

## ВЛИЯНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНОГО ЭЛЕВАТОРА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ РАЗГРУЗКИ

*Наталья Фидровская<sup>1</sup>, Игорь Лукьянов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Украинская инженерно-педагогическая академия,*

*ул. Университетская 16, м. Харьков, 61003, Украина. E-mail: [mot@uipa.ua](mailto:mot@uipa.ua)*

<sup>2</sup>*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко*

*ул. Артема 44, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: [lukjanov\\_5959@mail.ru](mailto:lukjanov_5959@mail.ru).*

*Natali Fidrovska<sup>1</sup>, Igor Lukyanov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Ukrainian Engineering Pedagogics Academy,*

*St. Universitetska 16, Kharkiv, 61003, Ukraine. E-mail: [mot@uipa.ua](mailto:mot@uipa.ua)*

<sup>2</sup>*Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture  
St. Artem 44, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: [lukjanov\\_5959@mail.ru](mailto:lukjanov_5959@mail.ru)*

**Аннотация.** Рассмотрены условия образования обратной сыпи в рабочую и холостую трубу ленточного элеватора и зависимость интенсивности этого процесса от кинематического режима работы элеватора с центробежной разгрузкой.

Проведен анализ работ, посвященных исследованию механического травмирования зерна и образованию обратной сыпи. Результаты этих работ неоднозначны, а порой, и противоречивы, в связи с тем, что в качестве основного критерия принималась скорость ленты. Однако указанные процессы зависят от характера траекторий и скоростей выброса сыпучего материала из ковша, а они в свою очередь зависят кроме скорости ленты, от диаметра барабана и коэффициента внутреннего трения зернового материала. В качестве критерия механического травмирования материала некоторыми авторами принята предельная кинетическая энергия соударения, и соответственно предельная скорость зерна от удара, при которых у упруго-пластических зерен отсутствует остаточная деформация, а у хрупких – не происходит дробление. Этот критерий позволяет регламентировать скорости выброса и соударения зерновок на любом участке элеватора. Этими же авторами приводится анализ условий соударения зерна с ограничительным сводом головки элеватора, при которых можно практически исключить травмирование зерновки и уменьшить обратную сыпь. В ряде работ выдвигаются различные гипотезы о характере движения зерна при выходе из ковша, на их основании получены зависимости для определения скорости выброса и построения траекторий свободного движения зерна в головке нории, однако эти результаты не подтверждаются практикой эксплуатации.

В основу данного исследования положены результаты работы по определению реальных траекторий выброса зерна при центробежной нагрузке при различных кинематических показателях, полученные с помощью скоростной киносъемки. Реальные траектории представляют собой спиральные кривые, направленные выпуклостью в сторону движения

ковша. При малых углах начала выброса движение зерна по таким траекториям, может привести к интенсивному образованию обратной сыпи в верхней части рабочей трубы. Получено уравнение, определяющее зависимость угла начала выброса от показателей кинематического режима при различных коэффициентах внутреннего трения материала. Установлено, что обратная сыпь возникает при углах начала выброса до 30°, а траектория движения зерна - это логарифмическая спираль, параметры которой позволяют определить скорость выбрасывания при различных положениях ковша в процессе вращения.

По результатам исследования рекомендуется выбирать показатель кинематического режима так, чтобы разгрузка начиналась при повороте ковша на угол, незначительно превышающий 30°. При этом практически отсутствует обратная сыпь в рабочую трубу и уменьшается в холостую, увеличивается скорость разгрузки ковша и повышается эффективность работы элеватора.

**Ключевые слова:** ленточный ковшовый элеватор, центробежная разгрузка, обратная сыпь, кинематический режим, внутреннее трение, скорость выброса.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В связи с увеличением объемов погрузочных работ связанных с перемещением зерновых и других сыпучих грузов, возрастает спрос на элеваторы высокой производительности 150...600 т/ч и выше. Как правило, это скоростные норрии с центробежной разгрузкой ковшей, у которых, по сравнению с тихоходными, меньшая нагрузка на рабочую ветвь, меньшие габариты привода и стоимость, но есть и такие недостатки, как неполная разгрузка ковшей и, связанная с этим, обратная сыпь в рабочую трубу, а также в холостую, в случае раннего начала разгрузки, и, как следствие, повышенная травмируемость, вплоть до дробления, зернового материала. Вследствие этого большое значение приобретает выбор оптимального кинематического режима работы элева-

тора, позволяющий минимизировать отрицательные факторы. Однако до настоящего времени для этого имеется недостаточное количество данных. Поэтому исследование процесса центробежной разгрузки является, по-прежнему, актуальной проблемой механики неустановившегося движения сыпучего материала.

#### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Повреждению зерна нориями посвящен ряд работ, в основном, по травмированию семенного материала, требования к которому особенно высоки. Выявлено влияние таких факторов как влажность и размер зерен [1], количество пропусков зерна через элеватор [2], величина контактных напряжений в зерновке при ударе о поверхность разной жесткости [3] и др. Во всех работах в качестве критерия механического повреждения принималась скорость ленты. Влияние ее, как основного фактора на механическое повреждение зерна, рассматривалось и в других работах, однако до настоящего времени нет единого мнения о ее критическом значении: в работе [4] рекомендуется – 0,8 м/с, в работе [5] – 1,2 м/с, а в работах [6, 7] – до 2,6 м/с. Такой разброс объясняется применением при анализе различных критериев травмирования и способов его определения, а также тем, что данные были получены на конструкционно различных типах норий. В работе [8] приводятся данные о повреждении зерновки на отдельных участках элеватора в виде условного коэффициента, который равен: 0,8 - при ударе в головке нории, 0,9 – при ударе ковша по зерну в бункере, 0,5 – при ударе, вследствие встречи ковша с потоком при загрузке и 0,5 – за счет обратной сыпи в бункер. Встречный удар, возможен при обратной сыпи в рабочую трубу, в ее верхней части, и тогда соответствующий ему коэффициент может увеличиваться до 1,0 и больше.

Что касается товарного зерна, то данные о допустимой степени его травмирования и оптимальных режимах транспортировки практически отсутствуют. В работе [9] в качестве критерия травмирования и дробления товарного зерна с влажностью до 17% предложена величина предельной кинетической энергии соударения, при которой остаточная деформация упруго пластических зерен не превышает 0,5...3 мкм, а хрупкие зерна не подвергаются дроблению. Этот критерий позволяет определить предельную скорость соударения зерна при ударе о различные рабочие органы и поверхности машины. Соударения зерна с поверхностью головки нории рассмотрены в работе [10], в которой даны рекомендации по выполнению контура свода головки и качества его поверхности, что практически исключает травмирование зерна на этом участке.

Процесс образования обратной сыпи при центробежной разгрузке также отражен в литературе неоднозначно, а порой, и противоречиво. Так в работах [6, 11] утверждается, что количество обратной сыпи с ростом скорости ленты увеличивается, а в работе [12] утверждается, что уменьшается. Это противоречие объясняется тем, что скорость ленты

не может быть единственным критерием качества центробежной нагрузки, так как решающую роль в этом играют траектория и скорость выброса из ковша, которые зависят от показателя кинематического режима работы элеватора (соотношения скорости ленты и диаметра приводного барабана) и, значительно, от влажности зерна.

В работах [13-16] выдвигаются различные гипотезы о процессе выхода материала из ковшей при различных режимах работы элеватора, на основании которых получены зависимости для направления и величины вектора относительной скорости зерновки, что позволяет определить параметры ее траектории движения в головке нории. Но эти результаты, как показывает практика, не определяют реальные процессы центробежной разгрузки.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы – определить показатели кинематических режимов при центробежной разгрузке, обеспечивающих эффективную работу элеваторов с наименьшими потерями, вследствие обратной сыпи, и с наименьшим процентом травмирования зерна.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

При исследовании центробежной разгрузки были использованы данные о характере реальных траекторий выброса зернового материала из ковша при его различных положениях на барабане в зависимости от показателя кинематического режима  $h/r_B$ , полученные П.П. Артемьевым с помощью скоростной киносъемки и приведенные в источнике [17]. Анализ этих траекторий показывает, что они представляют собой спиральные кривые, выпуклость которых направлена в сторону движения ковша, при этом вектор относительной скорости (скорости выброса) в точке выброса отклоняется от радиус – вектора, проведенного из центра вращения через эту точку, в сторону противоположную направлению движения ковша. Такая же картина наблюдается при выбросе зернового материала из ковша на видеоматериалах сайта [www.go4V.com](http://www.go4V.com) компании 4V Elevator components.ltd. На основании этого можно сделать предположение о том, что такой характер движения материала при малых углах поворота барабана с ковшом, соответствующий началу выброса, может, при определенных режимах, стать причиной образования обратной сыпи в рабочую трубу, в ее верхней части.

Движение частиц по спирали во вращающемся ковше происходит в результате одновременного движения вдоль ковша под действием сдвигающей силы, и движения к верхней стенке ковша под действием центробежной силы. Выход материала начинается с нижнего слоя, который имеет одну поверхность трения с основным массивом, и который испытывает наименьшее сжатие частиц от действия центробежной силы, возрастающей с увеличением радиуса расположения частиц в ковше. Основной массив играет роль выбрасывающей лопатки, форма которой меняется по мере движения ковша по барабану (т.е. по мере разгрузки). Сдвигающей силой слоя частиц материала является реакция связи слоя с

основным материалом, фактически сила трения. Нормальная составляющая силы трения, действующая на частицу материала, будет определяться разницей между центробежной силой и проекцией силы веса на радиус-вектор окружности (рис.1).

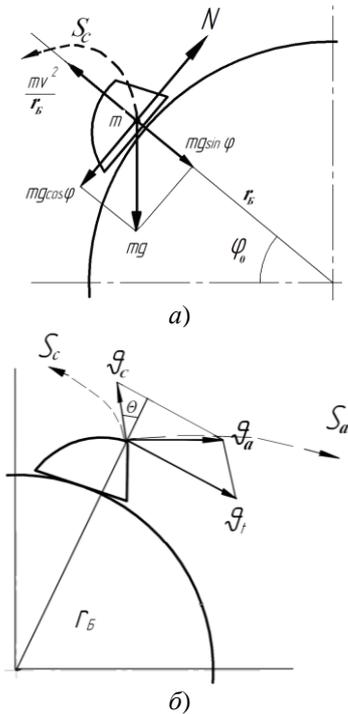


Рис. 1. Расчетная схема выхода материала из ковша: а) начало движения, б) скорости выбрасывания материала

Fig. 1. Design model release material from the bucket: a) the beginning of the rash, b) the discharge velocity of the material

Таким образом, реакцию связи можно представить в виде:

$$N = \left( \frac{m\vartheta^2}{r_B} - mg \sin \varphi_0 \right) f', \quad (1)$$

где:  $m$  – масса частицы,  $f'$  – коэффициент внутреннего трения материала,  $\varphi_0$  – угол поворота барабана с ковшом,  $\vartheta$  – окружная скорость ленты.

Исключив массу частицы, условие начала движения нижнего слоя примет вид:

$$\left( \frac{\vartheta^2}{r_B} - g \sin \varphi_0 \right) f' = g \cos \varphi_0. \quad (2).$$

Условие (2) позволит определить угол поворота барабана с ковшом, при котором начинается движение частиц слоя в зависимости от показателя кинематического режима  $p = h/r_B$  или  $p = g \cdot r_B / \vartheta^2$ .

На рис. 2 приведены зависимости угла поворота  $\varphi_0$ , соответствующего началу выброса в зависимости от показателя кинематического режима, при различных коэффициентах внутреннего трения, которые в свою очередь зависят от влажности зернового материала. Значения влажности приведены для пшеницы. Кривая 1, на всех рисунках (а-з) соответствует равномерному, без толчков и ударов, движению ковша относительно центра вращения барабана.

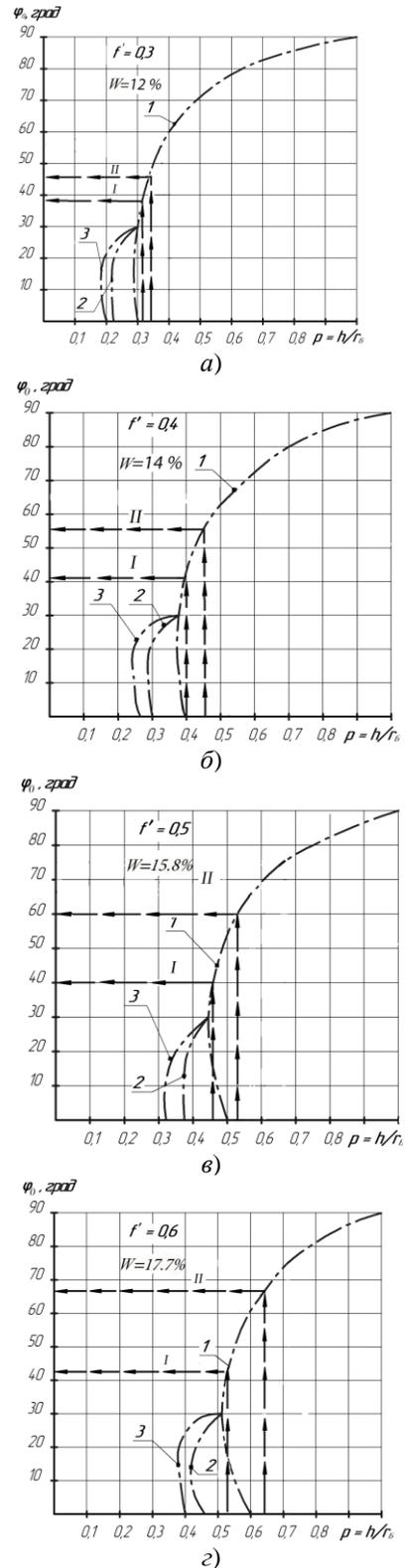


Рис. 2. Зависимость угла начала выбрасывания от показателя кинематического режима, кривые соответствуют: 1 –  $K_0 = 1,0$ , 2 –  $K_0 = 1,3$ , 3 –  $K_0 = 1,5$ ; рекомендуемые показатели кинематического режима: I – минимальный, II – с коэффициентом запаса 1,2.

Fig. 2. Dependence of the angle from the beginning of the discharge indicator kinematic regime, curves correspond to: 1 –  $K_0 = 1,0$ , 2 –  $K_0 = 1,3$ , 3 –  $K_0 = 1,5$ ; the recommended indicator of kinematic regime: I – minimum, II – with a safety factor of 1,2

При угле поворота ковша  $\varphi_0 \leq 30^\circ$  кривая уходит в область менее скоростных кинематических режимов. Однако в пределах этого угла поворота ковша равномерность движения не соблюдается. В момент захода ковша на барабан, он испытывает толчок в радиальном направлении. Это связано с возникающим импульсом центробежной силы, а также с тем, что стенка ковша не может, как лента, копировать поверхность барабана, в результате этого и происходит подбрасывания. В расчетах передаточный коэффициент динамичности при толчках принимают в пределах  $K_\partial = 1,2 \dots 1,5$  [18]. Толчок приводит к увеличению скорости выбрасывания, что соответствует более скоростному режиму работы. В этом случае показатель кинематического режима  $p = h / K_\partial r_B$ , и значения углов начала выбрасывания определяются кривыми 2 или 3. На возможность начала выброса при углах  $15^\circ - 30^\circ$  указывается А.О. Спиваковским [19]. Это подтверждается данными Карловского машиностроительного завода, при испытании нории производительностью 350 т/ч, с диаметром барабана 912 мм, при скоростях ленты 3,0...3,8 м/с. В процессе испытаний было установлено, что при скорости 3,5 м/с ( $p=0,365$ ) начинается обратная сыпь в рабочую трубу, а при скорости 3,8 м/с ( $p=0,3$ ) в верхней части трубы образовывается устойчивый «фонтанчик» обратной сыпи. В результате нория выпускается со скоростью 3,2 м/с ( $p=0,456$ ) при этом дробление зерна в нории составляло приемлемые 0,3 %. Испытания проводились для пшеницы с влажностью 14 %, с соответствующим коэффициентом внутреннего трения  $f' = 0,4$  (рис. 2б). Режимы  $p=0,365$  и  $p=0,3$  четко попадают в зону кривых 2 и 3, а режим  $p=0,456$  соответствует участку равномерного движения с углом начала выброса  $\varphi_0 = 55^\circ$ . В теоретической работе [20] утверждается, что крутильное колебательное движение ковша происходит на протяжении всего движения по приводному барабану, однако учитывая большую величину натяжения ленты на этом участке, колебательный процесс вряд ли возможен, что подтверждается характером реальных траекторий выброса. При  $f' = 0,6$  выброс зернового материала при малых углах  $\varphi_0$  возможен на менее скоростных кинематических режимах, в связи с ростом сдвигающей силы, однако на практике это не подтверждается, так как резко падает скорость движения материала по спирали внутри ковша (будет показано далее).

Скорость движения по спирали  $\mathcal{G}_C$ , это скорость скольжения частиц слоя по массиву основного материала (скорость выброса), имеющая существенное влияние на движение частиц после выброса. Она определяет скорость метания  $\mathcal{G}_a$  и траекторию движения зерна в головке нории (рис. 1б). Поэтому является важным определение ее величины при различных положениях ковша на барабане. Для этого нужно установить тип спирали на основании анализа реальных траекторий выброса, приведенных в указанных выше работах. Начальное движение частиц не происходит вдоль радиуса, поэтому реальная спираль при вращении не будет архимедовой. При проведении касательной к спирали в точке вы-

хода материала, определяемой пересечением кромки верхней стенки ковша со спиралью и радиус-вектором, проведенным из центра вращения через эту точку, было установлено, что с учетом точности построений, угол между этими линиями (угол  $\theta$ ) при всех положениях ковша является одинаковым, что присуще логарифмической спирали. Значение этого угла, угла между касательной и радиус-вектором, при показателях кинематического режима  $h/r_B = 0,23$  и  $h/r_B = 0,72$  [17], можно найти по зависимости, полученной по результатам графического исследования:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{gr'_B}{g^2}. \quad (3)$$

Движение частицы по логарифмической спирали внутри ковша рассмотрено в работе [10], с учетом действия на частицу всех сил: центробежной силы, силы веса, силы Кориолиса, тангенциальной силы инерции, реакции связи и силы трения, в проекции на оси координат  $y-x$ , из которых координата  $y$  – касательная к спирали в рассматриваемой точке. В результате было получено уравнение движения частицы по спирали в виде:

$$y'' + 2f\omega y' = r\omega^2 (\cos \theta + f \sin \theta) - g [\sin(\varphi - \theta) + f \cos(\varphi - \theta)]. \quad (4)$$

Решение этого уравнения для скорости скольжения частицы по спирали имеет вид:

$$\mathcal{G}_C = \left[ \frac{r\omega \cos(\theta + \rho')}{2 \sin \rho'} - \frac{g \sin(\varphi - \theta + \rho')}{2\omega \sin \rho'} \right] \times (1 - e^{-2f'\varphi}), \quad (5)$$

где:  $\omega$  – угловая скорость;  $\rho' = \operatorname{arctg} f'$  – угол внутреннего трения частиц материала;  $\varphi = \omega t$  – угол поворота барабана с ковшем;  $r$  – текущий радиус-вектор точки на спирали внутри ковша.

В этом уравнении два неизвестных угол  $\theta$  и текущий радиус-вектор  $r$ . Угол  $\theta$  определяется зависимостью (3). Функцию изменения радиус-вектора  $r$  можно установить путем анализа физики движения частицы по логарифмической спирали. Решение задачи движения частицы на горизонтальном вращающемся диске получены академиком Василенко П.М. [21]:

$$\mathcal{G}_C = \sqrt{r^2 \omega^2 - 2f'g \frac{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \theta}}{\operatorname{ctg} \theta} (r - r_0)}, \quad (6)$$

где:  $r$  – радиус диска;  $r_0$  – радиус точки попадания частицы на диск;  $\omega$  – угловая скорость.

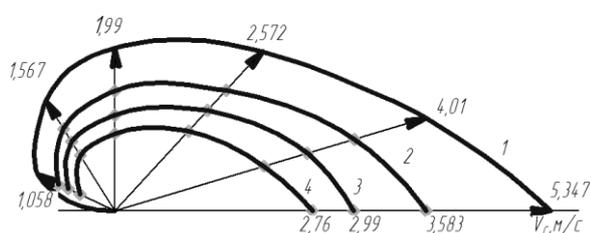
Из этой зависимости следует, что скорость скольжения зависит от значения радиуса  $r_0$ , который определяет длину дуги спирали, по которой предстоит пройти частице. С ростом радиуса длина дуги уменьшается, и скорость скольжения возрастает за счет снижения сопротивления перемещению. При движении частицы в ковше длина дуги спирали непрерывно уменьшается, вследствие перемещения точки выхода, и скорость скольжения увеличивается. Из этого следует, что радиус-вектор должен изменяться по зависимости, структура которой должна

соответствовать структуре изменения скорости. Она может быть представлена в виде:

$$r = \left[ r_B + B(1 - e^{-2\varphi \operatorname{tg} \theta}) \right], \quad (7)$$

где:  $B$  – вылет ковша.

Фактически эта зависимость представляет собой уравнение особой логарифмической спирали в полярных координатах. Анализ этого уравнения показывает, что текущий радиус-вектор не достигает значения радиуса кромки верхней стенки ковша ни при каких значениях угла  $\theta$ , т.е. в ковше практически при всех кинематических режимах разгрузки останется какой-то слой материала, образующий, впоследствии, обратную сыпь в холостую трубу. Это подтверждается практикой эксплуатации как зарубежных, так и отечественных элеваторов, а также в источнике [22], где устанавливается и норма обратной сыпи не более 2%.



**Рис. 3.** Годограф скоростей выбрасывания  $\mathcal{G}_C$  (м/с) при различных коэффициентах внутреннего трения и влажности:

- 1 –  $f' = 0,4$ ,  $W = 14\%$ ; 2 –  $f' = 0,5$ ,  $W = 15,8\%$ ;  
3 –  $f' = 0,6$ ,  $W = 17,7\%$ ; 4 –  $f' = 0,7$   $W = 19\%$

**Fig. 3.** Hodograph ejection velocity  $\mathcal{G}_C$  (m/s) at different ratios of internal friction and humidity:

- 1 –  $f' = 0,4$ ,  $W = 14\%$ ; 2 –  $f' = 0,5$ ,  $W = 15,8\%$ ;  
3 –  $f' = 0,6$ ,  $W = 17,7\%$ ; 4 –  $f' = 0,7$   $W = 19\%$

По зависимости (5) можно установить влияние коэффициента внутреннего трения частиц материала на скорость скольжения. На рис.3 представлены годографы векторов скорости в зависимости от угла поворота ковша для норрии  $Q = 350$  т/ч, диаметр барабана 912 мм, вылет ковша  $B = 200$  мм, скорость ленты 3,5 м/с ( $p = h/r_B = 0.3655$ ) при коэффициентах трения для пшеницы  $f' = 0,4$  ( $W = 14\%$ ) и  $f' = 0,6$  ( $W = 17,7\%$ ). Значения  $\mathcal{G}_C$  вычислялись через каждые  $30^\circ$  угла поворота ковша. Сравнение годографов показывает падение скорости скольжения (выброса) на всех этапах разгрузки ковша при увеличении коэффициента трения  $f'$ . При влажности зерна свыше 18% центробежная разгрузка будет сопровождаться резким увеличением обратной сыпи и работа норрии будет не эффективной, что и подтверждается в источнике [21].

### ВЫВОДЫ

В соответствии с полученными результатами можно отметить, что для эффективной работы норрии с наименьшими потерями вследствие обратной сыпи и наименьшим процентом травмирования зер-

на от этого фактора, необходимо выбирать кинематический режим с показателем, при котором начало разгрузки должно начинаться при угле поворота барабана с ковшом незначительно превышающем значение  $30^\circ$ . На рис. 2 стрелками показаны минимально допустимые значения этого показателя (положение I), и его значение с коэффициентом запаса 1, 2, учитывающим нестабильность влажности зерна с отложением в большую сторону (положение II). Расчеты показывают, что с уменьшением угла начала выброса увеличивается время прохождения ковша по рабочей дуге и увеличивается скорость выброса при соответствующем диаметре барабана. При выборе показателя кинематического режима придется находить компромисс между скоростью ленты и диаметром барабана. Этот компромисс может быть найден путем определения диаметра барабана из условия обеспечения необходимой тяговой способности, с возможными его вариациями [23], и тогда становится определенным значение скорости ленты.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.

1. Пугачев А.Н. 1976. Повреждение зерна машинами. М.: Колос, 380.
2. Громов А.Г., Глитов В.П., Новиков П.А. 1969. Влияние режимов работы ковшовых элеваторов на повреждение зерна. Науч. тр. ч. ЧИМЭСХ вып. 36-63, 325-332.
3. Аржанов В.Г., Солунский Д.А., Тантлевский А.В. 1985. Повышение эффективности работы зерновых норрий. Промыш. транспорт. М.: №10, 57-62.
4. Анискин В.П., Дрынча В.М., Пехальский И.А. 1992. Повреждение семян зерновых культур при машинной обработке. Вестник сельскохозяйственной науки. М.: №1, 94-105.
5. Шибаев Н.М. 1957. Механическое повреждение зерна и меры их устранения. Вестник сельскохозяйственной науки. М.: №9, 70-79.
6. Блохин П.В., Малонеева Е.Р., Сорокина Г.А. 1978. Пути снижения механических повреждений семян пшеницы норриями. Техника, технология и экономика хранения и переработки зерна – Тр. ВНИИЗ. М.: Вып. 88, 102-112.
7. Бедыч Т.В. 2008. Влияние рабочих органов машин на травмирование зерна. Международный с/х журнал. М.: №4, 71-72.
8. Чудин И.А. 1980. Исследование повреждения зерна на отдельных участках норрии. Тракторы и сельскохозяйственные машины. №8, 16-18.
9. Богомолов А.В., Белостоцкий В.А., Лукьянов И.М. 2014. Определение прочности зерна пшеницы при ударе и выбор кинематического режима работы норрии. XV Международ. науч.-практ. конф. «Современные направления технологии и механизации процессов перерабатывающих и пищевых производств». Харьков. Вестник ХНТУСГ им. П. Василенко. Вип. №152, 26-33, 354.

10. **Богомолов А.В., Белостоцкий В.А., Лукьянов И.М., Ридный Р.В. 2014.** О возможности механического травмирования зерна при центробежном режиме разгрузки норий. «Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК». Международ. науч.-практ. конф. (Минск, 4-6 июня 2014). В 2 ч. Ч.2. Минск: БГАТУ. ISBN 978-985-519-574-1. 61-66, 400.
11. **Чудин И.А. 1979.** Разгрузка ковшей нории. Механизация и электрификация сельского хозяйства. М.: №11, 49-50.
12. **Креймерман Г. 1936.** Применение больших скоростей на элеваторных нориях. Советское мукомолье и хлебопечение. М.: №6, 23-26.
13. **Сикерин А.В. 1931.** Выбрасывание материала из ковшей элеваторов. Вестник инженеров и техников. М. №2, 7-14.
14. **Козьмин П.С. 1952.** Элеваторы, транспортеры и конвейеры. Госмашиниздат. Л.–М. 186.
15. **Соколов А.Я. 1964.** Ковшовые элеваторы. Транспортирующие и перегрузочные машины для комплексной механизации пищевых производств. М. Пищевая промышленность. 58-68.
16. **Борисов А.М. 1980.** Исследование процесса разгрузки норийных ковшей без дна. М. Тракторы и сельхозмашины. №8, 20-24.
17. **Долголенко А.А. 1959.** Машины непрерывного транспорта. М. Речной транспорт. 234.
18. **Заблонский К.П. 1985.** Детали машин. Киев. Вища школа. 518.
19. **Спиваковский А.О., Дьячков В.К. 1968.** Транспортирующие машины. М. Машиностроение. 504.
20. **Лейкин В., Бортун В. 2012.** Уточненная математическая модель динамического движения элеватора. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. MOTROL commission of motorization and energetic in agriculture Vol. 14, № 3. Lublin-Rzeszow 2012. 87-95, 223.
21. **Василенко П.М. 1960.** Теория движения частиц по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев. Изд-во Украинской Академии с/х наук. 283.
22. **Иванов А.Н., Лейкин А.Я., Хувес Э.С., Черный М.С. 1964.** Машины для комплексной механизации погрузочно-разгрузочных работ с зерном. М. Колос. 231.
23. **Богомолов А., Белостоцкий В., Лукьянов И. 2014.** Обеспечение тяговой способности ленточно-барабанного механизма вертикальных элеваторов. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. MOTROL commission of motorization and energetic in agriculture Vol. 16, № 7. Lublin-Rzeszow 2014. 106-110, 178.

## THE INFLUENCE OF KINEMATIC OPERATING MODES OF THE BELT ELEVATOR ON THE EFFICIENCY OF CENTRIFUGAL UNLOADING

**Summary.** The conditions for the formation of a reverse fall into working and idle pipe of belt elevator and dependence of this process of the kinematic operating mode of the elevator with centrifugal unloading are considered.

An analysis of studies of the mechanical injury of grain and formation of grain reverse fall are carried out. The results of these studies are sometimes contradictory, because the main criterion was the tape speed. However, these processes depend of the character of the trajectory and speed of emission of friable material from the bucket, and they in own turn beside the tape speed depend of the diameter of the drum and the internal friction coefficient of the grain material. As a criterion of the mechanical injury of grain material some authors accepted the limit kinetic energy of the concussion, and thus limit grain speed to strike, with this one the elastic-plastic grains do not deform permanently, the fragile grains do not break to pieces. This criterion makes it possible to regulate the rate of release and the concussion of kernels anywhere on the elevator. The same authors analyze the conditions of the grain concussion with the elevator restrictive heads, with which the injury of grain could be stopped and the reverse fall of grain can be reduced. A number of studies the various hypotheses about the nature of the grain movement of grain at the outlet of the bucket are considered and the dependences for determining the speed of grain unloading are got as well the trajectories of free movement of grain in the elevator head are build, however, these results are not confirmed by the practice of exploitation.

The basis of the study is the results of work as to definition of the actual trajectory of grain under centrifugal load at various kinematic indices obtained by high-speed photography. The real trajectory are spiral curves directed bulge in the guideline of movement of the bucket. At small angles of ejection start the grains movement along such trajectories can lead to an intense formation of grain feedback fall in the upper part of the working tube. The equation that determines the dependence of the angle of grain feedback fall start of the kinematic mode indicators are got for different coefficients of internal friction of the material. It is found that the reverse grain fall occurs at the 30° angle of the fall start and the trajectory of grain movement is logarithmic spiral. Parameters of the logarithmic spiral allow determining the unloading speed at various bucket positions during rotation.

The study recommended choosing the kinematic mode so that the unloading began at the turn of the bucket at an angle slightly greater than 30°. At the same time in the working tube there is practically no reverse fall and in the idle is reduced one. The speed of the bucket unloading is increased as well the efficiency of the elevator.

**Key words:** belt bucket elevator, centrifugal unloading, return fall, kinematic mode, internal friction, the discharge speed.