

УДК [664.724+664.782]:66.011

ББК 36.81-5

М -39

*Малеева Ольга Леонидовна, кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой товароведения и экспертизы товаров факультета коммерции и маркетинга Краснодарского филиала Российского государственного торгово-экономического университета, [omal71@mail.ru](mailto:omal71@mail.ru).*

#### **РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЗЕРНОВОЙ МАССЫ ПРИ ХРАНЕНИИ**

*Предложена методика прогнозирования показателей качества зерна риса при хранении с использованием математической модели и программного комплекса состояния зерновой массы на основе теорий тепломассообмена в капиллярно-пористых телах, многофазной фильтрации и синергетических методов анализа мультистабильных систем.*

*Ключевые слова: хранение зерна риса, экспертные системы, математическое моделирование, теория тепломассообмена, программный комплекс состояния зерновой массы.*

*Maleeva Olga Leonidovna, Cand.Tech.Sci., assistant professor, the head of the department of commodity research and trade analysis at the faculty of commerce and marketing at the Krasnodar branch of the Russian State Trade and Economic University, [omal71@mail.ru](mailto:omal71@mail.ru).*

#### **METHOD OF QUALITY ESTIMATION OF BULK GRAIN STORAGE AND ITS WORKING OUT**

*In the article the forecasting method of quality indicators of rice grain storage with the use of mathematical model is offered. The program complex of bulk grain is considered on the basis of theories of heat-and-mass transfer in capillary-porous bodies, multiphase filtration and synergetic methods of analysis of multistable systems.*

*Keywords: rice grain storage, expert systems, mathematical modeling, theory of heat-and-mass transfer, program complex of bulk grain.*

Важнейшими факторами, влияющими на сохранность зерна и его товароведно-технологические характеристики, являются: влажность зерна, относительная влажность воздуха, температура зерновой массы и окружающей среды, доступ воздуха к зерновой массе, микробиологическая обсеменённость, заражённость вредителями, продолжительность хранения и ряд других [1, с. 170]. Сложность процессов в зерновой массе при хранении оставляют актуальной проблему противодействия неблагоприятным изменениям качества и пищевой ценности зерна. Известны труды многочисленных исследователей явлений пожелтения, трещинообразования, образования микотоксинов, появления скрытой зараженности в процессе хранения [2, с. 91].

Накопленные данные получили обобщение, количественную оценку и дальнейшее развитие в новом и перспективном пути решения проблем и принятия практических решений при управлении процессом хранения – в использовании систем поддержки принятия решения и экспертных систем (ЭС), объединённых с моделями работы экосистемы [3, с. 25].

Экспертная система по управлению процессом хранения QualiGrain, основанная на оценке качества зерна, была разработана и внедрена усилиями 17 организаций 4 европейских стран: Франции, Англии, Германии и Дании. Главные её структурные элементы, как и любой ЭС: интерфейс пользователя, расширяемая база знаний, вычислительное ядро. Главная трудность при создании таких систем – необходимость применения изменяемой базы знаний к фиксированному вычисляющему ядру. Хотя количественно допустимые показатели хранения – разные для разных культур, но они соотносятся сходным образом в моделях, основанных на факторах, определяющих как потребительские показатели качества, так и тепломассобменные процессы при хранении.

Главной целью управления процессом хранения зерна является отсутствие ухудшения показателей качества зерна. Анализ современного уровня теоретического описания совокупности процессов, протекающих при хранении зерновой массы риса, показал, что не получил должного развития подход, учитывающий температурно-влажностный режим как комплекс взаимосвязанных нестационарных пространственно-неоднородных полей. Описание зерновок риса, представляющих собой живой организм, только физическими законами без учёта биохимического фактора, очень ограничено. Для изучения возможной длительности хранения риса, причин образования трещин в зерне и ряда других необходим учёт нестационарности и градиентов полей температуры и влаги в зерне и межзерновом пространстве.

Как известно, зерно риса, как и других зерновых культур, представляет собой коллоидное капиллярно-пористое тело. Перспективным представляется математическое моделирование тепломассообменных процессов в зерновой массе риса, определяющих его потребительские свойства, на основе синергетических методов анализа [4, с. 56]. Зерновая масса является синергетически активной распределённой средой. Разработана модель системы «зерновая масса – стенки ёмкости – окружающая среда» на основе теории многофазной фильтрации и синергетического подхода к мультистабильным активным средам, с использованием источников тепло-, влаго- и газовой выделений как функций состояния зерновой массы (температуры, относительной влажности воздуха и концентрации кислорода в межзерновом пространстве и т.д.).

В данной работе на основе модели тепломассообмена, идентифицированной для зерновой массы риса, разработана модель прогнозирования потребительского качества риса-зерна при хранении, включающая регрессионные зависимости характеристик качества от полей температуры, влажности, плесневой и бактериальной микрофлоры, химического состава межзерновой атмосферы.

Объектом моделирования является система (рис. 1), состоящая из зерновой массы риса, хранящейся в некоторой ёмкости.

Согласно методологии математического моделирования, для построения модели укажем (рис. 1а): «входные воздействия» – величины, количественно характеризующие влияние внешней среды на систему; состояние системы – множество величин, количественно характеризующих систему в исследуемом процессе (рис. 1б); «выход системы» – интересующую нас реакцию системы на внешние воздействия в зависимости от текущего состояния; структуру модели, определяющую взаимосвязь входа, состояния и выхода системы.

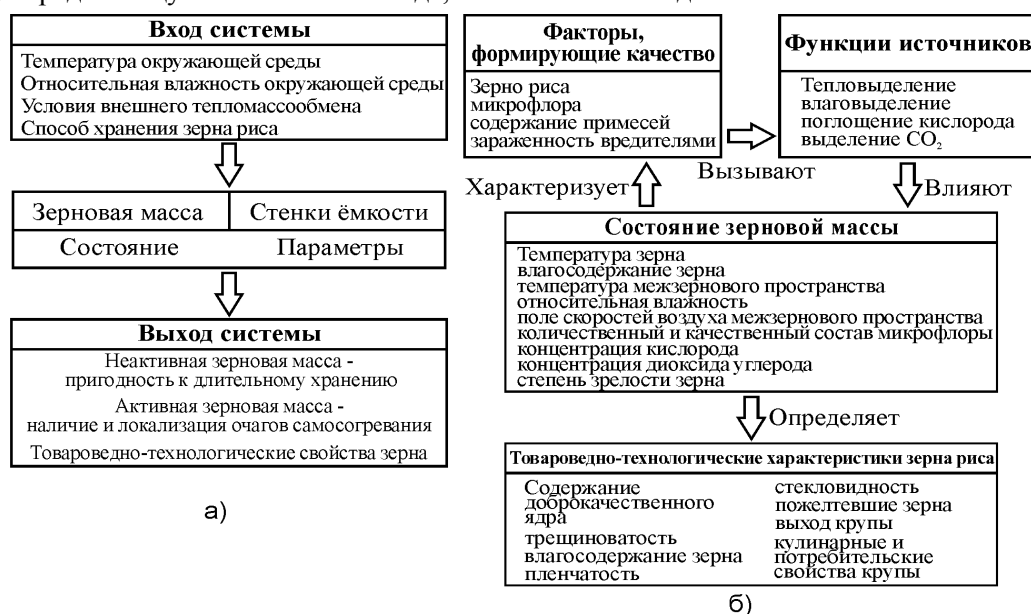


Рис. 1. Структурная схема модели «зерновая масса – стенки ёмкости – окружающая среда»

Состояние зерновой массы при хранении изменяется в результате следующих процессов: кондуктивный теплоперенос между твердыми компонентами зерновой массы; кондуктивный и конвективный теплоперенос (диффузионный и конвективный массоперенос) в воздухе межзернового пространства; теплообмен (массообмен) между воздухом межзернового пространства и зерном; теплообмен (массообмен) между воздухом межзернового пространства и стенкой ёмкости; теплообмен (массообмен) между воздухом межзернового пространства и окружающей средой; теплообмен (массообмен) между твердыми компонентами зерновой массы и стенкой ёмкости; теплоперенос (массоперенос) в стенке ёмкости; теплообмен (массообмен) между стенкой ёмкости и окружающей средой; тепловыделение, влаговыделение, поглощение кислорода и выделение диоксида углерода в результате биохимических процессов в зерновой массе. Методология синергетического подхода использует нелинейные зависимости функций источников тепла и влаги в зерновой массе от её состояния.

Величины, характеризующие состояние зерновой массы в процессе хранения, являются полями – т.е. функциями координат и времени. Следует отметить, что на тепловыделение, влаговыделение, интенсивность изменения химического состава межзернового воздуха также влияют: степень заражённости зерновой массы микрофлорой; степень зрелости зерновой мас-

сы; содержание насекомых в зерновой массе.

С точки зрения теории многофазной фильтрации зерновая масса рассматривается как две сплошные, взаимопроникающие во всех точках пространства среды. Первая образуется твердыми соприкасающимися компонентами зерновой массы, вторая представляет собой воздух межзернового пространства, способный перемещаться при естественной или вынужденной конвекции. Подобные идеализации, когда зерновая масса рассматривается как сплошная среда, присущи всем известным моделям, являются общепринятыми и, как подтверждено экспериментальными наблюдениями, не снижают адекватность математических моделей теплопереноса в зернистых средах.

Математическая модель на основе теории многофазной фильтрации представляет собой краевую задачу в виде системы дифференциальных уравнений теплопереноса в зерновой массе с заданными начальными и граничными условиями. Система содержит следующие дифференциальные уравнения: теплопереноса конвекцией и диффузией в воздухе межзернового пространства с учётом тепловыделения; кондуктивного переноса между зерновками с учётом тепловыделения; влагопереноса в межзерновом пространстве с учётом влаговыделения; влагообмена зерна с воздухом межзернового пространства; переноса кислорода в межзерновом пространстве; конвекции в межзерновом пространстве (естественной и вынужденной); динамики заражённости плесневой и бактериальной микрофлорой; теплопроводности для стенок ёмкости.

Уравнения теплопереноса для воздуха межзернового пространства и кондуктивного переноса между зерновками при принятых допущениях имеют вид:

$$\varepsilon \rho_a c_a \frac{\partial T_a}{\partial t} = \nabla (\lambda'_a(\varepsilon) \nabla T_a) - \rho_a c_a \cdot \vec{v} \cdot \nabla T_a + Q_a(T_a, \varphi, \rho_o) + \alpha A_{s/v} (T_s - T_a) + c_v m (T_s - T_a), \quad (1)$$

$$(1 - \varepsilon) \rho_s c_s \frac{\partial T_s}{\partial t} = \nabla (\lambda'_s(\varepsilon) \nabla T_s) - h_s \cdot m - \alpha A_{s/v} (T_s - T_a), \quad (2)$$

где:  $\rho_a c_a \cdot \vec{v} \cdot \nabla T_a$  – перенос тепла, связанный с движением воздуха; выражение  $\alpha A_{s/v} (T_s - T_a)$  описывает теплообмен зерна с воздухом по закону Ньютона;  $h_s$  – скрытая теплота парообразования в процессах перехода влаги из зерна в межзерновое пространство;  $-c_v m (T_s - T_a)$  – тепло, отдаваемое на нагрев испарившейся из зерна воды до температуры воздуха;  $m$  – скорость испарения влаги из зерна в межзерновое пространство.

$$m = -(1 - \varepsilon) \rho_s \frac{\partial w}{\partial t}. \quad (3)$$

Принято, что уменьшение теплопроводностей сред происходит пропорционально занимаемому объёму:

$$\lambda'_s(\varepsilon) = (1 - \varepsilon) \lambda_s, \quad \lambda'_a(\varepsilon) = \varepsilon \lambda_a. \quad (4)$$

Начальные условия для (1) и (2) требуют задать температуры  $T_a$  и  $T_s$  во всех точках ёмкости в начальный момент времени. Естественно предположить равенство температур воздуха межзернового пространства и зерна. В местах контакта зерновой массы со стенкой ёмкости выполняются граничные условия 4-го рода, т.е. равенство температур и тепловых потоков на границе сред. Теплообмен в местах контакта зерновой массы с окружающей средой происходит по закону Ньютона, причём коэффициент теплообмена примем равным коэффициенту теплообмена зерна с воздухом межзернового пространства.

Для температуры воздуха межзернового пространства естественно потребовать выполнения условий 1-го рода – равенства температуре окружающей среды.

Перенос влаги внутри зернового слоя, как показали многочисленные исследования, идет в основном путем её испарения, переносом с потоком воздуха и сорбции, а перенос путем диффузии между зёрнами пренебрежительно мал. Это позволяет не использовать в модели потенциал влагопереноса и представить закон сохранения массы влаги в виде уравнения влагопереноса в межзерновом пространстве и уравнения влагообмена зерна с воздухом межзернового пространства.

Уравнение влагопереноса в межзерновом пространстве:

$$\varepsilon \frac{\partial \rho_v}{\partial t} = \varepsilon D_v \nabla^2 \rho_v - \vec{v} \cdot \nabla \rho_v + G_v + m \quad (5)$$

Граничные условия: в местах контакта зерновой массы со стенкой ёмкости – изоляция;

в местах контакта зерновой массы с окружающей средой – равенство  $\rho_v$  значению в окружающей среде (граничные условия 1-го рода). Начальные условия: абсолютная влажность воздуха  $\rho_{v,0}$  – равновесная с начальной влажностью зерна  $W_0$ .

Влагообмен зерна и воздуха межзернового пространства. Для упрощения модели в процессах поглощения влаги зерном не учитывался гистерезис сорбции. Основанием для этого может служить то, что процессы самосогревания идут с выделением влаги, и процессы десорбции влаги не так существенны, как при сушке зерна. Более того, так как процессы самосогревания происходят в зерне, когда в нем есть свободная влага, то отпадает необходимость учитывать различные виды связи влаги с зерном.

Изменение влагосодержания моделируется следующим уравнением:

$$\frac{\partial w}{\partial t} = (w_{eq}(T_a, \varphi) - w) / \tau_s(T_a, \varphi) \quad (6)$$

Начальные условия для уравнения (6) – значение влагосодержания зерна в начальный момент времени  $w|_{t=0} = W_0$ .

Перенос кислорода в межзерновом пространстве моделируется уравнением, аналогичным уравнению влагопереноса:

$$\varepsilon \frac{\partial \rho_o}{\partial t} = \varepsilon D_o \nabla^2 \rho_o - \vec{v} \cdot \nabla \rho_o + G_o \quad (7)$$

Граничные условия: в местах контакта зерновой массы со стенкой емкости – изоляция; в местах контакта зерновой массы с окружающей средой – равенство  $\rho_o$  значению в окружающей среде (граничные условия 1-го рода). Начальные условия: концентрация кислорода равна значению в окружающей среде. При необходимости в модель можно включить аналогичные уравнения для процесса переноса других веществ, например, – диоксида углерода или этилового спирта.

Для моделирования естественной конвекции в зерновой массе целесообразно использовать уравнения движения несжимаемой среды, т.к. скорость потоков воздуха в межзерновом пространстве на много порядков меньше скорости звука в воздухе. Будем считать, что течение газа внутри ёмкости подстраивается мгновенно к медленным изменениям температуры и других параметров, что характерно для моделируемых процессов, и использовать стационарные уравнения движения газа.

Уравнения движения получим с учётом так называемых приближений Буссинеска, которые заключаются в том, что во-первых, разность плотностей воздуха, вызывающая возникновение конвекции считается линейной функцией разности температур и во-вторых, изменением плотности в уравнении неразрывности можно пренебречь. Уравнение неразрывности для несжимаемой среды при этом имеет вид:

$$\nabla \vec{v} = 0, \quad (8)$$

Уравнение (11) остается справедливым и для случая зависимости  $\varepsilon$  от координат. Модель конвекции в зерновой массе построим на основе закона Дарси, в условиях действия массовой силы  $\vec{F}$  имеющего вид:

$$\vec{v} = -\frac{1}{R_p} \cdot (\nabla P + \rho_a \cdot \vec{F}). \quad (9)$$

Массовую силу, обусловленную разностью плотностей воздуха при разных температурах (силу Архимеда) в случае свободной конвекции можно рассчитать по формуле:

$$\vec{F} = \frac{\rho_a - \rho_{ab}}{\rho_a} \cdot \vec{g}. \quad (10)$$

Согласно приближению Буссинеска:

$$\rho_a - \rho_b = -\rho_b \cdot \beta \cdot (T_a - T_b), \quad (11)$$

где  $T_b$  – температура воздуха в некоторой точке, выбранной за точку отсчета,  $\rho_b$  – плотность воздуха в ней,  $\beta$  – коэффициент объемного расширения воздуха:  $\beta = 1/(T_b + 273)$ . Точку отсчета будем выбирать так, чтобы массовая сила в ней была равна нулю. Приближение Буссинеска

ска справедливо при выполнении двух условий:

$$\beta \cdot (T_a - T_b) \ll 1 \quad g \cdot \beta \cdot H/R \ll 1$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $H$  – характеризует размеры емкости. Таким образом,

$$0 = \nabla(1/R_p \cdot \nabla P) - \vec{g} \cdot \nabla(1/R_p \cdot \rho_b \cdot \beta \cdot T_a). \quad (12)$$

Уравнение (12) остается справедливым и в случае зависимости  $R_p$  от координат, например, для слеживающихся продуктов. Начальные и граничные условия для уравнения (12) следуют из условий для векторного поля скорости воздуха в межзерновом пространстве. Начальному условию  $\vec{v}|_{t=0} = \vec{0}$  соответствует  $P|_{t=0} = 0$ . На открытой к внешней среде части емкости тангенциальная составляющая скорости равна нулю:  $\vec{v} \cdot \vec{l} = 0$ . В отличие от классических задач гидроаэродинамики, где на стенках емкости обычно  $\vec{v} = 0$ , для сформулированной выше задачи течения воздуха через пористую среду (зерновую массу) это не так. У границы емкости, где скважность выше средней, сопротивление потоку воздуха меньше. Так что на границах емкости выполняется условие  $\vec{v} \cdot \vec{n} = 0$ . При решении осесимметричной задачи, на оси симметрии нормальная составляющая скорости равна нулю:  $\vec{v} \cdot \vec{n} = 0$ .

Уравнение (12) определяет потенциальное поле давления с точности до константы, поэтому для герметичной емкости необходимо задать в какой-либо одной точке  $P=0$ . В местах контакта зерновой массы с окружающей средой также выполняется это условие. При выбранных начальных и граничных условиях поле  $P$  имеет смысл превышения давления в емкости над атмосферным давлением.

Температурное поле внутри стенки емкости моделируется уравнением теплопроводности для твердого тела:

$$c_w \rho_w \partial T / \partial t = \nabla(\lambda_w \nabla T) \quad (13)$$

В зависимости от задачи, в зоне контакта стенки емкости с окружающей средой можно потребовать выполнения граничных условий 1, 2 или 3-го рода.

Например, для моделирования теплообмена стенки емкости с окружающей средой при наличии дополнительного внешнего теплового потока  $q$  используется следующее соотношение:

$$M - \lambda_w \nabla T_w = \alpha_w \cdot (T_e - T_w) + q. \quad (14)$$

Начальное условие:

$$T_w|_{t=0} = T_e|_{t=0}. \quad (15)$$

Система этих взаимосвязанных уравнений с соответствующими начальными и граничными условиями и замыкающими соотношениями составляет краевую задачу модели системы «зерновая масса – стенки ёмкости – окружающая среда».

После численного решения уравнений модели исследователь получает значения состояния системы, а именно – значения температуры и влагосодержания зерновой массы, а также поле скоростей и химического состава межзерновой атмосферы, в любой точке внутри ёмкости в заданные моменты времени. Отметим, что возникает необходимость идентифицировать ряд эмпирических зависимостей, которым ранее в литературе уделялось незначительное внимание, и это является задачей дальнейших исследований.

Опираясь на результаты численного решения уравнений модели, возможно прогнозировать изменение всхожести, общего выхода крупы, содержания целого ядра, пожелтевших зёрен, стекловидности, трещиноватости и других товароведно-технологических характеристик зерна в процессе хранения (рис. 1б). Эти величины, зависящие от состояния зерновой массы, не влияют на функции источников в зерновой массе или параметры уравнений модели, и для экономии вычислительных ресурсов рассчитываются после решения основной системы уравнений модели. После решения основной системы уравнений модели потребительские качества риса-зерна определяются из регрессионных соотношений, полученных при статистической обработке экспериментальных данных.

Для реализации модели в виде программного комплекса должны быть определены следующие её параметры: теплофизические свойства воздуха; теплофизические свойства зерновой массы риса; теплофизические свойства паров воды; коэффициент диффузии паров воды в возду-

хе; коэффициент диффузии кислорода в воздухе; коэффициент теплообмена между зерном риса и воздухом межзернового пространства; скрытая теплота парообразования при испарении влаги из зерна риса; коэффициент теплообмена между зерновой массой риса и окружающей средой через стенку емкости. Должны быть определены также необходимые замыкающие соотношения: давление насыщенных водяных паров; равновесное влагосодержание зерна риса как функция температуры и относительной влажности воздуха; тепловыделение как функция микробиологического состава зерновой массы риса, её температуры, относительной влажности воздуха межзернового пространства и концентрации в нем кислорода, интенсивности процесса послеуборочного дозревания; законы увеличения количества и изменения видового состава микрофлоры зерновой массы риса с точки зрения влияния на тепловыделение в ней; регрессионные модели (рис. 1б) связи товароведных свойств риса в зависимости от времени с полями температуры и влагосодержания зерновой массы, а также содержания кислорода в межзерновой атмосфере.

Для идентификации параметров и замыкающих соотношений разработанной модели и программного комплекса проводится промышленный эксперимент на базе ООО "Марьянский рисо завод", расположенного на территории производственной базы СП "Кубань", (Россия, Краснодарский край, Красноармейский район, станица Марьянская, ул. Первомайская, 7) [6. с. 176]. Промышленный эксперимент включает измерение в определённых точках хранящейся зерновой массы значений полей температуры, относительной влажности и содержания кислорода воздуха межзернового пространства, тепловлагообмена с внешней средой, а также влагосодержания, микробиологического состояния зерна риса и его показателей качества. Цель измерений – определение для зерна риса в широком диапазоне температур функций тепловыделения и влаговыделения зерновой массы, потребления ею кислорода и динамики изменения микрофлоры в процессе самосогревания, а также определение органолептических, физико-химических и микробиологических показателей качества.

Разработана модель изменения потребительских свойств риса-зерна при хранении, на основе предложенной ранее авторами модели процессов тепломассообмена в зерновой массе, позволяющей прогнозировать с учётом параметров хранения появление очагов самосогревания, их размеры и динамику развития. Модель реализована в виде программного комплекса и содержит регрессионные зависимости товароведно-технологических свойств риса (общий выход крупы, содержание целого ядра, плесень и бактерии, всхожесть, стекловидность и трещиноватость) от времени, полей температуры и влагосодержания зерновой массы риса, содержания кислорода в межзерновом пространстве.

#### УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

$A_{S/V}$  – поверхность зерен в единице объема,  $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $b$  – степень заражённости зерновой массы микрофлорой,  $\text{м}^{-3}$ ;  $c$  – удельная теплоемкость,  $\text{Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;  $D$  – коэффициент диффузии,  $\text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $G$  – мощность объемного выделения вещества,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $h_s$  – скрытая теплота парообразования с поверхности зерна,  $\text{Дж}/\text{кг}$ ;  $m$  – скорость испарения влаги из зерна,  $\text{кг} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $P$  – избыточное над атмосферным давление воздуха в межзерновом пространстве, Па;  $R_p$  – коэффициент сопротивления движению воздуха сквозь насыпь зерна;  $t$  – время, с;  $T$  – температура, °С;  $Q$  – объемное тепловыделение,  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $\vec{v}$  – скорость движения воздуха сквозь зерновую массу, усредненная по сечению, м/с;  $w$  – влагосодержание зерна, (кг влаги)/(кг сухого вещества);  $W$  – влажность зерна, %;  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи от зерна к воздуху,  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$ ;  $\beta$  – коэффициент объемного расширения воздуха,  $\text{К}^{-1}$ ;  $\varepsilon$  – скважистость зерновой массы;  $\lambda$  – теплопроводность,  $\text{Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ ;  $\rho$  – плотность вещества,  $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$ ;  $\varphi$  – относительная влажность воздуха. ИНДЕКСЫ: а – воздух межзернового пространства; s – пористая среда, образованная множеством соприкасающихся зерен; e – внешняя среда; v – влага в воздухе межзернового пространства; o – кислород в воздухе межзернового пространства.

#### Литература:

1. Егоров Г.А. Управление технологическими свойствами зерна. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000. 348 с.
2. Трещиноватость и структурно-механические свойства риса / Чеботарёв О.Н. [и др.] // Изв. ВУЗов. Пищевая технология. 2005. №5-6. С. 24-25.

3. Гинзбург А.С., Громов М.А., Красовская Г.И. Теплофизические характеристики пищевых продуктов: справочник. М.: Агропромиздат, 1990. 286 с.
4. Росляков Ю.Ф, Малеева О.Л. Влияние физико-химической консервации влажного зерна риса на его потребительские качества // Изв. вузов. Пищевая технология. 1999. №2-3. С. 8-10.
5. Усатиков С.В., Шаззо А.Ю. Зерновая масса как синергетически активная среда // Изв. ВУЗов. Пищевая технология. 2002. №2-3. С. 56-61.
6. Усатиков С.В., Малеева О.Л. Влияние температурно-влажностных условий и способа обработки при хранении риса-зерна на его потребительские свойства // Изв. ВУЗов. Пищевая технология. 2007. №4. С. 95-99.
7. Усатиков С.В., Малеева О.Л., Байбуз А.В. Постановка эксперимента по идентификации модели прогноза показателей качества риса при хранении // X научно-произв. конф. «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств» (11-12 декабря 2007). Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. С. 176-178.