

Определение характера изменения температуры газов в цилиндре по углу поворота коленчатого вала, представленный анализ цикличности изменения температуры газов по тактам, а также выявление взаимосвязей, касающихся выделения теплоты в охлаждающую жидкость при различных конструктивных исполнениях двигателя, позволяют конструкторам создавать такие системы охлаждения, при которых становится невозможным наступление неустановившегося температурного режима (перегрева) двигателя.

17.06.11

### Литература

1. Якубович, А.И. Экономия топлива на тракторах: монография / А.И. Якубович, Г.М. Кухаренок, В.Е. Тарасенко. – Минск: Белорусский национальный технический университет, 2009. – 229 с.
2. Железко, Б.Е. Термодинамика, теплопередача и двигатели внутреннего сгорания: учеб. пособие для спец. 1616 «Орг. дор. движения». 1617 «Эксплуатация автомоб. трансп.» вузов / Б.Е. Железко, В.М. Адамов, Р.И. Есьман; под ред. Б.Е. Железко. – Минск: Высшая школа, 1985. – 271 с.
3. Двигатели внутреннего сгорания: теория рабочих процессов: учеб. для вузов: в 3 кн. / В.Н. Луканин [и др.]; под ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Высшая школа, 2007. – Кн. 1. – 479 с.
4. Двигатели внутреннего сгорания: учеб. для вузов по спец. «Строительные и дорожные машины и оборудование» / А.С. Хачиян [и др.]; под ред. В.Н. Луканина. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1985. – 311 с.
5. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Рабочие процессы в двигателях и их агрегатах / А.С. Орлин, Д.Н. Вырубов, Г.Г. Калиш. – М.: Машгиз, 1957. – Т. 1. – 396 с.
6. Автомобильные и тракторные двигатели: учеб. для втузов / И.М. Ленин [и др.]; под ред. И.М. Ленина. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: Высшая школа, 1976. – 368 с.
7. Вырубов, Д.Н. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей: учеб. для вузов по спец. «Двиг. внутрен. сгорания» / Д.Н. Вырубов [и др.]; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
8. Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей / Н.Х. Дьяченко [и др.]; под ред. С.Н. Дашкова. – Л.: Машиностроение, 1969. – 248 с.

УДК (631.374:621.867):62–189.2

Л.Я. Степук

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси  
по механизации сельского хозяйства»),  
г. Минск, Республика Беларусь)*

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ  
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПОТОЧНЫХ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ  
ПРИГОТОВЛЕНИЯ  
ПОЛИДИСПЕРСНЫХ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ**

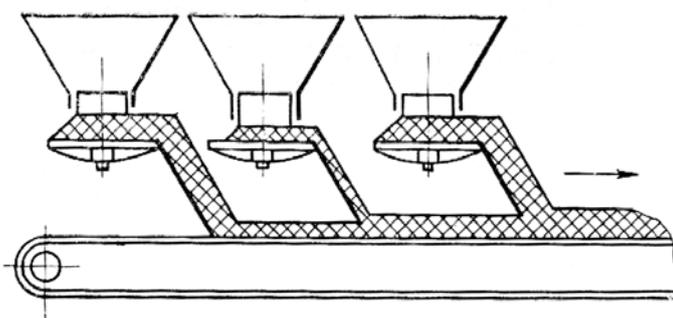
### Введение

По существу, процесс приготовления различных полидисперсных материалов является процессом точного дозирования компонентов и их равномерного смешивания. От дозирования зависит, насколько правильно в количественном отношении введены в состав кормовой смеси предусмотренные рецеп-

том компоненты. Кроме того, от процесса дозирования зависит качество смешивания компонентов, а следовательно, питательная ценность готового продукта и расход его на производство единицы животноводческой продукции.

Таким образом, точное дозирование компонентов полидисперсного материала является необходимым условием получения качественного конечного продукта, но недостаточным. От того, насколько равномерно будут поступать дозированные компоненты в смеситель непрерывного действия, будет зависеть качество конечного материала.

Достаточно сказать, что при производительности цеха, например, 15 т/ч перерыв подачи компонента продолжительностью в 1 с приведет к получению более 4 кг некачественного готового продукта [1]. В поточных технологических линиях приготовления полидисперсных материалов, в том числе и кормовых, применяют смесители непрерывного действия, которые обеспечивают хорошее качество смешивания потока компонентов в поперечном его сечении. Это объясняется главным образом весьма ограниченным временем воздействия смешивающих рабочих органов на материал. Это время измеряется (исчисляется) секундами.



**Рисунок 12 – Схема многокомпонентного дозирования**

Качественное смешивание компонентов в смесителях непрерывного действия будет осуществляться при условии организации подачи компонентов в них неразрывным и равномерным потоком, в виде так называемого слоеного пирога (рисунок 12). А чтобы это

условие обеспечить, необходимо знать особенности работы применяемых дозирующих устройств, питателей, транспортеров, и с учетом особенностей должны быть взаимоувязаны параметры этих совместно работающих устройств, обосновано их взаимное расположение друг относительно друга как по вертикали, так и по горизонтали (в плане).

Расположение оборудования по вертикали обосновано обеспечением подачи дозируемых компонентов на питатель или сборный транспортер непрерывным равномерным потоком (в виде прямой ленты).

Расположение оборудования по горизонтали должно быть обосновано с учетом требования минимизировать пути транспортирования суммы компонентов, а следовательно, затрачиваемую на их перемещение энергию. Кроме того, на расположение оборудования по горизонтали, то есть на очередность подачи компонентов относительно участка смешивания, в значительной степени влияют их физико-механические свойства, в частности липкость, влажность, сыпучесть, пылимость. Правильное расположение оборудования с уче-

том свойств компонентов позволит свести до минимума вредное влияние на качество конечного продукта процесса самосортирования и исключить потери. Причем в отдельных случаях это требование может быть более важным по сравнению с требованием минимизации затрат энергии на транспортирование компонентов.

Прежде чем перейти к рассмотрению вопросов о взаимосвязке параметров дозаторов, питателей и сборных транспортеров, необходимо дать определения этим устройствам и процессам.

Дозирование – это процесс отмеривания заданного количества материала с требуемой точностью.

Дозатором непрерывного действия будем называть устройство для осуществления процесса непрерывно-поточного дозирования и равномерной подачи заданного объема материала к перерабатывающим или транспортирующим машинам.

Под транспортером (конвейером) понимают транспортирующие машины непрерывного действия, предназначенные для перемещения грузов по заданной траектории на относительно небольшие расстояния. Основными показателями, характеризующими работу транспортеров, являются производительность и потребляемая мощность.

Питатель – это устройство для равномерной подачи сыпучих или других грузов из дозаторов, бункеров, разгрузочных люков в ходе технологического процесса. Кроме того, питатели должны отвечать требованию перемещать материал равномерным потоком и не вызывать его самосортирования.

### **Место дозирующей установки в технологической линии**

В сельскохозяйственном производстве в настоящее время функционируют технологические линии дозирования с расположением дозирующей установки по двум схемам: в стороне от линии сбора и смешивания исходных компонентов, то есть за пределами помещения цеха; над сборным конвейером.

По первой схеме дозирующая установка соединяется с линией сбора и смешивания исходных компонентов с помощью транспортера. Такое расположение бункера-дозатора усложняет эксплуатацию всего оборудования цеха. При изменении производительности дозирования в транспортирующих устройствах остается значительное количество материала. Для его выработки необходимо линию дозирования отключать с определенным запаздыванием, а включать с упреждением. Использование бункера-дозатора как хранилища большого количества корма приводит к слеживаемости последнего, поэтому бункер следует оборудовать относительно металло- и энергоемким сводообрушителем.

В силу названных причин целесообразнее располагать дозирующие установки над сборным конвейером. При этом объем бункера станет минимальным, материал в нем не слеживается, а следовательно, будет обеспечена устойчивая подача его на сборный транспортер. Такая компоновка установок не

вызывает нарушений дозаций корма подающими транспортерами и значительно улучшает условия смесеобразования, обслуживания, переналадки и контроля за работой дозаторов.

Тем не менее, несмотря на очевидное преимущество такой компоновки дозирующих устройств, она не всегда может быть реализована. Так, например, при приготовлении полнорационных кормовых смесей с использованием объемистых компонентов практически невозможно подать все дозированные компоненты непосредственно на сборный транспортер. В таких случаях применяют питатели различных типов.

Дозирующие устройства для ввода кормовых микродобавок, микроудобрений и других микрокомпонентов в соответствующих технологических линиях приготовления полидисперсных материалов должны устанавливаться только непосредственно над сборным транспортером. Установка их в стороне от последнего и применение питателей не допускаются. Причем дозированные микрокомпоненты должны подаваться непрерывно и равномерно распределяться по всей ширине сборного транспортера. Только в этом случае может быть обеспечено хорошее их перемешивание с основными компонентами в поточных технологических линиях. Особенно важным является это требование для тех процессов, в которых используются влажные, липкие компоненты.

#### **Взаимовязка параметров барабанных дозаторов со сборными транспортерами**

Третья фаза процесса дозирования – фаза выдачи материала – не влияет на качественные показатели работы дозатора. Однако на качество конечного продукта влияние схемы выдачи компонента дозатором может быть ощутимым.

Как бы ни был точен дозатор, выданная им масса материала в каждое мгновение есть величина переменная, изменяющаяся по тому или иному закону. Кроме так называемых закономерных (постоянных) колебаний выходящего из дозатора потока корма возникают и случайные его отклонения, вызванные, например, изменением условий на входе в дозатор (зависанием корма в бункере, местными его уплотнениями, изменением влажности и т.п.). Все факторы, зависящие от конструктивных параметров дозаторов, обуславливают закономерные колебания.

Изучению дозирования с помощью разных устройств посвящено большое число работ. Однако этот процесс исследовали вне связи с последующими технологическими операциями, такими как транспортирование и смешивание. Установлено, что если параметры дозатора не увязаны с параметрами сборного конвейера, обеспечить подачу равномерного непрерывного потока материала в смеситель нельзя. Следовательно, при анализе работы системы «дозатор – сборный транспортер – смеситель» необходимо учитывать не только закономерные и случайные факторы изменения потока, обусловленные тем или иным устройством, но и дополнительные закономерные факторы, связанные с

взаимным расположением машин и увязкой конструктивных и кинематических параметров этой системы.

Поточные линии дозирования и смешивания в настоящее время составляют и рассчитывают исходя из условия совместной работы отдельных машин, согласованности их по производительности. При этом производительность машин, занятых на последующей операции, должна быть больше, чем на предыдущей [2]:

$$\sum_{i=1}^{i_i} q_{ij} \eta_{ij} \leq \sum_{i+1}^{i_{i+1}} q(i+1) \eta(i+1)_j, \quad (1)$$

где  $q_i$  – возможная или заданная производительность главной или вспомогательной поточной линии ( $m/ч$  или  $m/смену$ );

$\eta_i$  – коэффициент использования рабочего времени машины с учетом простоев по технологическим и организационным причинам;

$j$  – порядковый номер машины, занятой на определенной операции ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ );

$i$  – номер операции;

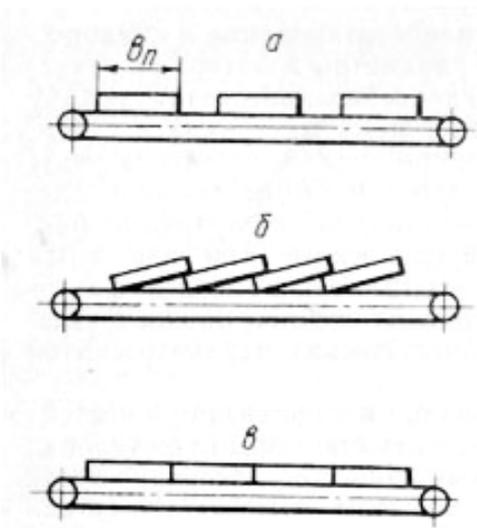
$P$  – число машин, занятых на операции.

Соблюдение условия (1) при проектировании поточных линий необходимо и достаточно только для организации синхронной непрерывной работы машин. Но это условие не характеризует поток обрабатываемого материала в определенные промежутки времени, а следовательно, не отражает влияния конструктивных особенностей и взаимного расположения машин и оборудования на качество конечной продукции. Покажем это на примере главной поточной линии производства полнорационных смесей, которая завершает превращение исходного сырья в готовый продукт.

Главная линия включает в себя участки дозирования и смешивания. Для дозирования сыпучих компонентов применяют, в основном, барабанные дозаторы, винтовые или шнековые, дозаторы с вращающимся скребком и тарельчатые [3].

Производительность первых двух дозаторов регулируют, как правило, изменением угла поворота барабана или шнека (кулисным приводом), реже – изменением частоты вращения, дозаторов с вращающимся скребком – изменением высоты скребка, чаще – изменением частоты его вращения, тарельчатых дозаторов – путем изменения высоты подвижного патрубка над тарелью.

Многие известные схемы агрегатов и цехов по приготовлению комбикормов, тукосмесей и других полидисперсных материалов предусматривают поступление компонентов после дозатора непосредственно на сборный (ленточный, скребковый или винтовой) транспортер, который подает его в смеситель непрерывного действия. Далее готовый продукт идет в бункера готовой продукции или в транспортные средства.



**Рисунок 13 – Схема укладки материала на ленту транспортера скребковым питателем**

Параметры барабанного дозатора и ленточного транспортера необходимо подобрать таким образом, чтобы каждая последующая порция, выдаваемая дозатором, укладывалась за предыдущей без перерыва и без перекрытия (рисунок 13в). Это условие будет выполнено, если скорость ленты

$$V_n = b/T, \quad (2)$$

где  $b$  – ширина барабана (для ДП-1 ширина  $b = 800$  мм);

$T$  – время выдачи дозатором одной порции;

$$T = t_1 + t_2, \quad (3)$$

где  $t_1$  – время поворота барабана на угол  $\phi$  при постоянной угловой скорости  $\omega$ ,

$$t_1 = \phi / \omega, \quad (4)$$

$t_2$  – время падения материала на ленту конвейера,

$$t_2 = \sqrt{2h/q}, \quad (5)$$

где  $h$  – расстояние от оси барабана до ленты.

Подставив  $t_1$ ,  $t_2$  из (4) и (5) в (3), а затем полученное выражение в (2), определим необходимую скорость ленты сборного транспортера:

$$V_{\bar{e}} = \frac{b}{\phi / \omega + \sqrt{2h/q}}. \quad (6)$$

Рассуждая аналогичным образом, можно найти соответствующую указанному условию частоту вращения  $\Pi_{\text{вин}}$  винтового сборного транспортера:

$$\dot{I}_{oi} = \frac{b}{S_{oi}} \left( \frac{\phi}{\omega} + \sqrt{2h_{oi}/q} \right), \quad (7)$$

где  $h_{\text{вин}}$  – расстояние от оси барабана до оси шнека;

$S_{\text{вин}}$  – шаг шнека.

Пусть после барабанного дозатора корм поступает на сборный ленточный транспортер. При этом, если скорость ленты велика, то между порциями, выдаваемыми дозатором, будет разрыв (рисунок 13а), то есть будет нарушена непрерывность потока. При малой скорости ленты порции корма будут в той или иной степени перекрывать друг друга (рисунок 13б). Такая несогласованная работа дозатора и сборного транспортера приводит к ухудшению качества смеси, так как толщина слоя корма в каждом сечении потока неодинакова, а следовательно, неодинаково количество того или другого компонента в том же сечении.

Однако практически менять параметры сборного транспортера (ленточного, скребкового или винтового) не представляется возможным, так как он рассчитывается на максимальную производительность агрегата или цеха, где количество дозирующих устройств определяется количеством компонентов. Поэтому целесообразно подбирать параметры каждого дозатора в отдельности, с учетом параметров сборных транспортеров.

Так, для дозаторов типа ДП-1, подающих дозированный материал на ленточный транспортер, целесообразнее всего подобрать угловую скорость вращения барабана  $\omega$  из выражения:

$$\omega = \frac{\phi}{b / V_{\dot{e}} - \sqrt{\frac{2h}{q}}}$$

Для подающих материал на шнековый сборный транспортер – из выражения:

$$\omega = \frac{\phi}{S_{oi} n_{oi} / b - \sqrt{\frac{2h_{oi}}{q}}}$$

Таким образом, нами получены выражения, использование которых позволит обеспечить непрерывную укладку порций материала на ленточный, скребковый и винтовой транспортеры. При этом имелось в виду, что за каждый поворот барабана на один и тот же угол количество подаваемого компонента будет одинаковым. Однако это, как будет показано ниже, не так. Для получения качественного конечного продукта, как уже отмечалось, необходимо обеспечить укладку компонента не только непрерывным, но и равномерным слоем.

#### **Установка тарельчатых дозаторов с вращающимися рабочими органами над сборным транспортером**

Особенность дозатора с вращающимся рабочим органом, например скребком, состоит в том, что выдаваемый поток материала (строго определенной формы и размеров) сходит с неподвижного диска (тарелки) не в одном месте, как у известных тарельчатых дозаторов, а постоянно перемещается по периферии диска с частотой, равной частоте вращения скребка. Эта особенность обуславливает наличие при выходе корма из конусной части дозатора так называемого фокусного расстояния  $F$  (рисунок 14). При этом, если рабочая ветвь ленты сборного транспортера расположена выше или ниже фокусного расстояния, то корм на ней укладывается в виде циклоид с разными характеристиками (рисунок 14б). И хотя сечение потока материала по всей длине ленты одинаково, количество его на различных участках конвейера будет разным, например, на участках  $a$  и  $a'$  оно отличается в 2,5–3,0 раза [4, 5].

Чтобы получить прямую полосу дозируемого корма на ленте, последнюю необходимо помещать на расстоянии  $F$  от нижней части конуса. Фокусное расстояние

$$F = R \operatorname{tg} \alpha + gR^2 / (2V_k^2 \cos \alpha), \quad (8)$$

где  $R$  – радиус выпускного отверстия конуса дозатора;

$\alpha$  – угол конуса;

$V_k$  – скорость схода материала с конуса.

$$V_k = \sqrt{2g(\sin \alpha - f \cos \alpha)L + V_n^2},$$

где  $f$  – коэффициент трения корма о стенку конуса;

$L = H / \sin \alpha$  – длина образующей конуса;

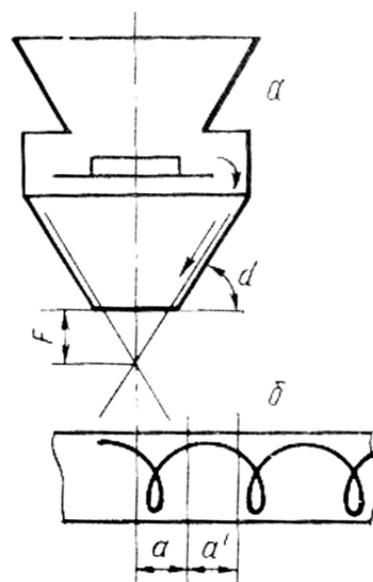
$V_n$  – начальная скорость движения материала по стенке конуса (для дозаторов с вращающимся скребком  $V_n$  можно принять равной нулю).

Таким образом, высоту установки дозаторов с вращающимся скребком над сборным транспортером следует определять по формуле (8). Выполнение этих условий обеспечивает непрерывную прямолинейную укладку компонентов на сборный транспортер, создает предпосылки для образования смеси и получения конечных продуктов более высокого качества.

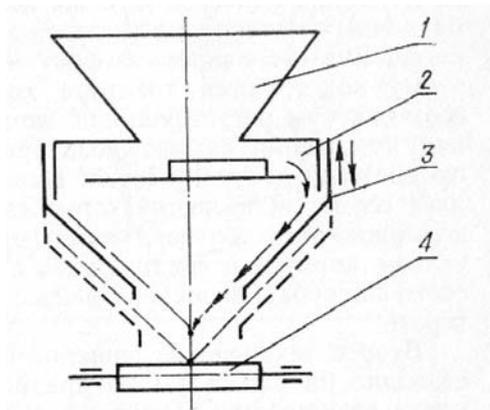
В практических условиях, строго говоря, физико-механические свойства многих компонентов с течением времени изменяются. Бывает необходимость использования одного и того же дозатора для дозирования различных материалов в заданном технологическом процессе. Все это влияет на фокусное расстояние ( $P$ ). Поэтому конструкция дозатора должна предусматривать возможность регулирования этого расстояния, не изменяя положения самого дозатора. С этой целью нами предложены два устройства. Первое (рисунок 15) представляет собой собирающий конус дозатора, выполненный с возможностью вертикального перемещения его относительно корпуса и соединенный с помощью телескопического патрубка непосредственно со сборным транспортером.

Второе техническое решение (а.с. № 688826) представлено на рисунке 16. Оно предназначено для случаев, когда дозирующая установка расположена в стороне от сборного транспортера или смесителя и для подачи дозированного материала необходимо применить какой-либо из питателей. Работа устройств видна на рисунках.

Тарельчатые дозаторы обеспечивают выдачу дозированного материала на сборный транспортер равномерным и прямолинейным потоком. Поэтому взаимосвязки их параметров не требуется.

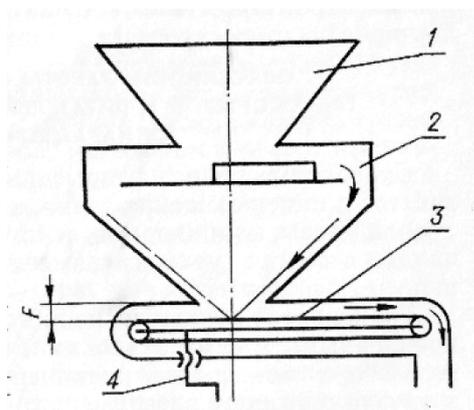


**Рисунок 14 – Схема укладки материала на ленте конвейера дозаторами с вращающимся скребком**



1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – собирающий конус; 4 – сборный транспортер

**Рисунок 15 – Схема обеспечения требуемого фокусного расстояния с помощью подвижного собирающего конуса**



1 – бункер; 2 – дозатор; 3 – питатель; 4 – винт регулировочный

**Рисунок 16 – Схема обеспечения требуемого фокусного расстояния с помощью питателя, выполненного с возможностью перемещения по высоте**

Шнековые дозаторы характеризуются пульсирующей выдачей материала. Поэтому взаимосвязка их параметров с параметрами сборных транспортеров необходима. В связи с тем, что шнековые дозаторы одновременно используются и как дозаторы, и как питатели, этот вопрос будет рассмотрен ниже (при рассмотрении взаимосвязки параметров винтового питателя и сборных транспортеров).

### **Особенности работы скребковых транспортеров и питателей. Взаимоувязка их параметров**

Скребковые транспортеры применяют в сельском хозяйстве для перемещения зерна, корнеплодов, навоза, силосной массы, комбикормов, сена, соломы и др. Они часто входят в состав механизмов сельскохозяйственных машин.

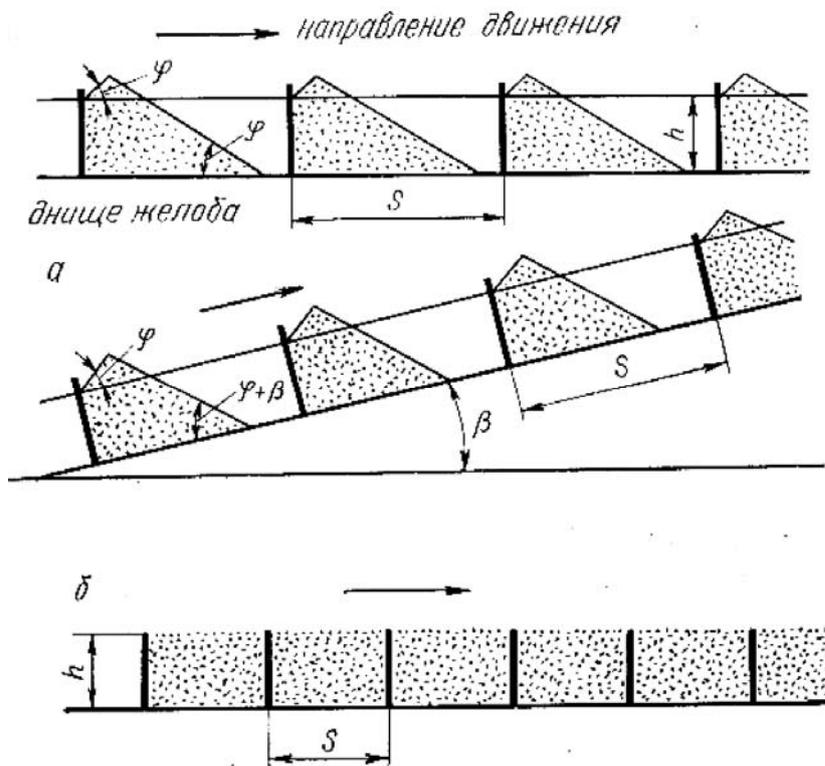
Транспортер состоит из цепного тягового органа с прикрепленными к нему скребками, которые при движении тягового органа проталкивают груз по желобу от места загрузки в сторону разгрузочного устройства. У скребково-планчатого транспортера роль скребков выполняют планки.

Скребковые транспортеры бывают одно- и двухцепные; горизонтальные и наклонные; с верхним и нижним желобом; порционного волочения, у которых груз располагается вдоль пути транспортирования порциями, и сплошного волочения, то есть с непрерывным слоем груза.

В транспортерах порционного волочения сыпучий груз, находящийся перед скребком, задерживается трением о днище стенки желоба, выжимается вверх, выпучивается и ссыпается по откосу впереди скребка, образуя с горизонтом угол естественного откоса (рисунок 17).

Если количество груза перед скребками увеличивать, то он будет ссыпаться не только вперед, но и переваливаться через скребок назад, что уменьшит производительность транспортера. Иначе располагается перед скребком

малосыпучий и кусковой груз, у которого подвижность частиц меньше. Он перемещается более монолитной массой, и количество его перед скребком может быть значительно больше, чем в случае транспортирования легкосыпучих грузов. Поэтому коэффициент заполнения желоба малосыпучим и кусковым грузом обычно больше, чем легкосыпучим.



а – порционного волочения; б – сплошного волочения

**Рисунок 17 – Схема перемещения материала скребковым транспортом**

транспортеров сплошного волочения цепи и скребки полностью погружены в массу груза, а поэтому при движении тягового органа происходит сдвиг по желобу всей массы находящегося в нем груза.

Перемещение всей массы груза, находящегося в желобе, возможно только тогда, когда коэффициент трения частиц груза друг по другу больше коэффициента трения груза о стенки и днище желоба.

Количество скребков у транспортера сплошного волочения значительно больше, чем у того же транспортера порционного волочения (рисунок 17б). За счет этого повышаются мертвая масса транспортера, расход энергии и износ цепи желоба.

Для того чтобы перемещение насыпных грузов происходило без дополнительных сопротивлений, необходимо шаг скребковых транспортеров выбирать равным зоне распространения рабочих давлений.

$$S_{\min} = \frac{h}{mf} \left[ \eta [mf\delta_p - f\gamma_1(1 - 2n)] \right] + \frac{(1 - m^2)h}{m(1 + 2n)f},$$

где  $h$  – высота материала в желобе;

Под воздействием скребка на связный материал сдвиг происходит по нескольким плоскостям в зависимости от связности, первоначальной длины призмы волочения и степени заполнения желоба. Перемещение частиц неоднородного материала внутри призмы волочения может быть самым разнообразным и зависит от физико-механических свойств транспортируемого материала и поверхности желоба.

У скребковых

$f$  – коэффициент трения материала о стенки и днище желоба;  
 $m$  – коэффициент подвижности перемещаемого материала;

$$m = 1 + 2f_1 f_\sigma - 2f_\sigma \sqrt{1 + f_1^2},$$

где  $f_1$  – коэффициент внутреннего трения;  
 $f_\sigma$  – коэффициент сопротивления сдвигу;  
 $\sigma_p$  – давление скребка на перемещаемый материал;

$$\sigma_p = \frac{F_1}{b \cdot h},$$

где  $F_1$  – суммарное сопротивление сил трения материала о стенки и дно желоба;  
 $b$  – ширина скребка;

$$F_1 = B\beta_1 \cdot H\gamma(1 + 2n),$$

где  $B$  – ширина желоба;  
 $\beta_1$  – коэффициент заполнения желоба;  
 $H$  – высота желоба;  
 $\gamma$  – плотность материала;  
 $n$  – коэффициент бокового давления материала;

$$n = \frac{1}{1 + 2f_1 f_\sigma + 2\sqrt{(f_1^2 - 1)}(f_1 f_\sigma - f^2)}.$$

Из сказанного выше следует, что работа скребковых транспортеров в общем случае характеризуется порционностью волочения транспортируемого материала и перемешиванием его частиц относительно друг друга.

Первая особенность – порционное волочение материала – обуславливает прерывистость потока, вторая – перемещение частиц относительно друг друга – вызывает расслоение (самосортирование) компонентов. То и другое отрицательно сказывается на качестве приготавливаемого полидисперсного материала.

Поэтому требуется взаимоувязка параметров скребковых транспортеров и остального оборудования технологической линии и обоснование взаимного расположения их с целью обеспечения подачи компонентов неразрывным и равномерным потоком, исключая явление самосортирования материала.

Поставленная цель может быть достигнута, вероятно, двумя решениями. Первое – параметры скребкового транспортера выбраны таким образом, чтобы обеспечивалось перемещение материала по желобу сплошной лентой. Тогда, очевидно, взаимное расположение данного транспортера, например, относительно сборного транспортера в этом случае не имеет большого значения.

Второе решение состоит в том, чтобы путем специального взаимного расположения скребкового транспортера с другим оборудованием технологической линии обеспечить равномерную и непрерывную подачу компонента на сборный транспортер.

В зависимости от принятой технологической схемы приготовления полидисперсных материалов скребковый или любой другой транспортер может быть использован или как транспортер, или как питатель.

Выше было показано, что, в принципе, можно подобрать такие параметры скребкового транспортера, которые обеспечат перемещение материала неразрывным потоком. Но это возможно только для определенной постоянной производительности. В случае применения скребкового транспортера в качестве питателя, например при его установке после бункера-дозатора, производительность питателя не будет постоянной. Она будет соответствовать производительности дозатора, которая регулируется на заданную величину в каждом конкретном случае, в зависимости от выполняемого рецепта полидисперсного материала. Следовательно, путем выбора определенных параметров питателя добиться перемещения материала неразрывным и равномерным потоком не представляется возможным, так как при малейшем изменении производительности питателя относительно номинальной перемещение материала будет осуществляться порциями.

Таким образом, остается рассмотреть возможность обеспечения подачи материала скребковым питателем на сборный транспортер (скребковый или ленточный) или непосредственно в смеситель непрерывного действия неразрывным и равномерным потоком путем определенной взаимосвязки их параметров или специального взаимного расположения, или путем изменения конструкции выгрузной части питателя.

Рассмотрим наиболее типичные варианты применения скребковых питателей в технологических схемах приготовления полидисперсных материалов.

1. Подача дозированного материала от бункера-дозатора на сборный скребковый транспортер.
2. Подача дозированного материала от бункера-дозатора на сборный ленточный транспортер.
3. Подача дозированного материала в смеситель непрерывного действия.

*Скребокый питатель – скребковый сборный транспортер.* Рассматривая первый вариант, следует оговориться, что материал из дозатора поступает на скребковый питатель непрерывным и равномерным потоком и укладывается на днище в виде прямой ленты, которая при взаимодействии со скребком формируется в равномерные порции. Затем транспортируемый питателем материал порциями сбрасывается на сборный скребковый транспортер, подающий далее все поступающие на него компоненты в смеситель непрерывного действия (рисунок 18).

Параметры скребкового питателя и скребкового сборного транспортера должны быть взаимосвязаны таким образом, чтобы в порциях материала перед каждым скребком последнего обеспечивалось наличие строго определенного количества компонента, подаваемого питателем. При этом одновременно явление самосортирования материала становится неощутимым: оно не будет оказывать заметного влияния на конечный продукт вследствие относительной малости порций.

Время  $T$  перемещения материала скребком сборного транспортера на расстояние одного шага  $S_{сб}$ :

$$T = \frac{S_{сб}}{V_{сб}}$$

Время  $T$  перемещения материала скребком питателя на расстояние одного шага  $S_n$ :

$$\dot{O} = \frac{S_n}{V_n}$$

где  $V_{сб}$ ,  $V_n$  – скорость перемещения скребка соответственно, м/с.

Для того чтобы в каждое межскребковое пространство сборного транспортера подавалось питателем одинаковое количество компонента, необходимо выполнить условие:

$$\frac{S_{сб}}{V_{сб}} = \frac{S_n}{V_n}$$

откуда  $V_{сб} = V_n \frac{S_{сб}}{S_n}$  или  $V_n = V_{сб} \frac{S_n}{S_{сб}}$ ;

$$S_{сб} = S_n \frac{V_{сб}}{V_n} \text{ или } S_n = S_{сб} \frac{V_n}{V_{сб}}$$

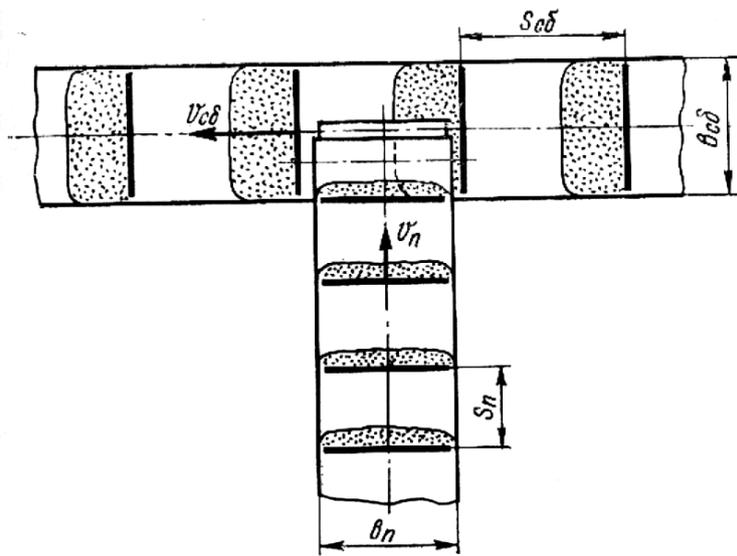
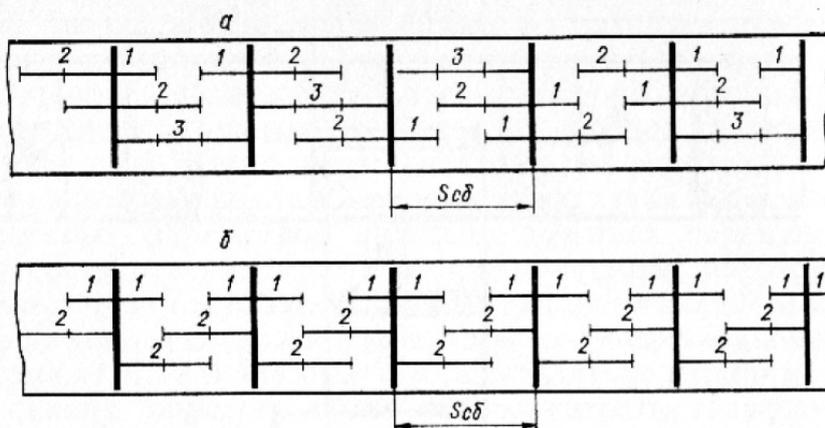


Рисунок 18 – Схема подачи материала скребковым питателем на сборный скребковый транспортер



а – при невзаимосвязанных параметрах;  
б – при взаимосвязанных параметрах

Рисунок 19 – Схема укладки порций материала скребковым питателем на сборный скребковый транспортер

На рисунке 19а представлены схемы укладки порций материала скребковым питателем на сборный скребковый транспортер, параметры которых не взаимосвязаны между собой. Как видно из рисунка, в каждом межскребковом объеме сборного транспортера находится отличное от

соседнего количество материала, независимо от первоначальной синхронности включения обоих устройств.

На рисунке 19б показаны схемы укладки порции скребковым питателем на сборный скребковый транспортер, параметры которых взаимосвязаны по приведенным выражениям. В данном случае, независимо от первоначальной синхронности включения устройств, в каждое межскребковое пространство попадает одно и то же количество компонента (по 2 единицы).

*Скребок питатель – ленточный сборный транспортер.* При подаче дозированного материала скребковым питателем на сборный ленточный транспортер в общем случае возможны три схемы укладки порций материала на него: порции укладываются с разрывом одна от другой (рисунок 13а), с частичным перекрытием или частичным наложением соседних порций друг на друга (рисунок 13б) и непрерывным и равномерным слоем (рисунок 13в).

Первая и вторая схемы укладки порций материала скребковым питателем на ленточный транспортер приводят к ухудшению качества приготавливаемого полидисперсного материала, так как при этом толщина слоя корма, а следовательно, и количество его в каждом сечении потока неодинаково. Эти схемы являются следствием несогласованности конструктивных и режимных параметров совместно работающих транспортирующих устройств.

Параметры скребкового питателя и ленточного сборного транспортера должны быть выбраны таким образом, чтобы обеспечить укладку порций материала на ленту транспортера неразрывным и равномерным потоком.

Это условие будет выполнено, если скорость ленты транспортера будет равна

$$V_{\bar{e}} = \frac{b_n}{T_{\bar{i}\bar{i}\bar{a}}},$$

где  $b_n$  – ширина скребков питателя, м;

$T_{\bar{n}\bar{o}\bar{d}}$  – время укладки одной порции материала на ленточный транспортер;

$$T_{\bar{n}\bar{o}\bar{d}} = t_n + t_2,$$

где  $t_n$  – время прохождения скребком питателя одного шага  $S_n$ , с,

$$t_n = \frac{S_n}{V_n};$$

$t_2$  – время падения материала на ленту транспортера, с;

$$t_2 = \sqrt{2h/g},$$

где  $h$  – расстояние от оси питателя до ленты, м;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Тогда

$$T_{\bar{n}\bar{o}\bar{d}} = \frac{S_n}{V_n} + \sqrt{2h/g};$$

$$V_n = \frac{b_n}{\frac{S_n}{V_n} + \sqrt{2h/g}}$$

Полученное выражение устанавливает зависимость скорости движения ленты сборного транспортера от ширины скребка, шага установки скребков, скорости передвижения и высоты установки питателя относительно транспортера, обеспечивающих равномерную и непрерывную укладку порций материала на ленту.

Но в связи с тем, что на сборный транспортер обычно поступает одновременно несколько компонентов, подобрать скорость ленты, удовлетворяющую требованию неразрывности потоков, для всех питателей не представляется возможным. Поэтому скорость ленты сборного транспортера необходимо выбирать исходя из требуемой максимальной производительности, а скорость перемещения скребков питателей  $V_n$  выбирать для каждого конкретного случая по выражению

$$V_n = \frac{S_n}{\frac{b_n}{V_n} - \sqrt{2h/g}}$$

Обеспечить скорость питателя, определенную по данному выражению, иногда бывает достаточно трудоемко. В таких случаях наиболее просто и дешево решается вопрос взаимоувязки параметров ленточного сборного транспортера и скребкового питателя путем установки шага скребков последнего, значение которого определяют по выражению

$$S_n = V_n \left( \frac{b_n}{V_n} - \sqrt{2h/g} \right).$$

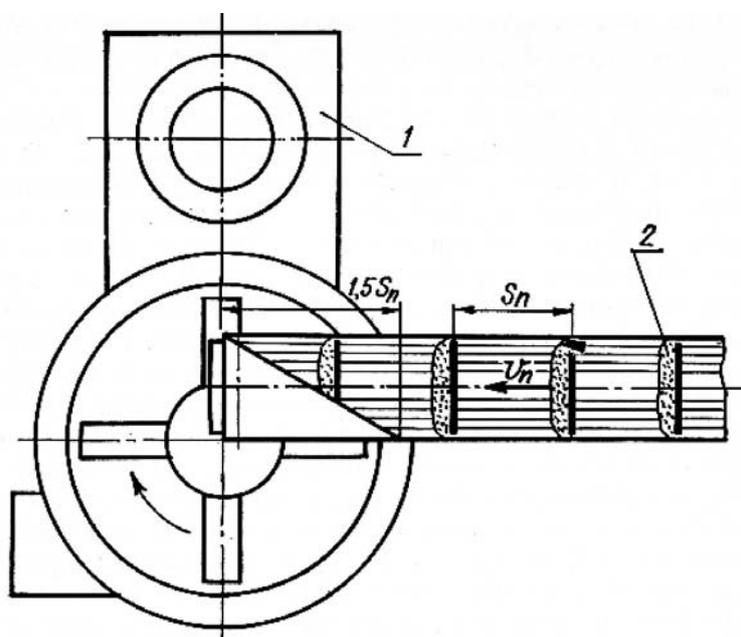
*Скребковый питатель – смеситель непрерывного действия.* В случае реализации схемы, при которой скребковым питателем дозированный компонент подается непосредственно в смеситель непрерывного действия, например в ИСК-3, обеспечить непрерывную и равномерную подачу порций путем взаимоувязки каких-либо параметров этих совместно работающих устройств не представляется возможным.

Очевидно, что при такой схеме компоновки технологического оборудования чем меньше скорость скребков питателя, больше их шаг и меньше время пребывания материала в смесителе, тем качество приготавливаемого корма будет хуже. Вместе с тем такая схема весьма эффективна с точки зрения экономии энергии, металла и уменьшения габаритов агрегатов, а следовательно, уменьшения и удешевления строительной части цехов. Именно такой вариант нами реализован в кормоцехе на базе оборудования КОРК-15 в соответствии с а. с. № 3118106 на изобретение «Технологическая линия для приготовления раскормов». При этом народнохозяйственный эффект от использования

изобретения на одну машину составил в среднем 10 000 руб. (в ценах 1980 года). Экономический эффект получен главным образом за счет увеличения эксплуатационной производительности оборудования и снижения энергоемкости, достигнутого за счет уменьшения длины и нагрузки сборного транспортера посредством совмещения окна выгрузного транспортера силоса (сенажа) с приемной камерой смесителя.

В данном случае мы не говорим о порционной подаче компонента в смеситель непрерывного действия, так как речь идет о силосе, сенаже и соломе, то есть объемных и связных компонентах, процентное содержание которых в рецепте обычно велико, и поэтому перемещение их скребковым питателем осуществляется неразрывным слоем, высота которого значительно превышает высоту скребков.

Совершенно иное дело, когда скребковый питатель осуществляет подачу сыпучего компонента непосредственно в смеситель. Здесь порционность подачи неизбежна. И если глубже проанализировать процесс приготовления полидисперсных материалов, то увидим, что наиболее концентрированные и дорогие компоненты вводят в смеси в небольших количествах. Эта особенность увеличивает порционность за счет увеличения времени между подачами скребков, обусловленного тем, что для обеспечения низкой производительности выбирают относительно малую скорость передвижения скребков (у отечественных питателей – от 0,25 до 0,5 м/с).



1 – измельчитель-смеситель ИСК-3;  
2 – скребковый питатель со скосом в днище

**Рисунок 20 – Схема подачи материала скребковым питателем в смеситель непрерывного действия**

Организовать непрерывную и равномерную подачу дозированного компонента скребковым питателем в смеситель наиболее целесообразно путем простого усовершенствования конструкции выгрузной части питателя, а именно путем выполнения скоса в днище питателя на глубину не менее полутора шагов скребков (рисунок 20). В этом случае порция, находящаяся перед скребком, разгружается в течение времени

$$t_n \geq \frac{1,5S_n}{V_n}.$$

При этом обеспечиваются лучшие условия для смесеобразования, так как зона подачи компонента в смеситель непрерывно изменяется, в определенных, конечно, пределах.

Если размеры приемной части смесителя позволяют, то скос в днище питателя можно выполнять на глубину более 1,5–2 шагов скребков. Это еще в большей степени будет способствовать выравниванию потока материала и тем самым обеспечивать более высокое качество конечного продукта.

*Скребокый питатель – винтовой сборный транспортер.* При взаимосвязке параметров скребкового питателя и винтового сборного транспортера также исходят из того, чтобы обеспечить непрерывную и равномерную укладку порции материала в шнек.

Это условие будет выполнено, если скорость образования винтовой поверхности шнека  $V_{\text{шн}}$  будет равна (рисунок 21):

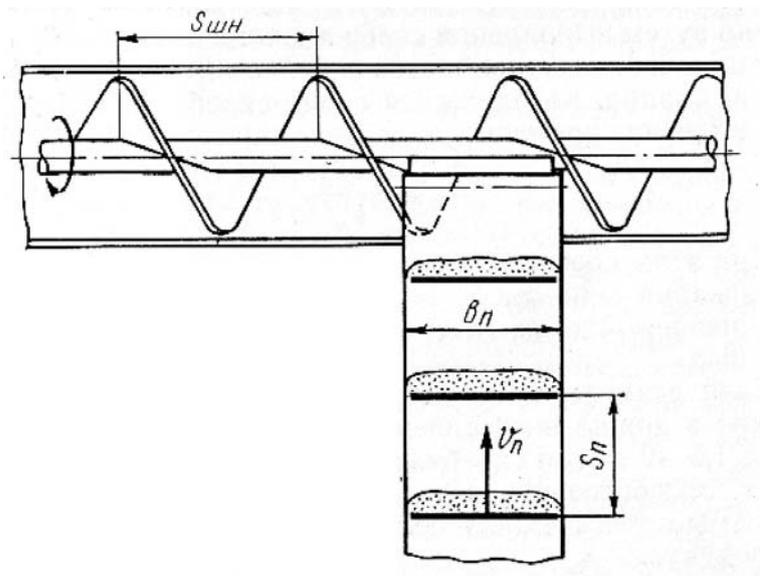
$$V_{oi} = \frac{b_n}{\dot{O}_{i\ddot{a}}};$$

$$T_{\text{под}} = \frac{S_n}{V_{\text{под}}} - \sqrt{\frac{2h_{\text{шн}}}{g}},$$

где  $h_{\text{шн}}$  – расстояние от оси питателя до оси шнека (высота падения материала), м;

$$V_{oi} = \frac{b_n}{\frac{S_n}{V_n} - \sqrt{\frac{2b_{oi}}{g}}}$$

Учитывая, что на сборный винтовой транспортер, так же как на ленточный, обычно могут подаваться несколько компонентов, скорость шнека следует также выбирать, исходя из требуемой суммарной производительности, и с учетом заданной скорости шнека выбирать скорость перемещения скребков питателя или шаг их установки по выражению:



**Рисунок 21 – Схема подачи порций материала скребковым питателем в сборный винтовой транспортер**

$$V_n = \frac{S_n}{\frac{b_n}{V_{oi}} - \sqrt{\frac{2b}{g}}} = \frac{S_n}{\frac{b_n}{V_{oi}n_{oi}} - \sqrt{\frac{2h}{g}}};$$

$$S_n = V_n \left( \frac{b_n}{V_{oi}} - \sqrt{\frac{2b}{g}} \right) = V_n \left( \frac{b_n}{V_{oi}n_{oi}} - \sqrt{\frac{2h}{g}} \right);$$

$$V_{oi} = S_{oi}n_{oi},$$

где  $S_{\text{шн}}$  – шаг шнека, м;

$n_{\text{шн}}$  – частота вращения шнека,  $c^{-1}$ .

### **Особенности работы винтовых транспортеров и питателей.**

#### **Взаимовязка их параметров с параметрами сборных транспортеров**

Винтовыми питателями, транспортерами называют такие устройства непрерывного транспорта, у которых рабочим органом является вращающийся в неподвижном желобе (кожухе) винт. Винтовые транспортеры бывают: горизонтальные, наклонные, вертикальные; тихоходные и быстроходные.

В сельском хозяйстве винтовые транспортеры применяют для механизации погрузочно-разгрузочных работ на зерноочистительных пунктах, в кормоцехах животноводческих ферм, на складах и т.п. Часто они являются составными механизмами сельскохозяйственных машин.

Составными частями транспортера являются: неподвижный желоб (либо кожух) с загрузочным и разгрузочным патрубками; приводной вал с укрепленной на нем винтовой поверхностью, называемой шнеком; концевые и промежуточные (у быстроходных) подшипники приводного вала; трансмиссия (редуктор или открытая передача) от источника механической энергии к приводному валу шнека.

Кожухами винтовых транспортеров часто являются цилиндрические трубы.

В случае применения винтовых транспортеров в качестве сборных, желоба их чаще всего изготавливают из листовой стали полуцилиндрической формы с вертикальными бортами.

Шнеки бывают следующих типов:

1) со сплошной винтовой поверхностью. Они служат для перемещения сухих, мелкозернистых и пылевидных материалов, не обладающих свойствами слеживаться;

2) ленточные, у которых винтовой поверхностью является узкая стальная полоса. Они служат для смешивания нескольких видов материала;

3) лопастные, состоящие из отдельных лопастей, прикрепленных к валу по винтовой линии. Служат для разрыхления, перемешивания и перемещения материала;

4) фасонные с вырезами на наружной кромке винтовой поверхности. Служат для разрыхления и транспортирования материалов, обладающих свойствами слеживания (сенажная, силосная масса и пр.).

Достоинствами винтовых транспортеров являются: простота устройства и ухода; небольшая стоимость; удобство промежуточной загрузки и разгрузки желоба; отсутствие потерь груза при перемещении в закрытом желобе.

Недостатки винтовых транспортеров – истирание перемещаемых материалов вследствие трения их о стенки желоба и винтовую поверхность шнека; большой расход энергии, вызываемый трением и перемещением материала; малая производительность вследствие незначительной скорости поступательного движения материала.

В горизонтальных и пологонаклонных винтовых транспортерах желоб шнека обычно заполняют материалом более чем наполовину, поэтому шнек перемещает материал нижней частью своих витков.

Материал, увлекаемый винтовой поверхностью шнека во вращательное движение, удерживается от вращения за счет силы тяжести и сил трения о внутреннюю поверхность желоба. Вращающийся шнек поворачивает слой материала (за счет сил трения) и перемещает его вдоль желоба к разгрузочному патрубку.

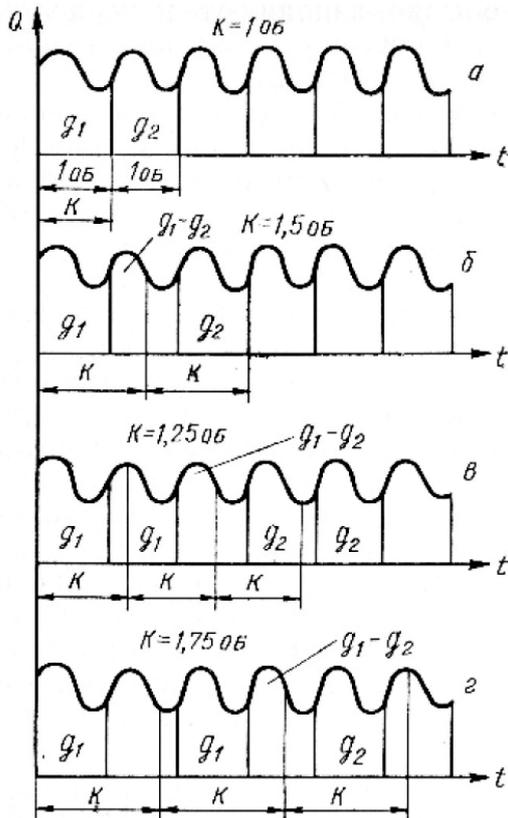
Одним из основных параметров винтовых транспортеров является угол подъема винтовой линии шнека.

В существующих тихоходных винтовых транспортерах шаг шнека колеблется в широком диапазоне – от 0,5 до 2 Д (большие значения при горизонтальных транспортерах, меньшие – при наклонных). Оптимальное отношение шага к диаметру шнека для большинства сельскохозяйственных материалов находится в пределах 0,8–1,0. Сила трения перемещаемого материала о внутреннюю поверхность кожуха непостоянна в течение оборота шнека. Она изменяется в зависимости от положения материальной точки относительно наименьшей образующей кожуха примерно по синусоидальному закону. Вследствие этого осевая скорость материала пропорциональна изменению силы трения о поверхность кожуха. Она больше у нисходящей ветви и меньше – у сбрасывающей. Поэтому производительность выдачи материала за один оборот восходящей и сбрасывающей ветвями шнека неодинакова: она выше у восходящей и ниже у сбрасывающей ветви. Этим объясняется пульсирующий характер выдачи материала винтовым питателем, транспортером, то есть неравномерная выгрузка материала в определенные промежутки времени.

*Винтовой питатель – скребковый сборный транспортер.* Пусть винтовой питатель с определенными параметрами шнека производит выдачу материала на скребковый сборный транспортер. Производительность его в течение оборота, как отмечалось выше, вследствие пульсирующего характера работы шнека изменяется от наименьшего значения у сбрасывающей ветви до наибольшего значения у восходящей по синусоидальному закону. При этом восходящей ветвью выдается примерно  $\frac{2}{3}$ , а сбрасывающей –  $\frac{1}{3}$  производительности шнека за один оборот.

Очевидно, что без учета особенностей работы винтовых питателей и увязки их конструктивных и режимных параметров с параметрами скребкового сборного транспортера приготовить полидисперсный материал с заданным соотношением компонентов не представляется возможным.

Предположим, что винтовой питатель совершает  $1/2$  оборота за время  $t_{скр}$  прохождения скребком пути, равного одному шагу. Тогда в одно межскребковое пространство может быть подано примерно  $2/3$ , а в другое –  $1/3$  производительности питателя. При этом неравномерность подачи скребковым транспортером составит примерно 30% [6].



**Рисунок 22 – Изменение количества материала в межскребковом пространстве сборного транспортера в зависимости от числа оборотов шнека питателя или дозатора**

На рисунке 22 в,г представлены варианты, когда шнек совершает 1,25 и 1,75 оборота соответственно. Здесь количество материала в межскребковых пространствах сборного транспортера оказывается попарно то большим, то меньшим. Разность между наибольшим и наименьшим значениями компонента здесь меньше, чем в случае, представленном на рисунке 22б, и равна половине разности выдачи материала восходящей и сбрасывающей ветвями шнека за один оборот.

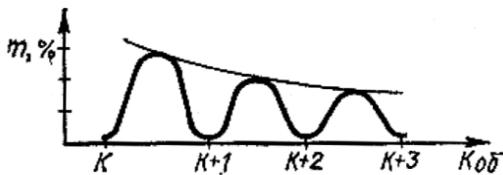
Анализируя варианты подачи винтовым питателем материала на сборный скребковый транспортер, приходим к выводу, что неравномерность распреде-

Если винтовой питатель за то же время совершает целое число оборотов, то в каждое межскребковое пространство сборного транспортера будет подаваться одинаковое количество компонента (рисунок 22а), то есть

$$g_1 = g_2 = g_n.$$

Но если шнек за время прохождения скребком пути, равного одному шагу, совершает дробное число оборотов, то порции материала в межскребковых пространствах сборного транспортера будут отличаться друг от друга. Пусть за время  $t_{скр}$  шнек совершает 1,5 оборота (рисунок 22б). Из рисунка 22 видно, что количество компонента в соседних межскребковых пространствах неодинаково, поочередно оно принимает то большее ( $g_1$ ), то меньшее ( $g_2$ ) значения. Абсолютная неравномерность в данном случае равна разности выдачи материала восходящей и сбрасывающей ветвями шнека за один оборот.

ления компонента в межскребковых пространствах зависит от числа оборотов шнека, совершаемых за время прохождения скребком пути, равного одному шагу. С увеличением целой части числа оборотов шнека разность между большими и меньшими значениями масс материала в межскребковых пространствах остается постоянной, а величина среднего их значения возрастает пропорционально увеличению числа оборотов шнека. В результате этого уменьшается относительная неравномерность распределения масс компонентов в межскребковых пространствах (рисунок 23). Эта неравномерность имеет вид затухающей синусоиды с периодом, равным целому числу оборотов шнека. Амплитуда синусоиды постепенно уменьшается с возрастанием частоты вращения.



**Рисунок 23 – Зависимость неравномерности распределения компонента в межскребковых пространствах сборного транспортера от числа оборотов шнека  $K_{об}$**

Уменьшение диаметра шнека приводит к уменьшению пульсации выдачи материала, а следовательно, к более равномерной подаче его на сборный транспортер.

Однако решать заданный вопрос путем увеличения частоты вращения и уменьшения диаметра шнека возможно только при создании новых технологических линий на базе разрабатываемого нового оборудования. Чаще всего проектируют новые технологические линии приготовления полидисперсных материалов с использованием существующего серийного транспортного оборудования. Поэтому необходимо выбранный винтовой питатель с круговым или прямоугольным выгрузным отверстием согласовать со скребковым сборным транспортером таким образом, чтобы за время прохождения скребком пути в один шаг шнек совершал целое количество оборотов. Это условие обеспечит равенство порций компонентов перед каждым скребком сборного транспортера и в конечном итоге получение полидисперсного материала с заданным соотношением компонентов.

Взаимосвязка параметров винтового питателя и скребкового сборного транспортера сводится к согласованию угловой скорости шнека со скоростью и шагом скребков.

Угловая скорость шнека

$$\omega_{шн} = \frac{2\pi}{T},$$

где  $T$  – время, за которое шнек совершает полный оборот.

Время  $T$  перемещения материала скребком сборного транспортера на расстояние одного шага  $S_{сб}$ :

$$T = \frac{S_{сб}}{V_{сб}}.$$

Для того чтобы в межскребковое пространство сборного транспортера был подан компонент в объеме производительности питателя за один оборот, угловая скорость шнека должна быть

$$\omega_{шн} = \frac{2\pi}{S_{сб} / V_{сб}}.$$

Выполнение того же условия при нескольких оборотах будет обеспечено при угловой скорости, определяемой по

$$\omega_{oi} = \frac{2\pi}{S_{\tilde{n}i} / V_{\tilde{n}i}} \cdot n_{oi},$$

где  $n_{шн}$  – целое число оборотов.

В процессе эксплуатации совместно работающих винтовых питателей и скребковых транспортеров нельзя допускать изменения шага скребков, а также работы последних с поломанными или деформированными скребками.

*Винтовой питатель – ленточный сборный транспортер.* В отличие от скребкового сборного транспортера, который определенное время как бы накапливает в межскребковом пространстве материал, подаваемый винтовым питателем, и тем самым сглаживает неравномерность подачи, ленточный сборный транспортер принимает и мгновенно уносит поток материала в том виде, в котором он выдается питателем. Поэтому здесь увязать каким-то образом параметры ленточного транспортера и винтового питателя, которые бы обеспечили укладку компонента на ленту в виде прямой и непрерывной полосы, не представляется возможным. Здесь наиболее целесообразно решать поставленную задачу путем совершенствования конструкции выгрузной части винтового питателя.

#### **Обоснование схемы расположения оборудования в плане**

Обоснование схемы расположения оборудования цехов и агрегатов по приготовлению полидисперсных материалов в плане сводится к обоснованию места подачи каждого компонента на сборный транспортер, или, другими словами, к обоснованию очередности подачи компонентов на сборный транспортер относительно смешивающего устройства. Надо отметить, что данный вопрос является актуальным для непрерывно-поточных технологических схем с рядным расположением дозирующих и питающих устройств (рисунок 24).

В качестве критерия оценки правильности выбранной схемы может служить минимум энергии или работы, затрачиваемой на перемещение сборным транспортером суммы масс компонентов до смесителя.

Действительно, мощность, потребляемая всеми известными транспортерами, зависит от длины пути транспортирования груза. Чем меньше путь его перемещения, тем меньше затрачивается энергии, и наоборот.

Критериальная функция, представляющая собой сумму энергии, затрачиваемой на подачу всех компонентов к смесителю, имеет вид:

$$\Phi = \sum_{i=1}^k \mathcal{E}_i \rightarrow \min,$$

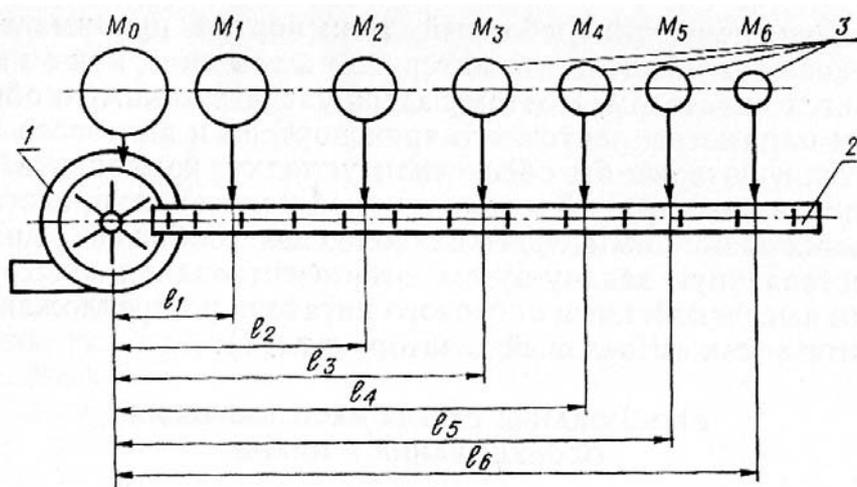
где  $\mathcal{E}_i$  – количество энергии, затрачиваемой на подачу к смесителю  $i$ -го компонента.

$$\dot{Y}_i = g \cdot M_i l_i,$$

где  $g$  – ускорение свободного падения;

$M_i$  – годовой объем применения  $i$ -го компонента;

$l_i$  – длина пути транспортирования сборным конвейером  $i$ -го компонента до смесителя.



1 – смеситель непрерывного действия; 2 – сборный транспортер; 3 – дозаторы (питатели) компонентов

**Рисунок 24 – Схема расположения оборудования над сборным транспортером**

Приведенная модель критериальной функции позволяет выбрать наиболее экономичную схему расположения оборудования в плане. Задача состоит в том, чтобы определить массы всех компонентов, перерабатываемых в цехе или агрегатом в течение года, и расположить оборудование соответствующих технологических

линий по убывающему значению от смесителя, то есть необходимо выполнить условие, чтобы

$$M_1 > M_2 > M_3 > \dots > M_k.$$

Рассмотрим это на примере кормоцеха для приготовления рассыпных смесей для крупного рогатого скота. Годовая потребность в каждом виде корма определяется по формулам:

$$M_1 = a_1 m_1 n_{1\bar{a}\bar{a}} + a_2 m_2 n_{2\bar{a}\bar{a}} + \dots + a_i m_i n_{i\bar{a}\bar{a}};$$

$$M_2 = b_1 m_1 n_{1\bar{a}\bar{a}} + b_2 m_2 n_{2\bar{a}\bar{a}} + \dots + b_n m_n n_{n\bar{a}\bar{a}};$$

.....

$$M_k = Z_1 m_1 n_{1\bar{a}\bar{a}} + Z_2 m_2 n_{2\bar{a}\bar{a}} + \dots + Z_n m_n n_{n\bar{a}\bar{a}},$$

где  $M_1, M_2, \dots, M_k$  – годовое потребление различных компонентов (кормов);

$m_1, m_2, \dots, m_n$  – число животных в каждой группе;

$a, b, \dots, Z$  – масса различных видов компонентов, расходуемых по максимальному рациону на одно животное в сутки;

$n_{1год}, n_{2год}, \dots, n_{nгод}$  – число дней кормления группы животных тем или иным видом корма.

Если оборудование цеха используется в течение года не только по прямому назначению (в стойловый период), но и для других целей, например для приготовления комбинированного силоса, то для составления убывающего ряда, очевидно, надо учитывать суммарную годовую выработку каждой технологической линии.

Аналогичным образом должны обосновываться схемы расположения оборудования в плане при проектировании цехов и агрегатов по приготовлению прессованных и комбинированных кормов, смесей минеральных удобрений и других полидисперсных материалов.

Однако при обосновании схемы расположения оборудования в плане кроме требования минимизации энергии на подачу к смесителю компонентов необходимо в некоторых случаях учитывать их физико-механические свойства. Это касается, прежде всего, кормовых компонентов. Одни из них имеют повышенную влажность, другие обладают липкостью, третьи – пылимостью, способностью самосортироваться и т. д. Поэтому формирование так называемого слоеного пирога из отдельных компонентов на сборном транспортере, то есть очередность подачи на него компонентов, должна устанавливаться с учетом их свойств. Главная цель при этом состоит в том, чтобы еще до смесителя создать наилучшие условия для смесеобразования, получения равномерной смеси. Это достижимо в том случае, если полностью будут исключены механические потери компонентов, до минимума сведено явление самосортирования. Например, в кормоцехе (типа КОРК-15) обычно готовят смесь из соломы, силоса или сенажа, корнеклубнеплодов и микродобавок. В качестве сборного транспортера применен скребковый транспортер, а в качестве смесителя – измельчитель-смеситель ИСК-3, выгрузка смеси из которого осуществляется пневмомеханическим путем. Если представить, что на сборный транспортер сначала (по ходу движения к смесителю) будет подана сухая солома, а на нее посыпаны концентрированные корма или сухие микродобавки, то они, во-первых, просыплются через солому на дно транспортера, и, попадая в зазоры между днищем и скребками, переместятся к смесителю неравномерно, не обеспечится заданное соотношение этих двух, по крайней мере, компонентов. Во-вторых, попадая в смеситель, они будут выдуваться воздушным потоком мимо кузова раздатчика или другой накопительной емкости, то есть произойдут потери компонента. Если же на солому уложить измельченные корнеклубнеплоды, а на них – сухие концентрата, микродобавки, то последние прилипнут к этим корнеклубнеплодам и будут на них удерживаться до тех пор, пока на эти компоненты не поступит влажный силос или сенаж и все это не попадет в смеситель. В такой «упаковке» весь поток материала в смесителе равномерно перемешивается в поперечном сечении. При этом влажные компоненты втираются в сухие, происходит перераспределение влаги по всему объему, приклеивание сухих частичек к увлажненным и, благодаря этому, исключаются потери сухих компонентов, выдерживается заданное их соотношение и созда-

ются условия, исключающие самосортирование готового продукта в дальнейших технологических процессах.

### Заключение

Рассмотрены различные варианты (комбинации) использования скребковых, ленточных, винтовых транспортеров в качестве питателей и сборных транспортеров; изложены требования к взаимному их расположению, а также относительно различных дозирующих и смешивающих устройств, обеспечивающих необходимые условия для получения качественного конечного продукта – подачу компонентов непрерывным равномерным потоком по всей технологической цепочке получения многокомпонентных смесей; приведены формулы, позволяющие увязать конструктивные и кинематические параметры упомянутого оборудования.

19.07.11

### Литература

1. Степук, Л.Я. Механизация получения и применения многокомпонентных сельскохозяйственных материалов / Л.Я. Степук. – Минск: Ураджай, 1990. – 311 с.
2. Сыроватко, В.И. Программа и методические рекомендации по созданию цехов и поточных линий для приготовления комбикормов в хозяйствах / В.И. Сыроватко, И.С. Марычева. – М.: ВИЭСХ, 1973. – С. 9.
3. Степук, Л.Я. Цех по производству комбикорма в условиях хозяйства / Л.Я. Степук, А.Д. Селезнев, Е.Н. Михасенок // Корма. – 1973. – С. 30-31.
4. Дозатор сыпучих кормов: а.с. 1212393 СССР, А01 К5/02, G01 F 11/00 / Л.Я. Степук, И.М. Лабоцкий, К.А. Сивакова; ЦНИИМЭСХ. – Оpubл. 23.02.86. // Открытия. Изобрет. – № 7.
5. Дозатор измельченных грубых кормов: а.с. 1142075 СССР, А01 К5/00 / Л.Я. Степук, И.М. Лабоцкий, А.Д. Селезнев, Р.П. Гашка; ЦНИИМЭСХ. – Оpubл. 28.02.85. // Открытия. Изобрет. – № 8.
6. Сыманович, В.С. Исследование и обоснование параметров шнековых дозаторов для раздачи комбикормов на молочно-товарных фермах КРС: дис. ... канд. техн. наук / В.С. Сыманович. – Минск, 1974. – 214 л.
7. Степук, Л.Я. Механизация дозирования в кормоприготовлении. – Минск: Ураджай, 1986. – 152 с.

УДК 631.22.018.001

**В.В. Голдыбан,**

**Л.Я. Степук, П.П. Бегун**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»),*

*г. Минск, Республика Беларусь)*

**О РЕОЛОГИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВАХ  
БЕСПОДСТИЛОЧНОГО  
ПОЛУЖИДКОГО  
НАВОЗА**

### Введение

Физико-механические свойства полужидкого бесподстилочного навоза играют важную роль при разработке новых и совершенствовании существующих средств механизации для их внесения. Характеристики, отображающие