

Лекции по Курсу "Элеваторы, склады, зерносушиллки"

Содержание

Лекция № 1. Вводная	3
1 Общие сведения из области хранения и послеуборочной обработке зерна	3
1.1 Содержание и задачи курса	3
1.2 Краткая история хранения зерна	3
1.3 Характеристика хлебоприемных предприятий	4
1.4 Задачи хранения зерна и зерновых продуктов	7
Лекция № 2	9
2 Свойства сыпучих материалов при взаимодействии с хранилищами и рабочими органами машин	9
2.1 Физические свойства зерновых масс	9
2.2 Факторы, влияющие на физические свойства зерновых масс	15
Лекция № 3	17
3 Теория взаимодействия сыпучих тел с зерновыми силосами и бункерами	17
3.1 Силы, действующие на сыпучее тело в сосуде (статика)	17
Лекция № 4	20
4 Теория истечения сыпучего материала	20
Лекция № 5	28
5 Элеваторы и склады	28
5.1 Классификация зернохранилищ	28
Лекция № 6	32
5.2 Конструкции силосных корпусов элеваторов	32
Лекция № 7	37
5.3 Рабочее здание элеватора (рабочая башня)	37
5.4 Технологические схемы элеваторов	38
5.5 Размещение транспортного и технологического оборудования	40
5.6 Приемные и отпусковые устройства элеваторов	42
Лекция № 8, 9	45
6 Склады для продуктов переработки зерна	45
6.1 Напольные склады	45
6.2 Транспортное оборудование напольных складов муки и крупы	45
7 Транспортное оборудование элеваторов	46
7.1 Выбор системы транспортирования	46
7.2 Конструкции транспортёров	47
Лекция № 10	53
8 Зерносушилки	53
8.1 Основы теории сушки зерна	53
Лекция № 11	56
8.2 Закономерности сушки зерна	56
Лекция № 12	59
8.3 Влажный воздух как агент сушки	59
Лекция № 13	62
8.4 Технологические основы сушки зерна	62
Лекция № 14, 15	64
8.5 Техника сушки зерна	64
9 Активное вентилирование зерна	71
9.1 Виды активного вентилирования	71
Рекомендуемая литература	72

Лекция № 1. Вводная

1 Общие сведения из области хранения и послеуборочной обработке зерна

1.1 Содержание и задачи курса

Значение дисциплины “Элеваторы, склады, сушилки” для будущих инженеров–механиков, которые готовятся к работе в сфере обеспечения деятельности предприятий по приему, послеуборочной обработке и хранения зерна, определяется важной ролью, отводимой инфраструктуре сельскохозяйственного производства.

В настоящее время установлено, что только за счет ликвидации потерь сельскохозяйственной продукции открывается возможность для её дополнительного использования в количестве 15...20 %. При решении задач обеспечения населения продовольствием в качестве приоритетного направления определена борьба с потерями путем совершенствования работы хозяйственных структур, обеспечивающих прием, хранение и переработку сельскохозяйственного сырья.

Зерно является одним из важнейших продуктов сельскохозяйственного производства. Задача борьбы с его потерями на всем пути от производителя к потребителю возлагается на предприятия отрасли хлебопродуктов – элеваторы, склады, сушилки со всем сопутствующим им оснащением.

Для создания достаточно полного представления о специфических условиях, в которых действует то или иное оборудование, будущим инженерам–механикам необходимы сведения, базирующиеся на целом ряде дисциплин.

Дисциплина “Элеваторы, склады, сушилки” является оригинальной, отличающейся от общепринятых курсов, изучаемых механиками, многоплановостью и взаимосвязанностью изучаемых проблем.

1.2 Краткая история хранения зерна

Наиболее древние методы хранения зерна документально подтверждены археологическими раскопками. Древние греки для этого использовали большие глиняные сосуды, которые помещали в подвалы или подземные галереи. Они также использовали специально выкопанные ямы для хранения зерна (подземное хранение). Можно с большой степенью вероятности предположить, что хранение продовольственного зерна сопровождалось большими трудностями и потерями продукции.

На более позднем этапе для удовлетворения местных потребностей строились надземные хранилища (кукурузные сапетки). Большинство из этих резервуаров имели прямоугольную форму, они загружались и опорожнялись сверху.

В средние века с развитием хорошо спланированной системы сельского хозяйства зерно хранили на глинобитном току или в зерновых складах. Напольное хранение использовали в последующие 150 лет, оно явилось предвестником современных методов хранения. Зерновые склады в XIX веке были частично механизированы с внедрением системы загрузочных труб, а затем усовершенствованы (например, саморазгружающиеся силосы). До начала нынешнего столетия ограничения по строительству и избыток дешевой рабочей силы препятствовали развитию этих основных методов хранения. Однако по мере совершенствования транспортных средств местные запасы перемещались в региональные, более экономичные хранилища. Сначала зерно использовалось только для непосредственного потребления, главным образом в виде хлеба. По мере повышения уровня жизни появились новые направления ис-

пользования зерна. Производство зерна и торговля им интенсифицируются.

Старую систему строительства зерновых силосов из естественного камня или кирпича можно рассматривать как предшественник современного строительства элеваторов. В странах, где имелось достаточно древесины, элеваторы строились из дерева, и они состояли из отдельных бункеров. Только применение железобетона в начале XX века сделало возможным возведение больших комплексов. Вначале строители сталкивались с множеством сложных строительных проблем, однако разработка метода скользящей опалубки произвела революцию в строительстве элеваторов. Возможности этого нововведения в строительную технологию полностью соответствовали потребностям данного периода, к тому же и технология конструирования оборудования и машин быстро изменялась.

Импорт и экспорт зерна потребовали в дополнение к хранилищам соответствующего оборудования для обработки и транспортировки. Первоначально производительность 50–80 т/ч считалась в сравнении с обработкой вручную очень высокой. Экономические соглашения между многими странами в течение последних десятилетий и распространение новых политических и гуманитарных принципов повысили чувство ответственности за поставку продовольствия населению всего мира. Это можно увидеть, например, в отношении принимаемых мер по зерну и другим продуктам с целью сведения потерь к минимуму. Производство и отбор семенного зерна также развивались в соответствии с экономическими принципами достижения более высоких урожаев с тех же площадей. Методы анализа почвы, способы внесения удобрений и интенсивное использование сельскохозяйственных машин внесли важный вклад в эту эволюцию. Новые методы уборки потребовали уделять больше внимания процессу сушки зерна.

Однако пищевая промышленность во многих странах оставалась зависимой от импорта вследствие постоянного увеличения местного спроса. Зерно экспортировали не только из кукурузного пояса США, но также из традиционных мест его хранения, таких как Балканские страны и Северная Африка. Позднее интенсификация процессов сельскохозяйственного производства в США, Канаде, Австралии и Новой Зеландии позволила этим странам стать наиболее важными поставщиками зерна в мире.

В последующем развитие мирового рынка зерна, межконтинентального импорта и экспорта, совершенствование транспортных средств и разработка новых эффективных методов обработки и хранения оказались гораздо более важными шагами вперед, чем все нововведения предыдущих столетий вместе взятые. Мировая торговля зерном извлекала выгоду от использования все более крупных судов. Усовершенствованные методы транспортировки не только позволили перевозить зерно, но также предоставили возможность планировать закупки в соответствии со спросом потребителей.

Это вызвало потребность в достаточно больших, современных средствах обработки зерна. Таким образом, для выгрузки зерна и других сыпучих продуктов из современных гигантских судов необходимо оборудование высокой производительности. Выпускаются нории, ленточные и скребковые конвейеры, весовое оборудование и тому подобное, поэтому производительность 1000–1500 т/ч уже не является исключением.

1.3 Характеристика хлебоприемных предприятий

Элеваторная промышленность призвана обеспечить бесперебойную приемку,

послеуборочную обработку, рациональное размещение и хранение зерна, поступающего в государственные ресурсы, а также хранение и переработку зерна на основе договоров с владельцами и частными производителями. Для размещения принятого зерна организована сеть зернохранилищ как в местах производства зерна, так и в местах его потребления. Необходимость зернохранилищ и значительные размеры их вместимости обусловлены сезонностью поступления зерна и равномерным расходом его в течение всего года. В целом по стране зерно заготавливают в течение 2...3 месяцев, а потребляют на протяжении всего года, т.е. зернохранилища осуществляют единый государственный хлебооборот и дают возможность свободно маневрировать хлебными запасами.

На элеваторную промышленность возложены следующие основные обязанности:

- принимать зерно в зависимости от района выращивания в течение 15...30 дней;
- обрабатывать зерно (очищать, сушить, вентилировать и др.); на послеуборочную обработку зерна приходится более 30% всех трудовых затрат при возделывании зерновых;
- длительно хранить зерно (в зависимости от качества и его назначения);
- принимать от семеноводческих хозяйств сортовое семенное зерно, семена трав, гибридные и сортовые семена кукурузы, обрабатывать их, хранить, снабжать ими потребителя;
- транспортировать зерно в районы потребления и экспорта;
- обеспечивать зерном необходимого качества перерабатывающие предприятия (мукомольные, крупяные и др.);
- хранить государственные запасы на случай неурожая, стихийных бедствий и др.

Зернохранилищами располагают не только хлебоприемные, но и зерноперерабатывающие предприятия. Они могут включать в свой состав элеваторы, зерновые склады, металлические силосы.

Проектирование и строительство хлебоприемных предприятий осуществляются на основании технико-экономических обоснований. На выбор района и точки расположения хлебоприемного предприятия оказывают влияние много факторов: объемы и расстояние доставки зерна, наличие автомобильных, железнодорожных и водных путей, наличие населенных пунктов, источники энергоснабжения и водоснабжения и др.

Действующая сеть хлебоприемных предприятий является довольно разветвленной и включает железнодорожные станции, пристани, города, районные центры и другие населенные пункты. Характеристику хлебоприемных предприятий, их развитие и экономическую оценку определяют с учетом выполняемых функций, географического расположения, характера работы и др.

В системе хлебопродуктов имеются следующие предприятия:

- 1) элеваторы – это предприятия для хранения и обработки зерна, на которых основными производственными объектами являются зерновые элеваторы;
- 2) хлебоприемные предприятия, на которых вся или основная часть вместимости состоит из зерновых складов;
- 3) реализационные базы – предприятия для снабжения мукой и крупой близлежащих потребителей (в их состав входят склады);

- 4) кукурузообрабатывающие заводы для подготовки гибридных и сортовых семян кукурузы;
- 5) мукомольные заводы – предприятия для производства муки;
- 6) крупяные заводы – предприятия для производства крупы;
- 7) комбикормовые заводы – предприятия, предназначенные для производства комбикормов и белково–витаминных добавок (на мукомольных, крупяных и комбикормовых заводах основными производственными объектами являются элеватор, перерабатывающий цех и склад готовой продукции);
- 8) комбинаты хлебопродуктов (наиболее крупные из вышеперечисленных производственных объектов; могут включать в свой состав элеваторы и зерновые склады, мукомольные, комбикормовые или крупяные заводы, склады готовой продукции).

В зависимости от расположения хлебоприемных предприятий (элеваторов) они могут быть линейными (на линиях железных дорог), пристанскими (на речных пристанях), глубинными (расположенными вдали от железных дорог и пристаней).

По характеру работы хлебоприемные предприятия (элеваторы) можно разделить следующим образом:

- заготовительные, основное назначение которых производить приемку зерна от хозяйств–производителей, формировать однородные партии, обрабатывать, хранить и отгружать по назначению;
- перевалочные, основное назначение которых производить приемку и перевалку зерна с одного вида транспорта на другой (с воды на железную дорогу или наоборот, с железной дороги узкой колеи на железную дорогу обычной колеи). На этих предприятиях зерно обрабатывают и хранят;
- базисные, основное назначение которых – хранение крупных партий зерна. На этих предприятиях, помимо приемки и отгрузки, осуществляют очистку и сушку зерна. Базисные предприятия в ряде случаев выполняют функции заготовительных предприятий (элеваторов);
- портовые, основное назначение которых – приемка с железнодорожного транспорта крупных партий зерна и отгрузка его на морские суда. Обработка осуществляется в основном до необходимой кондиции;
- фондовые, основное назначение которых – длительное хранение (несколько лет) стратегических запасов зерна на случай войны или стихийных бедствий;
- производственные, основное назначение которых – приемка зерна, обработка его до кондиции, требуемой для переработки и хранения определенных оперативных запасов зерна;
- хлебные базы, основное назначение которых – приемка зерна, обработка и длительное его хранение.

Базисные, перевалочные и фондовые элеваторы относят к элеваторам второго звена по отношению к заготовительным элеваторам. Они имеют меньшие ёмкость силосных корпусов и грузооборот.

К элеваторам третьего звена относят производственные и портовые элеваторы, имеющие ещё меньшую ёмкость силосных корпусов и грузооборот по сравнению с элеваторами второго звена.

К специальным типам элеваторов относят элеваторы для хранения кукурузы, бобовых, ячменя, семенного зерна.

Основной потребитель зерна – мукомольно–крупяная промышленность и комбикормовая промышленность, которая перерабатывает в муку, крупу и комбикорма

более 80% всего товарного зерна. В качестве сырья зерно используют также в крахмально-паточной, спиртовой, пивоваренной и других отраслях промышленности, где в качестве основных производственных сооружений имеются зернохранилища, оснащенные необходимым технологическим и транспортным оборудованием.

Следует отметить, что вышеперечисленные хлебоприемные предприятия с учетом отмеченных классификационных признаков в отдельных случаях выполняют технологические и транспортные операции, отличные от рассматриваемого хлебоприемного предприятия (элеватора).

1.4 Задачи хранения зерна и зерновых продуктов

Основные задачи хранения зерна и продуктов его переработки следующие: сохранить зерно без потерь в массе или с минимальными потерями; сохранить зерно без ухудшения качества, повысить качество зерновых продуктов; сократить затраты труда и средств на единицу массы зерна при наилучшем сохранении его количества и качества.

Зерно представляет собой живую биологическую систему, в которой протекают разнообразные биохимические процессы; их интенсивность зависит от условий хранения.

Природа потерь количества и качества зерновых продуктов при хранении хорошо изучена. Проф. Л.А.Трисвятский предложил классификацию потерь, по которой их делят на биологические и механические:

Биологические потери:

1. Дыхание.
2. Прорастание зерна.
3. Развитие микроорганизмов.
4. Развитие насекомых и клещей.
5. Самосогревание.
6. Уничтожение грызунами.
7. Уничтожение птицами.

Механические потери:

8. Травмы.
9. Распыл.
10. Просыпи.

На зерно и продукты его переработки отрицательно воздействуют микроорганизмы, находящиеся на поверхности зерен и семян и на других твердых компонентах зерновой массы, а также разнообразные вредители хлебных запасов. Активное их развитие в зерновой массе сопровождается уменьшением количества и ухудшением его качества. Снижается также гигиеническое состояние зерна, так как продукты жизнедеятельности некоторых из них обладают токсическим воздействием на организм человека и животных. Все это определяет необходимость защиты хлебных запасов от активного воздействия микроорганизмов и вредителей. Лишь некоторые потери неизбежны, например расход сухого вещества при дыхании зерна во время хранения и неучтенный распыл вследствие выделения из зерновой массы органических веществ. Однако эти потери при рациональной организации хранения незначительны и могут быть количественно определены на основе норм естественной убыли.

Причинами потерь при неправильном хранении зерна могут быть просыпи, уничтожение его грызунами, птицами, микроорганизмами, а также самосогревание и

проращение.

Потери, которые являются следствием ухудшения качества хранящихся хлебопродуктов, приводят и к количественным потерям. Так, в результате снижения всхожести семян при хранении увеличивается норма высева. Потеря зерном признаков свежести (цвет, запах, вкус) ухудшает качество вырабатываемых из него продуктов. В некоторых случаях зерно становится даже непригодным к использованию на пищевые цели.

В мировом хозяйстве все еще велики количественные потери зерновых продуктов при хранении. Ежегодно 8...10% собранного урожая не доходит до потребителя.

Лекция № 2

2 Свойства сыпучих материалов при взаимодействии с хранилищами и рабочими органами машин

К сыпучим материалам относят зерно и продукты его переработки, семена, некоторые компоненты, используемые при производстве комбикормов и в пищевой промышленности (соль, сахар, мука и т. д.). Они обладают рядом специфических свойств. Особенности поведения сыпучего материала, когда в замкнутом объеме сосредоточена достаточно большая его масса, в обязательном порядке должны учитываться при проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений зерноперерабатывающих предприятий и создании машин для их оснащения. Для студентов специальности 17. 06 согласно учебного плана читается специальная дисциплина, посвящённая свойствам зерна и продуктов его переработки. Здесь же мы рассмотрим некоторые свойства с точки зрения их влияния на процессы в элеваторно – складском хозяйстве.

2.1 Физические свойства зерновых масс

Зерновые, семена масличных культур, продукты очистки имеют определенные физические и механические свойства, и их поведение как сыпучей массы зависит от свободы истечения, размера и формы частиц, плотности, угла естественного откоса, внутреннего и внешнего трения, сцепляемости, влажности, электрического заряда и тому подобное.

По законам физики, в обычных условиях любое вещество существует в определенном состоянии, например в газообразном, жидком или твердом. Жидкое и твердое состояния вещества отличаются следующим:

1. Статическое давление жидкостью передается одинаково во всех направлениях (закон Паскаля) в отличие от твердого вещества, где давление передается только в одном направлении.
2. В отличие от жидкости твердое вещество оказывает значительно большее сопротивление поперечной силе скольжения.
3. При выгрузке на горизонтальную поверхность сыпучая масса образует конус с углом естественного откоса. Жидкость, вылитая на горизонтальную поверхность, образует лужу с углом естественного откоса, равным нулю.
4. Твёрдое вещество при сжатии сохраняет свою форму с силу сцепления.

Таким образом, основные характеристики массы гранулированного продукта представляют собой сочетание характеристик жидкости и твердого тела, т.е. масса обладает свойством “полужидкости”.

Фактически гранулированные продукты упруги и обладают пластической деформацией. Они, подобно жидкости, приобретают форму емкости, в которой хранятся. Но в то же время гранулированные продукты – твердые вещества, так как образуют угол естественного откоса при высыпании продукта на горизонтальную ровную плоскость. Величина их прочности сцепления располагается между обладающим сцепляемостью на молекулярном уровне твердым телом и жидкостью, которая характеризуется меньшей сцепляемостью.

При исследовании физико – механических свойств гранулированных сыпучих материалов их представляют как комплекс очень большого числа мелких твердых частиц, которые могут перемещаться относительно друг друга и таким образом образовывать сыпучую массу.

Характер истечения. Идеальный гранулированный сыпучий продукт состоит из круглых или многоугольных, взаимно не связанных частиц, которые перемещаются под действием силы тяжести. Этот процесс называют характером истечения продукта.

Наиболее показательным методом иллюстрации этого гравитационного потока является использование прозрачного бункера, в который засыпают различные окрашенные горизонтальные слои одинакового продукта.

На рисунке 1 показано шаг за шагом движение различных слоев продукта после открытия разгрузочного клапана бункера с центральным выпускным отверстием. Если этот опыт повторить с другими сыпучими материалами, то станет ясно, что свойства продукта влияют на характер истечения.

Продукты с отличной сыпучестью характеризуются как легкосыпучие, и к ним относятся классические виды зерна – пшеница, кукуруза, семена сои и ячмень.

Сыпучие продукты с менее благоприятным характером истечения называют трудносыпучими; к ним относятся такие, как тапиока, соевый шрот, копра и различные гранулированные сыпучие продукты.

У продуктов, обладающих хорошей сыпучестью, силы тяжести входящих в их состав компонентов незначительны, поэтому сыпучую массу можно легко побуждать к истечению под действием силы тяжести, даже если она была подвергнута уплотнению. При истечении такие материалы разделяются на отдельные частицы. В общем, продукты, обладающие хорошей сыпучестью, представляют мало проблем,

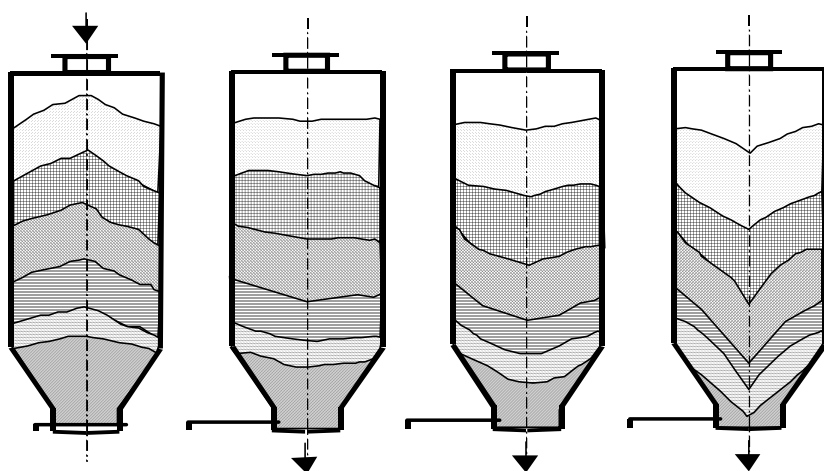


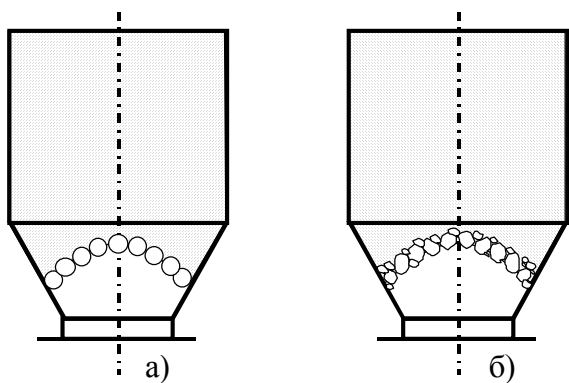
Рисунок 1 Характер истечения сыпучего продукта из бункера или силоса

связанных с выбором и проектированием разгрузочной системы. У трудносыпучих продуктов силы сцепления между частицами достаточно высоки и препятствуют свободному истечению; при истечении таких продуктов образуются комки. Это сопротивление истечению может привести к многочисленным проблемам, например проблеме загрузки, заку-

порки самотеков, сводообразования. Следовательно, свойства истечения продуктов определяют тип системы транспортировки и ее компонентов.

Размер и форма частиц. Истечение сыпучего материала также зависит от вторичной подвижности отдельных частиц в процессе их перемещения.

Очень важны форма и размер отдельных частиц и их внутреннее трение. Из-за свободного пространства вокруг частиц правильной формы (скважности) их укладка не может быть такой, чтобы между ними образовалась механическая связь, и, следовательно, не может быть препятствий свободному движению какой-либо частицы по отношению к соседним. А между частицами неправильной формы или смесью больших и маленьких частиц (пыль) может быть сцепление, которое оказывает влияние на характер истечения (рисунок 2).



а - контакт между частицами одинакового размера в отдельных точках;
б - контакт между крупными частицами различного размера

Рисунок 2 Явление сводообразования в сыпучем зерновом продукте

Частицы различных продуктов, имеющих одинаковый “средний размер”, могут проявлять различные характеристики при обработке и транспортировании. Наиболее простой и в то же время эффективный метод классификации частиц по размеру является метод механического просеивания.

В общем случае, сыпучие продукты, не содержащие частиц размером менее 0,25 мм, могут рассматриваться как несвязанные, легкосыпучие продукты. Частицы продукта более крупного размера без частиц меньшего размера, действующих в качестве связующих компонентов, имеют тенденцию вести себя пассивно и не создают препятствий. Другими словами, характеристики истечения сыпучего продукта в основном определяются содержанием в нем мелких частиц.

Плотность и объёмная плотность. Плотность гранулированного продукта представляет собой плотность, определенную без учета влияния любого сжатия продукта. Это положение имеет место, например, при плотной укладке гранулированного продукта в небольшом контейнере. Очевидно, что объёмная плотность зависит от состояния материала, т.е. плотности частиц, формы частиц и от укладки или расположения частиц относительно друг друга. Со временем в результате переориентации или оседания воздух выходит из сыпучей массы, уменьшается объем, занимаемый данной массой, и увеличивается объёмная плотность. Её величина может быть на 20% больше, чем обычная плотность. Вес единицы объёма зерна в спокойном состоянии называют “натурой” зерна.

Для определения объёмной плотности известное количество продукта осторожно насыпают в мерный цилиндр и измеряют массу. Если постучать основанием цилиндра 12 раз, то можно получить объёмную массу осевшей сыпучей массы путем деления массы образца на новый объем. Увеличение плотности укладки продукта обычно снижает способность продукта к истечению. При проектировании силосов необходимо учитывать эту повышенную объёмную плотность; “средняя плотность” представляет собой величину между максимальной плотностью в нижнем слое и минимальной плотностью в верхнем.

Угол естественного откоса, сыпучесть. При истечении гранулированного продукта через небольшое отверстие на ровную горизонтальную поверхность он будет накапливаться в виде конуса. Угол между горизонталью и образующей этого конуса называют углом естественного откоса α (рисунок 3). Каждый продукт имеет свой угол естественного откоса, например пшеница – 25°, овес – 27°, кукуруза – 27°, ячмень – 28°.

Размер частиц сыпучего материала, состоящего из частиц одного размера и правильной формы, легко установить, взяв за основу самый большой линейный размер. Нередко частицы, составляющие основную массу сыпучего продукта, отличаются по размеру и форме. Это значительно затрудняет получение одной величины, которая бы описывала размер частицы. Для частиц неправильной формы длина, толщина и диаметр имеют неопределённое значение. Чтобы представить размер частицы неправильной формы одним показателем, наиболее часто используют “средний размер”. Однако опыт показал, что частицы различных продуктов, имеющих одинаковый “средний размер”, могут проявлять различные характеристики при обработке и транспортировании. Наиболее простой и в то же время эффективный метод классификации частиц по размеру является метод механического просеивания.

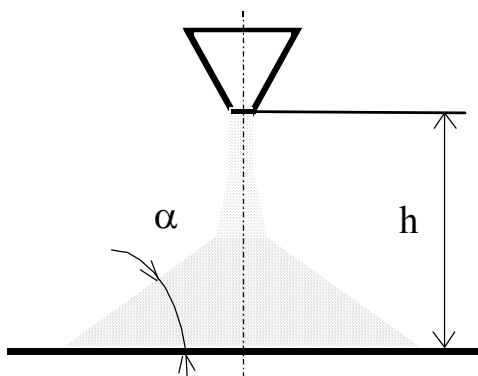


Рисунок 3 Схема экспериментального определения угла естественного откоса сыпучего продукта

Угол естественного откоса – полезный показатель способности продукта к истечению; обычно, чем он меньше, тем легче истечение продукта. Необходимо учитывать, что, хотя угол естественного откоса не является основным свойством сыпучего продукта с точки зрения его способности к истечению, он служит характеристикой продукта, используемой при проектировании системы хранения и транспортирования в наклонных желобах и самотёках. Можно использовать следующие величины угла естественного откоса:

очень сыпучий продукт 25 – 30°;

сыпучий продукт 30 – 38°;

достаточно сыпучий продукт 38 – 45°;

связанный или трудносыпучий 45 – 55°;

очень связанный продукт более 55°.

Засорённость зерна снижает его сыпучесть. Самотёчные трубы устанавливают под углом не менее 45°.

Практика показывает, что при заполнении силоса на угол естественного откоса, образующийся на поверхности зерна, также влияют высота падения материала, скорость заполнения и производительность заполнения. Угол естественного откоса определенного продукта приблизительно равен минимальному углу внутреннего трения этого продукта.

Трение продукта (внутреннее и внешнее). Различают два вида трения, а именно: «внешнее трение», которое представляет собой трение зерна о стены силоса, и «внутреннее трение» – трение зерен друг о друга.

На рисунке 4 показан цилиндр без дна, заполненный гранулированным продуктом, который скользит по плоскости АБ. Если S – горизонтальная сила, и N – вертикальная сила, вызываемая силой тяжести продукта и грузом, то коэффициент трения $\mu = S/N$. Поперечное усилие, или усилие скольжения между гранулированным продуктом и плоскостью, представляет сопротивление трения по стене на единицу поверхности гранулированного продукта. Этот показатель называют углом трения о стену μ .

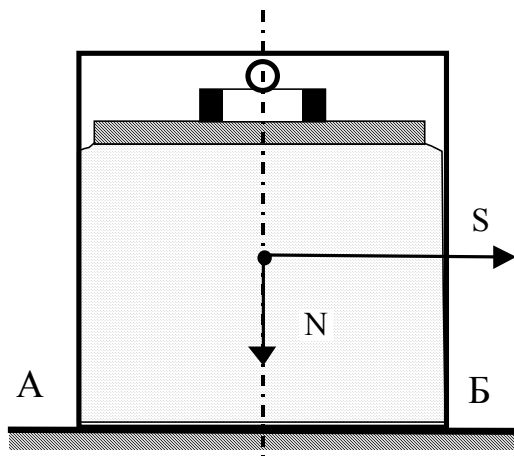


Рисунок 4 Схема определения коэффициента внешнего трения сыпучего продукта

Угол μ очень важен, так как он определяет тип истечения продукта из силоса при выпуске. Угол трения зависит от физических свойств продукта и степени шероховатости стен. В таблицах 1 и 2 даны значения этих коэффициентов. Если плоскость АБ заменить таким же гранулированным продуктом, который находится в цилиндре, мы можем определить внутреннее трение зерен. Это коэффициент внутреннего трения. В табл. 3 приведены величины угла внутреннего трения для различных культур.

Продукты, обладающие плохой сыпучестью, имеют более высокий коэффициент внутреннего трения, чем продукты с хорошей сыпучестью.

честью.

Таблица 1

Продукт	Угол трения о стену силоса, град.	
	минимальный	максимальный
Пшеница	20	25
Кукуруза	17	22,5
Ячмень	18	24,5
Рис	21,5	31

Таблица 2

Материал стен	Угол трения, град
Окисленный (ржавый) листовой металл	38
Бетон	25
Гладкий листовой металл	15
Материал, покрытый эпоксидной смолой	12
Нержавеющая сталь	8

Таблица 3

Продукт	Угол внутреннего трения, град.	
	минимальный	максимальный
Пшеница	24	26
Кукуруза	26	29
Ячмень	25	29
Рис	24	26

Влажность и гигроскопичность. Частицы гигроскопичных продуктов любую влагу будут поглощать до тех пор, пока не наступит определенное состояние, при котором дальнейшее поглощение невозможно. Влага в этой форме не способствует сцепляемости частиц. У негигроскопичных продуктов любая влага будет находиться на поверхности частиц, что может вызвать их сцепление (свободная или поверхностная влага). Большинство зерновых продуктов обладают вторым свойством.

Различают четыре состояния зерна по влажности – сухое, средней сухости, влажное и сырое. В первых двух состояниях почти нет свободной влаги. Поэтому его можно хранить длительное время. В сыром зерне активизируется процесс дыхания, что приводит к самосогреванию зерна даже при непродолжительном хранении.

Если парциальное давление водяного пара в воздухе равно давлению над зерном, то наступает динамическое равновесие. Влажность в этом состоянии называется равновесной. Величина равновесной влажности зависит от температуры атмосферного воздуха и его относительной влажности. При 60...70% влажности и температуре 20°C равновесная влажность зерна злаковых культур 13...15%, а при влажности 90...100% влажность зерна может достигать 30...35%. При повышении температуры воздуха относительная и равновесная влажности снижаются.

Величина равновесной влажности зависит от химического состава зерна. У семян масличных культур равновесная влажность почти в 2 раза ниже, чем у зерновых, так как жир – не гидрофильное вещество.

Электрический заряд. В результате пневматической или механической транспортировки возможно накопление на частицах электрического заряда. Опыт

показал, что такой заряд может резко изменить характер истечения продукта, обладающего хорошей сыпучестью. Кроме того, электростатические разряды могут явиться причиной взрывов.

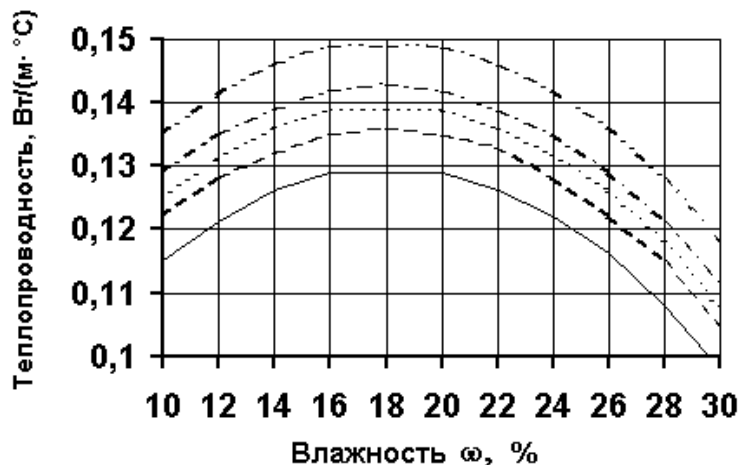


Рисунок 5 Зависимость коэффициента теплопроводности зерна от температуры и влажности: — 0 °С; - - - 20 °С; — · — 30 °С; · · · — 40 °С; - · - · - 50 °С; - - - - 60 °С

а теплоносителем. График изменения коэффициента теплопроводности для пшеницы в зависимости от влажности и температуры зерна показан на рисунке 5.

Теплоёмкость. С увеличением влажности зерна его теплоёмкость возрастает. Если допустить, что вся влага находится в несвязанном состоянии, то теплоёмкость влажного зерна можно рассчитать, как среднюю величину между теплоёмкостью абсолютно сухого зерна и воды по формуле

$$C_3 = \frac{\omega}{100} C + \frac{100 - \omega}{100} C_c,$$

где C_c – удельная теплоёмкость сухого вещества зерна, равная 1,32 кДж/(кг·°С); C – удельная теплоёмкость воды, равная 4,19 кДж/(кг·°С); ω – влажность зерна, %.

Скважность. Она имеет большое значение при сушке. Зависит скважность от однородности зерна, его влажности, формы, шероховатости поверхности, толщины слоя, наличия примесей и др.

Современные сушилки работают на принципе продувания зерновой массы смесью топочных газов с воздухом. Следовательно, культуры, имеющие большую скважность, оказывают меньшее сопротивление при прохождении агента сушки и сушатся быстрее.

На скорость сушки зерна одновременно влияют и другие факторы – строение зерна и его составных частей и др. Скважность определяется как отношение полного объёма, занимаемого зерновой массой, к объёму, занимаемому зерном, и выражается в процентах. Скважность пшеницы и ржи в среднем равна 35...45%, овса – 50...70%, риса – 50...65%, гречихи – 50...60%, зерна кукурузы 35...55%, проса – 30...50%, семян подсолнечника – 60...80%, льна – 35...45%.

При наличии в массе мелких примесей скважность её уменьшается. При увеличении влажности объём зерна и шероховатость возрастают, что повышает его скважность.

Аэродинамическое сопротивление. Толщина зернового слоя, продуваемая агентом сушки или воздухом, в сушилках различных конструкций колеблется в значительных пределах. Сопротивление, оказываемое воздуху, зависит от толщины и плотности зернового слоя, а также от скорости воздуха. Аэродинамическое сопротивление зерна h (Па) определяют по формуле

Теплопроводность. У зерна низкий коэффициент теплопроводности. С повышением влажности зерна возрастает и его теплопроводность. Теплопроводность зерновой массы в 3...5 раз меньше, чем зерновки из-за наличия воздушных промежутков. Однако для процесса сушки главное значение имеет именно теплопроводность отдельного зерна, то есть скорость передачи теплоты от его поверхности внутрь. Воздух в процессе сушки является не теплоизолятором, а теплоносителем. График изменения

$$h = 9,81 \cdot A \cdot \delta \cdot v^n,$$

где A и n – коэффициенты, зависящие от культуры зерна (таблица 4); v – скорость воздуха, отнесённая ко всей площади зернового слоя, м/с; δ – толщина зернового слоя, м.

Таблица 4

	Пшеница	Рож	Овёс	Ячмень	Гречиха	Кукуруза	Рис
A	1,41	1,70	1,64	1,44	1,76	0,67	1,76
n	1,43	1,41	1,42	1,43	1,41	1,55	1,41

Скорость витания. Это скорость, при которой зерно под воздействием воздуха находится во взвешенном состоянии. Для пшеницы скорость витания при температуре воздуха 20°C равна 9,0...11,5 м/с, для ржи – 8,5...10,0 м/с, для овса – 8,0...9,0 м/с, для ячменя – 8,5...10,5 м/с, для семян подсолнечника – 7,0...8,5 м/с, для кукурузы – 12,5...14,0 м/с. При повышении температуры воздуха скорость витания увеличивается, так как уменьшается его плотность. Скорость витания необходима при расчётах пневмогазовых сушилок, и сушилок, работающих по принципу «кипящего» слоя.

2.2 Факторы, влияющие на физические свойства зерновых масс

На хлебоприемные предприятия поступают партии зерна разнообразных культур с показателями качества, удовлетворяющими требованиям государственных стандартов на заготавливаемое зерно или с отклонениями от них в пределах или выше ограничительных кондиций. Размещение партий в хранилищах, методы послеуборочной обработки, режимы и способы их хранения, целевое использование зависят от качества поступивших партий зерна. Зерно формируется в поле, при этом его физические и химико-биологические параметры зависят от многих факторов.

Сортовые особенности зерна. В зависимости от сорта зерна изменяются физические свойства, физиологическая активность зерновой массы, ее мукомольные, хлебопекарные свойства и потребительские достоинства продуктов переработки. Многие сорта зерна и семян характеризуются различной устойчивостью при хранении. Размещение партий зерна на хлебоприемных и зерноперерабатывающих предприятиях, расчет с хлебосдатчиками за зерно и семена проводят с учетом качества, сортовых особенностей и их дальнейшего использования.

Условия развития и формирования зерна. Почвенно–климатические условия, в которых развивается и формируется зерно, определяют размер урожая, химический состав зерна и его качество. Разные отклонения от нормальных условий сопровождаются изменением свойств зерна.

Ранние заморозки приводят к образованию морозобойного, щуплого зерна, которое неустойчиво при хранении. К существенному снижению качества зерна приводит засорение семенами различных сорных растений (полынь, дикий чеснок, ко-риандр), в результате чего требуется срочная очистка.

Условия уборки урожая. В различных климатических зонах России различны условия уборки, что значительно сказывается на его качестве, особенно на его влажности. Повышенная влажность способствует интенсивному развитию микроорганизмов на поверхности зерна и является одной из основных причин самосогревания при хранении.

Условия хранения в первый период уборки, условия транспортирования. При

хранении на открытых токах зерно может увлажниться и даже прорасти. Транспортирование иногда бывает причиной загрязнения зерна.

Все перечисленные факторы приводят к необходимости осуществления 100%-ного входного контроля. Для этого хлебоприемные предприятия имеют соответствующие службы.

3 Теория взаимодействия сыпучих тел с зерновыми силосами и бункерами

Средой, с которой взаимодействуют рабочие органы машины, во многих случаях являются различные сыпучие материалы (зерно, семена технических культур, минеральные удобрения, почва). С развитием общества поток грузооборота сыпучих грузов непрерывно растёт.

Необходимой составной частью машин, предназначенных для работы с сыпучими телами, являются бункеры различной формы и трубы постоянного сечения. К последним относятся цилиндрические бункеры (силосы), кожухи винтовых транспортеров.

Несмотря на повсеместное распространение бункеров и их кажущуюся простоту, теория их рабочего процесса находится в зачаточном состоянии.

3.1 Силы, действующие на сыпучее тело в сосуде (статика)

Краткий исторический обзор.

Первая работа, посвященная этому вопросу, была выполнена в 1882 году И.Робертсом. Исследования проводились с помощью призматических сосудов квадратного и шестиугольного сечения, заполненных зерном. С помощью весов определялось давление на подвижное дно.

Робертс пришел к заключению, что усилие, действующее на дно, значительно меньше веса зерна в сосуде. При любой высоте столба зерна в сосуде, превышающей удвоенную ширину дна, давление на дно остается практически неизменным. Была получена эмпирическая формула для усилия, действующего на дно сосуда:

$$Q = C \cdot A \cdot D \cdot \gamma,$$

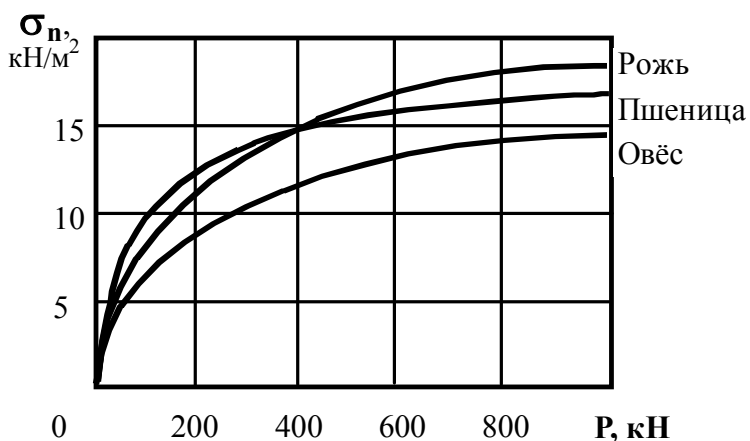


Рисунок 6 Зависимость бокового давления на силос σ_n от веса зерна P

где Q – сила, действующая на дно сосуда; A – площадь дна; D – диаметр вписанной окружности дна; γ – вес единицы объема сыпучего тела (натура); $C = \text{const} = 1,03$ – коэффициент пропорциональности.

Несколько позже М.Фрид провел опыты по определению давления зерна на дно и стенки моделей силосов с квадратным поперечным сечением. Боковые усилия измерялись с помощью поршней с жидкостными манометрами. Он

также отмечает, что давление на дно значительно меньше веса зернового столба (рисунок 6), и объясняет это передачей части веса зерна на стенки сосуда в виде сил, действующих на распор и на трение. Фрид уточняет формулу Робертса.

А.Е.Делакроа провел опыты на силосах элеваторов и пришел к выводу, что давление с глубиной возрастает, но это изменение не линейно и имеет предел. Начиная с некоторой глубины, давление заметно не изменяется.

Попытку теоретического обоснования найденных эмпирических зависимостей предпринял в 1891 году В. Надежин. Сыпучее тело, заключенное в сосуде, он рассматривает как совокупность сводиков заполняющих весь объем сыпучего тела тол-

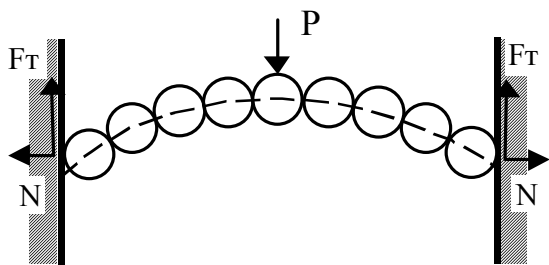


Рисунок 7 Схема действия сил по Надёжену

щиной в одно зерно. Считая вертикальное давление распределённым равномерно по горизонтальной проекции, он приходит к выводу о параболической форме сечения сводиков (рисунок 7).

Основные расчётные формулы.

Далее, на основе "теории сводов" определяются давления сыпучего тела на дно и стенки сосудов, а также рассматриваются вопросы о возможности истечения сыпучего тела из отверстия, о глубине заложения фундамента в сыпучем грунте и т.п. В 1895 году появилась работа Г.Я.Янсена, который считал боковое давление пропорциональным осевому

$$P = \frac{S \cdot \gamma}{4K} \left(1 - e^{-4K \frac{X}{S}} \right)$$

где P – осевое давление в сечении с абсциссой X ; S – сторона квадрата поперечного сечения силоса; γ – натура зерна.

$$K = \frac{P_s \cdot f}{P}$$

где P_s – боковое давление; f – коэффициент трения зерна о стенку силоса.

Последняя формула сейчас является основной при расчете давлений на дно и стены бункера.

Основные задачи динамики сыпучих тел и пути их решения.

Можно наметить три основных типа задач и, в соответствии с этим, три направления в динамике сыпучих тел.

1. Теория движения сыпучих тел в закрытых сосудах, неподвижных или движущихся по каким-либо законам. Сюда относится движение сыпучих тел в трубах и бункерах, неподвижных или совершающих какое-либо движение.
2. Теория движения сыпучих тел в открытых сосудах (лотках, желобах, скребковых элеваторах).
3. Теория обтекания сыпучими материалами твердых тел (мешалки, побудители, рабочие органы машин).

Во всех случаях наблюдается относительное движение частиц всего объёма сыпучего тела, так как при движении сыпучего тела в трубе переменного сечения или бункере прилегающие к стенкам частицы вклиниваются между соседними частицами; т.е., в свою очередь, раздвигают смежные частицы. В результате этого в относительное движение приходят все частицы, заполняющие объём.

Из сказанного следует, что во всех случаях сыпучее тело не может рассматриваться как монолит, движение которого происходит лишь путем смещения частей монолита по отдельным плоскостям скольжения. В связи с этим при исследовании динамики сыпучих тел вряд ли могут оказаться полезными методы статистики сплошной сыпучей среды, предполагающие возможность разрушения лишь по отдельным плоскостям.

Закономерность движения сыпучего тела существенным образом зависит от физико-механических свойств, формы и размеров частиц. Действующие на стенки сосудов (и со стороны стенок на сыпучее тело) силы различны для продуктов, раз-

личающихся, например, только размерами частиц.

Реальные свойства физических тел всегда сложны и противоречивы. Некоторые из этих свойств в определенных условиях являются главными, другие – второстепенными. Поэтому разработка теории какого-либо физического явления обычно начинается со схематизации изучаемого объекта, его упрощения. Получается модель объекта, сохраняющая лишь главные его свойства.

Основное отличие любого сыпучего материала от твердого тела заключается в дискретности его структуры. Возможность (или невозможность) относительного движения зёрен определяет характер движения сыпучего материала. Последний признак позволяет подразделить дискретные материалы на два принципиально различных вида:

- 1) "идеально сыпучие" – материалы, у которых действие сжимающих сил приводит к относительному движению частиц (зерно, гранулированные минеральные удобрения, сухой песок и т.п.);
- 2) материалы, у которых форма и свойства поверхностей частиц таковы, что сжимающие усилия не могут привести к их относительному движению (мука, полова, волокнистые и соломистые материалы и т.п.). Такой дискретный материал при сжатии ведет себя подобно твердому деформируемому телу; схематично его можно уподобить совокупности правильно уложенных кубиков.

В нашем случае это первый вид. В основу теории положена дискретная модель сыпучего тела в виде совокупности отдельных абсолютно твердых шаровых зёрен, имеющих возможность относительного перемещения.

Уже эта простейшая модель позволяет объяснить многие наблюдаемые в реальных условиях явления и не оставляет места для рассуждения об особых свойствах сыпучих тел, появляющихся при движении.

Из перечисленных выше трех типов задач динамики сыпучего тела будем рассматривать только первую.

4 Теория истечения сыпучего материала

Допущения, принятые в упрощенной механической модели:

- сыпучее тело представляет собой совокупность отдельных абсолютно твёрдых шаровых зёрен одинакового диаметра, уложенных правильными слоями;
- в процессе движения материала в бункере шары перемещаются поступательно (не вращаются), скользя друг по другу и по стенкам бункера;
- силы трения шаровых зёрен друг по другу и по стенкам бункера в процессе движения подчиняются закону сухого трения Кулона, силы сцепления отсутствуют;
- характер укладки зёрен в процессе движения не изменяется.

Такая модель описывает "идеально сыпучие" материалы и близка к реальным свойствам зерна, круп, гранулированным минеральным удобрениям, сухого песка.

Метод решения задачи заключается в рассмотрении сил, действующих на выделенный объём сыпучего тела. При этом решаются две задачи динамики:

- а) определение законов движения и истечения сыпучего тела при заданных силах;
- б) определение давлений сыпучего тела на дно и стенки сосудов при заданном движении (в частности в потоке) сыпучего тела.

Виды истечения сыпучих материалов.

Из опытов известно два вида истечения сыпучего материала из бункера: нормальное и гидравлическое (рисунки 8, 9).

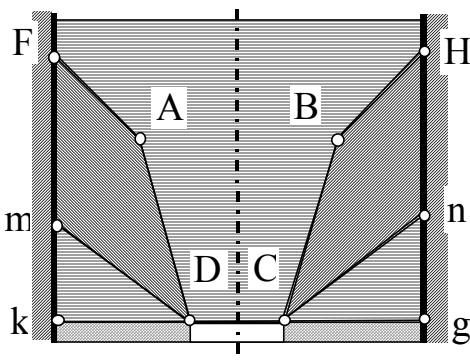


Рисунок 8 Схема нормального истечения

Нормальное истечение. В центральной части бункера над отверстием возникает поток **ABCD** сыпучего материала. По краям бункера появляется застойная зона **BCgH**. Поток пополняется за счет соскальзывания частиц в среднюю часть бункера по откосу **HB**. На поверхности сыпучего материала образуется воронка. В конце процесса истечения образуется "мёртвый" остаток **nC** и **mD**.

Гидравлическое истечение. Материал опускается "всем столбом" без образования воронки на поверхности. Крайние частицы потока **ABCD** скользят по стенкам бункера. Застойная зона отсутствует.

Гидравлическое истечение наблюдается при сравнительно небольших значениях угла α наклона стенок бункера к его оси (для пшеницы $\alpha \leq 30^\circ$).

Перечисленные признаки двух видов истечения свидетельствуют о существенных различиях между ними. Однако между рассматриваемыми видами истечения есть и общее –, поток **ABCD**. Очевидно, задача описания гидравлического истечения более простая, так как форма потока заранее определена стенками бункера. В случае нормального истечения форма потока должна быть предварительно определена с учётом физико-механических свойств материала.

Дифференциальное уравнение движения элементарного объёма сыпучего тела в бункере при гидравлическом истечении

Из движения в трубе потока сыпучего тела выделим двумя бесконечно близкими горизонтальными плоскостями элемент dx . На него действуют следующие внешние силы (рисунок 10): dG – сила тяжести, приложенная в центре масс C эле-

мента; P и $P+dP$ – силы, приложенные к элементу со стороны выше и ниже лежащих слоёв; dR – реакции стенок бункера, приложенные к элементу.

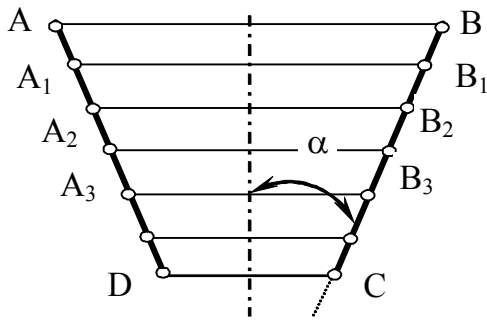


Рисунок 9 Схема гидравлического истечения

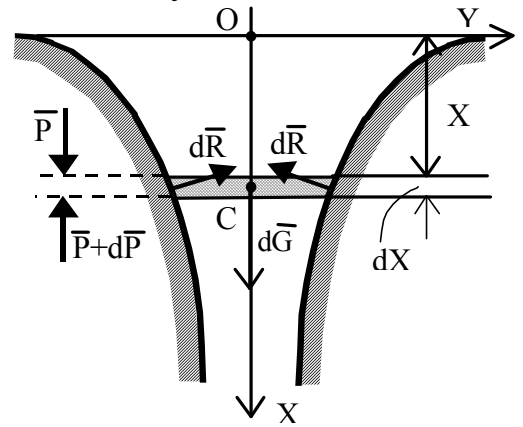


Рисунок 10 Схема сил

Поскольку элемент в горизонтальной плоскости имеет конечные размеры и представляет собой систему материальных точек, рассмотрим движение центра масс элемента. При этом будем считать, что плоские граничные поверхности элемента остаются плоскими и в процессе движения.

Тогда в соответствии с теоремой о движении центра масс системы получим дифференциальное уравнение движения элемента в виде

$$dm \cdot a = dG - dR_x - dP, \quad (1)$$

где dm – масса элемента; a – ускорение центра масс; dR_x – сумма проекций реакций стенок на ось OX .

Пусть γ/g – насыпная плотность материала; $F = F(x)$ – площадь поперечного сечения бункера на глубине X ; $q = q(t)$ – объём, проходящий через какое-либо сечение бункера в единицу времени ("объёмный расход"); v – скорость сыпучего материала в сечении X . Тогда объём элемента $dV = F \cdot dx$. Для величин, входящих в уравнение (1), получим:

$$dG = \gamma \cdot F \cdot dX; \quad dm = \frac{\gamma}{g} \cdot F \cdot dX;$$

$$dR_x = k \cdot P \cdot dX; \quad v = \frac{q}{F}.$$

Формула $dR_x = k(X) \cdot P \cdot dX$ записана ориентировочно, исходя из соображения о том, что распорные усилия, прижимающие частицы к стенкам, возрастают по мере увеличения сил P , сжимающих элемент. При этом растут реакции dR стенок и их проекции dR_x на ось OX .

Площадь $F = F(X)$ поперечного сечения бункера в плоскости, соответствующей рассматриваемому элементу, зависит от его положения $X = X(t)$; в результате эта площадь является функцией времени $F = F[X(t)]$.

Ускорение элемента можно найти, продифференцировав скорость по времени:

$$a = \frac{d}{dt} \left(\frac{q}{F} \right) = \frac{d}{dt} \left\{ \frac{q(t)}{F[X(t)]} \right\} = \frac{\frac{dq}{dt} \cdot F - q \cdot \frac{dF}{dX} \cdot \frac{dX}{dt}}{F^2}. \quad (2)$$

Учитывая, что $\frac{dX}{dt} = v = \frac{q}{F}$, получаем

$$a = \frac{1}{F} \cdot \frac{dq}{dt} - \frac{q^2}{F^3} \cdot \frac{dF}{dX} = a_1 + a_2$$

где $a_1 = \frac{1}{F} \cdot \frac{dq}{dt}$; $a_2 = \frac{q^2}{F^3} \cdot \frac{dF}{dX}$.

В момент открытия сыпучий материал неподвижен ($q = 0$), следовательно, $a_2 = 0$ и $a = a_1$. При установившемся истечении $q = \text{const}$, следовательно, $a_1 = 0$ и $a = a_2$. В процессе неустановившегося истечения $a_1 \neq 0$ и $a_2 \neq 0$.

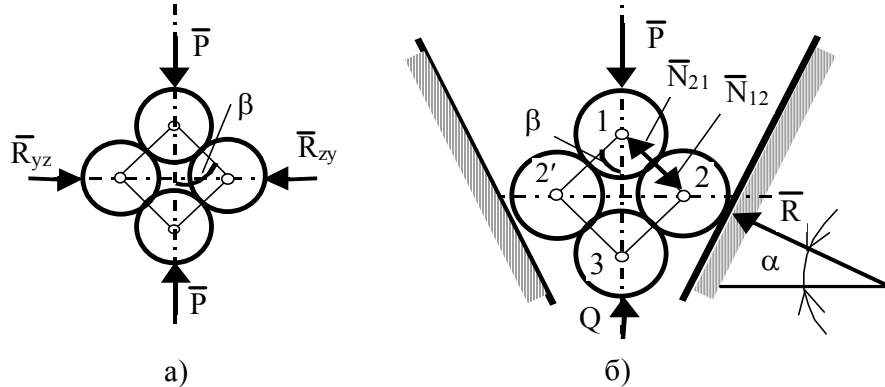
После подстановки значений величин в уравнение (1) оно приводится к виду

$$\frac{dP}{dX} + K \cdot P = \gamma \cdot F - \frac{\gamma}{g} \cdot \frac{dq}{dt} + \frac{\gamma \cdot q^2}{g \cdot F^2} \cdot \frac{dF}{dX}. \quad (3)$$

Принятая нами при выводе уравнения (3) модель сплошной "сыпучей среды" не объясняет механизма передачи усилий в сыпучем материале, следствием чего является неопределенность коэффициента K . Наличие неизвестной функции $K = f(X)$ в уравнении делают невозможным интегрирование уравнения (3).

Для раскрытия этой неопределённости рассмотрим механическую модель сыпучего тела как дискретного материала.

Дискретная модель сыпучего тела.



а – схема сил, действующих на частицы, подобна параллелограмму;

б – система частиц при условии равновесия в бункере

Рисунок 11 Расчётная схема модели сыпучего тела

Пусть, как было принято ранее:

- а) сыпучий материал состоит из одинаковых абсолютно твёрдых шероховатых шаров, уложенных правильными слоями;
- б) в процессе движения шары не вращаются (движутся поступательно, скользя по стенкам и друг по другу);
- в) силы "внешнего" трения шаров о стенки и "внутреннего" трения между шарами при скольжении подчиняются закону Кулона.

В рассматриваемом случае группы шаров образуют как бы шарнирно-рычажные механизмы. Соотношение сил в таком механизме определяется способом укладки шаров – углом укладки β между вертикальной осью и общей нормалью к шарам в точке их соприкосновения (рисунок 11).

Соотношение между силами Q и P при равновесии абсолютно гладких невесомых шаров 1, 2 и 3 в суживающемся бункере найдём из уравнений статики:

- 1) $\sum X_i^{(1)} = P - n \cdot N_{21} \cdot \cos \beta = 0$;
- 2) $\sum X_i^{(2)} = N_{12} \cdot \cos \beta - N_{32} \cdot \cos \beta - R \cdot \sin \alpha = 0$;
- 3) $\sum Y_i^{(2)} = N_{12} \cdot \sin \beta + N_{32} \cdot \sin \beta - R \cdot \cos \alpha = 0$;

$$4) \Sigma X_i^{(3)} = n \cdot N_{23} \cdot \cos \beta - Q = 0;$$

где n – число шаров 2, 2', ..., и т.д., образующих промежуточный кольцевой слой, прилегающий к стенкам бункера; $N_{12} = N_{21}$ и $N_{23} = N_{32}$ – нормальные реакции шаров друг на друга.

Из первого и четвертого уравнений находим реакции N_{12} и N_{23} .

Подставив значения этих сил во второе и третье уравнения и исключив реакцию стенок R , получим:

$$\frac{Q}{P} = \frac{1 - \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{1 + \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}.$$

Соотношение между силами Q и P , как нетрудно убедиться, не зависит от числа n шаров 2, 2', ... и т.п. при равномерном распределении шаров этого слоя по контуру сечения.

Схемы сил, действующих на шары 1, 2 и 3 с учетом сил трения скольжения ("внутреннего" трения между шарами и "внешнего" трения шаров о стенку бункера) изображены на рисунке 12.

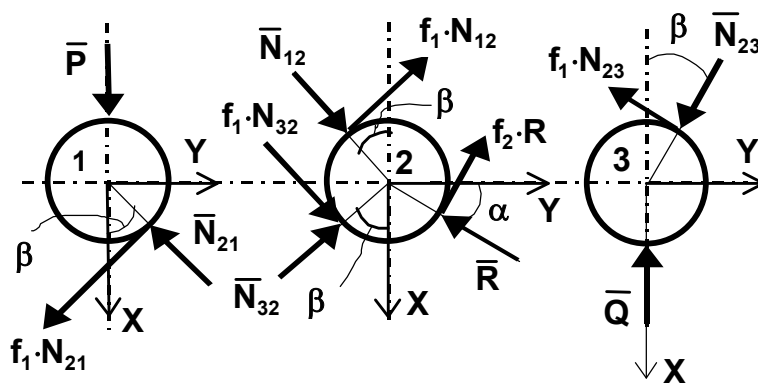


Рисунок 12 Схема сил, действующих на отдельные частицы

Направления сил внутреннего трения обусловлены "вклиниванием" шаров 2 в промежутки между шарами 1 и 3 вследствие движения слоя шаров в сторону сужения трубы.

Уравнения равновесия шаров с учетом трения имеют вид:

1. $X_i(1) = P - n \cdot N_{21} \cdot \cos \beta + f_1 \cdot n \cdot N_{21} \cdot \sin \beta = 0;$
2. $X_i(2) = (N_{12} - N_{32}) \cdot \cos \beta - f_1 \cdot (N_{12} - N_{32}) \cdot \sin \beta - R \cdot \sin \alpha - f_2 \cdot R \cdot \cos \alpha = 0;$
3. $Y_i(2) = (N_{12} - N_{32}) \cdot \sin \beta + f_1 \cdot (N_{12} - N_{32}) \cdot \cos \beta - R \cdot \cos \alpha - f_2 \cdot R \cdot \sin \alpha = 0;$
4. $X_i(3) = n \cdot N_{23} \cdot \cos \beta - f_1 \cdot n \cdot N_{23} \cdot \sin \beta - Q = 0.$

Исключив из этих уравнений силы $N_{12} = N_{21}$, $N_{23} = N_{32}$ и R , получим соотношение между силами Q и P с учетом трения:

$$\frac{Q}{P} = \frac{1 - \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \cdot \operatorname{tg}(\beta + \psi)}{1 + \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \cdot \operatorname{tg}(\beta + \psi)} \quad (4)$$

где $\varphi = \operatorname{arctg} f_2$ – угол внешнего трения о стенку бункера; $\psi = \operatorname{arctg} f_1$ – угол внутреннего трения между шарами.

Таким образом, сила Q , приложенная к шару 3, меньше "движущей" силы P . Уменьшив силу Q до нуля, придём к условию самоторможения шаров $Q \leq 0$, при выполнении которого никакая сила P не сдвинет шары с места даже при отсутствии противодействия Q .

Условие самоторможения, как следует из соотношения (4), имеет вид

$$\varphi + \alpha + \beta + \psi > 90^\circ.$$

При выполнении этого условия шары не могут скользить по стенкам трубы. Гидравлическое истечение невозможно. Соответственно, условие возможности скольжения шаров по стенкам (условие гидравлического истечения) может быть записано в виде:

$$\varphi + \alpha + \beta + \psi \leq 90^\circ.$$

Вычтя по единице из левой и правой части соотношения (4), найдём проекцию $\Delta R_x = Q - P$ реакций стенок рассматриваемого слоя на ось трубы:

$$\Delta R_x = \frac{2 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \cdot \operatorname{tg}(\beta + \psi)}{1 + \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \cdot \operatorname{tg}(\beta + \psi)} \cdot P.$$

Переходя от прерывистого ("дискретного") расположения реакций стенок вновь к непрерывному (в пределах толщины слоя Δx на рис.10), полагаем

$$\frac{dR_x}{dX} = \frac{\Delta R_x}{\Delta X},$$

где $\Delta = 2 \cdot d \cdot \cos \beta$ – расстояние между шарами 1 и 3 (см. рисунок 11); d – диаметр шара.

Тогда $dR_x = \frac{\Delta R_x}{\Delta x} \cdot dX$, и для модуля силы dR_x получим

$$dR_x = \frac{-\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \cdot \operatorname{tg}(\beta + \psi)}{[1 + \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \cdot \operatorname{tg}(\beta + \psi)] \cdot d \cdot \cos \beta} \cdot P \cdot dX. \quad (5)$$

Сравнивая формулы (2) и (5) видим, что

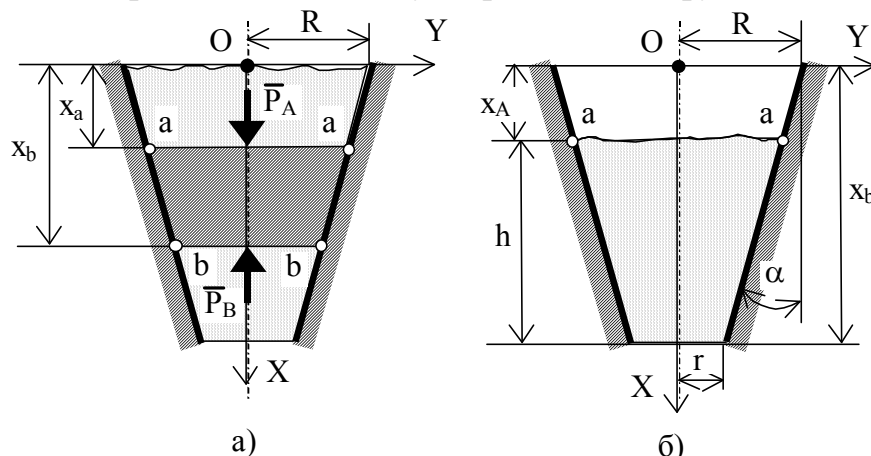
$$K(x) = \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \cdot \operatorname{tg}(\beta + \psi)}{[1 + \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \cdot \operatorname{tg}(\beta + \psi)] \cdot d \cdot \cos \beta}. \quad (6)$$

В формуле (6) величины d , φ и ψ считаем постоянными; угол β при беспорядочной укладке большого числа шаров (если эта беспорядочность сохраняется в процессе движения) также остаётся постоянным. Может изменяться только угол α наклона стенок бункера к его оси OX . Если, в частности, $\alpha = \text{const}$, то и $K = \text{const}$. Коэффициент K , очевидно, постоянен у бункеров цилиндрической и конической форм.

Закономерности гидравлического истечения из конических бункеров.

Рассмотрим сначала движение конечного объёма несжимаемого тела, заключённого между плоскостями $a-a$ и $b-b$ в коническом бункере (рисунок 13, а). К концевым сечениям приложены соответственно силы P_a и P_b .

Проинтегрируем уравнение (3) по переменной X в пределах от X_a до X_b для данного момента времени ($t = \text{const}$). В данный момент времени расход несжимаемого материала во всех сечениях одинаков ($q = \text{const}$; $q' = \text{const}$). Поэтому входящие в уравнение величины K , γ , g , q , q' при интегрировании по X будем считать постоянными. Площадь F поперечных сечений бункера является функцией X :



- а) движение конечного объёма в бункере; б) истечение сыпучего тела из бункера
Рисунок 13 Схема для вывода уравнений движения сыпучего тела в бункере

$$F = \pi \cdot y^2 = \pi \cdot (R - \xi \cdot x)^2;$$

$$\frac{dF}{dx} = -2 \cdot \pi \cdot \xi \cdot (R - \xi \cdot x),$$

где $\xi = \operatorname{tg} \alpha$; $y = R - \xi \cdot x$.

Таким образом, правая часть уравнения (3) является некоторой функцией X :

$$\gamma \cdot F - \frac{\gamma}{g} \cdot q' + \frac{\gamma \cdot q^2}{g \cdot F^2} \cdot \frac{dF}{dx} = Q(x).$$

Уравнение (3) может быть переписано таким образом:

$$\frac{dP}{dx} + K \cdot P = Q(x). \quad (7)$$

Общее решение линейного уравнения первого порядка (7) имеет вид

$$P = e^{-kx} \left[\zeta + \int Q(x) \cdot e^{kx} \cdot dx \right],$$

или

$$P \cdot e^{kx} - \int Q(x) \cdot e^{kx} \cdot dx = \zeta. \quad (8)$$

Выполнив интегрирование в равенстве (8), получим в левой его части некоторую функцию переменных X и P :

$$f(x, P) = \zeta.$$

Приравняв значения левой части выражения (8) при $x=x_a$, $P=P_A$ и при $x=x_b$, $P=P_B$, получим функциональную зависимость между силами P_A и P_B , приложенными к выделенному объёму, абсциссами X_A и X_B его концевых сечений и движением выделенного объёма, характеризуемым величинами q и q' :

$$f_1(q, q'; X_A, X_B; P_A, P_B; K, \gamma, g, \xi, R) = 0.$$

Разделив найденную зависимость на коэффициент при q' , можно переписать её в виде

$$\frac{dq}{dt} + D(X_A, X_B) \cdot q^2 = E(X_A, X_B) + F(X_A, X_B; P_A, P_B), \quad (9)$$

где коэффициенты D , E и F зависят от переменных (при движении) величин X_A , X_B , P_A , P_B ; а также постоянных K , γ , g , ξ , R .

Уравнение (9) можно назвать дифференциальным уравнением движения конечного объёма сыпучего тела в бункере.

Переходя к исследованию законов свободного гидравлического истечения сыпучего тела из конического бункера (рисунок 13, б), полагаем в уравнении (9) $X_B = H = \text{const}$; координата X_B из числа переменных переходит в разряд постоянных величин.

Отсутствуют также силы, приложенные к концевым сечениям объёма ($P_A=0$; $P_B=0$). При этом $F(X_A, H, 0, 0) = 0$. Уравнение (9) становится дифференциальным уравнением истечения сыпучего тела из конического бункера:

$$\frac{dq}{dt} + D(X_A) \cdot q^2 = E(X_A). \quad (10)$$

Из последнего уравнения следует, что закономерность истечения $q=q(t)$ зависит от высоты столба h сыпучего тела в бункере (поскольку $X_A = H - h$).

Рассмотрим истечение мелкозернистого ($d \approx 0$) сыпучего материала. Найдём

пределы функций $D(X_A)$ и $E(X_E)$ при $d \rightarrow 0$. Они оказываются постоянными:

$$\lim_{d \rightarrow 0} [D(X_A)] = \frac{2\xi}{\pi \cdot (R - \xi \cdot H)^3} = \frac{2\xi}{\pi \cdot r^3} = \text{const};$$

$$\lim_{d \rightarrow 0} [E(X_A)] = \pi \cdot (R - \xi \cdot H)^3 \cdot g = \pi \cdot r^3 \cdot g = \text{const}.$$

Уравнение истечения (10) получает вид

$$\frac{dq}{dt} + \frac{2\xi}{\pi \cdot r^3} \cdot q^2 = \pi \cdot r^3 \cdot g$$

Если принять начальные условия при $t=0$ и $q=0$ (т.е. в момент открытия отверстия материал был неподвижен), то для объёмного расхода получим формулы:

$$q = \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot r}{2\xi}} \cdot \text{th}(\omega t); \quad (11)$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2\xi \cdot g}{r}}.$$

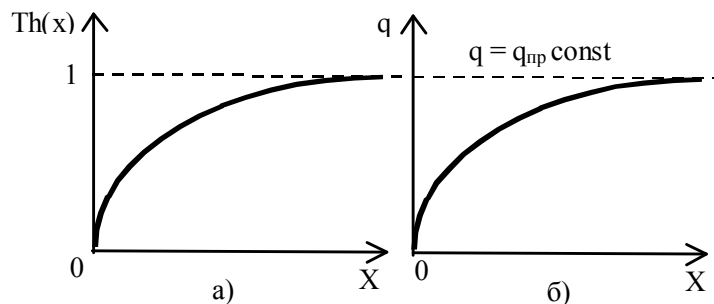
Скорость истечения в отверстии найдём, разделив расход q на площадь отверстия $\pi \cdot r^2$;

$$V_0 = \sqrt{\frac{g \cdot r}{2\xi}} \cdot \text{th}(\omega t) \quad (12)$$

Функция "гиперболический тангенс" – $\text{th}(x)$, как известно из математики, определяется выражением

$$\text{th}(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}. \quad (13)$$

При $x=0$ функция $\text{th}(x)$ равна нулю; при $x \rightarrow \infty$ $\text{th}(x) \rightarrow 1$. График гиперболического тангенса показан на рис.14, а. Аналогичный вид имеет и график $V_0 = V_0(t)$.



а – гиперболический тангенс;
б – расход через отверстие бункера
Рисунок 14 Кривые изменения функций

Предельные значения расхода и скорости истечения мелкозернистого материала определяются из формул (11) и (12) при $\text{th}(\omega t) = 1$:

$$q_{np} = \pi \cdot r^2 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot r}{2\xi}};$$

$$V_{onp} = \sqrt{\frac{r \cdot g}{2\xi}}.$$

Из последних формул видно, что предельные значения расхода и скорости возрастают с увеличением радиуса отверстия и уменьшаются при возрастании угла

$\alpha = \arctg(\xi)$. От высоты h столба сыпучего тела над отверстием и углов трения φ и ψ скорость гидравлического истечения сыпучего мелкозернистого тела **не зависит!**

Величина ω в формулах (15)..(16) характеризует темп приближения к предельно скорости. Чем больше значение ω , тем больше аргумент ωt (при данном t) и тем ближе значение $\text{th}(\omega t)$ к единице. Из формулы (11) следует, что величина ω возрастает с увеличением ξ и уменьшением r .

Величины $V_{0 \text{ пр}}$ и ω обратно пропорциональны друг другу, как это следует из формул (11) и (13):

$$\omega \cdot V_{0 \text{ пр}} = g = \text{const.}$$

При определении времени истечения сыпучего материала из конического бункера исходим из соотношения

$$q = -\frac{dV}{dt},$$

где V – текущий объём сыпучего материала, находящийся в данный момент в бункере.

Подставив в это соотношение q из выражения (11), получим дифференциальное уравнение первого порядка

$$\frac{dV}{dt} = -\pi \cdot r^2 \sqrt{\frac{g \cdot r}{2\xi}} \cdot \text{th}\left(\sqrt{\frac{2\xi \cdot g}{r}} \cdot t\right),$$

решение которого (при условии $t_n = 0$, $V_n = V_0$) даёт зависимость между временем t и текущим объёмом V :

$$t = \sqrt{\frac{r}{2\xi \cdot g}} \cdot \left[\frac{2\xi}{\pi \cdot r^3} (V_0 - V) + \ln \left(1 + \sqrt{1 - e^{\frac{-4\xi}{\pi \cdot r^3} (V_0 - V)}} \right) \right].$$

Если в этой формуле положить $V = 0$, а первоначальный объём выразить через r , R , $\xi = \text{tg}\alpha$, а $V_0 = \frac{\pi}{3\xi}(R^3 - r^3)$, то получим время T истечения всего объёма в виде

$$T = \sqrt{\frac{r}{2\xi \cdot g}} \cdot \left[\frac{2}{3} \left(\frac{R^3}{r^3} - 1 \right) + \ln \left(1 + \sqrt{1 - e^{\frac{-4}{3} \left(\frac{R^3}{r^3} - 1 \right)}} \right) \right].$$

Учитывая, что $\frac{R^3}{r^3} \gg 1$, следовательно,

$$e^{\frac{-4}{3} \left(\frac{R^3}{r^3} - 1 \right)} \approx 0,$$

окончательно получаем время истечения

$$T = \frac{2R^3}{3r^3} \sqrt{\frac{r}{2\xi \cdot g}}.$$

5 Элеваторы и склады

5.1 Классификация зернохранилищ

Классификация по отдельным признакам

Зернохранилища можно классифицировать по ряду показателей, характеризующих способ хранения, степень механизации, расположение, материал, который использовали при строительстве, продолжительность хранения и др.

Зерно можно хранить как в таре, так и без нее, т.е. насыпью. Последнее, в свою очередь, подразделяют на напольное, складское закрожное и силосное хранение. Зерно в таре в настоящее время не хранят, кроме семенного зерна отдельных культур.

Для напольного хранения используют временные хранилища, т.е. бунты на открытых площадках, склады напольного хранения (с горизонтальными или наклонными полами), оборудованные передвижной или стационарной механизацией. Напольное хранение может быть и в многоэтажных складах.

В элеваторной промышленности напольное хранение достаточно широко распространено. К недостатку этого способа следует отнести то, что такое хранение ограничено высотой насыпи зерна (5,0...5,5 м) и, при больших объемах его поступления, требует значительных площадей и, следовательно, больших капиталовложений. Кроме того, зерно в складе не может быть разделено на отдельные секции, поэтому в некоторых случаях при необходимости прибегают к складскому хранению. Однако его применяют в ограниченных размерах и в основном в небольших сельскохозяйственных складах для семенного зерна.

Наиболее прогрессивный способ хранения зерна – силосный, который занимает особое место в элеваторной промышленности. Под силосом понимают такое зернохранилище, у которого высота более чем в 1,5 раза превышает его поперечный размер. Силосное хранение обеспечивает 100%-ную механизацию и наименьший уровень издержек на 1 т грузооборота.

По расположению зернохранилища бывают наземные и подземные. Наземные обладают определенными преимуществами по сравнению с подземными. Наземные хранилища строят на поверхности земли, что позволяет избежать появления грунтовых вод. Такие хранилища не испытывают давления грунта и значительно экономичнее. К недостатку наземных хранилищ следует отнести то, что зерновая масса быстрее изменяет температуру вслед за температурой окружающей среды. Температурный режим при подземном хранении держится почти постоянным (6...10 °С). Однако подземные зернохранилища могут быть построены только в районах с сухими грунтами. Из-за большой стоимости их применяют редко.

Зернохранилища могут быть деревянные, каменные, железобетонные, металлические и пленчатые (пневмонадувные и пневмокаркасные).

Наибольшее распространение при строительстве получили такие материалы, как камень и железобетон. Деревянные зернохранилища, несмотря на свои преимущества (хорошая гигроскопичность, низкая теплопроводность и др.), в настоящее время не строят. Это связано с их большой пожарной опасностью и дефицитом дерева как строительного материала.

Металлические зернохранилища до последнего времени в нашей стране широко не применялись. Это объясняется в основном тем, что металл хорошо проводит

тепло и дорог. В последние годы наряду с железобетонными элеваторами нашли применение металлические силосы вместимостью 1500..3000 т, при строительстве которых в 1,5..2 раза сокращается срок ввода объектов в эксплуатацию и в 2..3 раза снижается трудоемкость строительных работ по сравнению с железобетонными.

Требования, предъявляемые к зернохранилищам

Все требования к зернохранилищам подразделяются на: технологические, конструктивные, эксплуатационные и экономические. В первую очередь зернохранилище должно удовлетворять технологическим требованиям, а именно обеспечивать количественную и качественную сохранность зерна. Биохимические особенности зерновой массы должны учитываться при приемке, обработке, хранении и отпуске. Влажность, температура зерна и развитие микроорганизмов – эти факторы действуют одновременно. Чем больше температура, тем активнее процесс дыхания и развитие микрофлоры. При достижении определенных пределов эти факторы вызывают самосогревание зерновой массы.

Для обеспечения сохранности качества зерна к стенам и полам предъявляют такие требования, как малая теплопроводность и хорошая гигроскопичность. Зернохранилища должны исключать проникновение влаги внутрь помещения. Во избежание проникновения грунтовых вод и увлажнения зерна между фундаментом и стеной прокладывают изоляционный слой. Зерно при хранении не должно нагреваться и подвергаться резким изменениям температуры. В зернохранилищах должны исключаться условия, способствующие развитию вредителей.

Размещение отдельных партий зерна с учетом количественно–качественной характеристики требуют того, чтобы в зернохранилищах были соответствующие силосы, бункера.

Очистка и сушка зерна требуют наличия зерноочистительного и сушильного оборудования. Состав и производительность технологического оборудования должны соответствовать количеству и качеству поступающего зерна.

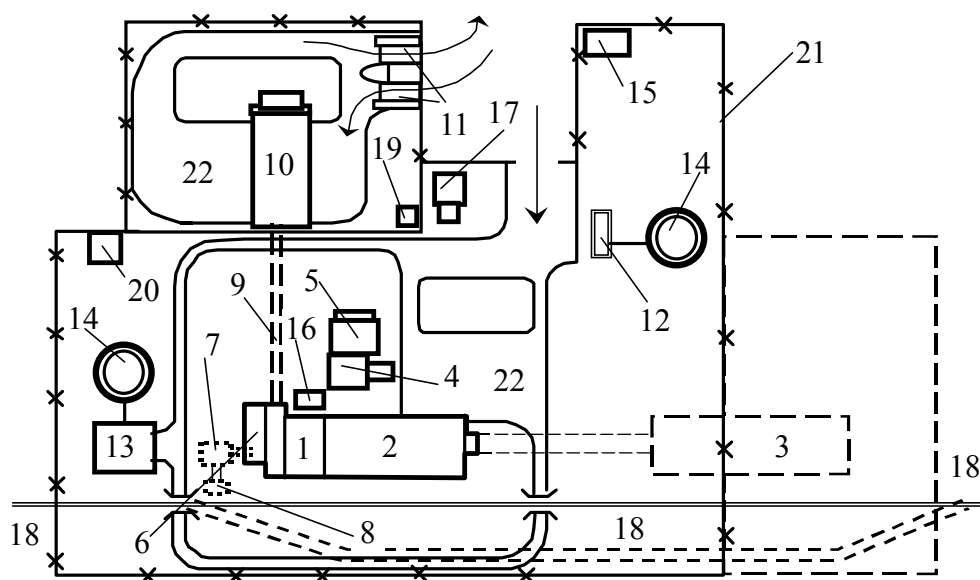
Технологический процесс в зернохранилищах сопровождается выделением пыли и образованием отходов. Следует предусматривать аспирационные установки и специальные бункеры для отходов. Зернохранилище должно быть прочным, противодействовать давлению зерна, ветра и разрушающему действию атмосферных условий.

Особенности зерновой массы как сыпучего материала имеют положительные и отрицательные стороны. Положительно то, что все процессы с зерном можно легко механизировать, а отрицательно – зерно передает давление не только на пол, но и на стены. Поэтому их рассчитывают с учетом этого давления.

Зернохранилища должны иметь хорошие подъездные пути и располагать необходимой мощностью силовой электрической подстанции. В целом, зернохранилища должны быть оптимально экономичны и отвечать требованиям охраны труда, техники безопасности, производственной санитарии и гражданской обороны. Таким образом, это не просто хранилища, а сложное производство, которое необходимо хорошо знать, уметь руководить и управлять всем технологическим процессом.

Общая компоновка сооружений, входящих в состав элеватора

В Большом энциклопедическом словаре дано следующее определение: "ЭЛЕВАТОР (от лат. elevator – поднимающий). Сооружение для хранения больших масс зерна, оборудованное устройствами для приёма, взвешивания, сушки, очистки и отгрузки зерна".



1 – рабочая башня; 2 и 3 – силосные корпуса ёмкостью по 5500 т; 4 – зерносушилка; 5 – теплогенератор сушилки; 6 – силовая подстанция; 7 – подземный резервуар для воды; 8 – приёмный колодец для жидкого топлива; 9 – подземная соединительная галерея; 10 – приёмный амбар на 4 проезда; 11 – автовесы грузоподъёмностью 15 т; 12, 13 – сараи для мотопомпы (средства пожаротушения); 14 – баки для воды; 15 – контора и лаборатория; 16 – камеры для отходов; 17 – погреб для горючего; 18 – железнодорожные пути; 19 – уборная; 20 – камеры для сбора пыли; 21 – забор; 22 – площадка с твердым покрытием

Рисунок 15 План участка элеватора ёмкостью 5500 т

Заготовительные элеваторы регионального масштаба обычно сооружаются в районах, специализирующихся на производстве зерна. Их строительство требует огромных капитальных вложений, а они сами, как правило, являются уникальными сооружениями и носят имя того места, где расположены (Ростовский элеватор, Ставропольский элеватор и т. д.).

Районные элеваторы обычно строятся по типовым проектам и занимают значительно меньшую территорию. Их располагают обычно вблизи железных дорог, автомобильных магистралей или по берегам судоходных рек.

Основными сооружениями всех элеваторов является силосный корпус (их может быть несколько) и рабочее здание, которое часто называют рабочей башней элеватора. Они возводятся единым блоком, причём рабочее здание несколько выше силосного корпуса. На этажах рабочего здания сосредоточено большинство технологического оборудования и основная производственная единица – нории (ковшовые элеваторы). Их количество и производительность определяют основные технические параметры всего элеватора.

В состав элеватора так же входят: весовое хозяйство, зерносушилки, амбары и склады, приёмные и отпускные устройства, силовая подстанция, контора и лаборатория. Часто в состав элеватора входит мельничный корпус или другие производственные единицы для выработки на месте готовых хлебопродуктов (муки, крупы, макаронных изделий, комбикорма и т. п.). Пример плана территории элеватора показан на рисунке 15.

Площадь, на которой разместились все здания и сооружения данного элеватора, составляет 1,3 га, а при расширении элеватора до 11000 т (на рисунке 15 показано пунктиром) необходимая площадь участка увеличивается до 1,6 га. Но это очень

компактный элеватор, так как обычно элеваторы такой вместимости занимают около 4 га.

Любой элеватор в обязательном порядке оснащается противопожарными средствами и резервуарами с запасом воды на случай пожара. На рисунке 15 имеется два подземных резервуара с запасом воды и две мотопомпы, установленные в утеплённых помещениях около каждого резервуара. Приёмный шланг всегда соединён с гидрантом, поэтому мотопомпы всегда готовы к работе. В настоящее время применяются значительно более сложные системы противопожарной автоматики.

5.2 Конструкции силосных корпусов элеваторов

Силосы по свойствам, форме и конструкции своих стен, пола и перекрытия должны удовлетворять большому количеству разнообразных условий. Полностью всем этим условиям не удовлетворяет ни один из известных строительных материалов, но наиболее подходящим на практике оказался железобетон. Большинство элеваторов во всём мире, сколько-нибудь значительные по своей ёмкости и роли в организации хлебооборота, возводятся из железобетона.

Основной способ возведения силосных корпусов в настоящее время – скользящая опалубка. Сборные железобетонные конструкции применяются только при строительстве небольших силосных корпусов производственного назначения.

Сущность метода скользящей опалубки состоит в следующем. Форма собирается на отдельной ровной площадке. В поперечном сечении она повторяет форму стенки силоса, а высота обычно не превышает 1,2 м. Собранный форма устанавливается на подготовленное подсилосное перекрытие, где уже смонтирована часть арматуры стен силоса. Положение формы точно выверяется. По её периметру, на расстоянии 1,5...2,5 м один от другого, устанавливают домкраты и заливают форму бетоном. Через некоторое время, которое меньше времени схватывания бетона, домкраты приводят в действие. Далее процесс подъёма опалубки осуществляется непрерывно со скоростью 1...3 м в сутки. Очень важно, чтобы все процессы: наращивание арматуры стен, равномерная поступательная скорость перемещения опалубки, подливка бетона в опалубку, заделка незначительных дефектов бетона при выходе из-под опалубки, происходили ритмично и без остановок днём и ночью вплоть до самого верха силоса. Далее опалубка переставляется на следующий силос и процесс повторяется.

Приведём несколько примеров скорости строительства элеваторов (к сожалению, в США и Канаде), где применялся метод скользящей опалубки. От себя можно заметить, что по настоящему оценить не только быстроту строительства, но и организацию монтажа, наладки оборудования, может только тот, кто своими глазами видел, как аналогичные работы проводились на "ударных" стройках бывшего Советского Союза.

1. Элеватор в Оуэн–Соунде (Онтарио, Канада). Ёмкость 27 000 т. Земляные работы начаты 13 апреля 1925 г. Первая партия зерна принята на элеватор 13 ноября того же года.

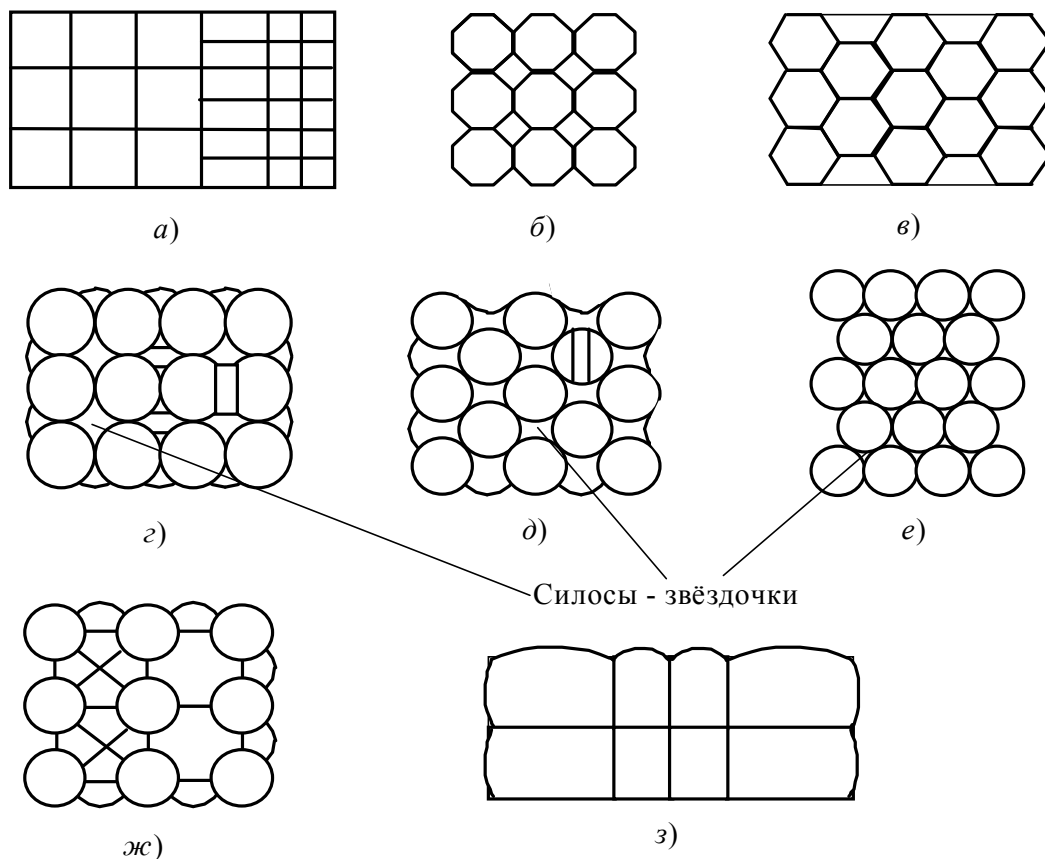
2. Элеватор Санта–Фе в Канзас–Сити. Произведено расширение на 108 000 т. Договор на работы был подписан 8 апреля 1929 г., а 15 июля того же года все работы были закончены и начался приём зерна.

3. Элеватор в Абилене (Канзас, США). Произведено расширение силосов на 6 900 т. Бетонирование было начато 6 июля 1929 г., 29 июля был закончен корпус и немедленно поставлены шнеки, подающие и убирающие зерно, а 30 июля начата эксплуатация.

4. Элеватор в Амарильо (Техас, США) ёмкостью 54 000 т. Работы начаты 2 марта 1934 г., 11 июля был принят первый вагон зерна, а к середине июля элеватор был уже полностью загружен.

Форма железобетонных силосов. Железобетонные силосы могут быть весьма разнообразны по форме – прямоугольные, в виде правильных многоугольников (осо-

бенно шести и восьмиугольников), круглые или вообще в виде какой-либо замкнутой фигуры. Отдельно стоящие силосы используются редко, обычно они бывают в виде того или иного сочетания друг с другом (рисунок 16).



а – прямоугольная; *б* – восьмиугольная; *в* – шестиугольная; *г* – круглая, рядовое расположение силосов; *д* – круглая с вогнутыми или выпуклыми дугами периметровых стен; *е* – круглая, шахматное расположение силосов; *ж* – круглая с прямоугольными вставками; *з* – прямоугольная с наружными выпуклыми стенами

Рисунок 16 Формы силосных сеток

Прямоугольные железобетонные силосы применяются сравнительно редко; шестиугольные и восьмиугольные постепенно почти совершенно вышли из практики современного строительства.

В настоящее время во всём мире применяются главным образом круглые силосы, нередко в том или другом сочетании с силосами, образованными с помощью прямолинейных вставок.

Сетка силосов. В недалёком прошлом наиболее обычным было рядовое или шахматное расположение силосов (см. рисунок 16). По затратам материалов (бетона и железа) обе эти схемы приблизительно равноценны. Только при применении выпуклых дуг для ограничения наружных промежуточных силосов (рисунок 16, *д*) шахматное расположение получает некоторое преимущество.

Переход к более сложным сеткам диктуется главным образом не экономическими, а эксплуатационными соображениями. Расставляя круглые силосы на те или другие расстояния друг от друга, применяя то или другое дополнительное деление промежуточных силосов внутренними стенами, можно добиться силосов различных ёмкостей, требования на которые могут быть предъявлены условиями эксплуатации.

Важным является вопрос о количестве рядов в силосном корпусе. При сооружении корпуса в 1...2 ряда в подсилосном помещении можно располагать всего один транспортёр, но в этом случае при достаточно большой высоте силосов трудно обес-

печить его устойчивость. Кроме того, его длина может оказаться слишком большой. Исходя из этих соображений, в настоящее время число рядов силосов выбирают не менее 3...4.

Пространство между примыкающими друг к другу силосами в силосном корпусе используется в качестве оперативных бункеров. Они носят название *силосы-звёздочки*. По сравнению с обычными их ёмкость невелика. На элеваторе всегда есть потребность в большом количестве небольших объёмов, куда можно было бы загружать различные партии зерна на временное хранение ещё до его обработки перед закладкой на хранение.

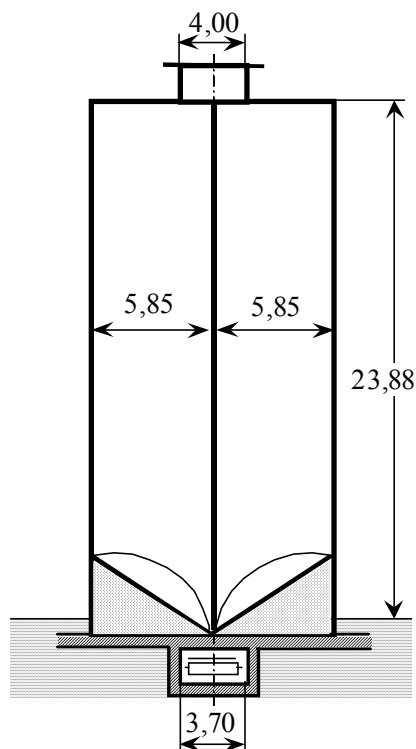


Рисунок 17 Конструкция днища силоса на уровне земли (элеватор на ст. Целина)

Размеры силосов. В большинстве случаев с точки зрения эксплуатации являются более удобными мелкие силосы. Экономические соображения сводятся к тому, чтобы стоимость сооружения была возможно более низкой. Теоретически должен существовать некоторый определённый предел, после которого ни увеличивать, ни уменьшать силосы нет оснований с точки зрения их стоимости. Некоторые исследования в этой области привели к заключению, что стоимость единицы полезной ёмкости силосов уменьшается с увеличением диаметра до 7...8 м. В дальнейшем стоимость силосов остаётся почти постоянной. По данным американского исследователя Л.Г. Мерсерера наиболее экономичными железобетонными силосами являются круглые диаметром 5,7...6,8 м и около 27 м высоты. В настоящее время типовым диаметром силосов принят 6 м.

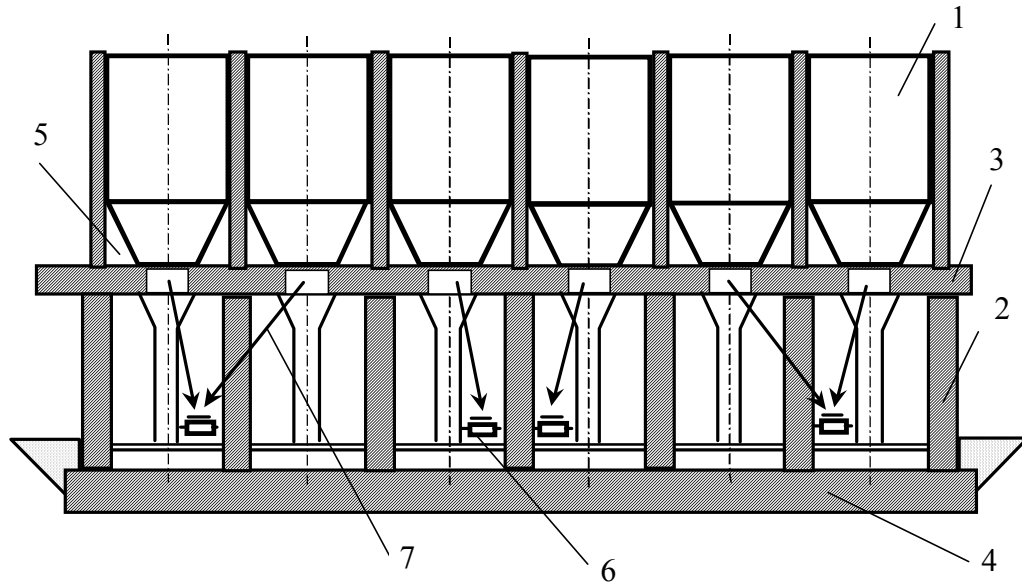
Предельная высота силосов определяется предельной способностью грунта выдерживать определённое давление. В настоящее время круглые силосы строятся высотой 25...35 м. При этих размерах можно обходиться непосредственной передачей давления на грунт среднего качества без применения искусственно-

го основания.

Конструкции днищ круглых силосов. В простейшем случае выпускная воронка днища монтируется в виде бетонной плиты с выпускным отверстием на уровне нулевой отметки. Пространство под днищем заполняется грунтом. Для размещения подсилосного транспортёра устраивается железобетонный тоннель, как показано на рисунке 17. Такие подсилосные помещения просты по конструкции, но в эксплуатации неудобны – в них отсутствует естественный свет и большие трудности вызывает устройство вентиляции.

Лучшие результаты могут быть достигнуты, если выпускные воронки поднять на такую высоту, чтобы под ними образовалось подсилосное помещение, удобное для установки нижних транспортёров, с учётом угла наклона самотёчных труб не менее 36° к горизонту. В этом случае применяются стальные конические или железобетонные воронки. Пример такого подсилосного помещения показан на примере Херсонского элеватора (рис.18). Силосный корпус имеет 6 рядов силосов. Длина силосного корпуса составляет 60 м. Силосы опираются на плиту, которая в свою очередь покоится на колоннах. Снизу колонны опираются на фундаментную плиту. Заподлицо с наружными колоннами устраивается стена с окнами, которая ограждает

подвал. В подсилосном помещении установлено четыре ленточных транспортёра, при помощи которых осуществляется разгрузка силосов. На транспортёры зерно из силосов подаётся самотёками.



1 – силосы; 2 – колонны; 3 – плита подсилосного перекрытия; 4 – фундаментная плита; 5 – забутка силосных воронок; 6 – транспортёры; 7 – самотёки

Рисунок 18 Подсилосное помещение Херсонского элеватора

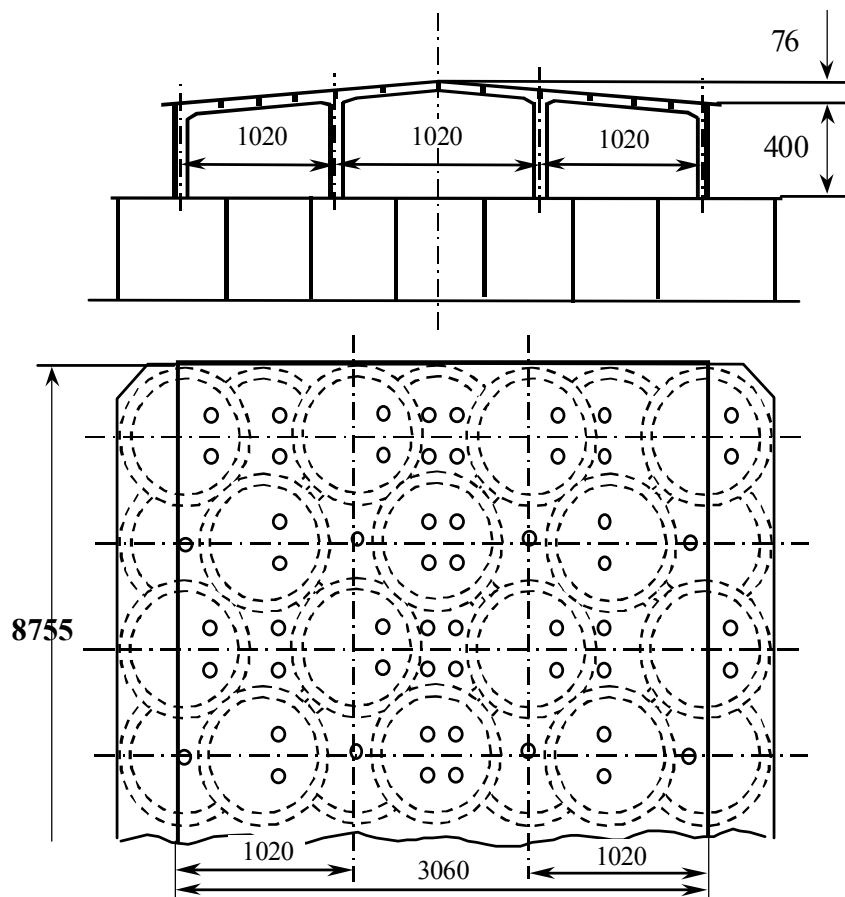


Рисунок 19 Многопролётная надсилосная галерея (ленинградский элеватор)

Надсилосное помещение. Надсилосное помещение (или надсилосная галерея) при железобетонных силосах имеет вид, показанный на рисунке 19. Перекрытие делается по железобетонным рамам однопролётным или многопролётным в зависимости от ширины силосного корпуса. В большинстве случаев надсилосное помещение за-

нимает ширину примерно только до середины крайних силосов, которые имеют самостоятельное перекрытие. В стенах делается большое количество окон с переплётками, открывающимися наружу в целях понижения опасности разрушения здания в случае возникновения взрыва.

В этом помещении устанавливается оборудование (обычно ленточные транспортеры) для распределения зерна, поднимаемого нориями по силосам.

5.3 Рабочее здание элеватора (рабочая башня)

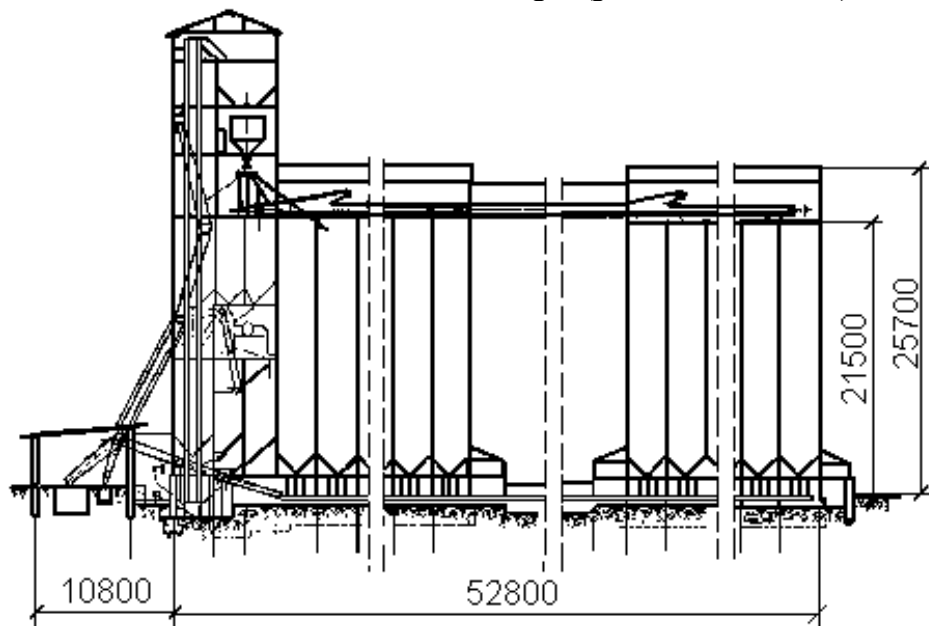


Рисунок 20 Продольный разрез элеватора ёмкостью 5500 т

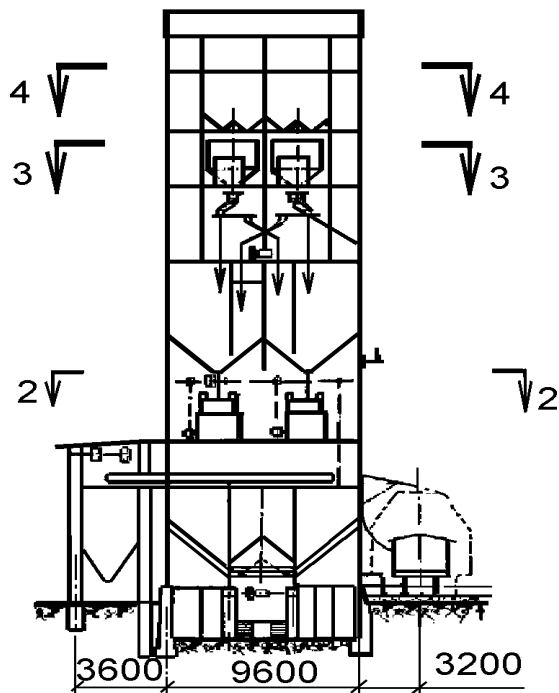


Рисунок 21 Поперечный разрез по башне и зерноочистительному отде-

Рабочее здание элеватора, как правило, примыкает к силосному корпусу и имеет несколько большую высоту, чем силосный корпус. Здесь, в специальных шахтах, устанавливаются основные норрии, а на этажах размещено практически всё технологическое оборудование элеватора, за исключением зерносушилок и устройств приёма и отпуска зерна. Пример компоновки рабочего здания и силосного корпуса показан на рисунке 20. На рисунке 21 показан поперечный разрез по башне и зерноочистительному отделению, а на рисунке 22 планы этажей башни того же элеватора.

Элеватор, представленный на рисунках 20...22 имеет высоту силосного корпуса 25,7 м, а рабочей башни 37,5 м. Ёмкость в тоннах распределяется следующим образом:

42 силоса для хранения зерна.....	4829;
14 бункеров для отпуска на железную дорогу.....	284;
2 бункера для отпуска на автомобили.....	40;
бункера и силосы рабочей башни.....	375;

Итого:.....5528 ≈ 5500

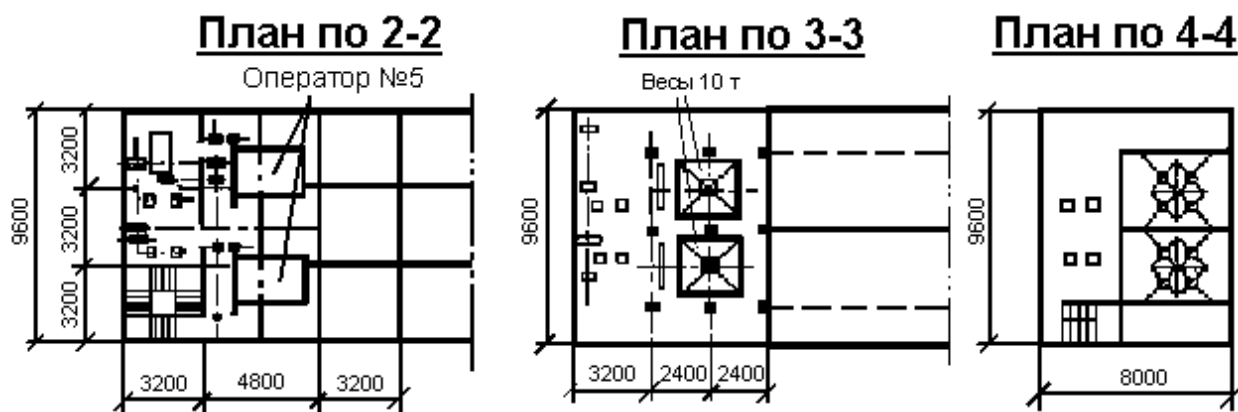


Рисунок 22 Планы этажей рабочей башни элеватора

5.4 Технологические схемы элеваторов

Элеватор – это полностью механизированное зернохранилище, предназначенное для хранения зерна и выполнения с ним необходимых операций. В отличие от складов со стационарной механизацией элеватор обладает большей компактностью. В данном случае вместимость зернохранилища на 1 м² площади резко возрастает (но вместимость удорожается). В типовых зерновых складах на 1 т вместимости приходится 2,5...3,0 м² помещения, а в элеваторах – 1,5...1,7 м².

Важная отличительная особенность элеваторов от других промышленных сооружений – это тесная связь между строительными конструкциями и транспортным, а также технологическим оборудованием. Количество и производительность оборудования прямо зависит от величины, количества и устройства силосов, материала, из которого они изготовлены, и расположения на площадке.

Опыт постепенного развития элеваторов разного назначения показывает, что под этим термином в широком смысле следует понимать целый комплекс зданий и сооружений, каждое из которых выполняет определенные функции. В целом элеватор можно рассматривать как комплексное объединение следующих основных устройств и сооружений:

- 1) рабочее здание с технологическим и транспортным оборудованием;
- 2) силосный корпус с транспортным и другим оборудованием;
- 3) устройство для приемки зерна из автомобилей, вагонов и судов;
- 4) устройства для отпуска зерна на различные виды транспорта и зерноперерабатывающие предприятия;
- 5) комплекс сушки зерна;
- 6) цех отходов;
- 7) системы аспирации и удаления пыли.

Элеватор будет работать как единый производственный комплекс только в том случае, если все указанные выше устройства и сооружения будут гармонично связаны и дополнять друг друга при выполнении технологических и транспортных операций. Для каждой операции характерна определенная последовательность перемещения зерна через силосы, бункеры и оборудование, которая во многом зависит от принципиальной схемы приемки и послеуборочной обработки зерна.

Принципы построения технологических схем. Технологическую схему движения зерна на элеваторе строят на основе принципиальной. Так как все операции, связанные с перемещением зерна на элеваторе, всегда проходят с использованием норий, то число выполняемых одновременно операций не может превышать числа норий.

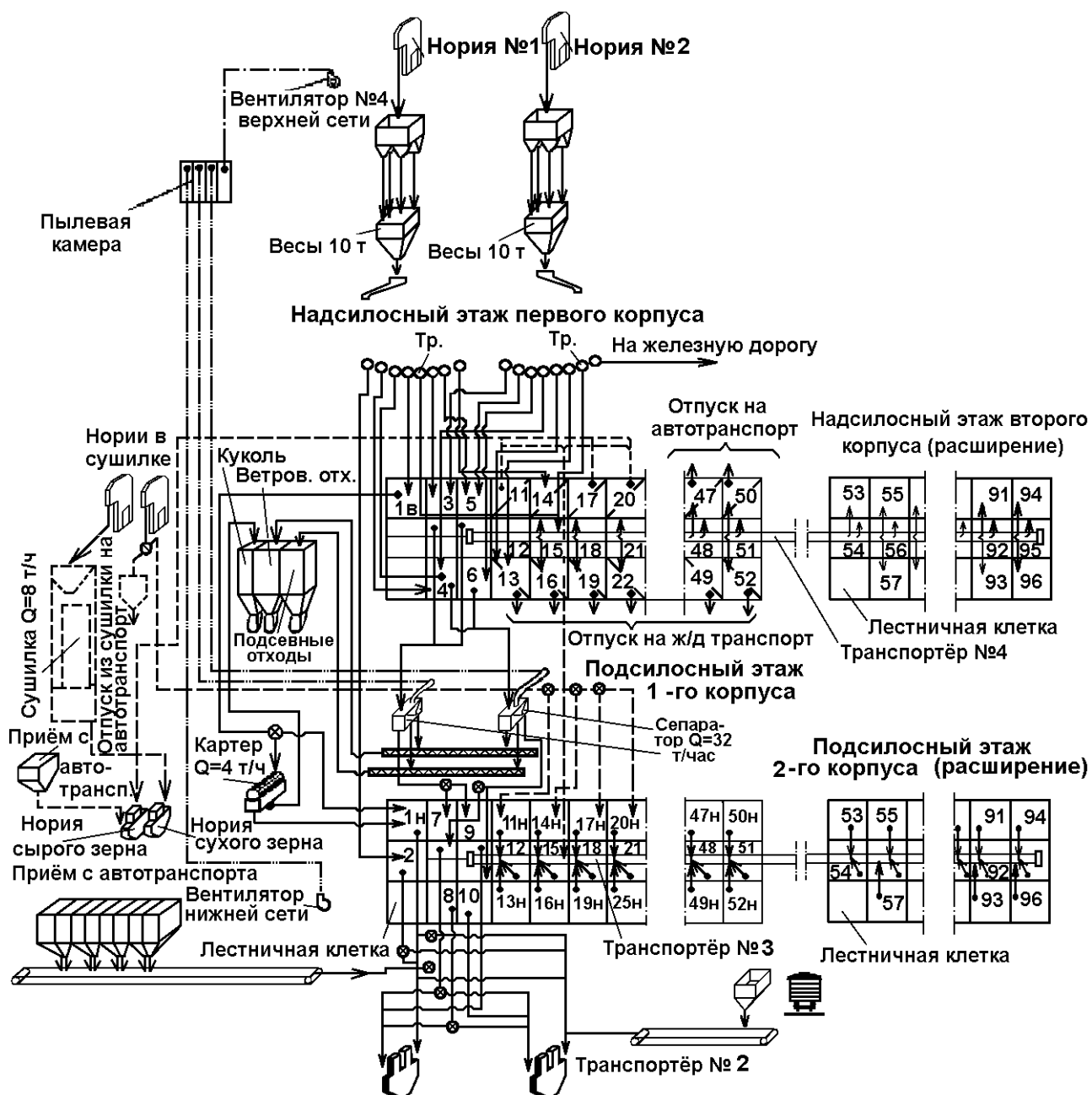
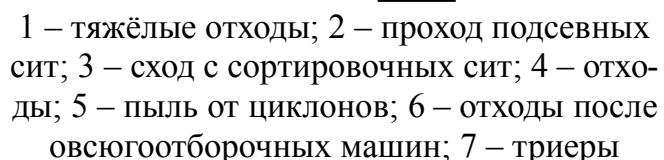


Рисунок 23 Технологическая схема простейшего элеватора

Технологическую схему элеватора строят по принципу последовательной обработки зерна в потоке от момента его приемки и до загрузки на хранение. Если производительность технологических машин ниже производительности транспортного оборудования, то машины оборудуют оперативными бункерами до и после его обработки. Благодаря этому обеспечивается непрерывность потока при обработке зерна. Оперативные бункеры обязательны также в тех случаях, когда коэффициент использования устройств изменяется по времени (например, приемка зерна с водного транспорта). В схеме движения зерна на элеваторе должен быть предусмотрен количественный и качественный учет зерна и продуктов его переработки. Это достигается включением в схему весов и устройством мест отбора проб зерна для последующего его анализа. На рисунке 23 приведена технологическая схема элеватора, показанного на рисунке 20.

Ввиду наличия на элеваторе большого количества одноименных машин применяют соответствующую нумерацию или присваивают им какие-либо другие обозначения. Обычно порядковую нумерацию используют для обозначения приемных бункеров, конвейеров, норий, весов, сепараторов, зерносушилок, а также над- и под-



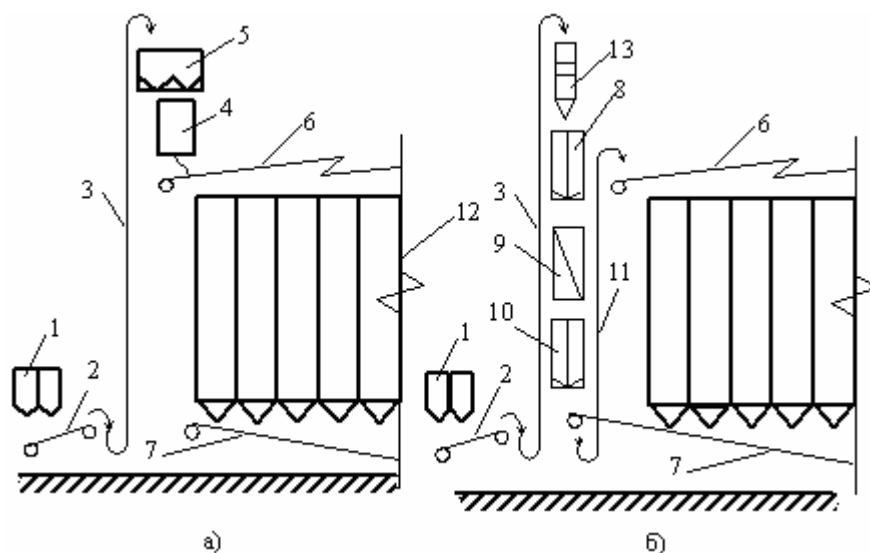
сепараторных бункеров. Если же число одноименных единиц значительно, а сами они близко расположены друг от друга, то в этом случае целесообразно применять кодовую нумерацию. Так, например, силосы обозначают кодовой нумерацией, причем число сотен показывает номер силосного корпуса, число десятков – ряд силоса, а число единиц – порядковый номер силоса.

5.5 Размещение транспортного и технологического оборудования

Весы. Их устанавливают в верхней части рабочего здания (при одноступенчатой схеме), в центральной или нижней (при многоступенчатой схеме). На элеваторах устанавливают как ковшовые, так и автоматические весы. Тем и другим свойственны преимущества и недостатки. Ковшовые весы дают более точные показания при взвешивании зерна, коэффициент использования норий в этом случае будет выше. Как недостаток ковшовых весов следует отметить то, что они сложны в эксплуатации, требуют большой площади и высоты помещения.

40

норий, особенно при перемещении небольших партий зерна, и ненадежны в работе. Для непрерывной и устойчивой работы весов предусматривают над- и подвесовые бункеры.



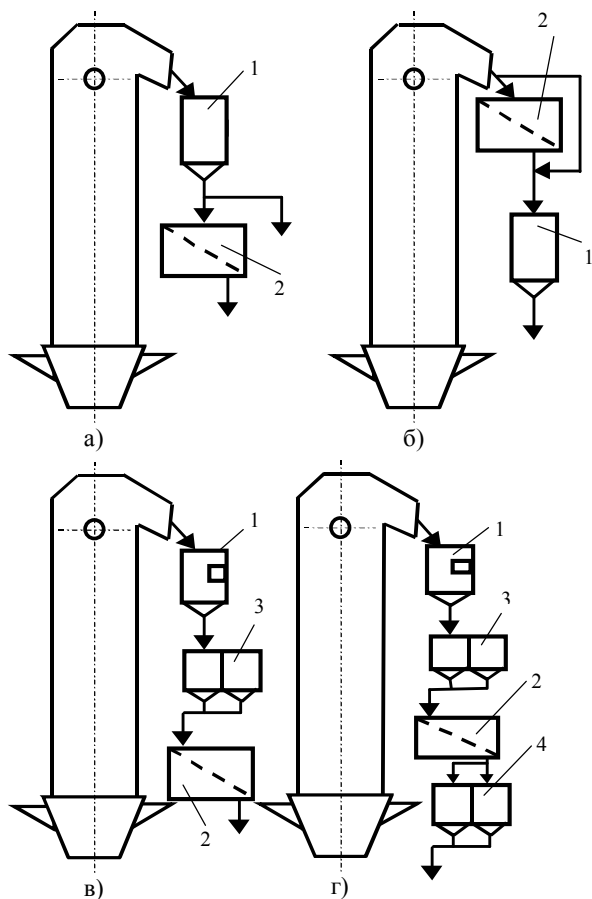
а – ступенчатый подъем зерна; б – многоступенчатый подъем зерна; 1 – приёмный бункер; 2 – приёмный транспортёр; 3 – нория (основная); 4 – ковшовые весы; 5 – надвесовой бункер; 6, 7 – подсилосный и надсилосный транспортёры; 8 – надсепараторный бункер; 9 – сепаратор; 10 – подсепараторный бункер; 11 – дополнительная нория; 12 – силосы; 13 – автоматические весы

Рисунок 25 Технологическая схема движения зерна на элеваторе

В соответствии с утвержденными нормами вместимость бункеров рекомендуется принимать в зависимости от производительности транспортных машин и механизмов, обслуживающих весы. При наличии весопечатающего механизма и автоматического управления задвижками над- и под ковшовыми весами вместимость над ними можно принимать равной вместимости весового ковша. Ковшовые весы устанавливают, как правило, без подвесового бункера, т.к. это увеличивает высоту рабочего здания на 5...6 м. Его отсутствие компенсируют установкой транспортного оборудования, принимающего зерно после весов, большей производительности, чем основные нории.

Зерноочистительное оборудование. Размещение этого оборудования во многом зависит от производительности транспортного оборудования. Если производительности зерноочистительного и транспортного оборудования равнозначны, то можно обойтись без буферной емкости, и то только тогда, когда производительность норий не превышает 100 т/ч.

Зерноочистительное оборудование размещают по одной из четырех схем (рисунок 26). В первых двух "а" и "б" предусмотрена жесткая связь между транспортным и технологическим оборудованием. При подобных схемах требуется обязательное наличие обходных самотечных труб, так как производительность зерноочистительного оборудования в значительной степени зависит от качественного состояния зерна. Непосредственная связь транспортного и технологического оборудования в основном применялась при строительстве сушильно-очистительных башен и отдельных хлебоприемных элеваторов. Третья схема (рисунок 26,в) нашла свое применение на элеваторах, имеющих различные производительности норий на приемке и уборке зерна из-под сепараторов. На современных элеваторах с неспециализированными нориями над и под зерноочистительными машинами (рис.26, г) предусматривают бункеры. Зерноочистительные машины располагают в средней части рабочего зда-



1 – автоматические весы; 2 – сепаратор;
3 – надсепараторные бункеры; 4 – под-
сепараторные бункеры

Рисунок 26 Размещение оборудова-
ния в рабочем здании

ния так, чтобы над сепараторами были бункеры. Контрольные сепараторы и триеры, как правило, устанавливают на одном этаже после основных зерноочистительных машин. Отходы контролируют непосредственно в рабочем здании элеватора.

Зерносушилки. В современные элеваторы зерносушилка входит в качестве самостоятельного производственного участка. Подробнее конструкции сушилок будут рассмотрены в разделе "Сушилки".

5.6 Приемные и отпускные устройства элеваторов

Приемные устройства с автомобильного транспорта. Объем погрузо-разгрузочных работ на хлебоприемных предприятиях исчисляется сотнями миллионов тонн. Из них на работы, связанные с погрузкой и разгрузкой автомобилей и железнодорожных вагонов, приходится 60%.

Приемка зерна с автомобильного транспорта является основной операцией на хлебоприемных предприятиях в период заготовок зерна. От правильной организации данной операции зависит, смогут ли предприятия

в установленные сроки принять, разместить и обработать все поступающее от хозяйств зерно различного качества и целевого назначения.

Успешное выполнение приемки зерна с автомобильного транспорта зависит от состава, количества и производительности оборудования. Максимальное часовое поступление зерна ($q_{\text{ч}}$) при разработке разгрузочных устройств определяют по формуле

$$q_{\text{ч}} = \frac{0,8A \cdot k_{\text{с}} \cdot k_{\text{ч}}}{P_{\text{р}} \cdot t},$$

где 0,8 – коэффициент; A – количество зерна, поступающего от хлебосдатчиков автомобильным транспортом за весь период заготовок; $k_{\text{с}}$, $k_{\text{ч}}$ – коэффициенты суточной и часовой неравномерности поступления зерна; $P_{\text{р}}$ – продолжительность расчетного периода заготовок; t – расчетное время подвоза зерна.

Современное приемное устройство с автомобильного транспорта создано на основе многолетнего опыта проектирования, строительства и эксплуатации. Первые приемные устройства выполняли в виде небольших бункеров, расположенных вдоль элеватора. С течением времени развитие средств механизации, автоматизации и дистанционного управления способствовало совершенствованию приемных устройств, дальнейшему повышению их пропускной способности. Если в 1976 г. на хлебоприемных предприятиях применялись автомобилеразгрузчики грузоподъемностью до 7 т, то в 1988 г. они уже имели грузоподъемность 10, 20, 30 т и более.

С началом серийного выпуска универсальных автомобилеразгрузчиков АВС–

50М–1 и У15–УРАГ технически решена проблема выгрузки зерна из всех видов автомобилей и автопоездов. Автомобилеразгрузчик У15–УРАГ предназначен для разгрузки через открытый задний борт из одиночных автомобилей и седельных тягачей с полуприцепами и разгрузки через боковой борт одиночных автомобилей и прицепов общей массой до 20 т без расцепки прицепов от автомобилей.

Современное приемное устройство включает в себя универсальный автомобилеразгрузчик, приемный бункер, работающий по принципу самотека, специализированные на приемке транспортные механизмы (конвейеры, нории) и накопительные бункеры для поступающих партий зерна.

Наличие накопительных бункеров в приемном устройстве делает его универсальным в технологическом отношении, т. е. позволяет принимать и формировать несколько партий зерна и повышает использование основных норий, другого транспортного и технологического оборудования.

Накопительные бункеры необходимо предусматривать непосредственно при приемном устройстве с автомобильного транспорта. На элеваторах, имеющих значительные размеры рабочего здания, можно по примеру элеватора ЛВ4х175 предусмотреть накопительные бункеры в здании, тем самым не создавать для них на территории предприятия отдельного сооружения.

Приемные устройства с железнодорожного и водного транспорта. Перевозки зерна на железнодорожном транспорте занимают значительное место в общем объеме перевозок. Уровень механизации этих работ составляет 96%, из них на долю стационарной механизации приходится более 70%.

Современное приемное устройство с железнодорожного транспорта выполняют в виде отдельного сооружения, расположенного на некотором расстоянии от элеватора. Простейшее приемное устройство (аналогичное приемному устройству с автомобильного транспорта) – бункер, в который зерно выгружают из вагона. Затем зерно передают в основную норию при помощи специального конвейера.

Вагоны можно разгружать при помощи: стационарных или передвижных механических лопат; инерционных вагонеразгрузчиков ЦНИИМПС, пневматических всасывающих установок. Применение пневматических установок увеличивает расход электроэнергии, но при этом значительно облегчается труд и достигаются нормальные санитарные условия для рабочих.

Объем погрузочных и разгрузочных работ с зерном на водном транспорте составляет около 10...12% от общего объема работ с зерном. Приемные устройства с водного транспорта (барж, судов) в силу ряда специфических условий в каждом отдельном случае сооружают применительно к местным условиям. К ним относят: разнообразие подвижного состава водного транспорта, как по водоизмещению, так и по конструкции (расположение люков и число трюмов); непостоянство горизонта воды у причала и рельефа берега; расположение элеватора относительно причала. Для выгрузки зерна из барж применяют два способа: механический и пневматический. Механический способ выгрузки осуществляется при помощи грейферных кранов. Их применяют обычно при приемной способности предприятий до 100 т/ч. Пневматический способ приемки осуществляется передвижными и плавучими установками. При большей производительности этот способ требует в 3...5 раз больших затрат электроэнергии.

Процесс выгрузки зерна пневматическим транспортом принято делить на три этапа:

- 1) начало разгрузки, когда после погружения сопла в зерновую массу наблюда-

ется самостоятельный приток зерна к всасывающим отверстиям сопла; в этот период установка имеет максимальную производительность;

2) промежуточный, т. е. зерно выгружают около бортов в кормовых и носовых участках трюма с перестановкой сопел с одного места на другое, наращивая при этом гибкие рукава и частично подгребая зерно; производительность на этом этапе заметно снижается;

3) конечный, когда осуществляют зачистку судна от остатков вручную, при этом производительность минимальная.

Отпускные устройства элеватора. Как и приемные, отпускные устройства принято делить по назначению, т. е. для отпуска в автомобильный и железнодорожный транспорт и для отпуска на водный транспорт.

На современных элеваторах применяются отгрузочные устройства, которые с некоторой степенью условности делятся на два типа: для элеваторов, оборудованных норями производительностью до 100 т/ч и свыше 100 т/ч. Отпускные устройства имеют технологическое оборудование, аналогичное приёмным устройствам и не отличается оригинальностью.

6 Склады для продуктов переработки зерна

6.1 Напольные склады

Из продуктов переработки зерна в складах, как правило, хранят муку и крупу. При хранении муки можно выделить три случая, которые разнятся целями и длительностью хранения:

1) сразу после помола мука поступает в так называемые выбойные закрома, в которых находится очень короткое время (1...3 часа), это хранение производится исключительно насыпью;

2) из выбойных закромов мука затаривается и поступает на склад готовой продукции предприятия. Здесь она может храниться:

- самое короткое время (1...5 дней) в ожидании отпуска на транспорт;
- в течение нескольких дней, пока происходит отлёжка муки в целях так называемого "созревания" её. За это время (обычно 14 дней) мука приобретает улучшение хлебопекарных качеств;
- в течение нескольких месяцев по соображениям, например, коммерческого характера.

При хранении в муке происходят такие же биохимические процессы, как и в зерне, но интенсивность их значительно выше. Условия хранения, при этом, оказывают решающее значение на качество сохраняемого продукта.

В качестве специальных требований к таким складам нужно иметь в виду следующее:

1. Склады с деревянными, бетонными, асфальтовыми и каменными полами, не имеющие вентилируемого подполья, должны быть оборудованы специальным настилом высотой не ниже 10 см для укладки на нём штабелей из мешков муки или крупы.

2. Склады должны быть оснащены зерноочистительными машинами и системами для просеивания муки в целях отделения от неё вредителей, брезентами для россыпи муки в случае самосогревания, а также зерносушилками.

3. Для доработки муки и крупы (просеивание на ситах, перетарка, очистка на зерноочистительных машинах), в случае возникновения в том надобности, должно быть выделено особое помещение. Производство подобных работ в помещениях для хранения муки и крупы не допускается.

Здания для хранения муки и крупы в таре бывают одноэтажными и многоэтажными.

6.2 Транспортное оборудование напольных складов муки и крупы

Наиболее обычными на складах являются тележки (двухколёсная – "медведка" и трёхколёсная ручная) и электрокары. На складе необходимы весы на 1...2 т и механические укладчики (штабелеукладчики). На складах широкое применение находят передвижные и стационарные ленточные транспортёры. Очень часто используются роликовые транспортёры, которые могут значительно облегчить как погрузку, так и разгрузку, например, вагонов. В многоэтажных складах широко используют так называемые винтовые спуски, т. е. жёлоба, по которым мешки могут просто скользить вниз.

7 Транспортное оборудование элеваторов

7.1 Выбор системы транспортирования

Транспортные системы являются одним из главных элементов технологических линий на элеваторах и должны соответствовать некоторым требованиям.

1. Транспортирующую установку следует выбирать в соответствии с характеристиками транспортируемого продукта. К некоторым из этих характеристик, влияющих на расчет конвейера, относятся: пригодность для транспортирования, размер частиц, насыпная плотность, угол естественного откоса, абразивность, влажность, пыление, липкость и температура.

2. Собственная масса конвейера должна быть меньше массы транспортируемого продукта.

3. Устойчивость работы оборудования должна гарантироваться при всех обычных эксплуатационных и климатических условиях. Транспортные машины, расположенные на открытом воздухе, в отличие от работающих внутри помещений требуют других стандартов на ветровую нагрузку, запыленность, влажность и коррозию.

4. Необходимо учитывать требующуюся скорость транспортирования и время пуска, а также движение конвейеров по инерции.

5. Производительность транспортирования должна соответствовать производительности последующей транспортной системы или технологического оборудования.

6. Никогда не следует превышать величин производительности и скорости. Необходимо избегать перегрузки и возможных пиковых нагрузок.

7. Не следует вносить изменений в исходную конструкцию, например, изменять точку загрузки, увеличивать подачу продукта без предварительной консультации с конструктором.

8. При определении мощности электродвигателя внимание должно быть уделено возможности многократного пуска транспортной системы при полной загрузке.

9. Все последующие операции должны быть логически связаны друг с другом, с тем, чтобы уменьшить длину транспортирования.

10. Необходимо полностью использовать возможности перемещения груза самоходом.

11. Простои должны быть сведены к минимуму стандартизацией средств транспортирования и всех их компонентов, с тем чтобы уменьшить продолжительность ремонта и профилактического обслуживания, а также количество требующихся запасных частей.

12. Для предотвращения самопроизвольного хода грузовой ветви конвейера вниз все вертикальные и наклонные конвейеры должны быть оборудованы тормозными устройствами, которые срабатывают при отключении электродвигателя.

13. Вся конструкция должна быть такой, чтобы устранить просыпание транспортируемых продуктов и загрязнение окружающей среды (борьба с шумом и пылью). Проблемы обычно возникают при образовании пыли, накоплении и просыпании продукта и повреждении конвейера в точках выпуска продукта; этим зонам необходимо уделять особое внимание при конструировании, чтобы обеспечить равномерное распределение потока продукта.

14. На этапе проектирования транспортного устройства необходимо учитывать эксплуатационные условия и интенсивность его работы: 8, 16, или 24 ч в день и 5, 6 или 7 дней в неделю.

7.2 Конструкции транспортёров

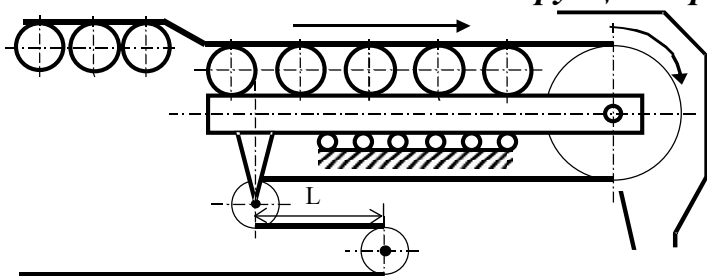


Рисунок 27 Схема телескопического ленточного конвейера

Наибольшее распространение на элеваторах получили ленточные конвейеры. Остановимся на некоторых оригинальных конструкциях.

На рисунке 27 показан **телескопический**, а на рисунке 28 **двухходовой ленточные конвейеры**. Первый отличается тем, что

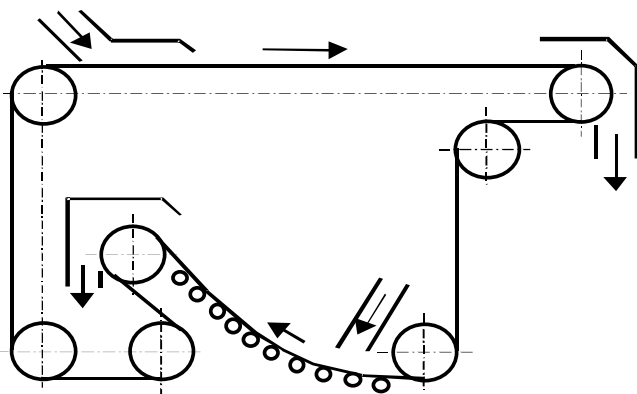
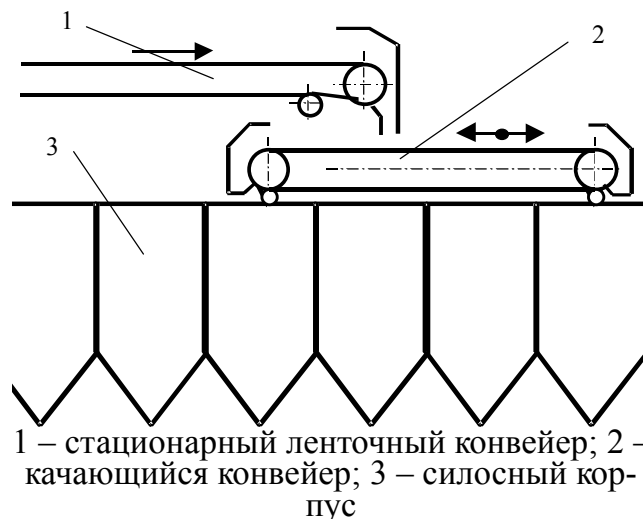


Рисунок 28 Схема двухходового ленточного конвейера



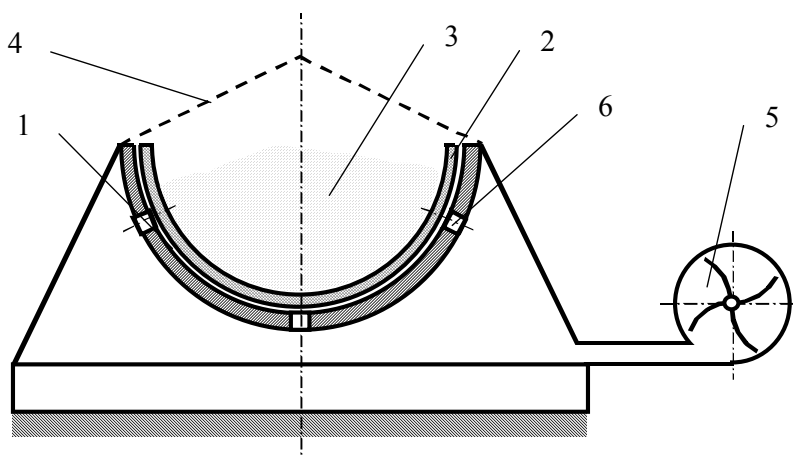
1 – стационарный ленточный конвейер; 2 – качающийся конвейер; 3 – силосный корпус

Рисунок 29 Качающийся ленточный конвейер

при перемещении тележки в некоторых пределах можно менять положение точки разгрузки транспортёра, при этом натяжение транспортёрной ленты остаётся неизменным.

На рисунке 29 изображен **качающийся ленточный конвейер**, который служит для распределения зерна в силосы, расположенные под ним. Преимущества такой конструкции заключаются в том, что не требуется большой высоты надсилосных помещений, имеются фиксированные точки разгрузки, нет остатка.

Конвейер на воздушной подушке



1 – воздушная подушка; 2 – ленточный конвейер; 3 – продукт; 4 – крышка (не обязательна); 5 – вентилятор

Рисунок 30 Схема конвейера на воздушной подушке

(запатентован фирмой "Sluis Machinenfabrik B.V.", Нидерланды) (рисунок 30). Хотя большинство узлов ленточного конвейера, например желобчатые роликовые опоры, ролики и подшипники, отличаются высоким качеством, иногда возникают проблемы в процессе эксплуатации, особенно в запыленных и влажных зонах. Например, для ленточного конвейера длиной 100 м, оборудованного трехроликовыми опорами с шагом 1 м, требуется 100 желобчатых роликоопор и около 40 роликов для холостой ветви.

Это означает, что требуется около 680 подшипников.

Так как срок службы подшипников ограничен, то они могут внезапно выходить из строя, что приводит к нарушению центрирования и даже повреждению ленты. Задержки и остановки на ремонт, а также запасные части требуют денег. Эти недостатки привели к созданию конвейера, в котором продукт и лента поддерживаются в желобе воздушной подушкой (рисунок 30). Воздух подается в корпус трубчатого желоба одним или несколькими небольшими вентиляторами через отверстия небольшого диаметра; под лентой образуется воздушная прослойка. Число вентиляторов зависит от общей длины и ширины конвейера. Роликоопоры больше не требуются. Необходимы только приводной и натяжной барабаны в начале и конце конвейера.

Преимущества конвейера на воздушной подушке:

- трение и потребление энергии значительно ниже, а скорости ленты и производительность транспортера могут быть значительно выше;
- мало движущихся частей, меньше износ и меньше объем ремонтного обслуживания;
- возможны более крутые углы наклона, так как вибрация отсутствует;
- конструкция желоба, низкое давление и небольшой расход используемого воздуха гарантируют отсутствие встряхивания транспортируемого продукта и выделение пыли;
- равномерное перемещение ленты сохраняет продукт неподвижным, не происходит

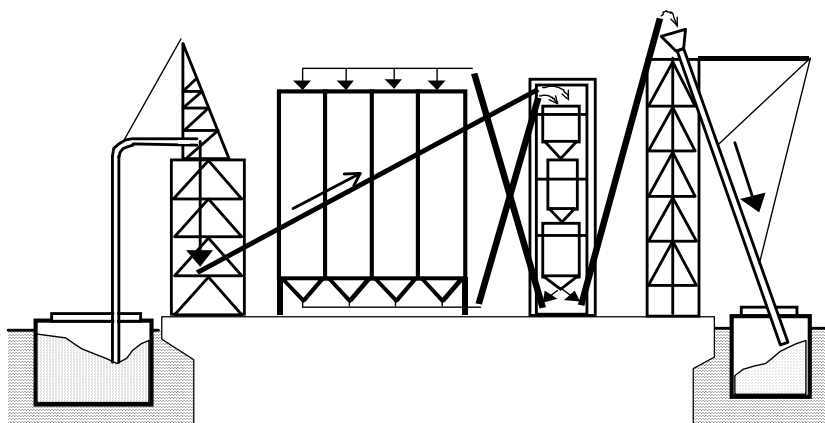
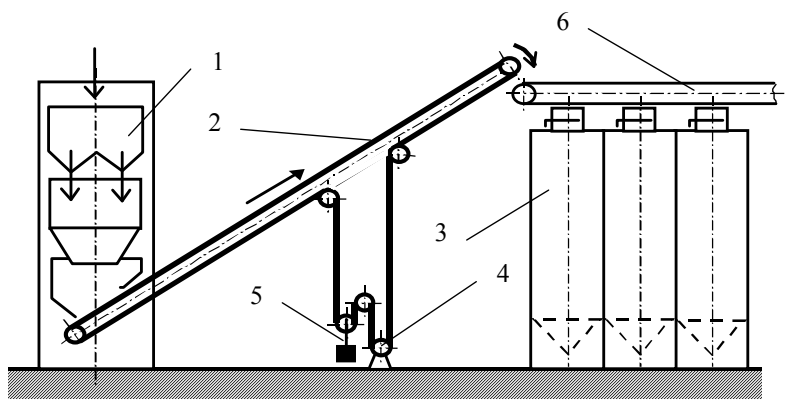


Рисунок 31 Наклонная транспортная система без норий

его смешивания или расслоения;

- центрирование ленты никогда не нарушается и исключается истирание ленты;
- прочность ленты может быть значительно ниже, а конвейер работает бесшумно;
- накопление пыли на раме конвейера незначительно;
- всю систему легко превратить из открытой в закрытую;



1 – весовая; 2 – наклонный ленточный транспортёр; 3 – силосы; 4 – привод; 5 – натяжное устройство; 6 – цепной конвейер

Рисунок 32 Наклонный ленточный конвейер с натяжным устройством, установленным на уровне земли

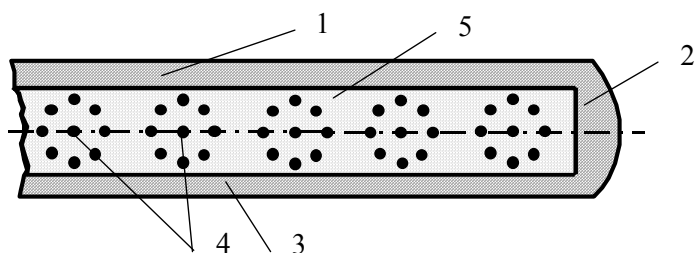
- закрытый трубчатый желоб является самонесущим на значительных расстояниях.

Наклонный ленточный конвейер. Некоторые проектировщики полностью отказываются от норий путем использования ленточных конвейеров, устанавливаемых снаружи (рисунок 31).

Наклонный ленточный конвейер имеет сле-

дующие преимущества:

- его можно устанавливать для транспортирования зерна по горизонтали и вертикали (нории, как правило, допускают только вертикальное перемещение груза);
- привод может быть размещен на уровне земли, что облегчает его ремонт и снижает требования к опорным конструкциям привода (рисунок 32);
- конвейеры можно устанавливать с углом наклона до 15° , а в особых случаях – и с несколько более крутым наклоном.



1 – верхняя обкладка; 2 – край ленты; 3 – нижняя обкладка; 4 – стальные тросы; 5 – вязкий слой

Рисунок 33 Разрез резинокордовой ленты

конвейеров отмечается, что обычная конвейерная лента с резинокордовым каркасом из натуральных и синтетических волокон не может удовлетворить прочностным требованиям. В этих случаях используют армирование ленты металлокордом, обеспечивающее очень большую прочность и продолжительный срок службы.

В распространенных ленточных конвейерах лента должна выполнять две различные функции: перемещать продукт и передавать тяговое усилие. Основное различие между обычной и резинокордовой лентой состоит в том, что в последней тросы передают все тяговое усилие, а лента, находясь почти без напряжений, просто "несет" продукт. Следовательно, ленте не обязательно выполнять обе функции; она может быть сконструирована специально с учетом свойств транспортируемого продукта. Это позволяет проектировать очень длинные конвейеры с резинокордовой лентой с одним приводом, который можно размещать в наиболее удобном месте с точки зрения электрического питания. На рисунке 33 показана конструкция плоской резинокордовой ленты.

Двухленточный конвейер. Он транспортирует зерно посредством давления двух лент на зерно, находящееся между ними. На рисунке 34 показан конвейер Simlofter фирмы "Simon Carves", который может успешно работать при значительно более высоких показателях скорости и производительности, чем обычная нория, так как разгрузка не ограничена воздействием центробежных сил на приводной барабан. Материал разгружается непрерывным потоком, при этом происходит минимальное дробление продукта и образование пыли. На транспортирующем элементе нет ковшей или других выступов. Изменить направление транспорта с вертикального на горизонтальное можно без промежуточных точек разгрузки за счёт изменения угла наклона

Недостаток наклонного ленточного конвейера – высокая потребность в площади, которая может сделать такое решение непрактичным. Увеличение длины транспортиров приводит к увеличению требуемого натяжного усилия, но прочность транспортирующей ленты вполне определённый предел. В связи с постоянным ростом производительности и длины ленточных

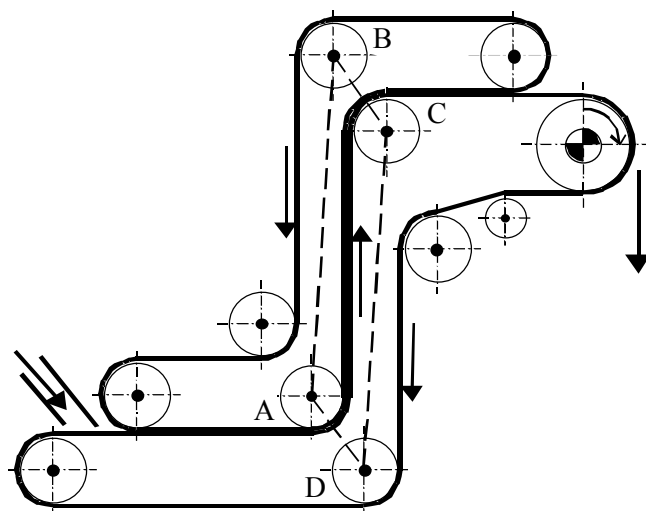


Рисунок 34 Двухленточный конвейер, используемый в качестве системы вертикального транспортирования

параллелограммного механизма ABCD. Потенциальная длина конвейера ограничена только прочностью ленты, используемой в настоящее время.

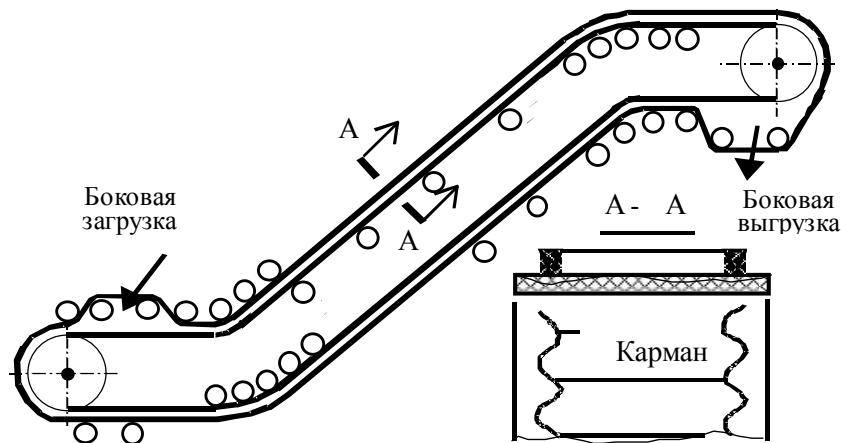
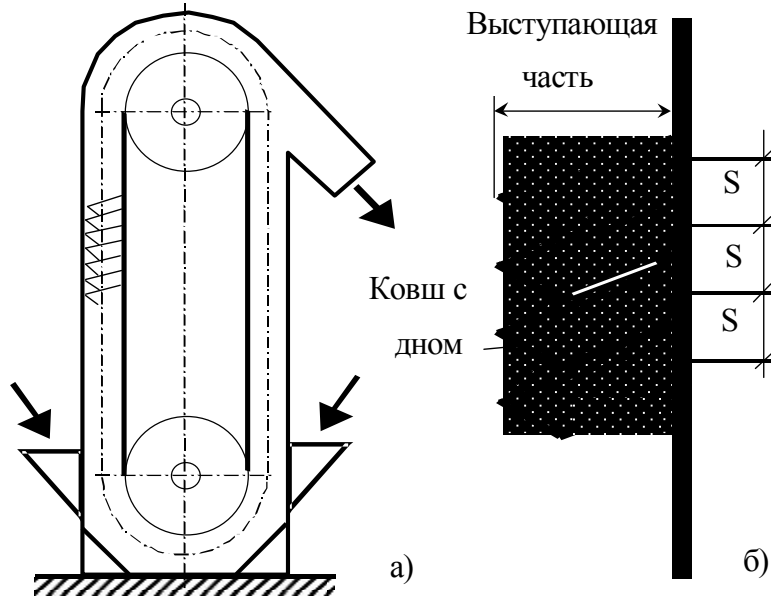


Рисунок 35 Наклонный гофрированный или карманообразный ленточный конвейер

Гофрированный (карманообразный) ленточный конвейер. Показанный на рисунке 35 транспортер представляет собой систему, аналогичную двухленточному конвейеру, хотя материал при этом можно подавать на большую высоту, а скорость ленты значительно ниже. Эту систему, успешно используемую при транспортировке сыпучих материалов в других отраслях,

следует рассматривать как альтернативу нории, особенно в зернохранилищах, где физически невозможно увеличение размеров конструкции и производительности транспорта.



а – конструкция унифицирована на 95%; б – ковши на ленте

Рисунок 36 Нория с ковшами без дна в вертикальном положении

Кроме того, указанная система ленточных конвейеров может одновременно выполнять горизонтальное и вертикальное транспортирование.

Нории с небольшими ковшами используют центробежную разгрузку. При этом выделяется пыль, а значительная скорость разгрузки увеличивает вероятность повреждения зерна.

Тихоходные высокопроизводительные нории разгружают зерно сплошной массой, в которой удерживается большая часть пыли, при этом ограничивается дробление зерна. Уменьшение содержания пыли в кожухе нории

снижает опасность взрыва. Сообщения об исследованиях инженеров фирмы "Cargill" (США) показывают, что меньшая скорость норийной ленты снижает износ движущихся частей, затраты на профилактическое обслуживание, простои нории и опасности при эксплуатации.

Нория для подъёма продукта непрерывным потоком.. Такая нория позволяет осуществлять подъем гранулированных продуктов непрерывным потоком с помощью ковшей без дна (рисунок 36, а). Процесс сам по себе идентичен процессу транспортирования обычной норией. Вход материала в башмак нории возможен с обеих сторон. Для всех продуктов можно использовать одинаковую модель ковша. Вместимость ковша используется полностью. Обычные нории легко переделать в норию с ковшами без дна путем замены ковшей.

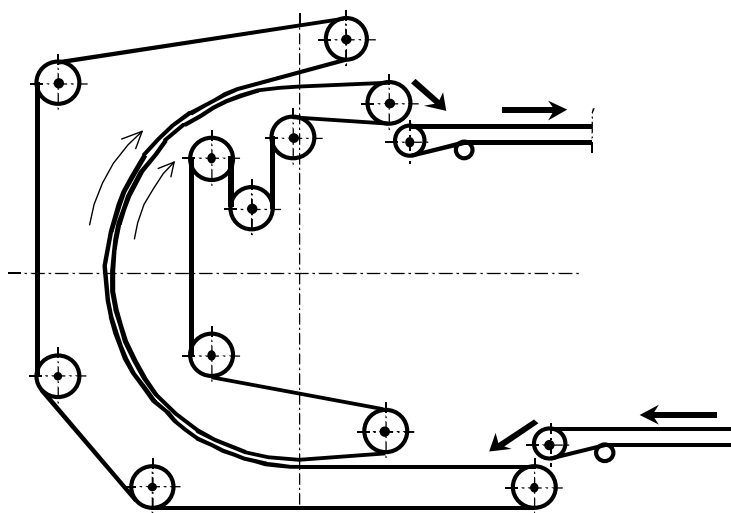


Рисунок 37 Ленточный конвейер в форме буквы «С»

Основным преимуществом этого типа нории является повышение производительности транспорта. Недостатком считается то, что полное опорожнение башмака нории невозможно, если не установить на ленте через четыре – пять ковшей без дна один ковш с дном (рисунок 36, б).

Конвейер в форме буквы «С». Эту систему транспортирования обычно используют там, где не требуется большая высота подъема, а требуется высокая производительность (рисунок 37). Преимущество такой системы в отсутствии точки перегрузки между горизонтальными и вертикальными участками конвейеров. Этот тип транспортирования предпочитают использовать как систему загрузки и разгрузки, как бортовое оборудование на саморазгружающихся судах и как стационарное оборудование на крупных предприятиях.

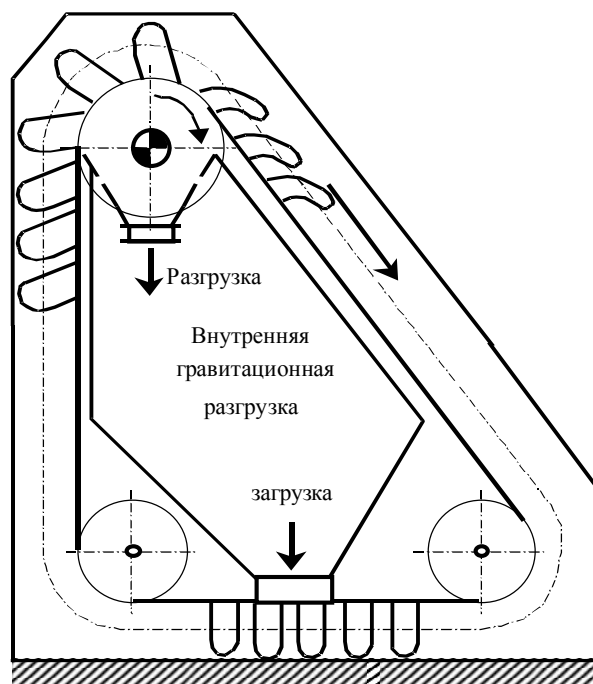


Рисунок 38 Ленточный конвейер с ковшами в виде мешка

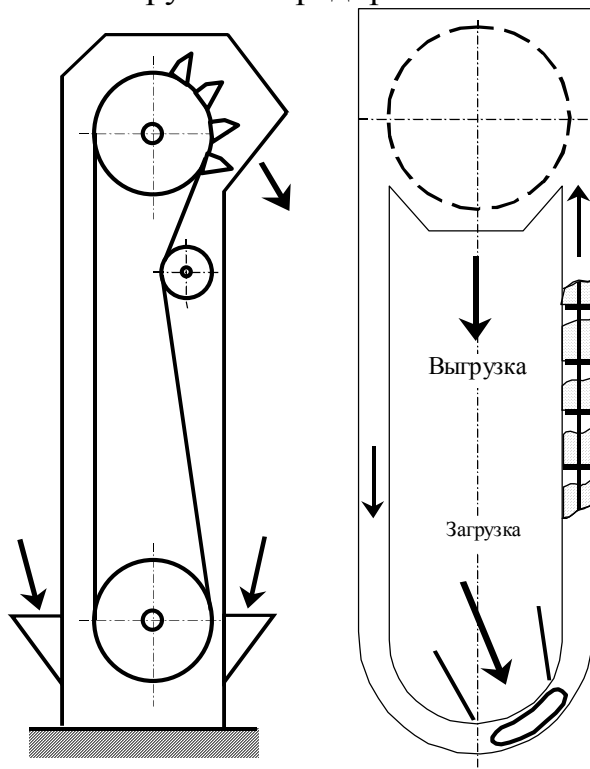


Рисунок 40 Дисково-трубчатый транспортёр

Ленточный конвейер с ковшами в виде мешка. Конвейер, показанный на рисунке 38, представляет собой внутренний разгрузочный конвейер как отличное средство для непрерывного мягкого транспортирования с небольшой скоростью неабразивных гранулированных продуктов, например семян и гранул. Он состоит из бесконечного ряда перекрывающих друг друга ковшей с внутренними отверстиями. Ковши загружаются изнутри из лотка, проходящего через любую сторону корпуса конвейера. Разгрузка может быть с любой стороны корпуса через лоток или непосредственно на конвейер.

Дисково-трубчатый конвейер. Этот конвейер простой конструкции состоит из стального проволочного каната с дисками, расположенными на нём, на одинаковом расстоянии друг от друга, и двумя конечными звездочками специальной формы. Корпус

имеет трубчатую конструкцию (рисунок 40). Трос с дисками перемещается с относительно большой скоростью в сравнении со скоростью большинства норий. Продукт загружается внизу, обычно из бункера или приемного патрубка, и входит между дисками. Продукт находится между дисками и перемещается с минимальным трением о поверхность трубы. Разгрузку можно осуществлять с любой стороны трубы через патрубок или непосредственно на другой конвейер. Полностью закрытая система работает под любым углом: от вертикального до горизонтального положения. Самоочищающаяся, компактная, простая в монтаже и эксплуатации при минимальном повреждении зерна.

Кроме вышеперечисленных конструкций, на элеваторах и складах широко используются традиционные транспортные системы: нории, ленточные транспортеры, винтовые транспортёры (шнеки), самотёчные желоба и трубы, скребковые цепные и ленточные транспортёры.

8 Зерносушилки

8.1 Основы теории сушки зерна

Рассмотрим некоторые особенности строения и свойств зерна с точки зрения процесса сушки.

Строение зерна. Зерно представляет собой по природе коллоидное, по структуре – капиллярно–пористое тело и состоит из оболочек, зародыша и эндосперма. Плодовые оболочки пшеницы и ржи состоят из трех слоев плотных одревесневших клеточных стенок с большим количеством микропор капилляров и пустот, через которые пары воды легко могут проникать или удаляться.

Особенности строения зерновок овса, ячменя, риса, гречихи и проса, заключающиеся в наличии цветковых пленок, а у некоторых из них и воздушной прослойки, определяют своеобразный механизм внутреннего переноса влаги и ее испарения.

У овса и ячменя цветковые пленки сращены с плодовой оболочкой зерновки. Плодовая оболочка гречихи неплотно охватывает зерно, срастаясь с ним лишь в одной точке у основания. Размер воздушной прослойки между плодовой оболочкой и ядром колеблется в пределах 0,3...0,7 мм.

Особенность анатомического строения зерновки гречихи определяет сравнительно легкое растрескивание её оболочек, что необходимо учитывать при обосновании режимов сушки. Пленка зерновки проса, плотно охватывая ядро, не срывается с ним по всей поверхности. Под пленкой имеется небольшая воздушная прослойка. Под влиянием градиентов температуры и влагосодержания, возникающих при сушке, пленка может растрескиваться, оголяя ядро, которое также легко раскалывается.

Семена зернобобовых культур (горох, вика, соя, люпин, нут) состоят из двух семядолей, зародышевого корешка, стебелька и почечки. Сверху семядоли покрыты семенной оболочкой, состоящей из клеток, плохо пропускающих влагу.

Семена масличных культур по строению резко отличаются от семян злаковых и зернобобовых культур. Семена подсолнечника заключены в плодовую оболочку – лузгу, которая обладает высокой гигроскопичностью и обеспечивает быстрое обезвоживание. Между плодовой оболочкой и ядром находится воздушная полость, которая замедляет прогрев ядра при сушке.

Химический состав зерна. В зерне содержатся белки, углеводы, жиры, минеральные вещества, витамины и ферменты. Под влиянием нагрева и перемещения влаги в зерне активизируются физико-химические и биохимические процессы, вызывающие количественные и качественные изменения химических веществ.

При сушке зерна происходит разрушение его структуры, которое обусловлено возникающими объемными механическими напряжениями в связи с неравномерным распределением влаги и разной скоростью ее удаления. Если трещины не нарушают зародышевую структуру семени, то посевные качества не снижаются. Однако технологические, в частности крупяные, достоинства зерна ухудшаются, так как в этом случае оболочка не может служить надежной защитой ядра от раскалывания при переработке.

Границы предельно допустимых температур нагрева зерна зависят от многих факторов, в том числе от влажности зерна, степени его зрелости, состояния белкового комплекса, интенсивности теплового воздействия и скорости обезвоживания.

Сушкой называется процесс удаления из материала любой жидкости, в результате чего в нем увеличивается относительное содержание сухой части. На практике при сушке влажных материалов, в том числе зерна, удаляют главным образом воду, поэтому под сушкой понимают процесс обезвоживания материалов. По энергетиче-

скому признаку различают два принципа обезвоживания: удаление влаги без изменения и с изменением его агрегатного состояния.

Первый принцип обезвоживания может быть осуществлен механическим способом (прессование, центрифугирование и др.) или при непосредственном контакте влажного зерна с веществами, имеющими более низкий потенциал переноса. Например, это явление можно наблюдать при смешивании сырого зерна с сухим зерном или с гранулированным силикогелем и т. п. Второй принцип сушки связан с сообщением зерну теплоты извне, которая расходуется на фазовое превращение влаги. Такая сушка называется тепловой.

Сушка является типичным необратимым нестационарным процессом, при котором влагосодержание зерна меняется как в объеме, так и во времени, а сам процесс стремится к равновесию. Основой теории сушки являются закономерности переноса теплоты и влаги во влажном зерне при взаимодействии его с нагретыми газами.

Влага в зерне. В теории влажное зерно рассматривается как смесь абсолютно сухого вещества и влаги:

$$M = M_c + w,$$

где M и M_c – соответственно масса влажного и абсолютно сухого зерна, кг;
 w – масса (количество) влаги, кг.

В технике и практике сушки пользуются тремя понятиями, определяющими содержание влаги в зерне: влажность на общую массу, влажность на сухое вещество и влагосодержание.

Влажность на общую массу (w) рассчитывают как отношение количества влаги (W) зерна к общей массе

$$w = \frac{W}{M} \cdot 100 = \frac{W}{M_c + W}.$$

Влажность на сухое вещество (w_c) представляет собой отношение массы влаги в зерне к массе сухого его вещества, т.е.

$$w_c = \frac{W}{M_c} \cdot 100\%.$$

Если количество влаги в веществе выражают не в процентах, а в килограммах влаги на килограмм сухого вещества, т.е. в долях единицы, то его обычно называют влагосодержанием и обозначают через d :

$$d = \frac{W}{M_c} = \frac{w_c}{100}.$$

Формы связи влаги в зерне. Влага имеет различные формы связи с твердым скелетом зерна: от самой прочной, обусловленной молекулярными силами, до чисто механического удерживания влаги на поверхности зерна. Для удаления из зерна влаги необходимо разрушить эти связи, затратив определенную энергию.

П.А.Ребиндер предложил классифицировать формы связи воды со скелетом твердого тела при сушке зерна. Связь влаги с зерном характеризуется величиной свободной энергии изотермического обезвоживания, то есть работой, необходимой для удаления 1 моля при постоянной температуре без изменения состава вещества при данном влагосодержании.

Энергия (Дж/моль), затраченная на удаление 1 кг/моль воды из влажного зерна, определяется по уравнению

$$E = -RT \ln \varphi,$$

где R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); φ – относительная влажность воздуха у поверхности зерна, доли единицы.

При наличии в зерне свободной влаги $\varphi=1$ и $E=0$. По мере удаления влаги

прочность её связи с зерном увеличивается и энергия связи влаги E возрастает.

Согласно классификации П.А. Ребиндера, все формы связи влаги делят на три большие группы: химическая связь, физико-химическая связь, физико-механическая связь.

К термодинамическим параметрам влагопереноса зерна относятся: потенциал влагопереноса, удельная изотермическая влагоемкость и термоградиентный коэффициент. Потенциалами влагопереноса служат химический потенциал μ и экспериментальный потенциал переноса влаги $\Theta_{\text{э}}$.

Химический потенциал μ применяют в области гигроскопического состояния влаги. Он определяется влагосодержанием и температурой зерна, выражается в Дж/моль и по абсолютной величине тождественен энергии связи влаги E .

Универсальным потенциалом влагопереноса в области гигроскопического и влажного состояния при любом влагосодержании является экспериментальный потенциал влагопереноса $\Theta_{\text{э}}$, величина которого зависит как от влагосодержания, так и от внешних параметров – температуры и влажности воздуха.

Удельная изотермическая влагоемкость C (моль/Дж) введена по аналогии с удельной теплоемкостью и служит характеристикой влагоаккумулирующей способности зерна. Для практических целей величину C можно определить двумя способами: исходя из химического потенциала влагопереноса, рассчитанного по термодинамическим уравнениям, причем для гигроскопической области $|\mu| = E$.

8.2 Закономерности сушки зерна

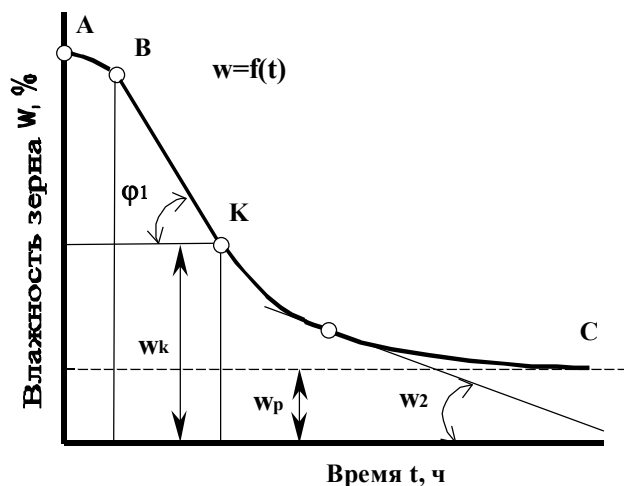


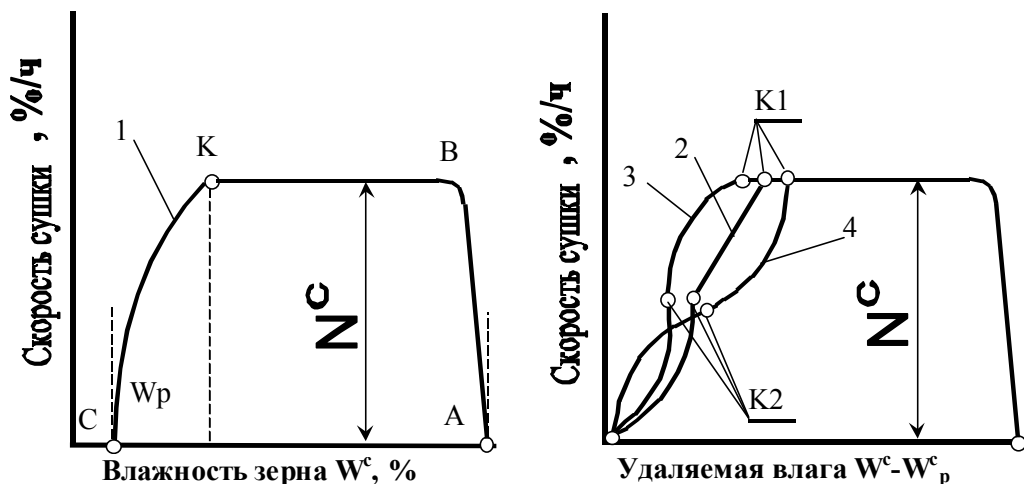
Рисунок 41 Зависимость влажности зерна от продолжительности сушки, при постоянных t , ϕ , ψ

Кривая сушки. Она характеризует изменение средней влажности зерна во времени (рисунк 41). При поступлении зерна в сушильную шахту оно прогревается. Влажность его во время прогрева уменьшается незначительно (участок АВ). Прогрев занимает немного времени, продолжительность его зависит от температуры агента сушки. При высокой температуре стадия прогрева бывает настолько мала, что она на кривой сушки не видна. По мере прогрева испарение влаги из зерна увеличивается и влажность его изменяется по прямой линии (участок ВК).

При некотором значении влажности (она называется первой критической влаж-

ностью) процесс испарения начинает замедляться. С этого момента и до конца процесса сушки влажность зерна уменьшается по кривой линии (участок КС). В конце процесса кривая сушки приближается к линии равновесной влажности зерна w_p . При достижении зерном равновесной влажности сушку прекращают.

Кривая скорости сушки. Скорость сушки – это изменение влажности зерна в единицу времени (dw/dt , %/ч). Кривую скорости сушки обычно строят методом графического дифференцирования по кривой сушки. Скорость сушки в любой момент времени определяют как тангенс угла наклона касательной, проведённой через точку кривой сушки (см. рисунок 41), соответствующую определённой влажности зерна $d\omega/dt = \operatorname{tg}\varphi_2$.



1 – коллоидные тела (прессованное макаронное тесто, крахмал); 2, 3, 4 – коллоидные капиллярно-пористые тела (зерно, хлеб)

Рисунок 42 Зависимость скорости сушки от влажности продуктов

На рисунке 42 показана кривая скорости сушки. В начале процесса в стадии прогрева зерна скорость сушки увеличивается от 0 до максимального значения N^c . В этот период различные продукты могут иметь разный характер изменения скорости сушки. Возможные варианты показаны на рисунке 42, кривые 2, 3, 4, при этом на-

ступление периода стабилизации скорости сушки наступает при разном количестве остаточной влаги (точки K1). В дальнейшем она остаётся постоянной. Поэтому первый период называют периодом постоянной скорости сушки. Начиная от первой критической влажности, на протяжении всего второго периода скорость сушки снижается. Второй период называют периодом падающей (убывающей) скорости сушки. При достижении равновесной влажности зерна скорость сушки становится равной нулю.

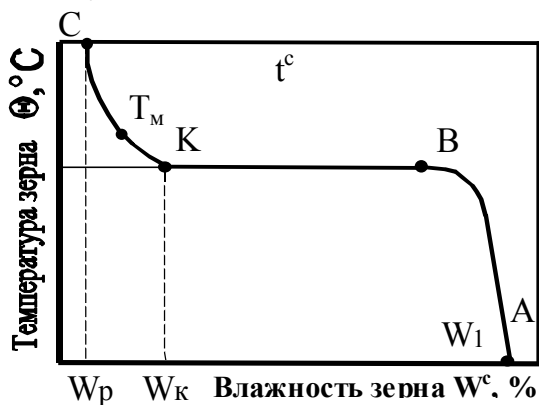


Рисунок 43 Зависимость температуры зерна от влажности

Температурная кривая (рисунок 43). Эта кривая характеризует изменение средней температуры зерна $\Theta_{\text{ср}}$ в процессе сушки. В начале процесса, в стадии прогрева зерна, (участок AB) температура поверхности быстро повышается, достигая температуры мокрого термометра h_{tm} . В дальнейшем на всём протяжении первого периода сушки температура зерна остаётся постоянной (участок BK). В этот период влага испаряется с наибольшей скоростью. Вся теплота, сообщаемая зерну, расходуется на испарение влаги. Таким образом, первый период сушки ха-

рактеризуется не только постоянством скорости сушки, но и постоянством температуры зерна.

Начиная с первой критической точки, температура зерна повышается, и при достижении равновесной влажности она приближается к температуре агента сушки (участок KC). Второй период сушки называют периодом убывающей скорости и возрастающей температуры зерна.

Первая критическая точка разделяет весь процесс сушки на два периода, отличающиеся скоростью сушки и температурой зерна. В первом и втором периодах создаются условия сушки, по-разному влияющие на качество зерна.

Критическая влажность зерна ω_k , соответствующая первой критической точке, колеблется в довольно широких пределах (17...24%). Она зависит от начальной влажности зерна и от режима сушки. Чем выше начальная влажность зерна, тем больше скорость сушки в первый период, но тем короче этот период, то есть больше первая критическая влажность. Отмеченная закономерность объясняется различным характером связи влаги с белками и крахмалом зерна. Гигроскопичность белкового комплекса зерна выше, чем гигроскопичность крахмала, а скорость сушки белков ниже. В более влажном зерне влага связана с белками более прочно. И хотя скорость сушки в начале процесса довольно велика из-за удаления влаги крахмала, первый период быстро заканчивается, и дальнейший характер протекания процесса определяется сушкой белкового комплекса. Поскольку сушка белка происходит с меньшей скоростью, наступает период убывающей скорости.

В зерне с низкой влажностью влага в меньшем количестве связана с белками. Характер процесса в этом случае определяется сушкой крахмала. Хотя скорость сушки менее влажного крахмала ниже, длительность первого периода больше, то есть значение критической влажности ниже. Соответственно этому меньше и общая продолжительность процесса сушки. Поскольку белки связывают воду медленнее, чем крахмал, в свежесобранном зерне связь влаги менее прочная, и его легче высушить.

Описанные закономерности процесса сушки зерна наблюдаются лишь при

умеренной температуре агента сушки и медленном испарении влаги. При высокой температуре агента сушки закономерности процесса становятся более сложными. Нередко весь процесс протекает с убывающей скоростью испарения влаги при непрерывно возрастающей температуре зерна. Это наблюдается и при современных интенсивных способах и режимах сушки, и при сушке зерна сравнительно невысокой влажности.

Соответствующим подбором параметров режима сушки можно обеспечить её постоянную скорость. Если, например, после наступления периода убывающей скорости агент сушки не подавать и провести отлёжку зерна, то после возобновления сушки скорость влагоотдачи снова будет постоянной.

8.3 Влажный воздух как агент сушки

Для зерна наибольшее распространение получила тепловая сушка. При конвективной сушке теплоту, необходимую для испарения влаги, зерну передает агент сушки, который совершает термодинамическую работу, расходуя свою энергию на испарение влаги из зерна. В качестве агента сушки применяют воздух или смесь его с газообразными продуктами сгорания топлива. Концентрация топочных газов в этой смеси очень мала, в зерносушилках она не превышает 5%. Поэтому агент сушки по физическим свойствам почти не отличается от воздуха.

В естественных условиях воздух всегда содержит некоторое количество паров воды, т.е. представляет собой влажный газ, состоящий из смеси сухих газов с парами воды в перегретом состоянии. В сушильной технике воздух представляется как смесь сухой части и перегретого водяного пара, т.е. как ненасыщенный газ.

Термодинамические параметры состояния влажного воздуха. Состояние влажного воздуха определяется следующими параметрами: температурой, давлением, удельным объемом (плотностью), влажностью, влагосодержанием и энтальпией.

Согласно закону Дальтона, каждый газ, входящий в состав смеси, имеет равную с другими температуру, равномерно заполняет весь объем смеси и находится под своим собственным парциальным (частичным) давлением, которое пропорционально плотности.

Следовательно, общее давление влажного воздуха P можно представить в виде суммы парциальных давлений сухого воздуха P_c и водяного пара P_p :

$$P = P_c + P_p.$$

Удельный объем ($\text{м}^3/\text{кг}$) влажного воздуха представляет собой отношение объема влажного воздуха V к суммарной массе сухого воздуха m_c и пара m_p , входящих в данный объем, т.е.

$$V = \frac{V_{\text{вв}}}{m_c + m_p}.$$

В расчетах удобнее пользоваться удельным объемом, отнесенным к массе сухой части воздуха

$$V_c = V/m_c.$$

Насыщение воздуха влагой, т.е. содержание водяного пара в воздухе, характеризуется абсолютной влажностью.

Относительная влажность ϕ характеризует степень насыщения воздуха паром и равна отношению количества водяного пара в данном объеме к максимально возможному его количеству при данных давлении и температуре.

Влагосодержанием d называется масса водяного пара (g), отнесенная к 1 кг сухого воздуха:

$$d = 1000 m_p/m_c = 1000 \cdot \rho_p/\rho_c,$$

где ρ_p — плотность водяного пара.

Влагосодержание показывает, сколько граммов влаги приходится на 1 кг сухой части воздуха (масса сухого воздуха в процессе сушки неизменна) в данном объеме влажного воздуха.

Влагосодержание насыщенного воздуха d не зависит от температуры, т.е. при нагреве остается постоянным. Влагосодержание насыщенного воздуха d_n увеличивается с ростом температуры. Разность влагосодержания ($d_n - d$) характеризует сво-

бодную влагоемкость воздуха – способность поглощать влагу.

Энтальпия – это функция состояния влажного воздуха, равная сумме внутренней энергии (произведению давления на объем).

Энтальпия влажного воздуха I равна сумме энтальпий отдельных компонентов

$$I = I_c + I_n = C_c \cdot t + \frac{d}{1000} \cdot i_n,$$

где I_c , I_n , i_n – энтальпия сухого воздуха, водяного пара, перегретого пара, кДж/кг, соответственно.

Для практических расчетов для определения энтальпии может быть использована формула Л.К.Рамзина:

$$I = 1,01t + (2500 + 1,88t) \frac{d}{1000}.$$

$i - d$ диаграмма влажного воздуха (рисунок 44). Параметры влажного воздуха: температура, относительная влажность, влагосодержание, энтальпия находятся в определенной зависимости друг от друга. На основании этого составлена $i - d$ диаграмма.

Для лучшего расположения рабочего поля диаграммы на плоскости чертежа и удобства пользования ее строят в косоугольной системе координат обычно с углом между осями 135° . По оси абсцисс откладывают влагосодержание, по оси ординат – значения энтальпии влажного воздуха. Координатная сетка образована семейством прямых, параллельных осям координат. Линии постоянного влагосодержания ($d = \text{const}$) в этом случае изображают на диаграмме вертикальными прямыми, а линии постоянной энтальпии ($i = \text{const}$) – наклонными прямыми под углом 45° к первым.

Рабочее поле располагается в верхней части диаграммы. Нижнюю часть диаграммы отсекают горизонтальной прямой, на которой отложено влагосодержание (в масштабе $1 \text{ мм} = 0,2 \text{ г/кг}$). Эту линию проводят так, чтобы в рабочее поле диаграммы можно было захватить некоторую область отрицательных температур (при сушке зерна обычно до минус 15°C). По оси ординат отложены величины энтальпии (в масштабе $1 \text{ мм} = 0,5 \text{ кДж/кг}$).

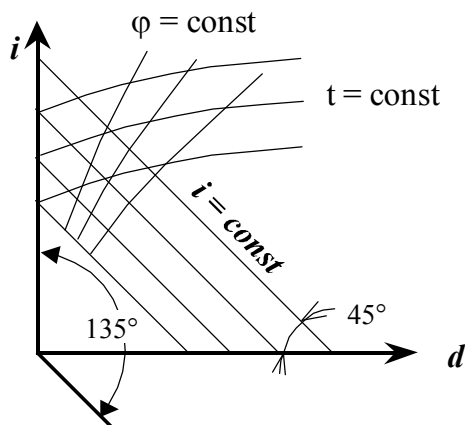


Рисунок 44 $i - d$ диаграмма влажного воздуха

Линия постоянной относительной влажности $\phi = 100\%$ разделяет $i - d$ диаграмму на две части: расположенную выше линии – область ненасыщенного воздуха и ниже ее – область тумана, или насыщенного воздуха.

Линию $\phi = 100\%$ называют линией насыщения влажного воздуха паром. На $i - d$ диаграмму наносят линии постоянной относительной влажности ($\phi = \text{const}$), постоянной температуры ($t = \text{const}$), а также вспомогательные линии парциального давления. Линии $\phi = \text{const}$ построены по точкам пересечения линий и соответствующих изотерм и имеют вид расходящегося пучка. Давление пара и относительная влажность воздуха зависят не только от влагосодержания и давления насыщенного пара, но и от общего давления влажного воздуха P . Поэтому для расчетов процессов сушки $i - d$ диаграмму строят для определенного постоянного общего давления.

При помощи диаграммы можно по двум заданным определить остальные параметры влажного воздуха, используя для этого пересечение основных линий и гра-

фическое интерполирование. Кроме указанных основных линий на $i - d$ диаграмме нанесена вспомогательная линия (от точки $d=0$) для определения парциальных давлений водяного пара во влажном воздухе. Цифровые значения парциальных давлений приведены в нижней части диаграммы на крайней правой вертикали в масштабе $1 \text{ мм} = 100 \text{ Н/м}^2$.

Смесь воздуха с продуктами сгорания топлива. В подавляющем большинстве зерносушилок в качестве агента сушки используют смесь воздуха с продуктами сгорания топлива, применяя непосредственный нагрев воздух в топке, как наиболее экономичный метод по сравнению с калориферным или иными способами подогрева воздуха. В теплогенераторах используется жидкое (дизельное, тракторный керосин) и газообразное (природный газ) топливо.

По своим физическим свойствам смесь воздуха с топочными газами близка к влажному воздуху. Поэтому при расчете зерносушилок, работающих на смеси, пользуются уравнениями и таблицами, составленными для влажного воздуха. При этом необходимо определить влагосодержание и энтальпию агента сушки (с учетом состава топлива, количества воздуха для его горения). Влагосодержание агента сушки зависит от количества влаги в топливе, а также от влагосодержания наружного воздуха, необходимого для сгорания топлива и получения агента сушки необходимой температуры.

Энтальпию агента сушки определяют по $i - d$ диаграмме или таблицам, которые можно найти в учебной и справочной литературе по теплотехнике.

8.4 Технологические основы сушки зерна.

Классификация способов обезвоживания материалов

В основу классификации методов сушки положены способы передачи теплоты просушиваемому зерну.

В современных установках наиболее часто теплота передается зерну от перемещающегося агента сушки (нагретого воздуха или смеси воздуха с топочными газами), т.е. традиционным конвективным методом. При конвективной сушке зерно может находиться в состоянии плотного, неподвижного, гравитационного, движущегося, псевдооживленного, виброкипящего, падающего или взвешенного слоя.

Теплота может быть передана зерну от нагретых поверхностей с использованием их теплопроводности. Такой метод назван кондуктивным. В качестве нагретой поверхности используют трубы, обогреваемые паром, горячей водой или газом.

При искусственном уменьшении давления воздуха над просушиваемым зерном влага из него испаряется и при низких температурах. Такой метод называется вакуумной сушкой.

Теплота может сообщаться зерну посредством тепловых лучей или в результате радиации (солнечная сушка или сушка инфракрасными лучами). Этот метод называют радиационным. При инфракрасном облучении плотность теплового потока на поверхности зерна в 20 ... 100 раз выше, чем при конвективной сушке. Возможны также нагрев и сушка зерна в электрическом поле высокой частоты. Эти методы целесообразно использовать для предварительного нагрева зерна в сочетании с конвективной сушкой.

Контактная (сорбционная) сушка предназначена для обезвоживания влажного зерна при контакте с гигроскопическими веществами (сорбентами), например при смешивании влажного и сухого зерна. В качестве сорбентов могут служить хлористый кальций и различные отходы сельскохозяйственного и другого производства.

Наиболее перспективны методы комбинированной сушки (конвективно-контактный, конвективно-кондуктивный, конвективно-радиационный), которые используют в сушилках с рециркуляцией и с предварительным нагревом зерна.

К основным режимам сушки зерна относят температуру, влажность и скорость агента сушки, температуру, влажность, назначение и род культуры зерна, продолжительность сушки.

Температура агента сушки является одним из основных параметров и определяет интенсивность нагрева зерна и испарения из него влаги. Высокая температура и низкая относительная влажность подаваемого в сушилку агента сушки способствуют интенсификации процесса сушки в целом. Однако значение температуры ограничено необходимостью обеспечения сохранности и улучшения качества зерна. Высокая относительная влажность и низкая, приближающаяся к температуре зерна в сушильной шахте температура отработавшего агента сушки являются свидетельством максимального использования его сушильной способности как теплоносителя и влагопоглотителя и служат критерием экономичности процесса.

Влажность зерна оказывает существенное влияние на выбор температурных режимов сушки. Термоустойчивость зерна, характеризуемая предельно допустимой температурой его нагрева, в большей степени зависит от начальной влажности: чем больше влажность зерна, тем менее оно термоустойчиво, и наоборот.

Требования, предъявляемые к зерносушилкам

Сушка зерна – технологический процесс, направленный на полное сохранение, а в необходимых случаях и улучшение качества зерна в соответствии с его назначением. В связи с этим конструкции зерносушилки должны, прежде всего, обеспечивать:

- равномерный нагрев и сушку зерна при надежном контроле температуры и влажности в процессе сушки, при этом должны быть исключены механическое травмирование и потери полноценного зерна (унос отработавшим агентом сушки);
- достаточно высокую производительность, должны быть экономичными по удельным расходам топлива и электроэнергии, иметь возможно меньшую металлоёмкость;
- возможность одновременной сушки зерна с различной начальной влажностью;
- эффективное охлаждение просушенного зерна;
- безопасность эксплуатации для человека и окружающей среды.

Классификация зерносушилок



Рисунок 45 Классификация зерносушилок

В большинстве современных зерносушилок используют конвективный метод сушки при различном (неподвижное, движущееся, псевдоожиженное или взвешенное) состоянии зернового слоя. Кондуктивный способ подвода теплоты используется в сушилке с рециркуляцией зерна, в которых теплота, подведенная к зерну конвективным путем, в ходе сушки перераспределяется в результате кондуктивного теплообмена при смешивании рециркулирующего нагретого (сухого) и холодного (свежего) зерна.

По режиму и особенностям принципа работы сушилки делят на периодически действующие (в которых зерно загружают в сушильную камеру, высушивают до требуемой влажности без перемещения, а затем полностью выгружают), на непрерывно действующие (в которых зерно в процессе сушки перемещается от места загрузки к месту его выгрузки), на прямоточные (в которых зерно проходит через сушильную камеру один раз) и на рециркуляционные (в которых часть просушенного зерна возвращается и смешивается со свежим, поступающим на сушку зерном).

Учитывая ограниченный объём данного учебного пособия, мы не имеем возможности познакомиться со всеми сушилками, приведёнными в классификации на рисунке 45. Рассмотрим только те из них, которые наиболее часто используются на предприятиях, связанных с переработкой и хранением зерна.

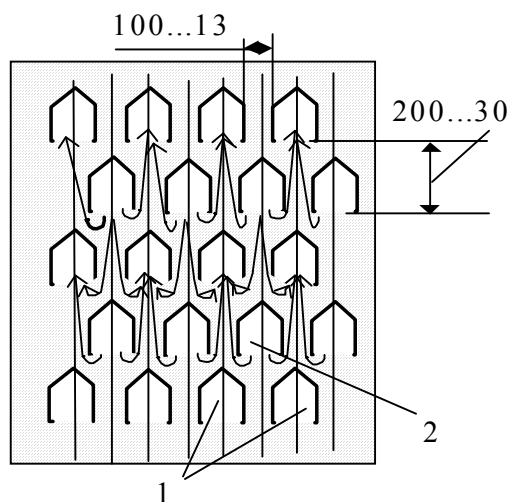
Зерносушилки классифицируются по разнообразным принципам, важнейшими из которых являются: способ подвода теплоты к просушиваемому зерну, состояние зернового слоя, конструкция сушильной (нагревательной) шахты, режим и принцип работы, конструктивное исполнение (рисунок 45).

В большинстве современных зерносушилок

8.5 Техника сушки зерна

Шахтные зерносушилки

На хлебоприёмных и зерноперерабатывающих предприятиях, а также в хозяйствах широкое распространение получили шахтные зерносушилки. Скорость движения агента сушки в слое зерна 0,2...0,5 м/с; скорость движения зерна в шахте во много раз меньше скорости агента сушки.



1 – подводящие короба; 2 – отводящие короба

Рисунок 46 Схема движения агента сушки в шахтных сушилках

В шахте установлены короба, имеющие сверху наклонные грани, по которым скользит зерно. Угол наклона граней к горизонту 53...55°. Радиус закругления у верхней части короба небольшой (не более 5 мм), для того чтобы зерно в нём не залегалось. Короба, по которым агент сушки подают в сушильную шахту, называют подводящими, а через которые выводят – отводящими.

Короба со стороны подвода агента сушки открыты, а с другой стороны закрыты. Отводящие короба, наоборот, открыты со стороны выхода агента сушки. Подводящие и отводящие короба в большинстве чередуются через один ряд (рисунки 46). Агент сушки, поступая из топки в подводящие короба, пронизывает слой зерна и проходит в верхний или нижний ряд отводящих коробов, откуда его выводят наружу. Число отводящих и подводящих коробов обычно одинаковое.

Правильность выбора числа отводящих коробов определяют по формуле:

$$n = \frac{Q}{3600 \cdot v \cdot F},$$

где Q – объём отработавшего агента сушки при выходе из коробов, м³/ч; v – скорость отработавшего агента сушки в отводящих коробах, м/с; F – площадь поперечного сечения отводящего короба, м².

Расположение коробов должно обеспечивать свободное прохождение зерна. Однако большое расстояние между коробами увеличивает толщину зернового слоя и снижает равномерность сушки, в также повышает сопротивление слоя. Поэтому в современных зерносушилках расстояние для прохождения зерна в наиболее узком месте обычно делают не более 90...100 мм. Ширина коробов – 100 мм, что позволяет отбирать из них пробу для определения температуры нагрева зерна.

Верхнюю часть шахты используют как сушильную, а нижнюю – как охлаждающую. Конструкция сушильной и охлаждающей шахт одинаковая. Время пребывания зерна в сушильной шахте регулируют специальным выпускным механизмом, расположенным в нижней её части. Чем медленнее выпускают зерно из шахты, тем больше времени оно находится в ней под действием агента сушки и, следовательно, больше высушивается. При более быстром выпуске зерна из шахты влажность зерна снижается меньше.

Шахтные сушилки могут работать под разрежением или при избыточном давлении. Оба способа имеют положительные и отрицательные стороны, но на эффек-

тивность сушки они почти не оказывают влияния, так как создаваемое вентиляторами разрежение в шахте (при работе на всасывание) или избыточное давление (при работе на нагнетание) по сравнению с атмосферным (981 ГПа) невелико: 5...10 ГПа. Современные сушилки высокой производительности работают под избыточным давлением. Это даёт возможность более удобно разместить вентиляторы.

Для ступенчатых режимов сушки сушильные шахты разделяют на зоны (две или три). При работе сушилки под избыточным давлением каждую зону обслуживает самостоятельный вентилятор. При работе сушилки под разрежением один вентилятор обслуживает две зоны.

В заключение перечислим некоторые типы существующих сушилок:

Зерносушилки ДСП–12 (16, 20, 24, 32 и 50 т/ч) двухступенчатые разработаны ЦНИИпромзернопроект с топками на жидком топливе.

Зерносушилки СЗШ–16 и СЗШ–8 – это унифицированные сушилки, предназначенные для сушки зерна и семян, двухсекционные и четырех секционные.

Передвижная зерносушилка К4–УСА разработана на базе сушилки ЗСПЖ–8, имеет производительность 10 т/ч.

Зерносушилки с рециркуляцией зерна

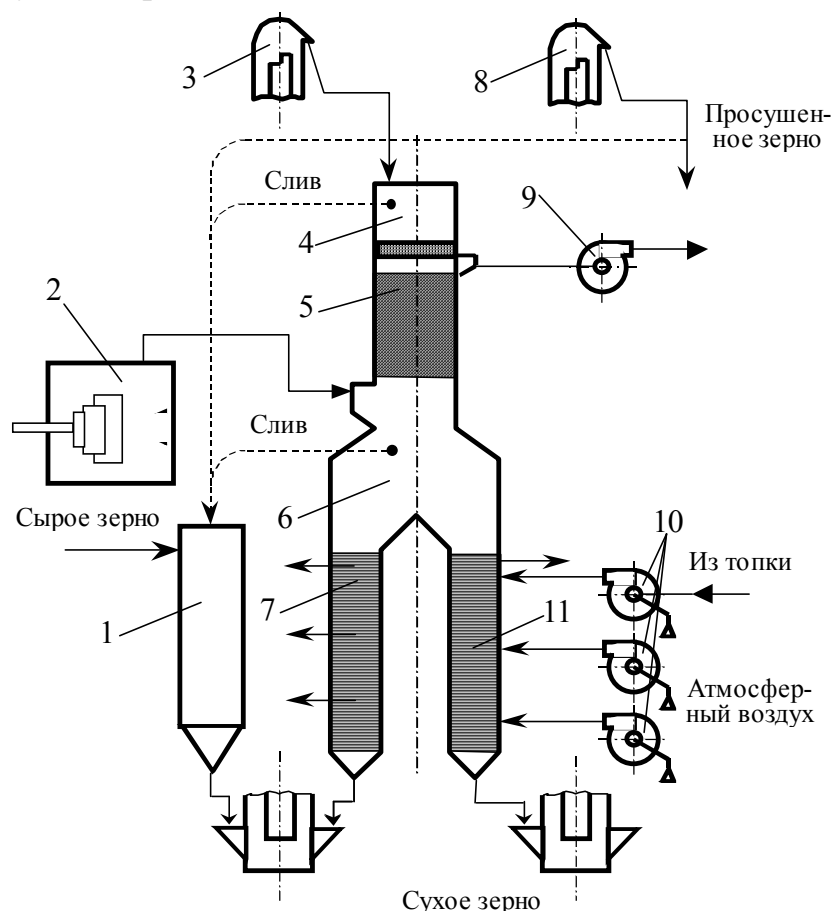
Используемые в настоящее время прямоточные шахтные зерносушилки просты по конструкции, удобны в обслуживании, надёжны в работе, обладают сравнительно высокими технико-экономическими показателями. Однако их конструктивные недостатки (несовершенство выпускных и воздухораспределительных устройств, недостаточное перемешивание зерна при сушке) приводят к неравномерности нагрева и сушки зерна различной влажности и снижению влажности за один пропуск на 6%. Поэтому до направления на сушку формируют партии зерна со сравнительно небольшими колебаниями влажности.

Эти недостатки устранены в зерносушилках с комбинированным способом сушки, получивших название рециркуляционных. Эти сушилки обеспечивают: сушку зерна с доведением до требуемых кондиций независимо от первоначальной влажности при сохранении качества зерна; смешивание перед подачей в сушилку зерна различной влажности и получение равномерно высушенного; формирование партий зерна по признакам, определяющим его пищевые и технологические достоинства; подачу в сушилку зерна без предварительной очистки (исключая грубые примеси и крупные инородные предметы, удаляемые в ворохоочистителе); очистку зерна в процессе пропуска его через зерносушилку с выделением лёгких примесей (эффективность очистки примерно равна пропуску через сепаратор); снижение расхода топлива и затрат на сушку по сравнению с шахтными сушилками; более высокую степень автоматизации.

Зерносушилки с рециркуляцией по конструктивному исполнению и способу нагрева зерна можно разделить на четыре группы: пневмогазовые, рециркуляционные с противоточными камерами нагрева, шахтные рециркуляционные и рециркуляционно – изотермические. Наибольшее распространение получили рециркуляционные с противоточными камерами нагрева и шахтные рециркуляционные сушилки. Пневмогазовые зерносушилки из-за значительного расхода электроэнергии на сушку при использовании пневмотранспорта для подъёма зерна были построены в единичных экземплярах, их в настоящее время не изготавливают.

Рециркуляционная зерносушилка с противоточной камерой нагрева (рисунок 47) состоит из оперативного бункера, приёмного бункера с устройством для загрузки камеры нагрева, тепловлагообменника, двух охладительных шахт (промежуточного

и окончательного охлаждения), камеры нагрева выпускного устройства, топки на жидком топливе, вентиляционной системы и рециркуляционной норрии и норрии для сухого зерна.



1 – оперативный бункер; 2 – топка; 3 – рециркуляционная норрия; 4 – приёмный бункер; 5 – камера нагрева; 6 – теплообменник; 7 – шахты промежуточного охлаждения; 8 – норрия для сухого зерна; 9 – вентилятор камеры нагрева; 10 – вентиляторы шахт охлаждения; 11 – шахта окончательного охлаждения

Рисунок 47 Технологическая схема рециркуляционной зерносушилки с противоточной камерой нагрева

шахты окончательного охлаждения. Одновременно из оперативного бункера в рециркуляционную норрию подают сырое зерно в объёме, равном выпущенному из сушилки. Смешиваясь с рециркулируемым, сырое зерно поступает в камеру нагрева.

В ней агент сушки, движущийся сверху вниз в направлении, противоположном движению зерна, нагревает его. Из неё зерно поступает в теплообменник, где находится около 15 минут. В это время происходит интенсивный влагообмен между отдельными зёрнами и выравнивание температуры. После теплообменника зерно разделяют на два потока: один направляют в шахту промежуточного охлаждения для дальнейшей рециркуляции, а другой – в шахту окончательного охлаждения. После окончательного охлаждения просушенное зерно должно иметь заданную влажность.

В основном влага из зерна удаляется в охладительных шахтах под действием теплоты, полученной в камере нагрева. В ней за один проход влажность зерна снижается на 0,2...0,4 %, а в шахтах охлаждения – на 0,8...1,2 %. Для достижения зерном заданной влажности из шахты промежуточного охлаждения его возвращают на рециркуляцию. Сырое зерно смешивают с рециркулирующим в таком соотношении,

Зерно, подлежащее сушке, подают в оперативный бункер, из которого рециркуляционная норрия передаёт его в приёмный бункер. Зерно пропускают через камеру нагрева и загружают им теплообменник и обе шахты; после этого подачу сырого зерна прекращают и регулируют устройство подачи, добиваясь равномерного направления зерна в камеру нагрева по её сечению. Одновременно регулируются устройства для выпуска зерна из шахт. После этого включают в работу вентилятор камеры нагрева и топку. Доведя нагрев зерна до допустимой температуры, включают вентиляторы охладительных шахт.

Влажность сырого зерна в сушилке снижается до заданной в результате многократной циркуляции. После достижения заданной влажности зерно выпускают из

чтобы средневзвешенная влажность смеси превышала конечную влажность на выходе из сушилки на величину средневзвешенного снижения влажности за один цикл. Температура отработавшего агента сушки должна быть близка к температуре зерна в камере нагрева.

Работа рециркуляционных сушилок характеризуется кратностью смешивания или коэффициентом рециркуляции. Соотношение между количеством смешиваемого сырого и рециркулирующего зерна зависит от начальной влажности и величины её снижения за один цикл (нагрев – охлаждение); его называют кратностью смешения. Это соотношение показывает, во сколько раз расход рециркулирующего зерна превышает расход сырого. В зависимости от кратности смешения скорость движения зерна в шахте промежуточного охлаждения в несколько раз больше, чем в шахте окончательного охлаждения (при оптимальном режиме в 6...7 раз).

Кратность смешения

$$n = \frac{G_P}{G_C},$$

где G_P – масса направляемого на рециркуляцию зерна; G_C – масса сырого зерна, поступающего в сушилку.

Коэффициентом рециркуляции N называют отношение массы смеси сырого зерна и рециркулирующего зерна G_{CM} к массе сырого зерна G_C :

$$N = \frac{G_{CM}}{G_C} = \frac{G_C + G_P}{G_C}.$$

Масса смеси зерна в процессе эксплуатации рециркуляционных сушилок – величина постоянная, а масса сырого зерна изменяется в зависимости от режима сушки и величины снижения влажности. Между показателями N и n существует следующая зависимость:

$$N = \frac{G_P + G_C}{G_C} = \frac{G_P}{G_C} + \frac{G_C}{G_C} = n + 1.$$

Для того чтобы определить величину n , надо знать массу сырого зерна, поступающего на рециркуляцию, влажность сырого зерна ω_C , влажность рециркулирующего зерна ω_P и влажность их смеси ω_{CM} . Величину n можно определить из уравнения $G_C\omega_C + nG_C\omega_P = G_{CM}\omega_{CM}$.

Заменив G_{CM} на $(G_C + nG_C)$, после преобразования получим:

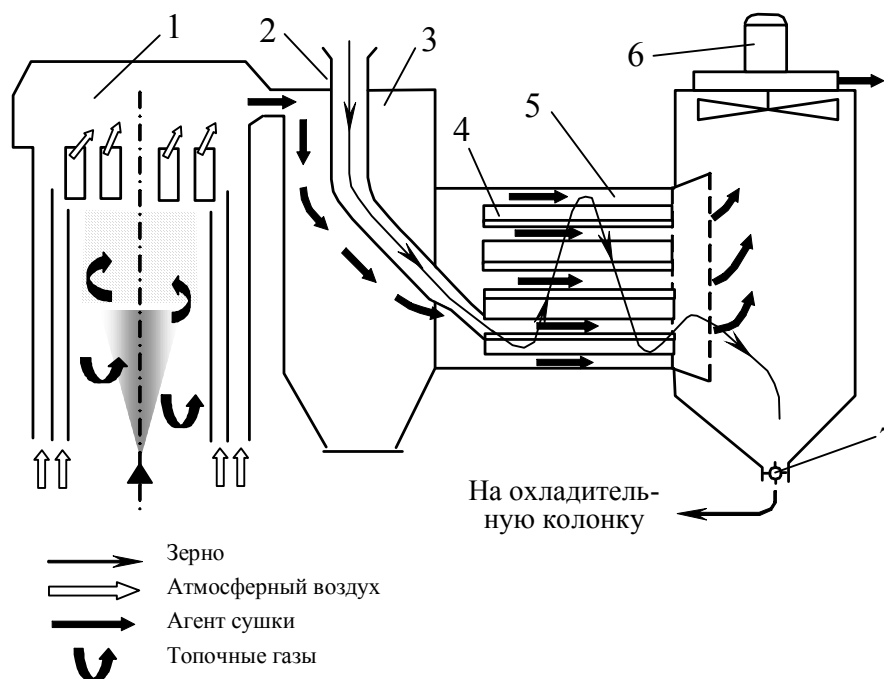
$$n = \frac{\omega_C - \omega_{CM}}{\omega_{CM} - \omega_P}.$$

В рециркуляционных сушилках влага из зерна испаряется в основном в период его охлаждения. Поэтому зерно в процессе сушки полностью сохраняет качество.

Барабанная сушилка СЗСБ–8

Сушилка стационарная, непрерывного действия, работает под разрежением. Направление движения агента сушки прямоточное. Производительность при сушке продовольственного зерна 8 т/ч при снижении влажности с 20 до 14 %.

Сушилка состоит из топki, работающей на жидком топливе, вращающегося барабана, оборудованного специальными лопастями с полочками для перемешивания зерна, охладительной колонки, загрузочной и разгрузочной камер, механизма привода сушильного барабана. Он снаружи имеет два бандаж, которые опираются на четыре пары роликов, приводящих барабан во вращение. Длина барабана 8000 мм, диаметр 1600 мм. Частота вращения 8 об/мин.



1 – топка; 2 – загрузочная труба; 3 – загрузочная камера; 4 – подъёмно-лопастная система; 5 – сушильный барабан; 6 – вентилятор сушильного барабана; 7 – шлюзовой затвор

Рисунок 48 Технологическая схема барабанной сушилки СЗСБ-8

Охлаждающая колонка представляет собой два вертикальных цилиндра разного диаметра с перфорированными стенками. Между цилиндрами перемещается зерно, которое охлаждает продуваемый через него атмосферный воздух. Диаметр наружного цилиндра 1260 мм, внутреннего 760 мм, высота охлаждающей колонки 2750 мм. В верхней части колонки размещён на вертикальной оси вентилятор Ц4-70 №6 для отсоса атмосферного воздуха. Вентилятор приводится в движение от электродвигателя мощностью 5,5 кВт с частотой вращения 1450 об/мин.

Технологическая схема сушилки показана на рисунке 48. Просушиваемое зерно подаётся норией в сушильный барабан. Продвигаясь по нему и непрерывно перемешиваясь, зерно под воздействием проходящего через барабан агента сушки высушивается. Подпор поступающего зерна и движение агента сушки обеспечивают перемещение зерна вдоль барабана. Из него зерно норией подают в отдельно стоящую охлаждающую колонку, из которой оно через шлюзовой затвор поступает по назначению.

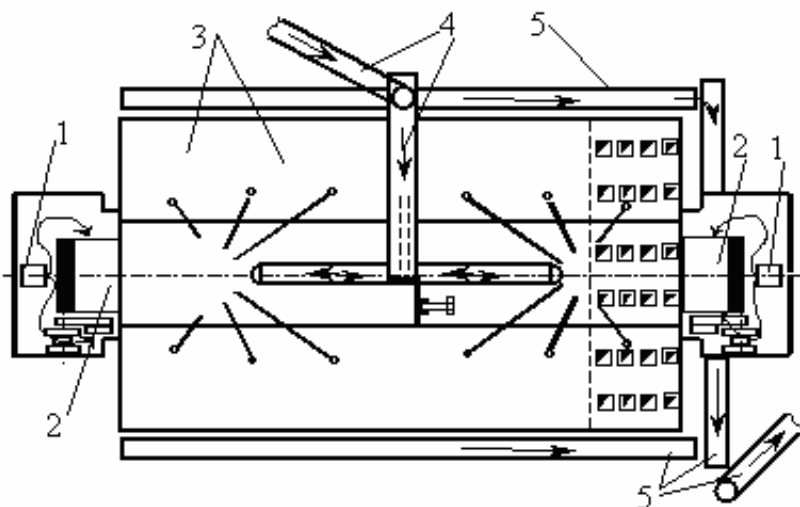
Расход топлива (смесь тракторного керосина с дизельным топливом) 65 кг/ч, мощность восьми электродвигателей 31,2 кВт. Габаритные размеры сушилки: длина 10260 мм, ширина 7070 мм, высота 8300 мм. Масса сушилки с полным комплектом 9000 кг.

Камерные сушилки для кукурузы в початках

Гибридные и сортовые семена кукурузы в початках сушат в камерных сушилках. Особенности их работы: периодичность операций по загрузке камер, большая продолжительность процесса сушки и выгрузка просушенных початков для направления их на обмолот.

Камерные сушилки разделяют на два типа: с продольным расположением камер (коридорный тип) и с поперечным расположением камер (секционный тип). Схемы работы указанных сушилок одинаковы. Отличие их заключается в способе

размещения и размерах камер, а также в различном расположении вентиляторов. Размер и число камер определяют по потребной мощности сушильного цеха. Сушилki бывают четырёх-, шести-, восьми-, десяти-, двенадцати камерные. При необходимости устанавливают сдвоенные двенадцати камерные сушилki коридорного типа. Секционные сушилki в настоящее время не строят.



1 – топка на жидком топливе; 2 – вентилятор; 3 – сушильные шахты; 4 – загрузочные транспортёры;
5 – разгрузочные транспортёры

Рисунок 49 Сдвоенная двенадцати камерная сушилка коридорного типа

Сушилка коридорного типа (рисунок 49) представляет собой кирпичное, железобетонное или сборное железобетонное здание, в котором расположены сушильные камеры, разделённые двухэтажным коридором. Камеры обычно прямоугольного сечения, размером 6×6 м. Для сушки малых партий кукурузы в початках и обрубленного зерна камеры иногда делят пополам. Вместимость камеры при высоте насыпи початков кукурузы 3 м примерно 60 т. В зависимости от влажности початков кукурузы высота насыпи может быть

от 2 до 4 м (чем выше влажность початков, тем меньше высота насыпи). Производительность двенадцати камерной сушилки 5000 т готовых семян за сезон (50 дней) при трёхсменной работе.

Днище сушилок состоит из металлических балок с промежутками для прохода агента сушки. Балки покрыты штампованными решётками. Днища устанавливают с наклоном для выгрузки початков на транспортёр самотёком (угол наклона к горизонту 30°). Подают и отводят агент сушки через специальные люки в камерах. Открывая или закрывая соответствующие люки, можно изменять направление подачи агента сушки в камеру (снизу вверх или сверху вниз). Топка примыкает к торцовым стенкам сушилки и соединена с коридорами стальным диффузором. Работает топка на жидком топливе.

Семенная кукуруза особенно чувствительна к перегреву, поэтому топки снабжены оборудованием для автоматического регулирования заданной температуры агента сушки. В зависимости от влажности кукурузы температура агента сушки поддерживается в пределах от 38 до 46 °С. Воздух в форсунку подают вентилятором высокого давления АВД, а в сушильные камеры – вентиляторными агрегатами Ц4–76 №20.

После сушки початки оставляют на некоторое время в камерах сушилки для перераспределения влаги между зёрнами и внутри зерновок, а также для их охлаждения перед направлением на обмолот. Загружают и разгружают сушилки механизированным путём при помощи скребковых и ленточных транспортёров.

В камерных сушилках вследствие большого числа люков и недостаточной их герметичности возникают значительные утечки агента сушки. Кроме увеличения расхода топлива, вызываемого этими утечками, снижается производительность сушилок. Поэтому крышки люков должны быть герметичными.

Наличие обрушенных зёрен при сушке кукурузы в початках значительно увеличивает аэродинамическое сопротивление слоя и, следовательно, уменьшает производительность сушилок. Поэтому необходимо выделять обрушенные зёрна перед подачей на сушку кукурузы в початках. Для этого устанавливают решётчатые горки в местах переброски кукурузы с транспортёра на транспортёр.

Для уменьшения обрушивания зёрен при загрузке сушильных камер применяют гибкие рукава и самотёчные трубы, так как при загрузке камер высота падения початка с транспортёра в камеру достигает 8 м.

Поверхность насыпи початков должна быть параллельна днищу, так как разная высота насыпи приводит к неравномерной сушке, к перерасходу топлива и электроэнергии, снижает производительность сушилки.

9 Активное вентилирование зерна

9.1 Виды активного вентилирования

Активное вентилирование широко применяется в практике послеуборочной обработки и хранения зерна. Путём принудительной замены воздуха межзернового пространства зерновой насыпи атмосферным воздухом можно в нужном направлении изменять температуру и влажность зерна. Это в свою очередь позволяет регулировать биологические процессы в зерне, предотвращать процессы порчи зерна и создавать неблагоприятные условия для развития вредителей и микроорганизмов в зерновой массе. В зависимости от назначения различают несколько видов активного вентилирования.

Внешняя консервация. Внешняя консервация свежееубранного зерна с повышенной влажностью заключается в обработке предварительного очищенного свежееубранного зернового вороха воздушным потоком для снижения его температуры и влажности. Консервация свежееубранного зерна активным вентилированием позволяет в 3..4 раза увеличить срок его безопасного хранения до сушки.

Профилактическое вентилирование. Эту операцию применяют для предотвращения очагов самосогревания, выравнивания температуры и влажности в зерновой насыпи, уменьшения энергии дыхания и т.п. Профилактическое вентилирование целесообразно проводить в ночное время суток и в периоды временных похолоданий.

Охлаждение зерна. Вентилирование с целью охлаждения зерна проводят для торможения физиологических и микробиологических процессов в насыпях. Во время этой операции следует стремиться, чтобы конечная температура зерна была в пределах от 0 до 10°C. При такой температуре зерновые вредители прекращают активную жизнедеятельность и впадают в анабиоз. Как и для предыдущей операции, для охлаждения зерна следует использовать ночное снижение температуры. Применение искусственного холода экономически нецелесообразно.

Ликвидация самосогревания. Вентилирование для ликвидации самосогревания проводят при высоких удельных расходах воздуха, от 100 до 200 м³/(ч·т) и более. При высокой влажности наружного воздуха вентилирование не производят.

Сушка зерна и семян. Её проводят тогда, когда невозможна обработка на зерносушилках. Чаще всего эту операцию проводят для семян подсолнечника, клещевины, бобовых и кукурузы. Принудительный подогрев воздуха может быть экономически оправдан только при угрозе полной потери урожая.

Вентилирование семенного зерна. Эта операция способствует ускорению послеуборочного дозревания свежееубранного зерна, повышает энергию прорастания и всхожесть. Проводится в весенний период в тёплое время суток и заканчивают за неделю до начала сева.

Вентилирование для дегазации. Такое вентилирование проводится в целях удаления фумиганта обычно в тёплые дни, что позволяет повысить эффективность процесса, а так же в случае необходимости срочно реализовать загазированное зерно.

Рекомендуемая литература

Основная

1. Баум А.Е., Резчиков В.А. Сушка зерна. М.: Колос. 1983. — 223 с.
2. Воронцов О.С. Элеваторы, склады и зерноперерабатывающие предприятия. М.: Колос. 1970.
3. Е.М. Вобликов, В.А. Буханцов и др. Послеуборочная обработка и хранение зерна. — Ростов н/Д: издательский центр "МарТ", 2001. — 240 с.
4. Мельник Б.Е., Лебедев В.Б., Малинин Н.И. Производство зернового сырья на элеваторах - М.: Колос, 1996. -496 с.
5. Пунков С.П., Ким Л.В., Фейденгольд В.Б. Проектирование элеваторов и хлебоприемных предприятий с основами САПР: Учебник/Под ред. С.П. Пункова. — Воронеж: Издательство Воронежского университета, 1996. — 284 с.
6. Пунков С.П., Стародубцева А.И. Хранение зерна, элеваторно–складское хозяйство и зерносушение. М.: Агропромиздат. 1990.
7. Соколов А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. М.: Колос. 1967.
8. Чернилов Л.О., Куленков В.Н. Оборудование элеваторов и складов. М.: Колос. 1977.

Дополнительная литература

1. Конструкция и расчет зерновых железобетонных элеваторов. М.: Стройиздат. 1970.
2. Овчинников П.И. Автоматизированное управление производственными процессами при хранении и переработке зерна. М.: Заготиздат. 1962.
3. Романов А.И., Тихомиров Е.П. Практикум по оборудованию предприятий по хранению и переработке зерна. М.: Колос. 1981.
4. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна. М.: Колос. 1984.
5. Шумский Д.В. Элеваторно - складское хозяйство. М.: Заготиздат. 1941. 335 с.