

перемещаемого материала ухудшается насыщение его воздухом и такой материал хуже транспортируется.

В аэрожелобах длиной более 40 м целесообразно подавать воздух под перегородку в нескольких местах, расположенных последовательно одно за другим по длине желоба. Аэрожелоба могут работать как при низком, так и высоком давлении воздуха под перегородкой. В первом случае используют в качестве воздухоудувных машин вентиляторы, во втором — компрессоры. Аэрожелоба для порошкообразных материалов с пористыми перегородками и воздухоудувными машинами низкого давления расходуют примерно 1,5 м³/мин воздуха, а высокого давления — 0,3 м³/мин на 1 м² площади аэрации.

Глава 15

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СУШКИ И АКТИВНОГО ВЕНТИЛИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В зависимости от влажности зерно злаковых и бобовых культур подразделяется на сухое (влажность ≤ 14), средней сухости ($14 < W \leq 16$), влажное ($16 < W \leq 18$) и сырое ($W > 18$ %). Для зерна масличных культур указанные состояния соответствуют влажности на 3 % ниже, чем злаковых и бобовых,

Длительное хранение сена возможно при его влажности 16...17 %, а складывание в копны — при влажности 25...30 %. Потери питательных веществ скошенных растений продолжают до тех пор, пока влажность скошенной травы не снизится до 38...40 %. При этом объем потерь прямо пропорционален исходной влажности и обратно пропорционален интенсивности сушки. В ясную погоду потери сухого вещества достигают 20 %, а в пасмурную 40 %.

Особой технологии с соблюдением температуры и влажности окружающего воздуха требует хранение картофеля и овощей.

15.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССОВ

Зерно и другие растительные материалы в сухом состоянии находятся в стадии покоя, или анабиоза. Жизненные процессы в них протекают замедленно. Такие материалы можно хранить в течение длительного периода. Недостаточно высушенная масса самосогревается, в ней усиливаются бактериальные процессы, развиваются микроорганизмы, что снижает всхожесть семян и продовольственные качества зерна, разрушает питательные вещества и витамины трав. Продолжительность безопасного хранения зависит от влажности материала и температуры окружающего воздуха (табл. 15.1).

Таблица 15.1. Продолжительность безопасного хранения зерна при различных условиях, дн.

Относительная влажность материала W , %	Продолжительность безопасного хранения при температуре воздуха t , °С					
	5	10	15	20	25	30
14	Большой срок	Большой срок	Большой срок	93	32	19
16	Большой срок	126	32	14	7	4
18	130	36	10	5	—	—
20	39	13	5	1	—	—
22	24	10	2	—	—	—
24	20	7	—	—	—	—
26	18	5	—	—	—	—
28	14	2	—	—	—	—
30	12	—	—	—	—	—

В процессе взаимодействия с окружающей средой капиллярно-пористые коллоидные материалы поглощают или отдают влагу. Материал может поглощать водяные пары из окружающих газовых сред или воздуха до наступления равновесного состояния, при котором прекращается обмен влагой между материалом и газовой смесью. Влажность материала, соответствующую состоянию равновесия, называют равновесной.

Равновесная влажность (рис. 15.1) изменяется в зависимости от относительной влажности W окружающей газовой среды (W — отношение массы содержащихся в воздухе водяных паров к их массе при полном насыщении) и его температуры. Семена злаков с высоким содержанием углеводов имеют большую равновесную влажность, чем масличных культур, содержащих жиры, не способные поглощать и удерживать влагу. Зная влажность объекта и относительную влажность окружающих газов, с помощью кривых равновесной влажности можно определить, будет зерно увлажняться или подсыхать.

Для капиллярно-пористых коллоидных материалов в процессе сушки наблюдаются три характерных периода.

В первый период материал нагревается (период прогрева), с его поверхности испаряется влага и уходит в окружающую среду. Температура материала быстро повышается до температуры мокрого

манометра (температуры испаряющейся жидкости), а скорость сушки достигает максимального значения. При сушке сравнительно тонких материалов период прогрева мал, поэтому им пренебрегают.

Во второй период (период постоянной скорости сушки) изменение влажности W материала происходит по прямой. Скорость сушки в течение всего второго периода остается постоянной. В этот период влага испаряется с поверхности материала аналогично испарению воды с открытой поверхности, а сам материал не нагревается.

В третий период зона испарения влаги распространяется в глубь материала, в результате чего скорость сушки уменьшается. К концу третьего периода сушки температура материала выравнивается с температурой окружающей среды. При равновесном влаге-содержании сушка прекращается.

Описанные влияния диффузии и способность воздуха поглощать воду с динамической точки зрения не остаются неизменными в процессе сушки. С уменьшением влажности зерна уровень влагопоглощающей способности воздуха должен соответственно условиям равновесия также снижаться, в то время как водоудерживающая способность зерна постепенно возрастает. Процесс сушки при абсолютно сухом воздухе показан на рис. 15.2. Из зерна удаляется вся свободная негигроскопическая вода. В начале сушки происходит быстрая поте-

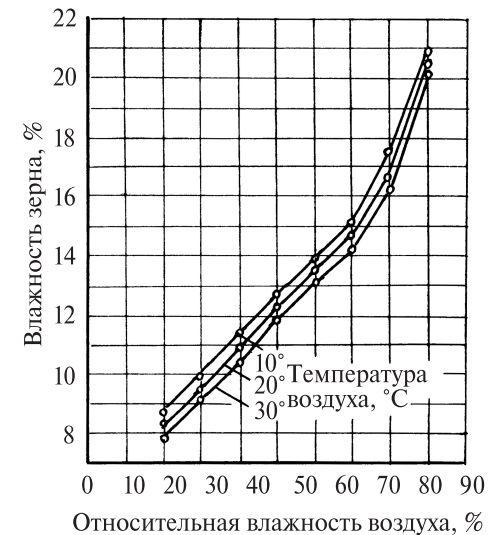


Рис. 15.1. Кривые равновесной влажности зерна пшеницы

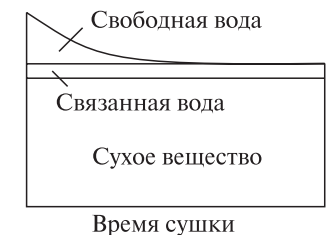


Рис. 15.2. Схема хода сушки при извлечении всей воды из зерна

ря воды, которая замедляется по мере снижения влажности зерна, пока кривая содержания влаги не приблизится асимптотически к нулевому значению. Таким образом сушка протекает в воздухе с любой данной относительной влажностью: сначала быстро, потом все медленнее до соответствующего равновесного содержания влаги в зерне.

При высыхании поверхностного слоя начинается усиливающееся уменьшение влагопоглощающей способности воздуха. Одновременно все больше сокращается конечная зона, пока она не исчезнет полностью и весь столб зерна не будет равномерно высушен. Время, в течение которого конечная зона исчезнет, называется периодом завершения сушки.

Таким образом, процесс сушки зернового столба складывается из возникновения, перемещения и ликвидации зоны сушки (рис. 15.3). Такая последовательность явлений установлена путем определения содержания влаги в зерне на разной высоте зернового столба.

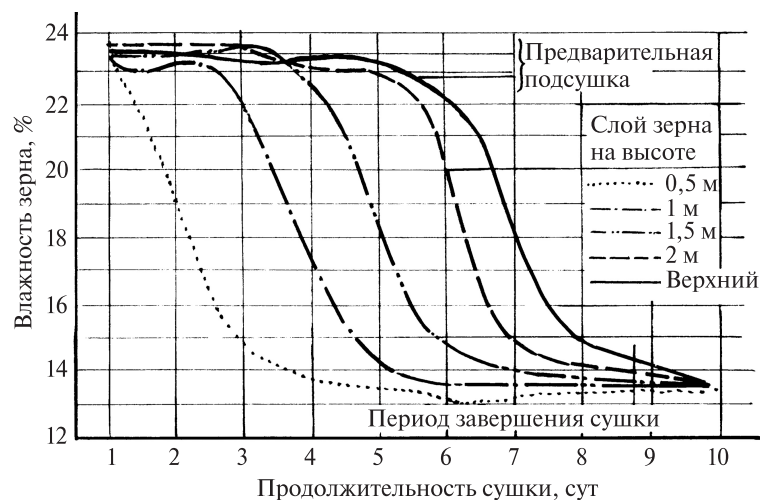


Рис. 15.3. Кривые изменения влажности зерна в ходе сушки (по опытным данным)

Наибольшее распространение получил *конвективный способ сушки*. При таком способе теплота, необходимая для нагрева материала и испарения из него влаги, передается от теплоносителя в виде движущегося нагретого воздуха или воздуха в смеси с топоч-

ными газами. Теплоноситель не только передает теплоту материалу, но и поглощает влагу и уносит ее.

При *радиационном способе* сушки теплота к материалу подводится в виде лучистой энергии. Пример — сушка зерна солнечными лучами.

15.2. СПОСОБЫ СУШКИ И ТИПЫ СУШИЛОК

Сорбционный способ применяется для сушки материалов, которые не переносят термической сушки (фасоль, вика, чечевица). При этом влажный продукт смешивается с влагопоглотителем (силикагелем, сухими опилками и др.),

Механический способ обезвоживания применяется в том случае, если в веществе имеется свободная влага, которую удаляют отжатием при фильтропрессовании или при помощи центрифуги.

Известны и другие способы сушки: 1) *сублимационный* — молекулярная сушка в вакууме, применяется для длительного хранения фруктов, ягод; 2) *кондуктивный* — используют контакт с нагретым телом; 3) *электрический* — с использованием токов высокой частоты. Однако эти способы сушки сельскохозяйственных продуктов пока не нашли широкого распространения.

Сушка в подвижном слое осуществляется в барабанных, шахтных (колонковых) сушилках и специальных агрегатах для приготовления травяной муки. Наибольшее распространение получают шахтные зерносушилки различной конструкции. Принцип действия шахтной зерносушилки показан на рис. 15.4.

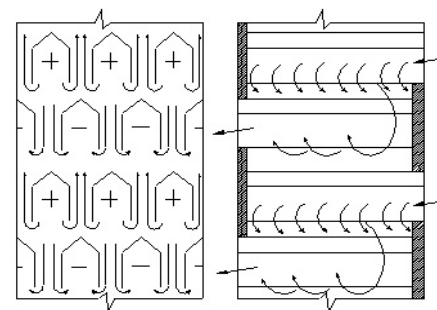


Рис. 15.4. Принцип процесса сушки зерна в шахтной зерносушилке

Зерно плотным слоем перемещается в сушильной шахте сверху вниз между коробами под действием гравитационных сил и при этом постоянно продувается агентом сушки. В свою очередь агент сушки, получаемый в топке, нагнетается вентилятором в газораспределительную камеру и поступает во все подводящие короба. Из каждого подводящего короба агент сушки через нижнюю открытую часть проходит через зерновой слой в ближайшие выше- и ниже расположенные отводящие короба. Толщина продуваемого слоя равна шагу коробов. Зерновой слой продувается по вертикали непрерывно на всем пути движения зерна в шахте. Отработанный агент сушки через отводящие короба уходит в атмосферу или в осадочную камеру. Выпуск зерна из шахты осуществляется через выпускные устройства, которые и регулируют производительность сушилки. Они обеспечивают равномерный и стабильный обдув зерна. При правильном выборе режима работы оборудования можно создать условия для дозревания зерна и повысить тем самым его качественные характеристики. Одним из основных достоинств современного оборудования для сушки зерна считается практически полное исключение вероятности самовозгорания продукта.

В Беларуси сушилки зерна обычно входят в состав зерноочистительно-сушильных комплексов различной производительности (КЗС, ЗСК и др.). Теоретические и практические аспекты современных подходов к сушке зерна всесторонне разработаны профессором В. П. Чеботаревым.

Сушилки бывают: стеллажные (для сушки малых партий в селекции), лотковые, ленточные, карусельные, напольные, бункера активного вентилирования. Эти сушилки обеспечивают сушку при относительно неподвижном состоянии высушиваемого материала (рис. 15.5).

Основное требование, предъявляемое к сушке семян, заключается в сохранении всхожести и

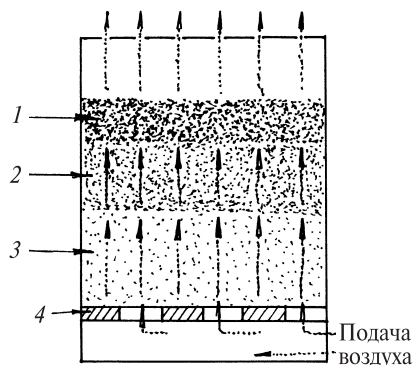


Рис. 15.5. Схема процесса сушки зерна в напольной зерносушилке: 1 – влажное зерно; 2 – зона сушки; 3 – сухое зерно; 4 – сетчатый или перфорированный пол

энергии прорастания. Семена зерновых культур не должны нагреваться выше 48 °С, а бобовых – выше 45 °С. Продовольственное зерно можно нагревать до 60 °С. Однако при излишнем нагреве возможно разрушение белка и снижение хлебопекарных качества зерна.

Неравномерность нагрева в процессе сушки не должна превышать 3...4 °С. Съем влаги за однократный процесс сушки для семян зерновых не должен превышать 5 %, для зернобобовых, гречихи, проса, кукурузы – 3...4 %. Допустимая неравномерность сушки (при конечной влажности зерна 15 %) ± 1 %. После сушки зерно должно быть охлаждено.

В зерноочистительно-сушильных комплексах сушильный агрегат может быть выполнен в трех вариантах: на базе одной барабанной сушилки, на базе одной шахтной сушилки, с использованием двух барабанных сушилок.

15.3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ

Рассмотрим схему процесса при конвективном способе сушки (рис. 15.6).

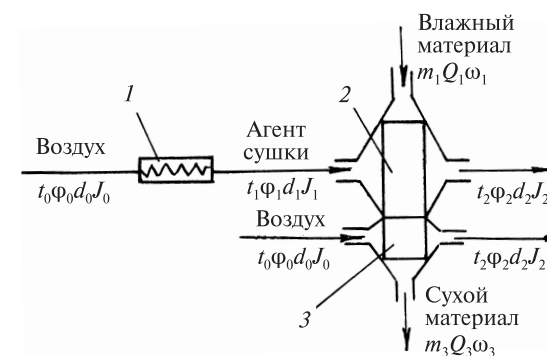


Рис. 15.6. Схема процесса сушки и охлаждения материала: 1 – топка; 2 – сушильная камера; 3 – охлаждающая камера

Наружный воздух с температурой t_0 , относительной влажностью ϕ_0 , влагосодержанием d_0 и энтальпией (теплосодержанием) I_0 , проходя через топку 1, образует сушильный агент с параметрами t_1, ϕ_1, d_1, I_1 .

В сушильную камеру 2 одновременно с агентом сушки поступает влажный материал, характеризующийся тремя основными параметрами: массой m_1 , температурой Q_1 и относительной влажностью W_1 . Относительная влажность W_1 материала, выраженная в процентах, представляет собой отношение массы влаги, содержащейся в материале, к общей массе влажного материала

$$W_1 = \frac{m_b}{m_c + m_b} \cdot 100\%, \quad (15.1)$$

где m_c – масса абсолютно сухого материала; m_b – масса влаги.

Взаимодействуя с влажным материалом, агент сушки нагревает его и поглощает испарившуюся влагу, в результате чего отработанный агент сушки выходит из сушильной камеры с параметрами t_2, ϕ_2, d_2, I_2 , а материал массой m_2 с температурой Q_2 и влажностью W_2 переходит в охладительную камеру 3.

Поступивший в охладительную камеру атмосферный воздух с параметрами t_0, ϕ_0, d_0, I_0 на выходе из нее имеет параметры t_3, ϕ_3, d_3, I_3 . Просушенный и охлажденный материал массой m_3 выходит из сушилки с температурой Q_3 и влажностью W_3 .

Масса испаренной влаги равна разности между массой материала до и после сушки:

$$m_b = m_1 - m_2. \quad (15.2)$$

Так как масса абсолютно сухого вещества m_c в процессе сушки остается постоянной, то можно записать

$$m_c = m_1 \frac{100 - W_1}{100} = m_2 \frac{100 - W_2}{100} = \text{const}. \quad (15.3)$$

Отсюда масса высушенного зерна

$$m_2 = m_1 \frac{100 - W_1}{100 - W_2}. \quad (15.4)$$

Подставим в формулу (15.1) значение m_2 и определим массу влаги:

$$m_b = m_1 - m_1 \frac{100 - W_1}{100 - W_2} = m_1 \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2}. \quad (15.5)$$

Относительная убыль массы зерна (усушка), %

$$D = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 = \frac{m_b}{m_1} \cdot 100. \quad (15.6)$$

Подставив значение m_b в формулу (15.6), найдем

$$D = \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} \cdot 100. \quad (15.7)$$

Потребляемое на сушку количество теплоты можно считать пропорциональным массе испаряемой влаги:

$$A_T = K_T m_b, \quad (15.8)$$

где K_T – коэффициент пропорциональности (для зерносушилок – $K_T = (5,0 \dots 6,3) \cdot 10^3$ МДж/кг; для сушки трав – $K_T = (4,2 \dots 8,4) \cdot 10^3$ МДж/кг).

Тогда необходимая для сушки масса топлива составит

$$m = \frac{A_T}{\eta_T q_T}, \quad (15.9)$$

где η_T – КПД топки (0,85...0,95); q_T – удельная теплота сгорания топлива (для дизельного топлива – $q_T = 42,7$ МДж/кг; для топочного мазута – $q_T = 40,1$ МДж/кг; для условного топлива – $q_T = 29,3$ МДж/кг).

Расчет параметров охлаждения производится аналогично расчету сушки, только его целью является снижение температуры зерна и возможное продолжение отъема влаги,

Для интенсификации сушки и повышения его технологических возможностей может использоваться озон. Использование озона в составе сушильного агента обеспечивает химическое и биохимическое воздействие на сельскохозяйственные материалы, улучшает отъем влаги из внутренних слоев и тепломассообмен в процессе сушки. Для сушки зерна влажностью ниже 23 % рекомендуется использовать озono-воздушную смесь с концентрацией озона 4,7...10,0 мг/м³ при температуре сушильного агента 22...40 °С и расходе 1000...1500 м³/т·ч. Для сушки трав исходной влажностью до 80 % более интенсивное воздействие на материал обеспечивается при концентрации озона 6,72 мг/м³. Сушка в озono-воздушной среде улучшает качественные показатели высушиваемых материалов, оказывает обеззараживающее действие и повышает сохранность сухого вещества.



Задача. Определить количество дизельного топлива, необходимое для высушивания $m_1 = 50$ т зерна от влажности $W_1 = 20\%$ до влажности $W_2 = 14\%$.

Решение. По уравнению (15.5) найдем количество удаляемой влаги

$$m_b = m_1 \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} = 50000 \frac{20 - 14}{100 - 14} = 3488 \text{ кг.}$$

Потребляемое на сушку количество теплоты согласно формуле (15.8) составляет

$$A_r = K_r m_b = 5,5 \cdot 3488 = 19184 \text{ МДж.}$$

Тогда по выражению (15.9) необходимая для сушки масса топлива будет равна

$$m = \frac{A_r}{\eta_r q_r} = \frac{19184}{0,9 \cdot 42,7} = 499 \text{ кг.}$$

15.4. АКТИВНОЕ ВЕНТИЛИРОВАНИЕ ЗЕРНА

Сущность активного вентилирования заключается в продувании (рис. 15.6) неподвижного слоя зерна холодным или подогретым воздухом. Основное назначение активного вентилирования — охладить или подсушить материал без перемешивания для предотвращения или устранения его самосогревания. В отдельных случаях активное вентилирование применяют для выравнивания температуры и влажности материала при хранении, а также теплового обогрева семян перед посевом.

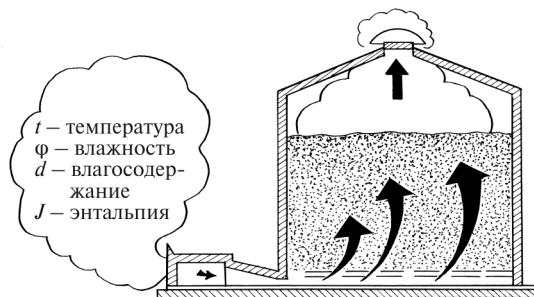


Рис. 15.7. Общая схема активного вентилирования зерна

Сушка активным вентилированием создает благоприятные условия для послеуборочного дозревания семян, исключая их перегрев вследствие использования воздуха с низкой температурой. В отличие от охлаждения при сушке тщательно выбирают режим вентилирования. Эффективнее осуществлять сушку подогретым на $10...15^\circ\text{C}$ воздухом, но температура его не должна быть выше $30...35^\circ\text{C}$ из-за опасности пересушивания нижних слоев. В этом случае процесс не зависит от погодных условий и значительно сокращается время сушки.

Эффективность активного вентилирования зависит от состояния вентилируемого материала и используемого воздуха.

Для практических расчетов потребного количества воздуха с некоторой степенью приближения можно использовать специальные таблицы, позволяющие определить количество влаги в воздухе при различной температуре и относительной влажности и тем самым установить его влагопоглощающую способность (табл. 15.7).

Таблица 15.2. Содержание влаги в воздухе при его различном состоянии, $\text{г}/\text{м}^3$

Температура воздуха t , $^\circ\text{C}$	Относительная влажность воздуха					
	50	60	70	80	90	100
10	4,7	5,6	6,5	7,5	8,4	9,4
15	6,4	7,7	9,0	10,3	11,5	12,8
20	8,6	10,3	12,1	13,8	15,5	17,3
25	11,5	13,8	16,1	18,4	20,7	23,1
30	15,1	18,1	21,1	24,2	27,3	30,3

Например, при охлаждении воздуха с начальной температурой 15°C и относительной влажностью 70% (влаго содержание $9 \text{ г}/\text{м}^3$) на 5°C (до 10°C) он почти полностью насыщается влагой (влаго содержание воздуха при 10°C и относительной влажности 100% равно $9,4 \text{ г}/\text{м}^3$). Влаго содержание воздуха при температуре 15°C и относительной влажности 100% равно $12,8 \text{ г}/\text{м}^3$, т. е. по сравнению с влажностью воздуха с относительной влажностью 70% при той же температуре больше на $3,8 \text{ г}/\text{м}^3$. Эту разность называют *дефицитом насыщения*. Поглощая влагу, воздух охлаждается, поэтому дефицит насыщения не может полностью характеризовать влагопоглощающую способность воздуха. Например, при поглощении 1 г влаги температура 1 м^3 воздуха понижается приблизительно на

2 °С. Следовательно, при поглощении 3,8 г/м³ влаги температура воздуха снизится на 7,4 °С, а при снижении температуры до 10 °С воздух полностью насыщается своей собственной влагой. Воздух с начальной температурой 15 °С и относительной влажностью 70 %, насыщаясь до 100 %, сможет поглотить 1,5 г/м³ влаги, охладившись при этом на 3°, т. е. до 12 °С. Это составит приблизительно 1/3 дефицита насыщения.

Для облегчения расчетов разработаны специальные диаграммы, позволяющие по известной температуре и относительной влажности воздуха сразу определить его влагопоглощающую способность (рис. 15.8). Из диаграммы видно, например, что 1 м³ воздуха при температуре 22 °С и относительной влажности 55 % может поглощать 1,5 г влаги.

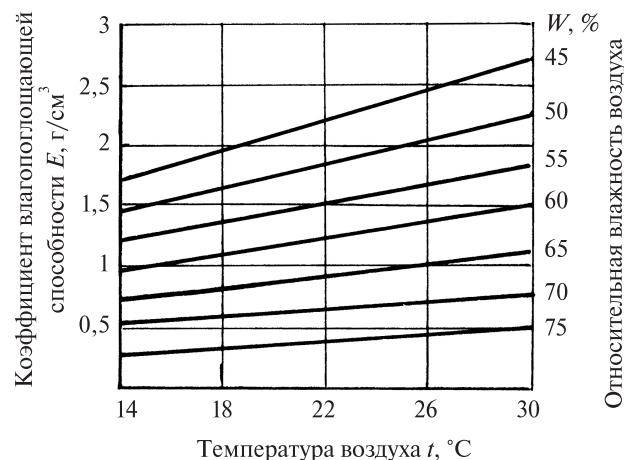


Рис. 15.8. Диаграмма для определения влагопоглощающей способности воздуха

Удаление влаги из сельскохозяйственных продуктов при активном вентилировании может происходить только при определенном соотношении параметров используемого воздуха и материала, так как сила связи влаги с материалом зависит не только от его влажности, но и от влажности воздуха у поверхности частиц. Для повышения влагопоглощающей способности воздуха и получения возможности осуществлять активное вентилирование при высокой относительной влажности воздуха применяют предварительный

его подогрев. Подогрев воздуха на 1° снижает его относительную влажность на 5 %, повышая влагопоглощающую способность примерно на 0,25 г/м³. Таким образом, даже при относительной влажности воздуха 100 % подогрев его на 7° позволяет высушить материал до 14...15%-й влажности.

При вентилировании воздушный поток преодолевает аэродинамическое сопротивление воздухо-распределительной системы и слоя материала. Наибольшие потери давления имеют место в самом вентилируемом материале, причем характер потерь зависит не только от свойств материала и высоты слоя, но и от скорости движения воздуха сквозь него (рис. 15.9). С увеличением скорости движения воздуха внутри материала потери давления возрастают. Для определения удельных потерь давления воздуха при вентилировании различных материалов используют специальные диаграммы. Скорость воздушного потока в зависимости от высоты слоя материала и площади сечения выбирают в пределах 0,05...0,20 м/с.

При активном вентилировании слой материала, наиболее удаленные от места поступления воздуха, могут длительное время не высушаться, а, наоборот, еще более увлажняться, поглощая влагу из воздуха (рис. 15.10). Продолжительное пребывание материала в переувлажненном состоянии может привести к его самонагреванию и порче, причем неочищенный материал портится быстрее. С

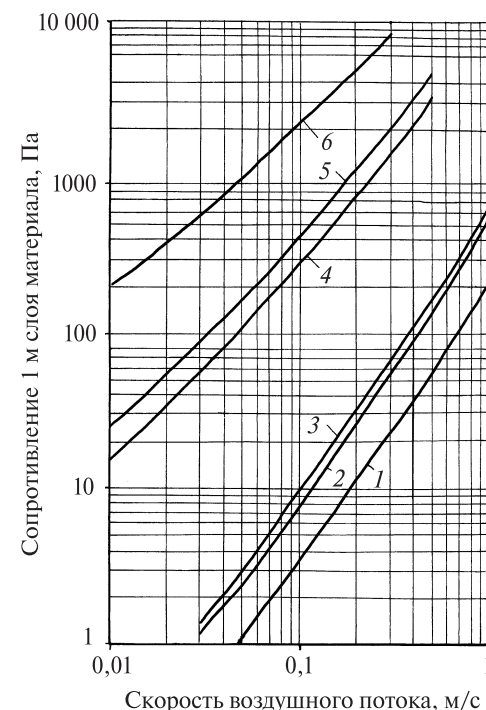


Рис. 15.9. Диаграмма для определения потерь давления в слое вентилируемого материала

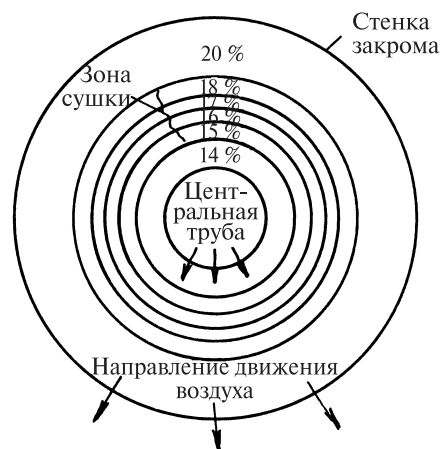


Рис. 15.10. Схема сушки зерна в установке с центральной воздушной трубой

ции зерна перед сушкой, к которой следует приступать тем скорее, чем больше влажность материала.

15.5. ОСОБЕННОСТИ АКТИВНОГО ВЕНТИЛИРОВАНИЯ КАРТОФЕЛЯ, ОВОЩЕЙ И СЕНА

Картофель при хранении выделяет тепло, влагу и углекислый газ, и при правильном хранении все продукты выделения должны удаляться.

При хранении картофеля необходимо учитывать биологические особенности продукта и обеспечить следующий температурный режим хранения: $t = 10...13\text{ }^{\circ}\text{C}$ – свежий картофель; $t = 6\text{ }^{\circ}\text{C}$ – продовольственный картофель; $t = 1,7...4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ – семенной. Для выполнения этой задачи требуется пропускать через бурт воздух либо путем естественной конвекции, либо с помощью вентилятора.

Картофелехранилища бывают двух типов: с принудительной активной вентиляцией и без нее. Наметилась тенденция к более широкому использованию систем принудительной вентиляции, однако в некоторых случаях более простыми являются хранилища с естественной вентиляцией.

учетом этого продолжительность активного вентилирования ограничена сроками безопасного хранения зерна, которые зависят от его влажности и температуры окружающего воздуха. В процессе вентилирования влажное зерно охлаждается, а срок его безопасного хранения увеличивается. Однако в дальнейшем образование плесени наблюдается и при низких температурах, поэтому вентилирование с целью охлаждения используется лишь для кратковременной консервации

Вентилируемый бурт может сооружаться в поле. Картофель помещают между двумя стенками из тюков соломы, накрывают толстым слоем соломы и полиэтиленовой пленкой. В основании бурта прокладывают вентиляционные трубы. Бурт следует располагать на ровной сухой площадке. Образуется он обычно с помощью транспортера, заполняющего картофелем пространство между стенками из соломенных тюков. Ширина бурта определяется возможностями используемого транспортера.

Наличие трубы, открытой с одного конца, обеспечивает свободную циркуляцию воздуха. Для буртов шириной до 4 м достаточно одной трубы, для больших необходимы две. На каждые 10 т вентилируемого картофеля должно приходиться приблизительно $0,013\text{ м}^2$ площади поперечного сечения трубы. Хотя в хранилище такого типа возможности управления условиями хранения шире, чем в простом бурте, они все еще ограничены. Высока потребность и в рабочей силе при закладке и разборке бурта.

Иногда картофель непродолжительно хранят в помещениях без принудительной вентиляции. Это, как правило, временная мера может быть вполне удовлетворительной. Как и во всех прочих типах хранилищ, подготовленный к закладке картофель должен быть по возможности сухим и чистым. Чтобы обеспечить свободную конвекцию воздушных потоков, высота бурта и расстояния между вытяжными трубами должны быть 1,8 м. Концы труб все время открыты за исключением первых двух недель, когда их закрывают для проведения курса лечения клубней.

Хранение товарного картофеля в насыпных хранилищах производят с использованием принудительной вентиляции, осуществляемой с помощью центрального и боковых воздухопроводов. Высота насыпи может достигать 4,5 м. Для подведения воздуха внутрь бурта применяют два основных типа воздухопроводов: располагаемые над полом и требующие разборки и удаления при загрузке и разгрузке хранилища, а также расположенные под полом и не препятствующие перемещению по хранилищу подвижных средств. Для всех типов воздухопроводов необходимо, чтобы на $1\text{ м}^3/\text{с}$ расхода воздуха приходилось не менее $0,1\text{ м}^2$ площади его поперечного сечения. Это требование относится и к входным отверстиям воздухопроводов.

Метод дает удовлетворительные результаты при условии, что на хранение закладывается сухой и достаточно хорошо очищенный

от почвы картофель. Перепад температур в разных точках насыпи должен быть минимальным, размеры слоя определяются возможностями конкретных систем вентиляции.

Давление воздуха в системе вентилирования картофеля следует поддерживать низким. Во-первых, потребляемая вентилятором мощность пропорциональна произведению обеспечиваемого расхода на давление, так что чем выше давление, тем больше эксплуатационные расходы. Во-вторых, увеличивающаяся мощность расходуется не только на повышение давления, но и преобразования ее части в тепловую энергию, что ведет к повышению температуры воздуха, предназначенного для охлаждения картофеля.

Динамическое давление в системе вентилирования возрастает с увеличением скорости потока, поэтому скорость воздуха в трубопроводе не должна превышать 10 м/с.

Статическая составляющая давления расходуется на преодоление сопротивления прохождению воздуха через слой картофеля и при высоте бурта до 3 м составляет 6 Па на каждый метр высоты бурта.

Применяются хранилища с содержанием картофеля в контейнерах. Стоимость такого хранилища выше, чем насыпного, так как ниже плотность хранящегося картофеля и прибавляется также стоимость контейнеров. Сооружение хранилища этого типа оправдано только в том случае, если в полной мере используются присущие ему преимущества. Контейнеры с различными сортами картофеля, с клубнями различного размера, с семенными клубнями могут храниться в одном и том же помещении. Если картофель попадает в хранилища с остатками влажной почвы, высушить его легче, когда он хранится в контейнере. При хранении картофеля в контейнерах не возникает сильных температурных перепадов. К этому следует добавить также преимущества транспортировки, потому что картофель, засыпанный в контейнеры во время уборки, можно не трогать вплоть до калибровки и использования.

Принципиальные различия между отдельными типами хранилищ с хранением картофеля в контейнерах определяются принятой системой вентиляции. Существуют три вида вентиляционных систем: без использования труб, дифференциальная система и система типа «почтовый ящик». Все три системы допускают применение камеры-миксера, охлаждение только за счет притока наружного воздуха или с применением холодильной установки.

Помещение без вентиляционных труб строится с расчетом на то, что картофель будет храниться в обычных контейнерах с решетчатыми (из планок) стенками. Воздух засасывается вентилятором из входного отверстия, расположенного в нижней части помещения, а выводится через отверстие в верхней части помещения (рис. 15.11).

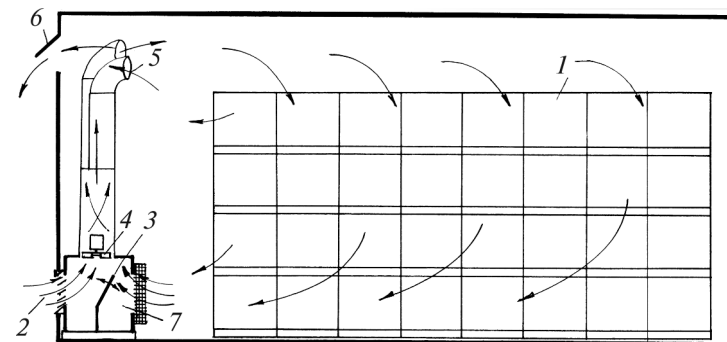


Рис. 15.11. Схема активного вентилирования контейнерного картофелехранилища:

- 1 – контейнеры; 2 – впускное окно; 3 – регулируемая заслонка;
- 4 – вентилятор; 5 – распределительные трубы; 6 – выпускное окно;
- 7 – камера смешивания воздуха

Размещение контейнеров в хранилище следует тщательно продумать: к каждому из них должен быть обеспечен свободный доступ, и все они должны быть охвачены вентиляцией соответствующей интенсивности. Каждая группа составленных вплотную контейнеров должна отделяться от другой зазором 150 мм. Максимальная площадь, занимаемая в плане такой группой, должна быть не больше 8×2 контейнеров, так как только в этом случае осмотр картофеля возможен с двух сторон. Циркуляцию воздуха можно улучшить, если угловые вертикальные стойки контейнеров выступают над верхней их кромкой на 50 мм.

Дифференциальная система предназначена для помещений, где картофель также хранится в контейнерах, собранных из планок. Воздух от вентилятора по трубе направляется в дальний верхний конец хранилища и затем, спускаясь вниз, проходит сквозь контейнеры. Для предотвращения образования воздушных каналов в промежутках между плотными группами контейнеров они должны устанавливаться с зазором не менее 350 мм. По высоте группа фор-

мируется из 5–6 контейнеров. С точки зрения эффективности вентиляции эта система имеет преимущества, однако накладывает более жесткие ограничения на внутреннюю планировку помещений.

Система типа «почтовый ящик» ориентирована на работу с контейнерами, имеющими сплошные стенки и дно в виде поддонов, открытых с двух противоположных концов. Основания-поддоны образуют боковой воздухопровод, обеспечивающий хорошую вентиляцию картофеля. Воздух из трубы или нагнетательной камеры подается в поддоны нечетных рядов контейнеров и выводится из поддонов четных рядов. Преимущества этой системы заключаются в активной вентиляции каждого контейнера и вытекающей из этого возможности осуществлять строгий контроль температуры. Недостатки: невозможность использования обычных (собранных из панелей) контейнеров, жесткая внутренняя планировка камеры. Система вентиляции смешивает наружный воздух с воздухом внутри хранилища. При необходимости производится охлаждение смешанного воздуха. Автоматическое управление режимом вентиляции обеспечивает соблюдение требуемых условий хранения картофеля.

При хранении лука, свеклы и других овощей применяются системы вентиляции, подобные используемым в картофелехранилищах. Вентиляционные нормы уточняются (табл. 15.3) в зависимости от вида и состояния продукции.

Таблица 15.3. Вентиляционные нормы для различных сельскохозяйственных продуктов

Продукт	Подача воздуха м ³ /ч на 1 м ³ продукта	Максимальная высота засыпки, м	Сопrotивление слоя, Па
Картофель	100	3...4	150
Лук	150	3,0...3,3	300
Морковь	60	3,0...3,3	150
Столовая свекла	60	3,5...4,5	150
Капуста	100	3,0	150
Бобовые	35...400	1,0...1,5	150...350
Сено	380...800	3,0...8,0	230...650

При сушке трав в полевых условиях в сене сохраняется лишь 10 % каротина, содержащегося в траве, а остальная часть разрушается в результате продолжительного действия солнечной радиации,

поэтому при достижении травой влажности 45 % ее транспортируют к месту досушивания.

Эффективной мерой интенсификации сушки сена является активное вентилирование подогретым воздухом на 4...6 °С. Однако температура воздуха не должна превышать 30 °С. В ряде случаев эффективно вентилирование прессованного сена, особенно в рулонах, полученных от прессов с постоянным объемом камеры прессования и имеющих менее уплотненную сердцевину рулона. Процесс досушивания провяленной травы в тюках целесообразно осуществлять (по данным В. С. Ломакина) при температуре теплоносителя 50±8,5 °С.

Досушивание активным вентилированием производят послойно. Для активного вентилирования используют вентиляторы как без подогрева воздуха, так и вентиляторы с воздухоподогревателями. Стационарные воздухопроводы изготавливают из деревянных реек или жердей. Применяют и демонтируемые воздухопроводы, которые изготавливают из листовой стали и после досушивания скирды сена вытаскивают трактором и перевозят к другим скирдам.

Досушивание сена активным вентилированием осуществляют следующим образом: сначала укладывают слой толщиной 1 м и подают воздух до тех пор, пока влажность травы не уменьшится до 25...30 %. Затем укладывают следующий слой и т.д. и завершают сушку, когда слой скирды будет иметь влажность 18 %.

Активным вентилированием досушивают и прессованное сено с плотностью прессования 120...150 кг/м³. Тюки укладывают без зазоров. Расход энергии при досушивании прессованного сена на 15 % больше, чем при досушивании рассыпного сена, но производительность в 2 раза выше.

Таблица 15.4. Потери питательных веществ при уборке и хранении различных кормов

Корм	Потери питательных веществ, %			
	при уборке	при хранении	Всего	
Силос из свежескошенной травы	2	18...27	20...29	
Сенаж, приготовленный в траншее	7	8...12	15...19	
Сено естественной сушки:				
	в хорошую погоду	13...18	3...5	16...23
	в плохую погоду	25...35	4...6	29...41

Для подогрева подаваемого на вентиляцию воздуха может использоваться гелиовоздухонагреватель. Он преобразует лучистую энергию солнца в тепловую. Разработаны конструкции гелиовоздухонагревателей в виде короба с черным жестяным дном, сверху покрытого полимерной пленкой. Секции воздухонагревателя монтируются на крыше сенохранилища, и подаваемый на вентиляцию воздух предварительно нагревается при прохождении через каркас гелиовоздухонагревателя. Сочетание требуемой температуры подогрева воздуха в гелиоколлекторе на уровне 15...20 °С с высокоэффективным режимом его работы определяют и рациональную величину удельного расхода воздуха, которая составляет 40...80 м³/ч·м².

Применение систем контроля и управления за работой зерносушилок с использованием перфорированных коробов позволяет на 20 % уменьшить аэродинамическое сопротивление и увеличить удельную подачу теплоносителя на единицу объема обрабатываемого материала.

Глава 16

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ВОРОШЕНИЯ И СГРЕБАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОЙ МАССЫ

В сельскохозяйственном производстве применяются следующие способы заготовки кормов:

рассыпного, прессованного и измельченного сена (с досушиванием активным вентилярованием);

сенажа и силоса;

травяной муки, гранулированных и брикетированных кормов.

Технологические способы заготовки кормов включают целый ряд операций, среди которых важными являются ворошение и сгребание растительной массы.

Грабли предназначены для ворошения или сгребания массы в валки. Рекомендуется проводить ворошение при влажности массы 40...55 %, а сгребание в валки – при 30...35 %. Грабли различаются принципом работы и применяемыми рабочими органами. По конструкции грабли бывают поперечные, колесно-пальцевые (боковые), роторные, конвейерные. В последнее время все большее применение получают грабли с активным приводом рабочих органов.

16.1. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОПЕРАЦИЙ ПРИ УБОРКЕ ТРАВ И СИЛОСНЫХ КУЛЬТУР

Уборка сена в рассыпном виде является наиболее простым технологическим приемом. При уборке сеяных толстостебельных трав в условиях повышенного увлажнения рекомендуется применять плющение, которое ускоряет сушку трав, уменьшая потери питательных веществ. Чем меньше времени лежит трава в поле и чем

меньше операций по ее перевалке, тем меньше потерь самой массы и питательных веществ. Все сеноуборочные работы от кошения до скирдования следует проводить в сжатые сроки. Загрязнение и засорение сена должны быть минимальными.

Более экономичной является заготовка прессованного сена. Затраты труда при этом сокращаются в 2,5...8 раз. Влажность сена при прессовании должна быть не более 22...24 %. При прессовании сена более высокой влажности (25...30 %) тюки перед укладкой на хранение досушивают в поле. Чтобы обеспечить нормальную работу подборщиков, валки должны быть шириной не более 1,2 м с равномерной плотностью по длине. При образовании валков трава не должна скручиваться в жгуты. Пресс-подборщики должны подбирать валки с минимальными потерями сена и обеспечивать получение тюков правильной формы с одинаковыми размерами и плотностью.

Перспективным приемом является герметичная упаковка прессованной массы в полимерную пленку. При заготовке различных видов стебельчатых кормов для повышения их качества рекомендуется применение консервантов.

Заготовку измельченного сена осуществляют при подборе трав из валков с измельчением измельчителями-погрузчиками. Измельченное сено хранят в башнях или скирдах с возможностью активного вентилирования. Загружают измельченную массу в башни пневматические транспортеры. При заготовке сена с досушиванием активным вентилированием его сбор увеличивается на 10...15 %, а питательная ценность повышается на 20...25 %.

Сенаж — это консервированный корм, приготовленный из скошенных трав, провяленных в прокосах до 45...55 % влажности и измельченных до размеров 30...40 мм в 80 % всей массы. Сенаж хранится в герметических сооружениях башенного или траншейного типа. По питательным свойствам сенаж ближе к зеленой массе, чем сено и силос. В сенаже полностью сохраняются листья и соцветия, которые являются наиболее питательными элементами растений. При закладке сенажа полностью устраняются потери сока.

При закладке сенажа потери питательных веществ не превышают 20 %, силоса — 20...33 %, а при заготовке сена без досушивания активным вентилированием составляют 30...40 %. Для заготовки

сенажа используются злаковые и бобовые растения: тимофеевка, клевер, люцерна, горох.

Наиболее прогрессивным способом заготовки сенажа является поточная технология, включающая следующие последовательно проводимые операции:

- скашивание, плющение и провяливание травы;
- подбор, измельчение и погрузка сенажной массы в транспортные средства;
- транспортировка сенажной массы к местам ее хранения;
- загрузка сенажной массы в хранилища башенного или траншейного типа и герметизация.

При заготовке сенажа скашивание все чаще осуществляют комбайнами с плющильными аппаратами вальцового или роторного типа и валкообразующими устройствами. Подбор, измельчение и погрузку сенажной массы в транспортные средства производят с помощью подборщиков-измельчителей или кормоуборочными комбайнами. Транспортировку сенажной массы с поля осуществляют тракторными самосвальными прицепами. Используются также автомобили с наращенными бортами.

Силос заготавливается из трав, кукурузы и других грубостебельных культур. Закладка силоса производится как из трав естественной влажности (более 75 %), так и из провяленных трав влажностью до 75 %. Важным условием приготовления высококачественного силоса является соблюдение следующих требований: уборка силосных культур в оптимальные сроки (когда 80 % початков достигают восковой спелости) за 8...10 дней; качественное измельчение сырья до размеров 2...5 см и его загрузка в облицованные силосохранилища; тщательное уплотнение силосуемой массы; надлежащее укрытие силоса. Для заготовки силоса применяются кормоуборочные комбайны.

Технология заготовки гранулированных и брикетированных кормов имеет существенные преимущества по сравнению с заготовкой сена прессованием. Они имеют:

- более высокое содержание питательных веществ и витаминов;
- значительно упрощаются приемы подготовки и раздачи кормов;
- сокращаются отходы при кормлении;

повышается коэффициент использования транспортных средств, помещений для хранения;

значительно увеличиваются сроки хранения.

Однако стоимость полученных гранулированных и брикетированных кормов более высокая.

16.2. ПОПЕРЕЧНЫЕ И КОЛЕСНО-ПАЛЬЦЕВЫЕ ГРАБЛИ

Поперечные грабли предназначены для сгребания массы в валки. Они имеют рабочие органы в виде стальных зубьев 1 круглого сечения (рис. 16.1, а). Рабочий конец зуба 2 сплюснен и заострен. В верхней части зуб изогнут в кольцо 3, что облегчает отход носка зуба при встрече с препятствием. Зубья, прикрепляемые к грабельному брусу 4 зубодержателями, можно размещать на расстоянии 48, 72, 96 мм друг от друга. Грабельный брус шарнирно присоединен к раме.

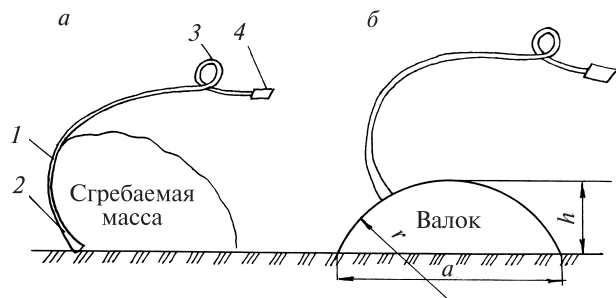


Рис. 16.1. Схема формирования валка поперечными граблями:
1 – зуб; 2 – конец зуба; 3 – пружинное кольцо; 4 – грабельный брус

В процессе работы зубья собирают сгребаемую массу и после подъема (рис. 16.1, б) они оставляют на поле валок. Валки должны быть прямолинейными с шириной не более 1,2 м и равномерной плотностью по длине. Ширина валка зависит от траектории подъема зубьев. Если механизм поворота грабельного бруса 4 приводится в действие от колес (конные грабли), то траектория подъема не зависит от скорости движения. При использовании механизма подъема с приводом от гидроцилиндра траектория подъема изме-

няется при увеличении или уменьшении скорости движения. Для снятия травы с зубьев грабли снабжаются очистительными прутьями, устанавливаемыми через 5...10 зубьев.

Площадь поперечного сечения валка, образуемого в результате работы поперечных граблей, может быть представлена в виде сегмента площадью

$$S = \frac{1}{2}(lr - a(r - h)), \quad (16.1)$$

где l – длина дуги по профилю валка; r – радиус описанной окружности; a , h – ширина и высота валка.

Для нормальной работы подборщиков желательнее, чтобы объем погонного метра валка составлял 0,2...0,3 м³, а его масса – до 2...6 кг/м.

Боковые колесно-пальцевые грабли могут производить сгребание массы в валок или ворошение при сушке (рис. 16.2). Это достигается переоборудованием секций.

Для сгребания сена в валок раму каждой секции устанавливают под углом к направлению движения. Таким образом между рамами секций и боковыми пальцевыми колесами образуется угол, направленный раствором вперед. Пальцевые колеса, перемещая сено, образуют валок на обработанном центральными колесами 2 участке поля. Для ворошения сена секции граблей поворачивают, положение опорных колес изменяется, и пальцевые колеса лишь вспушивают сено. Чтобы обернуть валок, используют только одну секцию граблей, которая работает, как при сгребании.

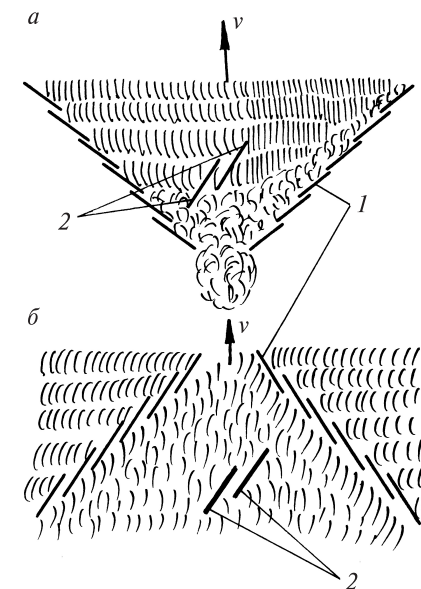


Рис. 16.2. Схема рабочего процесса колесно-пальцевых граблей:
а – при сгребании; б – при ворошении; 1 – боковые пальцевые колеса; 2 – центральные пальцевые колеса

Рабочие органы граблей – пальцевые колеса, которые располагают к направлению движения машины под некоторым углом. При движении граблей со скоростью v колесо за счет сцепления пальцев с почвой начинает вращаться. Находящаяся перед ним масса перемещается в плоскости вращения колеса и попадает в зону действия следующего колеса. Пройдя ряд расположенных друг за другом колес, масса сгребается в валок. Для обеспечения качественного сгребания трав с наименьшими потерями необходимо располагать пальцевые колеса так, чтобы скорость воздействия зуба на сено и его перемещение были наименьшими при достаточно высокой производительности.

Проанализируем процесс сгребания трав и установим зависимости между основными параметрами граблей. Из рис. 16.3 видно, что ширина захвата b грабельного колеса зависит от его радиуса R , угла установки α и высоты гребешка h (высоты расположения точек A_1, A_2, B_1, B_2). Рассмотрим проекцию колеса на плоскость, перпендикулярную направлению движения. Проекция представляет собой эллипс, полуоси которого $R \sin \alpha$ и R

$$\frac{X^2}{R^2 \sin^2 \alpha} + \frac{Z^2}{R^2} = 1. \quad (16.2)$$

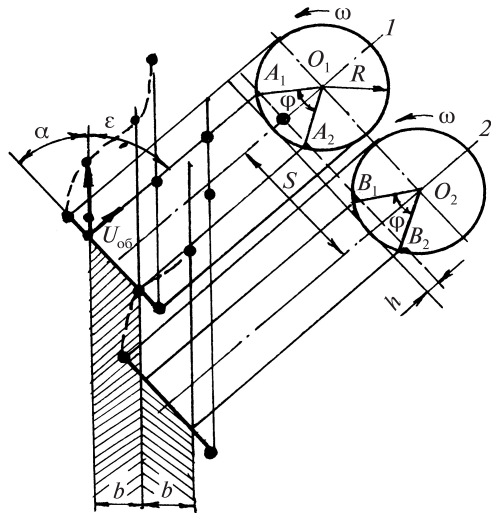


Рис. 16.3. Схема для расчета параметров колесно-пальцевых граблей

Чистота сгребания травы зависит от высоты гребешка h , образованного двумя соседними колесами. Она должна быть меньше высоты расположения нижних слоев травы от поверхности поля, т. е. не должна превышать высоты среза косилкой.

Из уравнения проекции после преобразований получим значения X для $Z = R - h$

$$X = \sqrt{2Rh - h^2} \sin \alpha. \quad (16.3)$$

Ширина захвата рабочего колеса

$$b = 2X = 2\sqrt{2Rh - h^2} \sin \alpha. \quad (16.4)$$

Общая ширина захвата колесно-пальцевых граблей

$$B = nb, \quad (16.5)$$

где n – количество рабочих колес.

Если обозначить центральный угол между двумя гребешками φ , являющимися точками входа и выхода пальца из нижнего слоя скошенной массы, то можно записать, что

$$h = R \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right). \quad (16.6)$$

Угол φ можно принять равным четному числу углов β между соседними пальцами. При $\varphi = 6\beta$ получим

$$h = R (1 - \cos 3\beta), \quad (16.7)$$

откуда

$$\beta = \frac{1}{3} \arccos \left(1 - \frac{h}{R} \right). \quad (16.8)$$

Тогда количество пальцев на колесе

$$m = \frac{360 \cdot 3}{\arccos \left(1 - \frac{h}{R} \right)}. \quad (16.9)$$

Для обеспечения схода сена с зубьев их конец отгибают от радиального направления на некоторый угол δ . Чтобы зуб свободно выходил из скошенной массы и не поднимал траву, угол наклона его к горизонту в момент выхода должен быть больше или равен углу трения.

16.3. РОТОРНЫЕ ВОРОШИТЕЛИ И ВАЛКООБРАЗОВАТЕЛИ

Роторные грабли-ворошители могут различаться по ширине захвата и конструкции, но имеют сходный принцип работы. При работе вращение от вала отбора мощности трактора передается роторам рабочих секций, которые вращаются навстречу друг другу. Грабли работают в режиме сгребания валка или в режиме ворошения. При сгребании грабли из прокоса формируют валок необходимой ширины.

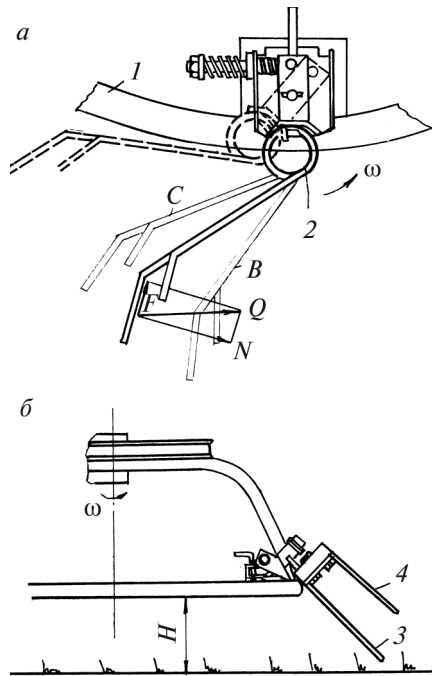


Рис. 16.4. Схема рабочего процесса роторных граблей:
 а – вид сверху; б – вид сбоку;
 1 – обод; 2 – пружинный зуб;
 3 – нижний палец; 4 – верхний палец

Для ворошения пальцы устанавливают на роторах в положении В, в результате масса дольше удерживается

Среди роторных граблей можно выделить два различных типа.

Грабли первого типа – «центробежные» (рис. 16.4) – имеют на ободах 1 роторов пружинные зубья 2 с нижним 3 и верхним 4 пальцами. При вращении ротора с частотой ω под действием центробежной силы зубья самоустанавливаются в рабочее положение и пальцы начинают взаимодействовать с убираемой массой. Со стороны пальцев на убираемую массу действует нормальная реакция N и сила трения F . В зависимости от направления результирующей силы Q изменяется длительность взаимодействия пальца с массой. При работе в режиме сгребания палец устанавливается в положение С под большим углом к направлению вращения. Сгребаемая масса быстрее сходит с пальцев и сбрасывается в валок.

Для ворошения пальцы устанавливают на роторах в положении В, в результате масса дольше удерживается

пальцами и разбрасывается сзади роторов. При работе на порцию материала массой m действует сила тяжести, сила Кориолиса и центробежная сила. Среди них наибольшее значение имеет центробежная сила, определяемая по уравнению

$$R = m\omega^2 l \sin \alpha, \quad (16.10)$$

где ω – угловая скорость ротора; l – расстояние от оси ротора до конца пальца; α – угол отклонения пальца от радиального направления.

Анализ процесса ворошения показывает, что момент отрыва материала от пальца наиболее существенно зависит от угла α и коэффициента трения, но весьма мало на него влияют частота вращения ротора ω и угол его наклона к горизонту.

Ширину захвата многороторных ворошилок определяет диаметр ротора $D = 2r$, угол наклона его к поверхности поля γ , межцентровое расстояние $2A$ и угол расположения несущей балки относительно направления движения машины β (рис. 16.5). При ворошении слоя толщиной h в работе участвуют заштрихованный сектор ELG ротора. Высота этого сектора

$$CL = \frac{h}{\sin \gamma}. \quad (16.11)$$

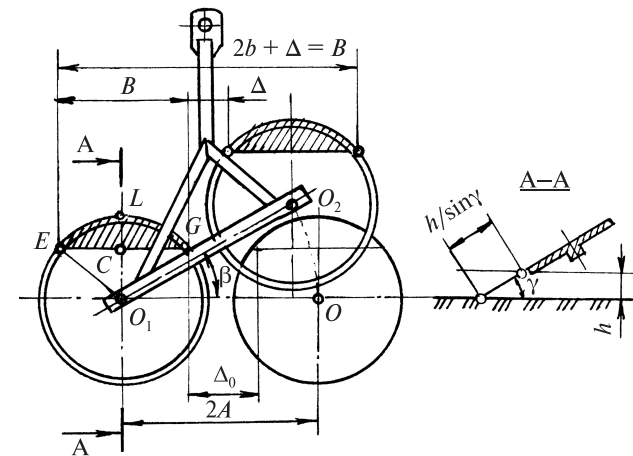


Рис. 16.5. Схема к определению ширины захвата ворошилки

Из треугольника O_1CE легко получить ширину b захвата при ворошении и одним ротором:

$$O_1C = R - \frac{h}{\sin \gamma}, \quad (16.12)$$

$$CE = \sqrt{R^2 - \left(R - \frac{h}{\sin \gamma}\right)^2}, \quad (16.13)$$

откуда

$$b = 2CE = 2\sqrt{\frac{2Rh}{\sin \gamma} - \frac{h^2}{\sin^2 \gamma}} = 2\sqrt{\frac{Dh}{\sin \gamma} - \frac{h^2}{\sin^2 \gamma}}. \quad (16.14)$$

Проекция межцентрового расстояния пары роторов на направление, перпендикулярное направлению движения, равна $2A \cos \beta$.

Ширина захвата B и ширина непроворошенной полосы Δ при работе двухроторной ворошилки составляет

$$\begin{aligned} B &= 2A \cos \beta + b; \\ \Delta &= 2A \cos \beta - b. \end{aligned} \quad (16.15)$$

Для ворошилки с n роторами ширина захвата B_n будет равна

$$B_n = (n-1)2A \cos \beta + b. \quad (16.16)$$

При расположении несущей балки перпендикулярно направлению движения машины ($\beta = 0$) $\cos \beta$ условие работы роторов без пропусков ($\Delta = 0$) будет выполняться при значении межцентрового расстояния

$$2A = b = 2\sqrt{\frac{Dh}{\sin \gamma} - \frac{h^2}{\sin^2 \gamma}}. \quad (16.17)$$

Высоту h установки роторов и наклон ворошилки γ устанавливают такими, чтобы граблины сгребали траву, не задевая почву. В этом случае нагрузка на пальцы является минимальной и исключается попадание в траву земли и камней.

Второй вариант роторных граблей при работе имитирует ручные грабли. Граблины с зубьями 1 закреплены на поворотных тру-

бах 2 , и при вращении роторов 3 противоположные от граблин концы труб перемещаются по копиру, поворачивая вниз или поднимая вверх граблины с зубьями (рис. 16.6).

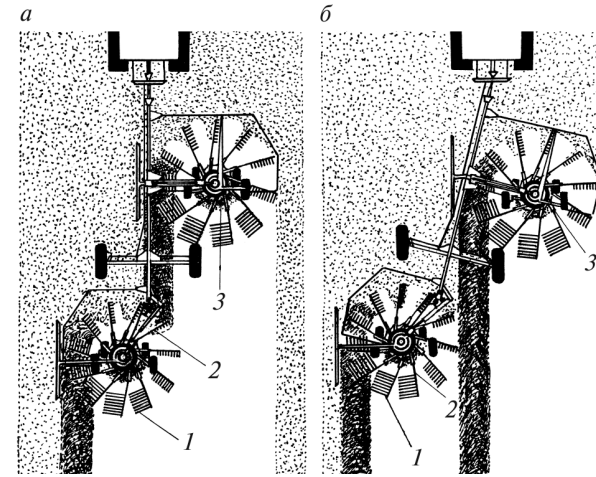


Рис. 16.6. Схема работы роторных граблей с различными вариантами образования валка: a – образование одного валка; b – образование двух валков; 1 – граблина с зубьями; 2 – труба; 3 – ротор

Рассмотрим рабочий процесс ротора, перемещающегося поступательно со скоростью машины v_m и вращающегося с угловой скоростью ω (рис. 16.7). Поместим начало подвижной системы координат в центр ротора в начальный момент $t = 0$, а ось Y направим в сторону поступательного движения машины. На концах каждой из Z поворотных труб расположены граблины шириной B . Первая граблина

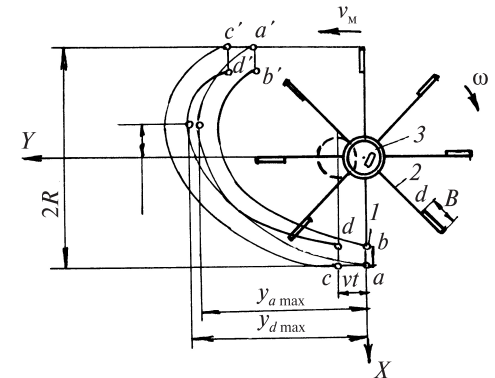


Рис. 16.7. Схема к определению параметров роторных граблей

сгребают траву с площади $aa'b'b$, а вторая – с площади $cc'd'd$ и т.д. Для качественного выполнения технологического процесса ротором необходимо, чтобы между этими площадями не оставалось промежутков. Достигается это при определенном соотношении поступательной и вращательной скоростей ротора, его диаметра $D = 2R$, количества труб Z и ширины граблины B . Для выполнения этого условия траектория конца первой граблины (точка a) должна касаться траектории начала второй граблины (точка d), т. е. максимальные ординаты этих траекторий должны быть равны между собой.

Рассмотрение кинематики работы граблей не позволяет получить зависимость ширины граблины от других параметров в явном виде. Оно было решено численными методами и результат представлен в виде номограммы (рис. 16.8). На графиках, построенных для ротора единичного радиуса R , заштрихованная линия ограничивает область существования решений. Учитываемыми параметрами являются

$$\lambda = \frac{v_m}{\omega R}; \quad K = \frac{R-B}{R}. \quad (16.18)$$

где v_m – рабочая скорость граблей; ω – угловая скорость граблины; R – радиус ротора; B – ширина захвата граблей.

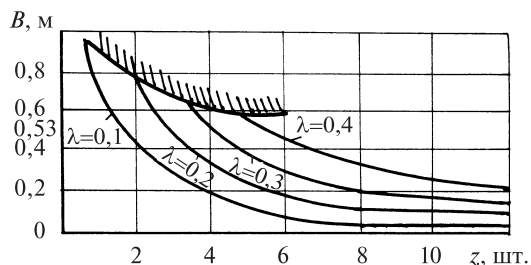


Рис. 16.8. Номограмма для расчета параметров роторных граблей

Наряду с определением кинематических и геометрических параметров граблей, при расчете и проектировании этих машин необходимо знать затраты энергии на привод.

В процессе сгребания сено постепенно накапливается впереди граблины в виде отдельных порций. После заполнения граблины сеном в работе участвует вся ее ширина B (рис. 16.9). На пор-

цию сена массой m действуют сила тяжести $G = mg$; сила трения о стерню $F_1 = f_1 mg$; центробежная сила $R = m\omega^2 r$; сила Кориолиса $Q = 2m\omega r$ и обусловленная ею сила трения одной порции массы по другой $F_2 = 2f_2 m\omega r$. При расчетах учитываются коэффициенты трения массы по стерне f_1 и между слоями f_2 , радиальная координата r и скорость радиального смещения порций по стерне ωr .

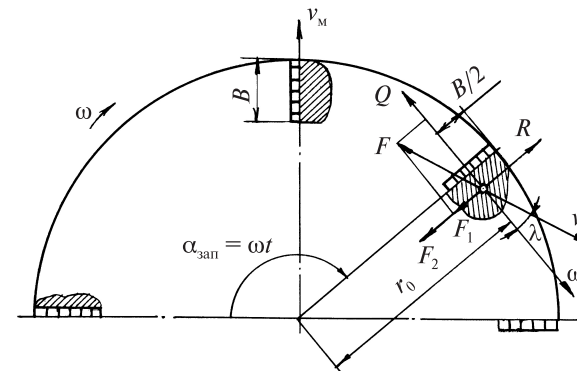


Рис. 16.9. Схема действующих сил на граблину роторных граблей

Максимальная нагрузка F_{max} на одну граблину состоит из силы сопротивления сгребаемой массы F_1 и силы Кориолиса Q . За время поворота ротора на угол π граблина собирает массу с площади S_1 , равной разности площадей S_c и S_a под траекториями точек c и a (см. рис. 16.7)

$$S_1 = S_c - S_a = 2Rvt = 2Rv \frac{2\pi}{\omega z}. \quad (16.19)$$

Тогда

$$F_1 = f_1 S_1 q,$$

где q – урожайность растительной массы,

а

$$Q = 2m\omega r, \quad (16.20)$$

где m – масса материала, лежащего на всей площади S_1 , определяемая по формуле

$$m = S_1 q. \quad (16.21)$$

Скорость ωr можно получить расчетным или опытным путем. Ограничивающими условиями являются отсутствие пропусков и двойных проходов граблины по поверхности поля.

Задача. Определить межцентровое расстояние между роторами и ширину захвата шестироторной ворошилки при расположении несущей балки перпендикулярно направлению движения, диаметре роторов $D = 1,5$ м, максимальном угле установки роторов к горизонту $\gamma = 15^\circ$ и толщине слоя растительной массы $h = 0,1$ м.

Решение. Используя уравнение (16.14), найдем ширину b ворошения одним ротором:

$$b = 2\sqrt{\frac{Dh}{\sin \gamma} - \frac{h^2}{\sin^2 \gamma}} = 2\sqrt{\frac{1,5 \cdot 0,1}{\sin 15^\circ} - \frac{0,1^2}{\sin^2 15^\circ}} = 1,3 \text{ м.}$$

Тогда согласно выражению (16.17) межцентровое расстояние для обеспечения сплошного ворошения должно составлять

$$2A = b = 1,3 \text{ м.}$$

Ширина захвата ворошилки из уравнения (16.16) будет равна

$$B_n = (n-1)2A \cos \beta + b = (6-1)b + b = 6b = 6 \cdot 1,3 = 7,8 \text{ м.}$$

16.4. КОНВЕЙЕРНЫЕ ГРАБЛИ

Этот вид граблей находит применение в комплексе малогабаритных технических средств. Они производят сгребание массы в валок за счет поперечного движения цепей с зубьями. На рабочий процесс конвейерных граблей — образование валка — влияют следующие конструктивные и кинематические параметры (рис. 16.10): ширина захвата B , ширина граблины b и шаг их расстановки t , высота зуба h , скорость цепи $v_{ц}$ и поступательная скорость машины v_M . На основании исследований рассмотрим теорию конвейерных граблей.

Абсолютная скорость граблины v_r равна

$$v_r = \sqrt{v_{ц}^2 + v_M^2}, \quad (16.22)$$

и ее направление определяет угол α

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_M}{v_{ц}}. \quad (16.23)$$

Грабли должны обрабатывать всю поверхность поля без пропусков. Это условие соблюдается при определенном соотношении между скоростью граблины, ее шириной b , шагом расстановки t и скоростью машины v_M . Из схемы следует, что это отношение должно быть следующим:

$$\frac{v_M}{v_{ц}} = \frac{b}{t}. \quad (16.24)$$

Отсюда допустимая скорость машины

$$v_M = \frac{v_{ц} b}{t}. \quad (16.25)$$

Ширина граблины b ограничена жесткостью рамы, массой и для большинства моделей находится в пределах $0,2 \dots 0,5$ м. Высоту зубьев граблей h принимают обычно $0,20 \dots 0,35$ м.

Максимальный объем пространства между граблинами составляет

$$V_{\max} = bth. \quad (16.26)$$

В этом объеме должна разместиться масса прокоса высотой h с площади

$$S = \frac{bB}{\cos \alpha}. \quad (16.27)$$

Высота слоя скошенной массы равна

$$h_c = \frac{0,01q}{\gamma}, \quad (16.28)$$

где q — урожайность, ц/га; γ — объемная масса в прокосах, кг/м³.

Тогда объем скошенной массы V , сгребаемой в пространство между граблинами, составит

$$V = \frac{0,01qbB}{\gamma \cos \alpha}. \quad (16.29)$$

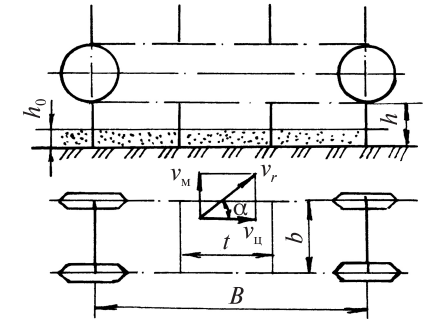


Рис. 16.10. Схема к определению параметров конвейерных граблей

Приравнивая $V_{\max} = V$, получим ширину захвата граблей с учетом конструктивных и кинематических параметров

$$B = \frac{ht\gamma \cos \alpha}{0,01q}. \quad (16.30)$$

За критерий эффективности работы граблей принимают коэффициент заполнения пространства между граблями

$$K = \frac{V}{V_{\max}}. \quad (16.31)$$

Коэффициент K должен находиться в пределах $0,5 < K < 1,0$, причем желательно приближение коэффициента заполнения к единице.

Глава 17

ПОДБОР И ПРЕССОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОЙ МАССЫ

Прессованием создаются благоприятные условия для транспортировки и хранения кормов, что способствует более быстрому проведению уборочных работ и сокращению потерь питательных веществ от механических воздействий и биологических процессов.

Рекомендуются три плотности прессования:

низкая плотность прессования — до 100 кг/м^3 ;

средняя плотность прессования — до 200 кг/м^3 ;

высокая плотность прессования — до 300 кг/м^3 .

Низкая плотность предусматривается при прессовании исходного материала влажностью до 40 %. Спрессованные тюки в последующем необходимо быстро досушивать в специальных установках. Средняя плотность прессования рекомендуется при прессовании массы влажностью до 25 %, высокая — не более 22 %.

Пресс-подборщики по форме образуемого тюка классифицируют на поршневые, формирующие прямоугольные тюки и рулонные, формирующие цилиндрические тюки; по виду движения поршня — на прессы с возвратно-поступательным и возвратно-качательным движением поршня; по месту подачи прессуемого материала в камеру — на прессы с боковой подачей и с верхней подачей.

Основными частями пресс-подборщика являются подбирающие-питающие органы и прессующая часть. К первым относятся подборщик, транспортер и набиватель. Прессующая часть поршневых пресс-подборщиков состоит из прессовальной камеры, шатунно-кривошипного механизма и механизма передачи. На современных пресс-подборщиках используются дополнительные измельчители стебельчатой массы.

Вязка тюков производится шпагатом, выдерживающим разрывное усилие не менее $700...750 \text{ Н}$, или специальной термически обработанной проволокой диаметром $1,8...2,0 \text{ мм}$ с пределом прочности

при растяжении 300...450 Н/мм с помощью автоматически действующих вязальных или обвязывающих аппаратов. Измельченная масса после формирования рулона обматывается специальной сеткой.

Плотность прессования у поршневых прессов составляет 100...380 кг/м³, а у поршневых с качающимся поршнем – 60...120 кг/м³, у рулонных прессов – до 220 кг/м³.

В среднем объем тюка для прямоугольных пресс-подборщиков составляет 1,27 м³, а для рулонных – 1,77 м³. Характерны значения удельных затрат мощности, приходящейся на формирование единицы объема:

для прямоугольных тюков – 76,0 кВт/м³ (коэффициент вариации 70,9 %);

для рулонов – 27,2 кВт/м³ (коэффициент вариации 51,9 %).

Для образования прямоугольного тюка затраты мощности в среднем в 2,8 раза выше, чем на формирование рулона. В основном это обусловлено различиями в принципах работы. У машин первого типа требуется возвратно-поступательное движение поршня и технологически более сложное перемещение массы. При работе рулонных пресс-подборщиков подача массы непрерывно-поступательная, но часть энергии затрачивается на постоянное вращение рулона.

При работе пресс-подборщиков с постоянным объемом камеры прессования формирование рулона происходит более сложным способом. В начале процесса масса набивается в прессовальную камеру, а затем начинается вращение массы и упаковка слоев.

Таким образом, современные пресс-подборщики для образования прямоугольных тюков и рулонов существенно различаются по удельным затратам мощности на единицу спрессованной массы. Прямоугольные тюки имеют повышенную плотность массы и более удобны для транспортировки и хранения. Однако на работу поршневых прессов требуется больший удельный расход топлива, они более сложны по конструкции и металлоемки.

Рабочий процесс пресс-подборщиков состоит из этапов подбора массы и ее прессования.

17.1. РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ПОДБОРЩИКА

Подборщики служат для подбора травы, сена, зерновых культур из валков. Существующие подборщики можно разделить на два типа: барабанные (рис. 17.1, а, в) и элеваторные (рис. 17.1, б, г). Основным рабочим органом подборщика является подбирающее устройство. Подбирающие устройства бывают: барабанно-кулач-

ковые с пружинными управляемыми пальцами (рис. 17.1, а) барабанные с убирающимися жесткими пальцами и вращающимся кожухом (рис. 17.1, в), полотенно-планчатые с пружинными пальцами (рис. 17.1, б) и цепочно-планчатые с пружинными пальцами (рис. 17.1, г).

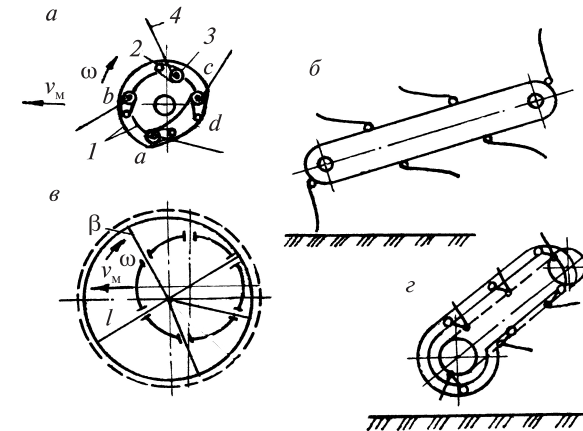


Рис. 17.1. Схемы основных типов подборщиков:
а – барабанно-кулачковый; б – полотенно-планчатый; в – барабанный;
г – цепочно-планчатый

Рабочий процесс подбирающего устройства состоит из трех фаз: подгребание массы, лежащей на поверхности поля, подъем массы вверх, передача массы на транспортирующие органы.

Элеваторные подбирающие устройства могут сами транспортировать массу.

Подбирающий аппарат состоит из тонких стальных стержней – пальцев 4 (см. рис. 17.1, а), установленных на трубчатых валах 3 или планках на определенном расстоянии друг от друга.

У барабанно-кулачкового аппарата трубчатые валы устанавливаются в дисках, а у цепочно-планчатого планки крепят шарнирно к ведущим цепям. На конце каждого трубчатого вала или каждой планки установлены кривошпы с роликами 2, которые перемещаются по направляющей дорожке 1. Направляющая дорожка обеспечивает такую траекторию движения пальцев, при которой не происходит затаскивания подбираемой массы в щели кожуха.

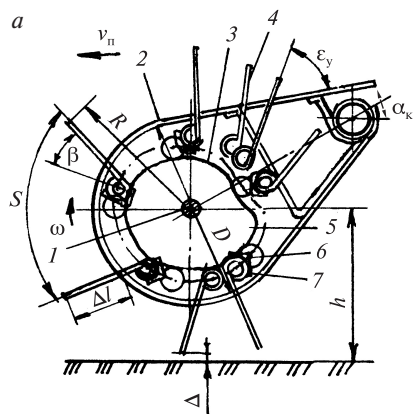


Рис. 17.2. Схема подборщика барабанного типа:

а – с управляемыми пальцами;
б – с профилированным кожухом

ных в дисках барабана, и могут свободно поворачиваться вокруг своей оси. На концах граблин закреплены кривошпы с роликами, которые входят в профильную дорожку и в процессе работы свободно обкатываются по ее поверхности.

Благодаря такой конструкции пальцы располагаются вертикально на нижнем участке своей траектории при подборе материала из валка и быстро скрываются под поверхностью кожуха, сохраняя вертикальное направление для предотвращения затаскивания материала внутрь подборщика, в верхнем положении.

Основными параметрами подборщика, определяющими его кинематику, являются (см. рис. 17.2):

R – радиус конца пружинного пальца;

Известны барабанные подборщики с жестко закрепленными граблинами, где сьем массы с пружинных пальцев осуществляется за счет специального профиля элементов кожуха (рис. 17.2, б). Благодаря впадине пальцы подборщика могут выходить из подаваемой растительной массы без изменения положения относительно радиального направления.

Подборщик барабанного типа является рабочим органом большинства пресс-подборщиков, копнителей, погрузчиков и других уборочных машин. Подборщик с управляемыми пружинными зубьями (рис. 17.2) состоит из центрального вала 1 с жестко закрепленными дисками 5, граблин 6 с пружинными пальцами 4, направляющей фасонной дорожки 3 и кожуха, выполенного в виде серии хомутов 2. Граблины смонтированы в подшипниках 7, установлен-

Δl – длина пальца, выступающая над кожухом барабана;
 D – диаметр кожуха барабана;
 h – высота расположения вала подборщика над поверхностью поля;
 m – количество граблин;
 S – окружной шаг расположения пальцев;
 β – угол отклонения пальца от его радиального расположения;
 ε_y – угол между пальцем и кожухом в момент ухода пальца под кожух;
 α_k – угол наклона кожуха к горизонту;
 n – частота вращения барабана;
 ω – угловая скорость барабана;
 v_n – рабочая скорость подборщика;
 v – окружная скорость конца пальца;
 b – шаг расстановки пальцев по ширине захвата подборщика;
 B – ширина захвата подборщика;
 Δ – минимальный зазор между концом пальца и поверхностью поля.

Ширина цилиндрической части барабана зарубежных пресс-подборщиков 1,30...1,55 м, а общая ширина захвата больше на 10...22 % за счет сужающих закрывков. Шаг расстановки пружинных пальцев зависит от назначения машины. При уборке сеяных трав с высокой питательной ценностью, где возможна потеря листовой части растений, а также при низком стеблестое используют подборщики с шагом пальцев 62 мм. Однако иногда шаг пальцев достигает 160 мм. Наиболее распространенный шаг пальцев в подборщиках зарубежных конструкций – 102 мм. В отечественных машинах принят стандартный шаг пальцев 108 мм. Количество граблин в подборщиках колеблется от 3 до 6. Скорость пальца должна соответствовать (для подбора массы без сгуживания несколько превышать) поступательной скорости пресса и находиться в пределах 1,3...2,6 м/с.

В процессе подъема массы угловая скорость ω пальцев постоянна. Уравнения движения конца пальца (точка B , рис. 17.3) в этой зоне могут быть записаны в следующем виде

$$\begin{aligned} x &= v_m t + R \sin \omega t ; \\ y &= R \cos \omega t , \end{aligned} \quad (17.1)$$

где v_m – скорость машины; R – расстояние от конца пальца до центра барабана.

Расстояние от конца пальца до центра барабана

$$R = \sqrt{r^2 + l^2 - 2lr \sin \gamma}, \quad (17.2)$$

где l – длина пальца; γ – угол установки пальцев относительно линии OC .

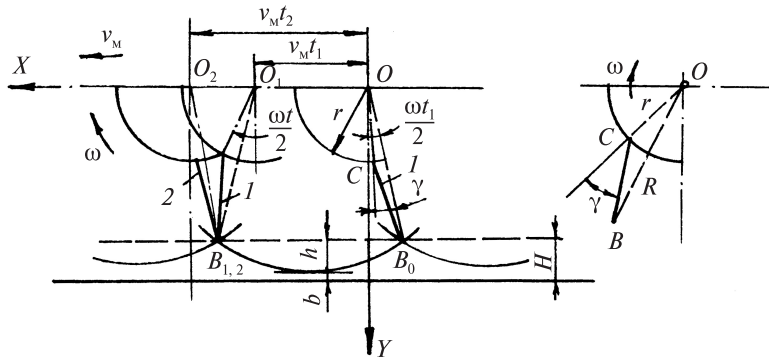


Рис. 17.3. Схема рабочего процесса подборщика

Абсолютная скорость конца пальца может быть определена по формуле

$$v = \sqrt{v_M^2 + (R\omega)^2 + 2v_M R\omega \cos \omega t}. \quad (17.3)$$

Считается, что скручивание и разрывы валка будут наименьшими, если горизонтальная составляющая абсолютной скорости середины пальца в его верхнем положении будет равна нулю, т. е.

$$v_x = 0 \text{ или } \omega R_1 = v_M,$$

где R_1 – расстояние от оси до середины пальца.

Из данного условия рассчитывается скорость ω барабана:

$$\omega = \frac{v_M}{R_1} = \frac{v_M}{r + \frac{l}{2} \cos \gamma}. \quad (17.4)$$

Количество трубчатых валов с пальцами определяется из условия, при котором траектории двух соседних пальцев пересекаются в точке $B_{1,2}$, находящейся не выше нижней границы расположения слоя (рис. 17.3).

Отношение $\omega R/v_M = \lambda$ для существующих подборщиков выбирают в пределах от 1,1 до 1,2. Длина пальца $l = 145 \dots 180$ мм, диаметр его $4,5 \dots 5,0$ мм, угол γ – до 40° .

17.2. РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС ПРЕССА ПОРШНЕВОГО ТИПА

Прессующая часть поршневых пресс-подборщиков состоит из прессовальной камеры, кривошипно-шатунного механизма и механизма передачи (рис. 17.4).

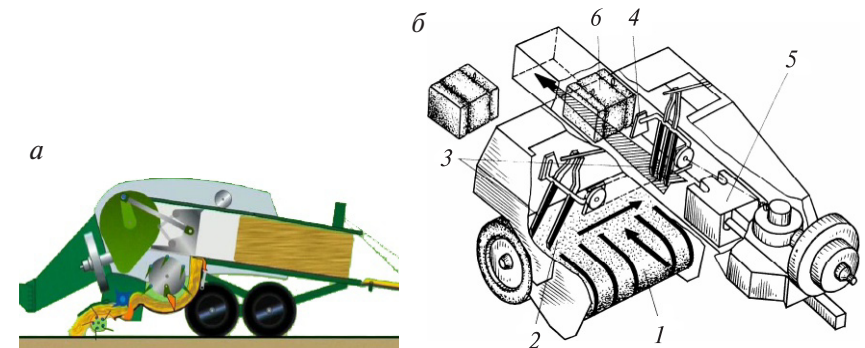


Рис. 17.4. Общий вид (а) и схема устройства и рабочего процесса поршневого пресс-подборщика (б):

1 – подборщик; 2 – набиватели; 3 – подающие зубья; 4 – вязальный аппарат; 5 – поршень; 6 – тюк

На современных пресс-подборщиках используются дополнительные измельчители стебельчатой массы. Вязка тюков производится шпагатом, выдерживающим разрывное усилие не менее $700 \dots 750$ Н, или специальной сеткой (при измельчении массу) с помощью автоматически действующих вязальных или обвязывающих аппаратов.

В целом тюковые пресс-подборщики больше приспособлены для прессования соломы, рулонные – для более влажной зеленой массы.

Несмотря на значительную длительность использования прессующих устройств и многих исследований процесса прессования

сеносоломистых материалов, расчетные зависимости усилия прессования получены при существенной идеализации рабочего процесса.

Одна из таких зависимостей получена исходя из того, что отношение приращения давления dp к приращению плотности $d\gamma$ прямо пропорционально приложенному давлению p

$$\frac{dp}{d\gamma} = f(p), \quad (17.5)$$

причем функция $f(p)$ чаще всего линейная, т. е.

$$\frac{dp}{d\gamma} = f(p) = ap + b. \quad (17.6)$$

Данную зависимость можно выразить через перемещение поршня. Для этого начальную длину слоя до сжатия обозначим L , площадь поперечного сечения камеры S , деформацию слоя — l , плотность неуплотненной массы — γ_0 (для сена — 40...50 кг/м³).

Первоначальный объем сена до сжатия равен SL , а масса сена определяется по формуле

$$Q = \gamma_0 SL. \quad (17.7)$$

После сжатия до плотности γ объем сена равен $S(L - l)$ и масса сена

$$Q = \gamma S(L - l). \quad (17.8)$$

Приравняем правые части выражений и получим плотность прессуемой массы

$$\gamma = \frac{\gamma_0 L}{L - l}. \quad (17.9)$$

Плотность прессования определяется давлением в прессовальной камере. График $p = f(l)$ зависимости давления P поршня от его перемещения l за один оборот кривошипа имеет вид, представленный на рис. 17.5.

На участке OA поршень подходит к загрузочному окну и усилие прессования здесь отсутствует. Затем на участке AB происходит сжатие подаваемой порции до плотности P_1 , которое плавно пе-

реходит в сжатие всей ранее спрессованной массы на участке BD . При достижении наибольшего значения усилия прессования на участке DG прессуемая масса начинает выталкиваться из камеры. Давление P_2 в период выталкивания массы остается постоянным.

При обратном (нерабочем) ходе поршня из-за упругих свойств спрессованной массы часть деформации l восстанавливается. При этом давление на поршень падает (линия GKN) и в конце хода становится равным нулю.

В конструкциях современных прессов в камере прессования ставят упоры, которые несколько ограничивают обратное движение спрессованной массы. Опытами установлено, что восстанавливающая деформация составляет 40...60 мм.

Давление прессования зависит от многих показателей массы: модуля упругости, коэффициента Пуассона, коэффициента трения, а также от конструктивных параметров и режима работы пресса.

Указанные показатели изменяются в большом диапазоне в зависимости от свойств и состояния сжимаемой массы (влажности, длины стеблей, морфологических особенностей растений и т. п.). По этой причине аналитические зависимости изменения давления от перемещения поршня очень условны и не могут дать желаемых результатов при расчетах.

Производительность пресс-подборщика (в тоннах в час) можно определить по формуле

$$Q = \left(\frac{60n\gamma_0 V}{10^3} \right), \quad (17.10)$$

где n — частота ходов поршня в минуту; γ_0 — плотность массы до сжатия, кг/м³; V — объем порций сена, подаваемых упаковщиками за один рабочий ход поршня.

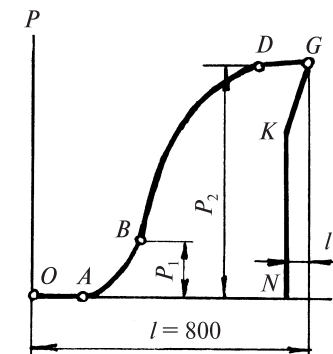


Рис. 17.5. Изменение давления на поршень пресса в зависимости от его перемещения

Плотность прессования — основной показатель, определяющий качество спрессованной массы, а также издержки на транспортировку и хранение тюков.

Исходя из качества спрессованного сена, экспериментально выявлена ориентировочная плотность прессования в зависимости от содержания влаги в сене:

влажность, %	30	25	22	ниже 20
плотность тюков, кг/м ³	100...140	150...200	200...225	любая

Сопротивление в прессовальной камере определяется ее длиной и сечением выходного канала. Длина камеры для разных пресс-подборщиков бывает от 1460 до 3550 мм, а площадь сечения — от 1280 до 1880 см². Сечение выходного канала можно изменять наклоном стенок камеры или специальных уплотняющих полос. Уплотняющие полосы размещают сверху, снизу или с боковых сторон и крепят к камере шарнирно. Сужение полос достигается регулятором плотности, воздействующим на полосы пружинами.

Разновидность прессуемого материала и его состояние значительно влияют на плотность тюков. С увеличением влажности массы и модуля упругости коэффициент трения растет, поэтому при прессовании влажной массы уплотняющие полосы следует сближать меньше, чем при прессовании сухой. Так как влажность массы может значительно изменяться на одном участке поля, то одной из задач совершенствования процесса прессования является обеспечение автоматического регулирования плотности.

17.3. ЗАТРАТЫ ЭНЕРГИИ ПРИ УПЛОТНЕНИИ РАСТИТЕЛЬНОЙ МАССЫ ПОРШНЕМ

Уплотнение массы в тюки, рулоны — энергоемкий процесс. Необходимая для прессования мощность зависит от подачи массы в единицу времени, ее влажности и плотности спрессованных тюков.

Из графика 17.5 видно, что усилие в конце прессования достигает максимального значения, поэтому конструкция привода поршня пресса должна обеспечивать передачу все возрастающего усилия до конца хода поршня.

Из диаграммы также видим, что для прессования материала необходимо затратить работу равную

$$A = A_1 + A_2 - A_3, \quad (17.11)$$

где A_1 — работа на сжатие материала; A_2 — работа на выталкивание спрессованного материала; A_3 — работа упругого расширения спрессованного материала, которая совершается при обратном ходе поршня и поэтому вычитается.

Для определения A_1 , A_2 и A_3 выведены сложные дифференциальные уравнения, которые выражаются в виде функций и зависят от многих параметров:

$$A_1 = f_1(S, G, c, a, \gamma, \gamma_0, x); \quad A_2 = f_2(S, G, \gamma, \mu_1, \varphi, U, g_0, h); \quad (17.12)$$

$$A_3 = f_3(S, G, p_0, l),$$

где G — сила тяжести уплотненного сена; x — перемещение поршня; μ_1 — коэффициент трения массы о стенки камеры; U — периметр поперечного сечения камеры; g_0 — остаточное боковое давление на стенки камеры; h — длина уплотненного материала и путь проталкивания.

Подача зависит от массы m_b валка на длине 1 м и скорости v движения машины, т. е.

$$q = m_b v. \quad (17.13)$$

В зависимости от массы валка на 1 м длины подбирают оптимальную скорость, при которой максимально используется пропускная способность пресс-подборщика при устойчивой работе двигателя трактора.

В зависимости от подачи q мощность на прессование сена и соломы

$$N = 3,6 \varepsilon q, \quad (17.14)$$

где ε — коэффициент, выражающий энергозатраты на 1 т спрессованного материала, кВт/ч.

Коэффициент ε при прессовании сена влажностью 18...25 % изменяется от 4,0 до 8,5 кВт·ч/т. Меньшие значения соответствуют плотности спрессованного тюка 150 кг/м³, а большие — 250 кг/м³. С увеличением влажности прессуемой массы при одинаковой плотности энергозатраты уменьшаются. Так, например, для сена влаж-

ностью 23 % ε на 50 % меньше, чем при влажности 13 %, поэтому для сокращения энергозатрат целесообразно проводить прессование при влажности сена 18...25 %. Это возможно при последующем досушивании тюков или герметичной упаковке их в пленку.

Затраты энергии на прессование соломы на 20...35 % выше, чем сена такой же влажности.

Задача. Определить мощность прессования сена при массе валка $m_b = 4,5$ кг/м, скорости движения машины $v = 6$ км/ч и коэффициенте удельных энергозатрат $\epsilon = 6$ кВт·ч/т.

Решение. Используя уравнение (17.13), найдем подачу массы в прессовальную камеру:

$$q = m_b v = \frac{4,5 \cdot 6}{3,6} = 7,5 \text{ кг/с.}$$

Тогда согласно выражению (17.14) мощность прессования будет равна

$$N = 3,6 \epsilon q = 3,6 \cdot 6 \cdot 7,5 = 162 \text{ кВт.}$$

17.4. РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС РУЛОННЫХ ПРЕСС-ПОДБОРЩИКОВ

По принципу образования рулона существующие пресс-подборщики можно разделить на два типа: с переменным и постоянным объемами камеры прессования.

Рабочий процесс образования рулонов при переменном объеме камеры прессования может проводиться на поверхности поля (рис. 17.6, а) подобно скатыванию снежного кома. Прессуемая масса поднимается вертикально расположенным у задней стенки цепочно-планчатый транспортером 1, который сворачивает рулон, ограничиваемый в верхней части криволинейными подпружиненными штангами 2. Однако данный тип прессов не используется из-за повышенных потерь растительной массы.

Широкое распространение получили пресс-подборщики с переменным объемом прессовальной камеры 5, образованной двумя ветвями бесконечных ремней, движущихся один навстречу другому (рис. 17.6, б). За счет встречного движения ремней образуется основа рулона, на которую по мере поступления наворачивается

прессуемый материал. После образования основы формирование рулона происходит в петлеобразной камере 3. Нижняя ветвь ремней 4 служит опорой рулона и выполняет роль питающего транспортера. Плотность сена в рулоне примерно одинакова по сечению и зависит от натяжения ремней. При достижении заданного размера рулона агрегат останавливается, производится обвязка и выгрузка рулона из прессовальной камеры. Плотность рулона достигает 200 кг/м^3 , а масса в зависимости от параметров прессовальной камеры – 250...1000 кг.

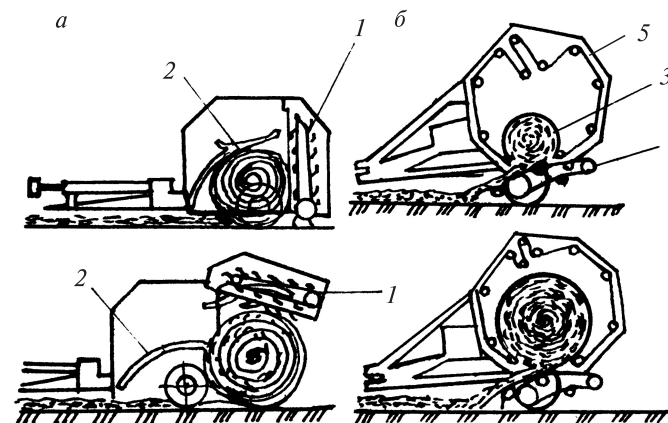


Рис. 17.6. Схема работы рулонных пресс-подборщиков с переменным объемом камеры прессования:
а – формирование рулона на поверхности поля;
б – формирование рулона в камере

Конструктивное выполнение пресс-подборщика с постоянным объемом камеры прессования может быть различным (рис. 17.7). Существуют конструкции, у которых прессовальная камера образована шестью транспортерами в виде неправильного шестиугольника. Из них три транспортера закреплены на раме пресс-подборщика, а три – на заднем клапане, шарнирно укрепленном на раме и служащем для выгрузки рулона из прессовальной камеры. Прессовальная камера может быть образована бесконечным цепочно-скалочным транспортером. На цапфах скалок установлены роликовые опоры, движущиеся по направляющим дорожкам. Пресс-подборщик работает следующим образом: при поступатель-

ном движении в агрегате с трактором масса из валка поднимается подборщиком 1 (рис. 17.7, б) и подается в прессовальную камеру 2, где барабанами 3 и механизмом прессования 4 закручивается рулон. При помощи прижимной решетки 5 происходит предварительное уплотнение массы. По мере повышения плотности рулона стрелка б, указывающая степень уплотнения, поворачивается вверх, сигнализируя об окончании формирования рулона и необходимости подачи шпагата в камеру прессования. Обмотка рулона и обрезка шпагата происходят автоматически при остановленном агрегате. После обмотки рулона шпагатом при помощи гидроцилиндров 7 открывается задняя камера 8 и рулон выкатывается назад по рамке 9. После закрытия камеры процесс повторяется.

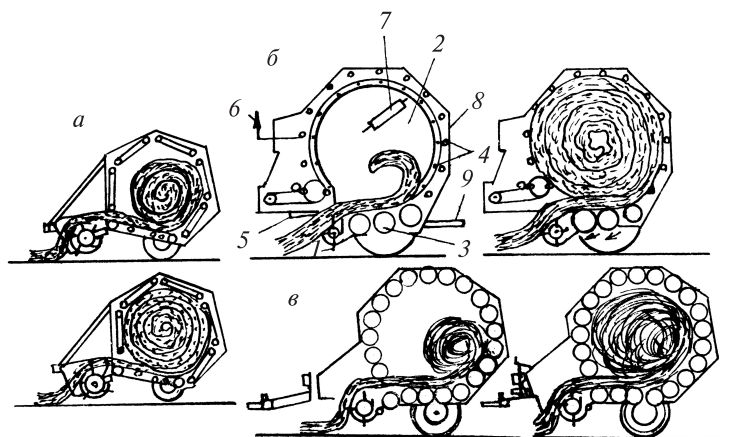


Рис. 17.7. Типы пресс-подборщиков с постоянным объемом камеры прессования:
а – с секционными транспортерами; б – с замкнутым цепочно-скалочным транспортером; в – с прессующими вальцами

Пресс-подборщики могут иметь прессовальную камеру, образованную 14–21 рифлеными вальцами диаметром около 0,30 м. Все вальцы вращаются в одном направлении и при подаче массы скручивают ее в рулон (рис. 17.7, в).

Преимуществами пресс-подборщиков с постоянным объемом прессовальной камеры является то, что сформированные рулоны имеют рыхлую сердцевину и плотные наружные слои. Это необходимо при досушивании массы активным вентилированием.

Основными недостатками этой схемы являются большие потери вследствие перетирания массы при прессовании и большая энергоемкость процесса прессования, так как сжимается весь объем материала, находящегося в прессовальной камере.

17.5. РУЛОНОБРАЗОВАНИЕ В КАМЕРАХ ПЕРЕМЕННОГО ОБЪЕМА

Рассмотрим формирование рулона прессовальной камерой переменного поперечного сечения. Существенной особенностью работы этих пресс-подборщиков является то, что рулон формируется за счет непрерывного увеличения диаметра при постоянном натяжении гибких лент или цепных транспортеров, уплотняющих в равной мере как наружные, так и внутренние слои материала. В работах А. А. Григорьева показано, что уплотнение каждого слоя происходит в основном за счет его обжатия в месте контакта с опорными роликами и натяжными вальцами аналогично прессу прокатки, а гибкие связи выполняют роль формообразующего элемента и приводят рулон во вращение.

Проанализируем этот процесс подробнее (рис. 17.8, а), для чего выделим элемент слоя единичной ширины с начальной толщиной h_0 и длиной Δl . Формирование рулона можно рассматривать в соответствии со следующими этапами уплотнения его элемента:

после мгновенного (из-за малого значения Δl) приложения сжимающей нагрузки толщина элемента уменьшается до $h_{сж}$;

при последующей выдержке под давлением элемент находится в сжатом состоянии в течение времени $t_{сж}$, которое определяется диаметром опорных роликов и конструкцией пресса; толщина при этом остается равной $h_{сж}$;

после снятия нагрузки начинается упругое расширение элемента, продолжающееся в течение времени t_p , за которое его толщина успевает увеличиться до $h_{р1}$;

после повторной деформации элемента под действием нагрузки, которая теперь уже приложена не непосредственно, а через последующий слой материала, толщина элемента уже не может возвратиться к прежнему значению $h_{сж}$ и становится равной $h_{сж1}$ ($h_{сж} < h_{сж1}$);

последующее упругое расширение элемента происходит в стесненных условиях, и поэтому через время t_p его толщина достигает значения $h_{p2} < h_{p1}$, а спустя еще несколько оборотов рулона, приблизится к окончательному среднему значению h_{cp} и дальнейшее расширение слоя вообще прекратится.

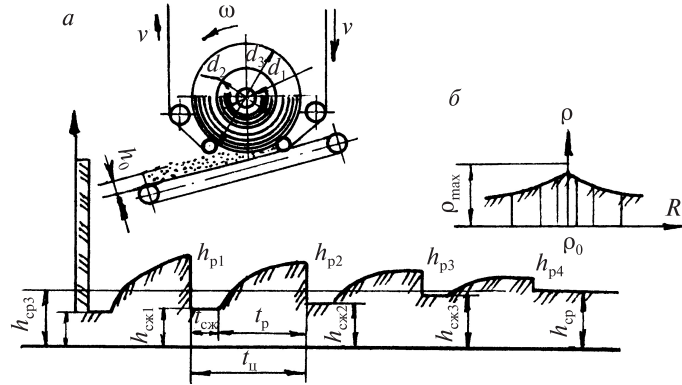


Рис. 17.8. Схема образования рулона в камере постоянного объема

Таким образом получают следующий ряд неравенств

$$h_{cж1} < h_{cж2} < \dots < h_{cжn} < h_{cp} < h_{p1} < h_{p2} < h_{p3} < h_{p4} < h_{p0}. \quad (17.15)$$

В начале процесса, пока диаметр рулона d мал и нагружение элемента имеет большую частоту, время упругого расширения t_p также мало. При увеличении диаметра рулона время сжатия каждого элемента остается постоянным, а время всего цикла $T_{ц}$, равное времени одного оборота рулона, возрастает пропорционально его диаметру, в результате плотность наружных слоев оказывается меньше, чем плотность его центральной части (рис. 17.8, б)

$$T_{ц} = \frac{\pi d}{v} = t_{cж} + t_p; \quad t_p = \frac{\pi d}{v} - t_{cж}, \quad (17.16)$$

где v – скорость движения гибких формирующих лент или транспортера.

Зная толщину h_0 подаваемого на прессование слоя и его начальную плотность ρ_0 , а также среднюю толщину сжатого слоя h_{cp} и получаемую плотность после прессования ρ_{cp} , можно определить

необходимое количество оборотов для формирования рулона радиусом R .

При постоянной ширине вала

$$\frac{h_0}{h_{cp}} = \frac{\rho_{cp}}{\rho_0}. \quad (17.17)$$

Подача убираемой массы может быть представлена как

$$BvA = \rho_0 b h_0 v_n, \quad (17.18)$$

где B – ширина поля с убираемыми растениями, м; v – скорость движения, м/с; A – урожай прессуемой массы с единицы площади поля, кг/м²; b – ширина вала, м; v_n – скорость подачи массы, м/с.

Тогда средняя толщина прессуемого слоя составит

$$h_{cp} = \frac{h_0 \rho_0}{\rho_{cp}} = \frac{BvA}{bv_n \rho_{cp}}. \quad (17.19)$$

Количество оборотов n для образования рулона радиусом R

$$n = \frac{R}{h_{cp}} = \frac{RBv_n \rho_{cp}}{BvA}. \quad (17.20)$$

Приблизительность расчета может быть связана с неустойчивостью вращения на начальном этапе скручивания сердцевины рулона.

При работе прессующих ремней их давление прямо пропорционально силе натяжения и обратно пропорционально радиусу кривизны:

$$q = \frac{T}{RL}, \quad (17.21)$$

где T – сила натяжения прессующих ремней, Н; R – радиус формирующегося рулона, м; L – длина рулона, м.

У существующих моделей прессов (типа ПРП-1,6) требуемую плотность прессования устанавливают, изменяя усилие натяжения прессующих ремней.

17.6. РУЛОНООБРАЗОВАНИЕ В КАМЕРАХ ПОСТОЯННОГО ОБЪЕМА

В рулонных пресс-подборщиках с постоянным объемом камеры прессования в начале процесса заполняется цилиндрическая прессовальная камера постоянного диаметра материалом с начальной плотностью γ_0 . Время заполнения прессовальной камеры при этом составит

$$t_0 = \frac{\pi R^2 L \gamma_0}{m_n}, \quad (17.22)$$

где R, L – радиус и длина рулона; m_n – подача прессуемой массы, кг/с.

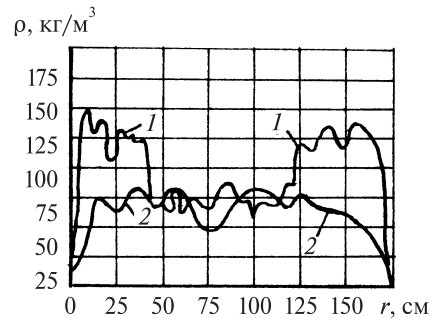
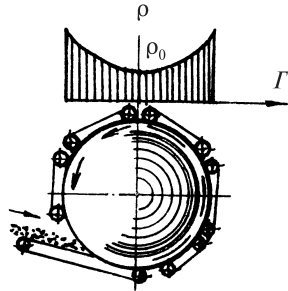


Рис. 17.9. Закономерность формирования рулона в камере постоянного объема (а) и экспериментальные значения распределения плотности в рулонах, образованных в камерах переменного 1 и постоянного 2 объема (б)

На следующем этапе весь материал в прессовальной камере приводится во вращение силами трения формирующих элементов. При этом материал поступает в камеру по касательной к поверхности рулона, что приводит к уплотнению его наружных слоев. По мере возрастания усилий сжатия в процесс деформации вовлекаются внутренние слои рулона. При этом плотность распределяется по сечению рулона неравномерно: его центральная часть остается относительно рыхлой при уплотнении внешних слоев.

Рассмотрим закономерность распределения плотности в рулоне, формируемом в прессовальной камере постоянного объема (рис. 17.9). Плотность вдоль радиуса r изменяется по мере поступления

в камеру новых порций материала, т. е. является функцией времени t формирования рулона. Таким образом, плотность материала в каждом слое рулона является функцией двух переменных r и t . Приращение плотности $d\rho$ за время dt при переходе от слоя радиусом r к слою $r + dr$ может быть записано в виде суммы двух производных $\Delta\rho/\Delta t$:

$$d\rho = \frac{\Delta\rho}{\Delta r} dr + \frac{\Delta\rho}{\Delta t} dt. \quad (17.23)$$

В формуле (17.23) частная производная $\Delta\rho/\Delta r$ представляет собой закономерность изменения плотности вдоль радиуса в заданный момент времени t , а частная производная $\Delta\rho/\Delta t$ – закономерность изменения плотности в процессе формирования рулона в точке с фиксированным значением радиуса r .

Для упруговязкого материала, каким является любой волокнистый материал растительного происхождения, справедливо общее утверждение, высказанное впервые Сен-Венаном, о том, что возмущение, вызванное в некоторой точке упруговязкой среды, затухает по экспоненциальному закону по мере удаления от этой точки. Кроме того, плотность наружных слоев возрастает быстрее, чем плотность внутренних, поэтому равномерное вначале распределение плотности с течением времени все более нарушается.

На основании приведенных рассуждений можно написать

$$\Delta\rho / \Delta r = be^{cr}, \quad (17.24)$$

где b, c – коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств материала.

Вместе с тем видно, что плотность каждого слоя возрастает пропорционально количеству подаваемого материала, т. е.

$$\Delta\rho/\Delta t = K, \quad (17.25)$$

где K – коэффициент, зависящий от параметров прессовальной камеры и секундной подачи материала.

Подставив выражения частных производных (17.24) и (17.25) в уравнение (17.23) и выполнив почленное интегрирование его правой и левой частей по переменным ρ, r и t , получим

$$\int \Delta\rho = b \int e^{cr} t dr + \int K dt; \quad (17.26)$$

$$\rho = \frac{b}{c} e^{ct} + Kt + C. \quad (17.27)$$

Произвольную постоянную интегрирования C можно найти из условия, что в начальный момент времени при $t = 0$ плотность материала, заполняющего прессовальную камеру, равна ρ_0 . Отсюда $C = \rho_0$. Теперь в окончательном виде зависимость $\rho(r, t)$ запишется так:

$$\rho = \rho_0 + At + Be^{ct}, \quad (17.28)$$

где $K = A$, $\frac{b}{c} = B$.

Граничные условия отвечают физическому смыслу процесса формирования рулона в камере постоянного сечения:

в центре рулона при $r = 0$ плотность материала возрастает по линейному закону $\rho = \rho_0 + (A + B)t$;

на поверхности рулона при $r = R$ плотность возрастает по закону $\rho = \rho_0 + (A + Be^{cR})t$;

в каждой точке рулона при непрерывной подаче материала плотность с течением времени неограниченно возрастает по закону $\rho = \rho_0 + (A + Be^{cr})t$, где $0 < r < R$.

Сравнительный анализ процессов уплотнения в пресс-подборщиках обоих типов показывает, что прессы с постоянным объемом камеры прессования более перспективны, так как низкая плотность центральной части образованных ими рулонов обеспечивает более эффективную их сушку активным вентилированием, а уплотненная поверхность лучше противостоит проникновению атмосферных осадков.

С помощью специальных устройств с подвижными прессующими роликами пресс-подборщики с постоянным объемом камеры прессования могут образовывать рулоны с выровненной плотностью массы.

Глава 18

КОРМОУБОРОЧНЫЕ КОМБАЙНЫ

Кормоуборочные комбайны предназначены для заготовки измельченной листостебельной растительной массы в полевых условиях. Технологический процесс работы включает три основные операции: скашивание растений жаткой или подбор их из валков подборщиком, измельчение и погрузка измельченной массы в транспортное средство. Сужение потока растений на жатке или подборщике и их транспортировка в питающий аппарат, уплотнение и подача на измельчение, перемещение измельченной массы в транспортирующий орган являются вспомогательными операциями.

Тип жатки определяется видом убираемой культуры. На травах используются жатки сплошного среза с сегментно-пальцевым или роторно-дисковым режущим аппаратом, на кукурузе – роторные жатки сплошного среза.

Из множества конструкций измельчающих рабочих органов можно выделить три типа: барабанные (цилиндрические), дисковые и роторные (рис. 18.1). Измельчающий аппарат состоит из одного либо двух разных рабочих органов, причем измельчение может осуществляться вместе с другими операциями. Роторный аппарат одновременно скашивает, измельчает и швыряет, т. е. выполняет функции жатки, измельчающего аппарата и транспортирующего органа (используется в косилках-измельчителях). Во многих цилиндрических и дисковых аппаратах устанавливают швыряющие лопатки, что позволяет одновременно выполнять измельчение и погрузку.

Важная особенность схемы кормоуборочного комбайна – наличие отдельного транспортирующего органа, который устанавливают вместе с цилиндрическим аппаратом и реже – с роторным. В последнем случае на месте швырялки, как правило, расположен дисковый или цилиндрический измельчающее-швыряющий аппарат. Различают три способа погрузки измельченной массы: швырково-пневматический, транспортерный и комбинированный, однако два последних