

# Исследование процесса подачи сеносоломистого материала в приемную камеру пневмопогрузчика уборочно-транспортного агрегата

<sup>1</sup>\*АБУЛХАИРОВ Дармен Каратаевич, д.т.н., профессор, adk511@bk.ru,

<sup>2</sup>САГЫНГАНОВА Индира Кенесовна, PhD, старший преподаватель, sagynganova\_ik@enu.kz,

<sup>1</sup>УСЕРБАЕВ Муратбек Турарбекович, к.т.н., зав. кафедрой, usermur@mail.ru,

<sup>1</sup>МЕНДАЛИЕВА Сауле Ильинична, к.т.н., старший преподаватель, saule-decanuf@mail.ru,

<sup>3</sup>БЕМБЕНЕК Михал, PhD, профессор, bembenek@agh.edu.pl,

<sup>1</sup>НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», пр. Женис, 62, Астана, Казахстан,

<sup>2</sup>НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева», ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан,

<sup>3</sup>AGH университет в Кракове, аллея Адама Мицкевича, 30, 30-059, Краков, Польша,

\*автор-корреспондент.

**Аннотация.** Статья посвящена вопросам проектирования рабочих органов уборочно-транспортного агрегата (УТА), функционирующего в результате совместной работы подборщика и пневмопогрузчика со сборочной камерой. Рассмотрены параметры их взаиморасположения, обеспечивающие технологический процесс непрерывности транспортировки растительной массы в сборочную камеру. С этой целью проведен анализ процесса перемещения материала по полотняному погрузчику и последующего его сбрасывания в приемную камеру пневмопогрузчика. Получены аналитические выражения, позволяющие рассчитать параметры взаиморасположения валов подборщика и ротора погрузчика и зону подачи массы в погрузчик. Построены расчетные траектории движения частицы после схода с полотняного транспортера при угле наклона к горизонту 20; 30; 40 градусов. Установлено, что рабочие органы пневмопогрузчика (лопасти ротора) могут располагаться в пределах зоны выброса массы, т.е. 0,2-0,3 м от места выброса массы с транспортера, так как в данных точках траектории скорость движения материала максимальная.

**Ключевые слова:** уборочно-транспортный агрегат, процесс подбора валка, пневмопогрузчик, приемная камера, перемещение частицы, угол наклона, полотно транспортера, допустимая скорость, траектория движения, сбрасывание частицы, параметры взаиморасположения валов.

## Введение

Технология механизированной заготовки сеносоломистого материала основана на совмещении операций, начиная с подбора валка до выгрузки сформированного стога. При этом особое внимание обращается на увязку и четкость выполнения отдельных операций, обусловленных правильным выбором величины параметров рабочих органов исполнительных механизмов [1, 2, 3].

Общая схема уборочно-транспортного агрегата (УТА), совмещающего операции заготовки сеносоломистого материала, при-

ведена на рисунке 1. Агрегат, состоящий из подборщика 1, пневмопогрузчика 2, сборочной камеры 3 во время работы движется по валку с переносной скоростью  $u_e$ . Проявленный в валках сеносоломистый материал подбирается полотняным подборщиком и со скоростью  $u_p$  подается в приемную камеру пневмопогрузчика.

Рассмотрим процесс перемещения частицы сеносоломистого материала по полотну подборщика и последующего его сбрасывания в приемную камеру пневмопогрузчика (рисунок 2) [4, 5].

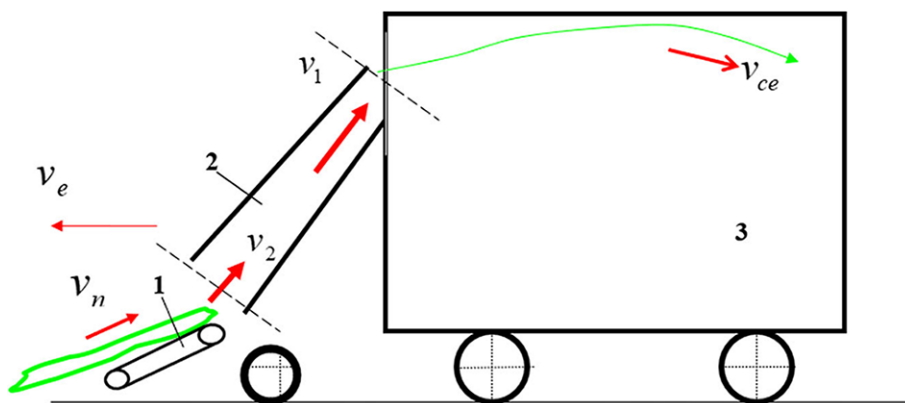


Рисунок 1 – Общая схема уборочно-транспортного агрегата (УТА)

**Методика исследования процесса перемещения материала по полотну подборщика**

В момент времени  $t = 0$ , когда частица сеносоломистого материала поступает на полотно,двигающееся с постоянной скоростью  $v_e$  вверх в сторону, обратную движению агрегата, возможно появление скольжения материала по этой поверхности, т.е. относительное движение массы со скоростью  $v_r$ , направленное в противоположную сторону  $v_e$ . С течением времени сила трения будет противодействовать скорости  $v_r$ , замедляя ее [6, 7].

Отметим, что в момент попадания частицы на полотно точка  $M$  в переносном движении находится на расстоянии  $L_1$  от ведомого вала (рисунок 2). Кроме этого, считаем поверхность полотна гладкой (на ней отсутствуют закрепленные пальцы).

Примем переносную абсциссу  $x$  в точке  $M$ , движущуюся вместе с полотном. В этой системе отсчета напишем дифференциальное уравнение относительного движения частицы:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = mg \sin \gamma - F = mg \sin \gamma - \lambda mg \cos \gamma = mg \sin \gamma (1 - \lambda),$$

здесь  $\frac{d^2 x}{dt^2}$  – ускорение массы в относительном движении;  $\lambda = \frac{tg\varphi}{tg\gamma}$ .

Выполнив сокращения в (1) на  $m$ , запишем:

$$\frac{dv_r}{dt} = g \sin \gamma (1 - \lambda) \text{ или } dv_r = g \sin \gamma (1 - \lambda) dt.$$

Взяв неопределенный интеграл от (2),

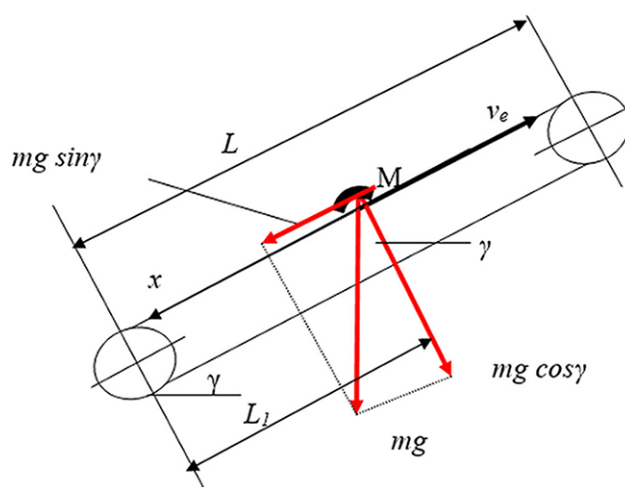


Рисунок 2 – Схема воздействия сил при перемещении частицы сеносоломистого материала по полотну

получим выражение относительной скорости:

$$v_r = g \sin \gamma (1 - \lambda) t + C_1. \tag{3}$$

При  $t = 0$ ,  $v_r = v_e$  свободный член  $C_1 = v_e$ . Отсюда уравнение (3) примет вид:

$$v_r = \frac{dx}{dt} = v_e - g \sin \gamma (\lambda - 1) t, \tag{4}$$

т.е. характер изменения относительной скорости скольжения рассматриваемой частицы по полотну  $v_r$  подчиняется линейному закону в функции времени  $t$ .

Анализ уравнения (4) показывает, что при  $\lambda > 1$  (или  $\gamma < \varphi$ ) относительная скорость  $v_r$  по мере увеличения  $t$  уменьшается.

При достижении  $t = t_c$  ( $t_c$  – время скольжения) будет иметь место:

$$0 = v_e - g \sin \alpha (\lambda - 1) t_c. \quad (5)$$

Таким образом, время скольжения  $t_c$  определяется выражением:

$$t_c = \frac{v_e}{g \sin \gamma (\lambda - 1)}. \quad (6)$$

За время  $t_c$  скольжения массы (рисунок 2) полотно в переносном движении переместится на путь  $L_c = v_e \cdot t_c$ .

Для того чтобы к моменту схода листостебельная масса не имела скольжения (отсутствовала относительная скорость  $v_r$  частиц по полотну) расстояние между ведущим и ведомым валами транспортера должно соответствовать:  $L \geq L_c + L_1$ .

Очевидно, при наличии на полотне жестко закрепленных пальцев, которые препятствуют скольжению массы, сеносоломистый материал будет перемещаться вместе с полотном со скоростью  $v_e$  и  $L \geq L_1$ .

### Методика исследования процесса сбрасывания сеносоломистого материала с полотняного транспортера

Для того чтобы описать процесс сбрасывания сеносоломистого материала (рисунок 3) полотняным транспортером, выразим его параметры: угол наклона к горизонту –  $\gamma$ ; радиус ведущего вала –  $OO' = r$ ; аппликата точки  $O'$  в момент выброса массы –  $H$ .

Примем следующие допущения:

1) масса сбрасывается с точки  $O'$  (в продольно-вертикальной проекции схемы рабочего органа) с начальной скоростью, равной скорости полотна  $v_e$ ;

2) перемещающий материал не испытывает сопротивление воздуха;

3) рассматривается полет нижних частиц материала;

4) переносное движение подборщика отсутствует ( $v_m = 0$ ).

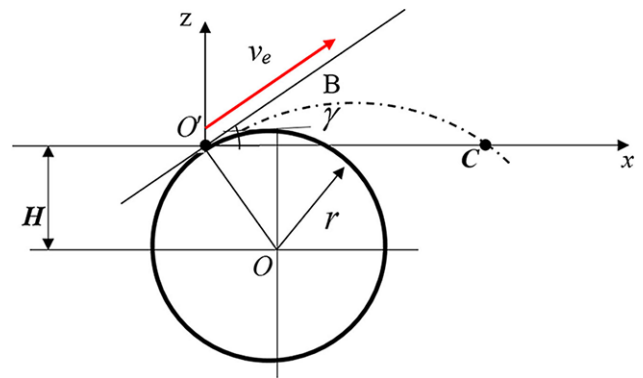
Напишем закон движения частицы в прямоугольной системе координат  $xO'z$ :

$$\left. \begin{aligned} x &= v_e t \cos \gamma \\ z &= v_e t \cdot \sin \gamma - \frac{1}{2} g t^2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Отсюда соответствующие проекции линейной скорости частиц на оси координат будут:

$$\left. \begin{aligned} v_x &= v_e \cos \gamma \\ v_z &= v_e \sin \gamma - g t \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Определим траекторию движения частиц после выброса с наклонного полотняного транспортера по координатам нескольких характерных точек.



**Рисунок 3 – Схема сбрасывания частицы с полотняного транспортера**

В наивысшей точке траектории полета частиц (точка  $B$ ):  $v_{zB} = 0$ .

Из (8) соответствующее этому времени:

$$t_B = \frac{v_e \sin \gamma}{g}. \quad (9)$$

Подставив полученное значение  $t_B$  в первое уравнение (7), определим аппликату точки  $B$ :

$$z_B = \frac{v_e^2 \sin^2 \gamma}{2g}, \text{ м.} \quad (10)$$

Координаты точки  $C$ :

$$z_c = 0 = v_e t \sin \gamma - \frac{1}{2} g t^2 \text{ или } v_e \sin \gamma - \frac{1}{2} g t = 0.$$

Отсюда время пересечения частицей точки  $C$ :

$$t_c = \frac{2v_e \sin \gamma}{g}.$$

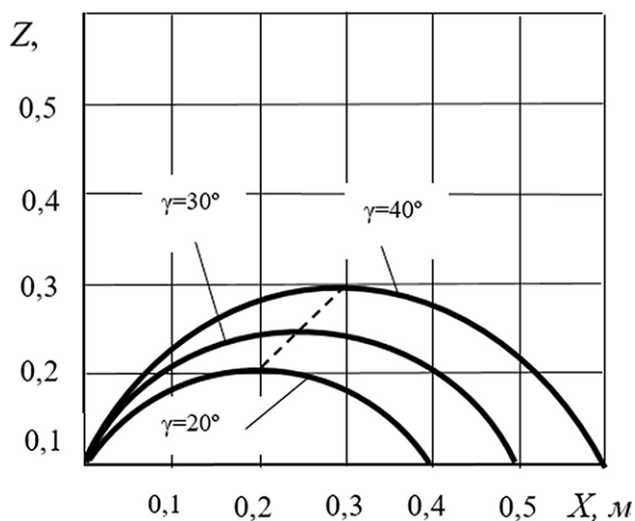
$$\begin{aligned} \text{Абсцисса точки } C: \quad x_c &= v_e t \cos \gamma = \\ &= \frac{2v_e \sin \gamma}{g} v_e \cos \gamma = \frac{v_e^2 \sin \gamma}{g}. \end{aligned}$$

### Результаты исследований

Таким образом, величины  $H, x_c$  позволяют определить параметры взаиморасположения валов подборщика и ротора погрузчика и зону подачи массы в погрузчик [8, 9].

По формуле (10) были построены расчетные траектории движения частицы после схода с полотняного транспортера при угле наклона к горизонту 20; 30; 40 градусов (рисунок 4).

Анализ графиков показывает, что рабочие органы пневмопогрузчика (лопасти ротора) могут располагаться в пределах зоны выброса массы, т.е. 0,2-0,3 м от места выброса массы с транспортера, так как в данных точках траектории скорость движения материала максимальная.



**Рисунок 4 – Расчетные траектории движения частицы после выброса с полотняного транспортера при различных значениях угла  $\gamma$**

### Выводы

Таким образом, можно предположить, что дальность полета сеносоломистого материала, отправленного в транспортную тележку, будет максимальной, если поступившая в рабочую зону лопастей вентилятора сеносоломистая масса будет иметь максимальную скорость движения.

Расчетным путем установлено, что максимальная дальность полета порций сена достигается при расстоянии от точки ввода сеносоломистого материала до точки взаимодействия подаваемой массы с лопастями вентилятора в приемной камере, равном 0,25 м, и угле установки подборщика к горизонту  $35^\circ$ . Данный расчетный показатель позволит в свою очередь определить параметры, характеризующие взаиморасположение ведущего вала транспортера и вала ротора вентилятора, которые в дальнейшем будут уточняться экспериментальным путем.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астафьев В.Л., Гайфуллин Г.З., Абулхаиров Д.К. и др. Комплексная механизация возделывания трав, заготовки и хранения грубых кормов в Северном Казахстане: Рекомендации. – РГП «ЦелинНИИМ-ЭСХ». – Костанай, 2005. – 48 с.
2. Алшынбай М.Р., Астафьев В.Л., Абулхаиров Д.К. Рекомендации по комплексной механизации уборки трав на сено в Северном Казахстане. <https://infourok.ru/>
3. Хамуев В.Г. Распределение скоростей воздушного потока в глубоком пневмосепарирующем канале // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. (4). С. 12-15.
4. Федорова О.А., Фандеев С.Ю. К обоснованию комплексного критерия эффективности использования технических средств для уборки суданской травы // Вестник НГИЭИ. 2021. № 6 (121). URL: <https://cyberleninka.ru>
5. Маткаримов Ш.А. Влияние скорости воздушного потока на характер движения компонентов зерно-соломистого вороха // ORIENSS. 2022. № Special Issue 4-2. URL: <https://cyberleninka.ru>
6. Абулхаиров Д.К. Технологическая схема уборочно-транспортного агрегата // Вестник Атырауского института нефти и газа: научный журнал. 2007. № 11.
7. Абулхаиров Д.К. Уборочно-транспортный агрегат как одноконтурная система // Материалы международной научно-практической конференции «Пищевая и легкая промышленность стратегии вхождения Республики Казахстан в число 50 наиболее конкурентоспособных стран мира». – 2-я часть, 17-18 октября 2007 г. – Алматы: АТУ, 2007. С. 156-159.
8. Абулхаиров Д.К., Сагынганова И.К., Усербаев М.Т. Обоснование технологической схемы и параметров механизма уплотнения сена в сборочной камере // «Университет еңбектері – Труды университета» Карагандинского технического университета. 2022. № 1.
9. Абулхаиров Д.К., Сагынганова И.К., Усербаев М.Т. Обоснование величины давления воздушного потока для транспортирования растительного материала // «Университет еңбектері – Труды университета» Карагандинского технического университета. 2023. № 1.

### **Жинау-тасымалдау агрегатының пневматикалық тиегішінің қабылдау камерасына өсімдік материалды жеткізу процесін зерттеу**

- <sup>1</sup>\***ӘБІЛҚАЙЫРОВ Дәрмен Каратайұлы**, т.ғ.д., профессор, adk511@bk.ru,  
<sup>2</sup>**САҒЫНҒАНОВА Индира Кенесқызы**, PhD, аға оқытушы, sagynganova\_ik@enu.kz,  
<sup>1</sup>**ӨСЕРБАЕВ Мұратбек Тұрарбекұлы**, т.ғ.к., кафедра меңгерушісі, usermur@mail.ru,  
<sup>1</sup>**МЕНДАЛИЕВА Сәуле Ильинична**, т.ғ.к., аға оқытушы, saule-decanuf@mail.ru,  
<sup>3</sup>**БЕМБЕНЕК Михал**, PhD, профессор, bembenek@agh.edu.pl,  
<sup>1</sup>«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Жеңіс даңғылы, 62, Астана, Қазақстан,  
<sup>2</sup>«Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті» КеАҚ, Сәтпаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан,  
<sup>3</sup>Краковтағы АГН университеті, Адам Мицкевич аллеясы, 30, 30-059, Краков, Польша,  
 \*автор-корреспондент.

**Аңдатпа.** Мақала жинағыш пен пневматикалық тиегіштің құрастыру камерасымен бірлескен жұмысы нәтижесінде жұмыс істейтін жинау-тасымалдау қондырғысының (ЖТА) жұмыс бөліктерінің конструкциясына арналған. Өсімдік массасын құрастыру камерасына үздіксіз тасымалдаудың технологиялық процесін қамтамасыз ететін олардың салыстырмалы орналасуының параметрлері қарастырылады. Осы мақсатта таспалы тиегіш бойымен материалды жылжыту және оны кейіннен пневматикалық тиегіштің қабылдау камерасына төгу процесін талдау жүргізілді. Көтергіш біліктердің және тиегіш роторының салыстырмалы орналасуының параметрлерін және тиегішке массалық беру аймағын есептеуге мүмкіндік беретін аналитикалық өрнектер алынды. 20 горизонтқа көлбеу бұрышта таспалы конвейерден шыққаннан кейін бөлшектер қозғалысының есептелген траекториялары құрастырылды; 30; 40 градус. Пневматикалық тиегіштің жұмыс бөліктері (ротор қалақтары) массалық лақтыру аймағында орналасуы мүмкін екендігі анықталды, яғни, конвейерден масса шығарылатын жерден 0,2-0,3 м, өйткені траекторияның бұл нүктелерінде материалдың қозғалу жылдамдығы максималды болады.

**Кілт сөздер:** жинау және тасымалдау қондырғысы, желді таңдау процесі, пневматикалық тиегіш, қабылдау камерасы, бөлшектердің қозғалысы, көлбеу бұрышы, конвейер лентасы, рұқсат етілген жылдамдық, қозғалыс траекториясы, бөлшектердің түсуі, біліктердің өзара орналасуының параметрлері.

### **Research of the Process of Supplying Hay-starch Material into the Receiving Chamber of a Pneumatic Loader of a Harvesting and Transporting Unit**

- <sup>1</sup>\***ABULKHAIROV Darmen**, Dr. of Tech. Sci., Professor, adk511@bk.ru,  
<sup>2</sup>**SAGYNGANOVA Indira**, PhD, Senior Lecturer, sagynganova\_ik@enu.kz,  
<sup>1</sup>**USSERBAYEV Muratbek**, Cand. of Tech. Sci., Head of Department, usermur@mail.ru,  
<sup>1</sup>**MENDALIYEVA Saule**, Cand. of Tech. Sci., Senior Lecturer, saule-decanuf@mail.ru,  
<sup>3</sup>**BEMBENEK Michal**, PhD, Professor, bembenek@agh.edu.pl,  
<sup>1</sup>NCJSC «S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University», Zhenis Avenue, 62, Astana, Kazakhstan,  
<sup>2</sup>NPJSC «L.N. Gumilyov Eurasian National University», Satpayev Street, 2, Astana, Kazakhstan,  
<sup>3</sup>AGH University of Krakow, Adam Mickiewicz Alley, 30, 30-059, Krakow, Poland,  
 \*corresponding author.

**Abstract.** The article is devoted to the design of the working parts of a harvesting and transport unit (HTA), which operates as a result of the joint work of a pick-up and a pneumatic loader with an assembly chamber. The parameters of their relative position are considered, ensuring the technological process of continuous transportation of plant mass into the assembly chamber. For this purpose, an analysis of the process of moving material along a belt loader and its subsequent dumping into the receiving chamber of a pneumatic loader was carried out. Analytical expressions have been obtained that make it possible to calculate the parameters of the relative position of the pick-up shafts and the loader rotor and the area of mass supply to the loader. The calculated trajectories of particle movement after leaving the belt conveyor at an angle of inclination to the horizon of 20 were constructed; 30; 40 degrees. It has been

*established that the working parts of a pneumatic loader (rotor blades) can be located within the mass ejection zone, i.e. 0.2-0.3 m from the point where the mass is released from the conveyor, since at these points of the trajectory the speed of movement of the material is maximum.*

**Keywords:** *harvesting and transport unit, windrow selection process, pneumatic loader, receiving chamber, particle movement, tilt angle, conveyor belt, permissible speed, trajectory of movement, particle dropping, parameters of the relative position of the shafts.*

## REFERENCES

1. Astaf'ev V.L., Gajfullin G.Z., Abulhairov D.K. i dr. Kompleksnaya mekhanizatsiya vozdeystviya trav, zagotovki i hraneniya grubyh kormov v Severnom Kazahstane: Rekomendatsii. – RGP «CelinNIIMESKH». – Kostanaj, 2005. – 48 p.
2. Alshynbay M.R., Astafiev V.L., Abulhairov D.K. Recommendations for the integrated mechanization of grass harvesting for hay in Northern Kazakhstan. <https://infourok.ru/>
3. Khamuev V.G. Distribution of air flow velocities in a deep pneumatic separating channel // Agricultural machines and technologies. 2015. (4). Pp. 12-15.
4. Fedorova O.A., Fandeev S.Yu. Towards the substantiation of a comprehensive criterion for the effectiveness of using technical means for harvesting Sudanese grass // Bulletin of NGIEI. 2021. No. 6 (121). URL: <https://cyberleninka.ru>
5. Matkarimov Sh.A. The influence of air flow speed on the nature of movement of the components of a grain-straw heap // ORIENSS. 2022. No. Special Issue 4-2. URL: <https://cyberleninka.ru>
6. Abulhairov D.K. Tekhnologicheskaya skhema uborochno-transportnogo agregata // Vestnik Atyrauskogo instituta nefti i gaza: nauchnyj zhurnal. 2007. No. 11.
7. Abulhairov D.K. Uborochno-transportnyj agregat kak odnokonturnaya sistema // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii «Pishchevaya i legkaya promyshlennost' strategii vhozhdeniya Respubliki Kazahstan v chislo 50 naibolee konkurentosposobnyh stran mira». – 2-ya chast', 17-18 oktyabrya 2007 g. – Almaty: ATU, 2007. Pp. 156-159.
8. Abulhairov D.K., Sagynganova I.K., Userbaev M.T. Obosnovanie tekhnologicheskoy skhemy i parametrov mekhanizma uplotneniya sena v sborochnoj kamere // «Universitet eҗbekteri – Trudy universiteta» Karagandinskogo tekhnicheskogo universiteta. 2022. No. 1.
9. Abulhairov D.K., Sagynganova I.K., Userbaev M.T. Obosnovanie velichiny davleniya vozdushnogo potoka dlya transportirovaniya rastitel'nogo materiala // «Universitet eҗbekteri – Trudy universiteta» Karagandinskogo tekhnicheskogo universiteta. 2023. No. 1.