования	Кодированное значение, $x_i$	Натуральное значение факторов	
		$H$ , мм в. ст.	$\omega$ , рад/с
Верхний	1	300	6,0
Основной	0	180	4,5
Нижний	-1	60	3,0
Интервал	$\varepsilon$	120	1,5

Примечание:  $H$  – напор воздуха в камере высевающего аппарата;  $\omega$  – угловая скорость колеса.

Следует указать, что средние значения результатов выходных параметров (табл. 2), получены путем обработки определенного числа кадров киноплёнки соответствующего опыта. В данном случае число обработанных кадров есть повторность опыта.

Таблица 2 – План и результаты эксперимента по реализации ортогонального центрально-композиционного плана второго порядка

№ опыта	Уровни варьирования факторов			Выходные параметры	
	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$\bar{y}_1(\varphi^0)$	$\bar{y}_2(м/с)$
1	-1	-1	+1	50,0	1,8
2	+1	-1	-1	38,5	4,5
3	-1	+1	-1	73,0	2,5
4	+1	+1	+1	46,6	5,3
5	0	0	0	40,0	3,2
6	+1	0	0	39,2	4,7
7	-1	0	0	60,8	2,1
8	0	+1	0	54,3	3,6
9	0	-1	0	45,0	3,0

Для определения среднего значения угла выброса семян ( $\bar{y}_1$ ) бралась не менее чем 16-кратная повторность, а выходной скорости семени ( $\bar{y}_2$ ) – трёхкратная для каждого опыта, определялась также дисперсия результатов наблюдений. При их анализе было обнаружено, что дисперсии углов выброса семян подчиняются некоторой закономерности.

Так, из сопоставления числовых значений дисперсий (табл. 3) отчетливо заметно возрастание рассева результатов опытов в зависимости от увеличения угловой скорости колеса. Причем эта закономерность носит явно нелинейный характер, что видно из левой части таблицы. Повышение давления воздуха в камере высевающего аппарата, сопровождающееся увеличением скорости струи в семяпроводе, воздействует на величину дисперсии в обратном направлении. Уменьшение дисперсии с повышением давления особенно заметно для верхнего уровня варьирования угловой скорости (левая, нижняя часть табл. 3). Однако малые величины рассеивания угла выброса семян характерны для относительно малых угловых скоростей и высоких давлений воздуха. Так, наименьшая дисперсия ( $\sigma^2=1,764$ ) получена в опыте №2, где угловая скорость бралась на нижнем уровне ( $\omega=3$  рад/с), а давление воздуха было максимальным (300 мм вод. ст.). Наибольшую дисперсию ( $\sigma^2=14,12$ ) дал опыт №3, в котором давление устанавливалось на нижнем (60 мм вод.ст.), а угловая скорость на верхнем ( $\omega=6$  рад/с) уровнях варьирования.

Не вдаваясь в детальный анализ закономерностей распределения наблюдаемых дисперсий, можно заключить, что дисперсии, соизмеримые с полученными в опыте № 3, нельзя считать приемлемыми для рабочего процесса сеялки. Это связано с тем, что большие дисперсии определяют необходимость снижения области оптимизации угла выброса семян за счет давления воздуха, которое также должно быть ограниченным. Если исходить из предположения, что плотность распределения данного параметра приближается к нормальному закону, то для принятых условий технологического процесса сеялки – рассеивание угла выброса семян с дисперсией  $\sigma^2=7..8$  можно считать допустимым.

Таблица 3 – Дисперсии результатов наблюдений выходного параметра  $\bar{y}_1(\bar{\varphi}^0)$ 

Влияние угловой скорости			Влияние давления				
№ опыта	Код. факт.		Дисперсия $\sigma^2$	№ опыта	Код. факт.		Дисперсия $\sigma^2$
	$x_1$	$x_2$			$x_1$	$x_2$	
1	-1	-1	3,419	1	-1	-1	3,419
7	-1	0	9,728	9	0	-1	4,00
3	-1	+1	14,120	2	+1	-1	1,764
2	+1	-1	1,764	3	-1	+1	14,120
6	+1	0	2,085	8	0	+1	8,732
4	+1	+1	4,399	4	+1	+1	4,393

Рассмотрим, далее, регрессионную модель, выражающую изменения угла выброса семян в зависимости от давления воздуха в аппарате и угловой скорости колеса, представив ее в виде полного квадратического полинома:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2. \quad (1)$$

С учетом постановки двухфакторного эксперимента, вычисление оценок коэффициентов данного полинома выполнялось по рекомендуемым методической литературой [2-5] формулам:

Для оценки коэффициентов регрессии определялись их дисперсии и критические значения с использованием следующих формул:

$$S_{b_0}^2 = 0,55556 S_{\vartheta}^2; S_{b_1}^2 = 0,16667 S_{\vartheta}^2; S_{b_{ij}}^2 = 0,25 S_{\vartheta}^2; S_{b_{ii}}^2 = 0,33333 S_{\vartheta}^2;$$

$$b_{i\text{кр}} = t_{\alpha f} S_{b_i},$$

где  $(S_{\vartheta})^2$  – дисперсия экспериментов.

При статической обработке результатов поставленных экспериментов было определено, что:

$$S_{\vartheta}^2 = \frac{\sum_{u=1}^N \sigma_u^2}{N} = 5,41; S_{\vartheta} = 2,36.$$

По таблице  $t$  – распределения Стьюдента было найдено, что для уровня значимости критерия  $\alpha=0,05$  и числа степени свободы  $f=211$ ,  $t_{\alpha f}=1,96$ .

Все расчетные данные, касающиеся оценки коэффициентов регрессии математической модели приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Коэффициенты регрессии полинома (1)

Обозначения	Расчетные значения $b_i$	Критические значения $b_{i\text{кр}}$	Дисперсия $S_{b_i}^2$	Среднее квадратическое $S_{b_i}$
$b_0$	43,39	3,39	3,01	1,73
$b_1$	-9,92	1,84	0,90	0,95
$b_2$	6,73	1,84	0,90	0,95
$b_{12}$	-3,74	2,27	1,35	1,16
$b_{11}$	4,93	3,21	2,71	1,64
$b_{22}$	4,57	3,21	2,71	1,64

Из таблицы видно, что каждый из коэффициентов регрессии по абсолютной величине превышает свое критическое значение.

Таким образом, установленная значимость указанных коэффициентов позволяет выразить искомую модель следующим уравнением:

$$\hat{y}_1 = 43,39 - 9,92x_1 + 6,73x_2 - 3,74x_1x_2 + 4,93x_1^2 + 4,57x_2^2 . \quad (2)$$

Проверка модели на адекватность проводилась по  $F$  – критерию Фишера.

Расчетное значение критерия определялось по формуле:

$$F_a = \frac{\sum_{U=1}^N (\hat{y}_1 - \bar{y}_1)_u^2}{fS_y},$$

дающей следующий результат:

$$F_a = \frac{41,2}{((9-6) \cdot 2,36)} = 5,82$$

Табличное значение  $F$ -критерия для уровня значимости 0,05 при степенях свободы (3,  $\infty$ ) составляет:  $F_{таб} = 8,53$

Поэтому полученная модель адекватна, так как выполняется условие:

$$F_{таб} > F_a \Rightarrow 8,53 > 5,82$$

Результаты расчетов по проверке модели на адекватность представлены в табл. 5.

Таблица 5 – Расчеты угла выброса семян по модели

№ опыта	факторы			выходные параметры		отклонения	
	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$\bar{y}_1$	$\hat{y}_1$	$\bar{y}_1 - \hat{y}_1$	$(\bar{y}_1 - \hat{y}_1)^2$
1	+1	-1	-1	50,0	52,34	2,34	5,47
2	+1	+1	-1	38,5	39,98	1,48	2,19
3	+1	-1	+1	73,0	73,28	0,28	0,078
4	+1	+1	+1	46,6	43,96	-0,64	0,41
5	+1	0	0	40,0	43,39	3,39	11,49
6	+1	+1	0	39,2	38,4	-0,8	0,64
7	+1	-1	0	60,8	58,24	-2,56	6,55
8	+1	0	-1	54,3	54,69	0,39	0,152
9	+1	0	-1	45,0	41,23	-3,77	14,213

Раскодируем это уравнение, выразив его через натуральные величины. После подстановки вместо кодированных поименных величин и соответствующих преобразований получим:

$$\varphi^0 = 73,44 - 0,112H - 10,04\omega - 0,0208H\omega + 0,00034H^2 + 2,03\omega^2 , \quad (3)$$

где  $H$  – давление, выраженное через напор в мм вод. ст.,

$\omega$  – угловая скорость вращения колеса.

Для определения влияния на функцию отклика каждого фактора в отдельности рассмотрим вытекающие из общего частные уравнения. При фиксированных уровнях

факторов, взятых со значениями  $H \Rightarrow 100, 200, 300$  мм вод ст. и  $\omega \Rightarrow 4, 6, 8$  р/с, получаются следующие частные модели:

$$\varphi_{\omega=4} = 65,76 - 0,195 H + 0,00034 H^2; \quad (4)$$

$$\varphi_{\omega=6} = 86,28 - 0,237 H + 0,00034 H^2; \quad (5)$$

$$\varphi_{\omega=8} = 123,04 - 0,278 H + 0,00034 H^2; \quad (6)$$

$$\varphi_{H=100} = 65,64 - 12,12 \omega + 2,03 \omega^2; \quad (7)$$

$$\varphi_{H=200} = 64,64 - 14,2 \omega + 2,03 \omega^2; \quad (8)$$

$$\varphi_{H=300} = 70,44 - 16,28 \omega + 2,03 \omega^2. \quad (9)$$

Эти уравнения как в функции давления, так и в функции угловой скорости внешне одинаковы по форме и, следовательно, адекватно описывают явление в очень ограниченном факторном пространстве, и поэтому их значимая экстраполяция может дать неверные результаты. О характере влияния исследуемых факторов на угол выброса семян дают наглядное представление графики частных уравнений, построенные при их интерполировании в окрестностях уровней варьирования (рис.1). Необходимо также указать на близкое совпадение числовых характеристик параметров исследуемой модели, вытекающих из теоретических расчетов и опытов.

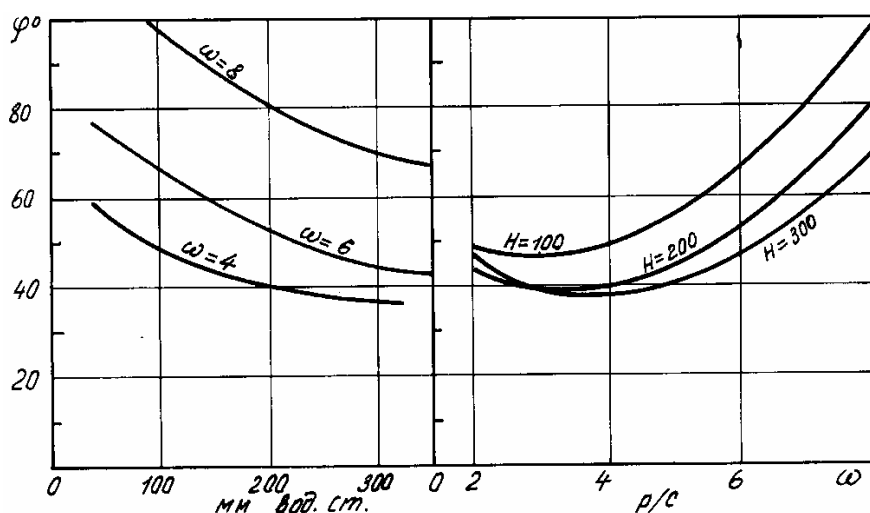


Рисунок 1 – Экспериментальные графики, отображающие влияние давления воздуха и угловой скорости колеса на угол выброса семян из семяпровода

Из эмпирических графиков, например, видно, что давление воздуха в 3 кПа (300 мм вод. ст.) обеспечивает технологический угол выброса семян  $\varphi=75^{\circ}$  при угловой скорости  $\omega=8$  рад/с, а для угловой скорости  $\omega=6$  рад/с для этого же угла выброса потребуется давление в 1 кПа (100 мм вод. ст.).

При давлении в 3 кПа скорости сеялки при повышении угловой скорости колеса до 8 рад/с может быть увеличена уже до 2,64 м/с или до 9,5 км/ч. Конечно, при заданной рабочей скорости сеялки в зависимости от величины диаметра колеса могут быть получены различные угловые его скорости. Однако при этом нужно иметь в виду, что угол выброса семян обратно пропорционален радиусу колеса, за счет изменения величины которого и компенсируется в достаточной степени влияние изменения окружной скорости. Таким образом, опытами установлена следующая закономерность: для большей рабочей скорости сеялки требуется большее давление воздуха в напорной

камере высевающего аппарата. За счет повышения этого давления возрастает скорость воздушного потока, транспортирующего семена по семяпроводам. Вторым выходным параметром объекта исследования была скорость семян на выходе из семяпроводов. Обработка опытных данных (таблица 2) позволила получить регрессивную модель с нормированными факторами следующего содержания:

$$\hat{y}_2 = 3,19 + 1,35x_1 + 0,35x_2 + 0,025x_1x_2 + 0,217x_1^2 + 0,11x_2^2. \quad (10)$$

Она в достаточной степени полно и точно описывает зависимость скорости семени от изменения давления воздуха и угловой скорости колеса. Представления о точности дают невязки (табл. 6), рассчитанные для каждого опыта, как видно из таблицы наибольшая невязка не превышает 0,05 м/с.

Таблица 6 – Расчеты скорости семян по модели

№ опыта	Факторы		Скорость семян		Невязки	
	$x_1$	$x_2$	$\bar{y}_2, \text{мс}^{-1}$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_2 - \bar{y}_2$	$(\hat{y}_2 - \bar{y}_2)^2$
1	-1	-1	1,8	1,84	0,04	0,0016
2	+1	-1	4,5	4,49	-0,01	0,0001
3	-1	+1	2,5	2,49	-0,01	0,0001
4	+1	+1	5,3	5,27	-0,03	0,0009
5	0	0	3,2	3,19	-0,01	0,0001
6	+1	0	4,7	4,75	0,05	0,0025
7	-1	0	2,1	2,06	-0,04	0,0016
8	0	+1	3,6	3,65	0,05	0,0025
9	0	-1	3,0	2,95	-0,05	0,0025

Среднеквадратичное отклонение невязок относительно скорости семени в центре эксперимента составляет всего около 1,2 %.

Поэтому прогнозирующую точность полученной модели следует считать достаточно высокой. Регрессивный анализ уравнения (9) указывает на то, что оба исследуемых фактора оказывают влияние на выходной параметр в одном направлении: независимо друг от друга, повышение давления воздуха и увеличение угловой скорости приводят к возрастанию скорости семян. Влияние повышения давления на рост скорости примерно в четыре раза превышает влияние на нее угловой скорости. Это видно из сопоставления коэффициентов регрессии, сопряженных с анализируемыми факторами. При этом значимость смешанного эффекта не существенна и им можно пренебречь в раскодированной форме модели. Произведя замену кодированных переменных натуральными, запишем:

$$\hat{y}_2 \Rightarrow V_\varphi = 3,19 + \frac{1,35(H - 180)}{120} + \frac{0,35(\omega - 4,5)}{1,5} + \frac{0,27(H - 180)^2}{120} + \frac{0,11(\omega - 4,5)^2}{1,5},$$

где  $V_\varphi$  – скорость семени на выходе из семяпровода.

После преобразования уравнения получим:

$$V_\varphi = 2,206 + 4,5 \cdot 10^{-3} H - 0,427\omega + 1,9 \cdot 10^{-5} H^2 + 7,3 \cdot 10^{-2} \omega^2. \quad (11)$$

Для фиксированных координат на различных уровнях факторного пространства графическая интерпретация этого уравнения показана на рис. 2.

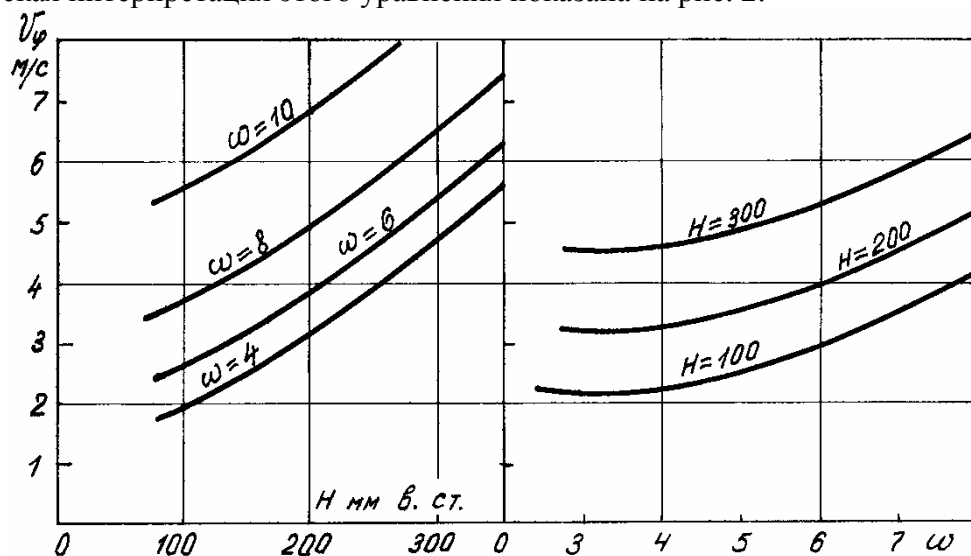


Рисунок 2 – Экспериментальные графики скорости семян на выходе из семяпровода

Отметим, что линейный эффект при параметре угловой скорости, содержащем отрицательный знак, не оказывает влияние на общую тенденцию возрастания скорости семени. Экстраполяция уравнения, которую допускает высокая точность модели, до уровня угловой скорости 8 рад/с показывает, что при давлении воздуха 300 мм вод. ст. (3000 Па) скорость семени на выходе не превышает 7 м/с. Такая скорость, как было показано выше, вполне удовлетворяет требованиям технологического процесса по ограничению этой скорости исходя из возможности травмирования семян. При угловой скорости 6 рад/с и давлении воздуха 300 мм вод. ст., наиболее вероятных в практическом отношении технологических параметрах работы сеялки, скорость семени на выходе едва ли достигает 5,5 м/с.

Экстраполированная часть графиков показывает, что при давлении воздуха 200 мм вод.ст. (2000 Па) угловую скорость колеса допустимо повышать до 10 рад/с, так как при этих параметрах скорость семян не будет большей 7 м/с.

Поставленные опыты позволили выявить функциональное соотношение между давлением в аппарате и скоростью воздуха в семяпроводе путем определения показателя потерь воздушного потока. Для этого использовалась формула, выведенная для решения относительно коэффициента потерь:

$$K = \sqrt{\frac{\rho}{2H}} u, \quad (12)$$

где  $H$  – давление в аппарате, Па.

В результате обработки опытных данных (табл. 7) получены следующие статические характеристики коэффициента потерь.

При этом мы замечаем, что среднее значение экспериментального коэффициента попадает в центр интервала, выбранного для него на априорном уровне при теоретических исследованиях энергетики воздушного потока.

Для интерполяции искомой функции воспользуемся уравнением (12), решенным относительно скорости воздуха.

$$u = \bar{K} \sqrt{\frac{2H}{\rho}} \quad (13)$$

Таблица 7 – Опытные значения коэффициента потерь энергии воздуха

№ опыта	давление		скорость воздуха U, м/с	K	ΔK	ΔK <sup>2</sup>
	мм в.ст.	Па				
1	60	600	18,7	0,591	0,032	0,00144
2	180	1800	29,1	0,531	0,022	0,00048
3	300	3000	37,9	0,536	0,017	0,00029

Подставляя в эту формулу числовые значения  $k = 0,553$  и  $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$ , получим:

$$u = 0,714\sqrt{H}, \text{ мс}^{-1}. \quad (14)$$

Графический аналог этого выражения (рис. 3) свидетельствует о достоверности и хорошей согласованности опытных данных с теорией движения воздуха по семяпроводу. На графике показана полоса вероятностного рассеивания скорости воздушной струи, полученной с учетом наибольших отклонений от среднего коэффициента потерь. Эти отклонения, в среднем не превышающие 5 м/с, можно считать несущественными в том отношении, что они оказывают малозаметное возмущающее воздействие на скорость семян.

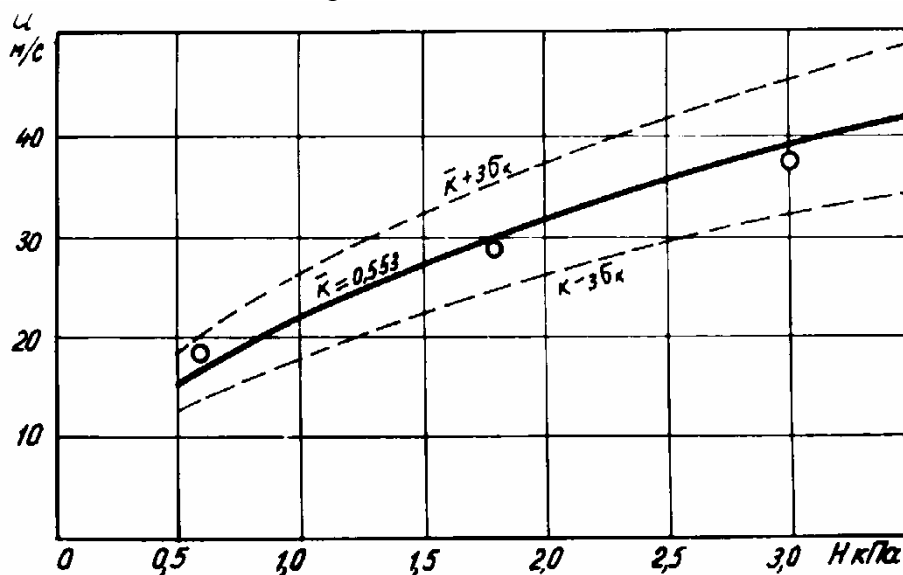


Рисунок 3 – Экспериментальная зависимость скорости воздушной струи от общего давления воздуха

В заключение необходимо подчеркнуть, что статические характеристики коэффициента потерь касаются исключительно конкретного высевающего устройства, в данном случае экспериментальной установки.

**Выводы.** 1. Получена регрессивная модель, характеризующая влияние давления воздуха и угловой скорости колеса (скорости сеялки) на угол выброса семян из семяпровода. При этом экспериментально подтверждена следующая закономерность: для работы сеялки на большой скорости требуется и большие давления воздуха. Для работы на скоростях 2,00...3,60 м/с (7,0...13,26 км/ч) требуется давление воздуха 1,00...3,00 кПа.

2. Выявлена неравномерность дисперсии углов выброса семян в опытах. С увеличением угловой скорости колеса и уменьшением давления воздуха рассев угла выброса заметно увеличивается, достигая на крайних уровнях неприемлемой для практики величины. Показано, что предельная дисперсия, характеризующая рассев угла выброса семян, может выражаться числами 7...8.

3. Найдено уравнение регрессии для определения скорости семян на выходе в зависимости от давления воздуха и окружной скорости колеса, удовлетворяющих требованиям технологического процесса сеялки, скорость семян на выходе не превышает 7 м/с, что меньше скорости, вызывающей травмирование семян.

4. Экспериментально определена функциональная зависимость скорости воздушной струи от давления через коэффициент потерь, числовое значение которого составило  $\bar{k}=0,553$  с дисперсией  $\sigma_k^2=0,0011$ .

## Список литературы

1. Прандтль, Л. Гидромеханика [Текст] / Л. Прандтль. – М.: ИЛ, 1949. – 520 с.
2. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях [Текст] / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 249 с.
3. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента [Текст] / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск: БГУ им. В.И. Ленина, 1982. – 302 с.
4. Джексон, Н. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке. Методы планирования эксперимента [Текст] / Н. Джексон, Ф. Лион. – М.: Мир, 1981. – 516 с.
5. Підручник дослідника [Текст] : навч. посіб. для студ. агротехнічних спец./ О. Васильковський, С. Лещенко, К. Васильковська, Д. Петренко. – Харків: Мачулін, 2016. – 204 с.

**Vladimir Serbin, prof., doctor habilitat, Yuriy Melnik, Assoc. Prof., PhD tech. sci., R. Lysyiy, PhD tech. sci.**  
*State Agrarian University of Moldova, Chisinau, Moldova*

## Experimental studies of the transportation of seeds to the sealing organs

One of the reasons leading to a violation of the normal functioning of the rotational-hole drill process is the large duration of the seed movement on the seed ducts. As the seed drill speed increases, there is an emission of seeds to the surface of the soil, due to the delay in the supply of seeds to the lobes. Therefore, in order to make a reasonable choice of the operating modes of the seeder and to properly manage them, it is necessary to have data on the regularities of the movement of seeds by seed lines.

In order to verify the theoretical premises for the transportation of seeds, a series of experiments was carried out to determine the reliability of the basic provisions of the analytical model of seed movement by seed ducts. The experiments were conducted on a laboratory plant with the connection of a source of compressed air to it. The pressure in the pressure chamber of the sowing machine was determined and controlled by a liquid manometer. The air jet velocity corresponding to each of the controlled pressures was calculated from the dynamic pressure measured with the Prandtl tube. The experiments used standard seeds whose sailing coefficient did not exceed  $0.1 \text{ m}^{-1}$ .

A regressive model is obtained that characterizes the effect of air pressure and the angular velocity of the wheel (seeder speed) on the angle of ejection of seeds from the seed tube. At the same time, the following regularities have been experimentally confirmed: large air pressure is required for the drill to work at high speeds. For operation at speeds of 2.00...3.60 m/s (7.0...13.26 km/h), the air pressure is required to be 1.00 ... 3.00 kPa.

The unevenness of dispersion of the ejection angles in experiments was revealed. With the increase in the angular velocity of the wheel and the decrease in the air pressure, the dissection angle of the ejection increases markedly, reaching the magnitude unacceptable for practice at extreme levels. It is shown that the limiting dispersion characterizing the dispersion of the ejection angle of seeds can be expressed in numbers 7 ... 8.

The regression equation is used to determine the seed rate at the outlet, depending on the air pressure and the circumferential velocity of the wheel, which satisfies the requirements of the seed processor process, the seed rate at the outlet does not exceed 7 m/s, which is less than the rate causing the seed trauma.

The functional dependence of the air jet velocity on the pressure through the loss coefficient was experimentally determined, whose numerical value was  $\bar{k} = 0.553$  with a dispersion  $\sigma_k^2 = 0.0011$ .

**seed tube, parameters, installation angle, ejection angle, angle of rotation, seed ejection speed, the number of film frames, variance, regression model, empirical graph, loss factor**

Получено 16.10.17