

## Выводы

Для обеспечения высоких технико-экономических показателей при сушке зерна конструкция шахты и выгрузного устройства зерносушилки должна быть рассчитана согласно выражениям (3), (4), (5) и (6). Кроме того, охладительная зона должна быть вынесена за пределы сушильного модуля.

18.08.2014

## Литература

1. Мальтри, В. Сушильные установки сельскохозяйственного назначения / В. Мальтри, Э. Петке, Б. Шнайдер; сокр. пер. с нем.: В.М. Комиссаров, Ю.Л. Фрегер; под. ред. В.Г. Евдокимова. – М.: Машиностроение, 1979. – 525 с.
2. Шаршунов, В.А. Сушка и хранение зерна: справочное пособие / В.А. Шаршунов, Л.А. Рукшан. – Минск: Мисанта, 2010. – 587 с.
3. Типовые рекомендации по подбору и замене топочных агрегатов зерносушилок в сельскохозяйственных организациях Республики Беларусь / А.Н. Рубаник [и др.]. – Минск, 2004. – 34 с.
4. Гормошин, Н.А. Теплообмен в зерновой массе при линейном начальном распределении температуры по толщине слоя / Н.А. Гормошин, В.А. Рыбарук, О.П. Поплевин / М.: Научно-технический бюллетень ВИМ, 1982. – Вып. 51. – С. 31–35.

УДК 62–523:621.316.71

**И.Б. Луцык**

*(Тернопольский национальный педагогический университет им. В. Гнатюка, г. Тернополь, Украина)*

## **ОСОБЕННОСТИ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА АКТИВНОГО ВЕНТИЛИРОВАНИЯ ЗЕРНА**

### Введение

Одной из основных проблем электротехнологических комплексов зерноскладов является их высокая энергоёмкость. По сравнению с научно обоснованными нормами эти затраты выше в среднем на 30 % [1]. Технологическим приемом, который обеспечивает существенное снижение энергии в области зернохранения, является активное вентилирование.

Расчет энергосберегающих режимов вентилирования должен основываться на детальном анализе процесса хранения зерна и факторов, являющихся решающими в определении параметров работы системы. Ведь в зерновой насыпи в период хранения происходит целый комплекс взаимосвязанных явлений, в том числе самосогревание, размножение насекомых-вредителей [2].

Для усовершенствования существующих электротехнологических комплексов активного вентилирования зерноскладов актуальным является установление взаимосвязей между параметрами режимов вентили-

рования и изменением термовлажностного состояния зерновой насыпи, что имеет существенное значение для решения задачи энергосбережения и сохранения качественных характеристик зерна в течение его длительного хранения.

### Объекты и методы исследований

Объектом исследований являлись процессы активного вентилирования зерносклада регулируемые скоростными режимами. Исследования базировались на теоретически-экспериментальном анализе скоростных режимов работы комплекса активного вентилирования согласно теории электропривода и теплопередачи. Разработка математических имитационных моделей проведена согласно теории идентификации, нечеткой логики, теории эксперимента, а также компьютерного моделирования.

### Результаты исследований

Для решения задачи нами проанализирована зерновая насыпь как объект вентилирования. Установлено, что для выбора рациональных скоростных режимов вентилирования необходимо учитывать физико-технологические свойства зерновой насыпи, а также такие факторы, как примеси, микрофлора зерна, наличие насекомых-вредителей, изменение термовлажностных параметров межзернового пространства и окружающей среды.

Зерно, как любой живой организм, дышит, при этом теряется его масса, повышается температура и влажность. Это приводит к размножению вредителей. Наибольший вред зерну наносят долгоносик и мучной клещ. Активного развития популяции этих вредителей можно эффективно избежать, воздействуя интенсивными потоками холодного воздуха [3].

В своих исследованиях нами рассмотрены три вида зерновых культур: пшеница, рапс и кукуруза. Этот выбор обоснован тем, что данные культуры имеют разную теплопроводность и скважистость, что позволяет более широко рассмотреть проблему. У кукурузы и рапса, как масличных культур, процессы самосогревания более интенсивны, а значит требуется более интенсивное охлаждение. Однако здесь также возможна дифференциация подачи воздуха, ведь скважистость кукурузы намного больше скважистости рапса, что позволяет уменьшить затраты энергии (таблица 13) [4].

Таблица 13 – Характеристики исследуемых зерновых культур

Культура	Пшеница	Кукуруза	Рапс
Допустимая влажность, %	14–20	14–25	8–15
Объемная масса, $t/m^3$	0,79–0,86	0,71–0,85	0,6–0,62
Скважистость, %	35–42	35–50	30–38
Теплоемкость, $Dж/(кг·K)$	1587	1650	1836
Теплопроводность, $Вт/(м·K)$	0,121	0,119	0,148
Температуропроводность $a, 10^{-8}, м^2/с$	8,87	14,25	8,93

Анализ существующих математических моделей активного вентилирования дает возможность утверждать, что для этого процесса трудно обеспечить достаточно точное математическое описание, ведь характеристики объекта при функционировании могут значительно меняться. Одним из путей решения данной проблемы является применение нейронечетких технологий, которые позволяют адекватно смоделировать процессы. В дальнейшем с помощью имитационного моделирования можно отследить динамику изменений и оптимизировать скоростные режимы вентилирования.

Целевой функцией управления процессом активного вентилирования  $Z_{AB}$  является минимизация потерь зерна ( $\Pi_3$ ), затрат энергии ( $E_{ae}$ ) при соответствующих ограничениях по качественным показателям продукта – температура ( $t_3$ ), влажность ( $w_3$ ) и зараженность ( $k_{спед}$ ) зерновой насыпи не должны превышать заданного допустимого значения:

$$Z_{AB} = \Pi_3 \wedge E_{AB}, \begin{cases} E_{ae} = f(Q, H_{3c}, m_3) \Rightarrow \min; \\ B_3 = f(t_3, w_3, k_{спед}) \Rightarrow \min, \end{cases}$$

где  $Q$  – производительность вентиляции,  $m^3/ч$ ;

$H_{3c}$  – аэродинамическое сопротивление зернового слоя,  $Па$ ;

$m_3$  – масса зерна,  $t$ .

Таким образом, расход энергии функционально зависит от производительности вентиляции ( $Q$ ) и аэродинамического сопротивления зернового слоя ( $H_{3c}$ ), определяющихся на основе теплофизических и технологических параметров соответственно:

$$Q = f(w_{3.в.}, m_3, \tau, \lambda, \alpha, a),$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности,  $Bm/(m \cdot K)$ ;

$\alpha$  – коэффициент теплообмена,  $Bm/(m^2 \cdot K)$ ;

$a$  – температуропроводность зерна,  $m^2/с$ .

$$H_{3ш} = f(h, v_в, t_в, w_в, S_3, \lambda_3, a_3),$$

где  $h$  – высота насыпи,  $m$ ;

$S_3$  – скважистость зерновой насыпи, %;

$v_в$  – скорость воздуха,  $m/с$ ;

$t_в$  – температура воздуха,  $^{\circ}C$ ;

$w_в$  – влажность воздуха, %.

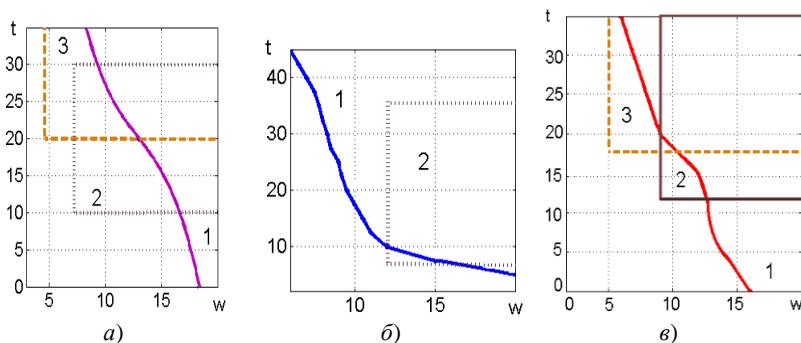
Пользуясь экспериментальными данными относительно предельных безопасных значений взаимосвязи температуры зерновой насыпи  $t_{сп}$  в промежутке от 5 до 35  $^{\circ}C$  и его влажности  $w_{сп}$  в диапазоне от 5 до 20 %, установлены функциональные зависимости термовлажностных показателей для пшеницы (1), рапса (2) и кукурузы (3):

$$w_{сп}(t) = 18 + 0,18t - 0,035t^2 + 0,0007t^3; \quad (1)$$

$$w_{сп}(t) = 5,078 + 85,64/t; \quad (2)$$

$$w_{sp}(t) = 14,14 + 0,09 \cdot t - 0,023 t^2 + 0,0004 t^3. \quad (3)$$

Однако представление биофизического состояния массы сырья без учета наличия насекомых-вредителей не позволяет получить достаточной информации о происходящих в зерновой насыпи процессах. Ведь их жизнедеятельность приводит к появлению очагов самосогревания, и наоборот, самосогревание активизирует размножение вредителей в геометрической прогрессии. Таким образом, целесообразным является комплексный анализ температурно-влажностных параметров, которые способствуют появлению очагов самосогревания и благоприятны для вредителей (рисунок 75).



а) пшеница; б) рапс; в) кукуруза

1 – самосогревание; 2 – поражение клещом; 3 – поражение долгоносиком

**Рисунок 75 – Определение критических значений температуры и влажности зерна с учетом зараженности вредителями**

Установлено, что количество физических датчиков, используемых на зерноскладе, недостаточно для того, чтобы адекватно представить тепловые процессы, происходящие в насыпи. Поэтому для определения температуры в необходимых точках предложено использование виртуальных датчиков (ВД). Их функционирование основано на нейронной сети, использующей данные, полученные от сенсорных датчиков и баз знаний, хранящих информацию за предыдущие периоды времени (рисунок 76).

Таким образом, создать эффективную систему мониторинга состояния зерновой массы на зерноскладе в условиях недостаточности измерительной информации и многообразия факторов, влияющих на результат измерения, можно, используя технологию Data Mining – процесс поддержки принятия решений, основывающийся на поиске в данных скрытых закономерностей. Согласно этой технологии, можно установить не только текущие значения температур, но и общую тенденцию

изменения градиента температуры в насыпи на расстоянии от очага самосогревания и скорости повышения температуры. Оценка тенденций изменения температур позволяет прогнозировать развитие самосогревания, и, следовательно, дифференцировать необходимую подачу воздуха, что позволит уменьшить затраты энергии [5].

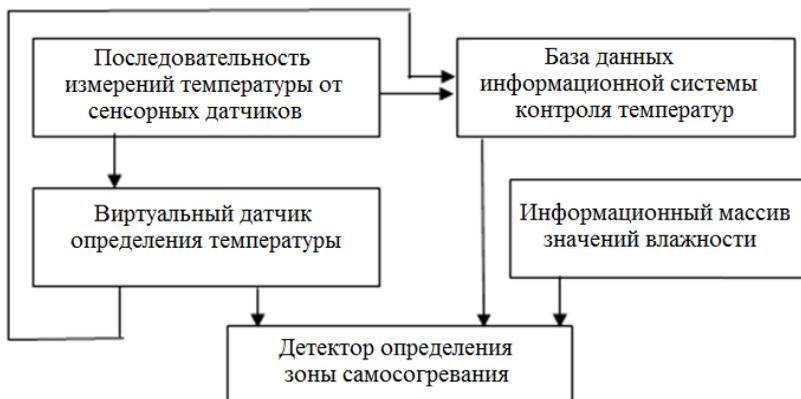


Рисунок 76 – Функциональная схема идентификации зоны самосогревания

Для выполнения задачи по определению скоростных режимов вентилирования разработан алгоритм расчета, который позволяет дифференцировать подачу воздуха по трем основным режимам [3]. Первый – для обезвреживания насекомых-вредителей: холодный воздух подается с максимальным напором. Второй – для нивелирования самосогревания, когда возможна подача воздуха уже с меньшей интенсивностью. Третий – для профилактической работы, он позволяет сэкономить энергозатраты приблизительно на 50 %. В соответствии с установленными режимами рассчитываются удельные затраты энергии для конкретной зерновой культуры (в нашем случае – кукурузы, рапса и пшеницы). При этом, согласно методике, учитывается равновесная влажность зерна.

Проверка работы алгоритма произведена на имитационной модели, позволяющей воспроизводить динамику изменений параметров системы (рисунок 77).

Поскольку основные процессы, происходящие в зерновой насыпи, являются стохастическими и нечетко определенными, для реализации определенных модулей имитационной модели, в частности подсистемы определения скоростных режимов, нами использован аппарат адаптивных нейронечетких сетей.

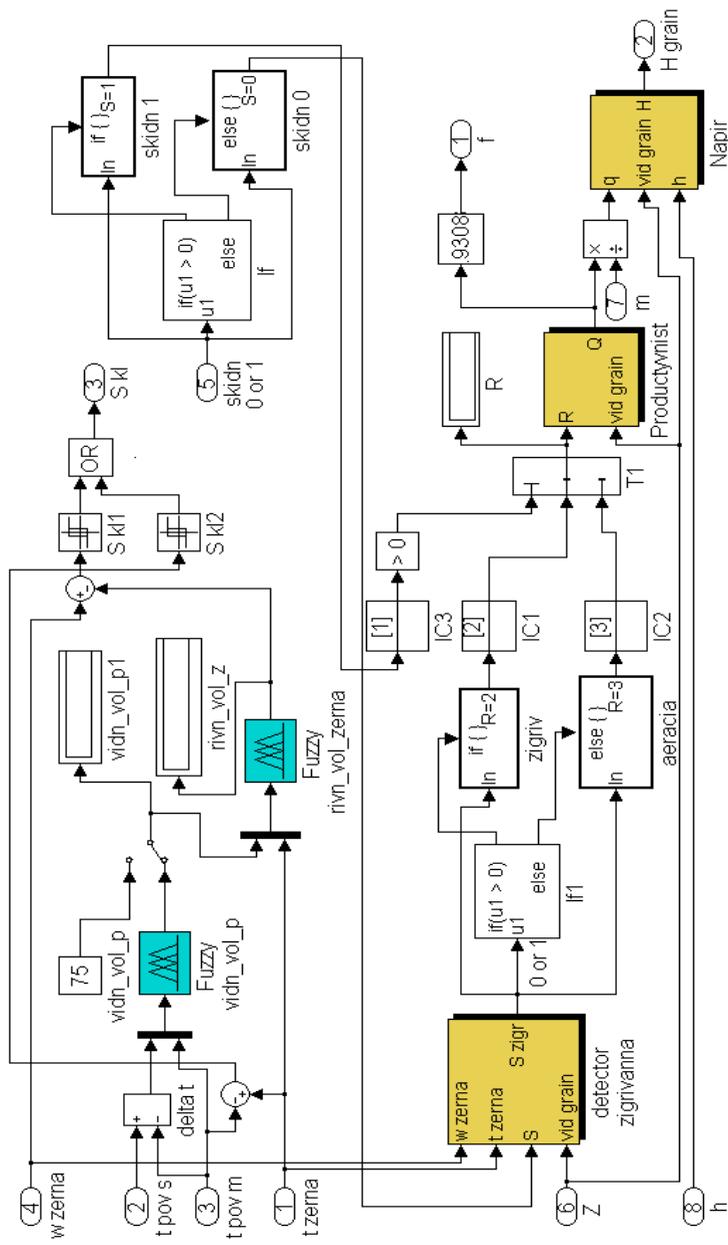


Рисунок 77 – Имитационная модель подсистемы определения скоростных режимов вентилирования

Таким образом, имитационная модель определения режимов вентилирования, скомпонованная из разработанных подсистем, дает возможность определить необходимые скоростные режимы вентилирования, обеспечивающие энергоэкономность электротехнологического комплекса и сбережение качественных характеристик зерна.

Реализовать дифференцирование скоростных режимов можно, используя частотно-регулируемый электропривод, обеспечивающий значительное снижение момента нагрузки при снижении скорости вращения приводного двигателя [6]. Для повышения его энергоэффективности целесообразно использовать адаптивный алгоритм формирования  $u/f$ -характеристики со встроенным fuzzy-регулятором [7].

### **Заключение**

1. Снижение энергетических затрат электротехнологического комплекса активного вентилирования возможно путем регулирования скоростных режимов работы оборудования, что обеспечивается частотно-регулируемым электроприводом.

2. Выбор рациональных скоростных режимов вентилирования должен учитывать физико-технологические свойства зерновой насыпи, наличие насекомых-вредителей, зон самосогревания, а также изменение термовлажностных параметров зерна и окружающей среды.

3. Для идентификации областей самосогревания целесообразно применение виртуальных датчиков температуры на основе установленных аналитических зависимостей, раскрывающих взаимосвязь предельно допустимых значений температуры и влажности зерна конкретной зерновой культуры.

4. Поскольку задача расчета энергосберегающих режимов работы электротехнологического комплекса активного вентилирования является многокритериальной и носит адаптивный характер, то реализовать оптимальное управление процессом возможно путем использования интегрированной системы автоматизированного управления, реализованной с помощью нейронетчных технологий.

05.06.2014

### **Литература**

1. Кирпа, Н.Я. Использование энергии в процессах хранения и обработки зерна / Н.Я. Кирпа // Хранение и переработка зерна. – Днепр.: ИА «АПК-Информ», 2001. – № 8. – С 38–41.
2. Дрынча, В.М. Основные концептуальные положения активного вентилирования зерна / В.М. Дрынча, Б.Д. Цыдендоржиев // Энергосбережение в АПК: Вестник ОрелГАУ. – 2010. – № 1 (22). – С. 35–38.
3. Луцык, И.Б. Влияние скоростных режимов установок активного вентилирования на биологические процессы в зерновой насыпи / И.Б. Луцык // Научный вестник Национального университета биоресурсов и природопользования

- Украины. Сер. «Техника и энергетика в АПК». – К.: НУБиП, 2013. – Вып. 184. – С. 246–251.
4. Мельник, Б.Е. Активное вентилирование зерна / Б.Е. Мельник. – М.: Агропромиздат, 1986. – 159 с.
  5. Луцкы, И.Б. Решение проблемы энергосбережения в задачах хранения зерна / И.Б. Луцкы // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2012. – Т. 3. – С. 98–103.
  6. Панкратов, В.В. Тенденции развития общепромышленных электроприводов переменного тока на основе современных устройств силовой электроники / В.В. Панкратов // Силовая интеллектуальная электроника. – Новосибирск, 2005. – № 2. – С. 7–11.
  7. Федорейко, В.С. Адаптивное частотное управление асинхронным электроприводом вентиляционных установок / В.С. Федорейко, И.Б. Луцкы, М.И. Рутыло // Научный вестник Национального университета биоресурсов и природопользования Украины. Сер. «Техника и энергетика в АПК». – К.: НУБиП, 2011. – Вып. 166. – С. 89–94.

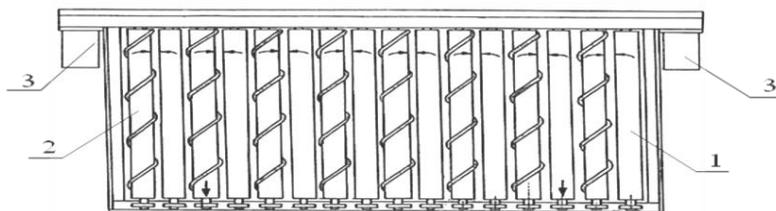
УДК 631.356.46

**Д.И. Комлач, В.В. Голдыбан**  
*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»),  
 г. Минск, Республика Беларусь)*

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОСНОВАНИЕ ДИАМЕТРА ВАЛЬЦОВ РОТАЦИОННОГО ВОРОХООЧИСТИТЕЛЯ

### Введение

С целью повышения эффективности очистки картофельного вороха от свободной и связанной с клубнями ботвы и иных растительных примесей нами предлагается ротационный ворохоочиститель (рисунок 78), состоящий из гладких вальцов 2 и вальцов со спиральными выступами 1, составленными попеременно [1].



1 – гладкий валец; 2 – валец с навивкой; 3 – привод

*Рисунок 78 – Вальцовый ворохоочиститель*

Выкопанная масса, состоящая из земли, камней, клубней, ботвы и сорняков, прошедшая предварительную очистку на элеваторе, попадает