



СОЮЗ СОВЕТСКИХ
СОЦИАЛИСТИЧЕСКИХ
РЕСПУБЛИК

(19) SU (11) 1721476 A1

(51) G 01 N 21/25

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИЗОБРЕТЕНИЯМ И ОТКРЫТИЯМ
ПРИ ГКНТ СССР

ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

К АВТОРСКОМУ СВИДЕТЕЛЬСТВУ

1

(21) 4721657/25

(22) 22.05.89

(46) 23.03.92. Бюл. № 11

(71) Всесоюзный проектно-конструкторский и научно-исследовательский институт автоматизации пищевой промышленности Научно-производственного объединения "Пищепромавтоматика"

(72) Л.Б.Багдасарян, С.А.Черненко, А.В.Сиденко и Л.Н.Ахапкин

(53) 535.24 (088.8)

(56) Авторское свидетельство СССР № 1286959, кл. G 01 N 21/31, 1987.

Семенов Л.А., Сиря Т.Н. Методы построения градуировочных характеристик средств измерения. - М.: Изд-во стандартов, 1986.

(54) СПОСОБ ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ СЫПУЧИХ ПРОДУКТОВ

(57) Изобретение относится к приборостроению для пищевой промышленности и предназначено для автоматического измерения влажности сыпучих продуктов в потоке и лабораторных условиях. Цель изобретения

2

- повышение точности измерения влажности продукта при различном содержании неанализируемых компонент. Поставленная цель достигается тем, что влажность определяют уравнением, связывающим значение влажности только с оптическим показателем на спектральной позиции воды, а коэффициенты уравнения регрессии, задающие параллельное смещение и наклон градуировочной характеристики, автоматически изменяют в зависимости от принадлежности анализируемого продукта определенной области в n-мерном пространстве признаков, которыми являются коэффициенты спектрального отражения на спектральных позициях измеряемых и неизмеряемых компонент. Разделение продукта на области в пространстве оптических признаков производят дискриминантными функциями вида $\hat{A}\hat{R} = \hat{B}$ путем получения произведения матрицы коэффициентов спектрального отражения \hat{R} на матрицу преобразования \hat{A} и сравнения результата с граничными значениями, определяемыми матрицей \hat{B} . 4 ил., 1 табл.

Изобретение относится к области приборостроения для пищевой промышленности и предназначено для автоматического измерения влажности сыпучих продуктов в потоке и лабораторных условиях.

Известны способы измерения влажности, производящие распознавание измеряемого продукта и корректировку на основе этого результата измерений влагомера.

В способе измерения влажности происходит распознавание полноты заполнения зоны измерения влажности анализируемым

продуктом. Для повышения точности измерения используется вторая реперная длина волны $\lambda_{\text{реп2}}$. При этом коэффициент отражения на длине волны $\lambda_{\text{реп2}}$ должен отличаться от коэффициента отражения на первой реперной длине волны $\lambda_{\text{реп1}}$ не менее чем на 10%. Измерение влажности данным способом производится следующим образом. на первом этапе определяется полнота заполнения зоны измерения продуктом (например, чаем), для этого находят отношение коэффициентов отражения на

(19) SU (11) 1721476 A1

1989

первой и второй опорных длинах волн $R_{\lambda_{\text{ref1}}}/R_{\lambda_{\text{ref2}}}$ (оптический признак) и сравнивают его со значением, полученным в результате масштабирования оптического признака во влаге равного отношению коэффициентов отражения аналитической (по влаге) длины волны к первой опорной $\Delta = R_{\lambda_{\text{изм}}}/R_{\lambda_{\text{ref1}}}$.

Если в результате сравнения получается число меньше заданного, то на втором этапе производят измерение влажности W с помощью зависимости $W = f(\Delta)$. Если в результате сравнения получается число больше заданного, то это является признаком того, что участок транспортера в зоне облучения контролируемого материала не полностью заполнен чаем и результат измерения влажности по оптическому признаку Δ будет недостоверным, поэтому расчет влажности не производится. В данном способе измерения используется отличие формы спектральных характеристик материала транспортера (резины) и чая в ближней ИК-области, при котором могут быть получены и отличающиеся друг от друга зависимости

$$R_{\lambda_{\text{ref2}}}/R_{\lambda_{\text{ref1}}} = \varphi(\Delta)$$

для случаев заполнения чаем зоны облучения на 90, 80 и 70%.

Однако для продуктов с различным содержанием компонент при одинаковых формах спектральных характеристик отношение коэффициентов отражения на первой и второй опорной длинах волн отличается на незначительную величину. В то же время существует взаимное влияние количеств неизмеряемых компонент на погрешность измерения влажности.

Известен способ учета влияния состава продукта на градуировочную характеристику влагомера, использующий схему множественной регрессии. При этом в уравнение регрессии, по которому рассчитывается влажность, помимо оптического признака на линии поглощения воды вводятся оптические признаки на линиях поглощения других неизмеряемых компонент, влияние которых необходимо учесть при автоматической корректировке градуировочной характеристики.

Например, при измерении влажности шрота основной неизменяемой компонентой, влияющей на градуировочную характеристику влагомера, является количество масла в продукте.

Таким образом, уравнение регрессии представляется в виде

$$W_{\text{изм}} = K_0 + K_1 \ln \frac{R_{\lambda_{\text{изм}}}}{R_{\lambda_{\text{ref1}}}} + K_2 \ln \frac{R_{\lambda_{\text{неизм}}}}{R_{\lambda_{\text{ref2}}}} + K_3 \ln \frac{R_{\lambda_{\text{неизм}}}}{R_{\lambda_{\text{ref3}}}} + \dots, \quad (1)$$

где W — измеренное значение влажности; $R_{\lambda_{\text{изм}}}$ — коэффициент спектрального отражения на линии поглощения воды; $R_{\lambda_{\text{неизм}}}$, $R_{\lambda_{\text{неизм}}}$ — коэффициенты спектрального отражения на линиях поглощения неизмеряемых компонент продукта (например, для шрота масло, белок, клетчатка и т.д.); $R_{\lambda_{\text{ref1}}}$, $R_{\lambda_{\text{ref2}}}$, $R_{\lambda_{\text{ref3}}}$ — коэффициенты спектрального отражения на опорной длине волны; K_0 , K_1 , K_2 , K_3 — коэффициенты уравнения регрессии. Определение коэффициентов $K_0 \dots K_3$ в уравнении (1) производят путем подготовки проб продукта с различными по диапазону значениями измеряемой компоненты при фиксированном значении неизмеряемых компонент с обработки массива полученных выходных сигналов влагомера методом регрессионного анализа. Например, для шрота в пробах последовательно фиксируются значения масла, при которых по диапазону изменяются значения влажности.

Однако такой метод не позволяет поставить в соответствие продукту с различным содержанием измеряемых компонент его градуировочную характеристику, так как при этом в выражении (1) корректируется только свободный член K_0 и отсутствует возможность изменения коэффициента K_1 при измеряемом оптическом признаке на линии воды. Изменение свободного члена K_0 происходит в связи с тем, что повышение либо понижение оптических признаков неизмеряемых компонент влияет на соответствующие члены уравнения (1), которые увеличивают либо уменьшают значение K_0 . Таким образом, имеется возможность параллельного смещения градуировочных характеристик и отсутствует возможность изменения угла наклона.

Цель изобретения — повышение точности измерения влажности продукта при различном содержании неизмеряемых компонент.

На фиг. 1 представлено устройство, реализующее способ измерения влажности сыпучих продуктов, на фиг. 2 и 3 — спектральные и градуировочные характеристики соответственно; на фиг. 4 — спектры.

На фиг. 2 представлены реальные спектральные характеристики одного и того же продукта (шрота), снятые на спектрокомпьютере "Инфранид-61" в ближней инфракрасной области (ИК-области) $\ln R = f(\lambda)$, где $\ln R$ — логарифм коэффициента спектрально-

го отражения; λ — длина волны. Цифрами 6-8 обозначены виды продуктов, полученных с различных предприятий и имеющих различное содержание неизмеряемой компоненты (масла), соответственно максимальное, среднее и минимальное значения (линия поглощения λ_1). Из этих видов продуктов приготовлены пробы с различным содержанием влаги по диапазону 0, 5, 8 и 12%, аналитическая линия поглощения влаги — λ_2 , λ_3 — опорная длина волны. Таким образом получены пробы с различным по диапазону значением измеряемой компоненты и фиксированным значением неизмеряемой. Представленные на фиг. 2 спектральные характеристики видов шрота являются наиболее характерными и выбранными из числа исследованных спектральных характеристик, которые располагаются между данными.

На фиг. 3 представлены градуировочные характеристики, соответствующие крайним и среднему видам шрота 6-8. По осям координат отложены: $W_{ист}$ — истинное значение влажности, определенное лабораторным методом высушивания; $W_{изм}$ — измеренное значение влажности, равное в соответствии с выражением (1)

$$W = K_0 + K_1 \ln \frac{R\lambda_3}{R\lambda_2} \quad (2)$$

Пунктиром обозначена зона технологически допускаемых отклонений $\pm 1\%$. При этом видно, что погрешность измерения влажности крайних шротов значительно шире зоны допуска.

На фиг. 4 отдельно приведены спектры тех же видов шрота с нулевым значением влажности (нулевые спектральные характеристики).

На фиг. 2-4 было определено, что увеличение количества неизмеряемой компоненты (масла в шроте) приводит к увеличению логарифма коэффициентов спектрального отражения проб нулевой влажности по всему исследуемому диапазону фиг. 4, что приводит к перемещению градуировочной характеристики фиг. 3. Причем чем ближе расположены нулевые спектральные характеристики на фиг. 4, тем ближе располагаются градуировочные характеристики на фиг. 3. Наблюдается также веерообразное распределение градуировочных характеристик, т.е. сужение в начале диапазона и расширение к концу. Поэтому для корректировки градуировочных характеристик, т.е. для введения их в зону допуска, обозначенную пунктиром фиг. 3, необходимо в выражении (2) изменять оба коэффициента уравнения регрессии K_0 и K_1 . Это

изменение необходимо производить в зависимости от вида шрота и соответственно в зависимости от местоположения его нулевой спектральной характеристики. С этой целью на первом этапе измерений производится распознавание вида шрота или группы видов шротов, спектральные характеристики которых находятся близко друг от друга. На втором этапе ставятся им в соответствие коэффициенты K_0 и K_1 , приводящие градуировочную характеристику в зону допуска. Эти коэффициенты используются при измерении влажности по выражению (2).

Основными теоретическими положениями, вытекающими из приведенных фиг. 1-3, которые определяют возможность разбienia видов продукта на области, явились следующие: спектры шрота различных видов одинаковы по форме и отличаются величиной коэффициента спектрального отражения неизмеряемых компонент, влияющих на градуировочную характеристику по влаге; градуировочные характеристики для различных видов продукта совпадают, если совпадают их нулевые спектральные характеристики; информативными в спектральной характеристике являются линии доминирующих компонент продукта, по которым может быть произведено распознавание.

Исходя из этого для шрота была определена информативная неизмеряемая компонента (масло), влияющая на градуировочную характеристику по влаге и выбрано трехмерное пространство признаков, которыми являются соответственно коэффициенты спектрального отражения на линиях масла, неаналитической опорной и влаги λ_1 , λ_2 , λ_3 (фиг. 2).

Вид дискриминантных функций ограничили классом линейных дискриминантных функций

$$a_{11}R_1 + a_{12}R_2 + a_{13}R_3 = b_1 \quad (3)$$

$$a_{21}R_1 + a_{22}R_2 + a_{23}R_3 = b_2 \quad (4)$$

$$a_{41}R_1 + a_{42}R_2 + a_{43}R_3 = b_4 \quad (5)$$

или в матричной форме

$$\hat{A} \hat{R} = \hat{B},$$

где $\hat{R} = \begin{pmatrix} R_1 \\ R_2 \\ R_3 \end{pmatrix}$ — матрица-столбец коэффициентов спектрального отражения;

$\hat{A} = \begin{pmatrix} a_{11} \dots a_{1j} \dots a_{1n} \\ a_{21} \dots a_{2j} \dots a_{2n} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ a_{m1} \dots a_{mj} \dots a_{mn} \end{pmatrix} \begin{matrix} j = 1 \dots n \\ i = 1 \dots m \end{matrix}$ — матрица преобразования

$$\hat{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_m \end{bmatrix}$$

матрица-столбец граничных значений областей.

Для определения коэффициентов матрицы преобразования a_{ij} и матрицы граничных значений b_i были подготовлены пробы характерных видов различных по диапазону влажности шротов с фиксированным значением неизмеряемой компоненты и на трехканальном ИК-влажномере определены коэффициенты спектрального отражения на линиях поглощения масла, влаги, и опорной каждой пробы. Затем по специально разработанной программе на ЭВМ рассчитаны коэффициенты a_{ij} дискриминантных функций.

Значения рассчитанных коэффициентов a_{ij} и b_i приведены в следующих выражениях:

$$\hat{A} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0,451 \\ -0,922 & 1 & -0,107 \\ -1 & 0,85 & -0,052 \\ -1 & 0,824 & -0,073 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\hat{B} = \begin{bmatrix} -0,076 \\ -0,0546 \\ -0,083 \\ -0,042 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Значения градуировочных коэффициентов, используемых для расчета влажности при нахождении шрота в соответствующей области, приведены в таблице.

На фиг. 1 обозначены сыпучий продукт 1, инфракрасный фотометр 2, блок 3 аналого-цифровых преобразователей, вычислительный блок 4, блок 5 индикации.

Сыпучий продукт 1 облучают источником света, находящимся в инфракрасном фотометре 2. Отраженный от сыпучего продукта световой сигнал оптически формируют и с помощью системы светофильтров выделяют спектральные позиции длин волн влаги, опорной и информативных неизмеряемых компонент (в данном случае одной информативной компоненты — масла). Таким образом, в результате преобразования с помощью фотоприемника светового инфракрасного сигнала в электрический на выходе инфракрасного фотометра 2 появляются напряжения, пропорциональные коэффициентам спектрального отражения на линиях масла, неаналитической опорной и влаги $R\lambda_1$, $R\lambda_2$, $R\lambda_3$. Полученные значения коэффициентов спектрального отражения преобразуют в цифровую форму в блоке 3 аналого-цифрового преобразования соответственно в числа N_1 , N_2 , N_3 , которые подают в вычислительный блок 4. В последнем определяют логарифмы отношения коэффи-

циентов спектрального отражения от сыпучего продукта на спектральных позициях воды и неаналитической опорной $\ln \frac{N_3}{N_2}$, а

также рассчитывают влажность $W_{изм}$ путем умножения и суммирования полученного значения логарифма на градуировочные коэффициенты K_1 и K_0 в соответствии с выражением

$$W_{изм} = K_1 \ln \frac{N_3}{N_2} + K_0$$

Численные значения градуировочных коэффициентов, соответствующих анализируемому виду продукта (например, шрота) выбирают из имеющихся в памяти вычисленного блока 4. Для этого числа N_1 , N_2 , N_3 , пропорциональные коэффициентам спектрального отражения, полученным от продукта (шрота), умножают соответственно на строку коэффициентов матрицы преобразования и суммируют следующим образом:

$$a_{11}N_1 + a_{12}N_2 + a_{13}N_3 = b_p.$$

Результат суммирования b_1 сравнивают с первым членом матрицы столбца граничных значений b_1 .

Если полученное значение больше b_1 , то из памяти вычислительного блока выводятся градуировочные коэффициенты уравнения регрессии K_0^1 и K_1^1 , соответствующие той области пространства оптических признаков, в которой по своим параметрам находится измеренный вид продукта. Если полученное значение b_p меньше b_1 , то числа N_1 , N_2 , N_3 умножаются соответственно на следующую строку коэффициентов матрицы преобразования:

$$a_{21}N_1 + a_{22}N_2 + a_{23}N_3 = b_p.$$

Результат суммирования сравнивают с вторым членом матрицы столбца граничных значений b_2 . Аналогично принимается решение о нахождении данного вида продукта (шрота) во второй области пространства оптических признаков и выводе из памяти, для расчета влажности соответствующих этой области коэффициентов уравнения регрессии K_0^1 и K_1^1 , либо о проведении нового цикла последовательных операций. При достижении последней строки матрицы и получении результата суммирования меньше последнего граничного значения b_5 принимается решение о нахождении данного вида продукта (шрота) в пятой области пространства оптических признаков и выводе из памяти соответствующих этой области коэффициентов уравнения регрессии K_0^5 , K_1^5 . Результат измерения влажности $W_{изм}$ выводится на индикацию в блок 5.

Пример 1 (для случая, когда сыпучий продукт (шрот) с влажностью, определенной по методу высушивания, 8,7%, находится во второй области пространства оптических признаков).

Сыпучий продукт облучают источником света. В отраженном от сыпучего продукта световом сигнале с помощью системы светофильтров выделяют спектральные позиции длин волн влаги, опорной и информативной неизмеряемой компоненты (масло). Определяют логарифмы полученных коэффициентов спектрального отражения на этих длинах волн, которые равны соответственно $\ln R_1 = 0,1434$; $\ln R_2 = 0,1186$; $\ln R_3 = 0,3626$.

Находят логарифм отношения $\ln \frac{R_3}{R_2}$

$$\ln R_3 - \ln R_2 = 0,244.$$

Вычисляется параметр b_p с использованием первой строки матрицы (6)

$$b_p = 0,09846$$

и сравнивается с граничным значением первой области из матрицы (7) -0,076.

$$b_p < b_1; 0,09846 < -0,076.$$

Полученное значение $b_p < b_1$. Поэтому вычисляется новый параметр b_p с использованием второй строки матрицы (6)

$$b_p = -0,0524.$$

сравнивается с граничным значением второй области матрицы (7) -0,0546.

$$b_p > b_1;$$

$$-0,0524 > -0,0546.$$

Условие $b_p > b_1$ выполняется, т.е. сыпучий продукт (шрот) находится во второй области пространства оптических признаков.

Поэтому при расчете влажности используются градуировочные коэффициенты, соответствующие второй области (таблица) $K_0 = -5,89$; $K_1 = 59,17$.

$$W_{\text{изм}} = -5,89 + 59,17 \ln \frac{R_3}{R_2} = 8,5\%.$$

Пример 2 (для случая, когда сыпучий продукт (шрот) с влажностью, определенной по методу высушивания 7,8%, находится в пятой области пространства оптических признаков).

Сыпучий продукт облучают источником света. В отраженном от сыпучего продукта световом сигнале с помощью системы светофильтров выделяют спектральные позиции длин волн влаги, опорной и информативной неизмеряемой компоненты (масло). Определяют логарифм полученных коэффициентов спектрального отражения на этих длинах волн, который равен соответственно $\ln R_1 = 0,2285$; $\ln R_2 = 0,1946$; $\ln R_3 = 0,4730$.

Находят логарифмы отношения $\ln \frac{R_3}{R_2}$

$$\ln R_3 - \ln R_2 = 0,2790.$$

Вычисляют параметр b_p с использованием первой и последующих строк матрицы (6) и результат сравнивается с граничным значением соответственно первой и последующих областей матрицы (7)

$$b_p = -0,2091;$$

$$-0,2091 < -0,076;$$

$$b_p = -0,067288.$$

$$-0,067288 < -0,0546;$$

$$b_p = -0,088196;$$

$$-0,088196 < -0,083;$$

$$b_p = -0,1031;$$

$$-0,1031 < -0,042.$$

В результате проведенных операций очевидно, что данный вид сыпучего продукта относится к пятой области пространства оптических признаков и поэтому при расчете влажности используются градуировочные коэффициенты, соответствующие пятой области (таблица).

$$K_0 = -5,63; K_1 = 46,34.$$

$$W_{\text{изм}} = -5,63 + 46,34 \ln \frac{R_3}{R_2} = 7,3\%.$$

Способ измерения влажности может быть реализован для любого вида сыпучих продуктов. Для этого необходимо провести аналогичные исследования с определением доминирующих неизмеряемых компонент, а также дискриминантных функций и регрессионных коэффициентов, соответствующих каждой области.

Использование способа измерения влажности сыпучих продуктов обеспечивает по сравнению с существующими способами следующие преимущества: повышение точности измерения влажности; исключение проведения на предприятии индивидуальной градуировки влагомера под данный вид продукта.

Результаты экспериментальных исследований влагомера, использующего способ измерения влажности, показали, что погрешность измерения влажности всех видов шрота не превысила $\pm 1\%$.

Ф о р м у л а и з о б р е т е н и я

Способ измерения влажности сыпучих продуктов, заключающийся в измерении коэффициентов спектрального отражения воды и неанализируемой компоненты и представлении зависимости влажности от логарифма указанных оптических показателей в виде уравнения множественной регрессии, отличающийся тем, что, с целью повышения точности измерения влажности продукта с различным содержанием неанализируемых компонент, допол-

нительно измеряют коэффициенты спектрального отражения остальных требуемых неанализируемых компонент, а значения коэффициентов уравнения регрессии, связывающего влажность с логарифмом оптического показателя на спектральной позиции воды, и задающих параллельное смещение и наклон градуировочной характеристики, определяют из таблицы коэффициентов, для чего рассчитывают свободный член b_{p1} дискриминантной функции из зависимости

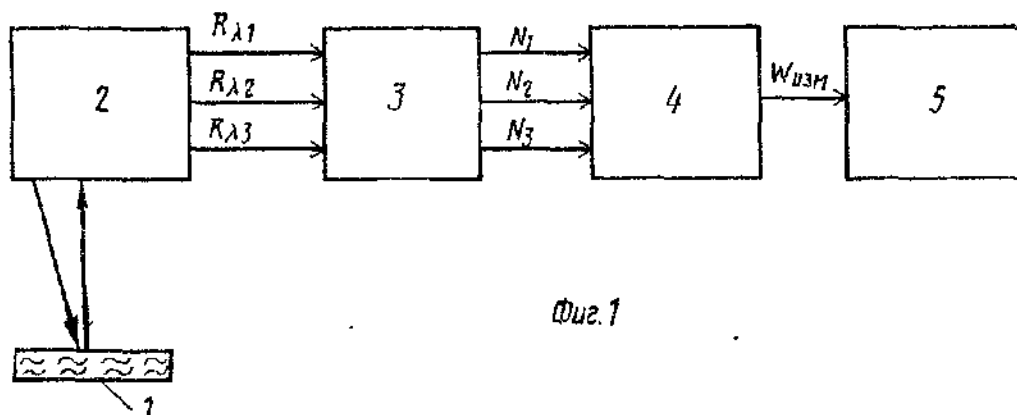
$$a_{11}R_1 + a_{12}R_2 + a_{13}R_3 = b_{p1},$$

где a_{11} , a_{12} , a_{13} — коэффициенты первой строки матрицы \hat{A} коэффициентов при переменных уравнениях плоскости дискриминантной функции;

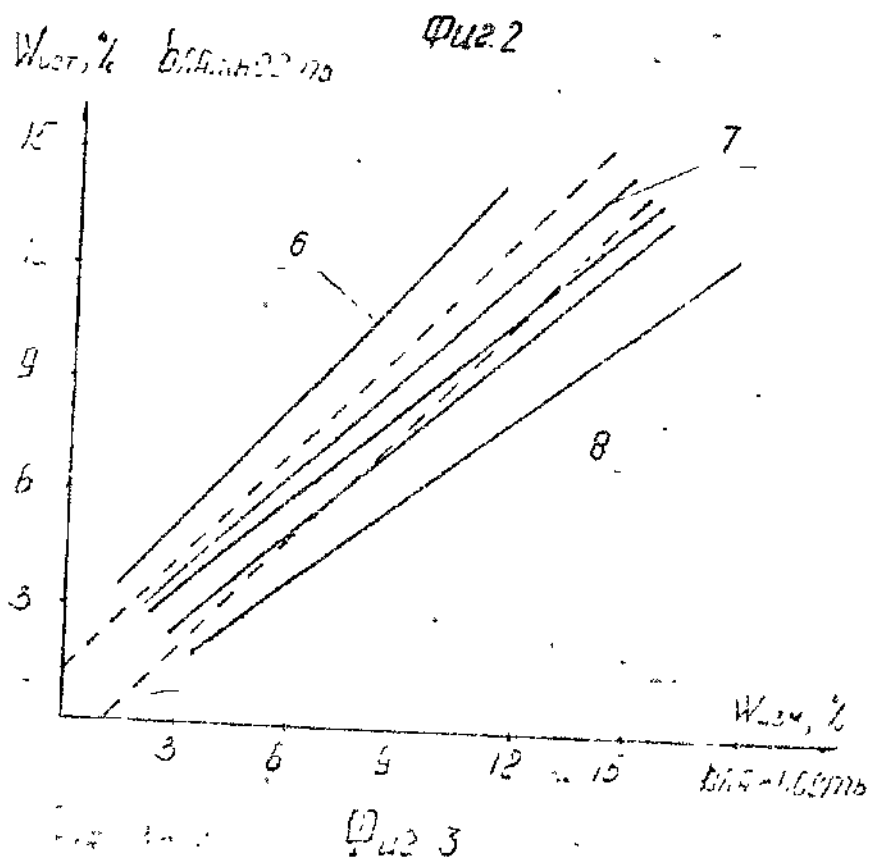
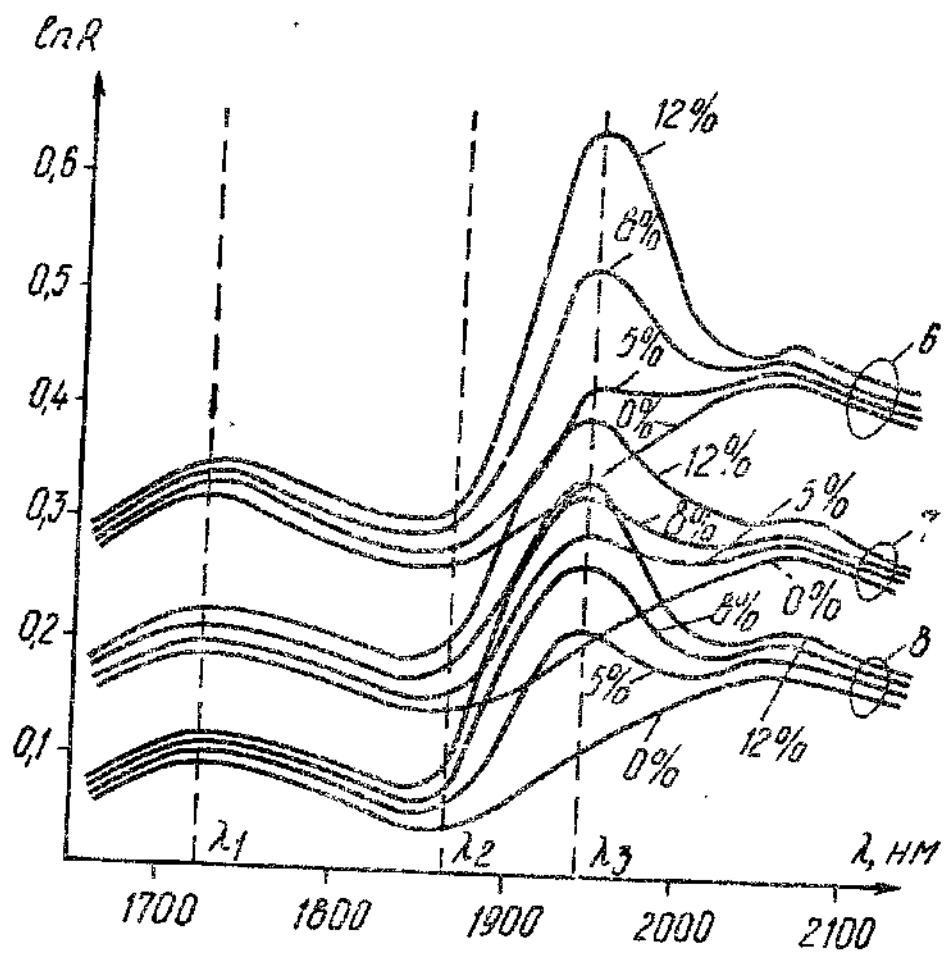
R_1 , R_2 , R_3 — значения логарифмов коэффициентов спектрального отражения на спектральных позициях соответственно неанализируемой доминирующей компоненты, неанализируемой компоненты и воды.

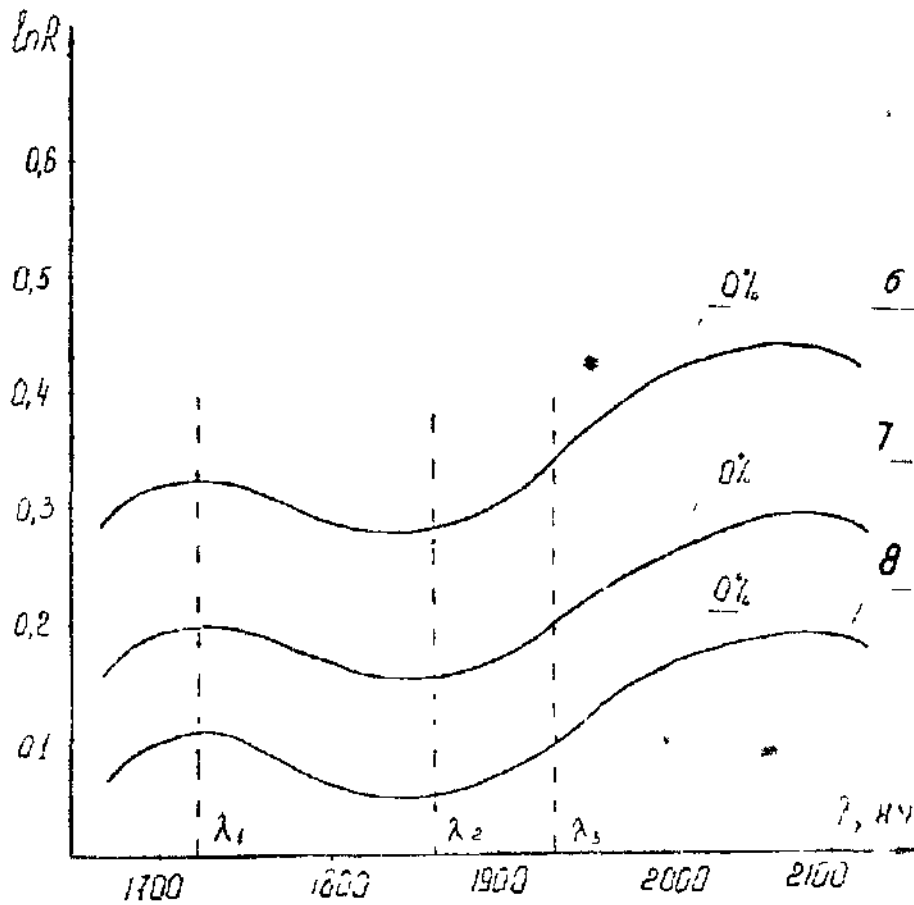
после чего свободный член b_{p1} дискриминантной функции сравнивают с первым свободным членом b_1 матрицы-столбца \hat{B} свободных членов уравнений плоскости дискриминантной функции, при выполнении условия $b_{p1} - b_1 < 0$ рассчитывают новое значение свободного члена дискриминантной функции b_{p2} с использованием коэффициентов второй строки матрицы \hat{A} и сравнивают с вторым свободным членом b_2 из матрицы-столбца \hat{B} , повторяют указанное действие до выполнения условия $b_{pl} - b_l > 0$, где l — номер строки матрицы \hat{B} , при этом в уравнение регрессии вводят коэффициенты, соответствующие l -му номеру строки таблицы коэффициентов, а в случае постоянного знака разности $b_{pl} - b_l < 0$ для всех m строк матрицы преобразования \hat{A} в уравнение регрессии вводят коэффициенты, соответствующие последнему номеру строки таблицы коэффициентов.

Номер области	Градуировочные коэффициенты	
	K_1	K_0
1	77,31	-8,51
2	59,17	-5,89
3	54,04	-5,52
4	55,91	-6,99
5	46,34	-5,63



Фиг. 1





Фиг. 4
40

45

50

Редактор Е. Папп Составитель В. Калечиц
Техред М. Моргентал Корректор М. Пожо

Заказ 947 Тираж Подписное
ВНИИПИ Государственного комитета по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР
113035 Москва, Ж-35, Раушская наб., 4/5

Производственно-издательский комбинат "Патент", г. Ужгород, ул. Гагарина, 101