

Известно, что одним из важнейших критериев разработки функциональных продуктов является их безопасность. Функциональные продукты должны нести в себе повышенное содержание определенного вещества, но оно не должно превышать предельно допустимых пределов.

Для ежедневного сбалансированного поступления в организм питательных по калорийности веществ ВОЗ предлагает таблицу учета количества потребляемой пищи, согласно которой человек должен потреблять от 90 до 130 г крупы ежедневно [2]. Однако в соответствии с СанПиН 2.3.2.1078-01 крупяной продукт является обогащенным тогда, когда в 50 г содержится от 15 до 50% [3]. Известно, что суточная норма железа составляет 10-30 мг [4]. Делаем вывод по таблице 3: при потреблении 50 г обогащенной крупы человек получит железа примерно в 2,5 раза больше, чем если бы он использовал в пищу обычный продукт, но в то же время он удовлетворит свою суточную норму в среднем на 20%. Что входит в интервал от 10 до 30% – интервал, отвечающий за то, что продукт является функциональным, но не является токсичным, и в то же время содержание железа соответствует требованиям СанПиН [5, 6].

Таким образом, проведенные исследования доказали изменение качественных характеристик крупяных продуктов под воздействием ультразвукового поля и сопутствующего эффекта кавитации.

Выводы

1. В настоящее время по всему миру наблюдается повышенный интерес к функцио-

нальным продуктам, из чего следует, что разработка новых продуктов актуальна.

2. Крупяные продукты являются идеальным сырьем для производства функциональных продуктов.

3. Продолжительное воздействие ультразвука негативно влияет на продукт, для технологического процесса надо использовать режим с наименьшим воздействием.

4. 10 мин. обработки в ультразвуковом поле вполне достаточно, так как за первые 10 мин. крупа набирает в себя в 10 раз больше, чем за следующие 20 мин.

5. При потреблении обогащенного крупяного продукта согласно рекомендациям ВОЗ он удовлетворяет суточную норму в железе примерно на 20% и имеет право называться функциональным продуктом.

Библиографический список

1. Чубенко Н.Т. Хлеб в профилактике заболеваний населения // Хлебопечение России. – 2008. – № 5. – С. 4-5.
2. Типсина Н.Н., Варфоломеева Т.Ф., Эйснер О.О. Энергия ржи для здоровья человека // Вестник КрасГАУ. – 2012. – № 6. – С. 202-205.
3. СанПиН 2.3.2.1078-01.
4. <http://www.nazdor.ru/topics/food/products/current/449235/>.
5. ГОСТ Р 52349-2005 «Продукты пищевые функциональные».
6. Никберг И.И. Функциональные продукты в структуре современного питания // Эндокринологический журнал. – 2011. – № 6. – С. 64-69.



УДК 631.363

А.А. Наймушин

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА НА ЗУБЧАТО-РОЛИКОВОМ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕ

Ключевые слова: модель размола зерна, роторный измельчитель, энергия связи, новые рабочие органы.

Введение

При выработке продуктов из зерна на дробление и измельчение расходуется до 70% электроэнергии, затрачиваемой всеми технологическими машинами линии.

Технологические свойства зерна являются определяющими критериями качества и выхода готовой продукции. Их улучшение

влияет на минимизацию удельных производственных энергозатрат, а также долю выработки продукции более высокого качества.

Изучению прочности и механического разрушения зернового материала посвящено множество оригинальных работ, в которых основной акцент сделан на теорию прочности зерна и механизм его разрушения (кинетика разрыва молекулярных связей при упругопластичных деформациях, образование и рост трещин, релаксация напряжений и т.д.) [1].

Уже более 150 лет учёные бьются над поиском наилучшего способа дробления и измельчения зерновых материалов. За этот период времени были выявлены закономерности этих процессов, а также разработаны методики расчёта технологических циклов помола и промышленных мельниц. В настоящее время наиболее интересными являются законы измельчения Кика, Риттингера и Бонда, они по-прежнему остаются темой дискуссий в поисках универсальных законов измельчения, учитывающих эмпирические соотношения между затратами энергии и дисперсностью измельчаемых материалов.

Однако ни одна из теорий Кика, Риттингера и Бонда в полной мере не описывает область тонкого и сверхтонкого диспергирования, и тем более ни одна из них не учитывает влияние множества факторов на процесс и энергетику разрушения [1-3]. Исследования, выполненные в последние деся-

тилетия, так и не изменили данную ситуацию.

Цель работы – изучение процесса разрушения зернового материала на зубчато-роликовом измельчителе.

Задачи исследования:

1) провести теоретическое исследование процесса измельчения зерна на разработанном зубчато-роликовом измельчителе, с учётом исследованной ранее теории измельчения [4];

2) провести сравнительный анализ удельной энергоёмкости нового измельчителя с ближайшими машинами-аналогами.

Модель размола. Теоретическая модель размола зернового материала, позволяющая рассмотреть процесс получения определённой фракции продуктов размола с точки зрения макроскопической механики, а также учитывающая ориентацию зерновок в мелющем зазоре измельчителя, описывается следующим выражением [5]:

$$E_{изм.} = \frac{M}{\rho f_v D_{cp.}^3} \cdot \left(\frac{qu f_s D_{cp.}^2 (D_{cp.} - D)}{S f D} + \beta \cdot \left(\frac{G K^2 \rho \ln \left(\frac{D_{cp.}}{2K} \right)}{4\pi(1-\nu)} \right) \cdot \frac{f_s D_{cp.}^2 (D_{cp.} - D)}{D} \right), \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \quad (1)$$

где $M = 0,001 \text{ кг}$ – масса 25-30 зёрен пшеницы;

$G = 0,165 \text{ GPa}$ – модуль сдвига;

f_s – формофакторы площади поверхности (для сферических частиц $f_s = \pi$);

$D_{cp.} = 0,0038 \text{ м}$ – средний диаметр частиц размола;

$S f = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ – площадь плоскости относительного перемещения зерен эндосперма в зерновке относительно её скелета;

$qu = 17,43 \cdot 10^{-8} \text{ Дж}$ – энергия, затрачиваемая на разрыв молекулярных связей между крахмальными гранулами эндосперма зерна (определяется опытным путём на экспериментальной установке);

$f_v = \pi/6$ (формофакторы поверхности зерна); $D = 0,001 \text{ м}$ – средний диаметр частиц размола;

$K = 0,14 \cdot 10^{-6}$ – коэффициент смещения крахмальных зёрен эндосперма пшеницы [6];

$\nu = 0,3$ – коэффициент Пуассона для зерна пшеницы;

$\rho = 780 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$ – плотность зерна пшеницы;

$\beta = 100$ – коэффициент пропорциональности.

Формула (1) связывает энергию измельчения со средним размером частиц $D_{cp.}$, получаемых в результате размола исходной зерновой смеси.

Так как размол производится в автоматическом режиме в рабочем зазоре пары валец-ротор нового зубчато-роликового измельчителя, роторы которого вращаются с постоянной заданной скоростью, то время, затраченное на измельчение продукта в мелющем зазоре машины, есть величина постоянная ($t = const$).

Величины $\rho, f_v, f_s, u, q, \beta, G, \nu, K$ для зерна пшеницы являются фиксированными, энергия размола пропорциональна продолжительности размола t , а размер конечных частиц размола является функцией продолжительности процесса измельчения t и массы зернового материала M , поэтому выражение (1) можно преобразовать к виду:

$$E_{изм.}(t) = \frac{M}{\rho f_v D_{cp}^3} \cdot \left(\frac{qu f_s D_{cp}^2 (D_{cp} - D(t, M))}{S_f D(t, M)} + \beta \cdot \left(\frac{G K^2 \rho \ln \left(\frac{D_{cp}}{2K} \right)}{4\pi(1-\nu)} \right) \cdot \frac{f_s D_{cp}^2 (D_{cp} - D(t, M))}{D(t, M)} \right). \quad (2)$$

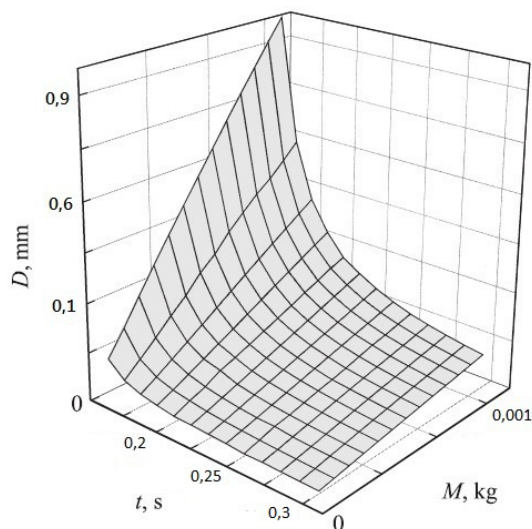


Рис. 1. Теоретическая зависимость $D_{теор.}(t, M)$, размера частиц размола зерна пшеницы, от массы M исходного зернового материала и продолжительности размола t

Подставляя исходные параметры в выражение (2), построим теоретическую зависимость среднего размера частиц размола зернового материала D от продолжительности размола t и исходной массы M . Зависимость $D_{теор.}(t, M)$, рассчитанная по формуле (2) с учётом теоретических параметров: начального размера частиц $D_{cp} = 0,0038$ м, коэффициента смещения K , энергии u , необходимой для разрыва молекулярных связей в зерне, представлена на рисунке 1. Видно, что размер частиц D тем меньше, чем больше продолжительность размола t , меньше масса M исходного размалываемого зернового материала и меньше размер D_{cp} исходных частиц размола.

Наиболее интенсивное уменьшение размера частиц наблюдается на начальном этапе, когда продолжительность размола t во впадине валец-ротор измельчителя не превышает $t = 0,2$ с. При дальнейшем увеличении длительности размола и фиксированной исходной массе M зернового материала, зависимость $D(t, M)$ асимптотически стремится к некоторому предельному значению.

Сопоставление эксперимента и модели.

Для сравнения предлагаемой модели с экспериментом был изучен размол исходного зерна ГОСТ 29143-91 со средним размером зёрен пшеницы $D_{cp} = 0,0038$ м и влажностью 14%.

Размол производили на измельчителе зубчато-роликового типа для зерна, сконструированного на кафедре МАПП Донского государственного технического университета. Функциональная схема рабочего органа машины представлена на рисунке 2.

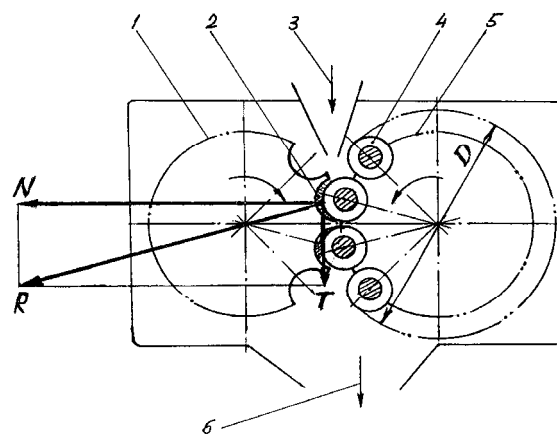


Рис. 2. Схема рабочего органа зубчато-роликового измельчителя:
1 – ротор; 2 – рабочий зазор;
3 – исходный материал; 4 – ролики;
5 – активный ротор;
6 – измельченный продукт

Исходный материал 3 дозированно поступает в цилиндрические впадины пассивного ротора 1 и измельчается при сжатии и прокатке роликами 4 активного ротора 5, приводимого во вращение от электродвигателя (рис. 2). Изменением соотношения радиусов впадин пассивного ротора и диаметров роликов по отношению к описанному диаметру D активного ротора, можно целенаправленно изменять продолжительность и длину пути обработки продукта с выбором оптимальных показателей по извлечению мелких фракций и энергоёмкости процесса.

При проведении эксперимента во впадину пассивного ротора помещалась порция исходного зерна пшеницы в количестве от 25 до 30 шт. (масса от 0,8 до 1 гр.) или порция продуктов размола с тем же весом. Диапазон установки зазоров: 1,0; 0,5; 0,25 мм. Средневзвешенный диаметр и гранулометрический состав измельченных

частиц определялся по результатам ситового анализа по общепринятым методикам комбикормового и мукомольного производства. В опытах применялся блок из трех стандартных сит следующих размеров: верхнее сито № 09, среднее сито № 06, нижнее сито № 028.

Для определения энергии, затраченной на разрушение зернового материала во впадине валец-ротор нового зубчато-роликового измельчителя, была разработана экспериментальная установка, представляющая собой маятник, один конец которого жёстко закреплён на валу активного ротора машины, принципиальная схема которой представлена на рисунке 3, где α – угол поднятия маятниковой поверхности; β – угол отклонения маятниковой поверхности после размола; $a = 1$ мм, $a = 0,5$ мм, $a = 0,25$ мм – зазоры между парой валец ротор; $l = 0,065$ м – длина дуги измельчающего ролика в зоне захвата продукта; $m = 2$ кг – масса маятника; $h = 0,5$ м – длина маятника; H_1 – высота поднятия маятниковой поверхности; H_2 – высота подъёма маятника после разрушения зерна.

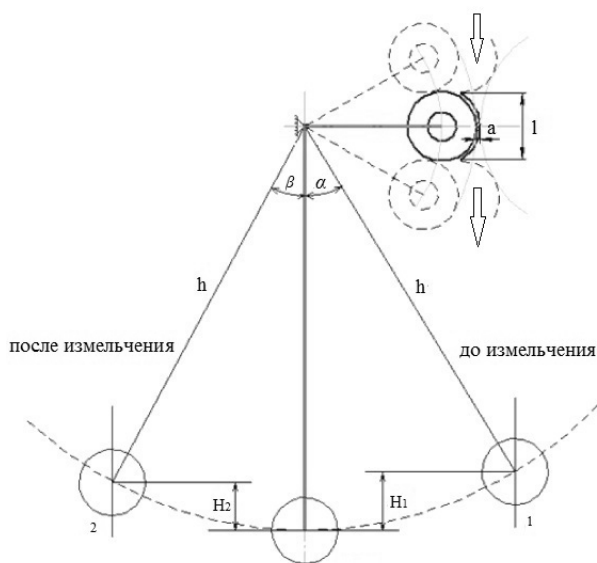


Рис. 3. Схема для определения энергетических затрат

Чистая работа, затраченная на разрушение зерна, определялась по выражению:

$$A = (A_{затр} - A_{xx}) / n, \quad (3)$$

где $A_{затр}$ – работа, затраченная на разрушение зерновок, Дж;

A_{xx} – работа, затраченная на преодоление вредных сопротивлений;

Дж; n – количество зёрен в мелющем зазоре впадины валец-ротор, шт.

Общая работа, затраченная на разрушение зерновок, определялась как:

$$A = mg(H_1 - H_2) = mgL_c(\cos \beta - \cos \alpha), \quad (4)$$

где $L_c = 0,3976$ – расстояние от оси качения маятника до центра тяжести, м;

β – угол подъёма маятника после разрушения зерна, град;

α – угол зарядки маятника, град.;

m – масса маятника, кг;

H_1 – высота поднятия маятниковой поверхности, м;

H_2 – высота подъёма маятника после разрушения зерна, м;

$g = 9,81$ – ускорение свободного падения, м/с².

Работа, затраченная на преодоление вредных сопротивлений системы, равна:

$$A_{xx} = mgL_c(\cos \beta_0 - \cos \alpha), \quad (5)$$

где β_0 – угол подъёма маятника на холостом ходу, град.;

α – угол зарядки маятника, град.;

Линейная скорость определялась по формуле:

$$V = \sqrt{2gL_c(1 - \cos \alpha)}. \quad (6)$$

Тогда удельная работа, затрачиваемая на измельчение 1 зерновки, равна:

$$A_{уд.изм.} = A/25, \quad (7)$$

Результаты опытов по определению энергоёмкости процесса измельчения зернового материала во впадине валец-ротор зубчато-роликового измельчителя представлены на рисунке 4.

Диапазон установки зазоров: 1,0; 0,5; 0,25 мм.

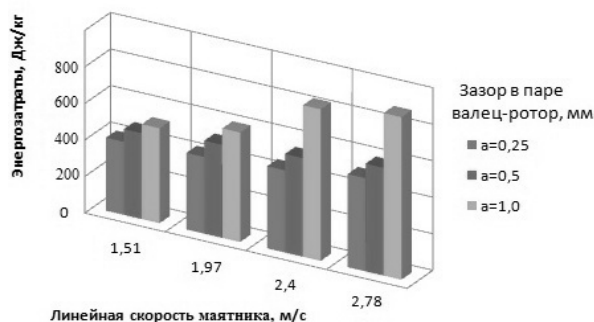


Рис. 4. Энергоёмкость процесса измельчения зернового материала в зависимости от зазора, установленного в зоне измельчения и линейной скорости маятника, Дж·кг⁻¹

Результаты и их обсуждение

На рисунке 4 видно, что минимальное значение энергетических затрат процесса измельчения зернового материала во впадине валец-

ротор зубчато-роликового измельчителя отмечается при линейной скорости маятника 1,51 м/с и повторных проходах продукта зоны измельчения. Это объясняется тем, что разрушение тела зерновки начинается при достижении в её объёме критической величины напряжений δ_{\max} при данном виде деформации. Энергия, необходимая для разрыва молекулярных связей в зерне, возрастает от нуля, при $t = 0$, до величины E_{\max} . Анализ механики движения рабочих органов измельчителя, выполненный ранее, показывает, что измельчение зерновок в клиновидном зазоре пары валец-ротор происходит преимущественно по их толщине, бороздкой вверх либо вниз. Это позволяет мелющим роликам активного ротора производить измельчение зерен по бороздке – наиболее слабому своему сечению, что создаёт благоприятные условия для максимального их раскрытия и более интенсивного воздействия на них рабочих органов измельчителя [6].

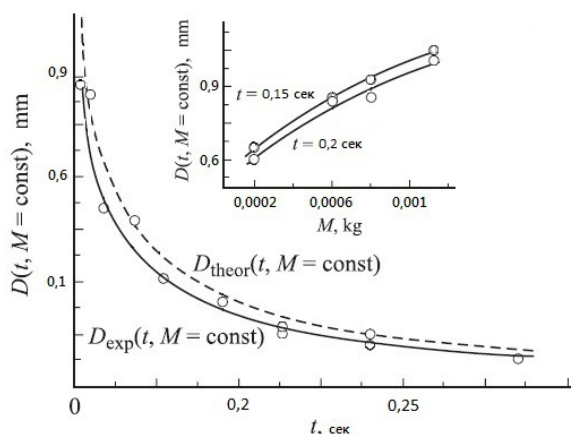


Рис. 5. Зависимость среднего размера частиц размола D от продолжительности размола t и массы продукта M в паре валец-ротор зубчато-роликового измельчителя.

Теоретическая зависимость $D_{\text{теор}}(t)$ показана пунктиром

Как следует из рисунка 5, при использованных параметрах размола быстрое уменьшение частиц происходит на начальном этапе, когда продолжительность взаимодействия рабочих органов измельчителя с зерном не превышает $t = 0,2$ с. При дальнейшем увеличении скорости маятника, до 2,78 м/с, наблюдается повышенный расход энергии, необходимой для размола продукта. Это объясняется тем, что наравне с резким уменьшением размера частиц D , при одинаковой продолжительности размола, происходит интенсивный рост микронапряжений. Этому способствует агломера-

ция молекулярно-плотных частиц размола, устойчивых к внешним воздействиям, и для разделения которых требуется дополнительная энергия [7]. Для того чтобы оптимизировать энергозатраты и исключить предельный нагрев зерна при измельчении, необходимо, чтобы кинетическая энергия была минимальной. Для этого надо деформацию зерновок производить достаточно медленно, постепенно увеличивая внешние силы, чтобы в любой момент времени каждая часть зерновки находилась в состоянии равновесия. Таким образом, увеличивая время t и путь воздействия рабочих органов на продукт размола в паре валец-ротор сконструированного зубчато-роликового измельчителя и контролируя энергию $E_{\text{изм.}}$ необходимую для измельчения зерна, можно не только снизить энергозатраты, но и увеличить качество конечных продуктов [7].

Заключение

Зависимость $D_{\text{теор}}(t, M = \text{const})$, рассчитанная по выражению (2) с учётом теоретических значений $E_{\text{изм.}}$ и qu , лежит несколько выше экспериментальной зависимости (рис. 5). Наблюдаемое расхождение результатов эксперимента и расчёта обусловлено приближенным значением величины qu и эмпирических коэффициентов f_V, f_S и K . Расхождение теоретически оценённых параметров $E_{\text{изм.}}$, D и $D_{\text{ср.}}$ со значениями, найденными экспериментально, является вполне удовлетворительным и не превышает 10%.

Анализ экспериментальных данных показывает следующее.

1. Зубчато-роликовый измельчитель обеспечивает заданное качество измельчения зерна пшеницы и равномерный помол, соответствующий ГОСТ 8770-58 при трёхкратном пропуске продуктов измельчения через машину. Энергозатраты на измельчение составляют от 520 до 390 $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$, в зависимости от технологического зазора в паре валец-ротор машины и повторных проходов продуктов размола зоны измельчения. Анализ энергопотребления существующих жерновых и вальцовых размольных станков показывает, что энергозатраты на измельчение 1 кг зернового материала, с учётом заданных степени и качества измельчения, составляют порядка $5,9 \cdot 10^4 \div 116 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1}$ [8]. Таким образом, процесс разрушения зернового материала при помощи зубчато-роликового измельчи-

теля является менее энергозатратным, и его использование экономически обосновано.

2. Процесс измельчения является наиболее рациональным при вращении роторов машины с постоянной угловой скоростью $\omega = 15,1 \text{ с}^{-1}$, в диапазоне установки мелющих зазоров: 1,0; 0,5; 0,25 мм и продолжительности взаимодействия рабочих органов измельчителя (пары валец-ротатор) с продуктами размола не более $t \approx 0,2 \text{ с}$. Оптимальное количество исходного зерна пшеницы во впадине валец-ротатор измельчителя составляет от 15 до 30 шт. (масса от 0,5 до 1 г) или порция продуктов размола в том же объеме.

Выводы

Предложенная теоретическая модель размола зернового материала на зубчато-роликовом измельчителе позволяет перейти от эмпирического подбора условий размола к теоретическому определению параметров размола исходя из физических характеристик исходного материала.

Сконструированный рабочий орган, учитывающий пути совершенствования размола зернового материала с учётом исследованной теории измельчения позволяет сократить количество размолотых за счёт увеличения контакта рабочих органов измельчителя с зерном и, следовательно, уменьшает энергоёмкость процесса измельчения в целом, повышает качество продуктов измельчения, учитывая оптимальное значение энергии $E_{изм.}$ необходимой для разрыва молекулярных связей в зерновке. Также

стоит отметить, что разработанный зубчато-роликовый измельчитель позволяет производить размол зерновок в клиновидном зазоре пары валец-ротатор преимущественно по их толщине, бороздкой вверх либо вниз, что создаёт благоприятные условия для максимального их раскрытия и более интенсивного воздействия на них рабочих органов измельчителя, с целью максимального извлечения эндосперма.

Библиографический список

1. Schonert K. Advances in the physical fundamentals of comminution. In: Advances in mineral. – Processing, 1986. – Littleton. – P. 28.
2. Ходаков Г.С. Коллоидн. журн. – 1994. – Т. 56. – № 1. – С. 113.
3. Ходаков Г.С. Физика измельчения. – М.: Наука, 1972. – 240 с.
4. Наймушин А.А. Инновационные разработки для АПК // Инженерное обеспечение инновационного развития с.-х. производства: сб. науч. тр. 8-й Междунар. науч.-практ. конф. – Зерноград, 2013.
5. Наймушин А., Хозяев И.А. Состояние и перспектива развития сельскохозяйственного машиностроения: матер. 5-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2012». – Ростов н/Д.
6. Куприц Я.Н. Физико-химические основы размола зерна. – 1946. – 40 с.
7. Егоров Г.А. Технологические свойства зерна. – М.: Агропромиздат, 1985. – 45 с.
8. Чеботарев О.Н., Шаззо А.Ю., Мартыненко Я.Ф. Технология муки, крупы и комбикормов. – М.: ИКЦ «Март»; Ростов-н/Д, 2004.



УДК 636.2.034:547.963.2:/575.074.015.3+637.13

Г.М. Гончаренко,
Т.С. Горячева,
Н.М. Рудишина,
Н.С. Медведева,
Е.Г. Акулич

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СЫРОПРИГОДНОСТИ МОЛОКА СИММЕНТАЛЬСКОЙ И КРАСНОЙ СТЕПНОЙ ПОРОД С УЧЁТОМ ГЕНОТИПОВ ГЕНА k-КАЗЕИНА

Ключевые слова: генотип, k-казеин, свёртываемость молока, сыропригодность, молочная продуктивность, общий белок, симментальская порода, красная степная порода.

Введение

Молоко коров разных пород отличается не только физико-химическими свойствами, содержанием жира, белка, но и сыродельческими качествами, которые, как показы-