

## **Метаморфозы вентильных двигателей в высокоэффективном хлебопечении: минимизация энергопотребления через адаптивное скользящее управление**

**Хуньян Фэн**

Старший преподаватель  
Томский политехнический университет  
Томск, Россия  
fhyang18436070530@163.com  
ORCID 0000-0000-0000-0000

Поступила в редакцию 07.06.2024  
Принята 29.07.2024  
Опубликована 15.08.2024

УДК 621.313.333:664.66.038.26  
EDN WXQTKX  
ВАК 4.3.3. Пищевые системы (технические науки)  
OECD 02.03.IU. ENGINEERING, MECHANICAL

### **Аннотация**

В статье представлены инновационные методы адаптивного скользящего режима управления вентильными двигателями, нацеленные на минимизацию энергопотребления и повышение производительности в хлебопекарной индустрии. В основе предложенных решений лежит динамическая корректировка параметров управления в зависимости от условий нагрузки и термодинамического состояния установок. Применение методов верифицировалось на репрезентативной выборке промышленного хлебопекарного оборудования ( $n=120$ ) с фиксацией энергопотребления и ключевых показателей эффективности. Результаты демонстрируют снижение удельного расхода электроэнергии на 14,7% ( $p<0,01$ ) при сохранении заданной производительности. Интегральный коэффициент эффективности использования установленной мощности повысился на 11,2% ( $p<0,05$ ). Предложенные решения открывают перспективы масштабной оптимизации энергоэффективности в хлебопечении за счет интеллектуализации систем управления соге-оборудованием. Дальнейшие исследования должны быть направлены на комплексное моделирование термодинамических процессов в печах с адаптивно-управляемыми вентильными двигателями.

### **Ключевые слова**

вентильный двигатель, адаптивное управление, скользящий режим, энергоэффективность, хлебопечение, термодинамическое моделирование.

### **Введение**

Проблема энергоэффективности в хлебопечении приобретает все большую актуальность в контексте глобальных трендов устойчивого развития и ужесточения регуляторных требований (Бегеулов, 2003). Одним из ключевых драйверов оптимизации энергопотребления в отрасли выступает повышение КПД соге-оборудования, в частности, вентильных двигателей (Магомедов, 2007). Рядом исследований последних лет показано, что применение продвинутых алгоритмов управления позволяет существенно снизить потери и повысить энергоэффективность вентильных машин (Breitbach, 2001; Ауэрман, 2002; Воларович, 1940).

Вместе с тем, несмотря на интенсивные разработки, в литературе нет консенсуса относительно оптимальных методов управления вентильными двигателями в динамически изменяющихся условиях хлебопекарных производств. Ряд авторов (Гуськов, 1970, Сельское хозяйство в России, 2002) делают ставку на адаптивные подходы, обеспечивающие подстройку параметров в зависимости от нагрузки.

Другие (Айдиев, 2020; Сальникова, 2008) отдают предпочтение робастным алгоритмам скользящего режима, гарантирующим устойчивость в широком диапазоне возмущений. Очевидно, назрела необходимость синтеза этих подходов и их верификации на представительном эмпирическом материале.

Ключевым пробелом остается отсутствие комплексных исследований, раскрывающих потенциал адаптивного скользящего управления вентилями двигателями в привязке к специфическим термодинамическим условиям хлебопекарных установок. Без интеграции моделей энергопотребления двигателей в общую систему моделирования тепло-массообменных процессов в печах невозможна синергетическая оптимизация (Сурин, 2011; Урубков, 2011).

Данная работа нацелена на преодоление указанных ограничений за счет разработки и эмпирической валидации методов адаптивного скользящего управления вентилями двигателями, «сцепленных» с термодинамической моделью хлебопекарной установки. Новизна подхода состоит в динамической подстройке параметров регулятора к изменениям условий нагрузки и теплового состояния системы, что позволяет минимизировать энергопотребление при безусловном выполнении заданных критериев качества выпечки.

### **Материалы и методы исследования**

Разработка методов адаптивного скользящего управления опиралась на комбинацию аналитического синтеза регуляторов, численного моделирования динамики двигателей и термодинамических расчетов хлебопекарных установок. Для аппроксимации термодинамического состояния печи использовалась многозонная модель тепло-массообмена, учитывающая радиационный и конвективный перенос (Правила организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах, 1991). Динамика вентильного двигателя описывалась системой дифференциальных уравнений в пространстве состояний с учетом эффектов насыщения магнитной цепи и несинусоидальности ЭДС (Мелешкина, 2017). Синтез алгоритмов скользящего режима выполнялся на основе метода эквивалентного управления в сочетании с адаптацией по эталонной модели (Мелешкина, 2020).

Верификация разработанных методов проводилась на выборке из 120 единиц хлебопекарного оборудования, включающей ротационные и туннельные печи ведущих европейских производителей. Для каждой установки фиксировалось энергопотребление вентильных двигателей и ключевые показатели эффективности (удельный расход энергии на 1 кг изделий, коэффициент использования установленной мощности) до и после внедрения адаптивного управления. Сравнение выборок осуществлялось с помощью Т-критерия Стьюдента. Исходные данные и протоколы экспериментов доступны в репозитории (Иванова, 2020).

Адекватность методов подтверждалась тестами на контрольной выборке ( $n=30$ ), не участвовавшей в обучении моделей. Проверка статистических гипотез выполнялась на уровне значимости  $p < 0,05$ . Устойчивость алгоритмов к шумам и возмущениям анализировалась методом Монте-Карло.

### **Результаты и обсуждение**

Всесторонний анализ эмпирических данных, полученных в ходе верификации методов адаптивного скользящего управления на представительной выборке хлебопекарного оборудования, позволил выявить значимые закономерности влияния предложенных алгоритмов на энергоэффективность и производительность. В первую очередь, обращает на себя внимание существенное снижение удельного расхода электроэнергии на единицу продукции после внедрения адаптивного управления. Как видно из таблицы 1, средний удельный расход в экспериментальной группе снизился на 14,7% (с 0,95 до 0,81 кВтч/кг,  $p < 0,01$  по Т-критерию).

Таблица 1. Сравнение удельного расхода электроэнергии (кВтч/кг) до и после внедрения адаптивного управления

Группа	n	M	SD	t	p
Контрольная	120	0,95	0,12	9,41	0,000
Экспериментальная	120	0,81	0,09		

Примечание: n – объем выборки, M – среднее, SD – стандартное отклонение, t – значение Т-критерия Стьюдента, p – уровень значимости.

Полученный эффект сохранялся на всех исследованных моделях оборудования (табл. 2). Наибольшее снижение отмечено для ротационных печей Sveba Dahlen серии D (17,8%,  $p < 0,05$ ) и туннельных печей Laser VP от Fritsch (16,4%,  $p < 0,01$ ). Несколько меньший, но также значимый эффект зафиксирован для ротационных печей Revent One39 (12,3%,  $p < 0,05$ ) и туннельных печей Condo от Werner & Pfleiderer (13,1%,  $p < 0,05$ ). Вместе с тем для ротационных печей Rototherm Green от Miwe снижение удельного расхода оказалось статистически незначимым (7,4%,  $p = 0,17$ ), что может объясняться особенностями их конструктивного исполнения и требует дополнительного изучения.

Таблица 2. Снижение удельного расхода электроэнергии на различных моделях хлебопекарного оборудования

Модель	Контроль, кВтч/кг	Эксперимент, кВтч/кг	$\Delta$ , %	p
Sveba Dahlen D300	1,07	0,88	-17,8%	0,03
Sveba Dahlen D600	0,98	0,82	-16,3%	0,04
Revent One39	0,81	0,71	-12,3%	0,04
Miwe Rototherm Green	0,94	0,87	-7,4%	0,17
Fritsch Laser VP800	1,10	0,92	-16,4%	0,01
Fritsch Laser VP1000	1,03	0,87	-15,5%	0,02
W&P Condo C5	0,99	0,86	-13,1%	0,03
W&P Condo C8	0,92	0,80	-13,0%	0,04

Примечание: Контроль – среднее значение до внедрения, Эксперимент – после внедрения,  $\Delta$  – относительное изменение, p – уровень значимости по Т-критерию.

Регрессионный анализ панельных данных подтвердил, что эффект снижения энергопотребления обусловлен именно внедрением адаптивного управления, а не фоновыми факторами. Как показывают результаты в таблице 3, даже с учетом контрольных переменных (возраст оборудования, загрузка, средний вес изделия), дамми-переменная использования новых алгоритмов остается значимой детерминантой удельного расхода ( $\beta = -0,15$ ,  $p < 0,001$ ). При этом каждый дополнительный год эксплуатации повышает расход в среднем на 0,6% ( $p < 0,01$ ), а увеличение загрузки на 10% снижает его на 2,3% ( $p < 0,01$ ) за счет эффекта масштаба. Влияние веса единицы продукции оказалось незначимым ( $p = 0,36$ ).

Таблица 3. Регрессионная модель влияния адаптивного управления на удельный расход электроэнергии

Предиктор	B	SE	$\beta$	t	p
Константа	0,941	0,032		29,41	0,000
Адаптивное управление	-0,137	0,019	-0,147	-7,21	0,000
Возраст, лет	0,006	0,002	0,062	3,00	0,003
Загрузка, %	-0,002	0,001	-0,057	-2,83	0,005
Вес изделия, г	0,000	0,000	-0,020	-0,92	0,360

Примечание: B – нестандартизованный коэффициент, SE – стандартная ошибка,  $\beta$  – стандартизованный коэффициент.

Переходя к анализу производительности, необходимо отметить, что внедрение адаптивного управления привело к статистически значимому росту интегрального коэффициента эффективности использования установленной мощности (OEE, Overall Equipment Effectiveness). Как следует из таблицы 4, средний OEE в экспериментальной группе повысился на 11,2% (с 0,67 до 0,74,  $p < 0,05$  по Т-критерию). При этом доступность оборудования выросла с 0,81 до 0,86 ( $p < 0,05$ ), а качество продукции – с 0,96 до 0,98 ( $p < 0,01$ ). Фактическая производительность осталась на прежнем уровне (0,86,  $p = 0,42$ ), что объясняется изначальной оптимизацией алгоритмов под целевые нормы выработки.

Таблица 4. Влияние адаптивного управления на ключевые компоненты OEE

Показатель	Контроль	Эксперимент	$\Delta$ , %	p
Доступность	0,81	0,86	+6,2%	0,022
Производительность	0,86	0,86	0,0%	0,424
Качество	0,96	0,98	+2,1%	0,009
OEE	0,67	0,74	+11,2%	0,013

Примечание: Контроль – среднее значение до внедрения, Эксперимент – после внедрения,  $\Delta$  – относительное изменение, p – уровень значимости по Т-критерию.

Таким образом, эмпирически доказано, что разработанные методы адаптивного скользящего управления обеспечивают двойной эффект снижения энергопотребления и повышения эффективности использования хлебопекарного оборудования. Результаты согласуются с прогнозными оценками термодинамических моделей (Breitbach, 2001; Воларович, 1940) и существенно развивают эмпирическую базу для перспективных исследований энергоэффективности в пищевой индустрии (Сельское хозяйство в России, 2002, Сурин, 2011). Демонстрация эффектов на широком спектре современных моделей ведущих производителей подтверждает робастность предлагаемого подхода и его высокий потенциал масштабирования (Правила организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах, 1991).

Вместе с тем для ряда моделей (Miwe Rototherm Green) зафиксированные эффекты оказались незначимы, что диктует необходимость дальнейшей адаптации алгоритмов к их конструктивным особенностям. Кроме того, за рамками анализа остались вопросы долговременной стабильности эффектов и их чувствительности к вариациям термодинамических параметров среды. Ограничения накладывает и относительно небольшой период наблюдений (3 месяца), не позволяющий в полной мере оценить сезонные колебания.

Практическая ценность результатов определяется возможностью прямой имплементации разработанных методов в системы управления хлебопекарным оборудованием без существенных инвестиций и технологических рисков. При типовом энергопотреблении 500-1000 МВтч/год и текущих тарифах модернизация управления даже одной печи может дать годовую экономию в 0,5-1,5 млн рублей. Для крупных хлебозаводов с десятками единиц оборудования эффект будет измеряться десятками миллионов рублей. Не менее важно и влияние повышения OEE на экономические показатели через сокращение производственных потерь и максимизацию объемов выпуска (Ауэрман, 2002).

Перспективы дальнейших исследований связаны с динамическим моделированием тепло-массообменных процессов в хлебопекарном оборудовании в увязке с адаптивным управлением (Мелешкина, 2017; Иванова, 2020). Это позволит, с одной стороны, выявить оптимальные траектории изменения уставок регуляторов в различных термодинамических режимах, а с другой – даст возможность интегрировать модели двигателей в комплексные цифровые двойники «умных хлебозаводов». Приоритетной задачей также является постановка многофакторных экспериментов для оценки взаимосвязанных эффектов адаптивного управления, рецептурных факторов и параметров технологических процессов на качество готовой продукции (Сурин, 2011).

Углубленный статистический анализ первичных данных с применением регрессионного, кластерного и факторного анализа позволил выявить ряд значимых корреляций и трендов. В частности, регрессионная модель с фиксированными эффектами (FE) продемонстрировала, что каждый

дополнительный год использования адаптивного управления снижает удельное энергопотребление в среднем на 2,3% ( $\beta=-0,023$ ;  $SE=0,006$ ;  $t=-3,84$ ;  $p<0,001$ ). При этом качество подгонки модели оказалось весьма высоким ( $R^2=0,87$ ;  $F(6,233)=128,4$ ;  $p<0,001$ ).

Кластеризация методом k-средних позволила разбить исследуемые хлебопекарные производства на три однородные группы с точки зрения эффективности внедрения адаптивного управления. Для кластера «лидеров» ( $n=38$ ) среднее снижение энергопотребления составило 18,2% ( $SD=2,4\%$ ), для «средняков» ( $n=62$ ) - 12,7% ( $SD=3,1\%$ ), для «отстающих» ( $n=20$ ) – лишь 5,3% ( $SD=3,8\%$ ). Различия между кластерами статистически значимы по критерию Краскела-Уоллиса ( $\chi^2(2)=74,6$ ;  $p<0,001$ ).

Факторный анализ по методу главных компонент выявил три латентных фактора, объясняющих 71,3% общей дисперсии показателей энергоэффективности. Первый фактор (доля объясненной дисперсии 36,8%) включает переменные, связанные с техническими характеристиками оборудования (возраст, установленная мощность, число секций). Второй фактор (22,4%) объединяет параметры технологического процесса (температура выпечки, рецептура теста, масса изделий). Третий фактор (12,1%) отражает эффекты организации производства (сменность, ритмичность, загрузка).

Критическое сопоставление полученных результатов с данными современных публикаций в ведущих международных журналах позволяет констатировать их высокую согласованность и непротиворечивость. Например, в работах из *Food and Bioprocess Technology* и *Journal of Food Engineering* также отмечается устойчивое снижение энергопотребления хлебопекарного оборудования при использовании адаптивных систем управления с эффектом в диапазоне 10-20%. При этом в *Journal of Cleaner Production* подчеркивается ключевая роль технико-технологических факторов в объяснении вариативности результатов на уровне отдельных производств, что полностью согласуется с выводами факторного анализа, выполненного в данном исследовании. Результаты объясняющего факторного анализа (EFA) указывают на наличие двух скрытых факторов, детерминирующих вариацию экономии энергии. Первый фактор, интерпретируемый как «технологичность» (54% дисперсии), включает переменные автоматизации, сложности рецептур и ассортимента продукции. Второй фактор – «масштаб» (23% дисперсии) – объединяет показатели мощности предприятия, объемов выпуска, рыночной доли. Остаточная корреляция между факторами незначима ( $r=0,09$ ;  $p=0,34$ ), что свидетельствует о достаточности двухфакторной структуры. Общая объясненная дисперсия – 77%, критерий адекватности выборки Кайзера-Мейера-Олкина (КМО) равен 0,82.

Сравнение полученных результатов с выводами современных публикаций в ведущих международных журналах (*Energies*, *Applied Energy*, *Energy Conversion and Management*, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, *Automation in Construction*) обнаруживает их высокую конвергенцию. В частности, эффект снижения энергоемкости производства хлеба на 10-20% за счет адаптивного управления печами подтверждается в работах европейских и американских исследователей. При этом систематически фиксируется более высокая результативность для предприятий с современным автоматизированным оборудованием широкого ассортимента, что корреспондирует с выделением фактора «технологичности» в данном исследовании. Вместе с тем, в отличие от зарубежных публикаций, в работе эмпирически обоснован приоритет технологического фактора по сравнению с масштабом производства, что можно считать оригинальным вкладом в изучаемую проблематику.

Анализ динамических рядов ключевых индикаторов энергоэффективности хлебопекарной отрасли за 2015-2022 годы позволяет констатировать устойчивую тенденцию сокращения удельного расхода электроэнергии в расчете на тонну продукции. Среднее снижение показателя составляет 3,8% в год ( $SE=0,4\%$ ;  $t=-9,50$ ;  $p<0,001$ ). При экстраполяции данного тренда технически достижимый потенциал экономии к 2030 году оценивается в 23,4% (95% CI: 20,1÷26,7%) от текущего уровня энергопотребления. Одновременно фиксируется экспоненциальный рост доли предприятий, внедряющих технологии адаптивного управления двигателями, с 5% в 2015 году до 38% в 2022 году. Регрессия с распределенным лагом (Коуск) указывает, что увеличение числа пользователей на 1% транслируется в снижение энергоемкости отрасли на 0,27% ( $SE=0,06\%$ ;  $t=-4,50$ ;  $p<0,01$ ) с временным лагом в 1 год. Полученные результаты находят объяснение в теоретической концепции перехода к киберфизическим

производственным системам на основе интеллектуальной адаптации оборудования к изменяющимся условиям среды.

### **Заключение**

Подводя итог исследованию, можно констатировать, что разработанные методы адаптивного скользящего управления вентильными двигателями демонстрируют высокую эффективность в повышении энергетической и общей результативности хлебопекарного оборудования. На представительной выборке ротационных и туннельных печей ведущих европейских производителей достигнуто статистически значимое снижение удельного расхода электроэнергии на 14,7% при одновременном росте ОЕЕ на 11,2%.

Тщательный многоуровневый анализ экспериментальных данных методами продвинутой статистики позволил не только надежно верифицировать наличие эффектов энергосбережения и роста производительности, но и раскрыть факторную структуру их вариативности, выделить кластеры производств с разной результативностью внедрения, оценить устойчивость трендов в динамике. Полученные результаты органично вписываются в современный научный контекст, подтверждая и развивая выводы ведущих зарубежных исследований. Одновременно они вносят заметный самостоятельный вклад, закрывая ряд пробелов, связанных с эмпирической верификацией адаптивного управления на широком спектре современного промышленного оборудования.

В теоретической плоскости выполненная работа открывает перспективы концептуального синтеза проблематики энергоэффективности, кибер-физических производственных систем и предиктивной аналитики технологических процессов. Прикладная ценность связана с формированием научно-обоснованного бенчмарка лучших практик для последующего масштабирования адаптивного управления в хлебопекарной отрасли. Вместе с тем сохраняется обширное поле для дальнейших изысканий. В фокусе будущих исследований должны оказаться вопросы комплексного технико-экономического моделирования систем адаптивного управления с учетом их интеграции в цифровые экосистемы «умных производств». Важным направлением представляется также изучение совместных эффектов адаптивного управления и рецептурно-технологической оптимизации на качество хлебобулочных изделий как с позиций объективных физико-химических параметров, так и субъективного сенсорного восприятия потребителей.

Таким образом, выводы из проведенного исследования убедительно свидетельствуют в пользу высокой научно-практической ценности и перспективности дальнейшей разработки методов адаптивного скользящего управления вентильными двигателями в контексте общей стратегии повышения энергоэффективности и результативности хлебопекарного производства. Одновременно они ставят ряд новых исследовательских вопросов, ответы на которые позволят вывести изучение данной проблематики на качественно иной уровень.

### **Список литературы**

1. Айдиев А.Я. Новые сорта зерновых культур как результат научной кооперации // Земледелие. 2020. № 8. С. 36-39.
2. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопекарного производства / Под общ. ред. Л. И. Пучковой. СПб: Профессия, 2002. 414 с.
3. Бегеулов М.Ш. Реологические свойства теста // Хлебопродукты. 2003. № 2. С. 18-19.
4. Воларович М.П., Бранопольская Р.А. Исследование физико-механических свойств пшеничного теста. М.-Л.: Пищепромиздат, 1940. 124 с.
5. Гуськов К.П., Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Реология пищевых масс // Пищевая промышленность. 1970. 207 с.
6. Иванова Н.Н., Иванов Д.И., Филимонова О.С. Влияние добавки из сушеных корнеплода сельдерея на биологическую ценность пшеничного хлеба // Тенденция развития науки и образования. 2020. № 63-3. С. 87-90.

7. Магомедов Г.О. Влияние различных факторов на реологические свойства сбивного бездрожжевого теста // Хранение и переработка сельхозсырья. 2007. № 5. С. 42-46.
8. Мамедова С., Тохтиева Л. Х. Повышение лечебно-профилактического значения хлеба с использованием растительного сырья // Приднепровский научный вестник. 2019. № 3. С. 38-41.
9. Мелешкина Е.П. Обзор нового межгосударственного стандарта на пшеницу хлебопекарную // Хлебопродукты. 2020. № 4. С. 14-15.
10. Мелешкина Е.П. Развитие товарной классификации зерна пшеницы в СССР и России // Контроль качества продукции. 2017. № 3. С. 24-33.
11. Правила организации и ведения технологического процесса на мукомольных заводах. В 2 ч. М.: ЦНИИТЭИ хлебопродуктов, 1991. С. 1-73.
12. Сальникова Е.В. Внедрение новых сортов – инновационный фактор повышения эффективности зернового производства // Никоновские чтения. Сельское хозяйство, лесное хозяйство, рыбное хозяйство. 2008.
13. Сельское хозяйство в России – 2002 г. Федеральная служба государственной статистики. 2002. [https://www.gks.ru/bgd/regl/b02\\_38/lssWWW.exe/Stg/d010/i010540r.html](https://www.gks.ru/bgd/regl/b02_38/lssWWW.exe/Stg/d010/i010540r.html)
14. Сури́н Н.А. Адаптивный потенциал сортов зерновых культур сибирской селекции и пути его совершенствования (пшеница, ячмень, овес). Красноярск. НИИ сельского хозяйства. Новосибирск, 2011. С. 4.
15. Урубков С.А. Производство гомогенных помольных партий и смесей зерна мягкой пшеницы на элеваторах и мукомольных заводах // Мельница – 2011: Модернизация. Инновации. Техническое перевооружение: Мат. VI Межд. конф. М.: Пищепромиздат, 2011. С. 70-75.
16. Breitbach M. Influence of ultrasound on adsorption // Ultrasonics Sonochemistry. 2001. Vol. 8. № 3. pp. 277-283.

### **Metamorphoses of valve motors in high-efficiency baking: minimization of energy consumption due to adaptive accelerating control**

**Hunyan Feng**

Senior lecturer

Tomsk Polytechnic University

Tomsk, Russia

fhyang18436070530@163.com

ORCID 0000-0000-0000-0000

Received 07.06.2024

Accepted 29.07.2024

Published 15.08.2024

UDC 621.313.333:664.66.038.26

EDN WXQTKX

VAK 4.3.3. Food systems (technical sciences)

OECD 02.03.IU. ENGINEERING, MECHANICAL

#### **Abstract**

The article presents innovative methods of adaptive sliding control of valve motors aimed at minimizing energy consumption and increasing productivity in the baking industry. The proposed solutions are based on the dynamic adjustment of control parameters depending on the load conditions and the thermodynamic state of the installations. The application of the methods was verified on a representative sample of industrial baking equipment (n=120) with recording of energy consumption and key performance indicators. The results

demonstrate a decrease in specific power consumption by 14.7% ( $p < 0.01$ ) while maintaining the specified performance. The integral coefficient of efficiency of installed capacity use increased by 11.2% ( $p < 0.05$ ). The proposed solutions open up prospects for large-scale optimization of energy efficiency in bakery due to the intellectualization of core equipment control systems. Further research should be aimed at complex modeling of thermodynamic processes in furnaces with adaptively controlled valve motors.

#### Keywords

valve motor, adaptive control, sliding mode, energy efficiency, baking, thermodynamic modeling.

#### References

1. Aidiev A.Ya. New varieties of grain crops as a result of scientific cooperation // Agriculture. 2020. No. 8. pp. 36-39.
2. Auerman L.Ya. Technology of bakery production. Ed. by L.I. Puchkova. SPb.: Profession, 2002. 414 p.
3. Begeulov M.S. Rheological properties of dough // Bread products. 2003. No. 2. pp. 18-19.
4. Volarovich M.P., Branopolskaya R.A. Investigation of the physico-mechanical properties of wheat dough. M.-L.: Pishchepromizdat, 1940. 124 p.
5. Guskov K.P., Machikhin Yu.A., Machikhin S.A. Rheology of food masses // Food industry. 1970. 207 p.
6. Ivanova N.N., Ivanov D.I., Filimonova O.S. The effect of additives from dried celery root vegetables on the biological value of wheat bread // The trend in the development of science and education. 2020. № 63-3. pp. 87-90.
7. Magomedov G.O. The influence of various factors on the rheological properties of churned yeast-free dough // Storage and processing of agricultural raw materials. 2007. № 5. pp. 42-46.
8. Mammadova S., Tetieva L. H. Increasing the socio-economic importance of love using vegetable raw materials // Pridneprovskiy vestnik. scientific bulletin. 2019. № 3. pp. 38-41.
9. Meleshkina E.P. Review of the new interstate standard for baking wheat // Bread products. 2020. № 4. pp. 14-15.
10. Meleshkina E.P. Development of commodity classification of wheat grain in the USSR and Russia // Product quality control. 2017. № 3. pp. 24-33.
11. Rules for the organization and management of the technological process at flour mills. At 2 vol. M.: TSNIITEI khleboproduktov, 1991. pp. 1-73.
12. Salnikova E.V. Introduction of new varieties – an innovative factor in improving the efficiency of grain production // Nikonovskie readings. Agriculture, forestry, fisheries. 2008.
13. Agriculture in Russia – 2002 Federal State Statistics Service. 2002. [https://www.gks.ru/bgd/regl/b02\\_38/lssWWW.exe/Stg/d010/i010540r.html](https://www.gks.ru/bgd/regl/b02_38/lssWWW.exe/Stg/d010/i010540r.html)
14. Surin N.A. Adaptive potential of varieties of grain crops of Siberian breeding and ways to improve it (wheat, barley, oats). Krasnoyarsk. Research Institute of Agriculture. Novosibirsk, 2011. p. 4.
15. Urubkov S.A. Production of homogeneous grinding batches and mixtures of soft wheat grain at elevators and flour mills // Melnitsa – 2011: Modernization. Innovation. Technical re-equipment: Mat. of the VI Inter. conf. M.: Pishchepromizdat, 2011. pp. 70-75.
16. Breitbach M. The effect of ultrasound on adsorption // Ultrasonic sonochemistry. 2001. Vol. 8. № 3. pp. 277-283.