

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАНКИ МОТОВИЛА ИЗ КОЛОСОНОСНЫМ СЛОЕМ

*Валерий Дубровин<sup>1</sup>, Николай Шведик<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

<sup>2</sup>*Луцкий национальный технический университет  
Украина, г. Луцк, ул. Львовская, 75*

*Valeriy Dubrovin, Mykola Shvedik*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

*Str. Heroiv Oborony, 15. Kiev, Ukraine*

*Lutsk National Technical University*

*Str. Lvivska, 75, Lutsk, Ukraine*

**Аннотация.** В статье приведены результаты анализа процесса взаимодействия планки мотвила с колосоносным слоем и аналитические зависимости для определения скорости восходящего потока воздуха, который обеспечивает процесс пневмоулавливания зерна выбитого планками мотвила в прямолинейном и наклоненном участках пневмопровода.

**Ключевые слова:** мотвило, планка, колосс, зерно, удар, сила, воздушный поток, скорость, пневмопровод.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Основой продовольственного и кормового баланса Украины является зерно [1, 2, 3, 4], объёмы производства которого за последних пять лет были доведены до 50...55 млн. т, что дало возможность среди импортеров зерна занять второе место на мировом рынке. Однако, чтобы удержаться на этом рынке необходимо и далее наращивать темпы его производства, что на ближайшие годы вполне достижимо, поскольку за счет повышения урожайности и расширения посевных площадей валовой сбор зерна можно довести до 60 млн. т. Однако в дальнейшем эти резервы будут исчерпываться поскольку темпы прироста урожайности замедлятся, а изыскивать дополнительные посевные площади будет все сложнее. С учетом этого, а также все чаще проявляющегося в последние годы негативного влияния на рост растений зерновых культур и созревание урожая погодных условий, вызванных изменением климата [5, 6, 7], валовой сбор

зерна будет находиться в пределах достигнутого уровня – 60...62 млн. т. При этом необходимо взять во внимание и то, что в структуре зерновой продукции около 50% připадает на зерновые колосовые культуры, то из выращиваемых 40 сортов пшеницы и 18 сортов озимой ржи, почти их две трети склонны к полеганию [8]. Это резко усложняет процесс работы машин, увеличивает обычные сроки сбора, и что самое главное, приводит к потерям зерна, которые достигают 10...30%, а иногда и больше, поскольку полегший хлебостой остается ниже уровня среза жатки [9, 10]. Наиболее простым способом борьбы с полеганием стеблестоя в настоящее время является применение специальных химических препаратов, которые при минимальной дозе 1...4 кг/га сдерживают рост растений и способствуют утолщению стебля, развития корневой системы и делают его стойким к полеганию [8, 10].

Однако этот способ не всегда является эффективным. Очевидно, что для решения этой проблемы более перспективным является широкое применение короткостебельных, карликовых сортов, которые отмечаются значительной стойкостью к полеганию и высокой урожайностью. Однако такие сорта требуют небольшой глубины заделки – не более 2 см [11, 12], из-за чего их не во всех зонах можно выращивать.

Поэтому возникает потребность в разработке новых рабочих органов, которые бы могли в полной мере обеспечить эффективный сбор как прямо стоящего, так и павшего стеблестоя. Поскольку традиционный способ сбора зерновых колосовых культур преду-

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАНКИ МОТОВИЛА ИЗ КОЛОСОНОСНЫМ СЛОЕМ

смачивает прямой срез хлебной массы со следующим ее обмолотом в одной машине, то с целью увеличения производительности зерноуборочного комбайна целесообразно, как мы полагаем, применить двухъярусный срез. Сущность этого способа уборки заключается в раздельном срезании верхней колосонной части стеблестоя, в 30-ти сантиметровом слое которого содержится около 70% полноценного зерна, и отдельно нижней части, так называемого подгона. В этом слое содержится 30% остального зерна. Заметим, что по своим качественным параметрам оно является мелким, щуплым и пригодным лишь для фуража.

Однако, анализ рабочего процесса срезания стеблей показывает, что и в этом случае, как и во всех существующих жатках, в результате ударов планок мотовила по стеблям значительная часть зерна выбивается из колосков. Простые расчеты показывают, что если на момент сбора на  $1 \text{ м}^2$  поля в среднем находится 500...600 стеблей [8], а из каждого колоска выбивается по две зернины, которые являются наиболее крупными и самыми ценными по всем параметрам (натура 1000 шт. такого зерна составляет 60...80г), то на каждом гектаре выбивается по 6...8 ц зерна. Проведенные нами исследования таких потерь в реальных условиях на посевах пшеницы «Поліська 90», «Либідь» и «Артеміда» с наложением квадратной рамки (площадью  $1 \text{ м}^2$ ) на стерни после прохода комбайна (рис.1а) и ручным сбором с этой площади осыпавшегося зерна в лоток (рис.1б) показыва-

ли, что на каждом квадратном метре стерни остается от 120 до 280 и даже 320 шт зерен, что в среднем составляет потерю урожая около 3 ц /га.

Практически эти потери являются необратимыми, поскольку современное техническое состояние как отечественных так и зарубежных зерноуборочных комбайнов не позволяет их устранить.

Как мы полагаем наиболее эффективным способом устранения этих недостатков является применение пневмоподъема павшего стеблестоя и пневмоуловливания зерна выбитого планками мотовила, который основывается на создании разрежения в зоне мотовила. Поэтому возникает необходимость провести анализ процесса взаимодействия планки мотовила с колосонным слоем.

### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ литературных источников, посвященных вопросам пневмотранспортирования зерна и вороха, а также его сепарации, показывает, что они достаточно изучены. На основании результатов исследований авторами [11,12,13,14,15] разработаны и предложены сельскохозяйственному производству соответствующие рекомендации, которые легли в основу разработки современных зерноуборочных комбайнов и зерноочистительных машин.



**Рис.1.** Определение потерь зерна выбитого планками мотовила:

а – наложение рамки на стерню; б – собранное зерно в лоток

**Fig. 1.** Determination of losses of grain of reel knocked out by slats:

a – is imposition of scope on stubble; б – is the collected grain in tray

Однако вопросы, касающиеся непосредственного применения пневмоподъема павшего стеблестоя и пневмоулавливания зерна выбиваемого планками мотвила комбайна, в литературных источниках не освещались. А поэтому отсутствие теоретического обоснования процесса пневмоулавливания зерна не способствует и разработке эффективных технических решений для его реализации.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

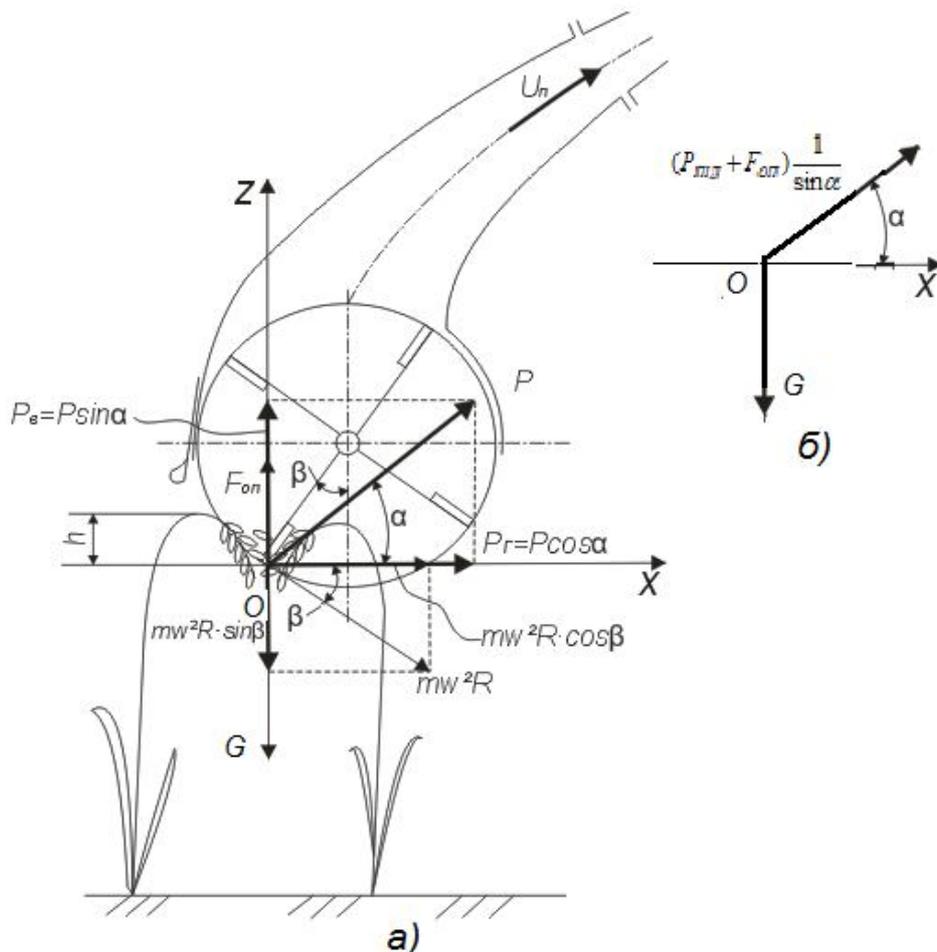
Целью работы является проведение анализа процесса взаимодействия планки мотвила с колосноносным слоем и получение аналитических зависимостей для определения скорости восходящего потока воздуха, который обеспечит пневмоулавливание зерна на выбитого планками мотвила.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения условия, при котором будет улавливаться зерно, что выбивается планками мотвила из колосков, рассмотрим схему их взаимодействия в момент удара, рис. 2,а.

При этом выделим в колоске одно зерно расположенное с его противоположной стороны, что контактирует с планкой мотвила в момент удара, и делаем предположение, что оно потеряло все связи с колоском, но еще находится в нем. Проведем через центр  $O$  зерна координатную систему, которую обозначим  $ZOX$  и покажем, что на это зерно в момент удара сверху вниз действует сила веса

$$G = m \cdot g = \rho_H \cdot g \cdot V_H, \quad (1)$$



**Рис. 2.** Схема сил, которые действуют на зерно:  
а) в момент удара планки мотвила по колоску;  
б) в наклоненном участке пневмопровода

**Fig. 2.** Chart of forces which operate on grain:  
а) in the moment of blow of slat of reel to the ear;  
б) in the inclined area of pnevmoprovod

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЛАНКИ МОТОВИЛА  
ИЗ КОЛОСОНОСНЫМ СЛОЕМ

и центробежная сила, которая направлена под углом  $\beta$  к горизонтальной оси ОХ равному углу вхождения лопасти в хлебостой (начало взаимодействия с колоском):

$$J = m \cdot \omega^2 \cdot R, \quad (2)$$

где:  $\rho_H$  – плотность зерна, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения тела, м/с<sup>2</sup>;  $V_H$  – объем зерна, м<sup>3</sup>;  $m$  – масса зерна, кг;  $\omega$  – угловая скорость вращения мотовила, рад/с;  $R$  – радиус мотовила, г.

Разложим центробежную силу  $J$  на горизонтальную составляющую:

$$J_B = m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta, \quad (3)$$

и вертикальную:

$$J_G = m \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \cos \beta. \quad (4)$$

Из приведенной схемы видно, что вертикальная составляющая силы инерции оказывает влияние на перемещение зерна вниз. Очевидно, что перемещение зерна вверх будет осуществляться под действием подъемной силы (Архимедова сила) [16, 17].

$$P_{пд} = \rho_{п} \cdot g \cdot V_H, \quad (5)$$

где:  $\rho_{п}$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Поскольку зерно имеет определенные размеры, то есть характеризуется парусностью, то при падении оно будет оказывать соответствующее сопротивление. Таким образом на зерно снизу вверх будет действовать еще и сила сопротивления воздуха, которая определяется за известной формулой сопротивления во время обтекания тела [18, 19, 20]:

$$F_{оп} = C_T \cdot S \cdot \rho_{п} \cdot \frac{U^2}{2}, \quad (6)$$

где:  $C_T$  – коэффициент сопротивления давления;  $S$  – площадь миделевого сечения зерна, м<sup>2</sup>;  $U$  – скорость восходящего потока воздуха, которая удерживает зерно в зависшем состоянии, м/с.

Следовательно, зерно будет находиться в воздушном потоке в равновесии при условии:

$$G + J_B - P_{пд} - F_{оп} = 0.$$

Принимая во внимание что  $m = \rho_H \cdot V_H$ , то условие равновесия после учета выражений (1), (3) (5) и (6) приобретет вид:

$$\rho_H \cdot g \cdot V_H + \rho_H \cdot V_H \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta - \rho_{п} \cdot g \cdot V_H - C_T \cdot S \cdot \rho_{п} \cdot \frac{U^2}{2} = 0.$$

Последнее выражение после группирования членов можно записать так:

$$V_H [g(\rho_H - \rho_{п}) + \rho_H \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta] - C_T \cdot S \cdot \rho_{п} \cdot \frac{U^2}{2} = 0.$$

Отсюда находим скорость восходящего потока воздуха, при которой выбитое зерно будет оставаться в зависшем состоянии, то есть не будет подниматься вверх и не падать вниз:

$$U = \sqrt{2V_H \frac{g(\rho_H - \rho_{п}) + \rho_H \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta}{C_T \cdot S \cdot \rho_{п}}}. \quad (7)$$

Однако это выражение адекватно описывает скорость витания зерна после его отрыва от колоска, то есть в вертикальном участке пневмопровода, а в другой части – наклоненной под углом  $\alpha$  к горизонту, скорость будет другой. Для ее определения будем считать, что все принятые предположения для прямолинейного участка пневмопровода будут справедливы и для наклоненной его части. При этом считаем, что направление равнодействующей  $P$  подъемной силы и силы сопротивления воздуха (рис. 2,а) совпадает с направлением воздушного потока, то есть она направлена под углом  $\alpha$  к горизонту. Следовательно, зерно в таком случае будет находиться в воздушном потоке в равновесии при условии, что:

$$G + J_B - (P_{пд} + F_{оп}) \frac{1}{\sin \alpha} = 0.$$

Данное условие равновесия после учета выражений (1), (3) (5) и (6) приобретет вид:

$$\rho_H \cdot g \cdot V_H + \rho_H \cdot V_H \cdot \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta - (\rho_{п} \cdot g \cdot V_H + C_T \cdot S \cdot \rho_{п} \cdot \frac{U^2}{2}) \frac{1}{\sin \alpha} = 0.$$

После группирования его членов это условие можно записать так:

$$\rho_H \cdot V_H \cdot \sin \alpha (g + \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta) - \rho_{п} \cdot g \cdot V_H - C_T \cdot S \cdot \rho_{п} \cdot \frac{U^2}{2} = 0,$$

или в таком виде:

$$2V_H [\rho_H \cdot \sin \alpha (g + \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta) - \rho_{п} \cdot g] = C_T \cdot S \cdot \rho_{п} U^2.$$

Из последнего равенства находим скорость восходящего потока воздуха в наклоненной части, при которой выбитое зерно будет оставаться в зависшем состоянии:

$$U = \sqrt{2V_H \frac{\rho_H \cdot \sin \alpha (g + \omega^2 \cdot R \cdot \sin \beta) - \rho_{II} \cdot g}{C_T \cdot S \cdot \rho_{II}}} \quad (8)$$

В случае же, когда зерно находится в наклоненной части пневмопровода и вне зоны действия планок мотвила, черт. 2б, то условие его равновесия в воздушном потоке будет иметь вид:

$$G - (P_{\text{шд}} + F_{\text{оп}}) \frac{1}{\sin \alpha} = 0,$$

которое после учета выражений (1), (5) и (6) приобретет вид:

$$\rho_H \cdot g \cdot V_H \sin \alpha - \rho_{II} \cdot g \cdot V_H - C_T \cdot S \cdot \rho_{II} \frac{U^2}{2} = 0.$$

Запишем последнее выражение в таком виде:

$$2g \cdot V_H (\rho_H \cdot \sin \alpha - \rho_{II}) = C_T \cdot S \cdot \rho_{II} \cdot U^2,$$

и из него найдем скорость восходящего потока воздуха в наклоненной части, при которой выбитое зерно будет оставаться в зависшем состоянии:

$$U = \sqrt{2g \cdot V_H \frac{\rho_H \cdot \sin \alpha - \rho_{II}}{C_T \cdot S \cdot \rho_{II}}} \quad (9)$$

Следовательно, можно считать, что проведенный анализ является теоретическими предпосылками для разработки новых рабочих органов зерноуборочного комбайна, предназначенных для пневмоулавливания зерна выбитого планками мотвила, а также и во время подъема полеглых стеблей.

Анализ полученных выражений (7), (8) и (9) показывает, что наибольшее значение скорости воздушного потока дает выражение (7). Это объясняется тем, что зерно после удара планки мотвила по колосу вылетает из него и дальше под действием центробежной силы перемещается в пневмопроводе на встречу воздушному потоку. При этом вертикальная составляющая скорости перемещения зерна зависит от угла вхождения планки мотвила (угол удара), значение которого находится в диапазоне от 90° до 0°. Очевидно, что максимальное значение этого угла может быть не больше 45°.

## ВЫВОД

Для надежного пневмоулавливания зерна выбитого планками мотвила необходимо создавать такой воздушный поток, скорость которого должна быть больше ее критического значения, что определяется за формулой (7).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Remeslo V.N., Sayko V.F. 1981: Sortovaji agroteh-nika pshenizi.– K.: Vrozhaj. – 200.
2. Sortovaji 1989: Sortovaji agrotehnika zernovih kultvr / N.A. Fedorova, V.A. Kononjk./ – Vrozhaj. – 328.
3. Homenko M.S., Zirjinov V.F., Nosonov V.A. 1989: Mehanizacij poseva zernovih kultur i trav. Spravozhnik. – Vrozhaj. – 168.
4. Spravozhnik po zernovih kultvrah/ I.M. Karasujk, A.I. Zdorovcov, P.V. Gordijenko. 1991: – Vrozhaj. – 320.
5. Kholoptsev A. 2012: Izmenenija temperatur poverhnostnykh techeniy teplovogo okeanicheskogo konveyyera pri sovemennom poteplinii klimata // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol.14, 1. 104–114.
6. Melnychuk M.D. 2011: Analiz sovremennoho stanu y perspektyv razvytyya Svitovoi ta ukrajinskoji Sonyachnoji enerhetyky // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol.13, V. 5–12.
7. Zolotovckaji E., Mironov A. 2013: Tehnologji resursosberegajchogo nakopleniji vlagi v polevih uslovijih // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol.15, 1V. 62–68.
8. Kompleksna 1991: Kompleksna mehanizac-ziji virobniictva zerna / V.D. Grech-kosiy. D.M. Alimov, V.I. Kiforenko, P.M. Chayika; Za ped. V.D. Grechkosiy. – K.: Vrozhaj, 1991. – 216.
9. Pogorelyi L., Kovalyi V., Jisenechkiy V. 2003: Zernozbiralna tehnika: problemi, alnervativi, prognozi / Gyrmal «Tehnika APK», №7.– 4–7.
10. Alferov C.A., Kaloshin A.I., Ugarov A.D. 1981: Kak rabotaet zernouborochniy combayn. – M.: Mashinostroenie. – 190.
11. Shmat I.K., Sisolin P.V., Samarin O.E., Bondarev E.I. 2009: Menody i principi

proektuvannji Silskogospodarskih mashin i agregativ. Navchalnyi posibnik. – Herson.: «Oldi-plys»,-132.

12. Silskogospodarski 1991: Silskogospodarski mashiny: teoretichni osnovi, konstrukchiji, proektuvannji. Kn.1. Mashin dlji pilnitstva/Sisolin P.V., Salo V.M., Kropivnyi V.M.; Za red. M.I. Chernovola. – K.: Vrozhaj. – 216.

13. Bosoy E.S., Vermeev O.V., Smirnov I.I., Syltan-Shah E.G. 1978: Teoriji i raket silskogospodarskih mashin. – Mashinostroenie. – 568.

14. Shmat K.I., Samarin O.E., Bondarev E.I., Migaliov O.V. 2009: Teoriji i raket ztrnouborochnih combayniv – Herson.: «Oldi-plys».- 256.

16. Smislov V.V. 1979: Gidravlika i aerodinamika: Uchebnik dlji vuzov. – Kiev: Vicha shkola. Golovoye izdatelstvo. – 336.

17. Kaliczun V.I., Drozdov E.V. Osnovi gidravliki i aerodinamiki. – M.: Stoyiizdat, 1980. – 247.

15. Kravcyuk V.I., Melnik J.F. Mashiny dlji zbirannji zernovih ta tehnichnyh kultur. Doslidnichke:UkrNDIPVT im.L. / Pogorilogo. – 2009. – 296.

18. Loyiczjnskiy L.G. Mthanika zhidkosti i gaza. – M.: Nauka. 1973. – 847.

19. Kutateladze S.S., Starikov M.A. Gidrodinamika gazogitkostnih system. –M.:Energiji, 1976. – 296.

20. Evstifeev V.N. 1989: Truboprovodnyi transport Plastikovih i sipuchih materialov v stroitelstve. – M.: Stroiizdat. – 248.

#### ANALYSIS OF PROCESS OF CO-OPERATION OF SLAT OF REEL FROM TO CEREALS BY LAYER

**Summary.** In paper the results of analysis of process of co-operation of slat of reel with a to the cereals layer and analytical dependences are resulted for determination of speed of ascending blast which provides the process of pneumatic catcher grain of the reel knocked out slats in the rectilineal and inclined areas of pneumatic.

**Key words:** reel, slat, colossus, grain, blow, force, current of air, speed.