

УДК 631.3.022



## ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОПРОВОДА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ БАРАБАННОГО ТИПА

**ЗЕНИКОВ В.И.,**  
канд. техн. наук

Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский, Октябрьский район, Ростовская область, 346493,  
Российская Федерация, e-mail: ilios-astro@bk.ru

*На кормоуборочных и соломоуборочных агрегатах для транспортирования массы из измельчающего аппарата применяют материалопроводы различных конструкций. Транспортирование осуществляется вследствие действия центробежных сил измельчающего барабана и создаваемого им воздушного потока. При этом на пути от материалопровода до транспортного средства потери измельченной массы достигают 15 процентов от общей массы соломы. Установили, что основная причина указанных потерь – выдувание частиц массы из потока, летящего в воздухе. Разработали новую конструкцию жалюзийного устройства на материалопроводе для снижения интенсивности воздушного потока. Выявили возможность сокращения потерь путем теоретического анализа и физического моделирования процесса движения воздушного потока. Установили, что в материалопроводе создается квазигомогенная среда, состоящая из измельченной соломы и воздуха, с осредненными по времени и по сечению канала плотностью и давлением. Для решения задачи снижения интенсивности воздушного потока использовали уравнения неразрывности и импульсов с учетом изменения массового расхода среды или ее плотности и скорости, которое обусловлено сепарацией чистого воздуха. Испытания разработанного материалопровода показали, что потери измельченной соломы сократились на 40 процентов, при этом установленный на конце материалопровода фартук снизил потери на 9 процентов.*

**Ключевые слова:** солома, материалопровод, физическое моделирование, сепарация воздуха, двухфазный поток.

**С**удя по валовому урожаю в стране, сбор соломы в 2014 г. достиг 150 млн т [1-3]. Часть соломы в измельченном виде целесообразно использовать в животноводстве для аэробной переработки навоза или помета, так как в этом случае многократно повышается поверхность взаимодействия частиц соломы и микробиологического сообщества смеси с навозом, пометом.

**Цель исследований** – разработка и испытание материалопровода кормоуборочного комбайна с целью уменьшения потерь измельченной массы при транспортировании ее из измельчающего аппарата.

**Материалы и методы.** На основании анализа

работы существующих измельчителей для встраивания в технологическую схему аэробной ферментации был выбран стационарный вариант измельчения соломы на базе узлов кормоуборочного комбайна КСК-100.

Приняв в качестве прототипов кормораздатчик КТУ-10 и жатку зерноуборочного комбайна, разработали приемную часть измельчителя (рис. 1).

Ширина приемного устройства – 2,7 м, длина подающего транспортера – 1 м. За барабанным механизмом установлен сужающий шнек, подающий солоmistую массу в стационарное измельчающее устройство кормоуборочного комбайна КСК-100

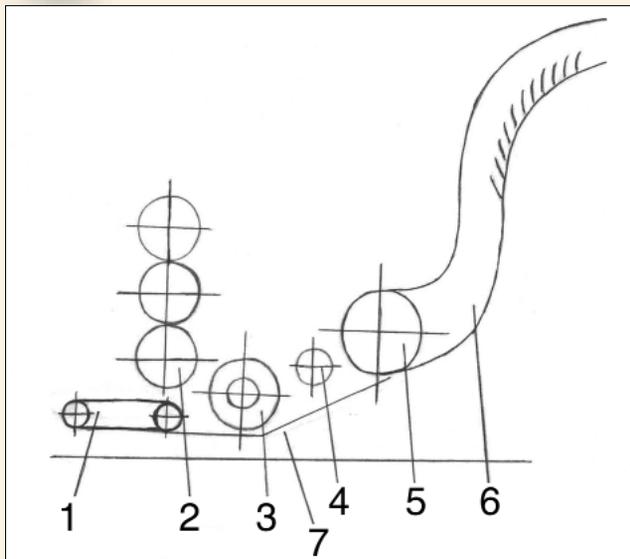


Рис. 1. Технологическая схема измельчения соломы: 1 – транспортер; 2 – барабанный механизм КТУ-10; 3 – сужающий шнек; 4 – приемный битер (КСК-100); 5 – измельчающий барабан; 6 – материалопровод; 7 – корпус жатки

производительностью до 10,8 т/ч.

Неизмельченная рассыпная солома подается погрузчиком из комплекта машин по аэробной переработке (МПСУ-500) на транспортер и барабанный механизм КТУ-10 (2) и далее – на шнек (рис. 1). Приемный битер направляет массу в измельчающий барабан. Измельченная масса под воздействием центробежных сил и воздушного потока барабана транспортируется по материалопроводу в смеситель. При этом до 15% измельченной соломы попадает за пределы смесителя.

Общий вид стационарной установки на комбайне КСК-100 показан на рисунке 2.



Рис. 2. Внешний вид измельчителя соломы

С целью снижения непроизводительных потерь на конце материалопровода был установлен фартук [4]. Он позволил снизить величину потерь до 9%. Для дальнейшего снижения интенсивности воздушного потока совместно с ЦАГИ им. Н.Е. Жу-

ковского проведена научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа по созданию нового типа материалопровода.

**Результаты и обсуждение.** В материалопроводе создается квазигомогенная среда, состоящая из измельченной соломы растительной массы (РМ) и воздуха, с осредненными по времени и по сечению канала плотностью и давлением, равным давлению содержащегося воздуха.

Для решения задачи снижения интенсивности воздушного потока используются уравнения неразрывности и импульсов с учетом изменения массового расхода среды или ее плотности и скорости, вследствие сепарации чистого воздуха.

Расчетная схема жалюзийного сепаратора приведена на рисунке 3.

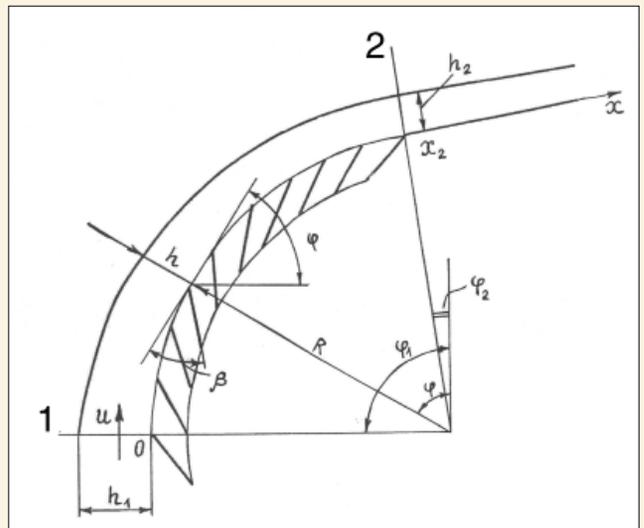


Рис. 3. Расчетная схема жалюзийного сепаратора

Между сечениями 1 и 2 целесообразно разместить сепаратор инерционного типа.

В соответствии с поставленной задачей определяем четыре неизвестные функции от продольной координаты  $x$ :  $h(x)$  – высоту канала,  $g(x)$  – плотность среды,  $u(x)$  – ее скорость и  $p(x)$  – давление.

На стенках канала к потоку приложены обобщающие силы трения  $g(x)$ . При выборе инерционного сепаратора в качестве объекта расчета было отдано предпочтение жалюзийной решетке как наиболее простой. На решетке заданы поперечная скорость  $v(x)$  или плотность тока сепарируемого воздуха  $g_g v(x)$ . В начальном сечении 1 задаются высота канала  $h_1$  и внешние параметры: массовые расходы воздуха ( $G_{g0}$ ) и РМ ( $G_{s0}$ ) и их начальные скорости  $u_{g0}$  и  $u_{s0}$ . Плотность воздуха  $g_g = const$  и РМ  $g_s = const$  также известны.

Начальные значения скорости и плотности квазигомогенной среды определяем из конечных соотношений расхода и импульса:



$$u_1 = \frac{G_{go}u_{go} + G_{so}u_{so}}{G_{go} + G_{so}} = \frac{1+iW}{1+i}u_{go} \quad (1)$$

$$g_1 = \frac{G_{go} + G_{so}}{u_1 h_1} = G_{go} \frac{1+i}{u_1 h_1}, \quad (2)$$

где  $i = G_{so}/G_{go}$  – относительный массовый расход *PM*,

$W = u_{so}/u_{go}$  – относительная скорость *PM*.

Избыточное давление среды в канале  $P - P_H = f(x)$ , (где  $P_H$  – наружное давление) определяется в результате решения задачи при условии, что даже в конечном сечении  $2$  это давление будет достаточным, чтобы обеспечить необходимую сепарацию воздуха.

К числу существенных параметров двухфазной среды относится ее пористость  $\varepsilon$ , а также соотношение доли площади поперечного сечения канала, занятого воздухом, к оставшейся площади сечения, занятой *PM*:

$$\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} = \frac{G_g}{G_s} \frac{g_s u_s}{g_g u_g}. \quad (3)$$

В начальном сечении  $x = 0$ :

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \frac{i}{(g_g/g_s)W}}. \quad (4)$$

В конечном сечении сепаратора при  $x_2 = L$  величину пористости можно оценить весьма приближенно, исходя из некоторой схемы плотной упаковки *PM*.

Для оценки влияния обобщенных сил трения используем закон трения в виде:

$$\tau = C \frac{g u^2}{2},$$

где эмпирическая постоянная  $C=0,01-0,05$ .

Для принятой квазигомогенной модели двухфазной среды в канале при наличии сепарации (отсосе) воздуха вдоль криволинейной оси  $x$  уравнения движения имеют следующий вид.

Уравнение неразрывности:

$$\frac{d}{dx}(g u h) = g_g v = g_g u \frac{dh}{dx}. \quad (5)$$

Уравнение импульсов представлено в виде:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx}(g_g u^2 h) + g_g u \sin \varphi + \tau P + h \frac{dp}{dx} = \\ = g_g v u = g_g u^2 \frac{dh}{dx}, \end{aligned} \quad (6)$$

где  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – ускорение силы тяжести,

$\varphi$  – угол отклонения канала,

$P$  – относительный периметр канала,

$\tau$  – касательное напряжение на стенках канала.

В правой части обоих уравнений второе равенство соответствует предположению об одномерности течения и малом угле наклона стенок канала:

$$\frac{v}{u} = \frac{dh}{dx} = \alpha \ll 1. \quad (7)$$

Для густой жалюзийной решетки безразмерный перепад давлений воздуха на решетке выражается в следующем виде:

$$\frac{P - P_H}{g_g \frac{u^2}{2}} = 2 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \left[ \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} + \cos(\alpha + \beta) \right]. \quad (8)$$

Условие сепарации, равномерной по длине  $L$ , – постоянная скорость:

$$v = u \frac{dh}{dx} = const,$$

причем значение константы определяется коэффициентом сепарации  $\gamma$ :

$$g_g v L = \gamma G_{go} = \gamma g_{go} = \gamma g_g u_{go} \varepsilon_1 h_1 \quad (9)$$

или

$$\frac{v}{u_{go}} = A, \quad \text{где } A = \gamma \varepsilon_1 h_1 / L.$$

Тогда уравнение контура канала запишем в виде:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{A}{u}. \quad (10)$$

Соотношение между давлением и скоростью выражено следующим образом:

$$\frac{P - P_H}{g_g u^2} = \frac{A}{\operatorname{tg} \beta} \frac{1}{u}. \quad (11)$$

Таким образом, двухфазный поток описывается тремя дифференциальными уравнениями первого порядка относительно параметров  $h, u, g$  (5), (6), (10) и соотношением (11) относительно избыточного давления ( $P - P_H$ ).

Начальные значения для дифференциальных уравнений  $h_1, u_1, g_1$  задаются при  $x = 0$ . Параметры  $A, \beta, \tau$ , входящие в уравнения движения, также следует считать известными. Следовательно, задача является замкнутой.

Экспериментальные исследования проводили на физической модели (рис. 4).

После построения тарировочных графиков были получены зависимости (рис. 5-7).

На основании исследований на физической модели по чертежу был изготовлен новый материалопровод и установлен совместно с приемной частью на комбайне КСК-100.

**Выводы.** В разработанной конструкции материалопровода по результатам исследований на физи-

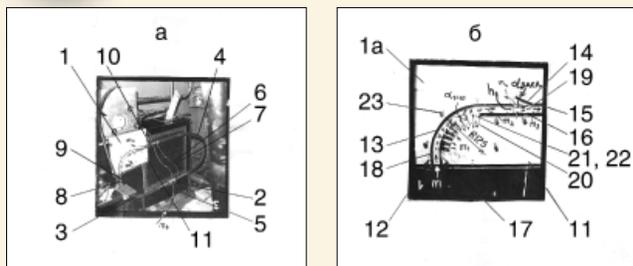


Рис. 4. Общий вид МВС, установленной на струйном стенде: 1 – головка воздушного сепаратора (ВС); 1а – основание ВС; 2 – дозвуковой эжектор; 3 и 4 – входной и выходной резиновые шланги; 5 – шланг, по которому подводится сжатый воздух; 6-8 – штуцера; 9, 10 – переходники с фланцевыми соединениями; 11 – прозрачная крышка из оргстекла; 12-17 – проставки; 18, 19 – оси-шпильки; 20 – створки; 21 – оси-стойки; 22 – зажимные гайки; 23 – стяжные болты

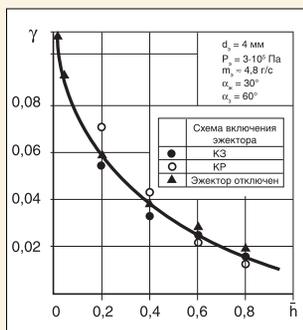


Рис. 5. Изменение коэффициента сепарации

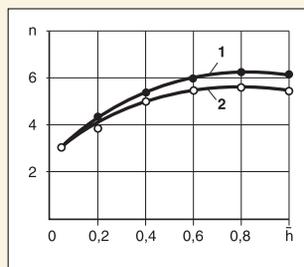


Рис. 6. Зависимость n от h

ческой модели определены параметры инерционного жалюзийного сепаратора. Пластины сепаратора установлены с шагом

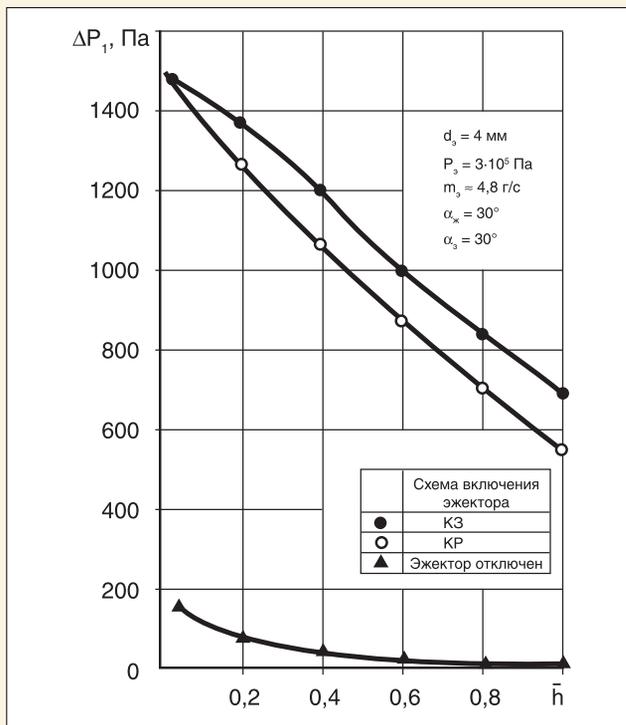


Рис. 7. Зависимость  $\Delta P_1$  от  $\bar{h}$

125 мм, образующая их вершин – криволинейная поверхность, угол установки пластин – 20°, 25° и 30° к касательной этой поверхности. Сепаратор с пластинами, образующий решетку, одним концом закреплен на оси, вокруг которой возможны поворот всего сепаратора и, как следствие, изменение диффузорности канала материалопровода. Установлено снижение потерь измельченной соломы на 40%.

## Литература

1. Федеральная служба государственной статистики. Российский статистический ежегодник. 2014 г.

2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Управление и информационное обеспечение инновационными технологическими процессами в растениеводстве // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. – М.: ВИМ, 2010. – С. 47-58.

3. Лобачевский Я.П., Мазитов Н.К., Саханов Р.Л., Шарафиев Л.З., Садриев Ф.М., Салахов А.Ф., Дмитриев С.Ю., Рахимов З.С. В.П. Горячкин – выдающийся ученый, педагог (145-летию со дня рождения посвящается) // Система технологий и машин для инновационного развития АПК: Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ. 2013. – С. 50-54.

4. А.С. 1291112 СССР; Устройство для внесения консервантов корма / Зеников В.И. // Бюл., 1988. – № 7.

## RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MATERIAL FEEDER OF DRUM TYPE SHREDDER

V.I. Zenikov, Don State Agrarian University, set. Persianovskiy, Oktabr'skiy district, Rostov region, 346493, Russian Federation, e-mail: ilios-astro@bk.ru

Fodder and straw harvesting units are equipped with material feeder of various designs which are applied for mass transportation from shredder. Transportation is carried out owing to action of centrifugal forces of the crushing drum and the air stream created by it. Thus, loss of the shredded mass on the way from a material feeder to the

vehicle reach 15 percent. The main reason for the specified losses is blowing of mass particles from the air stream. A lower attachment of a new design decreases air stream intensity. The authors revealed possibility of losses reduction by the theoretical analysis and physical modeling of process of the air stream movement. Quasi-homogeneous substance inside a material feeder consists of the shredded straw and air which have density and pressure average on time and on canal section. To decrease air stream intensity the authors used the continuity and momentum equations. Thus, change of a substance mass expense or its density and speed was considered. This change was caused by separation of clean air. Tests of the developed material feeder showed that losses of the shredded straw were reduced by 40 percent. Thus a lower baffle fitted to the end of a material feeder decreased losses by 9 percent.

**Keywords:** Fodder harvesting unit; Straw harvesting unit; Material feeder; Physical modeling; Air separation; Two-phase stream.

## References

1. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik [Russian statistical year-book]. 2014 (Russian).
2. Izmaylov A. Yu., Lobachevskiy Ya. P. Upravlenie i informatsionnoe obespechenie innovatsionnymi tekhnologicheskimi protsessami v rastenievodstve [Management and information support by innovative technological processes in plant industry]. Avtomatizatsiya i informatsionnoe obespechenie proizvodstvennykh protsessov v sel'skom khozyaystve: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ch. 1. Moscow: VIM, 2010. pp. 47-58 (Russian).
3. Lobachevskiy Ya. P., Mazitov N. K., Sakhapov R. L., Sharafiev L. Z., Sadriev F. M., Salakhov A. F., Dmitriev S. Yu., Rakhimov Z. S. V. P. Goryachkin – vydayushchiysya uchenyy, pedagog (145-letiyu so dnya rozhdeniya posvyashchaetsya) [V. P. Goryachkin is outstanding scientist, teacher]. Sistema tekhnologii i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK: Sb. nauchn. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf. Moscow: VIM. 2013. pp. 50-54 (Russian).
4. Author certificate 1291112 USSR; Ustroystvo dlya vneseniya konservantov korma [Unit for introduction of forage preservatives]. Zenikov V. I. Byul., 1988. No. 7 (Russian).

