УДК 637.057

Профессор М.М. Благовещенская, аспирант Г.Р. Давыдова, доцент Н.А. Семина
(Московский государственный университет пищевых производств, г. Москва)
кафедра информационных технологий и автоматизированных систем. тел.+7 (499) 750-01-11
E-mail: mmb@mgupp.ru
профессор И.Г. Благовещенский
(Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, г. Москва)
кафедра теоретической механики. тел.+7 (916) 964-72-81
E-mail: drbl@bk.ru

Professor M.M. Blagoveshchenskaya, graduate G.R. Davydova, associate Professor N.A. Semina
(Moscow state university of food production, Moscow) Department of information technologies and automated systems. phone +7 (499) 750-01-11
E-mail: mmb@mgupp.ru
Professor I.G. Blagoveshchenskii
(Baumann Moscow State Technical University, Moscow) Department of theoretical mechanics. phone (916) 964-72-81
E-mail drbl@bk.ru

Использование интеллектуальных технологий для контроля качества творога

Use of intellectual technologies for quality control of curd

Реферат. В данной работе нами предложен дополнительный способ контроля качества творога и творожной продукции по органолептическим показателям. Способ заключается в построении нейросетевой модели оценки качества творога по входным и выходным данным. В связи с тем, что контроль качества творога по органолептическим показателям по ГОСТу не обязателен, в статье приведена условная 5-бальная шкала для органолептической оценки творога и творожных изделий. Приведена последовательность основных операций, необходимых для составления нейросетевых моделей, и предложены рекомендации для составления программно-аппаратного комплекса. Такой способ оценки упрощает контроль качества готового продукта, так как позволяет своевременно среагировать на отклонения в процессе производства (исходя из данных, предложенных нейронной сетью), предсказать качество готового продукта при отклонении технологических параметров от заданной нормы.

Summary. In this article, we consider additional method of quality control of curds by organoleptic properties. Method consists in construction of neural network model to estimate quality of curds by input and output parameters. Quality control of curds by organoleptic properties is not necessary according to state standard specification, therefore we use exemplary 5-score scale for organoleptic estimation. Author gives an example of fundamental operation which is necessary for neural networks projection and gives recommendation for integrated hardware/software solution design. This method makes easier quality control of final product because operator can react on digression in the technological process in proper time (use data recommended by neural network), predict quality of final product in case when technological parameters deviate from the norm.

Ключевые слова: производство творога, нейросетевое моделирование, программно-аппаратный комплекс, контроль качества, органолептические показатели

Key words: curd production, neural networks projection, hardware/software solution, quality control, organoleptic properties

В настоящее время в пищевой промышленности наблюдается тенденция повышенного внимания к качеству выпускаемой продукции.

При формировании спроса на творог решающую роль для потребителя играют вкус, запах и внешний вид продукта, тогда как его химический состав и пищевая ценность большинством потребителей принимаются во внимание лишь во вторую очередь [1].

Традиционно оценку этих свойств осуществляют органолептическим путем. Однако такие оценки качества субъективны и несовершенны. Чтобы получить достоверные результаты, необходимо использовать научно обоснованные методы отбора дегустаторов и оценки продуктов, выполнить требования, предъявляемые к помещению, освещению и другие условия проведения анализа [2]. Успешное решение этой задачи при минимальных затратах на подготовку и проведение анализов станет возможным благодаря внедрению в производственный процесс автоматизированного программно-аппаратного комплекса (ПАК) контроля вкусовых показателей творога, в основе алгоритма работы которого заложена нейросетевая модель (НСМ) [3].

© Благовещенская М.М., Давыдова Г.Р., Семина Н.А., Благовещенский И.Г., 2015

Контроль качества творога по органолептическим показателям по ГОСТу не обязателен, однако многие производители используют такой метод оценки. Контроль проводится всего один раз в смену, что может привести к выпуску изделий с неудовлетворительными вкусовыми показателями, обусловленными отклонениями технологического процесса от установленных норм. Реализация такой продукции может привести как к материальным издержкам, так и к потере репутации, снижении стоимости бренда.

В связи с этим была разработана условная 5-бальная шкала для органолептической оценки творога и творожных изделий, представленная в приложении 1.

Оценка внешнего вида потребительской упаковки и маркировки осуществляется по рекомендации ГНУ ВНИМИ и Российского союза предприятий молочной отрасли.

Максимальная суммарная оценка творога и творожных изделий составляет 10 баллов, которые складываются из оценки следующих показателей:

5 баллов – вкус и запах;

3 балла – консистенция и внешний вид;

1 балл – цвет;

1 балл – внешний вид потребительской упаковки и маркировка [4].

Для решения задачи объективной оценки качества готового продукта предлагается внедрить на производстве программно-аппаратный комплекс (ПАК), в основе алгоритма работы которого заложена нейросетевая модель.

Для разработки ПАК необходимо получить набор входных параметров, влияющих на качество готового изделия (жирность сливок, количество закваски и сычужного фермента, количество влаги в твороге, жирность молока, температура сгустка и т.д.), и выходных – результаты оценки продукта дегустационной комиссией по предложенной шкале. На основе известных входных (X_1, X_2…X_n) и выходных (Y_1, Y_2) данных можно обучить нейронную сеть.

Создание нейросетевой модели базируется на применении аппарата искусственных нейронных сетей, который является одним из направлений развития теории искусственного интеллекта. Модель нейронной сети состоит из нескольких слоев искусственных нейронов, которые имитируют работу своих биологических собратьев (нервных клеток). Функционирование биологического нейрона осуществляется следующим образом: входные сигналы поступают с синапсов через тонкие густоветвящиеся отростки нейрона – дендриты, в тело клетки – сому, внутри которого находится ядро. Синапсы отличаются друг от друга размерами и возможностью концентрации особых химических субстанций вблизи своей оболочки. По этой причине импульсы одинаковой величины, поступающие на входы нервной клетки через различные синапсы, могут возбуждать ее в разной степени. Мерой возбуждения клетки считается уровень поляризации ее мембраны, зависящий от суммарного количества химических субстанций, выделенного на всех синапсах. Если возбуждение клетки невелико, то на ее выходе никакие изменения не регистрируются. Если же сумма возбуждений превысила порог активации клетки, значение выходного сигнала начинает лавинообразно нарастать, принимая вид нервного импульса. Этот импульс отводится из клетки аксоном через его многочисленные нервные окончания и попадает на синапс, через который входной сигнал поступает на другие нейроны, подключенные к данной клетке [5]. Схема нейронной сети представлена на рисунке 1.

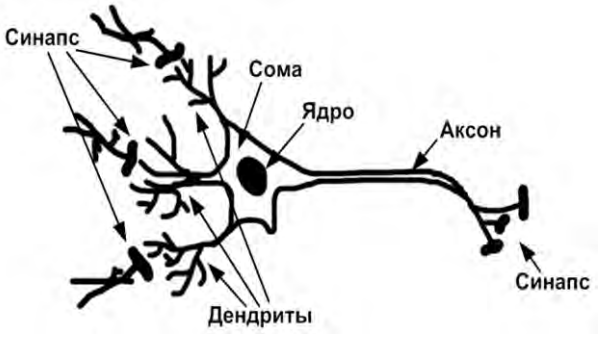

Рисунок 1. Структура биологического нейрона

Функционирование модели искусственного нейрона реализовано по упрощенной аналогии с работой нервной клетки (рисунок 2). Входные сигналы x_{ni} домножаются на соответствующие синаптические веса w_n и поступают в тело нейрона. Нейрон суммирует все произведения сигналов и весов $x_{ni}w_n$, вычисляет нелинейную функцию *F(u)*, названную функцией активации, и передает результирующее значение y_i связанным с ним нейронам [6].

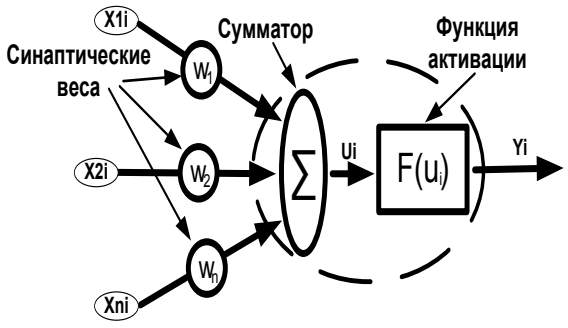

Рисунок 2. Структура искусственного нейрона

Искусственная нейронная сеть имеет один входной слой, один выходной слой и слои, размещенные между входным и выходным, которые называются скрытыми слоями. Количество скрытых слоев может быть различным, и оно определяется в процессе адаптации нейросетевой модели при решении конкретной задачи.

При решении задачи оценки показателей качества творога была опробована сеть прямого распространения типа MLP (многослойный персептрон), изображенная на рисунке 3. Особенностью такой сети является то, что входные сигналы передаются от нейронов одного слоя всем нейронам следующего слоя только в направлении от входного слоя к выходному [7].

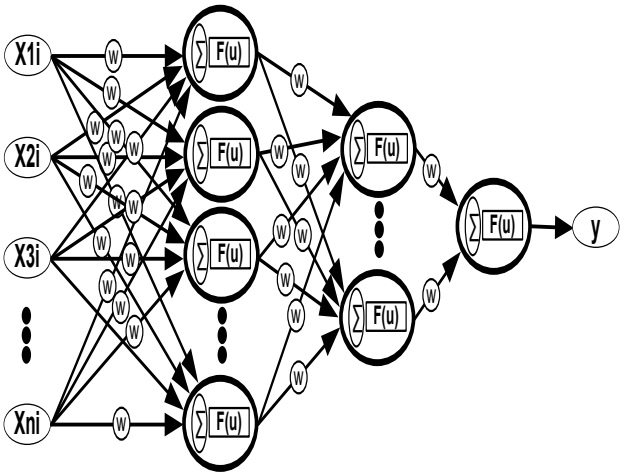

Рисунок 3. Структура многослойного персептрона

Расчет результирующих выходных сигналов $y_m^{(Z)}$ в сети, состоящей из Z слоев, проводится в несколько этапов [8]:

Вначале рассчитываются выходные сигналы первого скрытого слоя $y_k^{(1)}$:

$$y_k^{(1)} = f(\sum_{i=0}^{N} w_{ki}^{(1)} \times x_i), \qquad (1)$$

где k – количество нейронов в скрытом слое; N – количество входных сигналов; $w_{ki}^{(1)}$ – синаптические веса входных сигналов; x_i – величины входных сигналов; $f(\sum_{i=0}^{N} w_{ki}^{(1)} \times x_i)$ – функция активации сигмоидального вида.

Затем рассчитываются выходные сигналы следующего скрытого слоя $y_l^{(2)}$ [9]:

$$y_l^{(2)} = f(\sum_{j=0}^{K} w_{lj}^{(2)} \times y_j^{(1)}) = f(\sum_{j=0}^{K} w_{lj}^{(2)} \times f(\sum_{i=0}^{N} w_{ki}^{(1)} \times x_i)), \qquad (2)$$

где l – количество нейронов в следующем скрытом слое; K – количество выходных сигналов первого скрытого слоя, которые в свою очередь являются входными для следующего скрытого слоя; $w_{lj}^{(2)}$ – синаптические веса входных сигналов второго скрытого слоя.

Исходя из представленных вычислений, результирующие выходные сигналы $y_m^{(Z)}$ будут равны:

$$y_m^{(Z)} = f(\sum_{\eta=0}^{L} w_{m\eta}^{(Z)} \times y_\eta^{(Z-1)}), \qquad (3)$$

где m – количество нейронов в выходном слое; L – количество выходных сигналов последнего скрытого слоя, которые в свою очередь являются входными для выходного слоя; $w_{m\eta}^{(Z)}$ – синаптические веса входных сигналов последнего скрытого слоя; $y_\eta^{(Z-1)}$ – величины выходных сигналов последнего скрытого слоя.

Во всех вычислениях функция активации графически представляет собой сигмоид и в общем случае вычисляется по формуле:

$$f(s) = \frac{1}{1+e^{-s}} \qquad (4)$$

Работа программно-аппаратного комплекса заключается в:

1. сборе данных:
   - от технологического оборудования;
   - из результатов измерений лабораторий;
2. обработке данных;
3. оценке вкусовых показателей по нескольким критериям.

Нейронную сеть можно описать формулой:

$$\sum_j (\sum_i X_i * W_{1ij}) * W_{2jk} \qquad (5)$$

где X_i - значение входного параметра; W_{1ij} - вес связи i-го входа и j-го нейрона первого слоя; W_{2jk} - весь связи j-го нейрона первого слоя и k-го второго.

Сбор данных осуществляется со средств измерения, установленных на большинстве стадий технологического процесса производства творога. Также данные поступают из центральной и цеховой лабораторий, где проводится большинство измерений параметров качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Собранные данные являются входными для искусственной нейронной сети, которая, исходя из заложенного в ней алгоритма, оценивает результирующий показатель вкуса по нескольким критериям по десятибалльной шкале.

Принцип работы нейронной сети (рисунок 4) заключается в следующем: через нейронную сеть пропускаются наборы входных параметров, для которых известны выходные. Происходит вычисление весовых коэффициентов связей нейронов – обучение сети. Затем, если на вход подать параметры, для

которых не известны выходные, то нейронная сеть построит прогноз их значений на основе весовых коэффициентов [10].

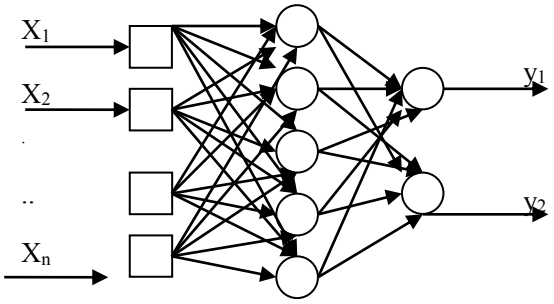

Рисунок 4. Схема нейронной сети

Для правильной работы искусственной нейронной сети необходимо ее обучить. Для обучения на вход нейронной сети должна быть подана обучающая выборка, состоящая не менее чем из ста экспериментов. Обучающую выборку подготавливают следующим образом: осуществляется сбор всех данных, которые впоследствии будут поступать на вход нейронной сети. А далее экспертная комиссия, состоящая из профессиональных дегустаторов, в условиях, необходимых для проведения дегустации, проводит оценку показателей вкуса готовых изделий, изготовленных при измеренных в ходе эксперимента параметрах, по ряду критериев.

Обучение нейронной сети сводится к подбору оптимальных синаптических весовых коэффициентов. Наиболее популярным алгоритмом обучения сетей типа MLP является алгоритм обратного распространения ошибки, основную суть которого можно изобразить на блок-схеме, представленной на рисунке 5.

Таким образом, можно оценить качество готового творога, что до этого составляло некоторую сложность, исходя из субъективности оценки. Необходимо провести ряд испытаний, что позволит дать наиболее полную оценку качества продукта и по полученным результатам обучить нейронную сеть для оценки качества всех последующих партий готового продукта.

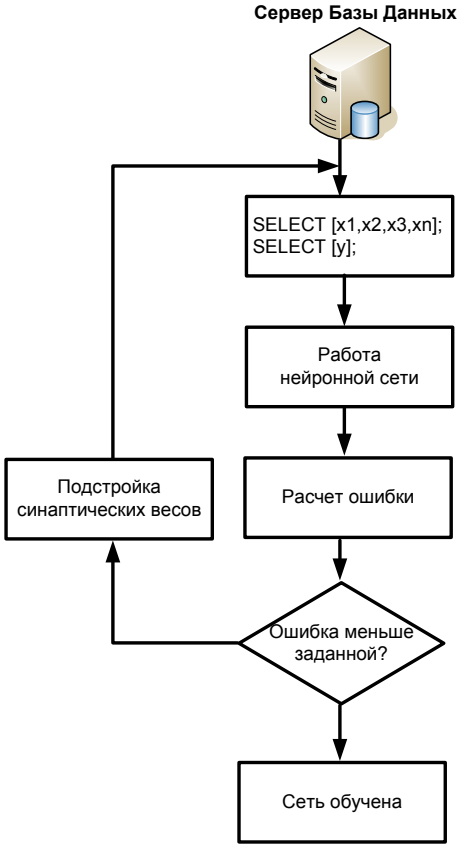

Рисунок 5. Блок-схема алгоритма обучения

Результаты экспериментов показали, что оценка показателей вкуса с помощью искусственных нейронных сетей исключает необъективность, исходящую от непрофессионализма членов специальной комиссии при проведении дегустации, и позволяет оценить вкусовые качества изделия по различным критериям за достаточно короткий промежуток времени, что способствует повышению результирующего показателя качества выпускаемой молочной продукции.

ЛИТЕРАТУРА

1 Брижашева О.В. Маркетинг торговли: учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ, 2007. 170 с.

2 Ребрин Ю.И. Управление качеством: учеб. пособие. Таганрог: ТРТУ, 2004. 174 с.

3 Апанасенко С.И., Благовещенская М.М. Системы регулирования показателей качества пищевых продуктов на основе нейросетевых алгоритмов // Сборник докладов II конференции молодых ученых «Реология и физико-химическая механика гетерофазных систем», Звенигород, 7-11 июля 2009г. М.: МГУ, 2009. С. 65 – 67

4 Меркулова Н. Г. Производственный контроль в молочной промышленности: практическое руководство: учеб. пособие. СПб: Профессия, 2009. 656 с.

5 Апанасенко С.И., Благовещенская М.М. О построении системы регулирования показателей качества пищевых продуктов с применением нейронных сетей // Сборник докладов международной научной конференции студентов и молодых ученых «Экологически безопасные, ресурсосберегающие технологии и средства переработки сельскохозяйственного сырья и производства продуктов питания». М.: МГУПБ, 2009. С. 157 – 159.

6 Апанасенко С.И., Благовещенская М.М. Применение нейронных сетей для построения автоматизированной системы корректировки рецептуры приготовления кондитерских масс // Сборник докладов научного семинара «Интенсификация и автоматизация процессов обработки пищевых продуктов». М.: МГУПБ, 2010. С. 26 – 30.

7 Апанасенко С.И., Благовещенская М.М. Построение виртуальных датчиков на основе нейросетевых алгоритмов для определения качественных показателей пищевых масс // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2010. № 2. С. 5 – 8.

8 Шаверин А.В., Благовещенская М.М. Исследование возможностей современных автоматизированных технологических линий для построения интеллектуального модуля прогнозирования вкусовых качеств кондитерских масс // Сборник докладов V Юбилейной школы - конференции с международным участием «Высокоэффективные пищевые технологии, методы и средства для их реализации». М.: МГУПП, 2007. С. 391 – 393.

9 Шаверин А.В., Благовещенская М.М. Создание программно-аппаратного комплекса для оценки показателей вкуса кондитерских изделий // Сборник докладов II конференции молодых ученых «Реология и физико-химическая механика гетерофазных систем», Звенигород, 7-11 июля 2009 г. М.: МГУ, 2009. С. 58 – 60.

10 Шаверин А.В., Благовещенская М.М. Автоматизированная система интеллектуального контроля вкуса шоколадных изделий // Хранение и переработка сельхозсырья. 2009. №11. С. 55 – 57.

REFERENCES

1 Brizhasheva O.V. Marketing torgovli [Marketing of trade]. Ulyanovsk: UlSTU, 2007. 170 p. (In Russ.).

2 Rebrin U.I. Upravlenie kachestvom [Quality control]. Taganrog: TSRU, 2004. 174 p. (In Russ.).

3 Apanasenko S.I., Blagoveshchenskaya M.M. System of quality control indicators of foodstuff based on neural network algorithms. Sbornik dokladov II konferentsii molodykh uchenykh «Reologiya i fiziko-khimicheskaya mekhanika geterofaznykh sistem» [Collection reporters IIth Int. Conf. «Rheology and physical-chemical mechanics of heterogeneous systems»], Moscow, 2009, pp. 65-67. (In Russ).

4 Merkulova N.G. Proizvodstvennyi kontrol' v molochnoi promyshlennosti: prakticheskoe rukovodstvo [Production control in the dairy industry: practical guide]. Saint Petersburg: Professiya, 2009. 656 p. (In Russ.).

5 Apanasenko S.I., Blagoveshchenskaya M.M. About creation of regulation system for quality indicators of foodstuff with neural networks. Sbornik dokladov mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh «Ecologicheski bezopasnye, resursosberegauyshchie tekhnologii i sredstva pererabotki sel'skokhozyaistvennogo suyr'ya i proizvodstva prodyktov pitaniya» [Collection reporters Int. Conf. «Environment friendly, resource-saving technologies and processing facilities of agricultural raw materials and food production»]. Moscow, 2009, pp. 157-159. (In Russ.).

6 Apanasenko S.I., Blagoveshchenskaya M.M. Neural networks application for elaboration of automated system to adjust recipes of confectionery products. Sbornik dokladov nauchnogo seminara «Intensifikatsiya i avtomatizatsiya protsessov obrabotki pishchevykh produktov» [Collection reporters Int. Conf «ntensification and automation the processing of foodstuffs»]. Moscow, 2010, pp. 26-30. (In Russ.).

7 Apanasenko S.I., Blagoveshchenskaya M.M. Elaboration of virtual sensors based on neural network algorithms for determination of food masses quality indicators. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technology], 2010, no. 2, pp. 5-8. (In Russ.).

8 Shaverin A.V., Blagoveshchenskaya M.M. Research of contemporary automatized process lines possibilities for developing intellectual module of forecasting confectionery products flavor. Sbornik dokladov V Uybileinoi shkoly-konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Vysokoeffektivnye pishchevye tekhnologii, metody i sredstva dlya ikh realizatsii» [Collection reporters Vth Int. Conf. «Highly effective food technologies, methods and facilities for its achievement»]. Moscow, 2007, pp. 391-393. (In Russ.).

9 Shaverin A.V., Blagoveshchenskaya M.M. Creation of a hardware-software complex for taste estimation of confectionery products. Sbornik dokladov II konferentsii molodykh uchenykh «Reologiya i fiziko-khimicheskaya mekhanika geterofaznykh sistem» [Collection reporters IIth Int. Conf. «Rheology and physical-chemical mechanics of heterogeneous systems»]. Moscow, 2009, pp. 58-60.

10 Shaverin A.V., Blagoveshchenskaya M.M. The automatized system of intellectual control of chocolate products taste. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya* [Storage and processing of agricultural products], 2009, no. 11, pp. 55-57. (In Russ.).

Приложение 1

Рекомендуемая шкала дегустационной оценки творога и творожных изделий

Показатели продукта, общая оценка	Снижение оценки, баллы	Оценка, баллы
Вкус		
***Очень хорошо*:** чистый, кисломолочный, без посторонних привкусов и запахов, с легким привкусом пастеризации, для творога с использованием сухого молока	0	5
Хорошо: наличие не более одного из следующих признаков: кислый вкус, привкус сыворотки, ореховый (для творога без наполнителей), слабо-кормовой привкус	1	4
Удовлетворительно: одновременно наличие не более двух из следующих признаков: слабо выраженные характерные для творога вкус и запах, наличие дрожжевого запаха и привкуса, чрезмерно кислый вкус, слабая горечь	2	3
***Плохо и очень плохо**:* (в зависимости от степени выраженности порока): вкус и запах – не характерные для продукта, присутствуют выраженные посторонние привкусы и запахи	3-4	2-1
Внешний вид и консистенция		
***Очень хорошо*:** однородная, мягкая, слегка мажущаяся, рассыпчатая, с наличием или без видимых частиц молочного белка. Для нежирного – незначительное отделение сыворотки	0	3
Хорошо: наличие не более двух следующих признаков: мажущая консистенция, легкая крупитчатость, незначительная мучнистость. Для нежирного – заметное отделение сыворотки	1	2
Удовлетворительно: наличие не более двух следующих признаков: рыхлая, чрезмерно рассыпчатая, слегка неоднородная консистенция. Для нежирного продукта – значительное отделение сыворотки	2	1
Плохо и очень плохо: (в зависимости от степени выраженности порока): выраженная резинистая, комковатая, грубая, крошливая, чрезмерно мажущая, слизистая консистенция, сильное отделение сыворотки	3	0
Цвет		
Удовлетворительно: равномерный от белого до светло-кремового.	0	1
Неудовлетворительно: неравномерный	1	0
Внешний вид потребительской упаковки и маркировки		
***Отлично* и *хорошо*:** правильные надписи на этикетках и маркировке	0	1
***Удовлетворительно*:** правильные надписи на этикетках и маркировке, недостаточно четкая маркировка и яркость надписи, незначительные дефекты в заделке упаковочного материала, отдельные вмятины на поверхности	0.5	0.5
***Плохо*:** грязная, поврежденная тара, значительная деформация упаковки и продукта с нарушением герметичности упаковки, нечеткая, нечитаемая, неправильная маркировка или ее отсутствие	1	0