

## Литература

1. Состояние природной среды Беларуси: экол. бюл. 2008 т/Под ред. В.Ф.Логинова. - Минск, 2009. - 406 с.: табл.97,рис.120.
2. Материалы 3 Международной конференции «Сотрудничество для решения проблемных откодов», 7-8 февраля 2006 г., Харьков. - X, 2006. - 272 с.
3. А.С. Тимонин Инженерно-экологический справочник. Т.3. Калуга: Издательство Н. Бочкаревой, 2003 г. -1024с.
4. Справочник по контролю за применением средств химизации в сельском хозяйстве / Под ред.В.П. Васильева, В.Н. Кавецкого и др. - К.: Урожай, 1989. - 159 с.

УДК 631.563.9; 664.76.03; 664.724

### ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ СИЛОСНОМ ХРАНЕНИИ ЗЕРНОПРОДУКТОВ

<sup>1</sup>Мерзляков А.А., <sup>2</sup>Пугачев П.М., к.т.н., Сизов О.А., к.т.н.  
<sup>1</sup>ИМАШ РАН, <sup>2</sup>ГНУ ВИМ Россельхозакадемии  
г. Москва, Российская Федерация

Рассмотрены основные научно-обоснованные положения выбора рационального количества точек контроля температуры при силосном хранении зернопродуктов и топология размещения термоподвесок в объеме силоса, что позволяет обеспечить требуемую достоверность контроля и минимизировать затраты на его реализацию.

#### Введение

Организация эффективного контроля температуры продукта (КТП) при его силосном хранении является одним из основных условий снижения потерь продукта и сохранения качества последнего, особенно при длительных сроках хранения. При этом, под эффективностью КТП, в широком смысле, понимается, прежде всего, возможность ощутимого сокращения потерь продукта или его качества при допустимых затратах на реализацию КТП. Таким образом, указанная выше задача сводится к минимизации потерь продукта при наличии КТП в силосе и, в общем случае, может рассматриваться как задача минимизации числа точек КТП в объеме силоса при допустимых потерях продукта и заданных экономических ограничениях или как задача минимизации потерь продукта при заданном количестве точек КТП. В обоих случаях необходимо решить задачу оптимизации или выбора рационального числа точек КТП в объеме силоса в вероятностной постановке.

Актуальность решения поставленной задачи обусловлена широким применением на практике современных металлических и железобетонных силосов больших диаметров, где для эффективного КТП необходимо использовать некоторое количество термоподвесок (ТП) (больше одной), распределенных по площади силоса в определенном порядке. Поскольку данный порядок изначально определяет топологическую структуру (ТС) системы КТП и все её основные технико-эксплуатационные характеристики, то научно обоснованное решение этого вопроса необходимо как для эффективной эксплуатации, так и производства требуемых систем КТП. В настоящей работе рассмотрены возможные решения поставленной задачи и даны рекомендации по выбору структуры системы КТП для различных типоразмеров силосов.

#### Основная часть

Проведенный анализ возможностей КТП в цилиндрических силосах большого диаметра показывает, что поставленная выше задача может быть решена при использовании систем КТП, имеющих регулярные ТС, которые можно условно называть структурами 1-го и 2-го типов. Структура 1-го типа содержит установленную в центре силоса (центральную) ТП и расположенные концентрически вокруг нее несколько ярусов (слоев) ТП. Число ТП в каждом следующем (от центра силоса) ярусе больше, чем в предыдущем, так что общее количество ТП в силосе возрастает при увеличении его диаметра. Количество ярусов —  $m$ , число ТП в  $i$ -ом ярусе —  $n_i$ , и общее число ТП в силосе —  $N_i(m)$  являются функциями от диаметра силоса —  $D_c$  и радиуса зоны достоверного контроля (ЗДК) ТП —  $Rk0$ . Последний параметр является функцией радиуса ЗДК датчика ТП —  $R_d$ , числа датчиков ТП —  $P$  и высоты силоса (длины ТП) —  $H_c$ , согласно [1, 2] вычисляется как:

$$Rk0(R_d, H_c) = R_d \sin[\arccos(H_c / 2PR_d)] \quad (1)$$

Из (1) следует, что поскольку априори  $Rk0 > 0$ , то условие для достоверного контроля температуры продукта при любом значении  $H_c$  можно записать в виде:

$$P > (H_c / 2R_d)$$

и оно является основным при выборе количества датчиков в ТП или типа ТП при создании системы КТП.

Структура 2-го типа строится аналогично вышесказанному с тем отличием, что в ней отсутствует центральная ТП, а остальные ТП первого яруса располагаются по окружности с радиусом установки (установочный радиус) -  $Ry = Rk0$ . Рассмотрим особенности вышеуказанных ТС системы КТП с этой точки зрения более подробно.

Из изложенного следует, что при выборе ТС системы КТП необходимо учитывать не только значение  $Dc$ , но и  $Hc$  силоса, т.е. рассматриваются возможности ТС в двухмерном пространстве параметров. При этом, проведенный статистический анализ возможных значений  $Dc$  и  $Hc$  современных силосов, как случайных величин показывает, что максимальные относительные диапазоны этих параметров соответственно равны  $dmax = Dcmax / Dcmin = 25,1$  и  $hmax = Hcmax / Hcmin = 6,0$ . Поэтому при анализе возможностей ТС по параметру  $Dc$  необходимо учитывать закон распределения вероятности его значений в диапазоне  $\Delta Dcmax = (Dcmax - Dcmin) = (dmax - 1)Dcmin$ , а закон распределения вероятности значений параметра  $Hc$  в диапазоне  $\Delta Hcmax = (Hcmax - Hcmin) = (hmax - 1)Hcmin$ , можно считать линейным (плотность распределения вероятностей равномерная) с достаточной для практики точностью [3].

Для удобства и эффективности сравнительного анализа возможностей различных ТС систем КТП необходимо ввести в рассмотрение некоторый комплексный структурный (системный) параметр, значения которого могут использоваться как критерий выбора типа ТС при данных значениях  $Dc$  и  $Hc$  силоса.

Одним из возможных и простых в использовании подобных критериев является величина  $\gamma$ , определяемая соотношением

$$\gamma = Dc / Rk0 \quad (2)$$

и связывающая между собой все основные структурные параметры системы КТП. Проведенный анализ возможных значений параметра  $\gamma$  и количества ТП -  $N_{\Sigma}$ , необходимого для достоверного КТП рассматриваемыми ТС обоих типов в современных силосах с указанным ранее диапазоном значений  $Dc$  и  $Hc$ , показывает, что диапазоны значений параметров  $\gamma = (0,56...14,85395)$ , а  $N_{\Sigma} = (1...66)$ . При этом весь диапазон значений  $\gamma$  разбивается на 11 участков (поддиапазонов), соответствующих типоразмерам ТС 1-го или 2-го типов, а нижнее и верхнее значения  $\gamma_{min}$  и  $\gamma_{max}$  каждого типоразмера (участка) определяется из условия  $Dcmin = 2(Ryi + 1/3Rk0)$ ;  $Dcmax = 2(Ryi + Rk0)$ .

Унифицированный типоряд ТС систем КТП и рациональное число ТП в силосе приведены в таблице 1.

Первый член  $\gamma_i = 2,0$  и отражает соотношение  $Dc \leq 2Rk0$ , т.е. случаи, где необходимо и достаточно использовать только одну ТП на силос. Во всех остальных случаях при  $\gamma > 2,0$  требуемое число ТП в силосе составляет не менее 3. При этом, текущее значение  $\gamma_i$  является одновременно верхним значением  $i$ -го поддиапазона и нижним значением  $(i + 1)$ -го поддиапазона параметра  $\gamma$  соответствующих членов типоразмерного ряда ТС систем КТП.

Таким образом, построенный ряд ТС систем КТП включает 11 типоразмеров и является минимально необходимым и полным, т.е. рациональным, и позволяет обеспечить достоверный КТП в любой точке объема силоса. При этом пять типоразмеров относятся к ТС первого типа и шесть типоразмеров к ТС второго типа.

Таблица 1

Тип структуры системы КТП	Диапазон значений $\gamma - max / min$										
	2,0 0,56	2,798 2,0	4,13755 2,798	5,4771 4,13755	6,81665 5,4771	8,1562 6,81665	9,49575 8,1562	10,8353 9,49575	12,17485 10,8353	13,5144 12,17485	14,85395 13,5144
Номер члена $i$ ряда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Первый тип	$N_{\Sigma 1} = 1$	-	-	7	-	18	-	34	-	54-55	-
Второй тип	-	$N_{\Sigma 2} = 3$	4...6	-	12	-	24-25	-	42-43	-	65-66

Из изложенного следует, что выбор ТС системы КТП для конкретного силоса определяется, прежде всего, значением параметра  $\gamma$  этого силоса, а методика выбора сводится к следующему:

1. Задаются основные геометрические параметры силоса: рабочая высота  $H_c$  (длина ТП) и диаметр  $D_c$  силоса;
2. Определяется значение  $Rk0$  по выражению (1), а значение  $Rd$  в соответствии с методикой, рассмотренной в [1];
3. Определяется значение параметра  $\gamma$  для заданного силоса по выражению (2);
4. По значению  $\gamma$  из таблицы 1 определяется типоразмер ТС системы КТП и все ее основные параметры, в частности общее количество ТП в силосе, а также численные значения всех остальных геометрических параметров установки ТП в силосе и технико-экономические показатели системы КТП с учетом [1,2];
5. Анализируются и сравниваются допустимые затраты с полученными результатами и принимается решение о реализации выбранного варианта ТС системы КТП или его необходимой коррекции для соответствия требуемым технико-экономическим ограничениям.

В качестве примера рассмотрим выбор ТС системы КТП для силоса с геометрическими параметрами  $D_c=20\text{м}$  и  $H_c=15\text{м}$  при хранении пшеницы и использовании стандартных ТП типа ТП-1М с шестью датчиками температуры [1]. Тогда из (1) определяем значение  $Rk0 = 3,376\text{м}$  и из (2) значение  $\gamma = 5,92417$ . Отсюда с учетом данных таблицы 1 получаем, что необходимо использовать пятый типоразмер ТС системы КТП второго типа с общим числом ТП -  $N_{T5}=12$ . Данный типоразмер имеет 2 яруса ТП с числом ТП в первом ярусе  $n_1=4$  и во втором  $n_2=8$  и установочными радиусами  $Ry1=3,376\text{м}$  и  $Ry2=8,15\text{м}$  соответственно. Типоразмер ТС системы КТП обеспечивает достоверность КТП в силосах с  $D_c = (11,93...24,34)\text{м}$  и  $H_c \leq 15\text{м}$ .

Рассмотрим теперь вопросы выбора ТС системы КТП с точки зрения обоснования производства тех или иных типов системы КТП. Эти вопросы связаны, в первую очередь, со статистикой и видом закона распределения параметра  $\gamma$  во всем диапазоне его возможных значений. Рассмотрим вначале статистическо-функциональную взаимосвязь между  $D_c$  и  $H_c$  силоса. Статистический анализ обобщенных данных по этим геометрическим параметрам современных силосов показывает, что высота силоса находится в диапазоне  $H_c = 6...36\text{м}$ , а диаметр силоса в диапазоне  $D_c = 2,11...53,0\text{м}$ . При этом, зная закон плотности вероятности в диапазоне значений  $H_c$  для данного значения  $D_c$  и закон плотности вероятности  $D_c$  можно оценить интегральное распределение вероятности параметра  $\gamma$  -  $P(\gamma)$  и соответственно получить вероятность применения и, следовательно, потребность в производстве всех типоразмеров систем КТП. Ранее отмечалось, что в силу малого относительного диапазона значений  $H_c$  плотность вероятности данного параметра можно считать равномерной с достаточной для практики точностью. В то же время, анализ взаимосвязи между  $H_c$  и  $D_c$  показывает, что  $H_c$  может быть представлена как случайная величина с равномерным законом распределения плотности вероятности в диапазоне значений ограниченном сверху и снизу функциями вида

$$H_{\max}/\min(D_c) = A_{\max}, \min(1 - e^{-aD_c}),$$

где:  $A_{\max} = 36,07591\text{м}$ ,  $A_{\min} = 13,359866\text{м}$ ,  $a = 0,1195\text{м}^{-1}$ .

Интегральное распределение значений  $D_c$  -  $P(D_c)$  в существующем сегодня диапазоне  $D_c = 2,11...53,0\text{м}$  хорошо аппроксимируется экспоненциальным законом распределения вида

$$P(D_c) = [1 - e^{-bd}]^{-1},$$

где  $b = 0,9545119$ ,  $d = D_c/D0$ ,  $D0 = 15,70459\text{м}$  - математическое ожидание закона распределения.

На основании всего вышесказанного и собранных статистических данных были получены интегральное распределение значений параметра  $\gamma$  -  $P(\gamma)$  и оценки вероятности применения различных типоразмеров ТС систем КТП, отражающие потенциальную потребность их применения на практике. При этом весь диапазон значений  $\gamma$  может быть условно разделен на участки:  $\gamma_1 = (2,798...9,49575)$  и  $\gamma_2 = (9,49575...14,85395)$ , на первом из которых  $P(\gamma)$  хорошо аппроксимируется функцией равномерно-го распределения вида

$$P1(\gamma) = [0,09764 - k1(\gamma - 2,798)],$$

где  $k1 = 0,085948$ , а на втором - функцией вида

$$P2(\gamma) = [P1(\gamma) - k2(\gamma/\gamma_0 - 1)],$$

где  $k2 = 4,942675$ ,  $\gamma_0 = 9,49575$ .

Таким образом, в первом приближении, можно считать, что закон распределения  $P(\gamma)$  оказывается близким к линейной функции (равномерный закон плотности распределения вероятности), т.е. использование основных типоразмеров ТС систем КТП на практике близко к равновероятному, несмотря на экспоненциальный характер закона распределения  $P(D_c)$ . Последнее отражает существующее на практике значительное разнообразие типоразмеров современных силосов по основным геометрическим параметрам.

## Заклучение

1. Использование предложенного комплексного структурного критерия □ позволяет учитывать особенности различных типов ТС систем КТП и построить обобщенный унифицированный типоряд этих систем.

2. Использование критерия □ позволяет предложить простую и эффективную методику обоснованного выбора рациональных ТС систем КТП и максимально снизить экономические затраты на КТП в современных силосах.

3. Результаты статистического анализа значений параметра □ и законов их распределения для различных типоразмеров силосов позволяют научно обосновать номенклатуру производства и эксплуатации требуемых в настоящее время ТС систем КТП с целью максимального снижения затрат на хранение и потерь продукции в силосах зернохранилищ и элеваторов.

## Литература

1. Мерзляков А.А., Пугачев П.М., Сизов О.А. Особенности термометрии на основе термоподвесок при силосном хранении зернопродуктов. // Сборник докладов X Межд. научно-практической конференции «Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве» (16-17 сентября 2008 г., г. Углич). – М., ФГУП Изд.-во «Известия» УДП РФ, 2008. – Ч. 2. – С. 277-285.

2. Мерзляков А.А., Сизов О.А., Пугачев П.М., Ахалая Б.Х. Оценка рационального количества термоподвесок при силосном хранении зернопродуктов. // Сборник статей Шестой Международной научно-практической конференции «Экология и сельскохозяйственная техника», Санкт-Петербург, 13-15 мая 2009 г., Т.2. Экологические аспекты производства растениеводства, мобильной энергетики и сельскохозяйственных машин, С.-Петербург, 2009 г., с. 260-264.

3. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств» Л.: Энергия, 1968 г. 247 с.

УДК 631.3: 519.87

### СНИЖЕНИЕ ЭНЕРГОЁМКОСТИ ПРОЦЕССА ПОДПРЕССОВКИ РАСТИТЕЛЬНОЙ МАССЫ В КОРМОУБОРОЧНОМ КОМБАЙНЕ

Попов В.Б. к.т.н. доцент, Бобыренко С.Н. магистрант

*УО «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого»  
г. Гомель, Республика Беларусь*

В докладе проанализирована работа механизма подпрессовки растительной массы питающего аппарата кормоуборочного комбайна КПК-3000 “Полевье”. Предлагаемая модернизация обеспечивает экономии топлива с сохранением качества измельчения РМ

Состояние и уровень развития животноводства находятся в непосредственной зависимости от объема и качества заготавливаемых кормов. Прочной кормовой базе необходимы современные кормоуборочные машины и передовые технологии заготовки кормов [1]. На корм используют силос, его разновидность — сенаж, зеленый корм, сено различной влажности в измельченном и неизмельченном виде. Подавляющую часть (72—75 %) занимают измельченные корма, получаемые с помощью комбайнов. Процесс уборки кормов, в виду сжатых агротехнических сроков и свойств кормовой массы, выполняются на высокопроизводительных кормоуборочных комбайнах с мощностью двигателя от 250 до 1000 л.с., что накладывает повышенные требования к выполнению технологического процесса. Современный кормоуборочный комбайн представляет собой сложную с/х машину, выполнение технологического процесса в которой обеспечивают: адаптер, питающий аппарат, измельчающий аппарат, приемная камера и силосопровод.

При выполнении технологического процесса подавляющая часть затрат мощности (до 80 %) приходится на измельчающий аппарат, обеспечивающий измельчение и транспортировку растительной массы (РМ). Энергоемкость процесса резания напрямую зависит от двух главных факторов: конструктивных особенностей и состояния режущей пары (нож – противорежущий брус) и свойств поступающей в зону резания РМ, которые определяются, в том числе и параметрами механизма подпрессовки питающего аппарата.

Большинство современных питающих аппаратов представляют собой сложные конструкции, в качестве подающих устройств в которых используются металлические вальцы. Основными функциями питающего аппарата являются: захват РМ от адаптера, её подпрессовка и передача (с заданной линейной скоростью) к измельчающему аппарату. Распространенная схема механизма подпрессовки