

## АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА НА МУКОМОЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ КАЗАХСТАНА И БЕЛАРУСИ

**Лисовский В.В.**, кандидат технических наук, доцент,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь

**Нукушев С.О.**, доктор технических наук, профессор, академик АСХН РК,  
Казахский агротехнический университет им. С.Сейфуллина  
Республика Казахстан

Современное производство муки весьма специфично в технологическом смысле, очень энергоемко, является взрывоопасным, имеет непрерывный поточный характер, отличается большой протяженностью и многостадийностью технологических линий при относительно малой численности сменного персонала. Одно перечисление этих признаков свидетельствует о том, что без систем автоматизации, в том числе автоматизированного доувлажнения зерна перед помолом подобное производство не может быть эффективным. Одним из основных процессов подготовки зерна к помолу, является гидротермическая обработка зерна. Внедрение автоматизированной системы стабилизации увлажнения зерна (АССУЗ) перед помолом, позволяет существенно снизить себестоимость производства муки за счет оптимизации кондиционирования зерна перед последующими технологическими операциями. Конечный продукт мукомольного завода - мука сортового помола пшеницы. При внедрении системы автоматизации стабилизации увлажнения зерна, по данным группы российских компаний «Текон», повышается выход муки высших сортов в среднем на 5,5% при увеличении общего объема выпускаемой продукции до 5,0%.

Предлагаемая система на основе модернизированного влагомера «Микрорадар 113м», структурная схема которой приведена на рис. 1, является одной из наиболее современных. В данной системе микроволновый влагомер измеряет влажность не только исходного но и свежееувлаженного зерна, он имеет два блока первичных преобразователей, один из которых устанавливается на входе увлажняющей машины А1-БШУ1(2), второй - на выходе. Сигналы обоих сенсоров обрабатываются в микропроцессорном блоке по двум алгоритмам [1,2], позволяющим определять отдельно влажность зерна, поступающего на увлажняющую машину, и влажность зерна после увлажнения. Это позволяет осуществлять регулирование по основному параметру - влажности зерна на выходе системы, что существенно отличает ее от других автоматических систем, работающих по косвенным признакам, таким как входная влажность зерна, расход зерна и расход воды [1,2]. При использовании только первого блока первичных преобразователей влагомер пригоден для автоматизации шахтных и рециркуляционных зерносушилок, наиболее часто используемых на мелькомбинатах.

В ручном режиме управление подачей воды производится оператором, который контролирует влажность зерна на входе и выходе увлажняющей машины по показаниям влагомера. По мнемосхеме, отображенной на экране монитора, оператор может следить за ходом процесса увлажнения, просматривать предыдущие записи техпроцесса. Данные по влажности и температуре зерна на входе и на выходе увлажняющей машины, по расходу воды, должны накапливаться и выдаваться на монитор в виде трендов. В автоматическом режиме контроллер непрерывно анализирует состояние системы и при возникновении нештатных ситуаций формирует сигнал аварийной ситуации, который представляет собой двухразрядный цифровой код. Этот сигнал поступает в БКС, где производится его дешифрация и, в зависимости от ситуации, вырабатываются сигналы управления и сигнализации. Перед началом работы оператор:

- выбирает режим работы системы (ручной или автоматический);
- устанавливает влажность зерна на выходе увлажняющей машины.

Затем устанавливается область допустимых значений рабочих параметров: влажности и температуры на входе и выходе увлажняющей машины. Выход какого-либо из них за пределы считается аварийной ситуацией 1 или 2 рода. При аварийной ситуации 1 рода система подает сигнал, но продолжает работать, так как опасности переувлажнения нет, при аварийной ситуации 2 рода система подает аварийный сигнал, закрывает отсечной клапан и останавливает работу.

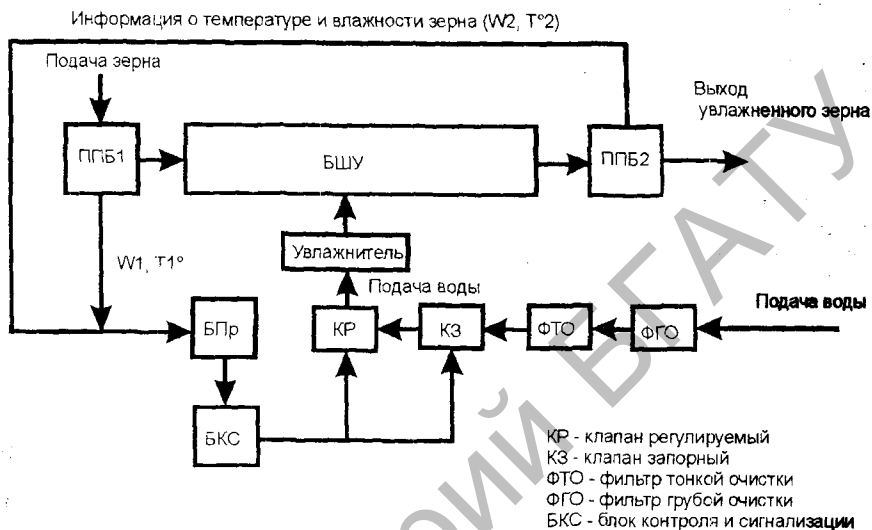


Рисунок 1. – Структурная схема автоматизированной системы стабилизации увлажнения зерна

Данная система разработана с использованием микропроцессоров или ЭВМ, современных технических средств и программного обеспечения, что позволяет поддерживать точность регулирования на высоком уровне, что в свою очередь обеспечивает более высокую производительность и качество конечного продукта. Разрабатываемая научно-техническая продукция позволит свести роль обслуживающего персонала к контролю за работой автоматических систем, контролирующим и регулирующим выполнение технологического процесса, а также увеличить количество выпускаемой продукции, повысить ее качество, улучшить условия труда и пр.

Необходимым условием качественной работы АСУЗ является адекватность показаний модернизированного поточного влагомера "Микрорадар 113м" результатам измерения влажности зерна по стандартной методике. Для чего Белорусской МИС были проведены лабораторные и производственные испытания микроволнового влагомера "Микрорадар 113м" и системы в целом.

Работа влагомера основана на зависимости ослабления СВЧ-энергии  $N$  от влажности зерна  $W$ . Теория вопроса достаточно подробно рассмотрена в [1], где показано, что диэлектрические свойства большинства сельскохозяйственных зерновых продуктов в функции влажности  $\epsilon^*(W)$  можно достаточно точно описать на основании линейной модели [1], откуда вытекает, что действительная  $\epsilon'$  и мнимая  $\epsilon''$  части комплексной диэлектрической проницаемости  $\epsilon^*$  (а также  $\alpha = \frac{\pi \epsilon''}{\lambda \sqrt{\epsilon'}}$  и  $\beta = \frac{2\pi \sqrt{\epsilon'}}{\lambda}$ ) зависят не только от влажности  $W$ , но и от плотности исследуемого материала  $\rho$ . Известно, что диэлектрическая

проницаемость воздуха  $\epsilon \sim 1$ , обезвоженных зерновых  $\epsilon = 2-3$ , в тоже время для свободной воды в СВЧ диапазоне  $\epsilon \sim 60$ . Таким образом, даже незначительное увеличение содержания влаги приводит к существенному росту общей диэлектрической проницаемости зерна. Отличие в диэлектрических свойствах различных видов зерновых определяется соотношением содержания свободной и связанной воды, а также плотностью (натурным весом) этих материалов.

Обычно, если технологический процесс переработки зерна позволяет достаточно просто стабилизировать поток (т.е. плотность) контролируемого материала, достаточно измерять только один параметр, например, затухание электромагнитной волны во влагосодержащем материале  $N(W)$  в образце толщиной  $d$ , с плотностью (натурным весом)  $\rho$ . Эта зависимость имеет вид [1]:

$$N = 8,686 \cdot \alpha_n \cdot W \cdot \rho \cdot d, (\text{дБ}) \quad (1)$$

Однако в мукомольном производстве, в связи с необходимостью доувлажнения зерна с 12-14% до 15,5-16% необходимо учитывать влияние свободной и связанной воды т.е. переходить на другой алгоритм расчета. Для этого была разработана новая модификация устройства контроля с двумя первичными измерительными СВЧ-преобразователями влажности на входе и выходе увлажняющей машины соответственно и одним вычислительным блоком, работающим по двум алгоритмам.

Второй алгоритм также основан на уравнении (1), но значение  $\alpha_n = \alpha(W)$  в этом случае значительно отличается от расчетной величины, полученной по известным диэлектрическим характеристикам свободной воды. Если построить зависимость по выражению

$$N = N_0 - \alpha(W)k(W - W_0), \quad (2)$$

( $k$  - коэффициент, зависящий от натурального веса зерна и толщины образца), то получим прямую (рис.2 втрих-пунктир 3), имеющую значительно меньший тангенс угла наклона по сравнению с экспериментальными данными.

Этот факт можно объяснить только с двух позиций: либо диэлектрическая проницаемость воды в поверхностном слое увлажненного зерна превосходит по значению аналогичные характеристики для свободной воды, что маловероятно, либо необходимо внесение корректив в расчет  $\alpha_n = \alpha(W)$ , вызванных значительным рассеянием энергии электромагнитной волны в поверхностно увлажненном слое. Влияние такого рассеяния на результат измерения влажности давно отмечено в радиометеорологии.

Расчет коэффициента рассеяния  $k_p$  произведен по формуле

$$k_p = \frac{12\pi^2 a^2 (m^2 - 1)}{\lambda^2 (m^2 + 2)} \quad (3)$$

Здесь  $a$  - средний радиус сферы с эквивалентной поверхностью, равной поверхности зерновки;  $m = n - jk = \sqrt{\epsilon' - j\epsilon''}$  - показатель преломления.

По известным диэлектрическим характеристикам свободной воды легко рассчитать этот параметр. Введением расчетного корректирующего коэффициента  $K_1 = \alpha(W)k_p k = 1,287$  получаем выражение, связывающее затухание СВЧ-энергии в увлажненном зерне  $N$  с ее влажностью  $W$ :

$$N = N_0 + 3,56(W - W_0) \quad (4)$$

Результаты расчета по линейной модели зерна (пшеницы) для температуры  $t = 20^\circ \text{C}$  и длины волны генератора СВЧ  $\lambda = 3,2$  см для двух датчиков влажности зерна, работающих по приведенным выше алгоритмам, приведены на рис. 2, здесь же приведены экспериментальные точки для зерна естественной влажности и свежесувлаженного.

Оценка элементов автоматизированной системы увлажнения зерна перед помолом с использованием микроволнового влагомера зерна «Микрорадар 113м» осуществлялась в лабораторных условиях по следующей методике. Предварительно были подготовлены образцы зерна с различной влажностью в рабочем диапазоне величин для каждой из культур: пшеница, рожь. Микроволновый влагомер зерна «Микрорадар 113м» был предварительно откалиброван в лаборатории ООО «Микрорадар-Сервис» с окончательной калибровкой в лаборатории ГУ «БелМИС» по результатам, полученным с помощью сушильного шкафа СЭШ-3м по стандартной методике. В процессе выполнения оценок, для каждой из культур с различной влажностью производилось десять измерений влажности зерна испытываемым влагомером «Микрорадар 113м». Параллельно брались пробы для измерения влажности стандартным методом по ГОСТ 13586.5-93 и анализатором влажности МА 45.

Результаты выполненных измерений приведены в [3]. Полученные показатели были также представлены в виде графиков для средних значений влажности по каждому виду зерна [3]. Полученные данные свидетельствуют, что для зерна пшеницы и ржи имеется заявленное в ТУ на влагомер «Микрорадар 113м» совпадение (с допустимой погрешностью) между показаниями испытываемого влагомера и результатами измерения по стандартному методу, который являлся эталонным при калибровке микроволнового влагомера «Микрорадар 113м». По анализатору МА 45 получены несколько большие значения погрешностей измерений влажности зерна, по сравнению с определяемой влагомером «Микрорадар 113м» и полученными по стандартному методу (ГОСТ 13586.5-93)

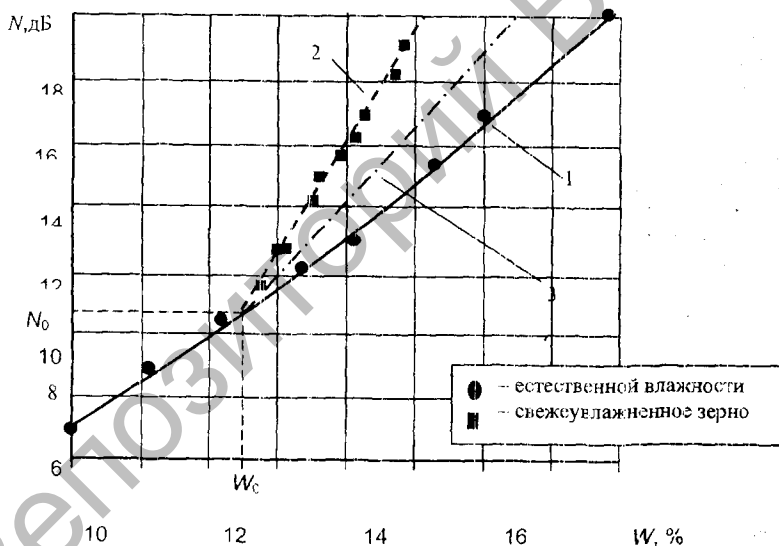


Рисунок 2 – Расчетные и экспериментальные зависимости  $N(W)$  для двух СВЧ-датчиков на входе (1) и выходе (2) увлажняющей машины.

В результате проведенных работ установлено, что для обеспечения воспроизводимости результатов измерений влажности зерна, определяемой влагомером «Микрорадар 113м» и стандартным методом по ГОСТ 13586.5-93, с минимальной погрешностью измерений, регламентированной в технических условиях, требуется предварительная калибровка влагомера только с использованием сушильного шкафа по стандартному методу.

При оценке элементов автоматизированной системы увлажнения зерна перед помолом с использованием микроволнового влагомера зерна «Микрорадар 113м» в условиях реальной

эксплуатации в составе четвертой линии увлажнения зерна перед помолом мукомольного цеха ОАО «Лидахлебопродукт», установлено следующее:

– микроволновый влагомер зерна «Микрорадар 113м» достоверно отображает как наличие зерна различной влажности в сенсорах БС1 и БС2 при его движении по подводящему и отводящему трубопроводу, так и его влажность и температуру;

– микроволновый влагомер зерна в потоке «Микрорадар 113м» достоверно отображает процесс динамики увлажнения от сухого до увлажненного зерна;

– микроволновый влагомер зерна в потоке «Микрорадар 113м» обеспечивает своевременную подачу сигнала рассогласования на микропроцессорную систему управления работой панели гидравлической с целью регулирования расхода воды;

– микропроцессорный регулятор (контроллер) обеспечивает необходимое качество управления работой панели гидравлической блока управления и контроля (БУК) автоматизированной системы увлажнения зерна перед помолом с учетом транспортного запаздывания;

– элементы контроля влажности зерна с использованием микроволнового влагомера зерна в потоке «Микрорадар 113м» обеспечивают визуализацию протекающих процессов в отношении влажности и температуры зерна и регистрацию указанных показателей.

При оценке элементов контроля влажности зерна в потоке в условиях реальной эксплуатации в составе четвертой линии увлажнения зерна перед помолом мукомольного цеха ОАО «Лидахлебопродукт» установлено отсутствие значительных отклонений результатов измерений в моменты взятия проб, что обусловлено в первую очередь тем, что места взятия организованы в местах установки блоков сенсоров БС1 и БС2 влагомера «Микрорадар 113м». Различия в показаниях влагомера «Микрорадар 113м» на выходе увлажняющей машины и влажностью, определяемой стандартным методом по ГОСТ 13586.5–93 в диапазоне 10...20% составляет менее  $\pm 0,5\%$  [3].

Результаты приемоных испытаний, а также опыт производственной эксплуатации автоматических систем стабилизации увлажнения на мукомольных предприятиях Казахстана и Беларуси доказывают, что необходимую точность поддержания заданной влажности зерна перед помолом можно обеспечить только на основе получения достоверной информации от двух датчиков, установленных на входе и выходе увлажняющей машины. Реализация такой системы на базе СВЧ-влагомера «Микрорадар 113м» позволяет обеспечить в производственных условиях поддержание конечной влажности зерна с высокой точностью (абсолютная погрешность не превышала  $\pm 0,5\%$ ).

Многолетний опыт специалистов БГАТУ по разработке микроволновых влагометрических систем, а также опыт серийного производства влагомеров «Микрорадар» минским предприятием «Микрорадар-Сервис» позволит КБ Казахстанского агротехнического университета им. С. Сейфуллина быстро освоить совместное производство как микроволновых влагомеров, так и автоматизированных систем контроля и регулирования на их основе, в которых остро нуждается зерновая отрасль Республики Казахстан.

### *Литература*

1. Лисовский В. В. Теория и практика сверхвысокочастотного контроля влажности сельскохозяйственных материалов. Мн.:БГАТУ, 2005.-292 с.
2. Лисовский В.В «Автоматический контроль влажности зерна методами СВЧ-влагометрии» // Хлебопек. Минск. – 2005.- №4.- С.23 – 24.
3. Протокол № 000 Д 0/0–2010 от 24 декабря 2010 года «Оценки элементов системы автоматизированного увлажнения зерна перед помолом с использованием модернизированного влагомера «Микрорадар 113м».