

10

Почистване на зърнените суровини от примеси

Защо е необходимо да се премахнат примесите?

Примесите имат отрицателен ефект върху съхранението. По-долу са посочени някои от основните причини за почистване на зърното преди съхранение:

- Обемите за съхранение се използват по-ефективно. Подобрява се изсипваемостта и се намалява самосортирането.
- Премахват се обекти, които ще затруднят свободното изтичане на зърното от зърнохранилицата.
- Отделят се материали, които могат да предизвикат искри и прахови експлозии и така да застрашат живота и здравето на работещите там.
- По-добро запазване на зърното при съхранение. Примесите влошават условията за съхранение и допринасят за развитие на самозагриване.
- Премахват се примеси, които затрудняват работата на машините. Така се намалява опасността от задръствания и износвания и се увеличава надеждността.
- Премахването на примесите намалява общата микрофлора на насипа.
- Някои примеси увеличават влажността на зърното.
- Отделят се складови вредители.
- Отделя се прах, при което се подобрява хигиената и се запазва здравето на работниците.
- Премахването на примесите осигурява по-равномерен въздушен поток при активното вентилиране.

Като цяло отделянето на примесите увеличава срока за безопасно съхранение и намалява разходите. Затова примесите обикновено се премахват във възможно най-ранен етап от съхранението, непосредствено след разтоварването на зърното.

Грубо почистване

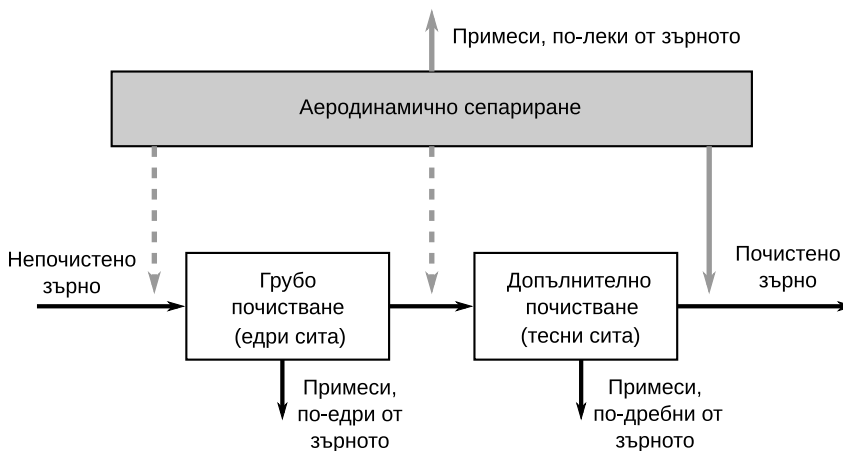
Грубото почистване премахва най-едрите примеси, като: части от растения, камъни, буци от сбито зърно, едри метални примеси и др. Те затрудняват всички следващи операции и задръстват транспортъорите. Затова се премахват непосредствено след разтоварването. Технологичният ефект на машините е минимум 50%. Работните органи на машините обикновено са въртящи се сита, направени от мрежа с правоъгълни отвори. Често към машините има и аспирационни колони за отделяне на праха и леките примеси. Размерите на ситата зависят от вида на зърното, но като цяло са големи (10x10, 10x12, 25x25 mm и др.).

След грубото почистване, обикновено следва второ почистване за отделяне на останалите по-дребни примеси.

Грубото и второто почистване могат да се обединят в една машина за предварително почистване.

Предварително почистване

Предварителното почистване включва грубо и второ почистване. Целта е зърното да се почисти възможно най-пълно, като се отделят едрите примеси и по-голямата част от дребните и леките примеси.

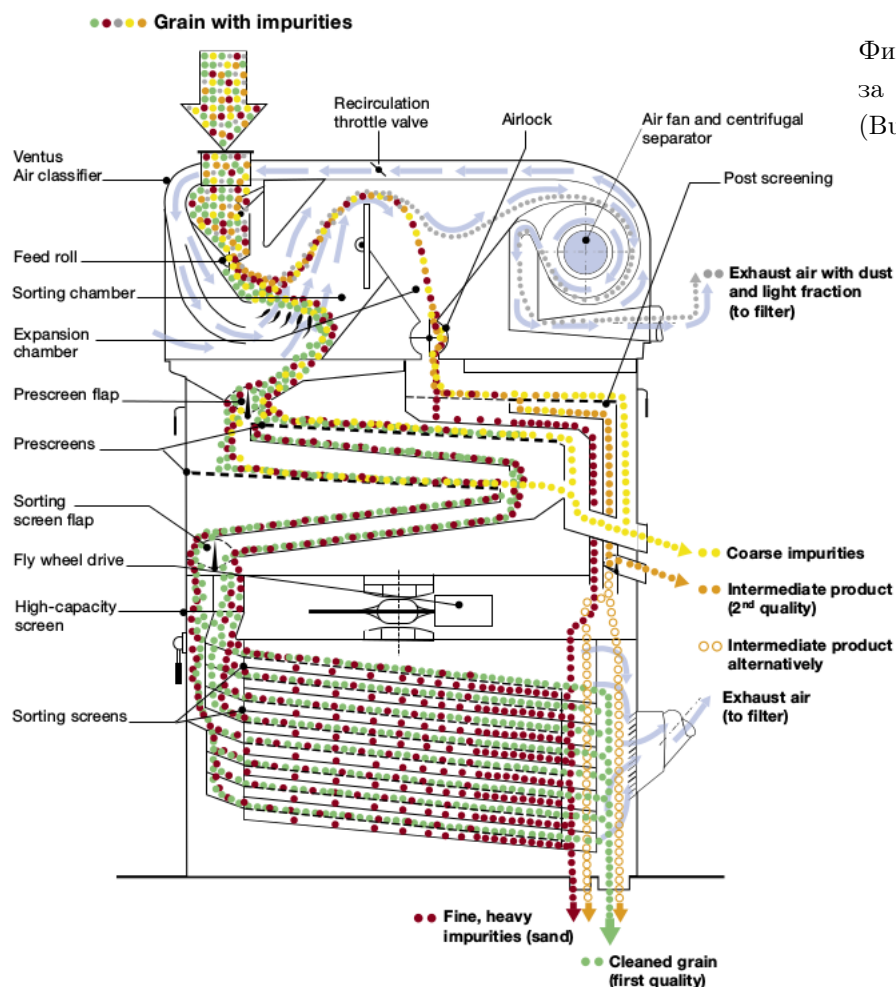


Внимание!! Грубото почистване е задължително преди сушене!!!

Фигура 10.1: Блокова схема на машина за предварително почистване. Включва: грубо почистване, допълнително почистване и аеродинамично сепариране.

Машините като цяло включват едно или повече приемни сита с големи отвори за отделяне на грубите примеси. Почистеното от тях зърно попада на няколко паралелно работещи сита за отделяне на дребните примеси като начупено зърно, минерални примеси, плевелни примеси и др. Накрая зърното преминава през аспирационна колона за отделяне на леките примеси. Освен в края, аеродинамично сепариране може да има и непосредствено на входа на машината или след отделянето на грубите примеси или и на двете места - на входа и след отделяне на грубите примеси.

Характерно за тези машини са големите производителности - 50, 100, 150, 200 t/h. Те се постигат с по-голям брой сита и по-голям наклон на ситата, спрямо мелничните сепаратори. Дебелината на



Фигура 10.2: Схема на машина за предварително почистване. (Buhler)

слоя зърно трябва да бъде по-малък от 15 – 20 mm. По-дебел слой означава, че машината е претоварена и технологичният и ефект ще бъде по-нисък.

Технологичният ефект на тези машини е голям - от 50 - 70%.

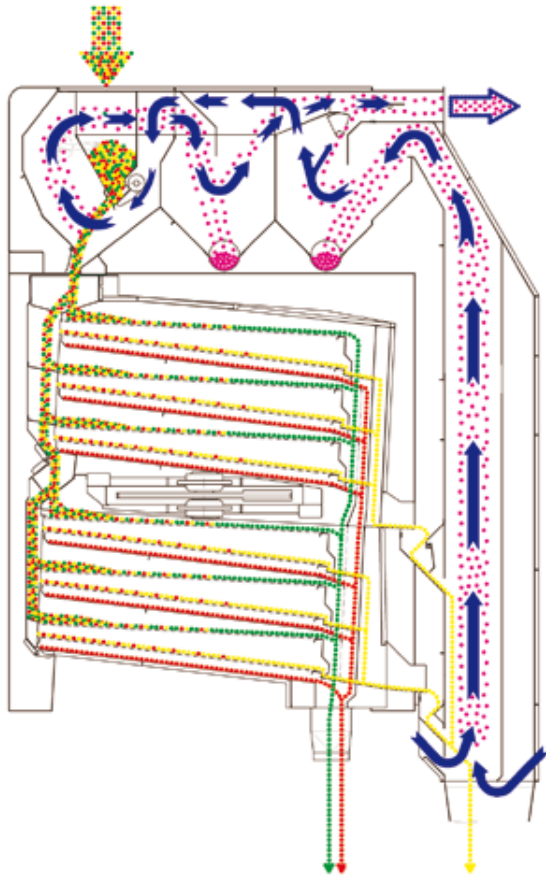
Примерни размери на ситата са посочени в таблицата.

Вид зърно	Груби примеси	Дребни примеси
пшеница, ечемик, ръж, тритикале	$\phi 6 - 12 mm$	1,7 – 2x20 mm или $\phi 2 - 2,5 mm$
царевица	$\phi 12 - 14 mm$	3 – 4x20 mm или $\phi 3 mm$
слънчоглед	$\phi 10 - 12 mm$	2,2x20 mm или $\phi 4 mm$

Таблица 10.1: Примерни размери на ситата в машините за предварително почистване.

Основно почистване

Основното почистване цели пълно отделяне на всички примеси. Допускат се само до 0,5% зърнени примеси. Обикновено се извършва след съхранение, непосредствено преди експедиция. Използва се при високи изисквания за чистота на зърното в производствени зърнохранилища към мелници, пивоварни и за подготовка на посевен материал. Технологичният ефект е много голям - над 70%



Фигура 10.3: Схема на машина за предварително почистване. (Buhler)

(обикновено 90 - 95%). Той се постига от машини с ниска производителност - 5 – 15 t/h.

Ниската производителност налага отделянето на основното почистване в самостоятелна технологична линия. Тази линия, най-често, включва ситово-въздушни сепаратори, камъкоотделителни машини и триори. (т.е. аналогична на почистващата линия в мелниците).

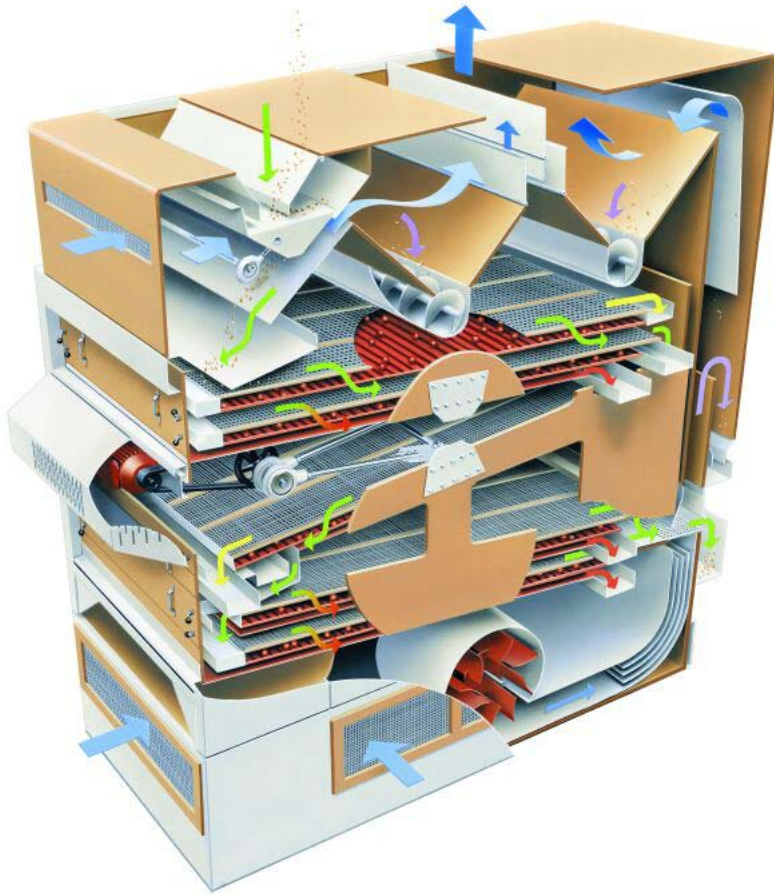
Пивоварният ечемик се дели на две фракции - ЕДРА, която остава над сито с продълговати отвори с ширина 2,5 mm и дребна - преминава през същото сито. Това се прави, за да се изравни кълняемостта на зърната. Дребните и недоразвити зърна покълват по-бавно или въобще не покълват.

Разделянето на фракции се извършва на ситов сепаратор. За по-голяма пресевна площ и производителност може да се използва и планзихтер.

Отпадъци

Три категории отпадъци се отделят при почистване на зърнените суровини:

- Отпадъци I категория - отделят се от подсевните (пресевните) сита на ситовите и ситово-въздушните сепаратори.
- Отпадъци II категория - получават се от аспирационните относи



Фигура 10.4: 3D схема на машина за предварително почистване. (Cimbria)

на ситово-въздушните сепаратори, машините за грубо почистване, агрегатите за предварително почистване и всички машини за въздушно сепариране (аспирационни канали и др.).

- Отпадъци III категория - отделят се от приемните сита на ситовите и ситово-въздушните сепаратори, надсекките от барабаните на машините за грубо почистване и агрегатите за предварително почистване на зърното.

Годни за фуражни цели са отпадъците от I-ва и II-ра категория. Те могат да се смесват и да се съхраняват в обща вместимост при малки зърнохранилища.

Производителност на почистващите машини

Производителността на почистващите машини зависи от много фактори:

- **ВЛАЖНОСТТА НА ЗЪРНОТО** - влажното зърно е с по-ниска изсипваемост и по-трудно се почиства. Сепараторите трябва да работят с по-малка производителност.
- **СЪДЪРЖАНИЕТО НА ПРИМЕСИ** - колкото по замърсено е зърното, толкова по-трудно се почиства и производителността на

почистващите машини намалява.

- ВИДЪТ НА ЗЪРНОТО - едросеменните и плевестите зърна се почистват по-трудно от дребносеменните и голите.
- ОТВОРИТЕ НА СИТАТА - колкото по-тесни са ситата, толкова по-ниска е производителността на почистващите машини и обратно.
- НАКЛОНЪТ НА РАМКИТЕ И ЧЕСТОТАТА И АМПЛИТУДАТА НА ВИБРАЦИИТЕ. Почистващите машини в силозно-складовата технология имат големи производителности, които се дължат и на по-големия наклон на ситовите рамки. От друга страна, големият наклон води до бързо движение на зърното върху тях и по-лошо почистване, т.е. технологичният ефект намалява.

Полезни връзки:

Cimbria Delta Super Cleaner

11

*Сушене на зърнените суровини - теория на сушенето**Причини, налагащи необходимостта от сушене*

Влажното зърно е нестабилно, бързо развива процес на самозагряване и следователно бързо се разваля. Развалата е съпроводена със загуби на технологични и потребителски свойства, поява на опасни за консуматора вещества (микотоксини) и загуба на сухо вещество. Всичко това представлява загуба на средства.

ЗА ДА СЕ СЪХРАНИ ПРОДЪЛЖИТЕЛНО ВРЕМЕ без промени в качеството и без загуби, влажното зърно трябва да се подсуши във възможно най-кратки срокове след прибирането му от полето.

Освен за осигуряване на продължително съхранение, сушенето се използва и за ОТДЕЛЯНЕ НА НЕСВОЙСТВЕН МИРИС, както и за БОРБА СЪС СКЛАДОВИТЕ ВРЕДИТЕЛИ.

Различните зърнени култури изискват различна продължителност на развитие и узряване. Освен това, те се отглеждат при различен климат. Тези, които узряват през лятото, се подсушават естествено на полето. А зърното, което не може да се подсуши на полето се прибира влажно. В България това са царевичата, оризовата арпа и понякога слънчогледа, които се прибират през есента. Всички те се нуждаят от подсушаване преди продължително съхранение.

Царевичата се прибира от началото до края на есента. Има три групи хибриди:

- С кратък период на развитие - прибират се в началото на есента.
- Със средна продължителност на развитие - прибират се в средата на есента.
- С голяма продължителност на развитие - прибират се в края на есента.

Оризовата арпа се прибира до края на септември и понякога влажността ѝ е над допустимата за продължително съхранение и трябва да се подсуши.

Пшеницата и ечемикът се прибират през лятото и не се нуждаят от сушене. При тях се налага сушене, когато се отглеждат в реги-

они с влажен климат. (Например: страни с влажен или тропичен климат или региони в близост до големи водни басейни).

Понятия свързани със сушенето

Състояние на влажния въздух

Състоянието на влажния въздух се характеризира с няколко параметъра:

Абсолютна влажност - количеството на водните пари, съдържащи се в един кубичен метър въздух.

Относителна влажност - процентното отношение на водните пари във въздуха, отнесено към максималното количество водни пари, които въздухът може да задържи. Или количеството водни пари във въздуха спрямо максималното количество водни пари, които може да задържи, изразено в проценти. Установено е, че с увеличаване на температурата, относителната влажност на въздуха намалява и способността му да поглъща водни пари се увеличава.

Наситен въздух - при дадена температура и налягане въздухът има пределна възможност да "разтвара" водни пари. Въздухът се нарича наситен, когато количеството на водните пари в него е достигнало предела ¹. При сушенето се стремим въздухът да напусне зърното наситен или със състояние близо до наситения. Така той е поел максималното възможно количество влага и процесът е енергийно максимално ефективен.

¹ Наситеният въздух има относителна влажност 100%, защото количеството водни пари в него е равно на максимално възможното при дадената температура и налягане.

Свързване на влагата със зърното

Сушенето се основава на свойството хигроскопичност. ХИГРОСКОПИЧНОСТТА е способността на зърното да сорбира или десорбира водни пари от околната среда.

Формите на свързване на влагата със сухото вещество са:

Химически свързана влага - намира се в строго определени количествени отношения с материала. Тя е изключително здраво свързана и може да се отдели чрез химична реакция или чрез изгаряне при висока температура. Това води до разрушаване на продукта. Тази влага не се отделя при сушене.

Физико-химически свързана влага. Въпреки, че не е в строго определени съотношения със сухото вещество на продукта, тя е здраво свързана с него, но се отделя при сушенето. Разделя се на АБСОРБИЦИОННО СВЪРЗАНА ВЛАГА - това е влагата, която се задържа на повърхността на колоидните тела. Зърното е поресто тяло с огромна вътрешна повърхност и следователно значителна повърхностна енергия. На повърхността влагата се свързва с твърдата фаза като първоначално се образува т.н. едно молекулен слой. С увеличаване на влажността слой нараства до два,

три или повече молекулни слоя². С увеличаване на разстоянието от повърхността на твърдата фаза, енергията на свързване намалява, т.е. по-отдалечените от повърхността водни молекули по-лесно се отделят. Установено е, че абсорбционната влага не се придвижва свободно между микропорите на зърното и за отделянето и е необходимо да се превърне в пара. Процесът се нарича вътрешно изпарение.

Към физико-химически свързаната влага се отнася и ОСМОТИЧНАТА. Тя се задържа във вътрешността на растителни клетки, но и в гелове, желета и други хидроколоиди. Енергията на свързване е относително ниска и лесно се отделя.

Механично свързана влага. Нарича се още мокреца или капилярна. Може да се съдържа, както на повърхността на продукта, така и в капилярите му. Капилярната влага е слабо свързана с твърдата фаза, лесно се придвижва при сушенето и лесно се отделя от повърхността.

За процеса на сушене е важна енергията на свързване на водните молекули с твърдата фаза. Колкото тази енергия е по-висока, толкова по-трудно се отделя влагата, т.е. толкова повече енергия трябва да предадем за отделянето ѝ. Повече енергия означава повече разходи за сушене.

Според енергията си на свързване влагата се подрежда:

Свързване на влагата	Енергия на свързване
Химически свързана влага	най-висока
Абсорбционно свързана влага	по-висока
Осмотична влага	ниска
Механично свързана влага	най-ниска

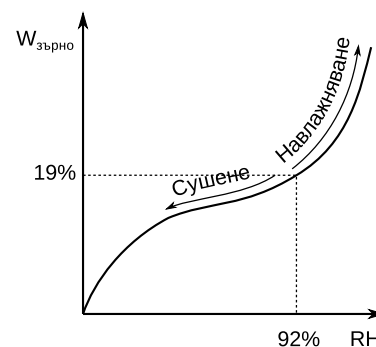
Сорбционни характеристики

Сорбционните характеристики дават връзката между важноста на зърното и относителната влажност на въздуха. Те показват каква ще бъде влажността на зърното, ако е поставено във въздух с определена относителна влажност и температура. Влажността на зърното, която би се установила се нарича РАВНОВЕСНА ВЛАЖНОСТ. Чрез сорбционните характеристики може да се прогнозира дали зърното ще се подсуши или навлажни.

Това дали зърното ще поеме водни молекули от въздуха или ще ги отдели към него зависи от понятието ПАРЦИАЛНО НАЛЯГАНЕ НА ВОДНИТЕ ПАРИ.

Парциалното налягане е налягането, което водните молекули прилагат върху хипотетична повърхност в резултат на температурното си трептене. Ако парциалното налягане над повърхността на зърното е по-високо от това на въздуха, водните молекули ще "отскочат" от повърхността и ще преминат към околния въздух. Т.е. зърното ще се подсушава. Обратно, ако парциалното налягане на водните молекули във въздуха е по-високо от това

² Прилича на компютърната игра "Тетрис".



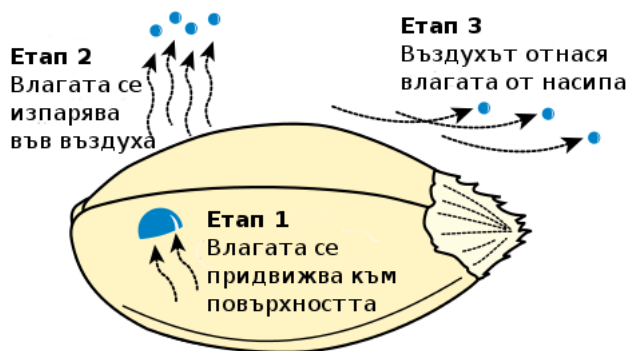
Фигура 11.1: Сорбционната характеристика показва дали зърното ще се подсуши или навлажни, ако се постави във въздух с определена температура и относителна влажност. Стойностите на фигурата са примерни.

над повърхността на зърното, то водни молекули от въздуха ще “паднат” върху зърното и то ще се навлажни.

Колкото по-ниска е относителната влажност на въздуха и по-висока неговата температура, толкова по-ниска е влажността на зърното, която би се установила.

Теория на сушенето

Три са фундаменталните етапи на сушене:



Фигура 11.2: Три етапа на сушене.

Етап 1: Първо, влагата трябва да се придвижи до повърхността на зърното. Колкото по-висока е влажността му, толкова влагата се придвижва по-лесно. Следователно сушене от влажност 18-20% до 16 % ще бъде по-лесно, отколкото сушене от 15-16% до 12-13%. Придвижването на влагата към повърхността е най-бавния етап, но може да се УСКОРИ ЧРЕЗ ЗАГРЯВАНЕ.

Етап 2: След като влагата е вече на повърхността на зърното, тя трябва да се отдели в околния въздух. Това става по-лесно при ВИСОКИ ТЕМПЕРАТУРИ, тъй като влагата е по-мобилна (енергията ѝ е по-висока).³

Етап 3: Накрая, въздушният поток трябва да бъде достатъчен да отнесе влагата от повърхността.

Всичко това определя различните периоди на сушене, които се случват последователно във времето.

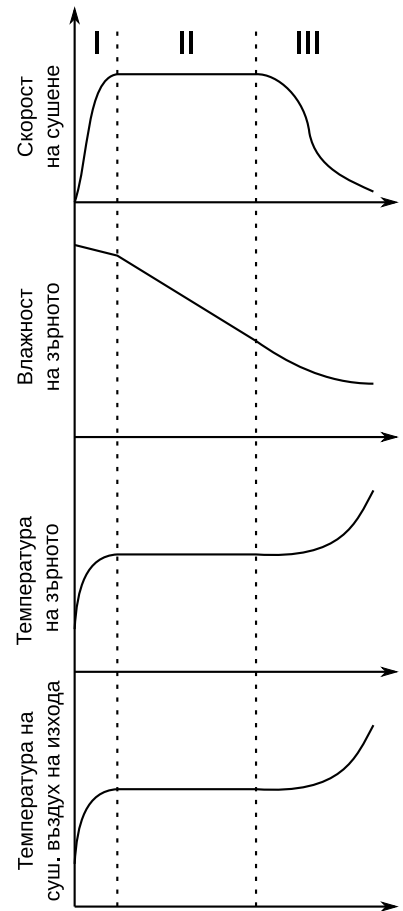
ПЕРИОД НА ЗАГРЯВАНЕ (скоростта на сушене нараства от 0). Когато зърното се срещне с топлия въздух, първоначално само малка част от влагата се отделя. Това става, защото основната топлина, доставена от сушилният въздух се използва за загряването на студеното зърно до температурата на сушене и само малка част се използва за изпарение.

ПЕРИОД С ПОСТОЯННА СКОРОСТ НА СУШЕНЕ (скорост на сушене=const.). Когато зърното достигне температурата

³ Водните молекули трябва да имат достатъчно енергия да “отскочат” и да преодолеят силите, които ги привличат към зърното. Колкото температурата на зърното е по-висока, толкова повече енергия имат водните молекули и толкова по-лесно “отскачат”.

на сушене, влагата започва да се изпарява от повърхността му. През този период цялата топлина на сушилният въздух се използва за изпарение на повърхностната влага. Количеството изпарена влага е постоянна във времето. Едновременно с това скоростта на придвижване на влагата от вътрешността към повърхността е постоянна и висока и “доставя” достатъчно влага към повърхността. Температурата на зърното остава постоянна през този период.

ПЕРИОД НА НАМАЛЯВАЩА СКОРОСТ НА СУШЕНЕ (скоростта на сушене намалява във времето). Повърхностната влага постепенно изчезва, като първоначално се образуват петна от влага и сухи участъци. Сушенето продължава като вътрешната влага се придвижва към повърхността в резултат на влажностния градиент. В хода на процеса, все повече време отнема на вътрешната влага да се придвижи до повърхността. Постепенно влагата спира своето придвижване към повърхността и започва да се отделя като пара (изпарение във вътрешността на материала и придвижване на парите през порестата му структура). През този период, изпарението вече не е константа във времето. Като резултат, скоростта на сушене намалява и част от топлината на сушилният въздух ще загрее зърното. Зърното се суши основно в този период. **ЗАТОВА ИМА ОПАСНОСТ ОТ ПРЕГРЯВАНЕ!**



Фигура 11.3: Периоди на сушене.

Намаляващата скорост на сушене има два полупериода. През първия скоростта на сушене намалява, защото скоростта на придвижване на влагата през капиллярите към повърхността постепенно намалява. Вторият спад се наблюдава, когато в продуктът вече почти няма капиллярна (свободна) влага. Водните пари се придвижват много бавно към повърхността, основно чрез молекулярна и клетъчна дифузия или във вид на пара (вътрешно изпарение).

12

Сушене - нискотемпературно и високотемпературно сушене в клетка

Нискотемпературно сушене в клетка

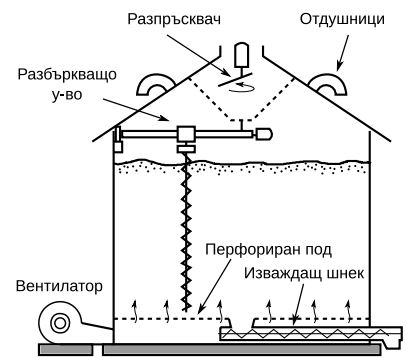
Нискотемпературното сушене в клетка представлява сушене с околнен въздух или въздух загрят до 5°C над околния. Сушенето и съхранението се извършват в една и съща клетка. Тази клетка има напълно перфорирано дъно, мощен вентилатор или вентилатори, съоръжение за изваждане на зърното и понякога нагревател и разпръсквач. Височината на насипа е 3 до 5 m.

Клетките за нискотемпературно сушене могат да имат и разбърквачи устройства за по-равномерна крайна влажност на зърното и увеличаване на специфичния разход на въздух.

Много важно за нискотемпературното сушене е специфичния разход на въздух. Той трябва да бъде между 60 и $180\text{ m}^3/(\text{h.t})$. Това изисква големи и мощни вентилатори и следователно по-големи първоначални инвестиции и експлоатационни разходи. Целта е зърното да се подсуши достатъчно бързо преди да се е развалило. Допълнителното загряване до 5°C не води непременно до ускоряване на процеса. То увеличава часовете от денонощието, подходящи за сушене, защото намалява относителната влажност на въздуха, но може да доведе и до пресушаване. Най-добрият начин за бързо сушене и намаляване на вероятността от развала е повишаване на специфичния разход на въздух.

Системите за нискотемпературно сушене изискват сравнително малки първоначални инвестиции. Имат ниска производителност, ниска консумация на енергия и може да се очаква много високо качество на зърното.

Недостатъците са бавното сушене и опасността от развала. Подходящи са за зърно с ниска влажност по време на жътва и за географски райони с ниска относителна влажност на въздуха през есента. Максималната влажност на зърното трябва да бъде 16-17 % за пшеница, ръж, ечемик и др. и до 18% за царевица.



Фигура 12.1: Нискотемпературно сушене в клетка. Височината на насипа е 3 – 5 m.

Високотемпературно сушене в клетка при неподвижен слой

Принципът е аналогичен на нискотемпературното сушене в клетка като разликата е в по-високата температура на сушилния въздух - 35 до 60 °С. Изискват висок специфичен разход на въздух - 600 до 1500 m³/(h.t). Височината на насипа е от 0,8 до 1,2 m без разбъркващи устройства и до 3 m с разбъркване. Тези параметри водят до значително по-кратко време за сушене.

Сушенето и съхранението стават в различни вместимости. Работи се циклично: запълване -> сушене -> изпразване в клетка за съхранение -> ново запълване -> ново сушене и т.н. Охлаждането се извършва или в клетката за сушене, като нагревателя на въздуха се спира и се вентилира с околнен въздух или в клетката за съхранение. Последното води до по-добро качество тъй като зърното отлежава, влагата му се изравнява в целия обем и вероятността от начупване намалява. Една вместимост за сушене може да подсушава зърното за една или повече клетки за съхранение.

Влажността на слоя зърно варира с до 5% между дъното и върха на насипа. Например на върха може да бъде 16%, а на дъното 11%. Прехвърлянето на подсушеното зърно в клетката за съхранение смесва по-влажните горни слоеве с по-сухите долни и изравнява влажността. За уеднаквяване на влажността се използват и разбъркващи устройства.

ПРЕДИМСТВО: качеството на зърното е добро до много добро тъй като опасността от прегряване и пресушаване са ограничени. Тези системи имат ниски до средни първоначални инвестиции и нисък до среден разход на енергия.

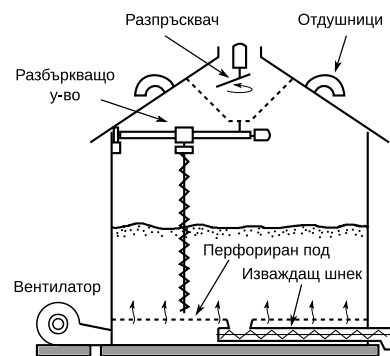
НЕДОСТАТЪК е сравнително ниската производителност - един до два обема на ден. Тези системи изискват повече труд. Някой трябва да наблюдава прехвърлянето на зърното към клетките за съхранение, запълването на новата партида и изравняването на повърхността на насипа, ако разбъркващото устройство не работи добре.

Високотемпературно сушене в клетка с подвижен слой

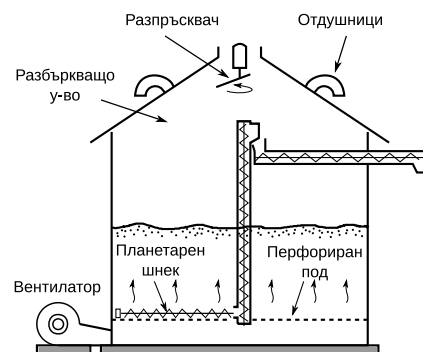
Този вид сушене представлява модификация на предходния метод. Сушенето става в клетка с непрекъснато запълване и изваждане. Отгоре се насипва влажно и студено зърно, а долният сух и топъл слой се изважда и изпраща за охлаждане и съхранение в друга клетка. Зърненият поток се контролира непрекъснато, за да се избегне пресушаването и преразхода на енергия. Оптималната височина на насипа е 1 – 2 m. Специфичният е разход на въздух е същия - 600 до 1500 m³/(h.t), температурата на сушилния въздух е по-висока - до 80 °С.

Полезни връзки:

DRYING SILO SUKUP - WORKING PROCESS VIDEO



Фигура 12.2: Високотемпературно сушене в клетка. Височината на насипа е 0,8 – 1,2 m без разбъркване и до 3 m с разбъркване.



Фигура 12.3: Високотемпературно сушене в клетка с подвижен слой. Зърното непрекъснато запълва клетката и се изважда от дъното. Оптималната височина на насипа е 1 – 2 m.

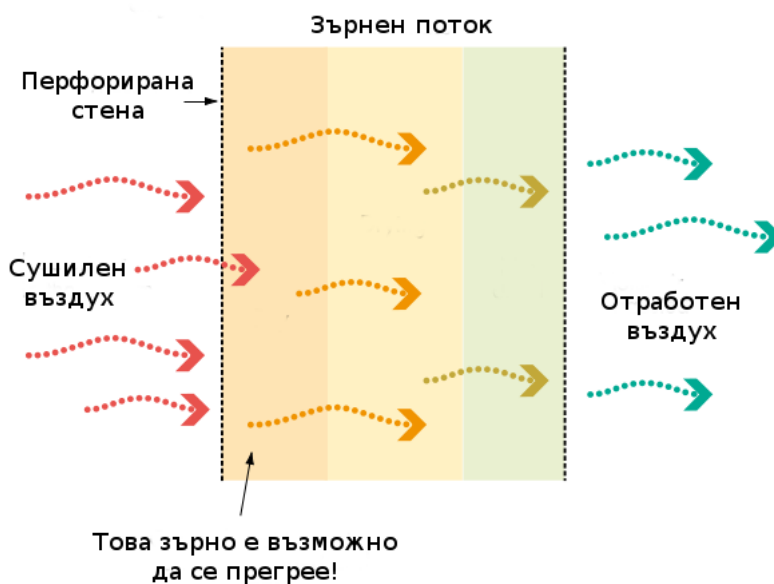
Counter Flow Grain Dryer

13

Сушилници - колонни зърносушилници

Колонни зърносушилници с напречен въздушен поток

Тези сушилници се отнасят към високотемпературното сушене със сушилнен агент. Сушилният агент е смес от димни газове и въздух. Димните газове се получават при горенето на течен природен газ или пропан бутан. Целта е да не се отделят опасни вещества и несвойствен мирис.

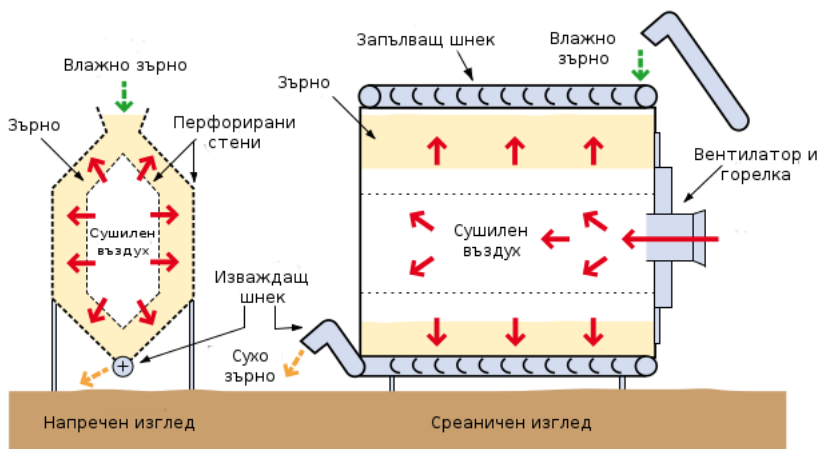


Фигура 13.1: Напречно движение на въздуха в колоната. Слой зърно, където въздухът навлиза е най-сух, а там, където напуска е най-влажен.

Сушилниците се състоят от една или няколко вертикални колони, най-често две, запълнени със зърно, през което хоризонтално се придвижва сушилният агент. Ширината на колоната е от 20 до 40 cm. По-широките колони подобряват енергийната ефективност, но за сметка на голяма разлика във влажността на отделните слоеве и понякога по-ниска производителност. Въздушният поток е $4800 - 6000 \text{ m}^3 / (\text{h.t})$, а температурата на сушилния агент е до 100°C .

Обикновено са разделени на две зони: горна - зона на сушене и долна - на охлаждане, като тази на охлаждане може да работи, както на засмукване на външен въздуха през зърното, така и на

нагнетяването му отвътре навън.

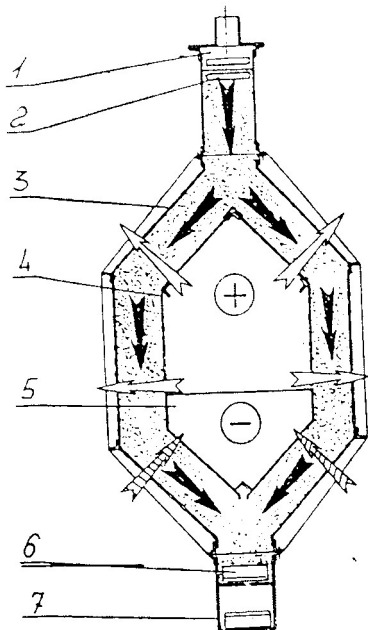


Фигура 13.2: Схема на колонна зърносушилня. Зърното се запълва в горната част и гравитационно се спуска надолу. В схемата не е показана охлаждащата зона.

Зърното се подава и изважда непрекъснато като производителността се контролира от влажността на изхода.

ПРЕДИМСТВА: Тези сушилни имат висока производителност, проста конструкция и сравнително ниска цена. Предлагат се и като подвижни варианти.

Ус



Фигура 13.3: Сушилня с напречен поток и две секции. Горната е сушилна, а долната е охлаждаща.

Основен НЕДОСТАТЪК е неравномерното въздействие върху отделните зърна и опасността от пресушаване и прегряване на зърното в слоевете, където сушилният агент навлиза (фиг. 13.1). Този недостатък се преодолява чрез устройства за “обръщане” на слоя зърно. Те разменят местата на вътрешния и външния слой. Друг начин за по-равномерно сушене е да се използват няколко сушилни секции с различни температури на сушилния агент (фиг. 13.4).

НЕДОСТАТЪК е и увеличената чупливост на зърното, заради бързото сушене и охлаждане. Този недостатък се избягва чрез отложено охлаждане в клетка ¹.

¹ Този метод е известен като dregeneration (сушене + вентилиране) и се разглежда в магистърския курс.

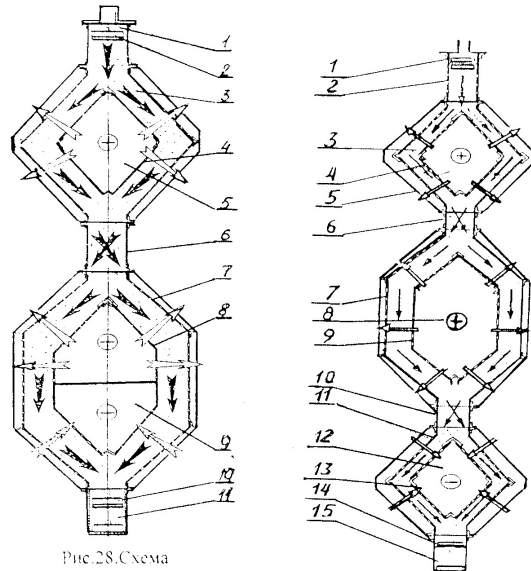
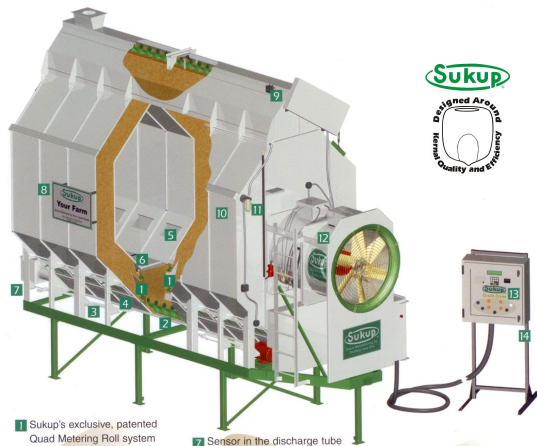


Fig. 28. Схема

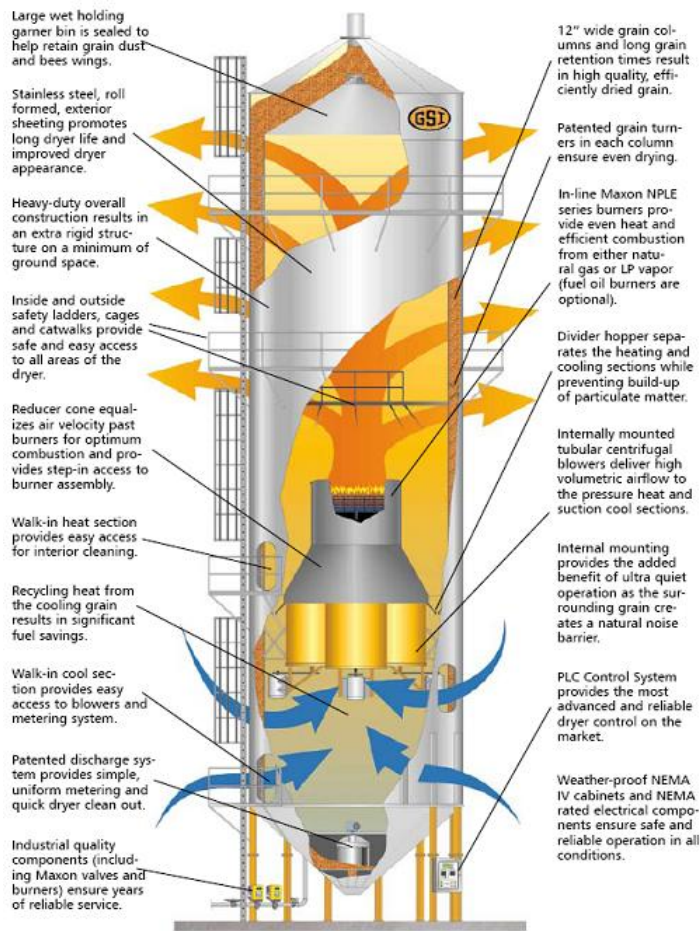
Фигура 13.4: Сушилня с напречен поток и три секции. Две секции за сушене, които могат да бъдат с различни температури на сушилния въздух и една секция за охлаждане, в която въздухът се засмуква.



Фигура 13.5: 3D графика на колонна сушилня.

- 1 Sukup's exclusive, patented Quad Metering Roll system reduces over-drying, minimizes grain damage and maintains grain quality.
- 2 Unload auger is suspended by hanger bearings to eliminate pinch points and grain damage.
- 3 Unload auger clean-out doors feature cam-lock handles.
- 4 Easy-to-handle, single-latch clean-out doors on outside of dryer allow fast column unloading and access to metering rolls.
- 5 Interior clean-out doors allow access to the top metering rolls.
- 6 44" x 12" plenum access doors provide easy access to the unload auger.
- 7 Sensor in the discharge tube measures the actual moisture content of outgoing grain, for much more accurate results.
- 8 Your Sukup Dryer is personalized with the name of your farm.
- 9 Sensor in the wet holding bin monitors grain level to control fill operations.
- 10 14" grain columns feature perforated, galvanized screens standard. Stainless Steel screens are optional.
- 11 Work light improves visibility and safety in poorly lit areas. It also serves as a "system on" indicator.
- 12 The air and heat for Sukup Dryers are supplied by Sukup Axial Fans and Heaters - the best on the market.
- 13 Easy-to-use computerized controls guide you through dryer operation. Control box case is weather-tight and lockable.
- 14 Optional control box stand allows remote location of the dryer controls. A 25' umbilical cord is standard. Additional lengths available at time of purchase.

* CSA models are available.



Фигура 13.6: Цилиндричен тип колонна зърносушилня с напречен въздушен поток.

Колонни зърносушилници със смесен въздушен поток (шахтови зърносушилници)

При тези конструкции сушилният агент се движи едновременно ПО ПОСОКА НА ЗЪРНОТО, СРЕЩУ ЗЪРНОТО И НАПРЕЧНО НА ЗЪРНОТО.

Представяват колона с две зони: ГОРНА - ЗОНА НА СУШЕНЕ и ДОЛНА - ЗОНА НА ОХЛАЖДАНЕ. Зоната на сушене от своя страна може да бъде разделена на две: високо- и нискотемпературна зона като НАЙ-ТОПЛИЯТ ВЪЗДУХ СРЕЩА НАЙ-ВЛАЖНОТО ЗЪРНО.

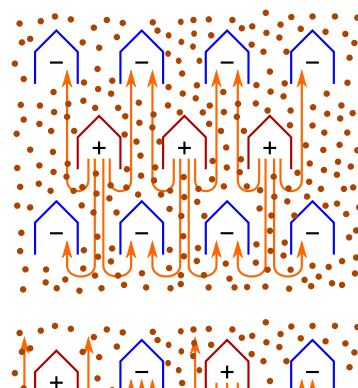
Зърното се движи гравитационно отгоре надолу. На дъното има изваждащо устройство, което регулира производителността и осигурява равномерно изтичане на зърнения поток. Не трябва да има слоеве, движещи се по-бързо от останалите!

Колоната е запълнена със специални въздушни канали. Те биват нагнетателни, от които сушилния агент навлиза в зърното и изходящи (отвеждащи), от които излиза. Дебелината на зърнения слой е малка - 10cm и движейки се между каналите зърното се размесва. Така въздействието на сушилния агент върху отделните зърна е много равномерно.

Сушилният агент се охлажда бързо, поради високата скорост на изпарение на влагата. Това позволява използване на сушилнен



Фигура 13.7: Разположение на въздушните канали и схема на движението на зърното.



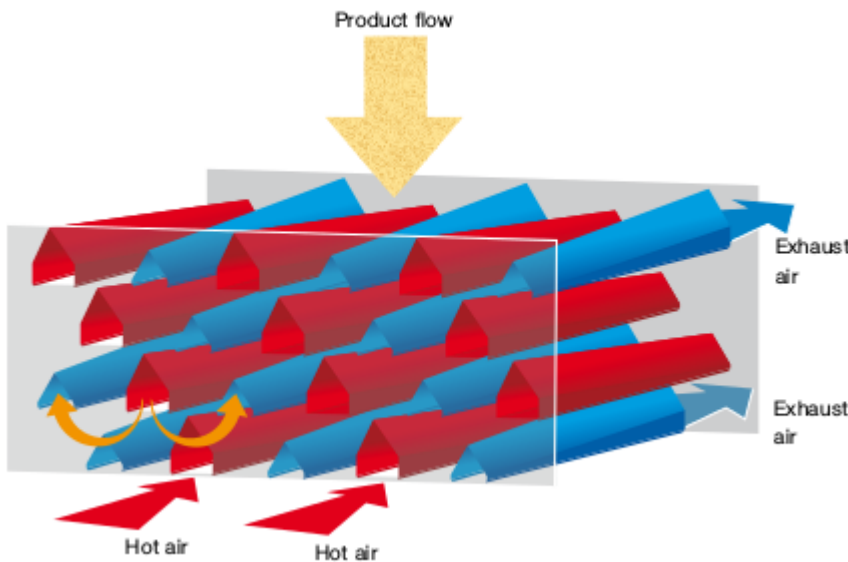
въздух с висока температура - $150-250^{\circ}\text{C}$. Сушилният въздух напуска зърното наситен. Сушенето е бързо и енергийно ефективно.

В горната част на сушилнята има буферна вместимост, която осигурява равномерна и постоянна работа на цялото съоръжение.

В сушилната зона зърното се охлажда с атмосферен въздух до температура $5-6^{\circ}\text{C}$ над околния. При това се отделя 0,5 до 1% допълнително влага.²

Тези сушилни са с много висока производителност, висока енергийна ефективност и ниска цена на сушенето. Изискват, обаче, големи първоначални инвестиции.

Всички колонни зърносушилни могат да работят и като периодично действащи. Цикълът на работа е следния: запълване със зърно -> сушене до желаната влага -> охлаждане -> изпразване в клетка за съхранение -> ново запълване и т.н.



² Всяко охлаждане на зърното с 5°C води до подсушаване с 0,1 – 0,15%.

Фигура 13.9: Въздушни канали в шахтова зърносушилня. Сечението на каналите е различно за по-равномерно разпределяне на въздуха по ширина. (каталог на Bühler GmbH)

Полезни връзки:

Sukup Mobil dryer Шахтова зърносушилня

MEPU Mobile Dryer

Tornum. Heat Recovery Dryer, HR

GSI Africa Modular Tower Dryer

MEPU Stationary DCR Dryers

Cimbria Eco master dryer

Bühler Group - Grain Dryer with Moisture Control

Animacao 3D ENTRINGER - NOVA3D Tecnologias

, Ч,

, Ч, Ч,

14

Промени в качеството на зърното при сушене. Режимы на сушене. Връзка на сушилните с останалите системи

Промени в качеството на зърното при сушене

Качеството на зърното се определя от физичните качествени характеристики, технологичните характеристики и хигиенните характеристики. Процесът на сушене въздейства на всяка от трите групи.

ФИЗИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, които се променят по време на сушенето, са влажността и хектолитровата маса на зърното.¹

Важно е да се отбележи ефектът на сушенето върху нивото на физични повреди на зърното. Те включват повреди от пресушаване и повреди от твърде бързо сушене. Повредите от ПРЕСУШАВАНЕ водят до понижаване качеството на зърното за смилане. В тежките случаи може да се достигне до промяна в цвета и понижаване на цената. Ефектът на пресушаването върху промяната в цвета се появява като комбинация от температурата на сушилния въздух и времето за престой на зърното при тази температура. Физични повреди могат да настъпят в следствие от твърде БЪРЗОТО СУШЕНЕ или твърде БЪРЗОТО ОХЛАЖДАНЕ и водят до напукване на вътрешната структура и начупване при следващи обработки.

ХИГИЕННИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ включват заразеност от плесенни гъби и складови вредители и замърсявания от гризачи. Важно в хранителната индустрия е развитието на плесенни гъби и най-вече наличието на техни метаболити (микотоксини). Въпреки, че не е свързано директно със сушенето, развитието на плесенни гъби и рискът от поява на токсини зависи от влажността на зърното и времето на престой при тази влажност. Основната задача на сушенето е да намали влажността до нива, които потискат развитието на плесенните гъби. Целта на сушенето е да протече ДОСТАТЪЧНО БЪРЗО, за да не се допусне достигането на опасни нива на заразеност и опасни количества на токсините.

Процесът на сушене влияе и върху ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ на зърно за фураж и технологичните му характерис-

¹ Влажността, естествено, намалява при сушенето, а следствие от това се променя и хектолитровата и обемната маса.

тики при смилане на брашно и други процеси. Високата температура по време на сушенето намалява съдържанието на протеини в зърното, предназначено за храна и фуражи, намалява добива на брашно и нишесте по време на смилане и намалява добива и количеството на мазнините при маслодайните култури. Високите температури силно намаляват кълняемостта и са особено опасни за зърно, предназначено за посев или за малцуване (пивоварен ечемик).

Всички тези недостатъци се избягват чрез избиране на подходящи режими на сушене.

Режими на сушене

Режимите на сушени обхващат параметрите, които се управляват по време на сушилният процес. Те зависят от вида на зърното и се разделят основно на:

- Меки - продължително сушене при ниски температури на сушилният въздух.
- Твърди - сушене за кратко време при високи температури на сушилният въздух.

РАЗМЕРИТЕ, СТРУКТУРАТА И СЪДЪРЖАНИЕТО НА ТЕРМО-НЕСТАБИЛНИ ВЕЩЕСТВА влияят върху режимите на сушене. Влагата по-лесно се отделя от зърна с малки размери тъй като пътят на придвижването ѝ от центъра на зърното към повърхността е по-къс.

Оризовата арпа е крехка и има ниска термоустойчивост, следват зърнено-бобовите и тези с висока масленост. Всички те се сушат при ниски температури продължително време. Царевицата и другите зърнени култури имат относително висока термоустойчивост.

Термоустойчивостта на пшеницата зависи от качеството на глутена в нея. При добро качество на глутена се използва ниска температура и обратно. Зърно с ниско качество на глутена може да се суши при по-висока температура, при което качеството му се подобрява. Например: качеството на глутена в зърно, повредено от житна дървеница, е силно влошено. При сушене до температури 55 – 60 °C хлебопекарните свойства могат да се подобрят, следствие от денатурирането на протеолитичните ензими, оставени от дървеницата.

Режимите на сушене се определят и от ВЛАЖНОСТТА НА ЗЪРНОТО. Колкото влажността е по-висока, толкова зърното е по-малко устойчиво на високи температури. Това се дължи на по-голямата активност на ензимите във влажното зърно. Следователно влажното зърно не трябва да се загрява до високи температури. От друга страна то може да се обдухва от въздух с висока температура без да се загрее. Интензивното влагоотделяне ще поддържа по-ниските температури. Поради това, при сушилни със няколко зони, най-топлият въздух се подава в зоната с най-влажно зърно, обикновено там, където зърното навлиза в сушилната.

Зърно с много висока влажност, трябва да се изсуши чрез двукратно преминаване през сушилнята и междинно отлежаване, тъй като бързото отделяне на големи количества влага води до напукване и разрушаване на структурата.

ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕТО НА ЗЪРНОТО също определя режима на сушене.

- Зърното за малцуване и посевни нужди се суши при ниска температура.
- Зърното за хранителни цели се суши при средна температура.
- Зърното за фураж се суши при най-висока температура, но по-ниска от тази, при която ще се понижи хранителната му стойност.

По-долу е дадена таблица с максималните препоръчвани температури на зърното при сушене.

Вид зърно	Максимално допустими температури, °C
пшеница - силна	45
пшеница - средно силна	50
пшеница - слаба	55-60
оризова арпа	40
ечемик за малцуване	45-49
царевица за смилане	60
семенно зърно	43
зърнено бобови за хранителни цели	38
зърно за фураж	60-70
обеззаразяване от складови вредители	55-60 (достатъчно време!!!)

Таблица 14.1: Максимално допустими температури на зърното при сушене. Стойностите се разминават при различните автори. Тук са дадени едни от най-често споменаваните.

Параметри, управлявани при сушенето

Сушенето зависи от изключително много параметри (фиг. 14.1).

На входа имаме ОКОЛЕН ВЪЗДУХ. Той се характеризира с два параметъра: температура и относителна влажност.

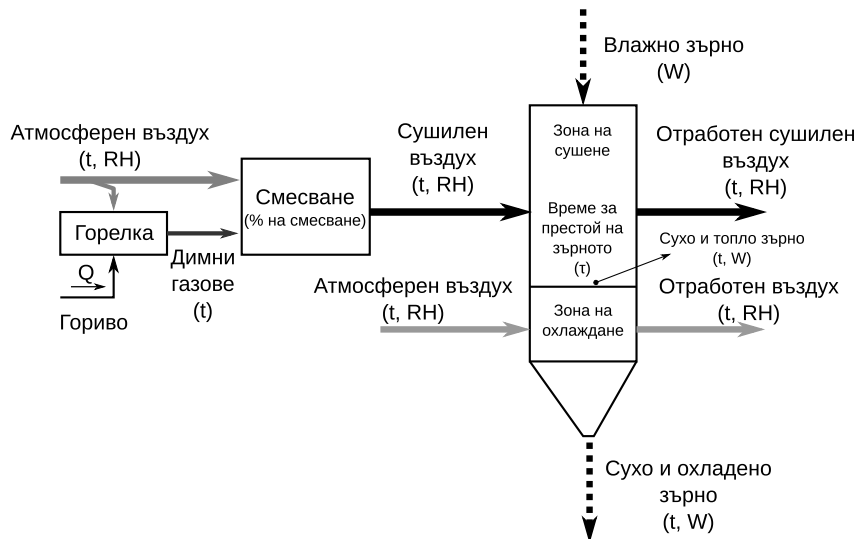
Контролират се параметрите на ГОРЕЛКАТА - количество подавано гориво и въздух.

Контролира се степента на смесване на димните газове с околния въздух, при което се определя температурата на сушилния въздух.

Управлява се и СКОРОСТТА НА СУШИЛНИЯ ВЪЗДУХ ПРЕЗ ЗЪРНОТО. Ако скоростта е ниска - въздухът ще се насити преди да напуснеш сушилнята, а ако е висока - няма да се насити и ще имаме преразход на енергия.

Параметрите, свързани със ЗЪРНОТО са:

- температурата и влажността на входа на сушилнята;
- температурата и влажността след сушилната зона;



Фигура 14.1: Схема на материалните потоци в една зърносушилня. Процесът сушене зависи от параметрите, показани в скоби. t - температура на въздуха, зърното и горивната смес, RH - относителна влажност на въздуха, W - влажност на зърното, Q - дебит на горивото, τ - време за престой на зърното в сушилната зона.

- времето за престой на зърното в сушилната зона (определя производителността на сушилнята);
- температурата и влажността на изхода на зоната за охлаждане.

Много от тези параметри се променят по време на сушенето. Например: параметрите на околния въздух се променят в хода на денонощието. Сутрин, температурата е най-ниска, а влажността - най-висока. По-пладне е обратното - температурата е най-висока, а относителната влажност на въздуха е най-ниска.

Поради многото параметри, управлението на една сушилня е изключително сложен процес, изискващ знания и опит. Понастоящем са създадени системи за автоматично управление с вградени алгоритми за бързо, икономично и екологично сушене без промени в качеството на зърното.

На практика параметрите на сушилния въздух след горелката се задават постоянни. Следи се влажността на зърното на изхода на сушилнята и в зависимост от нея се променя, единствено, времето за престой. Следи се и температурата на зърното на изхода на сушилната зона, за да се избегне прегряване и влошаване на качеството му.

Връзка на сушилнята с останалите системи

Производителността на зърносушилните се изразява в планови и физични тонове.

Плановите тонове показват количеството зърно, преминало през сушилната за единица време, при което влажността му се понижава с повече или по-малко от 1%. Изразява се най-често в t/h и се посочва понижението на влажността от А до В% (или с С%).

Физичните тонове показват количеството зърно, преминали за единица време, при което влажността му се понижава с точно

1%. Най-често се изразява в $t.\%/h$.

Действителната производителност се отличава от посочената от производителя и варира в зависимост от температурата и влажността на околния въздух, вида и състоянието на зърното и от поддръжката на сушилното оборудване.

Изборът на сушилни се определя основно от производителността, енергийната ефективност и качеството на зърното след сушене. Други фактори като: замърсяването на въздуха и околната среда, нивото на шума, размерите и др. също могат да повлияят на избора.

Преди сушене зърното трябва да бъде ПОЧИСТЕНО. Наличието на груби примеси, леки примеси и др, затрудняват работата на сушилните. Могат да доведат до задръстване или замърсяват околната среда, особено ако сушилните се намират в населени райони.

Производителността на сушилните зависи от влажността на зърното. Следователно, зърното трябва предварително да се раздели на ПАРТИДИ ПО ВЛАЖНОСТ. В технологичната линия преди сушилните се предвиждат една, две или повече вместимости за влажно зърно. Изключение от това правило са някои периодично действащи зърносушилници, които сами по себе си представляват вместимости.²

ЗАПЪЛВАНЕТО НА СУШИЛНИТЕ става по самотек - директно от елеватор или чрез хоризонтални транспортъри. Производителността на тези системи трябва да бъде най-малко 2 пъти по-висока от максималната часова производителност на сушилните.

Непрекъснатото запълване на сушилните се осигурява по два начина:

- Първият начин е чрез система на препълване (преливане). При нея транспортърите доставят повече зърно, а излишъкът се връща обратно. Тази система е проста и надеждна, но изисква непрекъсната работа на транспортърите и следователно по-висок разход на енергия.
- Вторият начин е приложим за сушилни с наличие на малка вместимост в горния си край и старт-стоп сензори за управление на запълването. По този начин запълващите транспортъри се пускат и спират автоматично само при необходимост.

² На практика всички поточни зърносушилници могат да работят и като периодични.

15

Вентилиране на зърнени суровини при съхранение - теоретични основи, основни параметри

Същност и цели на процеса

Активното вентилиране е известно от далечни времена, но масовото му използване започва след 1950 година. Възможностите за икономично поддържане качеството на зърното го прави неизменна част от конструкцията на всяко съвременно зърнохранилище.

Вентилирането представлява принудително придвижване на атмосферен въздух през зърнения насип, чрез вентилатори, подходящо разположени вентилационни канали и отвори (“комини”) за отделяне на преминалия през зърното въздух.¹

Вентилирането се основава на свойството поръзност. Зърненият насип не е плътен. Между отделните частици има захванат въздух и структурата на насипа е пореста. Това позволява придвижване на флуиди, в случая въздух, през него.

Целите на вентилирането се разделят на ОСНОВНИ И СПОМАГАТЕЛНИ.

Основните цели са:

ОХЛАЖДАНЕ - служи за подтискане на всички жизнени процеси в насипа, предотвратяване на самозагряването и спиране на вече започнал процес на самозагряване.

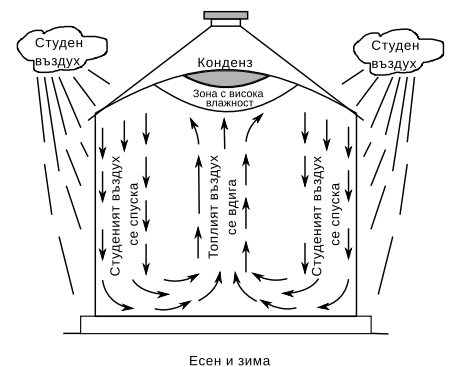
ПОДСУШАВАНЕ - виж нискотемпературно сушене.

Спомагателните цели са:

ИЗРАВНЯВАНЕ НА ТЕМПЕРАТУРАТА И ВЛАЖНОСТТА в целия насип. Разликите в температурата на отделни зони в насипа създават условия за придвижване на влагата от места с ниска температура към места с по-висока температура (*термовлажпроводност*). По този начин отделни слоеве на насипа се навлажняват.

Освен това, ако температурата на насипа не е еднаква топлият въздухът в междузърненото пространство се придвижва нагоре, а студеният - надолу. Топлият въздух може да срещне слоеве с ниски температури и влагата в него да кондензира по повърхността на студения зърна и да започне развала. Тези явления се наблюдават през есента и зимата (фиг. 15.1) или през пролетта и лятото (фиг. 15.2).

¹ Определението се отнася за нагнетателната вентилация, при която въздухът навлиза в основата на насипа, придвижва се нагоре и излиза през “комините” на зърнохранилището.



Фигура 15.1: Движение на въздуха в насипа през есенно-зимния сезон. На билото се образуват условия за кондензиране на водни пари и навлажняване.

Всички тези нежелателни явления се ограничават чрез вентилиране и изравняване на влажността и температурата в целия насип.

ПРЕМАХВАНЕ на нехарактерен мирис.

ЗАПАЗВАНЕ НА ЖИЗНЕНОСТТА и кълняемостта на зърната.

По време на съхранението, всички живи компоненти на насипа дишат. Дишането е съпроводено с изчерпване на O_2 от междузърненото пространство и увеличаване на концентрацията на CO_2 . Увеличението на CO_2 води до умиране на зародиша и загуба на кълняемост. Вентилирането поддържа концентрацията на O_2 на нивата на околния въздух и запазва и понякога увеличава кълняемостта.

ПРИЛАГАНЕ НА ФУМИГАНТИ (газови пестициди) за борба със складовите вредители.

КРАТКОВРЕМЕННО СЪХРАНЯВАНЕ на влажно зърно преди сушене.

ОХЛАЖДАНЕ на зърното след сушене.

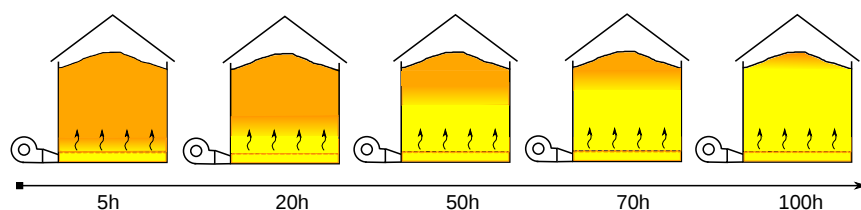
Механизъм на вентилирането

Топлинен фронт

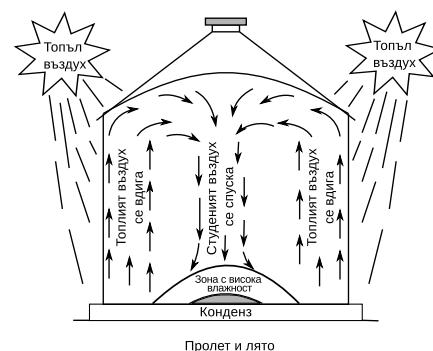
Охлаждането на насипа не става едновременно в целия обем (фиг. 15.3). Оформят се три зони:

- Зона на охладено зърно.
- Зона на охлаждане.
- Зона на неохладено зърно.

Първоначално, там където студеният въздух навлиза в насипа започва топлообмен между него и зърното. Зърното се охлажда до температурата на въздуха, а въздухът се загрява до температурата на топлото зърно. Постепенно в долния край се образува зона на охладено зърно, която се разширява нагоре към повърхността. В мястото на топлообмена е зоната на охлаждане, а над нея зърното е с първоначалната си температура или това е зоната на неохладено зърно.



Постепенно зоната на охлаждане се придвижва нагоре, докато “напусне” насипа. При това зоната на охладено зърно се разширява и обхваща целия насип, а зоната на неохладено зърно се стеснява и изчезва напълно. Краят на вентилирането съвпада с момента на напускане на охлаждащия фронт.



Фигура 15.2: Движение на въздуха в насипа през пролетно-летния сезон. На дъното се образуват условия за кондензиране на водни пари и навлажняване.

Фигура 15.3: Изменение на температурата на силозна клетка при вентилиране. Образуваните зони: зона на охладено зърно (жълто), зона на охлаждане (градиента от жълто до оранжево) и зона на неохладено зърно (оранжево). Посочените времена са условни и зависят от специфичният разход на въздух.

Влажностен фронт

Едновременно с топлообмена, между зърното и въздуха се извършва и влагообмен. Механизмът на влагообмена е аналогичен на този при топлообмена. Образуват се три зони: ЗОНА НА ПОДСУШЕНО ЗЪРНО, ЗОНА НА ПОДСУШАВАНЕ И ЗОНА НА НЕПОДСУШЕНО ЗЪРНО. Зоната на подсушаване се придвижва нагоре. За разлика от топлообмена, влагообменът се извършва значително по-бавно. Влажностният фронт се придвижва 20 до 30 пъти по-бавно от топлинния и когато охлаждането приключи, т.е. топлинният фронт напусне насипа, влажностният фронт достига до височина не повече от 1 метър от дъното на насипа.

Параметри на вентилирането

Необходимо количество въздух за охлаждане на 1 t зърно

Определянето на НЕОБХОДИМОТО КОЛИЧЕСТВО ВЪЗДУХ ЗА ОХЛАЖДАНЕ НА 1 t ЗЪРНО се извършва при идеалната ситуация на чист топлообмен. В този случай, преминаващия през насипа въздух се нагрява до температурата на зърното, а зърното се охлажда до температурата на въздуха. Така повишението на температурата на въздуха е равно на понижението на температурата на зърното. Теплообменът между въздуха и зърното може да се изрази се с уравненията:

$$Q_{\text{въздух}} = G_{\text{въздух}} \cdot c_{\text{въздух}} \cdot (t_{\text{въздух}} - t_{\text{зърно}})$$

$$Q_{\text{зърно}} = G_{\text{зърно}} \cdot c_{\text{зърно}} \cdot (t_{\text{зърно}} - t_{\text{въздух}}), \text{ където}$$

$Q_{\text{въздух}}$ - количество топлина предадена на въздуха от зърното, kJ ;

$Q_{\text{зърно}}$ - количество топлина отделена от зърното, kJ ;

$G_{\text{въздух}}$ - необходимо количество въздух за охлаждане, kg ;

$G_{\text{зърно}}$ - количество охладено зърно, kg ;

$c_{\text{въздух}}$ - специфичен топлинен капацитет на въздуха, $kJ/kg.K$;

$c_{\text{зърно}}$ - специфичен топлинен капацитет на зърното, $kJ/kg.K$;

$t_{\text{въздух}}$ - температура на въздуха при навлизане в насипа, $^{\circ}C$;

$t_{\text{зърно}}$ - начална температура на зърното (преди охлаждане), $^{\circ}C$.

При чист топлообмен $Q_{\text{въздух}} = Q_{\text{зърно}}$, следователно:

$$G_{\text{въздух}} \cdot c_{\text{въздух}} \cdot (t_{\text{въздух}} - t_{\text{зърно}}) = G_{\text{зърно}} \cdot c_{\text{зърно}} \cdot (t_{\text{зърно}} - t_{\text{въздух}})$$

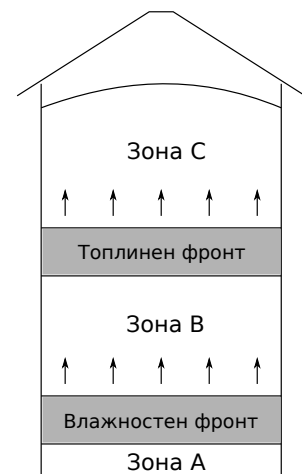
Тъй като повишението на температурата на въздуха е равно на понижението на температурата на зърното или $(t_{\text{въздух}} - t_{\text{зърно}}) = (t_{\text{зърно}} - t_{\text{въздух}})$, то:

$$G_{\text{въздух}} \cdot c_{\text{въздух}} = G_{\text{зърно}} \cdot c_{\text{зърно}} \text{ ОТ ТУК:}$$

$$G_{\text{въздух}} = G_{\text{зърно}} \cdot \frac{c_{\text{зърно}}}{c_{\text{въздух}}}$$

Търсим количеството въздух, необходимо за охлаждане на един тон зърно ($1000 kg$). Специфичният топлинен капацитет на въздуха е приблизително $1,0 kJ/kg.K$, а този на зърното при влажност 13 – 15 % е $1,7 kJ/kg.K$. Замествайки ги получаваме:

Тук се коментира случай на вентилиране с въздух с относителна влажност по-ниска от равновесната на зърното. Този въздух, навлизайки в насипа, го подсушава. Аналогичен процес може да се наблюдава и при вентилиране с влажен въздух, при което зърното се навлажнява. Навлажняването няма да обхване целият насип, а само най-долните слоеве.



Фигура 15.4: Топлинен и влажностен фронт при вентилиране на зърното. Зона А е в равновесие с околния въздух, зона В е зона на охладено зърно, а в зона С зърното е в началното си състояние (т.е. неохладено и без промяна във влажността).

$$G_{\text{въздух}} = G_{\text{зърно}} \cdot \frac{c_{\text{зърно}}}{c_{\text{въздух}}} = 1000 \cdot \frac{1,7}{1,0} = 1700 \text{ kg/t}$$

Изчислената стойност показва, че за охлаждане на един тон зърно са необходими 1700 kg въздух. Превръщайки килограмите в обем (при температура 20 °C плътността на въздуха е $\rho_{\text{въздух}} = 1,22 \text{ kg/m}^3$) се получава:

$$Q_{\text{необх.}} = \frac{G_{\text{въздух}}}{\rho_{\text{въздух}}} = \frac{1700}{1,22} = 1393,4 \approx 1400 \text{ m}^3/\text{t}$$

Т.е. необходимото количество въздух ($Q_{\text{необх.}}$) за охлаждане на един тон зърно е 1400 m³/t.

В действителност, при вентилиране не се наблюдава чист топлообмен. Между въздухът и зърното протича и влагообмен, а всяко отделяне или поглъщане на водни пари от зърното е съпроводено с неговото охлаждане или загряване.

Установено е, че вентилирането с въздух с ниски температури води до отделяне на влага от зърното и следствие на това допълнително охлаждане. Поради това, необходимото количество въздух е по-малко от теоретично установеното при чист топлообмен. Намалението зависи от условията на вентилиране - температура и влажност на зърното и температура и относителна влажност на въздуха. Най-често публикуваните стойности за пшеница са от 650 до 750 m³/t.

Въздушно съпротивление на насипа

Въздухът изпитва съпротивление при движението си в междузърненото пространство. Съпротивлението зависи от ПОРЪОЗНОСТТА и ВИСОЧИНАТА на насипа.

Голямата порьозност означава малко съпротивление и обратно. Дребносеменните зърна имат малка порьозност и голямо въздушно съпротивление. Обратно, едросеменните имат голяма порьозност и малко съпротивление. Важен е и характерът на порьозността - едропорестите имат малко съпротивление, а дребнопорестите - голямо.

Височината на насипа определя дължината на пътя на въздуха през него. Колкото ПО-ВИСОК е насипа, толкова пътят на въздуха през него е по-дълъг и СЪПРОТИВЛЕНИЕТО Е ПО-ГОЛЯМО. Често насипът е с различна височина и пътят на въздуха до повърхността ще бъде различен. Въздухът "избира" път с по-малко съпротивление. Следователно при насипи с големи разлики във височините², въздухът ще се придвижва ПРИОРИТЕТНО през словестите с МАЛКА ВИСОЧИНА (обикновено покрай стените), а билото на насипа ще остане сравнително слабо вентилирано. Този проблем се решава в металните клетки чрез изваждане на малко количество зърно от централния отвор, при което билото "хлътва" и грубо се изравнява. В плоските складове могат да се проектират вентилационни уредби, които подават по-големи количества въздух под билото на насипа с по-мощни вентилатори, способни да преодоляват по-големи съпротивления.

Съгласно описания механизъм, студеният въздух навлиза в насипа и се загрява. Всяко загряване води до намаляване на относителната му влажност. Въздухът с ниска относителна влажност подсушава зърното и следствие от това допълнително охлажда насипа.

Порьозността е обема на въздуха, захванат между зърната, спрямо общия обем на насипа и се изразява в %. Тя зависи основно от формата, размерите и повърхността на зърното, а също така и от уплътнението на насипа, самосортирането, количеството и вида на примесите и др.

² Големи разлика във височините, се образуват в плоските складове и металните клетки с голям диаметър.

Специфичен разход на въздух

Специфичният разход на въздух представлява количеството въздух преминало през зърното за единица време. Изразява се най-често в $m^3/h.t.$ Определя се чрез формулата:

$$q_{\text{сп.}} = \frac{Q_{\text{вент.}}}{E}, \text{ където:}$$

$q_{\text{сп.}}$ - специфичен разход на въздух, $m^3/h.t.$;

$Q_{\text{вент.}}$ - количеството въздух, подавано от вентилатора в зърнената маса за един час, $m^3/h.$;

E - количество вентилирано зърно, $t.$

Специфичният разход на въздух се избира при проектиране на зърнохранилищата и зависи от:

- целта на вентилирането - охлаждане или подсушаване;
- предполагаемата влажност на съхраняваното зърно;
- въздушното съпротивление на зърнения насип, т.е. вида на зърното, неговата порьозност и височината на насипа;
- климатичните условия на местността, където ще се изгражда зърнохранилището.

Вентилирането с цел охлаждане изисква по-нисък специфичен разход на въздух от вентилирането с цел подсушаване. Във втория случай се използват стойности над $20 m^3/h.t.$ По-високи стойности на $q_{\text{сп.}}$ се използват и при кратковременно съхранение на влажно зърно преди сушене.

Въздушното съпротивление оказва съществено влияние върху избора на $q_{\text{сп.}}$. Голямото съпротивление води до значително загряване на въздуха във вентилатора и следствие на това ниска ефективност на охлаждането. При голямо съпротивление уплътнението на вентилационната инсталация трябва да бъде много добро, пропуските да се доведат до минимум, което създава допълнителни проблеми.

Общото правило е, че дребнозърнести суровини, съхранявани при голяма височина на насипа, се вентилират с нисък специфичен разход на въздух и обратно.

ПРАВИЛОТО Е: ДРЕБНОЗЪРНЕСТИ СУРОВИНИ, СЪХРАНЯВАНИ ПРИ ГОЛЯМА ВИСОЧИНА, СЕ ВЕНТИЛИРАТ С НИСЪК СПЕЦИФИЧЕН РАЗХОД НА ВЪЗДУХ И ОБРАТНО!

Климатичните условия около зърнохранилището оказват по-слабо влияние върху избора на специфичен разход на въздух. Счита се, че при топъл климат специфичният разход на въздух трябва да бъде по-висок с цел по-бързо охлаждане и бързо подтискане на нежелателни процеси в насипа като самозагряване и развитие на насекоми вредители.

За територията на Р. България, в миналото, са приети препоръчителни стойности на специфичния разход на въздух (табл. 15.1).

Тип на зърнохранилищата	Специфичен разход на въздух $q_{\text{сп.}}, m^3/h.t$
Плоски складове, напречни вентилационни канали	100
Плоски складове, надлъжни вентилационни канали	50
Стоманобетонни клетки с височина до 20 m	12
Стоманобетонни клетки с височина над 20 m	5
Метални клетки	10

Таблица 15.1: Норми за специфичен разход на въздух ($q_{\text{сп.}}, m^3/h.t$) в зависимост от вида на зърнохранилището и инсталацията за активно вентилиране, използвани в Р. България.

16

Условия за вентилиране. Елементи на вентилационната система

Условия за вентилиране

При вентилиране на зърнен насип с атмосферен некондициониран въздух¹ са възможни следните четири случая:

- Подсушаване и охлаждане на зърното;
- Подсушаване и загряване на зърното;
- Навлажняване и охлаждане на зърното;
- Навлажняване и загряване на зърното.

Вентилирането е целесъобразно само, когато крайният ефект е *подсушаване и охлаждане*.

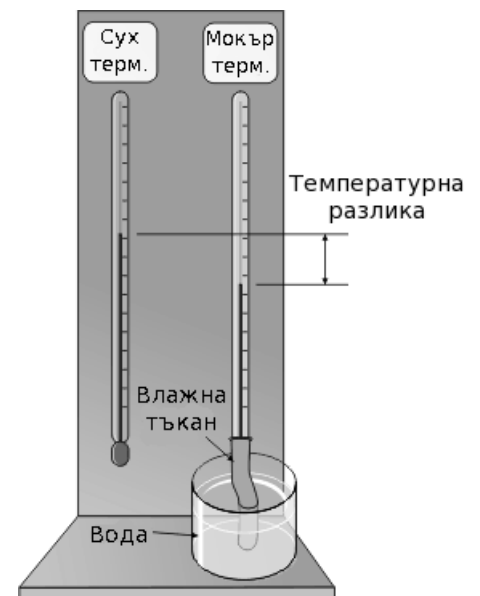
Понякога основната цел на вентилирането е подсушаване. Тогава крайният ефект може да бъде подсушаване *и загряване*. В тези случаи, след подсушаването, вентилирането следва да продължи с цел охлаждане.

Мониторинг на климатичните условия и състоянието на зърното

Ефектът (резултатът) от вентилирането зависи от температурата и относителната влажност на околния въздух и от температурата и влажността на зърнената маса. Температурата на зърното се измерва с термосонди или термоподвески, а влажността се определя чрез вземане на проби или от записите при приемане. Температурата на въздуха се измерва с термометри - живачни, електронни и др. Относителната влажност се измерва с психрометри на Август и Асман, психрометри с косъм и електронни психрометри.

Психрометърът на Август представлява два термометъра - сух и мокър (фиг. 16.1). Сухият термометър показва температурата на въздуха. Живачният резервоар на мокрия термометър е обвит с навлажнена тъкан, от която се изпарява вода. Скоростта на изпарение зависи от влажността на околния въздух. Колкото околният въздухът е по сух, толкова по-интензивно е изпарението. Изпарението води до охлаждане на термометъра и отчетената

¹ Под некондициониран се разбира въздух, който не е допълнително нагрят или охладен преди подаване в насипа.



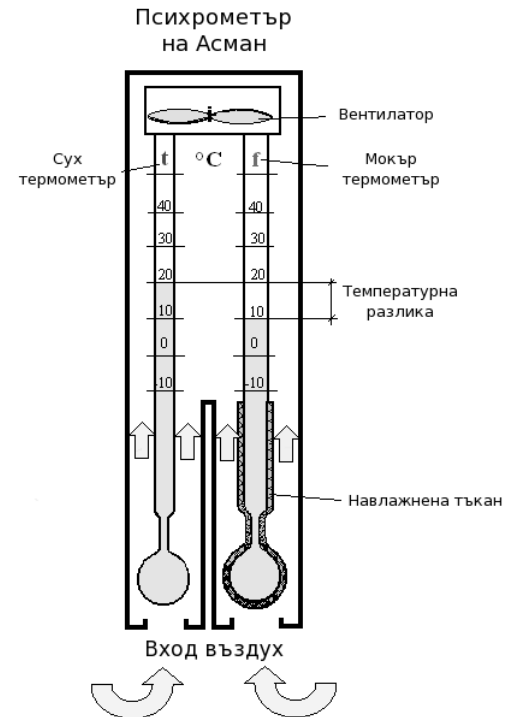
Фигура 16.1: Психрометър на Август

температура ще бъде по-ниска. Относителната влажност на въздуха се определя чрез разликата между температурата на сухия и мокрия термометър.

При психрометъра на Август, скоростта на въздуха около термометрите е случайна и зависи от атмосферните условия. Този недостатък е преодолян с разработването на специална конструкция психрометър - психрометър на Асман (фиг. 16.2). При него двата термометъра са монтирани в тръбички, свързани с малък вентилатор. Той осигурява обтичане на термометрите с въздух с постоянна скорост.

Психрометрите с косъм се базират на увеличаване дължината на косъм с повишаване на относителната влажност на въздуха. Те са относително неточни, тъй като показанията им се влияят от замърсявания с прах и мазнини.

Електронните психрометри използват сензор от полупроводник, който променя съпротивлението си в зависимост от относителната влажност на въздуха. Тези уреди са изключително бързи (малка инертност) и резултатите се показват директно в цифров вид. Основни недостатъци са стареенето на сензора (показанията се променят във времето) и ниската точност при влажности над 95%. Разработването на нови материали води до избягване на посочените недостатъци и повишаване на точността и надеждността на този вид уреди.



Фигура 16.2: Психрометър на Асман

Определяне на възможността за вентилиране

Преди да се пристъпи към вентилиране трябва да се прогнозира ефекта му върху съхраняваното зърно, т.е. какво ще е състоянието на зърното след вентилирането.

Извършва се по следния начин: равновесната влажност на зърното, която би се установила в процеса на вентилирането, се сравнява с най-ниската действителна влажност на зърното (тази преди началото на вентилирането). Когато равновесната влажност е по-ниска от действителната, вентилирането ще доведе до ПОДСУШАВАНЕ. Ако и температурата на въздуха е по-ниска от тази на зърното ще имаме и ОХЛАЖДАНЕ и вентилирането, ще бъде ЦЕЛЕСЪОБРАЗНО.

ПРИ ЗАПОЧНАЛ ПРОЦЕС НА САМОЗАГРЯВАНЕ ЗЪРНЕНАТА МАСА СЕ ВЕНТИЛИРА НЕПРЕКЪСНАТО, НЕЗАВИСИМО ОТ АТМОСФЕРНИТЕ УСЛОВИЯ. Вентилирането продължава до достигане на температура близка до тази на въздуха.

Елементи на вентилационната система

Вентилатор

Вентилаторите придвижват въздуха през насипа и биват центробежни или осови. Избират се по два основни параметъра: дебит и налягане. Тези параметри от своя страна зависят от: специфичният разход на въздух, количеството зърно, вентилирано от един

вентилатор и съпротивлението на насипа (то, от своя страна, се определя от вида на зърното и височината на насипа).

Температурата на въздуха се повишава при преминаване през вентилатора. Центробежните вентилатори го загряват при триенето с лопатките на турбината, а осовите го загряват основно при отвеждането на топлината от двигателя и по-малко от триене с лопатките.

Загряването на въздуха е по-силно, когато съпротивлението на насипа е голямо. Най-често повишението на температурата е, както следва:

- при плоски складове - $1 - 1,5^{\circ}C$;
- при стоманобетонни клетки и метални силосни клетки (ЛИПП и др.) с височина на насипа до 20 m - $3 - 4^{\circ}C$;
- при стоманобетонни клетки с височина на насипа над 20 m - от 5 до $9^{\circ}C$.

Това загряване на въздуха, преди навлизането му в зърнения насип, намалява ефекта от вентилирането, т.е. вентилираме със загрят въздух и крайната температура на зърното ще бъде по-висока. От друга страна, загряването на въздуха води до понижаване на относителната му влажност и позволява вентилиране с въздух с висока относителна влажност без опасност от навлажняване на зърното. Така часовете от денонощието с подходящи условия за вентилиране стават повече и охлаждането на целия насип е по-бързо.

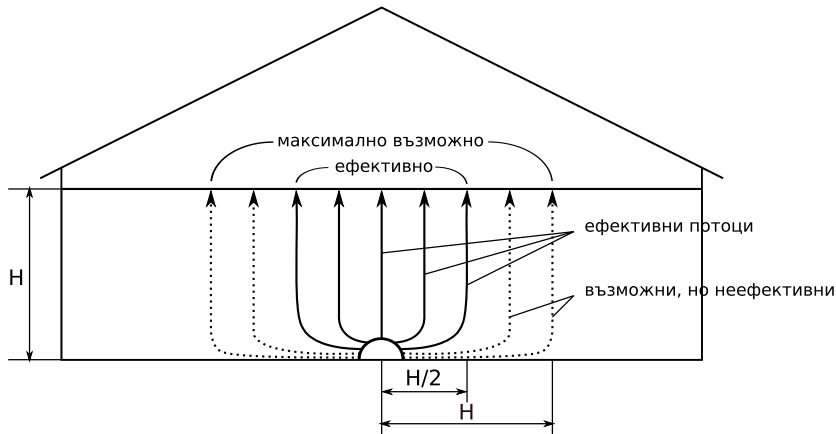
Вентилационни канали

Вентилационните канали представляват канали, вкопани в дъното на вместимостта или поставени над пода, през които въздухът навлиза в насипа. Целта е равномерно разпределяне на въздуха без неувентилирани или слабоувентилирани зони.² Спазват се следните условия:

- Каналите трябва да бъдат РАЗПОЛОЖЕНИ така, че НАЙ-ДЪЛГИЯТ ПЪТ НА ВЪЗДУХА ПРЕЗ НАСИПА ДА НЕ НАДХВЪРЛЯ $1,5$ ПЪТИ НАЙ-КЪСИЯ (фиг. 16.3). Това условие се изпълнява, когато разстоянието между два съседни канала е по-малко от височината на насипа над тях³. Разстоянието между стената и най-близкия канал трябва да е по-малко от $1/2$ височината на насипа над канала.
- ПЛОЩТА И ПЕРФОРАЦИЯТА на решетките се определят така, че да пропускат достатъчно въздух, при това с минимално въздушно съпротивление. Скоростта на въздуха след решетката трябва да е по-малка от $0,15\text{ m/s}$. Основата на това изискване е не колко бързо въздухът ще се предвижи през отворите на решетката, а колко бързо ще се придвижва през зърното непосредствено след решетката. Ако се направи опит цялото количество въздух да се подаде в голям силос през малка тръба, в края на

² Невентилираните или слабоувентилираните зони се наричат още "мъртви зони".

³ Ако височината на насипа над двата съседни канала е различна се използва най-малката височина.



Фигура 16.3: Възможните потоци при вентилиране се простират хоризонтално на разстояние равно на височината на насипа, а ефективните са до $1/2$ от височината на насипа.

тази тръба въздуха ще се движи с толкова висока скорост, че загубите на налягане в точката на навлизане ще надхвърлят тези през останалата част от насипа. Площта на светлото сечение на отворите трябва да бъде не по-малка от 7-10% от общата повърхност на каналите. Размерите на отворите не трябва да позволяват преминаване на цели зърна. Обикновено за пшеница се използват кръгли отвори с диаметър 2 – 2,5 *mm* или по-малък. По-тесни отвори се използват при дребносеменни суровини като мак, рапица и др. или каналите се правят с отвори за пшеница, но се покриват с мрежи или други тъкани. Използва се и счепена ламарина, т.е. ламарината се разцепва и в мястото на разцепване се огъва, така че да се образува малък продълговат отвор.

- Решетката трябва да бъде с ДОСТАТЪЧНА ЗДРАВИНА, за да издържи тежестта на зърното над нея. Затова често профилът им не е гладък, а вълнообразен.

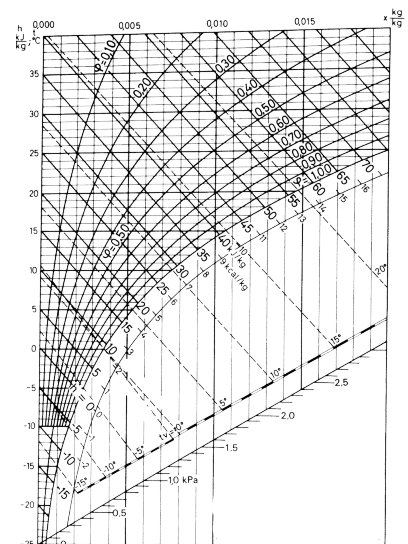
Отдушници (комини) и покривни вентилатори

Един от големите проблеми на нагнетателната вентилация е кондензирането на водни пари по-покрива на зърнохранилището и капенето им върху повърхността на насипа.

Това се случва най-често през есента и зимата, когато се вентилира топло зърно с температури 25 – 30 °C. Отработеният въздух е с температура на зърното и срещайки се с студения покрив, по него се образува конденз. За да се избегне това е необходимо отработеният въздух да се смеси със студен околнен въздух. При това смесване топлофизичните характеристики на сместа не позволяват насищане и кондензиране на водни пари.

Целта на покривните вентилатори и комините е отвеждането на отработения топъл въздух с минимално съпротивление и смесване на отработения топъл въздух със студен за избягване кондензирането на водни пари по покрива на зърнохранилището.

Като отдушници се използват различни по форма и размери отвори с достатъчни размери така, че скоростта на изходящият



Възможността влажният въздух да се насити и водните пари да кондензират се определя най-лесно от графики на състоянието на влажния въздух.

въздух да не надхвърля $5 m/s$. Неуплътненостите на покрива и малкото разстояние между покрива и стените при металните клетки не са достатъчни за отвеждане на отработения въздух. През отдушниците не трябва да навлиза дъжд и сняг. В региони с обилен снеговалеж, отдушниците могат да се запушат и да затруднят вентилирането. При системите с покривни вентилатори запушването може да доведе до разрушаване на покрива от налягането на всмукване. Тези проблеми се решават чрез подходяща конструкция и разположение на отдушниците.

Отдушниците трябва да бъдат затворени с мрежи или специални подвижни пластинки⁴, за да не навлизат насекоми (твърдокрили и пеперуди) и гризачи.

⁴ Тези пластинки играят ролята на клапани. Пропускат въздуха навън, но не позволяват навлизане на околния въздух и насекоми.

17

Вентилационни уредби в плоски складове и навеси

Стационарни (вградени) уредби

Вградените уредби представляват кухи въздуховодни канали с правоъгълна форма, вдълбани в пода на вместимостите и покрити с метални решетки. Каналите са свързани с вентилатори, разположени извън склада. В миналото при типовите зърнохранилища, изградени в България, каналите са покрити с плътна дървена скара. Въздухът преминава през пространството между скарата и канала (фиг. 17.1).

Плоските складове се вентилират с два типа уредби:

- с напречни вентилационни канали;
- с надлъжни вентилационни канали.

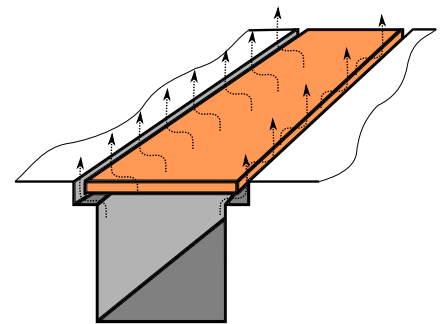
НАПРЕЧНИТЕ се разделят на два вида:

- Канали, които се простират по ЦЯЛАТА ШИРИНА НА СКЛАДА. Разстоянието между каналите е $\approx 3\text{ m}$, а ширината на един канал е $\approx 0,8\text{ m}$. Тези схеми са удобни за зърнохранилища без надлъжни изваждащи транспортъри, тъй като каналите ще пречат или ще изискват дълбоко вкопаване на транспортърите.
- Складовете с централен изваждащ транспортър се оборудват с двустранно разположени КАНАЛИ, ДОСТИГАЩИ ДО СРЕДАТА НА СКЛАДА.

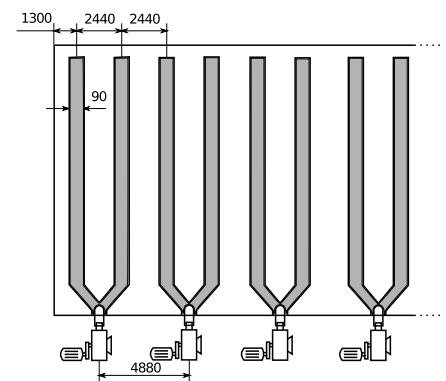
И при двете системи специфичният разход на въздух е много висок ($100\text{ m}^3/h.t$) и позволява много бързо охлаждане на насипа. Възможно е и приемане на зърно с влажност 1-2% над критичната, което в последствие се подсушава чрез вентилиране (виж нискотемпературно сушене). Всяка двойка съседни канали е свързана с един вентилатор, чрез кръгъл въздухопровод и гъвкава връзка.

Съвременните варианти на тези системи позволяват повече канали да се свързват с един вентилатор. Използват се въздуховоди извън зърнохранилището. Така броят на вентилаторите може значително да се намали, а чрез затваряне на някое отклонение, да се насочи повече въздух към проблематични зони от насипа.

В миналото броят на вентилаторите е бил по-малък от броя на каналите. Вентилаторите са били подвижни и са се местели от



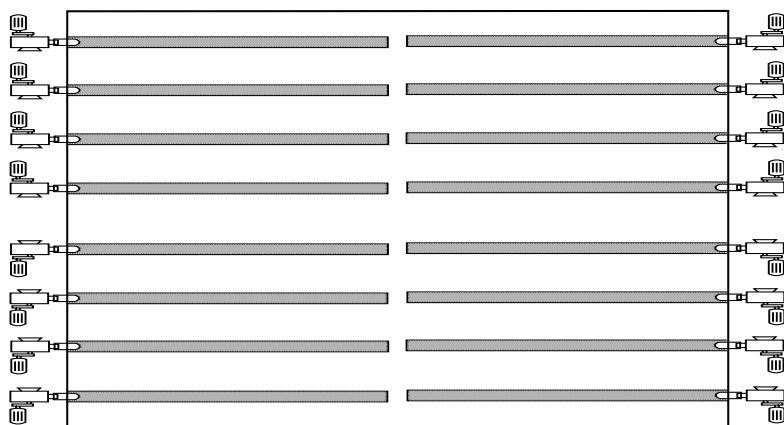
Фигура 17.1: Вентилационни канали, покрити с дървени скари. Въздухът преминава през отвора между скарата и канала.



Фигура 17.2: Схема на плосък склад с напречни вентилационни канали, разположени по цялата ширина на склада.

една двойка канали към друга, което е изисквало тежък физически труд. Понастоящем тези складове са оборудвани с достатъчен брой стационарни вентилатори и този недостатък е преодолян.

В плоските складове височината на насипа над каналите е различна. Най-висок е насипа в центъра на склада, непосредствено под запълващия редлер, а най-нисък е до стените. Следователно, при напречните канали, повечето въздух ще преминава през ниската част на насипа (до стените), а билото ще се вентилира по-слабо. Този недостатък се избягва при уредбите с НАДЛЪЖНО РАЗПОЛОЖЕНИ КАНАЛИ (фиг. 17.3).



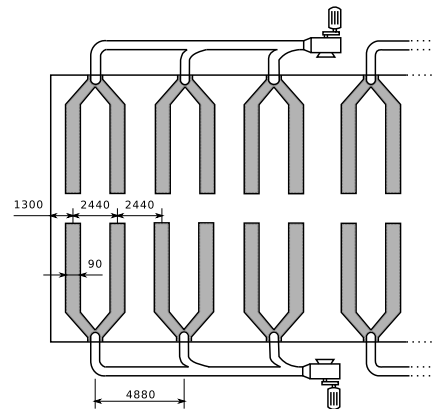
Фигура 17.3: Плосък склад с надлъжно разположени канали.

Надлъжните канали се разполагат от двете страни на централната ос на склада, за да не пречат на изваждащите транспортъри. Броят им се определя от ширината на склада и височината на насипа, като се спазва условието пътя на въздуха през насипа да е приблизително еднакъв. При тези уредби е възможно каналите под зърно с малка височина (по-близо до стените) да се свържат с вентилатори с по-малка мощност. От малката височина следва по-малко съпротивление на въздуха и по-малка необходима мощност на вентилатора. Това води до икономия на енергия.

Недостатък на надлъжните уредби е изискването да работят при изцяло запълнен склад.

Подвижни уредби

Тази група устройства се използват във вече построени зърнохранилища, в които не е изградена уредба за вентилиране. Тези уредби се състоят от канали, които се инсталират (монтират) преди запълването на склада и се разглобяват след изпразването му. Общ недостатък е трудоемкото им поставяне и премахване със силно непривлекателен труд в, често, запрашена обстановка. Освен това, някои подвижни уредби пречат на изпразването на склада, ако то се извършва с подвижна механизация като багери, товарачи и др.

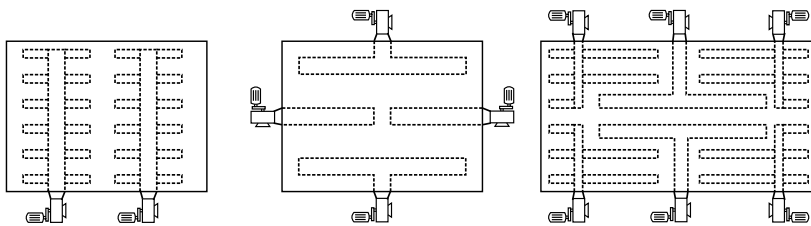


Фигура 17.4: Плосък склад с напречни вентилационни канали, стигащи до средата на склада. Един вентилатор обслужва ТРИ ДВОЙКИ канали.

Подвижни канали

Представяват вентилационни канали, съставени от отделни сегменти с дължина един или повече метра. Те се поставят върху пода на зърнохранилището по определена схема и се свързват с вентилатори, извън зърнохранилището. Сечението на каналите е кръгло, полукръгло или правоъгълно с връх (фиг. 17.5).

Кръглите и полукръглите са изработени от вълнообразна ламарина за по-голяма здравина. Те могат да бъдат с перфорирана повърхност или плътни. При плътните въздухът навлиза в зърното през процепа, образуван между канала и пода.



Схемата на монтаж се обмисля предварително и бива линейна или с разклонения (фиг. 17.6). Основният принцип е пътят на въздуха през насипа да бъде приблизително еднакъв. Не трябва да има места, където въздухът да преминава по “краткия път” навън или през съседния канал.

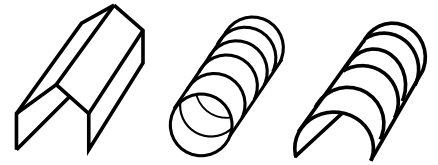
Телескопични канали

Трудоемкия монтаж и демонтаж на предходните уредби се преодолява, отчасти, при уредбите с телескопични канали. Телескопичните канали се състоят от няколко кухи, перфорирани стоманени тръби, влизащи една в друга. Събраните тръби (влезли една в друга) се поставят на пода, преди запалване на зърнохранилището и чрез въже или верига се “разпъват” отделните звена (фиг. 17.7).

Събирането става с трактор или други машини преди изпразването на склада (виж фиг. 17.8).

Вентилационни уредби тип “свредел”

Тези уредби представляват кухи тръби с перфорирана долна част и вентилатор в горната. Могат да работят на засмукване или нагнетяване (фиг. 17.9).

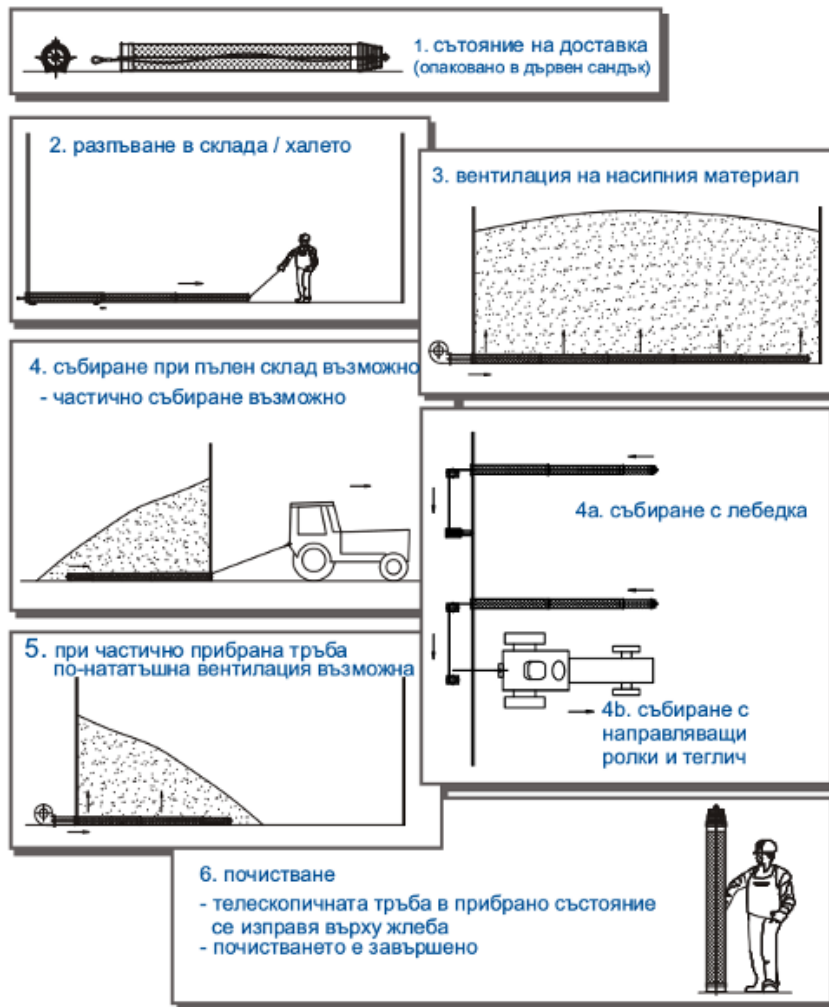


Фигура 17.5: Профили на каналите за изграждане на подвижни вентилационни уредби.

Фигура 17.6: Различни схеми за поставяне на канали. Първите две се използват за малки зърнохранилища или при малка разлика във височината на насипа между билото и стените. Последната схема е за голямо зърнохранилище. Билото на насипа се вентилира с отделни канали, свързани към вентилатори за по-високо налягане (съответно с по-голяма мощност).



Фигура 17.7: Телескопичен канал. Събрано положение. Върху се вижда и част от веригата за събиране и изтегляне. (Ambros Schmelzer & Sohn GmbH & Co. Waldershof)



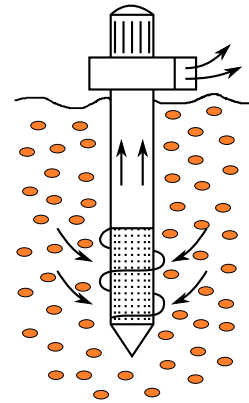
Фигура 17.8: Последователност при монтаж и демонтаж на телескопични канали. (Ambros Schmelzer & Sohn GmbH & Co. Waldershof)



Фигура 17.9: Вентилационни канали тип “свредел”. (Ambros Schmelzer & Sohn GmbH & Co. Waldershof)

Свределите се забиват шахматно, като разстоянието между две тръби трябва да бъде по-малко от височината на зърното под тях. Така пътят на въздуха ще бъде относително еднакъв и няма да има слабо вентилирани или невентилирани зони. Тези устройства се поставят след запълване на склада и се изваждат преди изпразването му. Подвижни са и могат да се местят от една зона към друга и да се използват за спиране на локални самозагрявания.

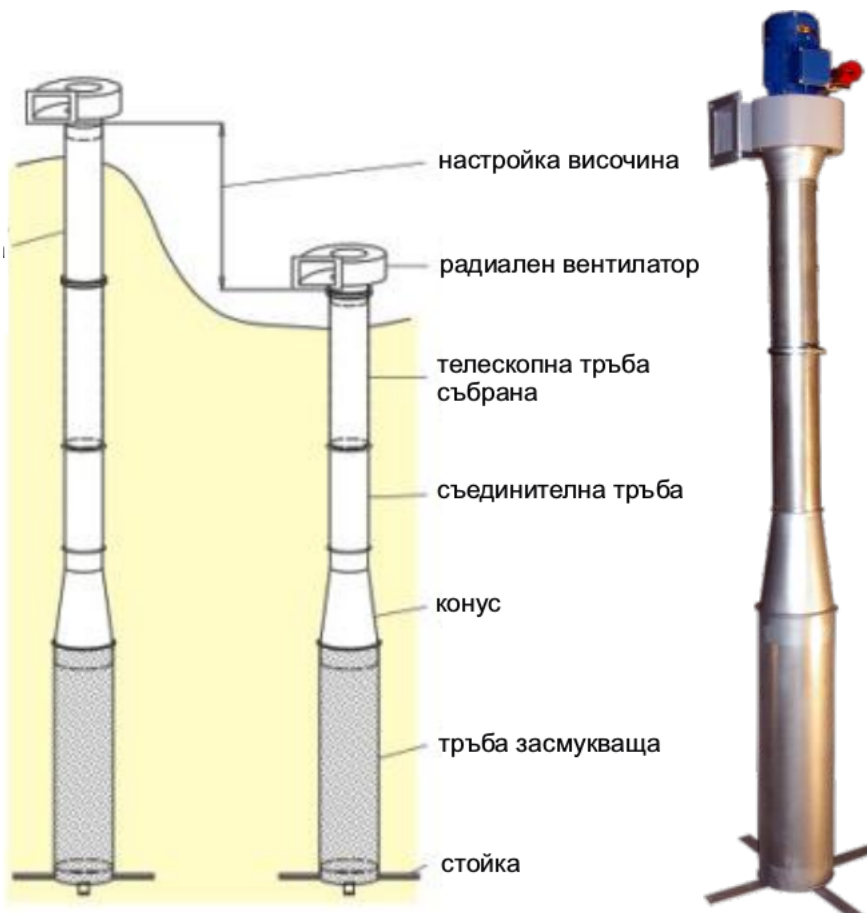
Въздухът в системите на засмукване може да се насочва чрез частично покриване на насипа около "свредела" с найлон, платнище и др. и да се засмуква от по-отдалечени зони.



Фигура 17.10: Вентилационна система тип "свредел". Тук е показана колона, работеща на всмукване, но има и работещи на нагнетяване.

Вертикални вентилационни колони

Вертикалните вентилационни колони представляват подвижни вентилационни уредби приличащи на устройствата тип "свредел", но с равна основа. Поставят се изправени на пода на зърнохранилището преди запълването му (фиг. 17.11). Аналогично на горните могат да работят на засмукване или нагнетяване.



Фигура 17.11: Вертикални вентилационни колони. Долната част е перфорирана с кръгли отвори с диаметър 1,5 mm. (Ambros Schmelzer & Sohn GmbH & Co. Waldershof)

Отдушници и покривни вентилатори при плоските складове

Отработеният въздух при плоските складове се отделя през отдушници или се изтегля принудително от специални вентилатори.

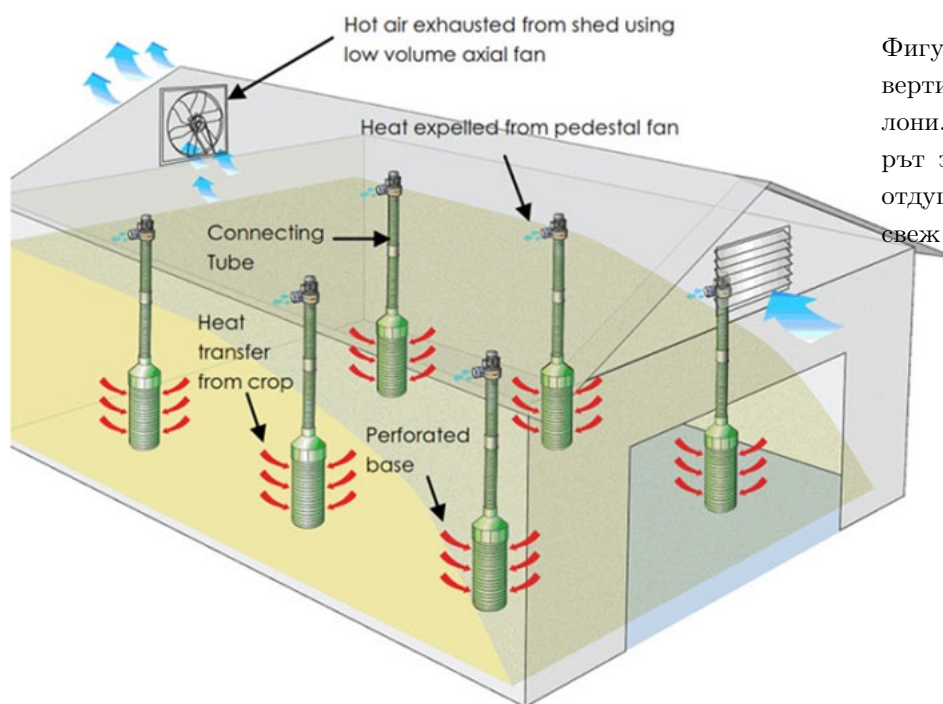
Отдушниците се поставят на покрива или на някоя от стените непосредствено под покрива (обикновено на дългата стена). Те служат и като прозорци и задължително се покриват с мрежа против насекоми или специални подвижни “закрилки” (фиг. 17.12).

Вентилаторите са осови и се поставят на късата стена. В противоположната стена се оставят отвори за навлизане на достатъчно пресен въздух и смесването му с отработения.¹ Дебитът на вентилаторите трябва да осигурява 6 до 8 кратна обмяна на въздуха в пространството над зърното за един час. Площта на отворите в противоположната стена трябва да бъде достатъчна, така че скоростта на навлизащия въздух да бъде по-малка от $5 - 7 \text{ m/s}$.

Полезни връзки:

Tubes t{e}lescopiques de ventilation des c{e}r{e}ales AIR-SCOPE AGRAM

Martin Lishman grain cooling and drying Pile-Dry Pedestals



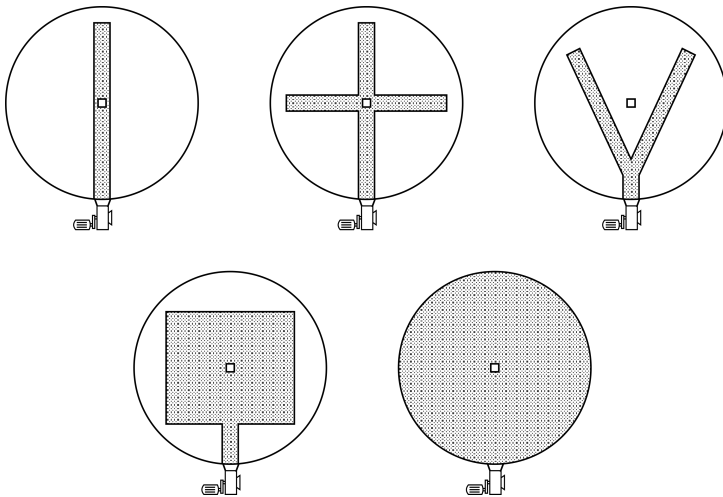
¹ Внимание! Ако в стените няма отвори или те се запушат, съществува опасност покривът да се срути при засмукване, особено през зимата, когато върху него има дебел сняг.

Фигура 17.12: Плосък склад с вертикални вентилационни колони. Показан е и вентилаторът за отработения въздух и отдушникът за навлизане на свеж въздух.

18

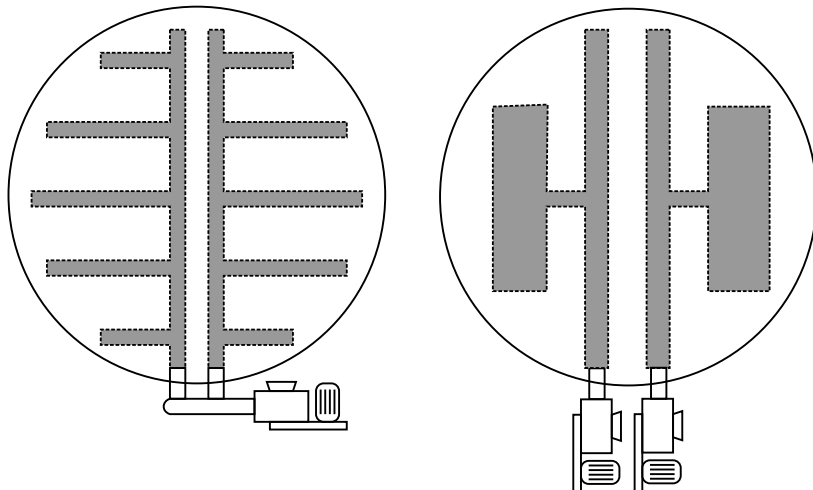
*Вентилационни уредби в силозни клетки**Вентилационни уредби в клетки с плоски дъна*

Вентилационните уредби се изграждат от вкопани в пода на клетките канали, покрити с решетки. Схемата на разположение на каналите зависи от диаметъра на клетката и спазва изискването: пътят на въздуха през зърното да бъде приблизително еднакъв. Каналите могат да се свързват с един или повече вентилатори. Съществуват схеми, при които един вентилатор обслужва няколко клетки. Това дава възможност да се насочва повече въздух към една или друга клетка чрез затваряне на някои канали.



Фигура 18.1: Въздушни канали и напълно перфориран под в клетки с плоски дъна.

Най-равномерен въздушен поток се получава при клетки с НАПЪЛНО ПЕРФОРИРАНО ДЪНО (фиг. 18.3). При тях подът е изграден от отделни елементи, здраво захванати един за друг. Тези елементи се монтират върху специални стойки, които поддържат тежестта на насипа. Стойките трябва да позволяват свободно движение на въздуха в пода без излишни съпротивления. Недостатъкът на напълно перфорираните подове е високата им цена и трудностите при почистване. Почистването изисква да се разглоби част от пода.



Фигура 18.2: Примерни вентилационни канали в клетки с голям диаметър. Лявата клетка се вентилира с един вентилатор, а дясната с два.



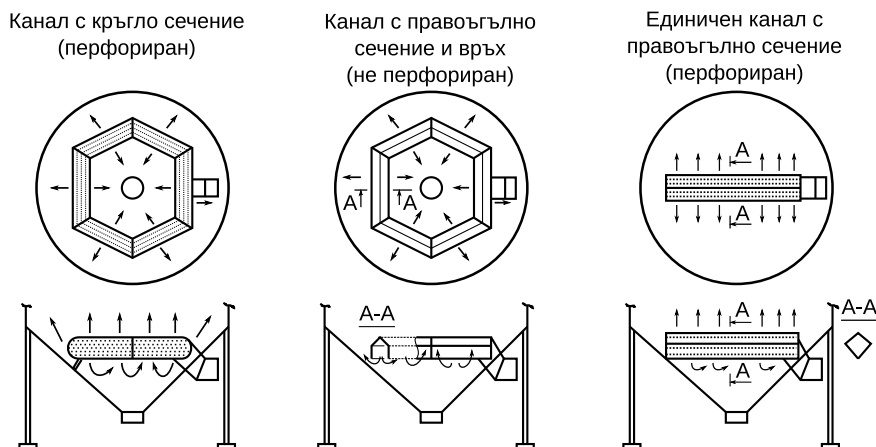
Фигура 18.3: Под на клетка с напълно перфорирано дъно. Вижда се захващането на отделните елементи един към друг и стойките за монтаж.

Вентилационни уредби в клетки с конусни дъна

Вентилационните уредби в стоманобетонните силози и металните клетки с КОНУСНИ ДЪНА представляват специален проблем. Голямо количество въздух трябва да се подаде през малка площ на каналите без значителни загуби на налягане. Отворът за изпразване на клетката трябва да бъде добре уплътнен, така че въздухът да не предпочете “по-краткият път” през него, вместо през зърното. Освен това, каналите не трябва да пречат на свободното изтичане на зърното.

Тези уредби, използват КАНАЛИ, поставени в конуса на клетките. Те могат да бъдат перфорирани или плътни, но без дъна. При плътните въздухът навлиза в насипа през отвореното дъно (фиг. 18.4).

Друга възможност е част от конуса на дъното да се направи с двойна стена от перфориран метал и да се затвори отвън по подходящ начин (фиг. 18.5).

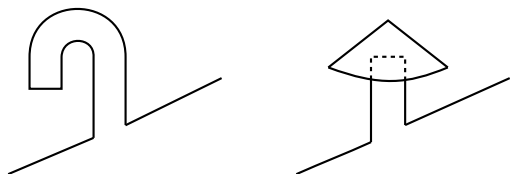


Фигура 18.4: Вентилационни канали, разположени в конуса на клетките.

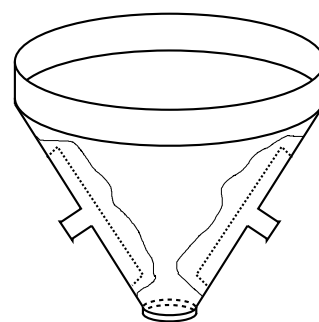
Отдушници за отделяне на обработения въздух

Отворите за обработен въздух не трябва да позволяват попадане на сняг и дъжд в зърнохранилището. Използват се отдушници със специален дизайн (фиг. 18.7). Те трябва да бъдат затворени с мрежи (или специални клапи), които не позволяват преминаване на птици, гризачи и други животни. Препоръчва се осигуряване на безопасен достъп на хора, чрез стълби и парапети, както и възможност за плътно затваряне на отдушниците по време на химична дезинсекция. Отдушниците трябва да бъдат разположени на разстояние от $1/3$ до $1/2$ по наклона на покрива, считано от долния ръб, като се разпределят равномерно по цялата обиколка. Подобно разположение може да се окаже неудачно при зърнохранилища, намиращи се в региони с обилен снеговалеж. Отворите могат да се запушат и да затруднят вентилирането, а при системи, работещи на всмукване, запушването може да доведе до разрушаване на покрива. В тези случаи се препоръчва отворите да се разположат в долната периферия на покрива и конфигурацията на “комините” да бъде “завита тръба” с отвор, обърнат извън стената на клетката.

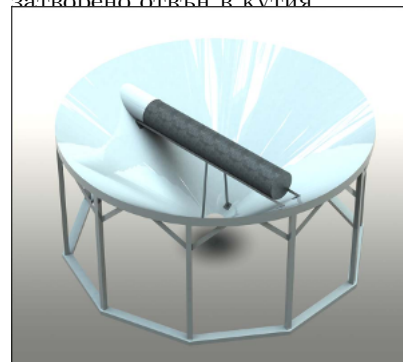
Един или повече отдушници се поставят близо до върха на покрива, там където влиза хранващата тръба, за да се сведе до минимум кондензацията на водни пари в нея.



Особен случай представляват СТОМАНОВЕТОННИТЕ КЛЕТКИ. При тях отворите на тавана на клетката¹ са неудачни за вентилиране, тъй като обработеният въздух и праха при запълване ще се отделят в затворено пространство на надсилонната галерия. Това води до замърсяване и опасност от прахови експлозии. Затова,



Фигура 18.5: Част от дъното на клетката е направено от перфорирана ламарина и е затворено отвън в кутия



Фигура 18.6: 3D графика на вентилационен канал, Фигура 18.7: Схема на покривмонтиран в конуса на клетни “комини” в метални клетка. (препечатано Ag Growth ki. Конструкцията не позволява International (AGI), Winnipeg, ва запушване и навлизане на Manitoba, Canada) дъжд и сняг.

¹ Тези, които се оставят за наблюдение, влизане в клетката и др.

тези клетки задължително се свързват със специално проектирани аспирационни уредби.

19

Литература

Боуманс, Г., 1991, Эффективная обработка и хранение зерна. ВО "Агропромиздат", Москва, Русия. (превод от английски Boumans, G., 1985, Grain handling and storage. Elsevier).

Димитров, Н.Д., 2015, Силозно-складова технология. Ръководство за упражнения.: Интелексперт-94, Пловдив.

Иванов, Дж., Баклинова, Сл., 1986, Норми за технологично проектиране на силози и зърнобази. Институт по зърнени храни и фуражна промишленост. Костинброд.

Иванов, Дж., Кисъов, П., 1982, Инструкция за съхранение на зърнени храни в силозни клетки и основни правила за безопасна експлоатация на вместимости от силозен тип. Институт по зърнени храни и фуражна промишленост. Костинброд.

Крайчев, И., Ников, Н. И., 1974, Силозно-складово стопанство. ДИ Техника, София.

Кузманов, Д., 1993, Технология на зърносъхранението. Пловдив.

Симеонова, И., Иванова, Н., 1989, Зърнени храни и съхраняването им. Земиздат, София.

Foster, G.H., J.Tuite. 1992. Aeration and Stored Grain Management. In Storage of Cereal Grains and Their Products. Ed. D.B.Sauer, AACCC, Minnesota).

Jayas, D.S., W.E. Muir, 2002, Aeration Systems Design. In The MECHANICS and PHYSICS of MODERN GRAIN AERATION MANAGEMENT. Edited by S. Navarro and R. Noyes, CRC Press LLC.

Loewer, O.J., H.E. Hamilton, D.G. Overhults, 1982, Layout of Grain Storage and Handling Facilities. AEN-1, Issued 6-74, 8M; 5M-4-82.

Noyes, R, S. Navarro, and D. Armitage, 2002, Supplemental Aeration Systems. In The MECHANICS and PHYSICS of MODERN GRAIN AERATION MANAGEMENT. Edited by S. Navarro and R. Noyes, pp. 481-484, CRC Press LLC.

Paulsen, M.R., W.L. Oberkirk, 2000, Guide to Planning Grain Drying, Handling, and Storage Systems. Applied Engineering in Agriculture, 16(5): 513-525.

Rosentrater, K.A., G.D. Williams, 2004, Design Consideration for the Construction and Operation of Grain Elevator Facilities. Part II: Process Engineering Considerations. An ASAE/CSAE Meeting Presentation

1-4 August, Ottawa, Ontario, Canada. Paper Number 044146.

Sauer, D.B., 1992, Storage of Cereal Grains and Their Products. AACC, St. Paul, Minnesota, USA.

Williams, G.D., K.A. Rosentrater, 2004, Design Consideration for the Construction and Operation of Grain Elevator Facilities. Part I: Planning, Structural and Life Safety Considerations. An ASAE/CSAE Meeting Presentation 1-4 August, Ottawa, Ontario, Canada. Paper Number 0441.

Foster, G.H., J.Tuite. 1992. Aeration and Stored Grain Management. In Storage of Cereal Grains and Their Products. Ed. D.B.Sauer, AACC, Minnesota).