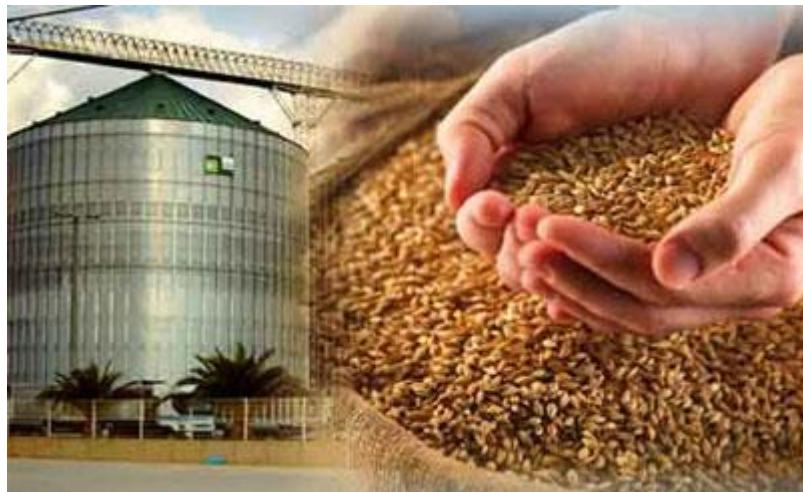


КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЧИНСКИЙ ФИЛИАЛ

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ
ОБРАБОТКИ ЗЕРНА**

Монография



Ачинск 2017

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Департамент научно-технологической политики и образования
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет»
Ачинский филиал

О. В. Пиляева

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ
ОБРАБОТКИ ЗЕРНА**

Монография

Ачинск 2017

УДК 631.171
П 324

Рецензенты:

Очиров В.Д., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой энергообеспечения и теплотехники ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ;

Косырев Н. Н., к. ф.-м. н., доцент, сотрудник Института физики им. Л.В. Киренского СО РАН.

Составители:

Пиляева О. В., к. т. н., доцент кафедры агронженерии Ачинского филиала ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ.

П 324 **Пиляева, О.В.**

Проблемы и перспективы послеуборочной обработки зерна /
О.В. Пиляева, Краснояр. гос. аграр. ун-т. Ачинский ф-л.- Ачинск, 2017. – 74 с.

В монографии рассмотрен анализ проблемы послеуборочной обработки зерна в условиях Красноярского края. Также рассмотрены вопросы механизации приемного отделения ЗОСК и модернизация конструкции бункеров активного вентилирования.

Предназначено для бакалавров и магистров по направлениям обучения «Агронженерия» и инженерно-технических работников АПК.

DOI 10.1555/2409-3203-2017-0-7-1-74

© Пиляева О.В., 2017 г.

© Ачинский филиал ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет», 2017

Оглавление

Введение	4
ГЛАВА 1. Проблемы послеуборочной обработки зерна в условиях Красноярского края	5
1.1. Общая характеристика условий возделывания зерновых культур в Красноярском крае	5
1.2 Влияние технико-экономических условий хозяйств на выбор параметров технологии обработки зерна	13
1.3 Особенности послеуборочной обработки зерна в условиях Красноярского края	14
ГЛАВА 2 Приемное отделение ЗОСК.....	17
2.1 Краткий анализ состояния зерносушильной техники в хозяйствах Красноярского края	17
2.2 Влияние условий функционирования на эффективные показатели зерноочистительно-сушильных комплексов	18
2.3 Роль приёмного отделения в работе зерноочистительных сушильных комплексов.....	26
2.4 Технология подработки зернового материала в приёмном отделении как составная часть..... послеуборочной обработки зерна	27
ГЛАВА 3 Бункера активного вентилирования в технологической линии послеуборочной обработки зерна	34
3.1 Особенности сушки зерна в бункерах активного вентилирования	34
3.2 Классификация установок активного вентилирования	36
3.3 Анализ существующих конструкций бункеров активного вентилирования.....	37
3.4 Теоретическое исследование аэродинамики воздухораспределительных систем установок с плотным слоем материала.....	44
3.5 Аэродинамические модели бункерных установок.....	48
3.5 Радиальная схема воздухораспределения со сплошным наружным цилиндром	57
3.6 Моделирование тепло- и влагообмена в бункерных установках	58
3.7 Повышение эффективности бункеров активного вентилирования путем конструктивных решений	61
Заключение	66
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	67

Введение

Послеуборочная обработка зерна, на сегодняшний день, один из трудоемких и ответственных процессов в зерновом производстве. Для правильной ее организации необходимы эффективные технологии и технические средства.

Последовательность и количество операций по очистке зерна выбираются в зависимости от состояния исходного материала (засоренности и влажности) и его назначения. Грамотно подобранная технология подготовки семян напрямую оказывает решающее влияние на экономические показатели любого производства. Выбор технологии должен быть ориентирован на природно-климатические условия, так как совокупность этих условий влияет на послеуборочную обработку зерна.

На сегодняшний день на предприятиях, чаще всего, изношенный парк техники, что влечёт за собой снижение эффективности работ по послеуборочной обработке зерна и как следствие потеря значительной части выращенного урожая.

Поэтому все вышеперечисленные проблемы заставляют активно искать оптимальные пути, изучать успешный российский и зарубежный опыт, внедрять новые технологии, снижать энергопотребление и повышать качество конечного продукта. Свежеубранное зерно называют зерновым ворохом, подчеркивая этим, что его предстоит еще подвергнуть послеуборочной обработке, которая является обязательным звеном процесса производства и хранения зерна.

Данная монография предназначена для бакалавров и магистров по направлениям обучения «Агроинженерия» и инженерно-технических работников АПК.

ГЛАВА 1. Проблемы послеуборочной обработки зерна в условиях Красноярского края

1.1. Общая характеристика условий возделывания зерновых культур в Красноярском крае

Территория Красноярского края составляет 2339,7 тыс. км² – 13,7 % территории Российской Федерации. Протяженность края с севера на юг – более 3 тысяч километров.

Земледельческая часть расположена от города Енисейска (на севере) до степей Тувы (на юге) и характеризуется большим разнообразием почвенных и климатических условий. Под сельскохозяйственные угодья занято 34% территории края [1].

По агроклиматическому районированию земледельческая часть Красноярского края относится к умеренно-прохладному поясу. Особенность климата состоит в том, что он является резко-континентальным. Это проявляется в больших различиях температур зимой и летом, днем и ночью. Самым теплым является июль месяц, а наиболее холодным – январь. Средняя температура в зимний период составляет – 19,7 градусов Цельсия, а среднесуточная температура летом + 17,8 градусов Цельсия. Амплитуда колебаний температур в среднем 38 градусов Цельсия. Среднегодовая температура воздуха составляет 0,3 градуса. [1]

Условия влагообеспеченности Сибири существенно отличаются от других районов. Среднее количество осадков в средней Сибири около – 352мм, в западной Сибири – 425 мм, в восточной Сибири – 320 мм. Своеобразие заключается в том, что 75% годового количества осадков выпадает в теплый период. Из них 36% выпадает в августе. Июль является наиболее засушливым. Не смотря на то, что за осенний период выпадает 11% осадков от годовой суммы осадков, тем не менее, низкая испаряемость делает эти осадки эффективными. Устойчивый снежный покров на полях образуется

в конце ноября и сходит в апреле. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом составляет 140–150 дней. Отличительной особенностью климата также является малая теплообеспеченность и продолжительность отдельных периодов. Период со среднесуточной температурой воздуха выше 0 градусов начинается во второй декаде апреля. Период со среднесуточной температурой выше 10 градусов начинается в третьей декаде мая и составляет 115 дней. Массовые полевые работы начинаются в первой декаде мая [1, 2].

Территория Красноярского края относится к зоне рискованного земледелия. Совокупность климатических условий откладывает отпечаток на послеуборочную обработку зерна. Наибольшее влияние оказывает повышенная увлажненность и большая часть осадков (от среднегодового количества), выпадающих в период уборки. В результате зерно, поступающее с полей, имеет высокую влажность в среднем от 18 до 25% и выше. В процессе нахождения на площадках временного хранения зерна влажность может достигать более 30%, что приводит не только к повышенным энергозатратам при переработке, но и к неоправданным потерям в результате самосогревания и заплесневения зерновых масс и других отрицательных факторов [3].

В связи со сложными климатическими условиями уборка ведется в любую погоду, круглосуточно, в результате чего с полей поступает сырое и засоренное зерно. И при этом производительность пунктов послеуборочной обработки, в среднем по России отстает от уборочной техники в 2–3 раза [4].

В зоне повышенного увлажнения на обработке высоковлажного зерна производительность зерноочистительных сушильных комплексов значительно снижается и происходит нарушение поточности его работы.

В вопросах стабилизации отрасли растениеводства в регионе большая роль отводится повышению урожайности зерновых культур за счет выведения сортов, хорошо приспособленных к местным условиям. В районировании находятся 3 сорта пшеницы и 4 сорта ячменя Красноярской селекции, которые занимали 4,4% и 29,0% от общей площади посева под данными культурами,

соответственно. При этом следует учесть, что за последние 20 лет площади посева в крае под зерновыми культурами сократились в 2,3 раза [1].

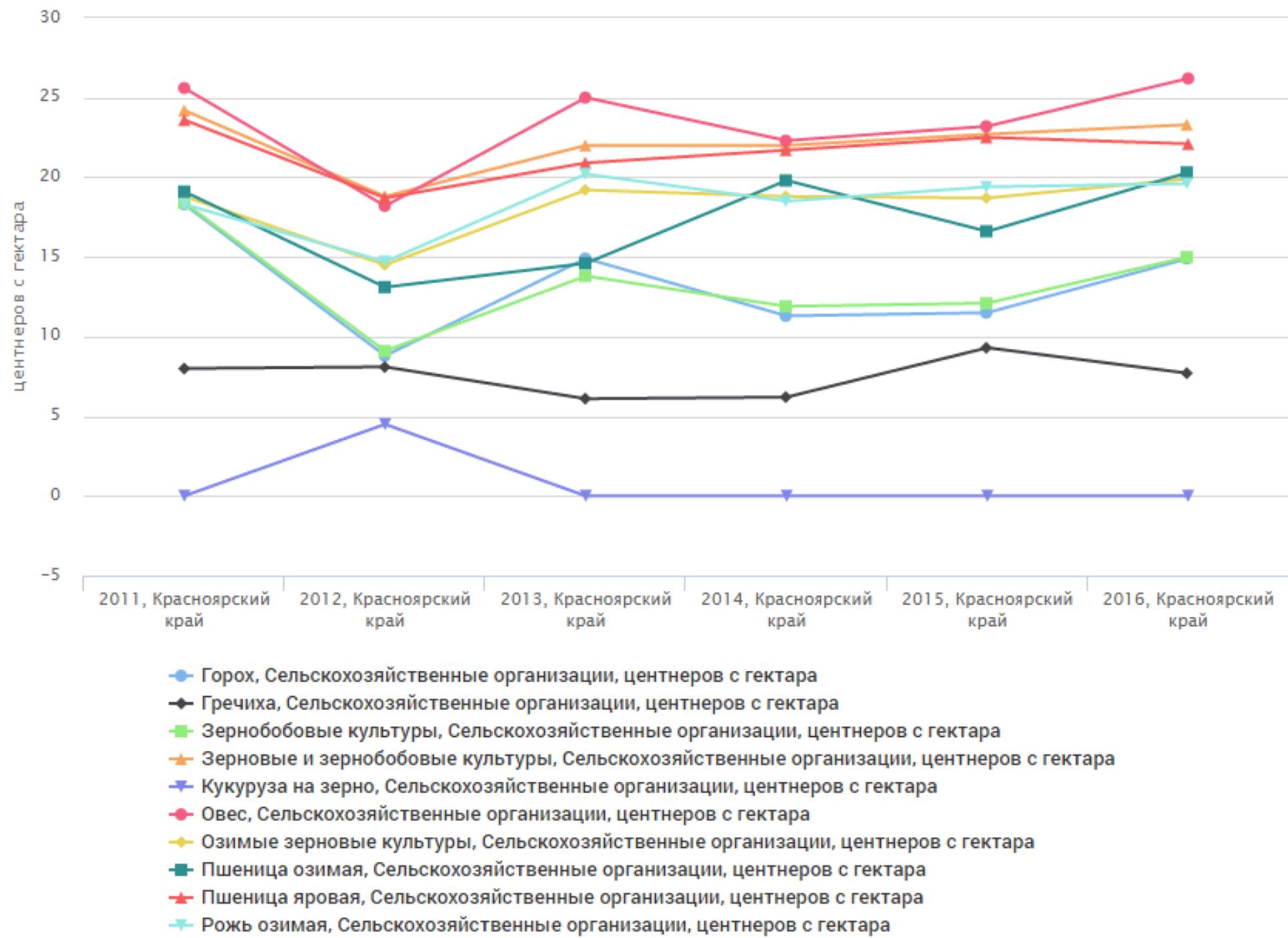
Фундаментальной отраслью сельского хозяйства является зерновое производство, обеспечивающее потребности в главном продукте питания – хлебе. Оно же поставляет фураж для скота и сырье для пищевой промышленности. Ведущая зерновая культура – пшеница – преобладает повсеместно. К самым крупным производителям в крае относятся 9 административных районов края – Ужурский, Назаровский, Шарыповский, Новоселовский, Балахтинский, Сухобузимский, Минусинский, Рыбинский, Краснотуренский. Их доля составляет около 60 процентов от общего объема производства [5].

На территории края выделяют земледельческие зоны тайги, подтайги, лесостепи и степи. Климат резко континентальный. В зонах южной тайги и подтайги сумма активных температур – 1200–1800°С. Здесь могут выращиваться озимая рожь, овес, пшеница, горох, многолетние и однолетние травы, кормовые корнеплоды, овощи. Лесостепная и степная зоны, где размещено основное сельскохозяйственное производство, имеют сумму положительных температур 1800–2400°С. В степной зоне благоприятные условия для возделывания высокопродуктивных сортов яровой пшеницы с высоким содержанием белка [5].

Яровые культуры представлены следующими видами растений: пшеницей, ячменем, овсом, просом, гречихой, зернобобовыми; из озимых климатические условия позволяют выращивать только рожь. Одним из главных природных факторов, ограничивающих продуктивность сельскохозяйственных земель – дефицит теплоты [1].

Урожайность 2016 года превзошла все ожидания. Самая высокая урожайность зафиксирована в Ужурском районе (37,2 ц/га), на втором месте Назаровский район (30,8 ц/га), на третьем - Шарыповский район (30,1 ц/га). Четвертое место занимает Канский (29 ц/га) район, пятое - Каратузский район (28,5 ц/га).

По данным министерства сельского хозяйства Красноярского края урожайность сельскохозяйственных культур Красноярского края (в расчете на убранную площадь) (значение показателя за год) представлено на диаграмме [6]





Снижение экономической эффективности зерновой отрасли связано, во многом, с проведением ошибочных аграрных реформ, отсутствием механизмов государственного регулирования, приведшим к сокращению резервных фондов зерна, отсутствию эффективной системы ценообразования, фактическому отсутствию цивилизованной формы сбыта, нарушениям научных рекомендаций и т.д. [3].

Затруднительное экономическое положение сельскохозяйственных предприятий в свою очередь приводит к оттоку квалифицированных кадров, предельному устареванию и износу автотракторного парка и оборудования. В таком положении находится большинство хозяйств края.

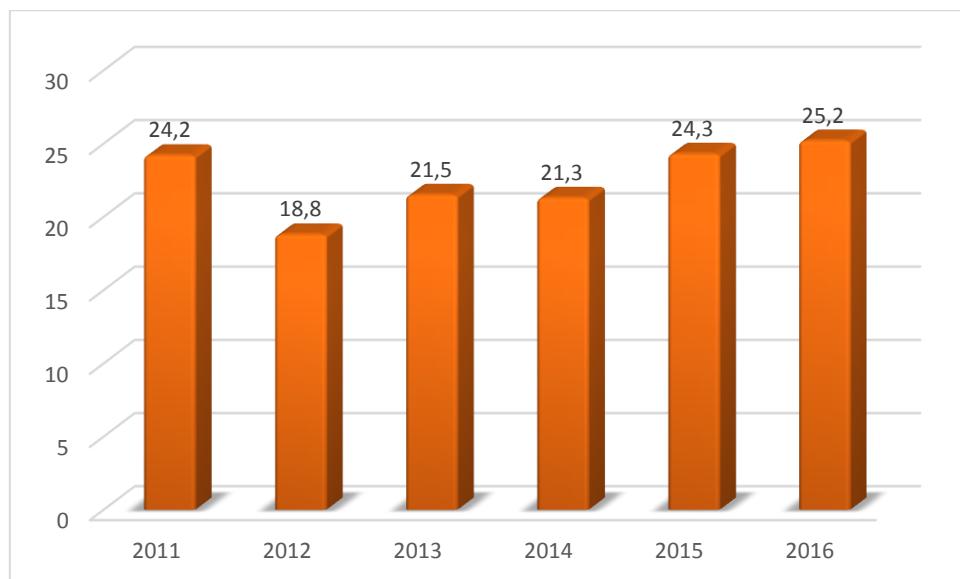


Рисунок 1.3 – Средние значения урожайности за период 2011–2016 годы, ц/га

Урожайность зерновых культур в регионе в период с 2011 по 2016 имеет в среднем одинаковый показатель, последние два года идет небольшая тенденция к росту[6].

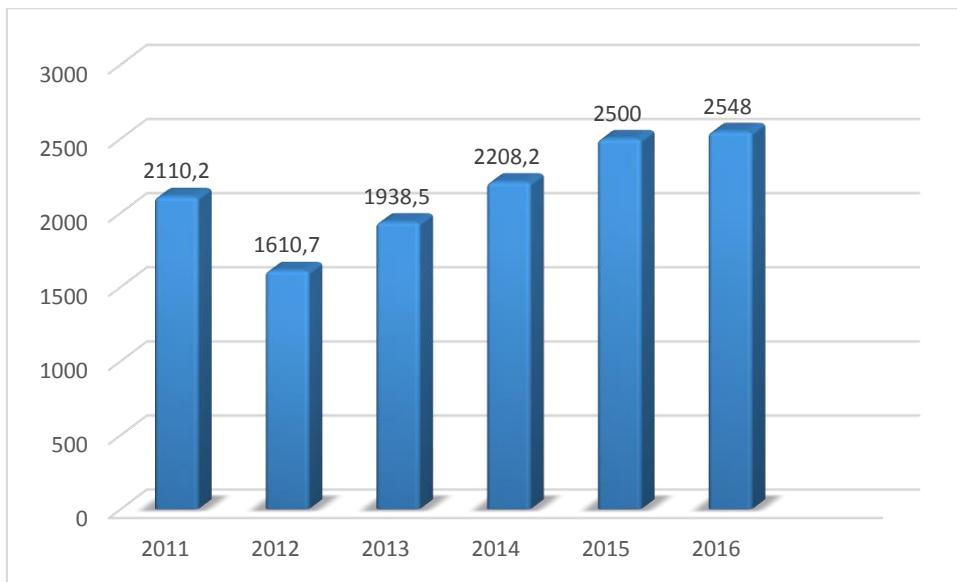


Рисунок 1.4 – Валовые сборы зерновых культур в весе после доработки, тыс.тонн

Период рыночных преобразований принёс глубокие качественные и количественные изменения в зерновое хозяйство страны, для которого стали характерны: резкий спад производства зерна и повсеместное ухудшение его качества, снижение уровня его интенсивности и эффективности ведения зерновой отрасли, сокращение объёмов закупок сельскохозяйственной продукции и, как следствие, уменьшение (в 2–5 раз) выпуска продовольственных товаров перерабатывающими отраслями промышленности, снижение уровня и качества питания населения [7].

Одна из наиболее главных причин падения производства – низкая, а в ряде случаев и отрицательная, рентабельность производства зерна [7].

В подавляющем большинстве сельскохозяйственных предприятий Красноярского края, сложилась крайне неблагоприятная экономическая ситуация, которая усугубляется не только внешними рыночными факторами, но и внутренними факторами производства, в первую очередь, отсутствием квалифицированных кадров, заинтересованных в развитии производства.

1.2 Влияние технико-экономических условий хозяйств на выбор параметров технологии обработки зерна

Современные условия рынка диктуют жёсткие требования деятельности сельскохозяйственных предприятий. Одним из направлений обеспечения рентабельности зерновой отрасли является правильный выбор, активное внедрение и использование высокопроизводительного оборудования с наименьшими издержками.

В настоящее время широкий спектр предприятий в России и за рубежом предлагает продукцию для переработки и хранения зерна. И так как подавляющее большинство зерноперерабатывающего оборудования в Красноярском крае имеет степень износа близкую к 100 %, то возникает необходимость выбора подходящих марок машин при обновлении производственных фондов.

Несомненно то, что основным фактором, влияющим на выбор оборудования, при его закупке является финансовая сторона.

При наличии возможностей модернизации комплексов необходимо [8] учитывать:

а) выделение мелких сорных примесей из зернового вороха и разделение его на фракции (продовольственную, семенную, фуражную) до сушки, что позволяет снизить долю зерна на фураж и потребление тепловой энергии на сушку;

б) увеличение суточной производительности за счет применения в них оборудования, выполняющего одновременно или последовательно несколько операций. Это повысит эксплуатационные показатели, снизит потребление топлива и электроэнергии на сушку;

в) включение в состав линии техники и оборудования (особенно сушильного) открытого исполнения с установкой их на отметке "нуль".

В условиях нескольких одновременно созревающих культур целесообразна установка нескольких технологических линий по переработке для каждой [8].

Благодаря этому снизится трудоемкость, материалоемкость и потребность в стройматериалах при монтаже машин и оборудования;

При невозможности обновления одним из способов следования в русле вышеуказанных направлений является использование многофункциональных приёмных устройств, что достаточно эффективно, но с наименьшими начальными капиталовложениями [8].

Важно отметить, что в России не существует такой сертификации на соответствие продукции качествам, заявленным предприятием-изготовителем. Поэтому на рынок попадают машины, запасные части и расходные материалы с низким качеством изготовления и надёжности, либо с характеристиками не соответствующими указанным [8].

1.3 Особенности послеуборочной обработки зерна в условиях Красноярского края

Зернопроизводящие районы Красноярского края отличаются сравнительно сжатыми сроками возделывания сельскохозяйственных структур культур.

Созревание и уборка зерновых начинается в конце августа - сентябре, а в непогоду затягивается до поздней осени, что неблагоприятно влияет на качественные показатели зерна.

Проведение ряда научных исследований [8,9,10] показало, что продолжительность уборки, временного хранения и послеуборочной обработки в условиях зон повышенного увлажнения должна быть значительно сокращена. Причем допустимые сроки формирования и обработки партий зерновых материалов составляют 10... 12 дней.

При увеличении этих сроков происходит резкое снижение всех качественных показателей зерна. При активном вентилировании зерна сроки обработки могут быть увеличены до 18...20 дней.

В то же время во многих хозяйствах обработка зерна семенного и продовольственного назначения продолжается 60...70 дней, а иногда и более, при продолжительности уборки – 30...40 дней [8].

С целью устранения такого положения необходима поточная организация взаимосвязанных и взаимозависимых процессов уборочно-транспортного комплекса и послеуборочной обработки зерна, для чего, в свою очередь необходимо наличие высокопроизводительного и эффективного технологического оборудования.

Сушка зерна необходима и эффективна при влажности зерна, превышающей его состояние сухости (в условиях Красноярского края это 85–95% зерна) и средней сухости (75–90% зерна), при малом биологическом запасе времени (система земледелия, поздний срок сева), при поздних и сжатых сроках уборки зерновых [8].

В этих случаях она не только позволяет сократить потери в количестве и качестве зерна, но и в результате осуществления в ускоренном искусственном режиме процессов послеуборочного дозревания повышать качественные показатели зерна фуражного, продовольственного и семенного назначения.

В настоящее время с точки зрения обеспеченности и эффективности работы зерноочистительно-сушильными пунктами и зерносушилками (которая очень четко отражается на качестве обработанного зерна и себестоимости зерновой отрасли) все хозяйства Красноярского края можно подразделить на три группы [10].

В первую, самую малочисленную, можно отнести наиболее передовые хозяйства, имеющие новую современную зерносушильную технику и соответствующее вспомогательное технологическое оборудование.

Во второй группе – хозяйства, осуществляющие переоснащение, переоборудование или строительство зерноочистительно-сушильных пунктов. Эти хозяйства испытывают трудности в выборе наиболее экономичного технологического оборудования и схем поточных линий. В поточную линию комплектуются отдельные машины без обоснования и расчета.

В третьей группе – хозяйства, в которых послеуборочная обработка зерна проводится физически и морально устаревшими машинами и установками, фактическая производительность которых значительно ниже паспортной.

В общем случае производительность поточных линий послеуборочной обработки зерна в Красноярском крае снижается в основном за счет несовершенства конструкции зерноприёмников, бункеров активного вентилирования, сушилок, сепарирующих рабочих органов машин, неравномерности распределения воздушного потока и неравномерности распределения зерна, неэффективности взаимодействия воздушного потока с зерновым материалом.

При обосновании потребности в средствах технической оснащенности для пунктов послеуборочной обработки зерна в условиях хозяйств Красноярского края необходимо учитывать коэффициент использования проектной производительности, который в силу имеющей место неравномерности часового и суточного поступления в среднем по краю составляет 0,45...0,52 [9].

Таким образом, послеуборочная обработка зерна в условиях хозяйств Красноярского края представляет определенные сложности и проблемы, связанные с созреванием культур, погодными условиями и повышенной влажностью обрабатываемого материала.

ГЛАВА 2 Приемное отделение ЗОСК

2.1 Краткий анализ состояния зерносушильной техники в хозяйствах Красноярского края

Анализ состояния зерносушильной техники в ряде хозяйств Красноярского края, показал, что в большинстве случаев остро ощущается нехватка средств технической оснащенности, особенно предназначенных для сушки зерна семенного назначения [11].

В связи с крайне невыгодным экономическим положением большое число хозяйств имеют в своём составе устаревшие зерносушильные комплексы, построенные еще в советский период, которые обладают следующими недостатками:

1. Подтопливание в весенний период или при высоком уровне грунтовых вод нижней части приёмного бункера и нории, попадание атмосферных осадков. Что создаёт дополнительные затраты труда для устранения последствий, приводит повышению интенсивности коррозии стенок завальной ямы, регулирующей заслонки и деталей нижней головки загрузочной нории.

2. Частый выход из строя двигателя приёмной нории, по причине его частых перегрузок и несрабатывания термоэлектрического реле защиты отключения двигателя.

3. Частые поломки привода загрузочной нории вследствие перегрузки ковшей зерновым материалом.

4. Попадание при загрузке с зерном крупных посторонних предметов (кусков асфальта, если зерно было привезено с площадок временного хранения, камней, палок и пр.). По этой причине происходит забивание приёмного окна загрузочного бункера, либо поломка ковшей нории, перегрузка электродвигателя привода.

5. Достаточно низкий уровень контроля над состоянием

работающего оборудования (проскальзывание приводных ремней; неисправности приемных и транспортирующих устройств, вследствие попадания посторонних предметов; дымление и возгорания оператор может заметить не сразу).

6. Слабое использование бункеров активного вентилирования для подработки и временного хранения до сушки зернового материала вследствие очень малой скорости сушки и значительного сопротивления толстого (толщиной порядка одного метра) зернового слоя воздушному потоку.

7. Снижение производительности комплекса в целом при переработке зернового вороха, имеющего высокую влажность и засорённость.

8. Невозможность переработки нескольких одновременно поступающих зерновых культур. В результате чего партии зерна, ожидающие подготовки к длительному хранению (в большинстве случаев на площадках под открытым небом), подвергаются порче и дополнительному увлажнению.

9. В результате контакта с грунтом стенки завальной ямы имеют температуру на 3–5 °С более низкую, чем температура окружающей среды, что приводит к конденсации влаги воздуха, которая затем передается загружаемой зерновой массе.

2.2 Влияние условий функционирования на эффективные показатели зерноочистительно-сушильных комплексов

Одним из главных условий повышения уровня производства зерна является рост эффективности использования техники для послеуборочной уборки урожая. Послеуборочная обработка – это ключевое звено в производстве зерна. От него зависит, насколько окупятся затраты на все предыдущие стадии цикла.

По экспертной оценке, потери зерна в среднем по России составляют 17%, что больше по сравнению с дореформенным периодом в 2–3 раза. В

отдельных регионах при неблагоприятных погодных условиях хозяйства теряют по 25–40% собранного урожая. В это время средний мировой показатель потерь составляет 5 % [12].

Существует огромное количество факторов, отрицательно влияющих на производительность и эффективность работы оборудования для переработки и хранения зерна. Одним из наиболее значимых факторов является высокая влажность и засорённость зернового материала, поступающего с полей и площадок временного хранения. При приеме зерна на хранение возникают проблемы при очистке влажного и сильно засоренного зерна.

Период уборки совпадает с неустойчивой погодой. Даже при благоприятных условиях наблюдаются обильные росы и туманы. В связи с проведением уборочной страды часто в сложных погодных условиях очистка комбайнов не в полной мереправляется с данной функцией.

При проведении исследований в нескольких хозяйствах Красноярского края было установлено, что влажность зерна (пшеница, овёс, рожь) находилась в пределах от 20 до 35 % и засорённость от 10 до 40 %.

При переработке высоковлажного зерна технологическая схема выглядит, в общем случае, следующим образом (рис. 1.6). Зерно, поступающее от комбайнов, накапливается на площадках временного хранения, откуда при помощи различных видов транспорта перегружается в приёмное устройство.

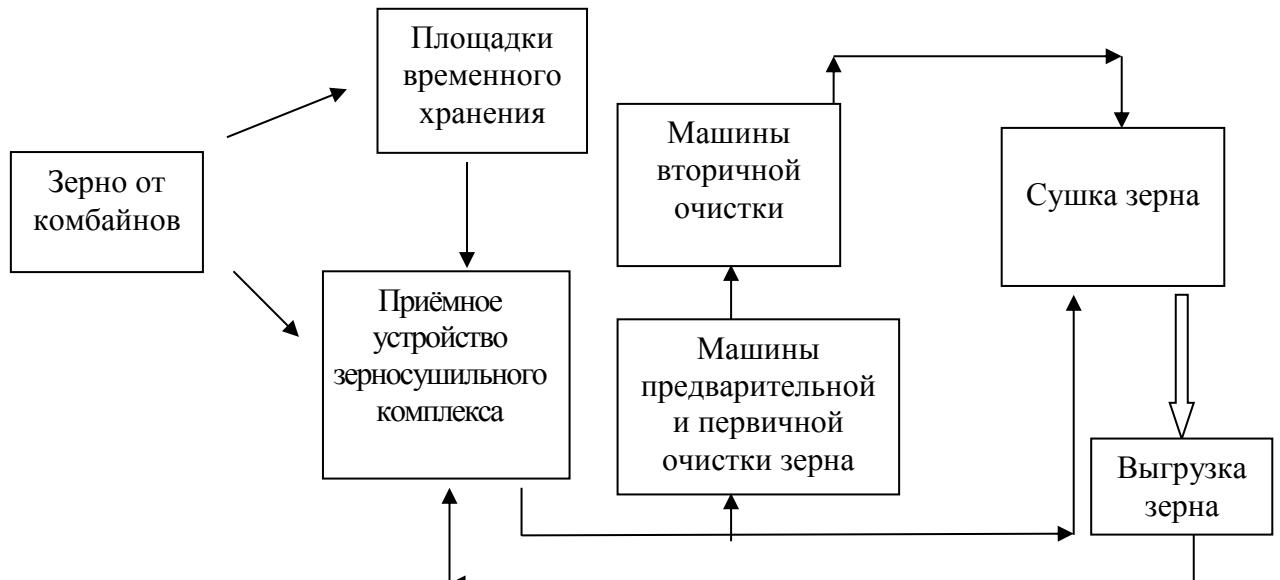


Рисунок 2.1 – Упрощенная схема послеуборочной обработки зерна

В том случае, если зерновая масса имеет влажность до 19–22 %, то она проходит очистку и далее сушку. Однако, в тех случаях, когда влажность превышает вышеуказанные значения, то для обеспечения качественной работы зерноочистительных машин наиболее распространённым способом является предварительное подсушивание путём пропускания зернового вороха через сушилку. При этом проявляются следующие отрицательные стороны: уменьшение производительности всего комплекса и нарушение поточности работы из-за использования сушилки для предварительного снижения влажности; тепловая энергия затрачивается не только на подсушивание зерна, но и примесей различного характера, что нецелесообразно; в результате увеличения числа циклов обработки, а, следовательно, и перемещений, увеличивается процентное содержание зерновок, имеющих механические повреждения.

Наличие лёгких семян сорняков в зерновом материале приводит к его самосепарированию в сушильных камерах зерносушилок (особенно шахтного типа), что отрицательно сказывается на качестве зерна из-за неравномерности нагрева и сушки. В то же время при поступлении на зерноочистительно-сушильные комплексы зернового вороха влажностью более 16% они теряют

производительность по приёму до 30% и потребляют на сушку на 8-10% топлива. [10]

В таблице 2.1 представлены паспортные данные о производительности зерноочистительных машин. В большинстве случаев производительность указывается до достижения определённой влажности зернового материала.

Таблица 2.1 – Производительность некоторых зерноочистительных машин и агрегатов

Марка	Влажность зерна, %	Регламентированная производительность при указанной влажности, т/ч
Предварительная и первичная очистка		
МПО-50	до 20	50
ЗД 10.000	до 25	до 20
Сигма 752 А, предварительная очистка	18	45
Машина первичной очистки зерна МЗП-50-1	до 17	50
САД-4 Сепаратор аэродинамический	до 18 вклю- чительно	4 ¹
Зерноочистительная машина ЗВС-20А	до 16	25
Вторичная очистка		
Сигма 752 А, окончательная очистка	14	20
Семяочистительная машина СМ-4	до 16	4-6
	до 18	до 10

Зерноочистительная машина ПСМ-10-3		
Триерный блок ЗАВ-10.90 000 А	до 16	12

Примечание: ¹ – в режиме первичной очистки/ калибровки

Как видно из приведённых значений номинальная производительность зерноочистительных машин устанавливается до достижения определенной влажности зерна.

Существующие зерноочистительные машины при повышении влажности и засоренности теряют производительность до 5 раз по отношению к паспортной [12].

Расчетно-эксплуатационную производительность воздушно-ситовых зерноочистительных машин при очистке продовольственного и семенного зерна рекомендуется определять в зависимости от влажности и содержания отделимой примеси в зерне по формуле [12] (для товарного зерна):

$$Q=0,6KQ_n \quad (1.1)$$

где Q – паспортная производительность машины при очистке пшеницы, $m/ч$; K – поправочный коэффициент, зависящий от культуры зерна, влажности и содержания отделимой примеси (табл. 1.2 и 1.3);

$0,6$ – отношение фактической производительности к паспортной при очистке продовольственного зерна.

При очистке партий зерна, имеющих в основном легкоотделимые примеси и качество в пределах ограничительных кондиций, отношение фактической производительности к паспортной при очистке продовольственного зерна рекомендуется принимать 0,7. В этом случае в формулу вводят поправочный коэффициент 0,7 вместо 0,6 [12].

Таблица 2.2 – Поправочный коэффициент в зависимости от культуры, влажности и примеси [12]

Культура	При влажности в %											
	до 16			16-17			17-20			20-22		
	и содержании отделимой примеси (сортной и зерновой) в %											
	до 10	15	20	до 10	15	20	до 10	15	20	до 10	15	20
пшеница	1,0	0,90	0,97	0,95	0,85	0,76	0,80	0,72	0,64	0,70	0,63	0,56
ржань	0,9	0,80	0,72	0,85	0,76	0,68	0,72	0,65	0,58	0,63	0,57	0,50
ячмень	0,8	0,72	0,64	0,76	0,68	0,61	0,64	0,58	0,51	0,56	0,50	0,45
рис	0,6	0,54	0,48	0,57	0,51	0,46	0,48	0,43	0,38	0,42	0,37	0,34
гречиха	0,7	0,63	0,56	0,66	0,59	0,53	0,56	0,50	0,45	0,49	0,44	0,39

Таблица 2.3 – Поправочный коэффициент в зависимости от культуры, влажности и примеси [12]

Культура	При влажности в %											
	до 16			16-18			18-20			20-22		
	и содержании отделимой примеси (сортной и зерновой) в %											
	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15	до 5	10	15
соя	0,7	0,7	0,63	0,63	0,63	0,57	0,56	0,56	0,50	0,49	0,49	0,44
овес	1,0	1,0	0,90	0,90	0,90	0,81	0,80	0,80	0,72	0,70	0,70	0,63
горох	1,0	1,0	0,90	0,90	0,90	0,81	0,80	0,80	0,72	–	–	–
подсолнечник	0,6	0,6	0,54	0,54	0,54	0,49	–	–	–	–	–	–

Исследование поточной линии в учебном хозяйстве Омского сельскохозяйственного института, проведенное И. Чудиным (1971), показало, что в очищенной массе почти в три раза больше механически поврежденных

зерен, чем в исходном материале [13]. В завальную яму ссыпают массу зерна, в ней 13,7% поврежденных. На выходе – чистая зерновая масса. В ней 32% поврежденного зерна. Нужно учесть, что 10% поврежденных зерен попадает в отходы. Общее количество поврежденного зерна поточной линией 28,3% [13].

При перемещении массы зерна из завальной ямы нория НЗ-10 повреждала 4,8 % зерна, пятая нория при перемещении хлебной массы от машины ЗВС-10 в бункер повреждала 1,6 % зерна. Общее количество повреждений зерновок нориями составляет 13,9 из 28,3 % [13].

При сушке зерно повреждается по двум причинам: от перемещения в сушилке при соприкосновении с рабочими органами и от воздействия теплоносителя за счёт изменения влажности [13].

Проведенные сравнительные испытания двух типов сушилок (шахтной и барабанной) показали, что в процессе прохождения зерна через барабан или шахту сушилки оно в разной степени повреждается (табл. 1.4) [13]. Барабанская сушилка СЗПБ-2 повреждает зерно в меньшей степени, чем шахтная СЗС-6.

Таблица 1.4 – Механические повреждения семенного зерна сушилками [13]

Пшеница Александровская 28	Передвижная сушилка СЗПБ-2	Стационарная сушилка СЗС-6		
Производительность, т/ч	2,05	2,79	3,9	4,11
Макроповреждения, %	0,22	0,13	0,86	0,47
В том числе:				
дробление вдоль	0,01	0,01	0,5	0,3
дробление поперек	0,08	0,04	0,36	0,11
плющение	0,13	0,03	—	0,06
Микроповреждения, %	3,17	2,66	5,79	4,31
В том числе:				
зародыш полностью выбит	0,1	—	0,19	0,1

зародыш частично поврежден	—	—	—	0,05
повреждения:				
оболочек зародыши	1,36	2,27	0,82	3,83
оболочек около зародыши	1,5	0,39	4,39	0,33
эндосперма	0,21		0,39	-

В составе зерноочистительно-сушильных комплексов используют однопоточные ковшовые нории НЗ-20 и ТКН-10, двухпоточные 2НЗ-20, 2ТКН-10 (высота подъема 13—14 м, производительность до 20 т/ч пшеницы) и НО-5 (высота подъема до 11 м. производительность до 5 т/ч).

При перемещении зерна нориями происходит повреждение зёрен. Основное механическое воздействие на зерно в ковшовых нориях – динамическое сжатие в нижней головке нории и свободное ударение зерна со скольжением в верхней головке. Величина этих нагрузок и воздействие их на зерно зависят от многих причин [13].

При многократном пропуске (кратность обработки) одного и того же зерна через норию (в поточных линиях это соответствует прохождению зерна через несколько норий технологической цепочки машин, расположенных последовательно) количество механически поврежденных зерен повышается при любой производительности нории и разной влажности зерна (рис. 1.8). Из общего количества повреждений зерна транспортирующими и погрузочно-разгрузочными устройствами на долю норий приходится 69,7%, на ленточные транспортеры —22,3% и только 8% от общих повреждений наносят другие средства [13].

Наибольшая степень нарушения поточности работы комплексов, введённых в эксплуатацию преимущественно в 80-е годы прошлого века, проявляется при использовании зерносушилок шахтного типа.

В последние годы на хлебоприемных пунктах, широко внедряют рециркуляционные зерносушилки, которые в значительной мере устраняют

недостатки, присущие шахтным зерносушилкам, и улучшают процесс послеуборочной обработки зерна.

Рециркуляционные зерносушилки приспособлены одновременно сушить зерно разной влажности в потоке до требуемых кондиций и позволяют сушить зерно без предварительной очистки [14].

В любом случае, при сушке неочищенного зернового материала происходят неоправданные затраты энергии, расходующейся на снижение влажности сопутствующих примесей. Органические примеси — части стеблей и стержней колоса, пленки и т. п. имеют большую влажность, чем зерновки.

Расход топлива на сушку зависит от условий функционирования комплекса и в первую очередь от влажности зерна. При влажности зерна более 27% он удваиваются по сравнению с нормальными условиями (начальная влажность 20%) [15].

В итоге нужно заострить внимание на том, что основными негативными последствиями являются дополнительные затраты на предварительное подсушивание сильно загрязнённого зерна и увеличение степени его повреждений в результате увеличения циклов обработки.

2.3 Роль приёмного отделения в работе зерноочистительных сушильных комплексов

Подавляющее большинство технологических процессов в сельском хозяйстве осуществляется с использованием приемно-накопительных устройств. Приемные устройства являются необходимой составной частью более 85 % мобильных и стационарных сельскохозяйственных машин, установок и поточных линий.

Работа оборудования, входящего в состав комплексов, неразрывно связана и происходит в едином потоке, поэтому для показа роли приёмного отделения следует рассматривать его во взаимосвязи с технологическим процессом всего комплекса.

В состав приёмного отделения входит завальная яма (зерноприёмник, приёмно-подающее устройство, приёмный бункер) и машины предварительной очистки зерна, например МПО-50.

В современных зерноочистительно-сушильных комплексах рассматриваемые устройства выполняют приём зернового материала и кратковременное его хранение с целью обеспечения непрерывности работы. Зерновой ворох может поступать непосредственно с полей или от мест кратковременного хранения. Дополнительно зерноприемники выполняют компенсацию неравномерности поступления обрабатываемого материала, что соответственно снижает степень нарушения поточности работы.

Между тем для зернопунктов, функционирующих в условиях повышенной влажности, решение данных вопросов значительно улучшит условия работы основных машин (зерносушилок и зерноочистительных устройств) за счет улучшения сыпучести, повышения скважистости и т. д.

При этом нужно заострять внимание на вопросах материала – и энергосбережения, обеспечения бесперебойности подачи зернового вороха, вопросам охраны труда и техники безопасности.

Необходимо учитывать, что выделение мелких сорных примесей из зернового вороха и разделение его на фракции (продовольственную семенную и фуражную) до сушки позволяет снизить долю зерна на фураж и потребление тепловой энергии на сушку; увеличение суточной производительности за счёт применения в них оборудования, выполняющего одновременно или последовательно несколько операций. Это повысит эксплуатационные показатели, снизит потребление топлива и электроэнергии на сушку [7].

2.4 Технология подработки зернового материала в приёмном отделении как составная часть послеуборочной обработки зерна

В соответствии с Нормами технологического проектирования предприятий послеуборочной обработки и хранения продовольственного,

фуражного зерна и семян зерновых культур и трав [17] принятая следующая схема обработки семян зерновых колосовых и бобовых культур (рис. 2.2)

На агрегаты и комплексы для поточной послеуборочной обработки зерна поступает, как правило, зерновой ворох после комбайновой уборки либо временного хранения.

Он представляет собой механическую смесь семян основной культуры, семян других растений (культурных и сорных), органических и минеральных примесей. Основные свойства всех составляющих (фракций) этой смеси, количественное соотношение фракций во многом определяют или значительно влияют на процесс сепарации и сушки. Для рабочих органов машин, работающих в составе агрегатов и комплексов, наиболее существенны состав и влажность вороха, линейные размеры, парусность и весовые показатели его фракций.

Состав вороха прежде всего определяется чистотой, то есть содержанием семян основной культуры в смеси. Чистота может колебаться в широких пределах, снижаясь для зерновых культур до 80% и менее. Данные по основным сельскохозяйственным зонам возделывания пшеницы (Казахстанская, Кубанская, Поволжская, Северокавказская, Сибирская, Центральная, Центрально-Черноземная, Южно-Украинская) за последние 12 лет показывают, что чистота поступающего на послеуборочную обработку вороха изменялась от 74 до 99% [7, 18].

В состав приёмного отделения современных зерноочистительно-сушильных комплексов входят приёмные устройства, конструктивные исполнения которых рассмотрены далее и оборудование для предварительной очистки зерна.

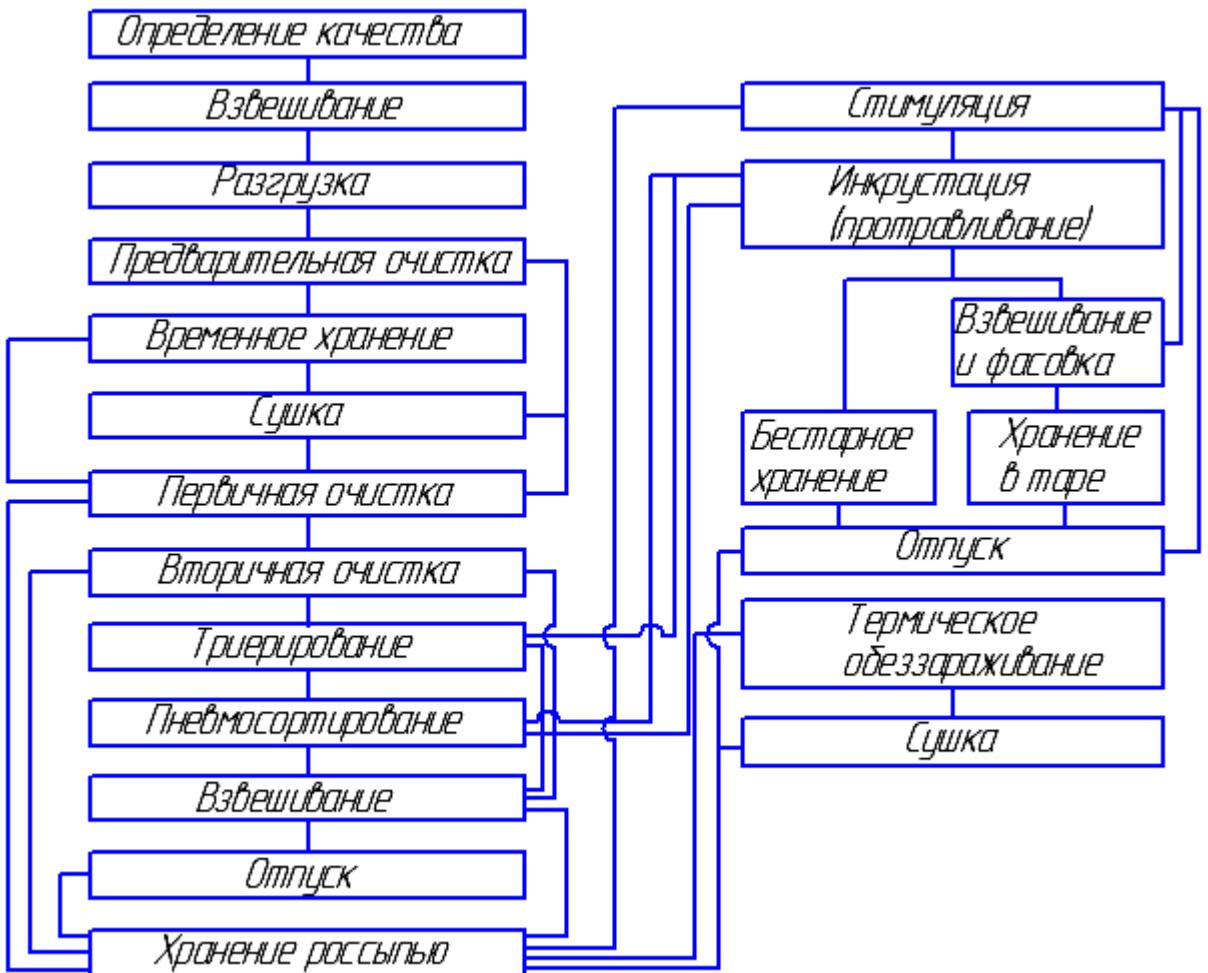


Рисунок 2.2 – Схема послеуборочной обработки семян зерновых колосовых и бобовых культур

Предварительная очистка освобождает ворох от фракций, нарушающих бесперебойную работу шахтных сушилок, и в то же время сохраняет фуражные примеси, которые проходят через сушилку и доводятся по влажности до кондиций, пригодных к хранению.

Зерновой ворох самосвальным автотранспортом выгружается в приемный бункер, откуда дозировано подается к ковшовой нории. В зависимости от конструкции приёмного устройства интенсивность подачи может регулироваться изменением проходного сечения выпускного окна посредством заслонки (при разгрузке самотёком), либо изменением воздушного напора разгрузочного вентилятора (в устройствах с аэрожёлобом).

В технологических линиях предусматривают предварительную очистку зерна в ворохочистителе или сепараторе перед сушкой для отделения крупных и легких примесей, а также отходов.

Для предварительной очистки зерна используются машины следующих марок: К 527, ЗД-10.000, ЗВС-20, ЗСМ-50, КДП-50, КДП-100, А1-БЛС-16, А1-БИС-100 и др.

Кратко рассмотрим процесс подготовки зерна к хранению на примере комплекса КЗС-10. Обработка зернового вороха в условиях Красноярского края производится как в потоке, так и в два этапа с доведением семян до кондиционных требований по влажности в уборочный период, а по чистоте в послеуборочный период.

Влажный зерновой ворох загружают в приемный бункер и норией подают в машину предварительной очистки. Если поступление зерна превышает пропускную способность сушилки, то часть потока зерна направляют в бункер резерва для создания временного запаса. В зависимости от влажности поступающего материала технологический процесс может протекать по двум схемам.

Первая схема: предварительная очистка, однократная сушка и далее очистка по любому из вариантов, предусмотренных для ЗАВ-20. Примеси направляются транспортером отходов в бункер, а зерновой материал идет в сушильный агрегат. Если в сушильном агрегате используется шахтная зерносушилка СЗШ-16,0, то материал загружается нориями сушильного агрегата двумя потоками в сушилку, настроенную на параллельную работу шахт. После сушки материал поднимается отгрузочной норией и поступает в компенсирующую емкость зерноочистительного агрегата. Из нее высушенное зерно самотеком идет во вторую ветвь загрузочной нории зерноочистительного агрегата. Данная схема применима при влажности зернового вороха до 22–24%. При увеличении данного параметра значительно снижается качество очистки зерна, поэтому комплекс работает по второй схеме.

Вторая схема: предварительная очистка, последовательная (двукратная) сушка и очистка. По этой схеме после предварительной очистки материал подается сначала в одну шахту СЗШ-16,0, высушивается в ней один раз, проходит охладительную колонку и подается норией на повторную сушку во вторую шахту сушилки. При использовании двух барабанных сушилок весь материал подается сначала в одну из них, а после охлаждения в колонке в другую. Далее процесс протекает так же, как и по первой схеме.

Отходы от предварительной очистки пневмотранспортером с пылевым вентилятором В-ЦП-40 № 5 13 загружаются в секцию влажных отходов.

В таком случае, приходится предварительно пропускать зерновой материал через сушилку, а затем производить очистку и фракционирование. То есть повышается количество циклов обработки. Следовательно, возрастает энергопотребление и количество механических повреждений зёрен (до 32% от первоначального значения). При этом падает производительность всего комплекса и на практике стремится повысить температуру сушильного агента, что отрицательно сказывается на качестве зерна. Отметим, что влажное зерно отличается особо низкой теплопроводностью, поэтому его нельзя перегревать. В нашем случае подсушка наиболее эффективна т. к. при невысокой температуре осуществляется дополнительный, необходимый съём влаги.

Необходимость в предварительной очистке зернового вороха обуславливается стремлением к снижению энергозатрат при сушке и повышению качества последующих ступеней очисток и сортировки зерна. Это диктуется необходимостью обеспечения качественной работы машин предварительной очистки. Однако при этом происходит снижение общей производительности всего зерноочистительно-сушильного комплекса.

Таким образом, приёмное отделение, как первичное звено, оказывает значительное влияние на выбор схемы переработки.

Следовательно, в технологическую линию необходимо включить устройство, которое бы выполняло предварительное снижение влажности до тех величин, при которых обеспечивается качественная работа

зерноочистительных машин, в частности машин первичной очистки. Данное устройство должно доводить исходный материал до той влажности, при которой будет обеспечена достаточно эффективная работа машин предварительной и вторичной очистки зерна (в лучшем случае 19–22%). Это позволит уменьшить количество циклов обработки, а также снизить потери от тепловых и механических повреждений. Наиболее целесообразным представляется совмещение основных функций с дополнительными, например, с предварительным подогревом, подсушкой.

Снижение влажности обрабатываемого материала значительно уменьшит его потери, вызванные повреждениями различного характера.

Наиболее рациональной представляется схема работы зерноочистительно-сушильного комплекса, показанная на рис. 2.3.

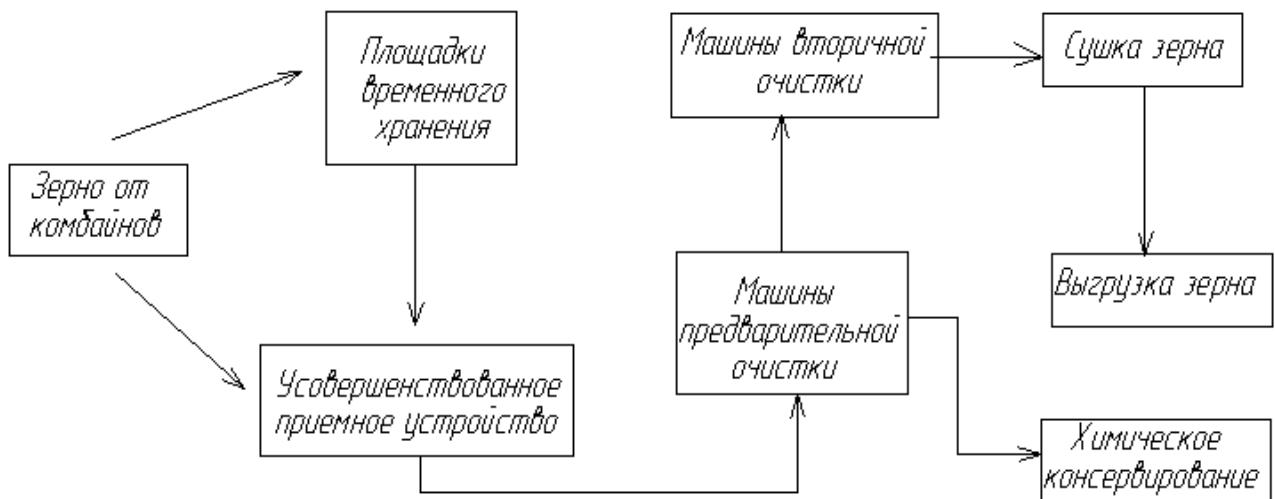


Рисунок 2.3 – Упрощённая схема послеуборочной обработки зерна с предварительным подсушиванием в приёмном бункере и химическим консервированием фуражной фракции

Согласно данной схеме зерно с полей поступает на площадки временного хранения либо, что реже, непосредственно в усовершенствованный приёмный бункер, где производится небольшое снижение влажности обрабатываемого материала. Таким образом,

улучшаются условия для эффективной работы зерноочистительных машин и снижается количество циклов обработки, а значит и уменьшается степень повреждения семян.

Большая часть урожая в хозяйствах, имеющих в своём составе отрасль животноводства, идёт на фураж. Так как большая часть земледельческих районов Красноярского края относится к зоне высокого увлажнения, то достаточно велики энергетические затраты, на снижение влажности зерна при подготовке его к хранению.

Перед началом обработки зерно подлежит обязательной очистке от растительных остатков и других посторонних примесей. Среди примесей особо опасна зеленая растительность.

С учётом представленного выше материала показана необходимость в усовершенствовании технологии обработки зернового материала на этапе приёма. Значительная роль при этом будет возлагаться на подготовку зерна с целью обеспечения качественного и производительного функционирования отделения очистки. Вторым путём повышения производительности зерноочистительно-сушильных комплексов на этапе приёма и предварительной очистки представляется фракционирование зерна [19].

ГЛАВА 3 Бункера активного вентилирования в технологической линии послеуборочной обработки зерна

3.1 Особенности сушки зерна в бункерах активного вентилирования

Сушка зерна в бункерах активного вентилирования имеет ряд особенностей:

- зерно сушится при очень мягких температурных режимах;
- экспозиция сушки составляет достаточно большие значения;
- снижение влажности зерна протекает примерно так же, как в поле;
- исключается возможность теплового, механического и биологического повреждения зерна;
- происходит послеуборочное дозревание зерна;
- зерно сушится в насыпи с большой толщиной слоя, сушка начинается после заполнения зерном сушильного бункера.

Зерно сушится за один прием без перемещения партиями по 20...50т при любой исходной влажности:

- нормы расхода воздуха составляют 400....1300 м³/ч на тонну;
- бункерные установки занимают в несколько раз меньшую площадь и хорошо приспособлены для механизации погрузочно-разгрузочных работ, в отличие от других вентиляционных установок и сушилок периодического действия:

- электроподогреватели мощностью 7кВт и электрокалориферы 18кВт обеспечивают нагрев воздуха на 5...10°C, для подогрева воздуха на 40...60°C применяют воздухоподогреватели и топочные установки, при этом в воздуховод сушильного бункера поступает чистый, не смешанный с топочными газами, подогретый до 56...60° С воздух, зерно нагревается до 40...45° С и постепенно высушивается до 14...15%.

Основным недостатком обработки зерна в бункерных установках является неравномерная сушка зерна в радиальном (горизонтальном)

направлении и по высоте насыпи. Она приводит к тому, что при средней влажности 14% в верхних наружных слоях она равна 16...18%, в средних центральных – 13...15%, а в нижних внутренних – 6...11%.

Для устранения этого недостатка предлагаются конструктивные изменения сушильной камеры, направленные на изменение воздухораспределительной системы бункерной установки, которая должна обеспечить равномерный подогрев зерна во всех точках зерновой массы. Второй путь решения проблемы повышения эффективности использования бункерных установок – изыскание оптимальных технологических схем их работы.

Проведенные исследования показали целесообразность использования следующей схемы технологии низкотемпературной сушки и вентилирования зерна; днем вентилирование подогретым воздухом калорифером на 5...8° С продолжительностью 10 ч и сушка ночью подогретым до 50...60° С продолжительностью 6 ч, независимо от погодных условий; далее отлежка зерна без подачи воздуха продолжительностью 8 ч, в течение которой зерно удерживает температуру, которую оно приобрело в процессе вентилирования – 20° С или в процессе сушки – 40° С; после этого снова повторяются (при необходимости); число циклов зависит от последовательности – сушка 6 ч, вентилирование 10 ч, отлежка 8 ч и т.д., до достижения кондиционной (требуемой) влажности.

Технологическая схема ступенчатого способа обработки зерна (семян) может быть представлена в виде: вентилирование – сушка – отлежка – сушка – вентилирование – отлежка – сушка – отлежка – вентилирование.

Такая технология сушки позволяет добиться повышения качества сушимого материала: период послеуборочного дозревания у зерна с начальной влажностью 20...25% будет заканчиваться непосредственно в процессе сушки, а не через шесть месяцев в процессе хранения, как это

имеет место при использовании обычно применяемых методов вентилирования и сушки.

Скорость влагосъема средняя – 7,5т %/ч – для предлагаемой технологии сушки и вентилирования, тогда как для вентилирования неподогретым воздухом она изменяется в пределах 0,1…0,8т %/ч; при сушке в бункерных установках при температуре нагрева зерна до 20°C скорость влагосъема составляет 1,0…1,1т %/ч; а при 40…45°C, – 4…5т %/ч.

3.2 Классификация установок активного вентилирования

При вентилировании зерновых насыпей предъявляют требования, исключающие ухудшение свойств зерна. Исходя из этого можно сформулировать некоторые требования, предъявляемые к установкам активного вентилирования:

- 1) возможность автоматизации процесса обработки зерна;
- 2) простота и безопасность при эксплуатации;
- 3) надёжность в работе;
- 4) универсальность в использовании при вентилировании различных культур;
- 5) гибкость технологической схемы до и после сушки.

В современной практике применяют огромное количество установок активного вентилирования различного конструктивного исполнения. Описание их не только крайне затруднительно, но и едва ли целесообразно.

Все установки можно классифицировать по нескольким признакам.

По назначению: для консервации зерна охлаждением; универсальные; аэрационные.

По способу подвода воздушного потока в зерновую массу: с вертикальным односторонним; с горизонтальным радиальным (одно- и двухсторонним); с горизонтальным поперечным; со смешанным.

По типу воздухораспределительных устройств: с коробами или каналами; с перфорированным полом; с жалюзийными стенками; с перфорированными центральными и наружными цилиндрами.

По конструктивному оформлению камеры: бескамерные; вентилируемые бункеры; закрома и силосы различной формы.

По способу установки: стационарные и переносные.

По типу разгрузочных устройств: саморазгружающиеся; с пневмогрузными устройствами; со шнековыми разгрузчиками.

В связи с многообразием конструкций вентиляторов необходимо дать их классификацию.

По назначению вентиляторы разделяются: на вентиляторы общего назначения и специальные (с.-х. вентиляторы, дымососы, шахтные и др.).

В зависимости от принципа действия вентиляторы подразделяются на радиальные (центробежные); осевые; диаметральные; смерчевые [23,25].

3.3 Анализ существующих конструкций бункеров активного вентилирования

Для временного хранения и вентилирования небольших партий зерна, преимущественно семенного назначения, широко применяются бункера активного вентилирования. Бункера выпускают вместимостью от 1,2 т (СЦЗ-1.5) до 25т(БВ-25) и 30т (к-878), БВ-6, БВ-12,5.

Вентилируемый бункер БВ-25 представляет собой вертикальный цилиндр 2 диаметром 3080 мм с конусообразным дном (рис. 3.1). Стенки бункера выполнены из штампованной перфорированной стали. Внутри цилиндра по центру вмонтирован цилиндрический воздухораспределитель 12 диаметром 750 мм. В верхней части воздухораспределителя 12 находится конусный распределитель зерна 11 для равномерной загрузки зерном.

Воздухораспределительная труба имеет подвижный поршень 10, подвешенный на трос с лебёдкой 1. Используя лебёдку, можно менять

положение поршня в трубе по высоте. Если бункер заполнен полностью, то поршень поднимают в верхнее положение. При неполном бункере поршень устанавливают так, чтобы его дно находилось чуть ниже уровня поверхности зерна.

Уровень зерна в бункере фиксируется грузиками 5,7 и флагжком 6. воздух подогревается в электрокалорифере 16, установленном около всасывающего отверстия вентилятора 15, подающего воздух в бункер. Для регулирования выпуска зерна в нижней части бункера устроено регулировочное кольцо 13 с изменяющейся шириной кольцевой щели. Бункер оборудован двумя проотборниками 3, измерительным преобразователем уровня зерна 8 и тремя регуляторами 4 влажности ВДК. Регулятор влажности, установленный в нижней или средней части наружной стенки бункера, отключает вентилятор при снижении влажности зерна ниже заданной. Два других регулятора влажности включают или выключают электрокалорифер.

Электрокалорифер состоит из двух секций, каждая из которых связана со своим регулятором влажности. Если относительная влажность воздуха превышает 75%, то один из регуляторов влажности включает первую секцию калорифера; если же относительная влажность воздуха 80%, то второй регулятор влажности включает вторую секцию калорифера, и в этом случае обе секции калорифера работают одновременно. Регуляторы влажности размещают на наружной стене здания, в которой установлен бункер.

Воздух в бункер подаёт вентилятор Ц4-70 №6.

Бункера БВ-6, БВ-12,5 отличаются от бункера БВ-25 меньшими размерами и производительностью.

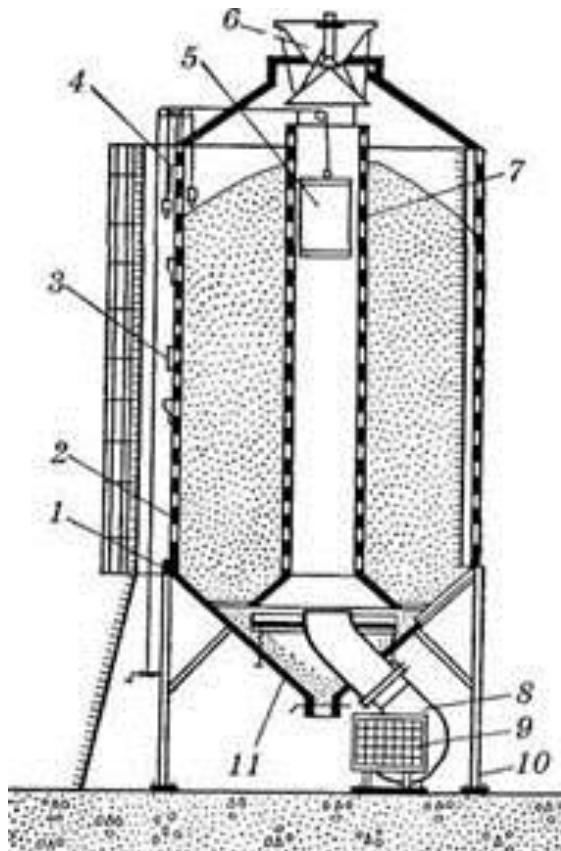


Рисунок 3.1 – Вентилируемый бункер БВ-25

1 — кольцевая рама; 2 — корпус; 3 — регулятор влажности; 4 — датчик уровня зерна; 5 — клапан; 6 — распределитель зерна; 7 — труба воздухораспределительная; 8 — вентилятор с электродвигателем; 9 — электрокалорифер; 10 — опоры корпуса; 11 —регулировочное кольцо

Таблица 3.1 – Техническая характеристика вентилятора Ц4-70

Подача воздуха, 10^3 м ³ /ч	Работа при максимальном КПД		Частота вращения ротора, об/мин	Мощность электромотора, кВт
	подача воздуха, 10^3 м ³ /ч	развиваемое давление, Па		
3,5...9,5	7,0	500	930	2,8...1,7

Цилиндрическая сушилка-бункер СЗЦ-1,5 конструктивно отличается от бункера БВ-25 тем, что у неё воздухораспределитель выведен наружу и соединён непосредственно с вентилятором. У сушилки-бункера СЗЦ-1,5 плоское дно, и поэтому часть зерна после разгрузки выгружают самотёком. Предназначена она для сушки небольших партий зерна.

Вентилирование в бункерах нужно проводить при определённом сочетании температуры и влажности зерна и параметров воздуха. Для определения возможности активного вентилирования находят равновесную влажность, которая устанавливается в зерне при продувании атмосферным воздухом. Равновесную влажность определяют с помощью нанограмм. Если установленная равновесная влажность ниже фактической, то вентилирование целесообразно. С помощью психрометра измеряют температуру и влажность атмосферного воздуха. При отсутствии психрометра вентилирование проводят, если температура атмосферного воздуха ниже температуры зерна на 5°C и более. Зерно перед вентилированием желательно очистить, чтобы избежать запылённости помещений, в которых установлены бункера.

Бункер вентилируемый БВ-40А (рис.3.2) может быть использован в составе зерноочистительно-сушильных комплексов. Роль этих комплексов заключается в накоплении и временном хранении зерна (до трех суток) перед сушкой; автоматическом поддерживании верхнего уровня зерна в сушилке, что обеспечивает беспрерывную, поточную работу сушилки, поддерживает её паспортную производительность; обеспечении отлежки и отпотевания зернового материала в течение 3-4 часов (в процессе отлежки внутренняя влага перемещается из середины зерна на поверхность), с последующим охлаждением, это позволяет производить сушку зерна до влажности 16%, кондиционная влажность 14% достигается за счет отлежки и охлаждения зерна, что обеспечивает значительное снижение энергозатрат, необходимых на удаление внутренней влаги. Внутренняя влага – это трудноснимаемая влага, находящаяся в зерне в связанном состоянии.

Таблица 3.2 – Технические характеристики бункеров активного вентилирования

Показатель	К-878	БВ-12	БВ-25	БВ-40	СЗЦ-1,5
Вместимость, т	25	12,5	25	40	1,3
Ёмкость, м ³	39	14,7	37	54	1,5
Габаритные размеры, м:					
длина	4,85	2,9	4,1	7,9	1,5
ширина	3,0	2,8	3,1	3,1	1,5
высота	8,14	8,68	8,58	11,1	3,2
Диаметр бункера, м	3,0	1,85	3,08	3,10	1,4
Расход воздуха, м ³ /ч	16200	6000	12000	-	160
Установленная мощность, кВт:					
двигателя вентилятора	7,5	2,2	5,5	40	1,0
электрокалорифера	18,0	12	24	54	3,3

Такая технология сушки позволяет избегать снижения всхожести и энергии прорастания семян и уменьшить расход тепловой энергии. Подходят сушилки типа СЗБ-8 и СЗБ-16, так как сушильные установки этих сушилок имеют форму, аналогичную с БВ-40А, что позволяет компоновать их в одном комплексе с использованием одного здания легкого типа [20-27; 28-35].

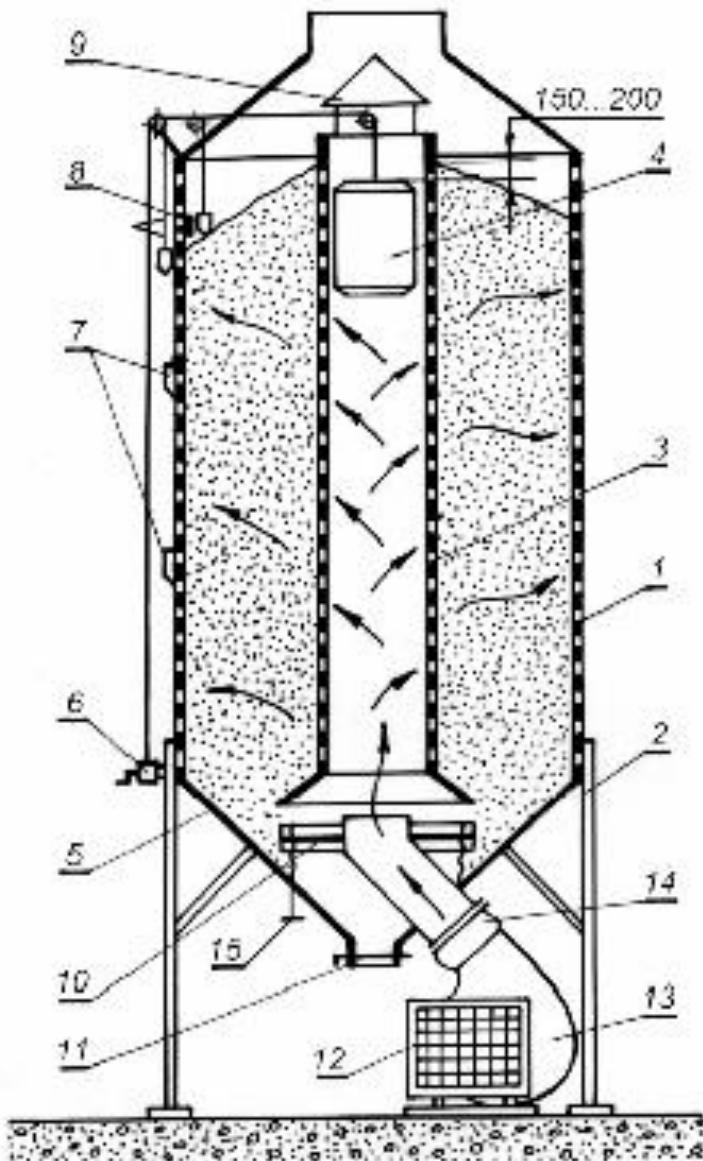


Рисунок 3.2 – Бункер БВ-40 для сушки зерна

1– перфорированный цилиндр; 2–стойка; 3–воздухораспределительная труба; 4–клапан; 5–днище; 6–лебёдка; 7–пробоотборник; 8–датчик уровня зерна; 9 – распределитель; 10 – регулировочное кольцо; 11– шибер; 12–электрокалорифер; 13– вентилятор; 14–рукав; 15–регулировочный винт.

При использовании вентилируемого бункера БВ-40 для сушки зерна нагнетаемый воздух нагревается с помощью электрокалорифера на 5 – 6 градусов. Использование конвекционной сушки целесообразно при необходимости ускорить сушильный процесс либо для активного съёма влаги

с зерна, имеющего повышенные показатели влажности. А также в случае, когда фактическая влажность зерновой массы не превышает равновесную, ведь вентилирование атмосферным воздухом в этом случае приведёт к обратному эффекту, то есть зерновка будет насыщаться влагой. Для повышения эффективности сушки вентилируемый бункер может быть дополнительно укомплектован двумя воздухоподогревателями или топочным агрегатом.

Перед загрузкой буфера зерном закрывают шибер, и с помощью лебёдки поднимают клапан в самое верхнее положение. Зерно, движущееся с помощью нории, попадает в распределитель и заполняет пространство цилиндрической ёмкости. После окончательной загрузки клапан опускают ниже уровня зерновой массы на 15 – 20 сантиметров, чтобы исключить утечку воздуха мимо зерновой насыпи. По мере подсушивания и охлаждения размер зерновки уменьшается, в связи с этим необходимо раз в 3 – 4 часа производить корректировку положения клапана. С помощью вентилятора происходит нагнетание воздуха, который через отверстия в воздухораспределительной трубе попадает в зерновую массу и удаляет из неё излишки влаги. Движение воздушного потока происходит от центра к периферии с последующим его выбросом в атмосферу через перфорацию цилиндра. Периодически необходимо определять температуру и влажность зерна, для этого используют пробоотборник. Влажное согретое зерно необходимо периодически пересыпать снизу вверх в одном бункере либо же высыпать в другой бункер.

Зерно из буфера выгружается самотёком через шибер. Для его равномерной выгрузки используется регулировочное кольцо с переменным значением кольцевого прохода. Для перемещения зерна между разгрузочным устройством и приёмным модулем нории используется шнековый механизм с регулировкой уровня наклона и с поворотным лотком на конце, который необходим для распределения потока зерна между разгрузочной и загрузочной норией.

3.4 Теоретическое исследование аэродинамики воздухораспределительных систем установок с плотным слоем материала

Для определения оптимальных значений основных конструктивных и режимных параметров процессов сушки, вентилирования, временного хранения, подогрева, подсушки или досушки (имеющих место в основном (высокотемпературная сушка) или вспомогательных (низкотемпературная сушка) технологических процессов зерноочистительно-сушильного комплекса, необходимо знать общие закономерности сушки зерна, включая аэродинамику воздухораспределительных систем и динамику тепловлагопереноса сушильных камер и бункеров.

Ввиду того, что интенсивность тепло- и влагообмена зависит от гидродинамического движения сушильного агента в плотном зерновом слое, важное значение приобретает разработка метода расчёта аэродинамики установок.

Исследование основных закономерностей воздухораспределения позволило определить поле скорости воздуха в слое семян, общее аэродинамическое сопротивление установок, а также равномерность обработки зернового материала. Расчёт указанных параметров и показателей позволил провести подбор вентилятора, выявить рациональную конструкцию и повысить эффективность эксплуатации машин и вспомогательного технологического оборудования зерноочистительного сушильного комплекса. Однако для обеспечения достаточной адекватности теории (и, в частности, формулы, выражающей общее аэродинамическое сопротивление установки), а также для анализа равномерности обработки (сушки, нагрева, вентилирования, охлаждения) приходится использовать значительное число опытных данных в точках установки, характеризующихся сложным пространственным движением сушильного агента в зерновом слое; ставить сложные аналитические задачи; использовать сложные расчёты.

Основная трудность при аналитическом решении данного класса задач связана с необходимостью задания разрывных краевых условий на одной из границ контура области определения искомой функции. В самом деле, на одной части границы задаётся значение данной функции (граничные условия I рода), а на другой – её производная (граничные условия (далее по тексту ГУ) II рода). При этом возникает необходимость задания условий согласования между этими ГУ на границе между двумя участками области. Эта граница соответствует воздухопроводящему каналу установки.

Часть границы контура, на которой задаётся значение искомой функции (давление, скорость...), – ГУ I рода, соответствует скрытой части канала. Другая часть границы (на которой задаётся значение производной искомой функции в виде ГУ II рода) соответствует области воздухораспределителя, перекрываемой запорным поршнем (в газораспределителях I типа, используемых в различных установках с радиальным и поперечным вентилированием). Газораспределители II типа, используются в различных системах воздухораспределения сушилок, вентиляционных установках, выполненных без перфорации. ГУ I типа задаётся на участке границы контура, соответствующей открытой части канала h , ГУ II типа – части канала $H - h$. Краевые задачи с такими смешанными граничными условиями представляют значительную сложность, потому что непосредственное применение метода разделения переменных не позволяет получить их решение, так как невозможно, чтобы одна непрерывная функция удовлетворяла двум различным граничным условиям при фиксированном значении координаты.

Были получены аналитические решения, позволяющие в любой точке бункерной установки определить необходимые величины скорости и давления воздушного потока.

Бункерные установки можно разделить по назначению:

- на бункера для временного хранения и аэрирования влажного зерна перед сушкой (компенсирующие неравномерность поступления зерна);

- бункера для досушки и охлаждения (компенсирующие нарушение поточности обработки и реализующие низкотемпературный процесс сушки);
- бункера для высокотемпературного процесса сушки.

Бункера активного вентилирования, можно проклассифицировать по схемам воздухораспределения:

- радиальная схема воздухораспределения с двумя перфорированными цилиндрами (рис.3.3);
- радиальная схема воздухораспределения со сплошным наружным цилиндром (рис.3.4);
- поперечная схема воздухораспределения (рис.3.5).

Отметим, что несмотря на то, что каждый из этих классов может быть подразделён на подклассы, принципиальный подход к постановке и решению задач аэродинамики и тепловлагопереноса для соответствующих подсхем остается без существенных изменений [36-52].

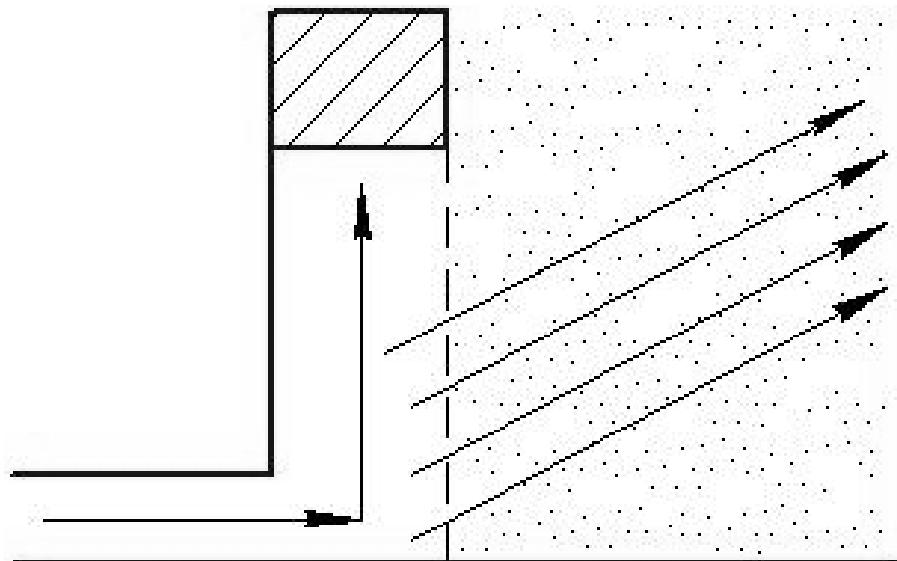


Рисунок 3.3 – Поперечная односторонняя (несимметричная) схема воздухораспределения

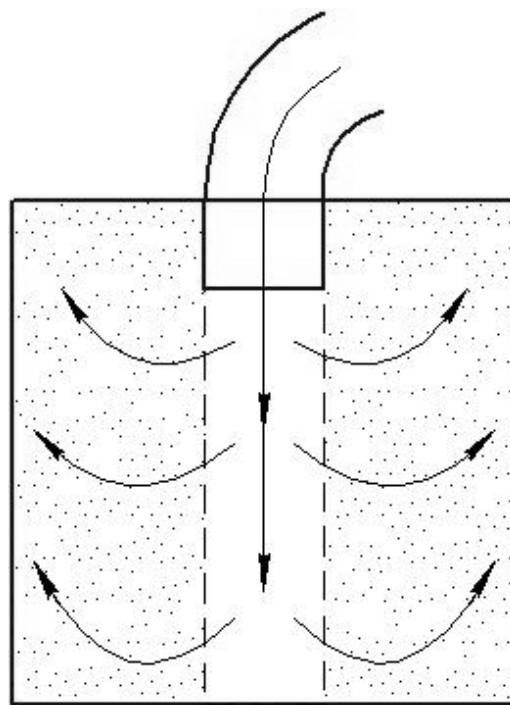


Рисунок 3.4 – Радиальная схема воздухораспределения со сплошным наружным цилиндром

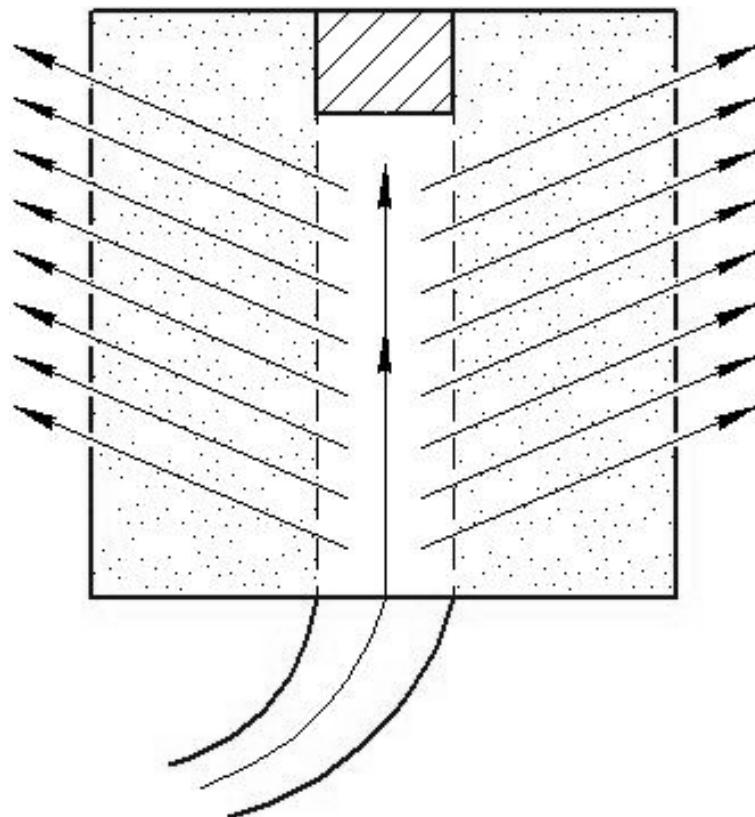


Рисунок 3.5 – Радиальная схема воздухораспределения с двумя перфорированными цилиндрами

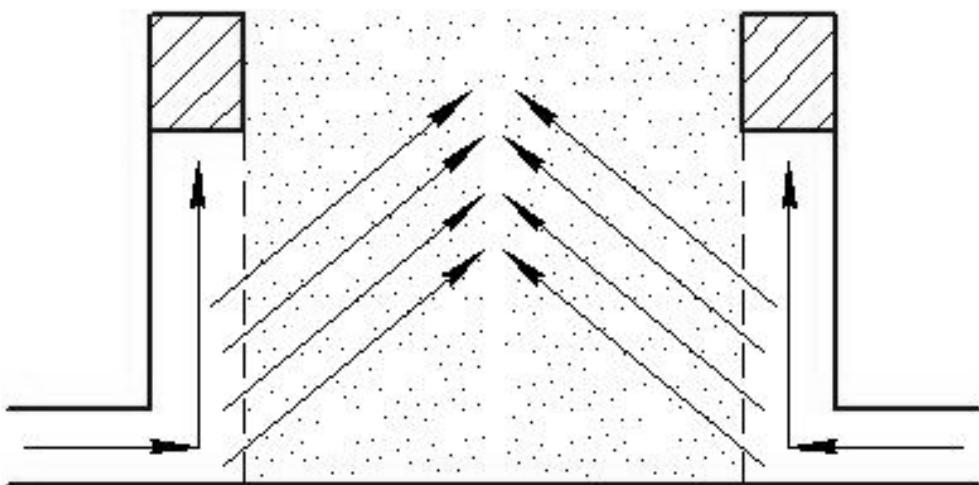


Рисунок 3.6 – Поперечная двухсторонняя (симметричная) схема воздухораспределения

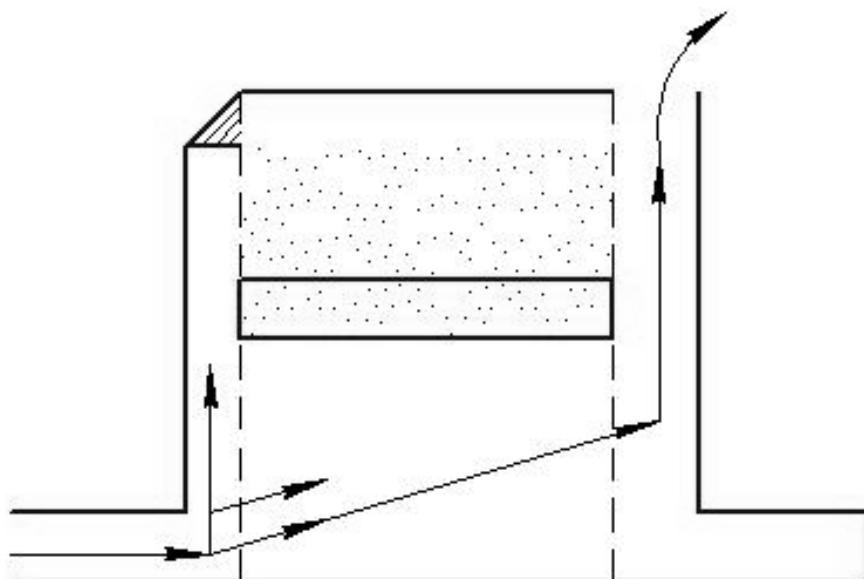


Рисунок 3.7 – Поперечно-продольная схема воздухораспределения

3.5 Аэродинамические модели бункерных установок

Поставим задачу разработки аэродинамической модели для воздухораспределителей I класса, реализующих схему 1 (рис.3.1).

Математическая формулировка задачи для данной схемы воздухораспределения следующая:

Найти в прямоугольнике $r \in (r_0; R)$, $z \in (0; H)$ решение уравнения

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (3.1)$$

при граничных условиях:

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial z} \right|_{z=0} = 0; \quad \Phi \Big|_{r=R} = 0; \quad \Phi \Big|_{z=H} = 0; \quad \left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_{r=r_0, h < z < H} = 0; \\ \Phi \Big|_{r=r_0, 0 < z < h} = \Phi_0. \quad (3.2)$$

При выводе уравнения были приняты следующие допущения и предложения:

- зерновая масса – изотропная среда;
- плотность воздуха в процессе вентилирования постоянная;
- плотность укладки зёрен одинаковая во всех частях бункера;
- между скоростью воздуха и градиентом статического давления справедлива линейная зависимость вида

$$v_r = -K_3 \frac{\partial P}{\partial r}; \quad v_z = -K_3 \frac{\partial P}{\partial z}, \quad (3.3)$$

где v_r и v_z – скорости воздушного потока в радиальном и вертикальных направлениях.

Решение уравнения найдём в виде

$$\Phi(r, z) = R(r) \cdot Z(z). \quad (3.4)$$

Подставив новые неизвестные функции в исходное уравнение, получим:

$$-\frac{1}{z} \frac{\partial^2 Z}{\partial z^2} = \frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial R}{\partial r} \right). \quad (3.5)$$

$$\text{Имеем } -\frac{1}{z} \frac{\partial^2 Z}{\partial z^2} = \pm \delta^2,$$

$$\frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 R}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial R}{\partial r} \right) = \pm \delta^2. \quad (3.6)$$

Рассмотрим совокупность возможных решений полученных двух дифференциальных уравнений в зависимости от величины параметра δ^2 и

знака перед ним. Если знак минус, то линейно-независимыми решениями уравнений будут функции

$$Z = C_1 \exp(-\delta z) + C_2 \exp(\delta z), \quad (3.7)$$

$$R = B_1 J_0(\delta r) + B_2 Y_0(\delta r). \quad (3.8)$$

где J_0, Y_0 – функции Бесселя I и II рода нулевого порядка от вещественного аргумента;

C_1, C_2, B_1, B_2 – постоянные.

Если знак плюс, то линейно-независимыми решениями уравнений являются функции

$$Z = C'_1 \sin(\delta z) + C'_2 \cos(\delta z) \quad (3.9)$$

$$(3.10)$$

$$R = B'_1 I_0(\delta r) + B'_2 K_0(\delta r)$$

где I_0 и K_0 – функции Бесселя I и II рода нулевого порядка от мнимого аргумента.

Если $\delta = 0$, имеем

$$Z = C''_1 + C''_2 z \quad (3.11)$$

$$R = B''_1 \ln r + B''_2 \quad (3.12)$$

Проведём анализ полученных возможных решений. Рассмотрим ГУ

$$Z \Big|_{z=h} = 0, \quad \frac{\partial Z}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0 \quad \text{для решения (3.7). Их соблюдение требует}$$

выполнения следующей системы однородных уравнений

$$\begin{cases} C_2 - C_1 = 0, \\ C_1 \exp(-\delta H) + C_2 \exp(\delta H) = 0. \end{cases} \quad (3.13)$$

Её определитель должен равняться

$$\begin{vmatrix} 1 & -1 \\ \exp(-\delta H) & \exp(\delta H) \end{vmatrix} = \exp(\delta H) + \exp(-\delta H) \neq 0$$

для существования решений, отличных от тривиального $C_1 = C_2 = 0$. В силу наличия противного случая, данное решение отпадает.

Проанализируем решение (3.9-3.10) с учётом ГУ, определим его постоянные. При $z = H$ величина потенциала скорости Φ равна нулю и при $R \neq 0$. Это означает, что

$$C'_1 \sin(\delta H) + C'_2 \cos(\delta H) = 0. \quad (3.14)$$

Краевое условие для днища бункера

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = 0 \quad (3.15)$$

позволяет получить второе уравнение для определения собственных значений и функций краевой задачи:

$$C'_1 \cos(\delta 0) - C'_2 \sin(\delta 0) = 0. \quad (3.16)$$

Их совместное решение даёт:

$$C'_1 = 0, \quad C'_2 = \cos(\delta H) = 0.$$

В силу того, что мы ищем нетривиальное (ненулевое) решение, второе равенство означает, что

$$\delta H = \pi \left(s + \frac{1}{2} \right). \quad (3.17)$$

В результате получаем выражение для собственных значений краевой задачи

$\delta_s = \frac{\pi}{H} \left(s + \frac{1}{2} \right)$ и выражение для собственных функций задачи

$$z = C'_2 \cos \frac{\pi}{H} \left(s + \frac{1}{2} \right) z. \quad (3.18)$$

Ввиду того, что при любом целом s величина $\delta_s = 0$, решение (3.11-3.12) тоже отпадает.

Так как при $r = R$ потенциал скорости $\Phi = 0$, то, подчиняя решение

$R = B'_1 I_0(\delta_s r) + B'_2 K_0(\delta_s r)$ условию $R|_{r=R} = 0$, получаем значение B'_1 :

$$B'_1 = -B'_2 \frac{K_0(\delta_s R)}{I_0(\delta_s R)}. \quad (3.19)$$

Таким образом, решение (3.7) уравнения задачи запишется в следующем виде:

$$R = \sum_{s=0}^{\infty} B'_2 \left[K_0(\delta_s r) - \frac{K_0(\delta_s R)}{I_0(\delta_s R)} \cdot I_0(\delta_s r) \right]. \quad (3.20)$$

Общее решение задачи представится в виде:

$$\Phi(r, z) = \sum_{s=0}^{\infty} B_s \left[K_0(\delta_s r) - \frac{K_0(\delta_s R)}{I_0(\delta_s R)} \cdot I_0(\delta_s r) \right] \cos \frac{\pi}{H} \left(s + \frac{1}{2} \right) z, \quad (3.21)$$

где $B_s = B'_2 \cdot C'_2$.

Введём относительные линейные размеры и координаты точек бункера в вертикальном и радиальном направлениях с целью удобства дальнейших расчётов:

$$\frac{r_0}{H} = r_0^*, \quad \frac{r}{H} = r^*, \quad \frac{z}{H} = z^*, \quad \frac{h}{H} = h^*, \quad \frac{R}{H} = R^*, \quad \frac{\Phi}{\Phi_0} = \Phi^*, \quad \frac{B_s}{\Phi_0} = B_s^*.$$

Принятые относительные величины могут рассматриваться как безразмерные критерии подобия. Например, отношение $\frac{h}{H}$, равное h' , характеризует степень заполненности бункера зерновым материалом и определяется положением запорного поршня, перекрывающего часть воздухоподводящего канала высотой $(H - h)$.

Все введённые нами критерии принимают значения в интервале от 0 до 1, причём крайние величины (0 и 1) представляют собой граничные условия (для \bar{r} и \bar{z}) или предельные условия (для \bar{h}). Наиболее часто встречающиеся на практике значения для \bar{h} лежат в пределах 0,7÷0,9, поэтому при расчётах будем брать три уровня этого параметра: $\bar{h} = 0,75$; $\bar{h} = 0,80$; $\bar{h} = 0,85$.

Перепишем основную формулу, полученную нами для потенциала скорости, с учётом введённых относительных величин, в следующем виде:

$$\bar{\Phi}(\bar{r}, \bar{z}) = \sum_{s=0}^{\infty} \bar{B}_s \left[K_0(\delta_s r) - \frac{K_0(\delta_s R)}{I_0(\delta_s R)} I_0(\delta_s r) \cos \pi \bar{z} \left(s + \frac{1}{2} \right) \right]. \quad (3.22)$$

Данное решение удовлетворяет граничным условиям на днище бункера, поверхности зернового слоя и на границе $r = R$ наружного перфорированного цилиндра. Для полной его конкретизации (определения \bar{B}_s) остаётся подставить граничное условие на внутренней поверхности данного цилиндра

$r = r_0$ в уравнение (3.22). Это условие при переходе от функции $\Phi(r, z)$ к функции $\bar{\Phi}(\bar{r}, \bar{z})$ приобретает следующий вид:

$$\left. \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial r} \right|_{r=r_0, h < z < H} = 0 \quad \bar{\Phi}|_{r=r_0, 0 < z < h} = 1. \quad (3.23)$$

С учётом этих граничных условий введём вспомогательную функцию

$$\bar{F}(r, z) = a \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial r} + b \bar{\Phi} \quad (3.24)$$

где значения переменных коэффициентов a и b являются функциями контура области определения функции $\Phi(r, z)$. Для выполнения ГУ $r = r_0$ они должны равняться следующим значениям:

$$a = \begin{cases} 1, & z \in (h, H) \\ 0, & \text{при } z \in (0, h) \end{cases} \quad b = \begin{cases} 0, & z \in (h, H) \\ 1, & z \in (0, h) \end{cases}$$

Учитывая, что на участке $z \in (h, H)$, в силу (3.24), функции F и Φ связаны соотношением

$$F(r_0, z) = \left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_{r=r_0},$$

(другими словами функция F имеет смысл скорости воздушного потока при его входе в зерновой слой), продифференцируем (3.22) по r , и приняв $r = r_0$, получим выражение для радиальной составляющей скорости воздуха у центрального цилиндра бункера

$$\nu|_{r=r_0} = \left. \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial \bar{r}} \right|_{\bar{r}=r_0} = - \sum_{s=0}^{\infty} \delta_s \bar{B}_s \left[K_1(\delta_s r_0) + \frac{K_0(\delta_s R)}{I_0(\delta_s R)} \cdot I_1(\delta_s r_0) \right] \cdot \cos \pi \bar{z} \left(s + \frac{1}{2} \right). \quad (3.25)$$

Таким образом, предлагаемый метод расчёта аэродинамических характеристик – полей давления и скорости воздушного потока, а также гидравлического сопротивления зернового слоя для бункерных установок первого вида доведён до полного аналитического решения.

Следующей, более простой задачей являлась задача численной реализации аналитического решения разработанной модели с последующей её аппроксимацией в классе более простых функций с целью придания модели большей степени операционности для удобства имитационного

моделирования системы аэродинамических и тепло-и влагообменных характеристик бункерных установок с разными типами воздухораспределителей, реализующих различные совокупности граничных условий в соответствующих краевых задачах.

Результаты численного решения первой задачи, соответствующей характеру воздухораспределения в бункерах активного вентилирования вида БВ-25 для трёх значений уровня заполнения его зерновым материалом, и соответственно, относительного положения (степени открытия) затвора центрального (внутреннего) цилиндра, приведены в таблицах 3.1-3.3

Таблица 3.1 – Поле относительных давлений воздушного потока

$$\bar{P} = \frac{1}{K_{3np}} \bar{\Phi}(\bar{r}, \bar{z}) \text{ при значении критерия подобия } \bar{h} = 0,75$$

\bar{r}	Относительные значения радиальной координаты								
\bar{z}	0,075	0,098	0,121	0,144	0,190	0,236	0,259	0,282	0,305
0	1	0,829	0,664	0,536	0,337	0,183	0,116	0,056	0
0,1	1	0,827	0,663	0,536	0,337	0,183	0,116	0,056	0
0,2	1	0,823	0,662	0,535	0,337	0,183	0,116	0,056	0
0,4	0,963	0,800	0,655	0,532	0,337	0,182	0,116	0,056	0
0,6	0,990	0,757	0,623	0,500	0,306	0,162	0,102	0,049	0
0,8	0,216	0,198	0,182	0,162	0,113	0,065	0,042	0,02	0
0,9	0,074	0,068	0,063	0,057	0,042	0,025	0,016	0,008	0
1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Анализ таблиц 3.1-3.3 свидетельствует о большой неравномерности воздухораспределения в бункерных установках. Полученное решение (3.25) даёт возможность найти в любой точке установки давление и скорость

воздушного потока, а также определить общее аэродинамическое сопротивление бункерной установки.

Таблица 3.2 – Поле относительных давлений воздушного потока

$$\bar{P} = \frac{1}{K_{3np}} \bar{\Phi}(\bar{r}, \bar{z}) \text{ при значении критерия подобия } \bar{h} = 0,80$$

\bar{r}	Относительные значения радиальной координаты								
\bar{z}	0,075	0,098	0,121	0,144	0,190	0,236	0,259	0,282	0,305
0	1	0,792	0,655	0,534	0,337	0,183	0,116	0,056	0
0,1	0,993	0,794	0,655	0,534	0,337	0,183	0,116	0,056	0
0,2	0,994	0,789	0,656	0,534	0,337	0,183	0,116	0,056	0
0,4	1,003	0,815	0,660	0,534	0,336	0,182	0,110	0,056	0
0,6	1,011	0,829	0,653	0,521	0,321	0,172	0,109	0,005	0
0,8	0,335	0,345	0,808	0,261	0,169	0,092	0,059	0,028	0
0,9	0,104	0,108	0,102	0,092	0,066	0,038	0,025	0,012	0
1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3.3 – Поле относительных давлений воздушного потока

$$\bar{P} = \frac{1}{K_{3np}} \bar{\Phi}(\bar{r}, \bar{z}) \text{ при значении критерия подобия } \bar{h} = 0,85$$

\bar{r}	Относительные значения радиальной координаты								
\bar{z}	0,075	0,098	0,121	0,144	0,190	0,236	0,259	0,282	0,305
0	1,007	0,826	0,663	0,536	0,337	0,183	0,116	0,056	0
0,1	1,006	0,824	0,662	0,536	0,337	0,183	0,116	0,056	0
0,2	1,005	0,820	0,662	0,535	0,337	0,183	0,116	0,056	0
0,4	0,975	0,805	0,658	0,534	0,336	0,182	0,116	0,056	0
0,6	0,991	0,782	0,647	0,526	0,829	0,177	0,112	0,054	0
0,8	0,996	0,656	0,496	0,383	0,229	0,120	0,076	0,036	0

0,9	0,199	0,184	0,167	0,147	0,101	0,056	0,036	0,017	0
1,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Для вывода зависимости аэродинамического сопротивления от размеров конструктивных элементов установки и расхода воздуха запишем выражение для элементарного расхода воздуха dQ на участке центрального воздухораспределительного цилиндра dz :

$$dQ = 2\pi r_0 v_r \Big|_{r=r_0} dz,$$

$$\text{где } v_r \Big|_{r=0} = \frac{\partial \Phi}{\partial r} \Big|_{r=r_0} = -K_{3np} P \frac{\partial \bar{\Phi}}{\partial \bar{r}} \Big|_{\bar{r}=\bar{r}_0} dz.$$

Общий расход воздуха Q равен сумме элементарных расходов на участке от 0 до h :

$$Q = \int_0^h dQ.$$

$$\text{Поэтому имеем, в силу основного выражения (3.25), } P_0 = \frac{Q}{(2\pi r_0 K_{3np} \lambda)},$$

где λ определяется из формулы

$$\lambda = \sum_{s=0}^{\infty} \bar{\delta}_s \bar{B}_s \left[K_1(\delta_s r_0) + \frac{K_0(\delta_s R)}{I_0(\delta_s R)} I_1(\delta_s r_0) \right] \frac{\sin \pi \bar{h} \left(s + \frac{1}{2} \right)}{\pi \left(s + \frac{1}{2} \right)}, \quad (3.26)$$

\bar{B}_s определяется с использованием вышеприведённой методики с введением функции F .

Величина абсолютной скорости воздушного потока может быть определена с помощью зависимостей:

$$v = \sqrt{v_r^2 + v_z^2}, \quad v_r = -K_3 \frac{\partial P}{\partial r}, \quad v_z = -K_3 \frac{\partial P}{\partial z},$$

$$v_r = \sum_{s=0}^{\infty} \bar{\delta}_s \bar{B}_s \left[K_1(\delta_s r) + \frac{K_0(\delta_s R)}{I_0(\delta_s R)} I_1(\delta_s r) \right] \cos \pi \bar{z} \left(s + \frac{1}{2} \right), \quad (3.27)$$

$$v_z = \sum_{s=0}^{\infty} \bar{B}_s \left[K_0(\delta_s r) - \frac{K_0(\delta_s R)}{I_0(\delta_s R)} I_0(\delta_s r) \right] \pi \left(s + \frac{1}{2} \right) \sin \pi \bar{z} \left(s + \frac{1}{2} \right). \quad (3.28)$$

Таким образом, введение функции F , которая в зависимости от значения аргумента z , равна либо $\partial\Phi/\partial r$ (при $z \in (0, h)$), либо $\Phi(r, z)$, (при $z \in (h, H)$), позволило решить поставленную краевую задачу с разрывными условиями на одной из границ с использованием метода разделения переменных. Полученное решение оказалось достаточно хорошо сходящимся; оно даёт возможность найти в любой точке бункерной установки давление и скорость воздушного потока, а также определить общее аэродинамическое сопротивление установки.

3.5 Радиальная схема воздухораспределения со сплошным наружным цилиндром

Если схема 1 (рис.3.1) применяется в бункерах для временного хранения и активного вентилирования влажного зерна, то данная схема воздухораспределения широко применяется в вентилируемых хранилищах при аэрации высушенного зерна с удельным расходом воздуха $q=70\dots100 \text{ м}^3/\text{т.ч.}$ Установки данного типа характеризуются повышенным гидравлическим сопротивлением и возможностью образования необдуваемых зон, особенно в нижних частях (в связи с тем, что наружный цилиндр сплошной).

Математическая постановка задачи аэродинамики для этой схемы воздухораспределения отличается от задачи 1 только частью граничных условий, а именно условием $\left.\frac{\partial\Phi}{\partial r}\right|_{r=R} = 0$, выражающим отсутствие тока воздуха в радиальном направлении у стенки наружного цилиндра.

Таким образом, формулировка задачи 2 следующая (с учётом осевой симметрии воздушного потока и принятых выше допущений и обозначений).

Найти в прямоугольнике $\{r \in (r_0, R); z \in (0, H)\}$ решение уравнения

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (3.29)$$

при граничных условиях:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} \Big|_{z=0} = 0, \quad \Phi \Big|_{z=H} = 0, \quad \left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_{r=R} = 0, \quad \left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_{r=r_0, h < z < H} = 0, \quad \Phi \Big|_{r=r_0, 0 < z < h} = \Phi_0$$

Собственно, значения δ_s и собственные функции Z этой краевой задачи не изменяются по сравнению с задачей о разработке аэродинамической модели для воздухораспределителей I класса, изменение претерпевает в данной задаче функция R , которая задаётся уравнением

$$R = B''_1 I_0(\delta_s r) + B''_2 K_0(\delta_s r). \quad (3.30)$$

Постоянные B''_2 , B''_1 определяются из ГУ $r = r_0$ и $r = R$.

3.6 Моделирование тепло- и влагообмена в бункерных установках

Для установления количественных зависимостей температуры нагрева и влажности зерна от режимных параметров бункерной установки необходимо построение математической модели.

Построение модели проводили на основе схемы, разработанной на кафедре с.-х. машин д.т.н. Н.В. Цугленком и к.т.н. С.К. Манасяном. В основе данного подхода лежит метод энергетического и массового баланса, на основе которого были составлены балансовые уравнения теплоты и влаги:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + v_z \frac{\partial \omega}{\partial z} = - \frac{\sum \rho_T dT}{10\rho dz}; \quad (3.31)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial t} + v_z \frac{\partial \Theta}{\partial r} = - \frac{r}{100c} J(\omega, \Theta) + K_\alpha^c (1 + K_\alpha^\nu) J(\omega, \Theta) (T - \Theta), \quad (3.32)$$

где v_z – скорость движения зерна принята const (она может быть как нулевой, так и ненулевой).

$$v(v_r, v_z) = \sqrt{v_r^2(r, z)} + v_z^2(r, z); \quad (3.33)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v \frac{\partial T}{\partial z} = - \frac{(1-\varepsilon)m\rho}{R\varphi_T c_T} K_\alpha^c (1 + K_\alpha^\nu) (T - \Theta); \quad (3.34)$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} + v \frac{\partial D}{\partial z} = \frac{10\rho}{\varepsilon \rho_T} J(\omega, \Theta), \quad (3.34)$$

где v – скорость воздушного потока, распределение которого в бункерной установке описывается формулой (3.32). Здесь приняты следующие обозначения переменных и параметров:

ω, Θ – влажность (%) и температура зерна ($^{\circ}\text{C}$);

T, D – температура и влагосодержание сушильного агента (%);

ρ, ρ_T – плотность зерна и сушильного агента ($\text{кг}/\text{м}^3$);

r – удельная теплота парообразования ($\text{кДж}/\text{кг}$);

ε – порозность зернового слоя (%);

R – приведённый радиус зерна (м);

m – коэффициент формы зерновки;

$K_{\alpha}^c, K_{\alpha}^v$ – модельные коэффициенты, входящие в функцию J .

Функция $J\left(\frac{\%}{\varepsilon}\right)$, предложенная С.К. Манасяном – плотность потока влагопереноса, определяется следующим выражением

$$J = \frac{100}{K_{\beta} \rho} j, \quad (3.35)$$

где j – удельная плотность влагопереноса, которая для процесса взаимосвязанного тепловлагопереноса в бункерных установках принимает вид [53; 54; 55, 56]

$$j(\omega, \Theta) = -K_{\beta} W(x) \Theta(x). \quad (3.36)$$

С учётом (3.35) и (3.36) система дифференциальных уравнений (3.31)-(3.34) принимает вид:

$$\frac{d\omega}{dt} = -K_{\beta} \omega \Theta + K_{\alpha}^c (K_{\beta} \omega \Theta + 1) (T - \Theta), \quad (3.37)$$

$$\frac{d\Theta}{dt} = K_{\alpha}^c (1 + K_{\alpha}^v K_{\beta} \omega \Theta) (T - \Theta) - \frac{r}{100c} K_{\beta} \omega \Theta, \quad (3.38)$$

$$\frac{dT}{dt} = -a K_{\alpha}^c (1 + K_{\alpha}^v) (T - \Theta), \quad (3.39)$$

$$\frac{d\vartheta}{dt} = b K_\beta \omega \Theta, \quad (3.40)$$

$$\text{где } a = \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} \frac{m}{R} \frac{\rho}{\rho_T} \frac{1}{c_T}, \quad b = \frac{10\rho}{\rho_T} \frac{1}{\varepsilon}.$$

Данную систему необходимо дополнить условиями однозначности в виде соответствующих граничных условий. Для бункерных установок с радиальной схемой воздухораспределения это будут граничные условия 1 рода:

$$\omega(0) = \omega_0. \quad (3.42)$$

$$\Theta(0) = \Theta_0. \quad (3.43)$$

$$T(0) = T_0. \quad (3.44)$$

$$\vartheta(0) = \vartheta_0. \quad (3.45)$$

Решение задачи (3.37)-(3.41)-(3.42)-(3.45) проводили с использованием компьютерной программы, реализующей метод Рунге-Кутта 4^{го} порядка.

В результате проведения численного моделирования при различных значениях параметров и граничных данных нами было установлено:

- температурные кривые имеют значительную неравномерность, как в горизонтальном (по толщине зернового слоя, т.е. в направлении продувки сушильным агентом), так и в вертикальном сечениях (т.е. по высоте насыпи, в направлении продвижения зерна в бункерной установке);

- от центра к периферии бункера и от нижней части к верху бункера имеет место следующая тенденция: зерновой материал имеет большой градиент температуры; высокими значениями характеризуются также и градиенты влажности в указанных направлениях;

- кривые изменения влажности по различным горизонтальным сечениям изменяются не так значительно; в то же время для фиксированного горизонтального сечения они достаточно быстро уменьшаются и стабилизируются.

Результаты моделирования подтверждают следующие положения:

- зерно, находящееся в бункере вблизи подачи воздушного потока (сушильного агента), быстро нагревается (а при больших режимных параметрах, в первую очередь по Т, перегревается выше допустимой температуры) и сушится;
- зерно, находящееся в бункере вблизи выхода отработавшего сушильного агента, недогревается и недосушивается.

3.7 Повышение эффективности бункеров активного вентилирования путем конструктивных решений

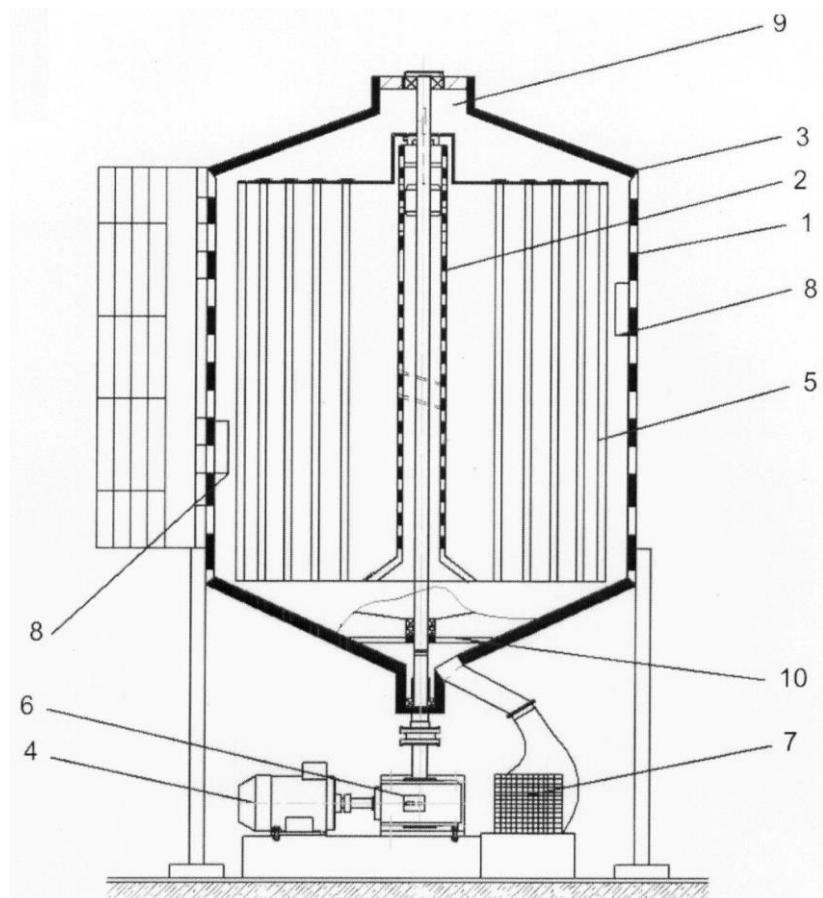


Рисунок 3.8 – Модернизированный бункер активного вентилирования

1- перфорированный цилиндр; 2- воздухораспределительная труба; 3- полый барабан; 4- электродвигатель; 5- металлический стержень; 6- редуктор; 7- теплогенератор; 8- датчик температуры и влажности; 9- приемный бункер; 10- выпускной аппарат

Предлагаемый бункер активного вентилирования (рис. 3.8) содержит перфорированный цилиндр 1, внутри которого установлена воздухораспределительная труба 2 и вращающийся полый барабан 3 с металлическими стержнями 5 круглого сечения, размещенными по периметру полого барабана 3 в четыре ряда. Привод полого барабана 3 осуществляется при помощи электродвигателя 4 и редуктора 6, т.е. полый барабан снабжен собственным механизмом привода. Контроль за температурой теплоносителя, создаваемой теплогенератором 7 внутри перфорированного цилиндра 1, осуществляется при помощи датчиков температуры и влажности 8. Сырое зерно поступает в приемный бункер 9, а выпуск сухого зерна происходит посредством выпускного аппарата 10.

Принцип работы бункера активного вентилирования заключается в следующем. Сырое зерно поступает в приемный бункер 9, далее заполняет полностью перфорированный цилиндр 1. Теплогенератор 7 подает теплоноситель в воздухораспределительную трубу 2. Полый барабан 3 начинает вращаться, тем самым перемешивая зерновую массу, находящуюся внутри перфорированного цилиндра 1. Под действием полого барабана 2 зерно перемещается от центра (в центре располагается воздухораспределительная труба 2, откуда поступает теплоноситель) перфорированного цилиндра 1 к его краям. Это необходимо для того, чтобы обеспечить наибольшую равномерность процесса сушки и активного вентилирования зерновой массы. Эффект перемешивания зерновой массы способствует наиболее быстрому выводу влаги из зерна.

Предлагаемая конструкция является наиболее эффективной, так как позволяет охватывать весь периметр перфорированного цилиндра 1 и повысить интенсивность и равномерность процесса сушки и активного вентилирования.

Предлагаемая конструкция бункера активного вентилирования может быть легко изготовлена и применена в области сельского хозяйства (патент 2365839 бункер активного вентилирования) [57].

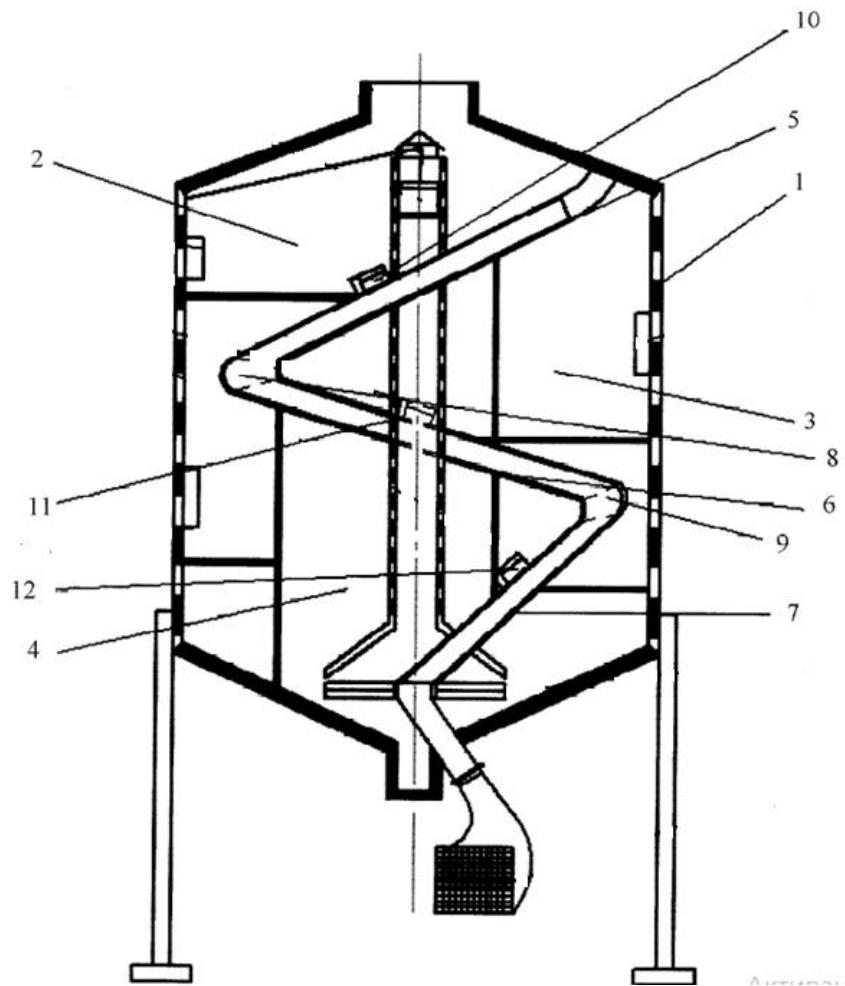


Рисунок 3.9 – Бункер активного вентилирования

1 – перфорированный цилиндр; 2,3,4 – зоны сушки; 5,6,7, – воздухораспределительные патрубки; 8,9 – гибкие соединительные патрубки; 10, 11, 12 – приводные устройства

Предлагаемый бункер активного вентилирования (рис.3.9) содержит перфорированный цилиндр 1, три воздухораспределительных патрубка 5, 6, 7, расположенных по высоте перфорированного цилиндра 1 в виде спирали и образующих три зоны сушки 2, 3, 4 зерна. Воздухораспределительные патрубки 5, 6, 7 соединены между собой посредством гибких соединительных патрубков 8 и 9.

Для управления подачей воздуха через перфорированные воздухораспределительные патрубки 5, 6, 7 они имеют один внешний

неподвижный перфорированный цилиндр и внутренний подвижный перфорированный цилиндр, имеющий два подшипниковых узла, расположенных по краям перфорированных воздухораспределительных патрубков 5, 6 и 7. Приводные устройства 10, 11 и 12, расположенные в центральной части перфорированных воздухораспределительных патрубков 5, 6 и 7 соответственно, имеют приводную шестерню электродвигателя, в зацеплении с которой находится шестерня, находящаяся на валу внутреннего подвижного перфорированного цилиндра. Приводные устройства снабжены защитными кожухами. Подвод тепла осуществляется электрокалорифером в воздухораспределительную трубу и в перфорированные воздухораспределительные патрубки 5, 6, 7. Сырое зерно поступает в приемный бункер, а выпуск сухого зерна происходит посредством выпускного аппарата. Контроль в зонах сушки 2, 3 и 4 осуществляется при помощи датчиков температуры и влажности соответственно.

Принцип работы бункера активного вентилирования заключается в следующем. Сырое зерно поступает в приемный бункер, далее заполняя полностью перфорированный цилиндр 1. Теплогенератор подает теплоноситель в воздухораспределительную трубу и перфорированные воздухораспределительные патрубки 5, 6, 7.

Для оперативного управления подачей теплоносителя по зонам сушки 2, 3 и 4 используются перфорированные воздухораспределительные патрубки 5, 6 и 7 соответственно. Через отверстия во внешнем неподвижном и внутреннем подвижном цилиндрах теплоноситель поступает в перфорированный цилиндр 1.

Если в процессе вентилирования (сушки) зерновой массы какая-то часть зерна имеет повышенную влажность в одной из зон сушки 2, 3, 4, то с помощью приводных механизмов 10, 11, 12 соответственно можно перекрыть подачу теплоносителя в соответствующей зоне. Этот процесс осуществляется за счет поворота внутреннего подвижного перфорированного цилиндра внутри внешнего неподвижного цилиндра (диаметр отверстий не превышает

диаметр зерновки, исключая ее попадание внутрь воздухораспределительных патрубков 5, 6, 7) с соответствующим совмещением отверстий, размеры которых не превышают радиус зерновки, исключая тем самым ее попадание внутрь перфорированных воздухораспределительных патрубков 5, 6, 7. Внутренний подвижный цилиндр имеет шестерню, находящуюся в зацеплении с приводной шестерней электродвигателя, которые перемещает по часовой стрелке - перекрытие подачи теплоносителя и против часовой стрелки - подача теплоносителя. Ограничивается степень поворота внутреннего подвижного перфорированного цилиндра относительно внешнего неподвижного цилиндра, продолжительность включения электродвигателя, которая составляет одну секунду для подачи теплоносителя и одну секунду для прекращения подачи теплоносителя.

Оперативные контроль по зонам сушки 2, 3 и 4 осуществляется при помощи датчиков температуры и влажности.

Предлагаемая система воздухораспределения является наиболее эффективной, так как позволяет охватывать весь периметр перфорированного цилиндра 1 и осуществлять дифференцированный подвод теплоносителя по зонам сушки 2, 3 и 4, что способствует интенсификации процесса вентилирования зерновой массы[58,59].

Заключение

1. Условия функционирования объектов послеуборочной обработки зерна в Красноярском крае характеризуются коротким периодом уборки и повышенными значениями влажности и засорённости зернового вороха (в среднем 26% и 22 % соответственно). Представленные характеристики являются основными причинами снижения производительности комплексов и повышения затрат на переработку.

2. Анализ состояния вопроса повышения эффективности предварительной обработки зерна (ПОЗ) выявил, что одним из перспективных направлений его совершенствования является совмещение функций подсушки и предварительной очистки поступающего зернового вороха на стадии приема за счет модернизации зерноприемников и дифференциации приемных отделений для комплексов в зависимости от их назначения и условий функционирования.

3. Разработанная математическая модель сушильно-вентиляционного процесса в установках бункерного типа позволяет осуществлять расчет параметров и их оценку, а также производить выбор наиболее подходящей системы воздухораспределения для заданных начальных условий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никитина, В.И. Изменчивость хозяйственно-ценных признаков яровой мягкой пшеницы и ячменя в условиях лесостепной зоны Сибири и ее значение для селекции [Текст] : автореф. дис. ... доктор биол. наук : 06.01.05 / В.И. Никитина – СПб., 2007. – 432 с. – Библиог.: с. 3.
2. Богославский, С.Н. Стадии технологически полной цепи «производство-реализация» зерна пшеницы [Текст] : науч. журнал КубГАУ. – 2008, № 37 (3).
3. ОАО«Лидсельмаш»//Интернет ресурс:www.lidselmash.by/?module=catalog&action=viewid&id=56.
4. Материалы Межрегиональной инспекции ФНС России по Сибирскому федеральному округу // Интернет-ресурс : http://www.sfo.nalog.ru/ab_sfo/krasn.htm
5. Алтухов, А.И. Развитие зернового хозяйства в России [Текст] / А.И. Алтухов – М.: ФГУП «ВО Минсельхоза России», 2006. – 848 с.
6. Министерство сельского хозяйства Красноярского края // Интернет-ресурс: <http://krasagro.ru/>
7. Авдеев, А.В., Кремнев, Ю.А. Механизация послеуборочной обработки семян и увеличение производства зерна [Текст] / А.В. Авдеев, Ю.А. Кремнев // Тракторы и сельскохозяйственные машины - 2000, № 5.
8. Цугленок, Н.В., Дьяченко, О.Г., Манасян С.К. и др. Подход к повышению эффективности комплексов послеуборочной обработки зерна / Н.В. Цугленок, О.Г. Дьяченко, С.К. Манасян, Ю.А. Книга // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2009. – Вып. 4. – С. 193–197.
9. Манасян, С.К., Книга, Ю.А. и др. К обоснованию исходных требований на проектирование предприятий послеуборочной обработки зерна / С.К. Манасян, Ю.А. Книга, Н.В. Демский [и др.] //

Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. – С. 263–266.

10. Цугленок, Н.В., Манасян, С.К., Книга, Ю.А. Методика обоснования и расчета средств технической оснащенности предприятий для послеуборочной обработки семян пшеницы / Н.В. Цугленок, С.К. Манасян, Ю.А. Книга // Инновации в науке и образовании: мат-лы Всерос. очно-заочной науч.-практ. и науч.-метод. конф., посвящ. 55-летию КрасГАУ. – Красноярск, 2007. – Ч. 2. – С. 159–161.

11. Манасян, С.К. Дублирующие модули комплексов ПОЗ [Текст] / С.К. Манасян, Н.В. Демский // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч. конф., Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. – Библиогр.: с. 351.

12. Тихонов, Н.И. Хранение зерна [Текст] : учеб. пособие / Н.И. Тихонов, А.М. Беляков ; ФГОУ ДПОС «ВИПККА», Каф. инновац. технологий. – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2006. - 108 с.

13. Пугачёв, А.Н. Повреждение зерна машинами [Текст] / А.Н. Пугачев. – М.: Колос, 1976. - 320 с., ил.

14. Вобликов, Е.М., Буханцов, В.А., Маратов, Б.К. Технология хранения зерна [Текст] : учебник для вузов / Е.М. Вобликов, В.А. Буханцов, Б.К. Маратов [и др.] ; под ред. Вобликова Е.М. – СПб.: Изд-во Лань, 2003. – 448 с., ил.

15. Манасян, С.К., А.В., Корепанов Книга, Ю.А. и др. Условия функционирования зерносушилок сельскохозяйственного назначения / С.К. Манасян, А.В. Корепанов, Ю.А. Книга [и др.] //Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – С. 228–229.

16. Авдеев, А.В., Авдеева, А.А., Начинов, Д.С., Эйдис, А.Л. Организация безотходной обработки и хранения зерна / А.В. Авдеев, А.А. Авдеева, Д.С. Начинов, А.Л. Эйдис. – М.: Рос. центр с.-х. консультирования, 2007.– 66 с.

17. Нормы технологического проектирования предприятий послеуборочной обработки и хранения продовольственного фуражного зерна и семян зерновых культур и трав [Текст]: НТП 16-93: утв. М-вом сельского хозяйства и продовольствия Рос. Федерации 16.03.09 : ввод. в действие с 03.09.09. – М.: ЭНАС, 1999. – 78 с.
18. «Эксперт-Агро» // Интернет-ресурс : <http://www.expert-agro.ru>
19. Книга Ю.А. Повышение эффективности приёма и предварительной подработки зерна с использованием приёмников активного типа [Текст]: автореф. дис. ... кандит. техн. наук : 05.20.01/ Ю.А. Книга – Красноярск, 2011.–150с.
20. Шубин, Г.С. Развитие некоторых аспектов теории тепломассопереноса А.В. Лыкова / Шубин Г.С. // Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов): сб. науч. тр. 1-й Междунар. науч.-практ. конф. – М.: МГАУ, 2002. – Т. 1. – Библиогр.: С. 52.
21. Смольский, Б.М. Внешний тепло- и массообмен в процессе конвективной сушки [Текст] / Б.М. Смольский. – М.: БПИ, 1957. – 205 с.
22. Советов, Б.Я. Моделирование систем. Практикум [Текст] : учеб. пособие для вузов / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.
23. Резчиков, В.А. Математическое описание процесса сушки предварительно нагревого зерна / В.А. Резчиков, Р.П. Дубиничева // Труды ВНИИЗ. – М.: ЦНИИТЭИ Министерства хлебопродуктов СССР, 1986. – Вып. 108. – Библиогр.: С.1-5.
24. Цугленок, Н.В. Методика лабораторных исследований по определению теплофизических характеристик зернового материала / Н.В. Цугленок, С.К. Манасян, А.В. Корепанов, Ю.А. Книга, О.В. Пиляева, Н.В. Демский //Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч. конф / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – Библиогр.: с. 226-227.

25. Демин, А.В. Методические рекомендации по математическому моделированию процесса охлаждения зерна в установках плотного слоя [Текст] / А.В. Демин, Ю.В. Есаков, И.Э. Мильман, Т.А. Ананьева. – М.: ВИЭСХ, 1977. – 43 с.
26. Теплотехнический справочник [Текст] / Под общей ред. В.И. Коренева и П.Д. Лебедева. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергия, 1976. – Т. 2.
27. Сергунов, В.С. Дистанционный контроль температуры зерна при хранении [Текст] / В.С. Сергунов. – М.: Агропромиздат, 1987. – 175 с.
28. Зверев, С.В. Физические свойства зерна и продуктов его переработки [Текст] / С.В. Зверев. – М.: Де Ли принт, 2007. – 175 с.
29. Казаков, Е.Д. Однозначная оценка качества зерна [Текст] / Е.Д. Казаков. – М.: Колос, 1983. – 352 с.
30. Кривоносов, А.И. Контроль качества зерна при хранении [Текст] : учеб. пособие / А.И. Кривоносов, В.Я. Кауфман. – М.: Агропромиздат, 1989. – 62 с.
31. Рудобашта, С.П. Массоперенос в системах с твердой фазой [Текст] / С.П. Рудобашта. – М.: Химия, 1982. – 248 с.
32. Манасян, С.К. Методика определения теплофизических характеристик зернового материала [Текст] / С.К. Манасян, Н.В. Демский, Ю.А. Книга // Машино-технологическое, энергетическое и сервисное обеспечение сельхозтоваропроизводителей Сибири : мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ А.И. Селиванова. – Новосибирск: СибИМЭ, 2008. – С. 61–65.
33. Манасян, С.К. Нелинейность: проблемы, модели, решения (на примере процесса сушки зерна) [Текст] / Манасян С.К. // Вестник КрасГАУ: приложение к Вестнику КрасГАУ: сб, статей – Красноярск, 2003. – Вып. 2. – Библиогр.: с. 54-59.

34. Остапчук, Н.В. Математическое моделирование технологических процессов хранения и переработки зерна [Текст] / Н.В. Остапчук . – М.: Колос, 1977. – 240 с.
35. Никитенко, М.И. Исследование процессов тепло- и массообмена методом сеток [Текст] / М.И. Никитенко. – Киев: Наукова думка, 1978. – 213 с.
36. Амкодор-можа // Интернет-ресурс : <http://www.amkodor.by/products/zsk-40.shtml>
37. «Эксперт-Агро» // Интернет-ресурс : <http://www.expert-agro.ru>
38. «Мастера» – Производственный кооператив // Интернет-ресурс : www.mastera-pk.ru.
39. Astarta Group // Интернет-ресурс : <http://astarta-group.com>.
40. Пунков, С.П. Хранение зерна элеваторно-складское хозяйство и зерносушение [Текст] / С.П. Пунков, А.И. Стародубцева ; 2-е изд., дополн. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1990. – 367с.
41. Малин, Н.И. Энергосберегающая сушка зерна [Текст] / Н.И. Малин– М.: Колос, 2004. – 240 с.
42. Кленин, Н.И. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины [Текст] / Н.И. Малин, В.Г. Егоров. – М.: КолосС, 2005. – 464 с.
43. Жидко, В.И. Зерносушение и зерносушилки [Текст] : / В.И. Жидко, В.А. Резчиков, В.С. Уkolov. – М.: Колос, 1982. – 339 с.
44. Журавлев, А.П. Технология и техника сушки зерна [Текст] / А.П. Журавлев. – Самара, 2000. –197 с.
45. Зимин, Е.М. Комплексы для очистки, сушки и хранения семян в нечерноземной зоне [Текст] / Е.М. Зимин. – М.: КолосС, 2001. – 157 с.
46. Кавецкий, Г.Д. Процессы и аппараты пищевой технологии [Текст] : учебник для вузов / Г.Д. Кавецкий, Б.В. Васильев ; изд. 2-е, перераб., доп.– М.: Колос, 2000. –551 с.
47. Карпов, Б.А. Технология послеуборочной обработки и хранения зерна [Текст] / Б.А. Карпов. – М., 1987.

48. Курдина, В.Н. Практикум по хранению и переработке с.-х. продуктов [Текст] / В.Н. Курдина. – М., 1992.
49. Лебедев, П.Д. Расчет и конструирование сушильных установок [Текст] : учеб. пособие / П.Д. Лебедев.– М.: Госэнергоиздат, 1963. – 320 с.
50. Лебедев, В.Б. Обработка и хранение семян [Текст] / В.Б. Лебедев. – М.: Колос, 1983. – 243 с.
51. Малин, Н.И. Технология хранения зерна [Текст] / Н.И. Малин. – М.: Колос, 2005. – 240 с.
52. Манасян, С.К., Пиляева, О.В. Комбинированная бункерная установка для сушки, очистки и сортирования зернового материала [Текст] / С.К. Манасян, О.В. Пиляева // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2008.- № 6. – С. 135-138.
53. Цугленок, Н.В. Подход к повышению эффективности комплексов послеуборочной обработки зерна [Текст] / Н.В. Цугленок, О.Г. Дьяченко, С.К. Манасян, Ю.А. Книга // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2009. – Вып. 4. – С. 193-197.
54. Книга Ю.А., Пиляева О.В. использование накопительных устройств активного типа в работе зерноочистительных сушильных комплексов [Текст] / Ю.А. Книга, О.В. Пиляева // Вестник ИрГСХА.– Иркутск, 2015.–Вып.70.– С.79-83
55. Пиляева О.В., Книга Ю.А. Основные направления энергосбережения при эксплуатации зерноочистительно-сушильных комплексов сельскохозяйственного назначения [Текст] / О.В. Пиляева, Ю.А. Книга // Технические науки– от теории к практике.– Новосибирск, 2013.–№.19.– С.86-90
56. Книга Ю.А., Пиляева О.В. Алгоритм проведения экспериментальных исследований для определения параметров воздухораспределения при прохождении воздушного потока через неподвижный зерновой слой [Текст] / Ю.А. Книга, О.В. Пиляева // Эпоха науки.– Ачинск, 2015.–№4.– С.34-36

57. Патент № 2365839. РФ. Бункер активного вентилирования.
[Текст] / Демский Н.В., Манасян С.К., Пиляева О.В.–2008105092/06; заяв.
11.02.2008; опуб. 27.08.2009, Бюл. №24.– 6с.: ил.

58. Патент № 2355963. РФ. Бункер активного вентилирования.
[Текст] / Цугленок Н.В., Пиляева О.В., Демский Н.В., Манасян С.К.,–
2008101301/06; заяв. 09.01.2008; опуб. 20.05.2009, Бюл. №14.– 8с.: ил.

59. Пиляева О.В. Повышение эффективности
воздухораспределительных систем бункеров активного вентилирования
[Текст]: автореф. дис. ... кандит. техн. наук : 05.20.01/ О.В. Пиляева –
Красноярск, 2009.–126с.

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ
ОБРАБОТКИ ЗЕРНА**

Пиляева Ольга Владимировна

Издательство Ачинский филиал ФГБОУ ВО
«Красноярский государственный аграрный университет»
662150, Красноярский край г. Ачинск, ул. Коммунистическая, 49
<http://afkras.ru/>; e-mail:kras.gau@mail.ru