

## СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА СЕМЯН ПРИ ЕГО ЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

*Александр Лавриненко*

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

*Aleksandr Lavrinenko*

*National University of Life and Enviromental Sciences of Ukraine  
Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, Ukraine*

**Аннотация.** Для определения статистических характеристик коэффициента сопротивления воздуха использованы графики теоретической зависимости пройденного пути от времени при различных коэффициентах сопротивления и экспериментальные значения времени падения семян из заданных высот. Исследования выполнены при условии линейной зависимости сопротивления воздуха от скорости движения.

**Ключевые слова:** коэффициент сопротивления воздуха, движение семян, сопротивление воздуха, сеялка, подлаповое пространство, графоаналитический метод.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

С распространенных способов посева зерновых и зернобобовых культур наиболее перспективным является подпочвенно-разбросной, при котором обеспечивается наиболее рациональная площадь питания растения, что способствует повышению урожайности [1]. Эффективность подпочвенно-разбросного способа посева зависит от степени равномерности распределения семян по площади поля [2, 3, 4, 5].

Почти все выполненные исследования по совершенствованию этого способа сева направлены на обоснование соответствующих поверхностей отражателей-распределителей семян для обеспечения большей дальности полета семян в подсошниковом пространстве. А условиям, при которых обеспечивалась бы равномерность распределения семян отводятся мало внимания.

Скорость семян во время поступления на отражатель-распределитель и после схода с него принималась определенной величины, а

возможные вариации не учитывались [6, 7]. Одной из причин вариации скоростей может быть разница сопротивлений воздуха отдельными семенами. Поэтому определение статистических характеристик коэффициента сопротивления воздуха является актуальным.

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В большинстве случаев сопротивление воздуха при движении тела (семени) определяют квадратичной зависимостью от скорости [9, 12, 13]. Но в ряде литературных источников [8, 10, 15, 16] отмечено, что при небольших скоростях целесообразно принимать сопротивление воздуха линейно зависимым от скорости. В частности, в работе [8, 17-23] указывается, что сопротивление воздуха при движении семян целесообразно принимать пропорциональным, когда скорость находится в пределах 1,5-4 м/с.

Аналитические зависимости сопротивления воздуха при линейной зависимости его от скорости движения семян при выполнении подпочвенно-разбросного сева обоснованы в работах [14, 15] но значения коэффициента сопротивления воздуха в них не определялась. Значения коэффициента сопротивления воздуха  $K$  предложено определять по формуле  $K = \frac{g}{V_{кр}^2}$ , с<sup>-1</sup>, где  $V_{кр}$  -

критическая скорость (скорость парения), м/с;  $g$  - ускорение земного притяжения, м/с<sup>2</sup>. Для семян каждой из культуры величина принимается постоянной и исследования по определению ее статистических характеристик не выполнялись.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние сопротивления воздуха на параметры движения семян рассмотрим на примере свободного падения. Дифференциальное уравнение движения семени будет таким:

$$m\ddot{x} = P - R, \quad (1)$$

где:  $m$  - масса семени, кг;

$P$  - сила тяжести семени, Н;

$$P = m \cdot g, \quad (2)$$

$R$  - сопротивление воздуха, Н.

При линейной зависимости от скорости сопротивление воздуха будет определяться как:

$$R = m \cdot K \cdot V. \quad (3)$$

После подстановки в уравнение (1) выражений (2) и (3) и сокращения на массу семени  $m$  получим:

$$\ddot{x} = g - K \cdot V. \quad (4)$$

В результате решения дифференциального уравнения (4) скорость движения семени и пройденный путь определяются по формулам:

$$V = \frac{g}{K} (1 - e^{-Kt}) \quad (5)$$

$$x = \frac{gt}{K} - \frac{g}{K^2} (1 - e^{-Kt}) \quad (6)$$

Для экспериментального определения статистических характеристик сопротивления воздуха нами использован опосредствованный графоаналитический метод.

Суть его заключается в следующем:

- по теоретической зависимости (6) при условии  $x = S$  (где  $S$  - пройденный путь семени, м) для ряда принятых значений строятся графики зависимости от времени (рис. 1);

- за графическими зависимостями  $S$  от  $t$  при заданных значениях высоты падения  $H$  (где  $H = S$ ) строятся графики зависимостей  $K$  от  $t$  для ряда значений  $H$ ;

- экспериментально определяется время падения семян из заданных высот (на рис. 1  $H = 0,25; 0,50$  и  $1,0$  м);

- по времени падения с известной высоты  $H = S$  по графикам  $K = f(t)$  для данной высоты определяют соответствующее значение  $K$ ;

- из ряда значений полученных величин  $K$  определяются статистические характеристики.

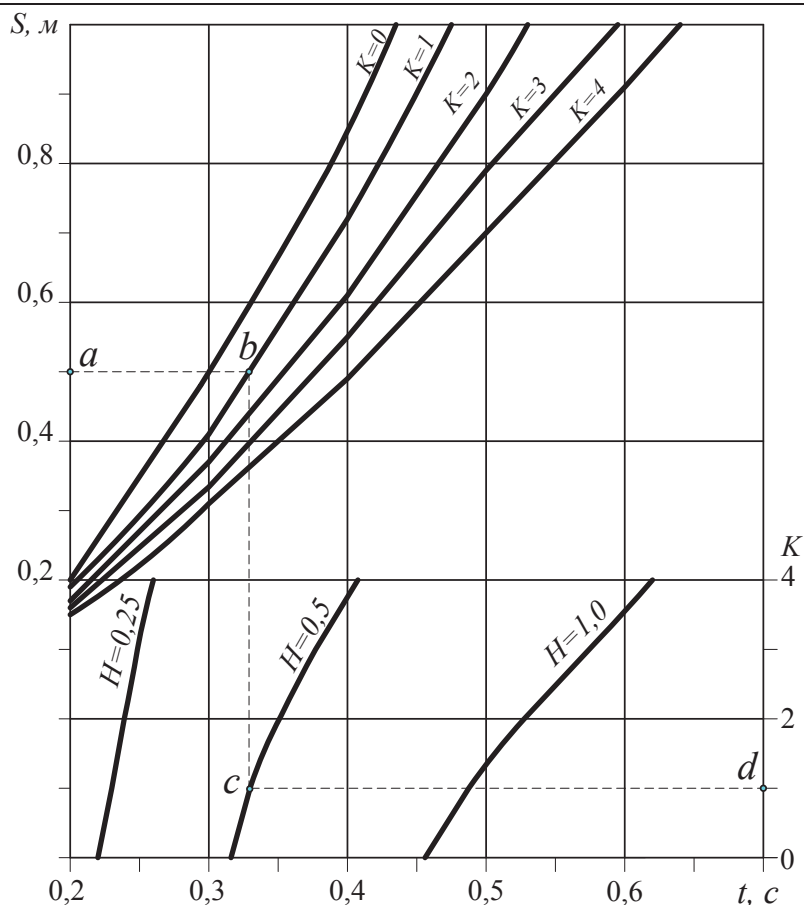
В существующих сеялках высота падения семян не превышает 1 м, поэтому величины  $H$  и  $S$  приняты в пределах 1 м. По данным предыдущих исследований при падении семян с высоты до 1 м не превышает 0,7 с а коэффициент сопротивления воздуха  $K$  не превышает 4.

Продемонстрируем методику построения графика на примере точки  $c$  (рис. 1), которая определяет время падения семян с высоты  $H = 0,5$  м при  $K = 1$ . С точки  $a$  ( $S = 0,5$  м) проводим горизонтальную линию до пересечения в точке  $b$  с кривой  $K = 1$ . С точки  $b$  проводим вертикальную линию до пересечения в точке  $c$  с горизонтальной линией, проведенной из точки  $d$ , соответствующей  $K = 1$  на шкале  $K$ .

Точка  $c$  кривой  $H = 0,5$  м соответствует времени падения семени с высоты 0,5 м при  $K = 1$ . Таким методом строятся другие точки графиков  $K = f(t)$  для заданной величины  $H$ . Экспериментальные исследования по определению времени падения семян с заданной высоты определяли с помощью экспериментальной установки, схема которой представлена на рис. 2.

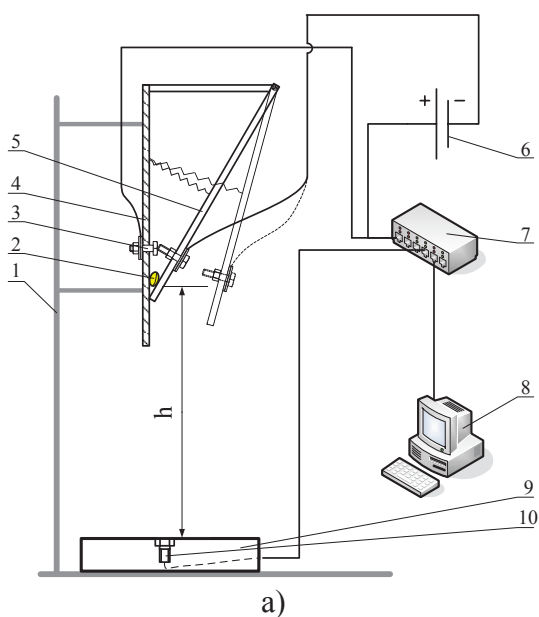
На штативе 1 смонтирован клапанный механизм, который состоит неподвижной 4 и подвижной 5 частей, причем последняя смонтирована на шарнире, подпружиненная и постоянно прижата к неподвижной части. Между поверхностями частей укладывается семя 2, время падения которого определяется в эксперименте. Под клапанным механизмом размещена площадка 9 на которую падает семя. Расстояние  $h$  между семенем в клапанном механизме и поверхностью площадки может варьироваться в пределах 0,25-1,0 м. Время падения фиксируется с помощью электрической схемы, которая включает контакты 3, источник тока 6, датчик вибрации 10 который закреплен на площадке 9. Контакты и датчик вибрации подключены к USB-осциллографу 7, который передает результирующие сигналы на ЭВМ 8.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА СЕМЯН ПРИ ЕГО ЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ



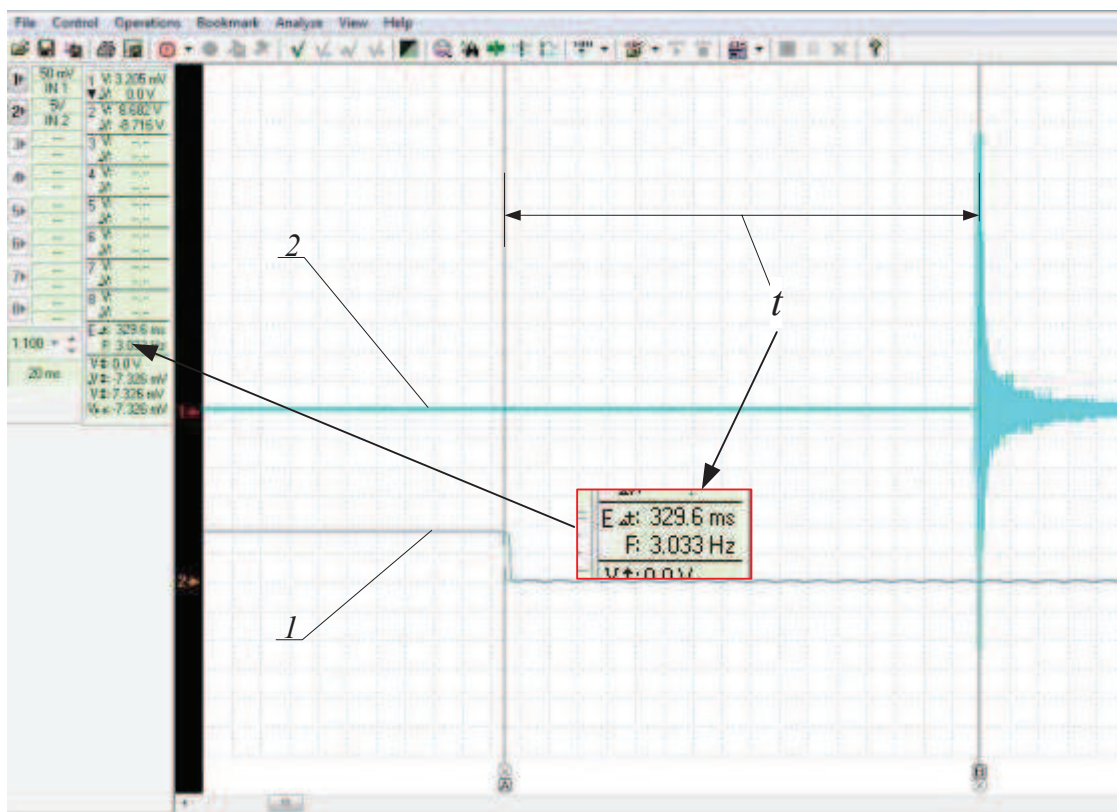
**Рис. 1.** Зависимость перемещения  $S = H$  при различных величинах коэффициента сопротивления воздуха  $K$  и коэффициента  $K$  при различных значениях  $H$  от времени падения семени  $t$ .

**Fig. 1.** Relationship between moving at different values  $S = H$  of the coefficient of air resistance  $K$  and coefficient  $K$  for different values  $H$  of the fall of the seed  $t$ .



**Рис. 2.** Принципиальная схема (а) и общий вид (б) установки для определения коэффициента сопротивления воздуха при падении зерна.

**Fig. 2.** Schematic diagram (a) and general view (b) Installations for determination of coefficient of air resistance when falling grain.



**Рис. 3.** Вид общий вид показаний осциллографа при замере времени падения семени с заданной высоты: 1- сигнал начала падения семени; 2 – сигнал конца падения семени на площадку;  $t$  - период падения (329,6 мс).

**Fig. 3.** Kind of a general view of the oscilloscope readings when measuring the fall of semen from a specified height: 1 - signal the beginning of the fall of the seed, 2 - signal the end of a seed falling on the ground,  $t$  - during the fall (329.6 ms).

Опыт проводился в следующей последовательности. В клапанный механизм закладывали семя и включали запись результата на осциллографе ЭВМ. Затем быстро отводили подвижную часть 5 в сторону, обуславливая начало падения семени. Этот момент фиксируется каналом 1 осциллографа, общий вид показаний которого представлен на рис. 3. Семя движется под действием силы тяжести и сопротивления воздуха. Момент падения фиксируется вибрационным датчиком, который тоже подает сигнал 2 на осциллограф. По периоду между подачей двух сигналов определяем время падения зерна  $t$  с фиксированной высоты.

По времени падения с помощью графика  $K = f(t)$  определяем соответствующее значение  $K$ .

Опыты выполнены при высотах падения 0,25, 0,5 и 1,0 м. Полученные статистические характеристики коэффициента сопротивле-

ния воздуха для различных культур представлены в табл. 1.

Анализируя данные таблицы в целом для семян четырех зерновых культур (пшеница, ячмень, овес, горох) можно отметить:

- минимальные значения  $K$  находятся в пределах 0,22 (пшеница,  $H = 0,25$ , м) - 0,865 (овес,  $H = 0,5$  м), а максимальные - в пределах 2,30 (ячмень,  $H = 0,25$ , м) - 3,75 (овес,  $H = 0,5$ , м). Средние значения находятся в пределах 0,50 (пшеница,  $H = 1,0$  м) - 1,66 (овес,  $H = 0,5$  м). Коэффициент вариации находится в пределах 17-69 %;

- общая четкая закономерность влияния высоты падения на величину не прослеживается, поэтому целесообразно пользоваться средними его значениями, которые получены для пшеницы, ячменя, овса и гороха, соответственно 1,09; 1,24; 1,49 и 1,03.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА СЕМЯН ПРИ ЕГО ЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

**Таблица 1.** – Статистические характеристики коэффициента сопротивления воздуха  
**Table 1.** – Statistical characteristics of coefficient of drag

Культура	Высота падения $H$ , м	Значение статистических характеристик				
		$K_{\min}$ , с <sup>-1</sup>	$K_{\max}$ , с <sup>-1</sup>	$m_K$ , с <sup>-1</sup>	$\sigma_K$ , с <sup>-1</sup>	$\nu_1$ , %
Пшеница	0,25	0,22	3,59	1,15	0,755	65
	0,5	0,546	3,04	1,24	0,439	39
	1,0	0,155	3,21	0,899	0,157	32
Ячмень	0,25	0,790	2,30	1,45	0,396	27
	0,5	0,795	1,69	1,28	0,218	17
	1,0	0,460	1,95	0,979	0,384	39
Овес	0,5	0,865	3,745	1,66	0,568	34
	1,0	0,433	3,627	1,33	0,702	53
Горох	0,5	0,66	2,64	1,25	0,528	42
	1,0	0,425	1,44	0,802	0,553	69

Наиболее распространенное определение коэффициента сопротивления воздуха - за критической скоростью  $V_{кр}$ . По данным ряда публикаций [3, 5, 6] исследуемое нами семя имеет такие критические скорости: пшеница - 9,8-11,5 м/с; ячмень - 8,4-10,7 м/с; овес - 8,0 -9,16 м/с.

Связь между критической скоростью и коэффициентом сопротивления воздуха можно определить по формуле (5). Скорость достигает критического значения при условии  $(1 - e^{-Kt}) = 1$ . Тогда

$$K = \frac{g}{V_{кр}} \quad (7)$$

В результате расчетов по формуле (7) получены следующие величины коэффициента сопротивления воздуха для семян пшеницы, ячменя и овса, соответственно: 0,84-1,10; 0,92-1,17 и 1,08-1,23.

При сравнении значений  $K$ , которые получены экспериментально и по формуле (7), видно, что для пшеницы они совпадают, а для ячменя и овса экспериментальные несколько больше (на 5 и 17 % соответственно).

Учитывая значительные колебания коэффициента сопротивления воздуха (для пшеницы 31-65 %; ячменя - 17-35 %; овса - 34-53 % гороха - 42-68 %), точное его определение для каждого случая проблематично. В расчетах среднее значение коэффициента сопротивления воздуха для основных зерновых культур целесообразно принимать  $K = 1$ , а

возможные его изменения в пределах 0,5-1,5. Значительные отклонения  $K$  от среднего значения, характеризующихся коэффициентом вариации, следует учитывать при анализе рассеяния семян после схода с отражателя в подлаповом пространстве сошника-культиваторной лапы.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана и опробована методика определения статистических характеристик коэффициента сопротивления воздуха при свободном падении семян при линейной зависимости сопротивления от скорости.

2. Установлено что средние значения коэффициента сопротивления воздуха для пшеницы, ячменя и овса находятся в пределах 0,84-1,1; 0,92-1,17 и 1,08-1,23 соответственно, а коэффициент вариации - 45,3 %, 27,5 % и 43,5 % соответственно.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Semenov A.N. 1959: Zernovyye seyalki / A.N. Semenov - M.: Mashgiz. – 315.
2. Grishchenko F.V. 1974: O rezultatakh proizvodstvennoy proverki bezryadkovoy (zernovoy) seyalki / F.V. Grishchenko, V.I. Shvedkov, V.S. Lomovitskiy – // Trudy Ryazan. s.-kh. in-t. – Ryazan. – t. 30. – 5-12.
3. Kaulinysh Ya.E. 1983: Issledovaniye tekhnologii poseva zernovykh i obosnovaniye ratsionalnogo tipa i parametrov soshnikov seyalki-kultivatora: Avtoref. diss. na soisk.

- nauchn. step. kand. tekhn. nauk: spets. 05. 20. 01/ Ya.E. Kaulinysh. - Yelgava. – 19.
4. Kurilovich K.K. 1973: Issledovaniye i sovershenstvovaniye tekhnologii i rabochikh organov seyalki dlya podpochvenno-razbrasnogo seva zernovykh kultur: Avtoref. diss. na soisk. nauchn. step. kand. tekhn. nauk: spets. 05. 02. 01 / K.K. Kurilovich. - Gorki., – 20.
5. Novakov S.O. 1998: Udoskonalennya tekhnologichnogo protsesu roboti soshnika z aktivnim rozpodilyuvachem dlya pidgruntovo-rozkidnogo posivu pshenitsi: Avtoref. diss. na soisk. nauchn. step. kand. tekhn. nauk: spets. 05. 02. 01 / S.O. Novakov. - Lugansk. – 20.
6. Oglyad i analiz konstruktsiy robochikh organiv zernovykh sivalok 2001: / A.V. Rud, S.M. Vinnichuk, I.O. Moshenko, Pavelchuk Yu.F. // Zb. nauk. pr. PDATA. – Vip. 9. - Kam'yanets-Podilskiy., – 235 - 237.
7. Samokish M.I. 2003: Perspektivni mozhливosti pidgruntovo-rozkidnogo sposobu sivbi zernovykh kultur / M.I. Samokish, A.V. Rud, S.M. Vinnichuk, I.O. Moshenko Mizhvid. temat. nauk. zb.// Mekhanizatsiya ta yelektifikatsiya silskogo gospodarstva: / NNTs IMESG – Glevakha., – Vip. 87. - 60-67.
8. Buzenkov G.M., Ma S.A. 1976: Mashiny dlya poseva selskokhozyaystvennykh kultur. - M.: Mashinostroyeniye. - 272.
9. Golub G. 2012: Modeyuvannya rukhu materialnikh chastinok z urakhuvannyam oporu povitryam / Golub G.A., Marus O.A. // Zbirnik naukovikh prats UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – – vip. 16 (30), kn.1. – 137-145.
10. Zaika P.M. 1991: Metodicheskiye ukazaniya k izucheniyu raschetnogo kursa lektsiy «Selskokhozyaystvennyye i meliorativnyye mashiny». Izbrannyye zadachi zemledelcheskoy mekhaniki. Tema 8. Vyp. 1. Kharkovskaya gosudarstvennaya tipografiya №10. – 62.
11. Ivzhenko S.A., Brezhnev A.L., Peretyatko A.V. 2006: Opredeleniye trayektorii dvizheniya semeni s ispolzovaniyem lineynogo zakona soprotivleniya dvizheniyu// Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ch.1. – Saratov; FGOU VPO Saratovskiy GAU im. N.I. Vavilova. - 92-100.
12. Mekhaniko-tekhnologichni vlastivosti silskogospodarskikh materialiv 2003: /O.M. Tsarenko, D.G. Voytyuk, V.M. Shvayko ta in.: Za red.. S.S. Yatsuna.: K.: Meta. - 448.
13. Spravochnik konstruktora selskokhozyaystvennykh mashin 1962: Pod red. A.V. Krasnichenko. Tom 1. M.: Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatelstvo mashinostroitelnoy literatury. - 650.
14. Pavelchuk Yu. 2009: Obruntovannya shvidkosti podachi nasinnya na vidbivach soshnika // Visnik TDTU. – tom 14, -№2, - 79-83.
15. Teoriya, konstruktsiya i raschet selskokhozyaystvennykh mashin 1978: / Pod red. Ye.S. Bosogo / - M.: Mashinostroyeniye. - 567.
16. Chichkin V.P. 1984: Ovoshchnyye seyalki i kombinirovannyye agregaty. Teoriya, konstruktsiya, raschet. - Kishinev: Shtinitsa. - 392.
17. Kovbasa V. 2012: Analiz protsesa podachi zerna v rabochuyu kameru izmelchitelya / V. Kovbasa, V. Solomka, O. Solomka //MOTROL: International jornal onoreration of farmandagri-foodindustry machinery. Lublin: – Vol. 14, No. 3. – 47-55.
18. Loveykin V.S. 2012: Analiz nerivnomirnosti rukhu zernoochisnoi mashini z rekuperativnim privodom / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Tezi dopovidey VI mizhnarodnoi naukovoii konferentsii “Ekobiotekhnologii ta biopaliiva v APK – ENERGIA 2012”. – Kiev-Lyublin-Simferopol-Lviv. – 52–53.
19. Loveykin V.S. 2009: Vpliv radiusa krivoshpip na yenergetichni pokazniki roboti zernoochisnoi mashini / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Mizhvuzivskiy zbirnik “Naukovi notatki”. – Vip. 26. – 172–176.
20. Loveykin V.S. 2010: Vpliv dovzhini shatuna na yenergetichni pokazniki roboti zernoochisnoi mashini / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya “Tekhnika i yenergetika v APK”. – K. – Vip. 144, Ch. 2. – 33–39.
21. Boltyanska N.I. 2011: Obruntovannya konstruktivno-tekhnologichnikh parametriv separuyuchikh poverkhon zhalyuziynikh reshet zernozbiralnikh kombayniv // Motrol. – Tom 13B, Lublin. – 11–116.
22. Loveykin V.S. 2012: Analiz ta optimizatsiya rezhimiv rukhu zernovoi chastinki vpodovzh vibruyuchogo pokhilogo resheta / V.S. Loveykin, Yu.V. Chovnyuk, V.P. Kulik //

Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya «Tekhnika i yenergetika v APK». – Vip. 170, Ch. 1. – 277–286.

23. Loveykin V.S. 2012: Optimizatsiya rezhimov kolebaniy zernovykh smesey pri nalichii sukhogo treniya / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Motrol. Vol. 14, No 3, Lublin. – 104–109.

**STATISTICAL DATA AIR RESISTANCE  
COEFFICIENT SEEDS IN ITS LINEAR  
DEPENDENCE ON SPEED**

**Summary.** To determine the statistical characteristics of air resistance coefficient used graphics theoretical distance traveled depending on time for different coefficients of resistance and experimental values of fall of the seed of the specified heights. The studies were performed under the condition of linear dependence of resistance of air speed.

**Key words:** coefficient of air resistance, movement of seeds, resistance of air seeder, podlapovoe space, graphical-analytical method.