

УДК 664.776.6

UDC 664.776.6

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ В ПОЛЕ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ И ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ЕЁ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА****DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF PROCESSING OF WHEAT FLOUR IN THE FIELD OF SUPER-HIGH FREQUENCY AND RESEARCH OF INFLUENCE OF REGIME PARAMETERS ON QUALITATIVE FACTORS OF WHEAT FLOUR**

Семёнова Ольга Леонидовна

Semyonova Olga Leonidovna

*Рудненский индустриальный институт, Рудный, Республика Казахстан**Rudny Industrial Institute, Rudny, Republic of Kazakhstan*

В статье предложена технология обработки пшеничной муки, полученной из суховейного зерна на установке периодического действия с СВЧ-энергоподводом для улучшения её качественных показателей. Выделена цель, описаны предмет, объект и методы проводимых исследований, приведены основные результаты работы

The technology of processing of wheat flour, received from dry wind grain on device with periodic action with SHF-power for enriching of qualitative factors of flour, is offered in this article. The purpose is pointed out, the subject, object and methods of spent researches are described, the basic findings of investigation are resulted

Ключевые слова: ПШЕНИЧНАЯ МУКА, СВЧ-ЭНЕРГОПОДВОД, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА, СУХОВЕЙНОЕ ЗЕРНО, СВЧ-УСТАНОВКА, РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ВРЕМЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ, УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОВАЯ МОЩНОСТЬ СВЧ-ЭНЕРГОПОДВОДА, ТОЛЩИНА СЛОЯ МУКИ

Keywords: WHEAT FLOUR, SHF-POWER, QUALITATIVE FACTORS, DRY WINDS GRAIN, SHF-DEVICE, REGIME PARAMETERS, TIME OF INFLUENCE, SPECIFIC THERMAL CAPACITY OF SHF-POWER, THICKNESS OF LAYER OF FLOUR

Пшеница – основная и самая важная продовольственная культура в большинстве стран мира. Ее культивируют более чем в 80 странах. Из многочисленных видов пшеницы в мировом земледелии возделывается, главным образом, пшеница мягкая и твердая. В основном, выращиваемая пшеница используется для производства пшеничной муки, и соответственно здесь требуется высококачественный продукт [7].

В 2008, 2009 и 2010 году в северном Казахстане, а также в близлежащих областях Российской Федерации в летний период наблюдалась крайне засушливая погода, характеризующаяся низким уровнем осадков. Хранение и переработка зерна, собранного в период засухи или поврежденного суховеями, имеют очень важные особенности, которые необходимо учитывать [6].

Суховейное зерно значительно отличается по своим свойствам от того, что собрано в период стабильных температурно-влажностных

условий. Из-за сниженной активности протеиназ в суховейном зерне, мука обладает повышенной упругостью и малой растяжимостью, но вместе с тем такое зерно богаче нормального белковым азотом и клейковиной. Таким образом, мука, полученная из суховейного зерна, как правило, обладает признаками муки с пониженными хлебопекарными свойствами [8].

Для повышения качества муки возможно применение добавок и хлебопекарных улучшителей, которые воздействуют на белково-протеиназный и углеводно-амилазный комплексы муки в зависимости от её исходного качества [11]. При разработке технологии улучшения качества должен учитываться фактор технологической целесообразности и необходимости применения хлебопекарных улучшителей [3].

Наряду с использованием химических и биологических методов для улучшения качества пшеничной муки, в последнее время широко начали применяться в пищевой промышленности физические методы обработки [4].

СВЧ-обработка нашла широкое применение в пищевых отраслях отрасли ввиду своих преимуществ, положительно влияющих на качество изготавливаемой продукции, и СВЧ-поле используется при обработке зерна и продуктов его переработки, в частности в мукомольном и хлебопекарном производстве [9]. Обработка в поле сверхвысокой частоты снижает микробиологическую обсемененность зерна и продуктов его переработки. В отношении пшеничной муки, энергия электромагнитного поля, с учетом продолжительности ее воздействия, может заменить процесс созревания муки или укрепить клейковину слабой муки за счет того, что мука нагревается, поглощая энергию излучения, за счет СВЧ-обработки также повышается газообразующая способность муки [12].

Объектом исследований является пшеничная мука первого сорта, полученная из суховейного зерна, выращенного в северных регионах Казахстана.

Предметом исследований служат экспериментальные и аналитические зависимости, характеризующие влияние режимных параметров процесса обработки в поле сверхвысокой частоты на количественные и качественные показатели пшеничной муки.

Проведенный анализ литературных источников свидетельствует о том, что исследований по воздействию СВЧ–обработки на хлебопекарные свойства муки с крепкой клейковиной и сниженной активностью белково-протеиназного и углеводно-амилазного комплекса не проводилось, несмотря на то, что улучшение качества муки по данным показателям является важной задачей для мукомольного и хлебопекарного производства. Свойства сверхвысокочастотного поля свидетельствуют о целесообразности его использования для обработки муки, полученной из суховейного зерна.

Учитывая вышесказанное, целью работы является исследование процесса обработки пшеничной муки, полученной из суховейного зерна в поле СВЧ, разработка способа обработки, определение оптимальных параметров СВЧ-обработки для улучшения количественных и качественных показателей муки.

С учётом современного состояния вопроса о количественных и качественных показателях пшеничной муки, полученной из суховейного зерна, необходимо внести изменения в традиционную технологию выработки муки с целью улучшения показателей качества.

С этой целью предлагается технология переработки зерна в муку с включением процесса сверхвысокочастотной обработки муки для улучшения её качественных показателей, представленная на рисунке 1.

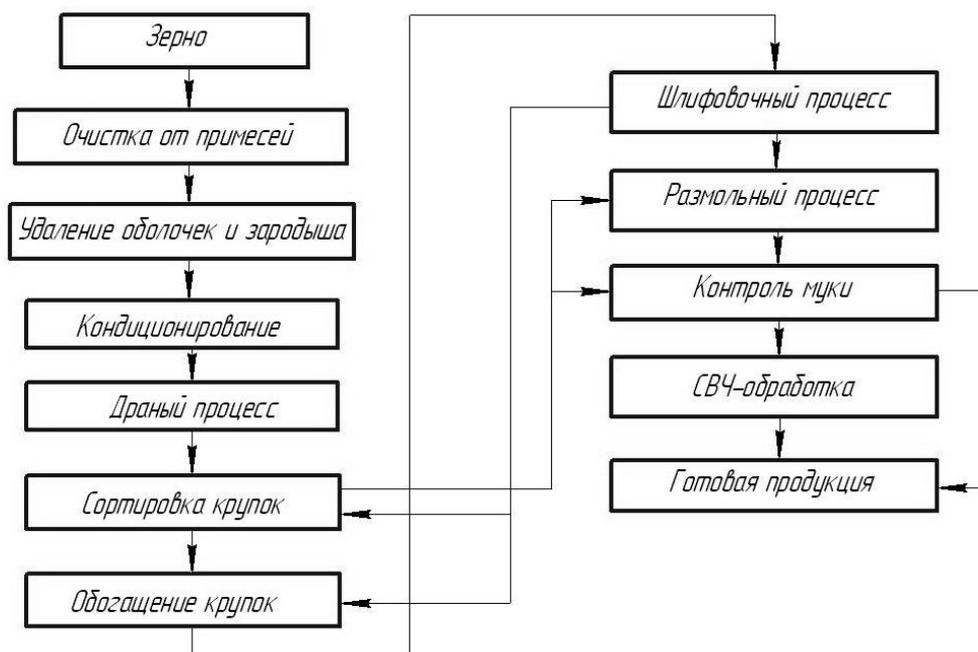


Рисунок 1. Схема предполагаемой технологии производства пшеничной муки

Для этого выдвинута гипотеза о том, что стабилизировать показатели качества пшеничной муки, полученной из суховейного зерна в поле сверхвысокой частоты возможно после стадии контроля количественных и качественных показателей в условиях производственной лаборатории. Если после контроля параметры пшеничной муки являются оптимальными для применения в хлебопекарном производстве, то мука отправляется на стадию выбоя и дальнейшее хранение на склад.

Если же показатели качества пшеничной муки требуют стабилизации и достижения оптимальных значений, мука отправляется на обработку в СВЧ–установке, в дальнейшем на охлаждение, выбой и хранение на склад.

При выборе диапазона эффективных режимов обработки в СВЧ – поле рассматривались основные факторы (критерии оптимизации), определяющие изменение количественных и качественных показателей пшеничной муки и её хлебопекарных свойств: массовая доля влаги (влажность); содержание периферийных частичек зерна в муке (белизна и

зольность); состояние белкового комплекса зерна (массовая доля и качество сырой клейковины, растяжимость клейковины, содержание белка); состояние углеводно-амилазного комплекса (число падения); кислотность муки.

Для проведения экспериментальных исследований была взята мука первого сорта со следующими показателями (по средним значениям): влажность – 13,5 %; содержание белка – 15,17 %; белизна – 53,8 условных единиц по показаниям прибора РЗ–БПЛ; зольность – 0,65%; клейковина: массовая доля – 32,04 %, качество – 38 условных единиц по показаниям прибора ИДК, растяжимость по линейке – 9 см, число падения – 405 с, кислотность муки – 2,8<sup>0</sup>.

Анализ физико–химических показателей обработанной муки в производственных условиях проводился в соответствии с действующей нормативной документацией: влажность – воздушно–тепловым методом по ГОСТ 9404–88; зольность – методом определения зольности без ускорителя по ГОСТ 27494–87; белизна – при помощи прибора РЗ–БПЛ по ГОСТ 26361–84; массовая доля сырой клейковины – отмыванием клейковины вручную по ГОСТ 27839–88; качество сырой клейковины – на приборе ИДК по ГОСТ 27839–88; содержание белка – по ГОСТ 10846–81; кислотность муки – по ГОСТ 27493–87; число падения – по ГОСТ 27676–88; общая оценка качества муки – по ГОСТ Р 52189–2003 [5].

Для установления режимных параметров СВЧ–обработки была проведена серия постановочных опытов. Лабораторные исследования проводились в производственно–технических лабораториях ТОО «Байлык–2001», ТОО «Иргиз» г. Рудного.

В результате теоретических изысканий и исследований выявлены основные параметры, от которых зависят качественные и количественные показатели пшеничной муки при обработке в электромагнитном поле:

$$y = f(T, P, t, h), \quad (1)$$

где

$T$  – температура обработанного продукта, °С;

$P$  – удельная тепловая мощность, кВт/м<sup>3</sup>;

$t$  – время воздействия СВЧ-поля, с;

$h$  – толщина слоя муки, мм.

Для достижения определенного уровня нагрева по результатам теоретических расчётов использовали сочетание времени воздействия (30÷90 секунд), удельной тепловой мощности СВЧ-энергоподвода (0,12÷0,408 кВт/м<sup>3</sup>), толщины слоя муки (20÷40 мм) при частоте обработки 2,45 ГГц. На этой частоте коэффициент поглощения СВЧ-излучения очень высокий, а глубина проникновения лучей достаточна для равномерного распределения энергии по всему объему нагреваемого продукта.

Схема установки для изучения влияния СВЧ-обработки на количественные и качественные показатели пшеничной муки показана на рисунке 2. Работает установка следующим образом, электроэнергия от узла ввода 4 после включения установки подается в блок автоматики 5 магнетрона 9, который обеспечивает нормальные условия его работы – защиту от перегрева, последовательность включения. Кроме этого энергия подается в накальный трансформатор 6. При этом включается вентилятор охлаждения магнетрона 8, и получают питание блок защиты 3 и блок управления 2. После прогрева катода магнетрона, задается необходимая толщина слоя муки с помощью шибера, включается привод 13, происходит загрузка рабочей камеры 11 продуктом 12 и на реле 1 задается продолжительность обработки удельная тепловая мощность СВЧ-энергоподвода. Процесс диэлектрического нагрева (только при закрытой дверце установки) начинается после подачи напряжения на анодный трансформатор 7, высокое напряжение которого подается на СВЧ-генератор, при этом СВЧ-энергия подается в рабочую камеру 11, через диэлектрическую перегородку 10. При обработке производят измерение



регрессии; композиционным и обладает свойствами равномерности и рототабельности, имеет малое число опытов [1].

При активном планировании эксперимента режимные параметры варьировались на трех уровнях: минимальном (-1), среднем (0) и максимальном (+1) [10]. Пусть  $t - x_1$ ,  $P - x_2$ ,  $h - x_3$ , тогда зависимость выходных параметров  $y_i$  от входных выразится полиномом второй степени:

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3, \quad (2)$$

где

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_{11}, b_{22}, b_{33}, b_{12}, b_{13}, b_{23}$  – коэффициенты регрессии;

$x_1, x_2, x_3$  – параметры оптимизации.

В результате произведенных статистических расчетов были получены коэффициенты регрессии. Расчеты и графическая интерпретация результатов реализации параметрических моделей проводилась с использованием программ STATISTICA 6.1, Microsoft Excel 2007.

$$y_1 = 56,96 + 8,87x_1 + 12,23x_2 + 4,83x_3 - 2,63x_1^2 - 3,79x_2^2 + 4,25x_1x_2 - 0,75x_1x_3, \quad (3)$$

$$y_2 = 11,75 - 1,13x_1 - 1,32x_2 - 0,57x_3 - 0,348x_3^2 - 0,912x_1x_2 - 0,179x_1x_3 - 0,179x_2x_3, \quad (4)$$

$$y_3 = 51,73 - 0,75x_1 - 1,44x_2 - 0,137x_3 + 0,192x_2^2 + 0,292x_3^2 - 0,57x_1x_2, \quad (5)$$

$$y_4 = 34,88 - 2,93x_1 - 2,81x_2 - 2,04x_3 - 1,6x_1^2 - 2,14x_2^2 - 1,43x_3^2 - 3,52x_1x_2 - 2,935x_1x_3 - 2,84x_2x_3, \quad (6)$$

$$y_5 = 51,71 - 8,9x_1 - 13,5x_2 - 0,97x_3 - 6,54x_2^2 - 13,58x_1x_2 - 5,67x_1x_3 - 7,33x_2x_3, \quad (7)$$

$$y_6 = 15,26 - 0,025x_1 - 0,058x_2 - 0,032x_2^2 + 0,014x_3^2 - 0,085x_1x_2 - 0,015x_1x_3 - 0,019x_2x_3, \quad (8)$$

$$y_7 = 11,44 - 2,37x_1 - 2,33x_2 - 2,1x_2^2 - 2,96x_1x_2 - 1,21x_1x_3 - 1,79x_2x_3, \quad (9)$$

$$y_8 = 344,75 + 33,87x_2 + 9,083x_1^2 + 52,25x_2^2 - 13,083x_3^2 + 20,583x_1x_2 + 7,33x_2x_3, \quad (10)$$

$$y_9 = 2,594 + 0,06x_1 + 0,197x_2 + 0,24x_2^2 + 0,129x_1x_2, \quad (11)$$

где

$y_1$  – температура продукта, °С;

$y_2$  – влажность, %;

$y_3$  – белизна, усл. ед. по показаниям прибора РЗ-БПЛ;

$y_4$  – массовая доля сырой клейковины, %;

$y_5$  – качество сырой клейковины, усл. ед. по показаниям прибора ИДК;

$y_6$  – растяжимость клейковины, см;

$y_7$  – содержание белка, %;

$y_8$  – число падения, с;

$y_9$  – кислотность, °.

Например, в результате обработки полученных данных получено уравнение регрессии (7), связывающее критерий оптимизации – качество сырой клейковины со временем воздействия ( $x_1$ ), удельной тепловой мощностью СВЧ-энергоподвода ( $x_2$ ), толщиной слоя муки ( $x_3$ ). Анализ уравнения регрессии выявил, что между качеством сырой клейковины и входными параметрами существует средняя корреляция ( $R = 0,727$ ), уравнение регрессии достоверно ( $F_t > F_r$ ).

На рисунках 3-5 показаны частные зависимости значения качества сырой клейковины муки от входных параметров.

Из данных рисунка 3, 4 и 5 видно, что максимальное увеличение качества сырой клейковины по прибору ИДК на 31–41% по сравнению с контрольным образцом муки (качество клейковины становится соответствующим I группе) происходит при времени воздействия от 30 до 60 секунд, удельной тепловой мощности СВЧ-энергоподвода от 0,12 до 0,264 кВт/м<sup>3</sup>, толщины слоя муки от 20 до 30 мм, а также при сочетании минимальных и максимальных значений времени воздействия, удельной тепловой мощности СВЧ-энергоподвода и толщины слоя муки.

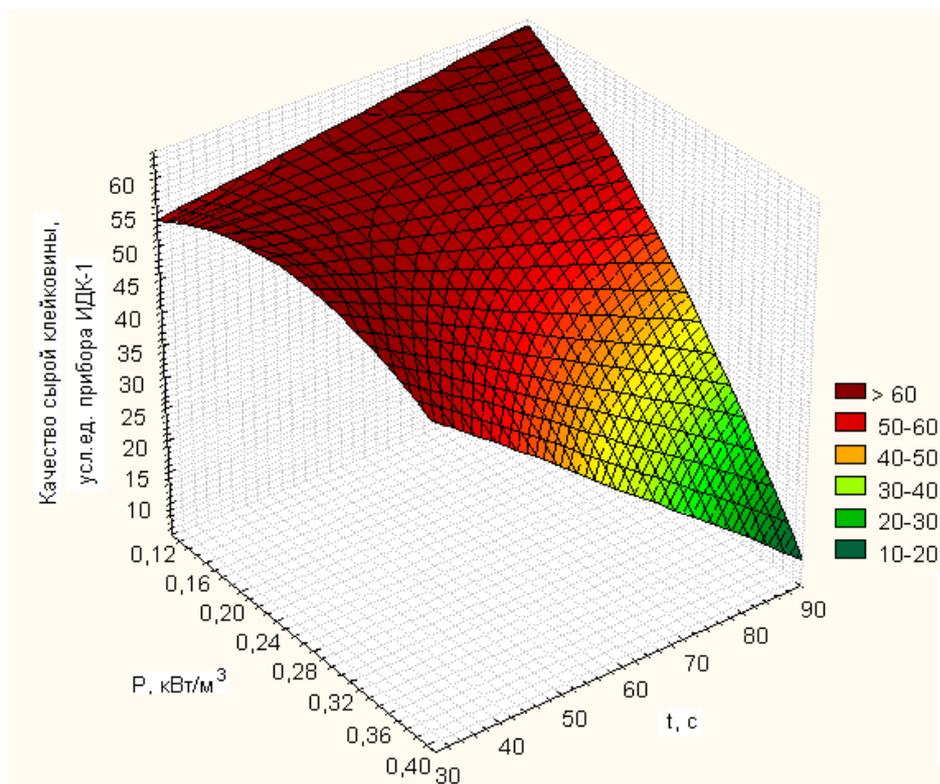


Рисунок 3. Зависимость качества сырой клейковины муки от времени воздействия и удельной тепловой мощности СВЧ-энергоподвода

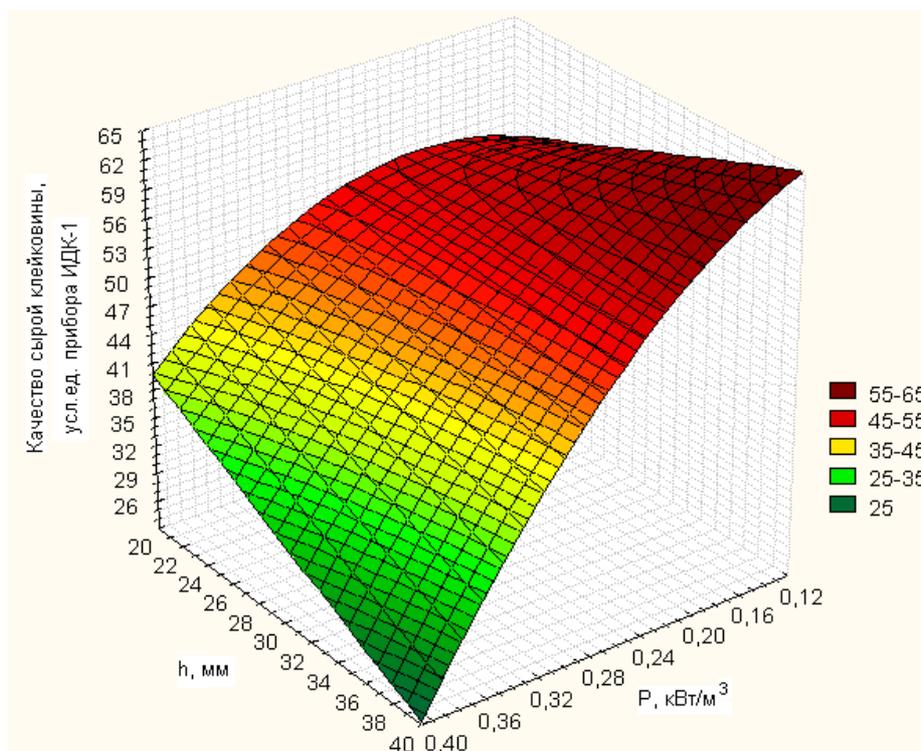


Рисунок 4. Зависимость качества сырой клейковины муки от удельной тепловой мощности СВЧ-энергоподвода и толщины слоя муки

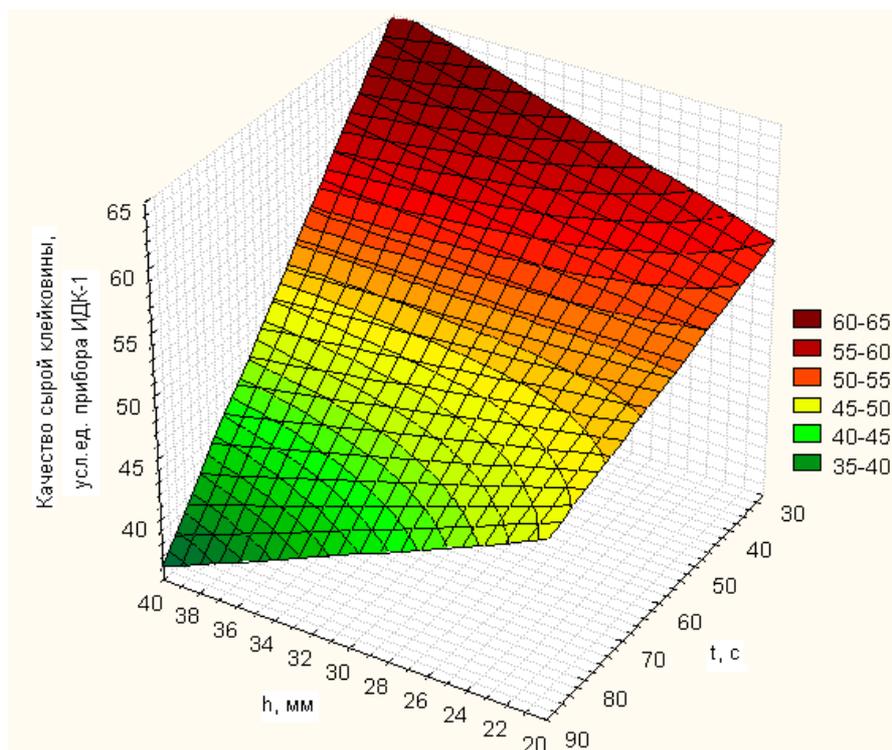


Рисунок 5. Зависимость качества сырой клейковины муки от времени воздействия и толщины слоя муки

В контрольном варианте мука имела удовлетворительную по качеству клейковину (II группа качества). При обработке муки при вышеперечисленных параметрах, она достигает температуры 38–51°C, происходит частичная денатурация белков, проявляющаяся в виде расслабления клейковины муки, полученной из суховейного зерна.

При обработке результатов исследования при помощи программы «MathCad14» получены предельные значения качества сырой клейковины в муке по прибору ИДК в диапазоне режимных параметров

$$\text{Minimize}(y, x_1, x_2, x_3) = (90; 0, 408; 40); y(x_1, x_2, x_3) = 0, \quad (12)$$

$$\text{Maximize}(y, x_1, x_2, x_3) = (30; 0, 224; 40); y(x_1, x_2, x_3) = 67, \quad (13)$$

Вычисленные предельные значения качества сырой клейковины согласуются с данными экспериментов по выявлению влияния режимных параметров СВЧ–обработки на качество сырой клейковины в муке.

Анализируя зависимости режимных параметров, можно отметить, что совместное сочетание близких к максимальным и максимальных значений входных параметров даёт эффект снижения качества сырой клейковины (удельной тепловой мощности СВЧ–энергоподвода  $0,3 \div 0,408$  кВт/м<sup>3</sup>, времени воздействия  $75 \div 90$  секунд, толщине слоя муки  $25 \div 40$  мм). При этих параметрах СВЧ–обработки температура муки достигает значений  $70\text{--}81^{\circ}\text{C}$ , белки клейковины подвергаются значительной денатурации, клейковина становится короткорвущейся, крошковатой, что позволяет отнести её III группе качества. Таким образом, применение этих режимов неприемлемо для использования при повышении качества пшеничной муки.

По приведенному выше алгоритму были просчитаны все параметры оптимизации (влажность муки, белизна, массовая доля сырой клейковины, содержание белка, растяжимость клейковины по линейке, число падения, кислотность муки) при обработке пшеничной муки в поле сверхвысокой частоты. Анализируя показатель зольности муки при проведении эксперимента, отмечено, что он меняется незначительно при варьировании входных параметров, поэтому он не был учтен в качестве параметра оптимизации.

Выявлены рациональные параметры обработки, при которых наблюдается улучшение физико-химических показателей качества пшеничной муки, таких как массовая доля и качество сырой клейковины, её растяжимость и число падения, а воздействие параметров СВЧ–поля на значения остальных показателей является минимальным (табл.1).

В контрольном варианте мука имела удовлетворительную по качеству клейковину, короткую по растяжимости. При рациональных параметрах СВЧ–обработки качество клейковины принимает оптимальные для применения в хлебопекарном производстве показатели: она соответствует I группе качества ( $55 \div 67$  единиц по показаниям прибора

ИДК), по растяжимости – средней, показатель числа падения снижается на 12–20%; при этом увеличивается содержание белка на 0,4–1%, а массовой доли сырой клейковины на 4–11%, показатель кислотности снижается на 5–8%; показатель белизны уменьшается незначительно – на 1–2,5%; показатель зольности практически не изменяется по сравнению с контрольным образцом, а влажность муки снижается по сравнению с контрольным образцом на 2–9%.

Таблица 1 – Рациональные параметры СВЧ–обработки пшеничной муки

Время обработки, с	Удельная тепловая мощность, кВт/м <sup>3</sup>	Толщина слоя муки, мм
90	0,12	20
30	0,264 ÷ 0,408	20
30÷90	0,12	30
30	0,264	30
30÷60	0,12	40
30	0,264	40

Повышение качества сырой клейковины пшеничной муки и её растяжимости при СВЧ–обработке обусловлено воздействием параметров поля сверхвысокой частоты на структуру муки, при рациональных параметрах мука нагревается до температуры 38÷51°C, клейковина при этом теряет упругость и становится более растяжимой. Уменьшение числа падения можно объяснить возможными изменениями в структуре крахмала, которые могут способствовать его увеличению атакуемости ферментами. Увеличение содержания белка и массовой доли сырой клейковины в муке может объясняться инактивацией протеолитических ферментов при нагревании муки, что способствует сохранению белка в опытных образцах муки. При этом белки клейковины в результате СВЧ–обработки лучше противостоят атаке ферментами. Таким образом, применение входных параметров в перечисленных выше пределах

способствует сохранности белковых веществ. Снижение показателя кислотности связано с ростом связи фосфорной кислоты с фитином и лецитином. Снижение показателей белизны муки и её влажности обусловлены термической обработкой в СВЧ–поле, где определяющим фактором является температура обработки. В результате потери влаги влажность муки уменьшается, в результате термического воздействия происходит незначительное озоление частиц муки, что приводит к снижению показателя белизны.

Также были произведены расчеты по экономическому обоснованию внедрения описанной технологии на технологическую линию по производству муки на предприятие ТОО «Байлык-2001» (г.Рудный, Республика Казахстан) с производительностью 7000 тонн в год, Рассчитаны капитальные затраты на внедрение технологии, подсчитан экономический эффект от внедрения – 7100 рублей в год, определена экономическая эффективность, составляющая 1,71 руб./руб., критический объем производства муки с внедрением технологии составит 3700 тонн, значение чистого дисконтированного дохода положительное и составляет за трехлетний период 116450,3 тыс. рублей.

Выводы:

1. Разработан способ обработки хлебопекарной пшеничной муки в установке с СВЧ–энергоподводом и проведена комплексная оценка влияния СВЧ–обработки на физико-химические показатели качества муки, полученной из суховейного зерна.

2. Теоретическими и экспериментальными исследованиями были установлены режимные параметры, от которых зависят критерии оптимизации: удельная тепловая мощность СВЧ–энергоподвода, время воздействия, толщина слоя муки.

3. После проведения экспериментов была проведена обработка полученных результатов при помощи дисперсионного и регрессионного

анализа, построены поверхности отклика с помощью их двухмерных сечений, определены предельные значения параметров оптимизации.

4. Найдены рациональные значения режимных параметров работы СВЧ–установки, позволяющие целенаправленно улучшать показатели качества пшеничной муки, полученной из суховейного зерна для использования её в хлебопекарном производстве.

5. Расчеты технико-экономических показателей показывают рациональность использования данной технологии в условиях функционирования на технологической линии по производству пшеничной муки из суховейного зерна.

#### Список литературы

1. Адлер, Ю.П., Маркова Е.В., Ю.В. Грановский Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий – М.: Наука, 1976. – 279 с.
2. Ауэрман, Л.Я. Технология хлебопекарного производства: Учебник – 9–е изд.; перераб. и доп. – СПб: Профессия, 2003. – 416 с.
3. Быстрова А., Токарева Г. Применение улучшителей на хлебопекарных предприятиях// Хлебопродукты. – 2003. – №12. – С. 34–35.
4. Гинзбург А.С., Избасаров Д.С. Теория, технология и техника сушки пищевых продуктов: Учебник для вузов – Алматы: Гылым, 1998. – 438 с.
5. ГОСТ Р 52189-2003. Мука пшеничная. Общие технические условия. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. – 7 с.
6. Демьяненко В. Модернизация как залог безопасности [Электронный ресурс]//Российская независимая аграрная газета «Земля и жизнь». 2010. 1-15 окт. URL: <http://www.zemlya-i-zhizn.ru/cgi-bin/zizhss.pl?action=0&o=87&f=20> (дата обращения: 29.12.2010).
7. Елисеева С.И. Сырьё и материалы хлебопекарного производства: Учеб.пособие для сред.проф.-техн.училищ. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982 – 104с.
8. Казаков Е.Д., Карпиленко Г.П. Биохимия зерна и хлебопродуктов – 3–е изд. перераб. и доп. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 512 с.
9. Рогов И.А., Некрутман С.В., Лысов Г.В. Техника сверхвысокочастотного нагрева – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 198с.
10. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов – М.: Машиностроение, 1981. – 184 с.
11. Цыганова Т.Б. Технология хлебопекарного производства: учебное пособие для сред. проф. образования – М.: ПрофОбрИздат, 2002. – 432 с.
12. Юсупова Г.Г., Применение энергии СВЧ-поля для обеспечения безопасности и улучшения качества продуктов растительного происхождения /Г.Г. Юсупова, Ю.И. Зданович, Э.И. Черкасова // Хранение и переработка сельхозсырья. 2005. №7. – С. 27–29.