

УДК: 57.032. 634.1: 631.55.004.16

**Сопоставление естественной убыли с её средним значением при  
нелинейном изменении массы растительного сырья при  
холодильном хранении**

Е.А. Коломичева, С.В. Мурашев

keaspb7@yandex.ru, s.murashev@mail.ru

Институт холода и биотехнологий

В.Г. Вержук

Всероссийский научно исследовательский институт растениеводства

им. Н.И. Вавилова

*В настоящее время значение естественной убыли принято определять посредством нахождения среднего значения этого показателя за всю продолжительность хранения растительного сырья. В статье продемонстрирован альтернативный метод нахождения значения естественной убыли и доказана его большая точность по сравнению с общепринятым методом.*

**Ключевые слова:** естественная убыль, изменение массы, угловой коэффициент касательной.

**Comparison of a natural decrease to its average value at nonlinear  
change of weight of vegetative raw materials at refrigerating  
storage.**

E.A.Kolomicheva, S.V.Murashev, V.G.Verzhuk

keaspb7@yandex.ru, s.murashev@mail.ru

Institute of Refrigeration and Biotechnologies N.I. Vavilov Institute of Plant Industry

*Nowadays the value of a natural decrease can be defined by means of a finding of average value of this indicator for all duration of storage of vegetative raw materials. In article the alternative method of a finding of value of a natural decrease is shown and its big accuracy in comparison with the standard method is proved.*

**Keywords:** natural decrease, change of weight, angular factor of a tangent.

Естественную убыль растительной продукции можно отнести к интегральным показателям, характеризующим ее способность сохранять качественную стабильность при хранении. Потери растительной массы при хранении зависят от ряда причин: соотношения свободной и связанной воды

в растительных тканях, интенсивности дыхания и выделения физиологического тепла в этом процессе, проницаемости по отношению к воде цитоплазматических мембран и покровных тканей. Кроме того, энергия, аккумулируемая в клетках при дыхании, необходима для работы защитных систем. Однако, одновременно, с процессом дыхания связано производство активных форм кислорода, рассматриваемых как главная причина старения живых организмов.

Следовательно, при хранении растительной продукции протекают различные процессы, влияние которых на интенсивность испарения воды из растительного сырья, а, следовательно, и на величину естественной убыли, во многом зависит от состояния воды в клетках. Точное определение этого параметра имеет большое научное и практическое значение.

Научное значение точного определения естественных потерь массы растительного сырья при хранении заключается в том, что выявление корреляционных зависимостей между величиной естественной убыли и обменными процессами, происходящими в растительной ткани, возможно при условии точного одновременного определения значений параметров, между которыми хотят установить корреляцию. При нелинейном изменении массы величина естественной убыли постоянно изменяется, а использование среднего значения не позволит установить наличие корреляционных зависимостей.

Рассмотрим случаи линейного и не линейного изменения массы растительного сырья при хранении. Если зависимость изменения растительной массы ( $m$ ) от времени хранения ( $t$ ) носит линейный характер:

$$m = a \cdot t + b, \quad (1)$$

где:  $a$  – угловой коэффициент прямой,  $b$  – свободный член уравнения, то естественная убыль, представляющая собой отношение уменьшения массы растительного сырья ( $\Delta m$ ) за определенное время ( $\Delta t$ ), в соответствии с рис. 1, будет равна:

$$\Delta m / \Delta t = \operatorname{tg} \alpha = a, \quad (2)$$

где:  $\operatorname{tg} \alpha$  – тангенс угла наклона прямой, или первая производная уравнения (1).

Следовательно, получив математическое выражение линейной функции (1) находим угловой коэффициент прямой линии ( $a$ ), определяющий

величину естественной убыли. Для получения окончательного результата угловой коэффициент необходимо привести к единице массы, т.к. масса растительной продукции, используемая для получения функционального выражения (1) не постоянна и может быть разной в ходе исследований.

Однако по линейному закону масса продукции во время хранения изменяется не всегда. В случае нелинейного изменения (рис. 2) величина естественной убыли постоянно изменяется, что вызывает затруднение с ее точным определением в конкретный момент времени.

При нелинейном изменении массы растительной продукции во время хранения, точное определение естественной убыли в необходимый момент времени сводится к нахождению уравнения касательной к функции  $m = f(t)$  в требуемый момент времени (рис. 2). Для этого следует найти функциональное выражение зависимости массы продукта ( $m$ ) от продолжительности хранения ( $t$ ). Это удобно сделать в форме полинома с помощью программы *Excel* или другой программы, позволяющей выполнить эту операцию. Предположим, что это будет уравнение второй степени:

$$m = c \cdot t^2 + d \cdot t + e, \quad (3)$$

где:  $c, d$  – коэффициенты уравнения,  $e$  – свободный член уравнения.

В дальнейшем после дифференцирования уравнения (3) следует найти значение первой производной ( $m'(t_0)$ ) в момент времени  $t_0$  (рис. 2), в который требуется определить значение естественной убыли:

$$m'(t_0) = 2 \cdot c \cdot t_0 + d, \quad (4)$$

где:  $c$  – коэффициент уравнения,  $d$  – свободный член уравнения.

Полученное значение (4) подставляем в уравнение касательной к кривой [1]:

$$m - m_0 = m'(t_0)(t - t_0). \quad (5)$$

где:  $m$  – масса продукта,  $m_0$  – масса продукта в момент времени  $t_0$ ,  $m'(t_0)$  – значение первой производной,  $t$  – продолжительность хранения.

Для полинома второй степени (3) в результате подстановки (4) в (5) получается следующее уравнение касательной в точке  $(t_0, m_0)$ :

$$m = (2 \cdot c \cdot t_0 + d) \cdot t - (2 \cdot c \cdot t_0 + d) \cdot t_0 + m_0, \quad (6)$$

где:  $c$ ,  $d$  – коэффициенты уравнения.

Значение  $m_0$  находим, подставив  $t_0$  в (3). Выражение (6) для касательной, так же как и (1) представляет собой уравнение прямой, в которой угловой коэффициент равен  $(2 \cdot c \cdot t_0 + d)$ , а значение коэффициента  $b$  в уравнении касательной равно  $(m_0 - (2 \cdot c \cdot t_0 + d) \cdot t_0)$ .

Как следует из (2) естественной убыли соответствует угловой коэффициент в уравнении прямой. Таким образом, определив угловой коэффициент в уравнении касательной получаем значение естественной убыли в момент времени  $t_0$  при нелинейном изменении массы растительной продукции при хранении. В данном случае для получения конечного результата угловой коэффициент, как и в случае линейного изменения массы растительного сырья во времени, необходимо привести к единице массы растительной продукции.

При переходе от нелинейного участка изменения массы к линейному, естественная убыль вновь будет определяться угловым коэффициентом прямой линии. Линейное изменение массы растительной продукции при хранении является частным случаем нелинейного изменения. Это связано с тем, что только для прямой линии касательная к прямой есть она сама [1].

Рассмотрим предложенный нами метод определения естественной убыли при не линейном изменении массы сырья при хранении на конкретном примере (рис.3). Значения естественной убыли, рассчитанные для точек 1 и 2 (рис. 3), а также среднее значение естественной убыли в интервале времени между теми же точками приведены в табл. 1.

Табл. 1

Сопоставление естественной убыли при нелинейном изменении массы растительного сырья во время хранения с её средним значением

Момент времени, для которого определена естественная убыль	Величина естественной убыли, г/кг*сут
Для точки 1 на рис. 3	6,33
Для точки 2 на рис. 3	1,52
Среднее значение в промежутке времени между точками 1 и 2 на рис. 3	2,98

Из расчетов представленных в табл. 1 следует, что значения естественной убыли при не линейном изменении массы растительной продукции во время хранения могут быть как меньше, так и больше средней величины данного показателя за тот же интервал времени. Следовательно, исходя из среднего значения естественной убыли, невозможно получить достоверные корреляционные зависимости с другими свойствами растительного сырья, изменение которых проводится регулярно, и которые носят не линейный характер.

Таким образом, предложенный метод позволяет существенно упростить расчет значений естественной убыли даже при нелинейном характере изменения массы растительного сырья во время хранения, поскольку единственная величина, которую необходимо определить – это угловой коэффициент касательной в требуемый момент времени. Точное определение убыли массы в любой необходимый момент времени позволяет выявлять корреляции с изменениями других свойств растительной продукции при хранении.



Рис. 1. Линейное изменение массы растительной продукции во время хранения.



Рис. 2. Нелинейное изменение массы растительной продукции во время хранения.

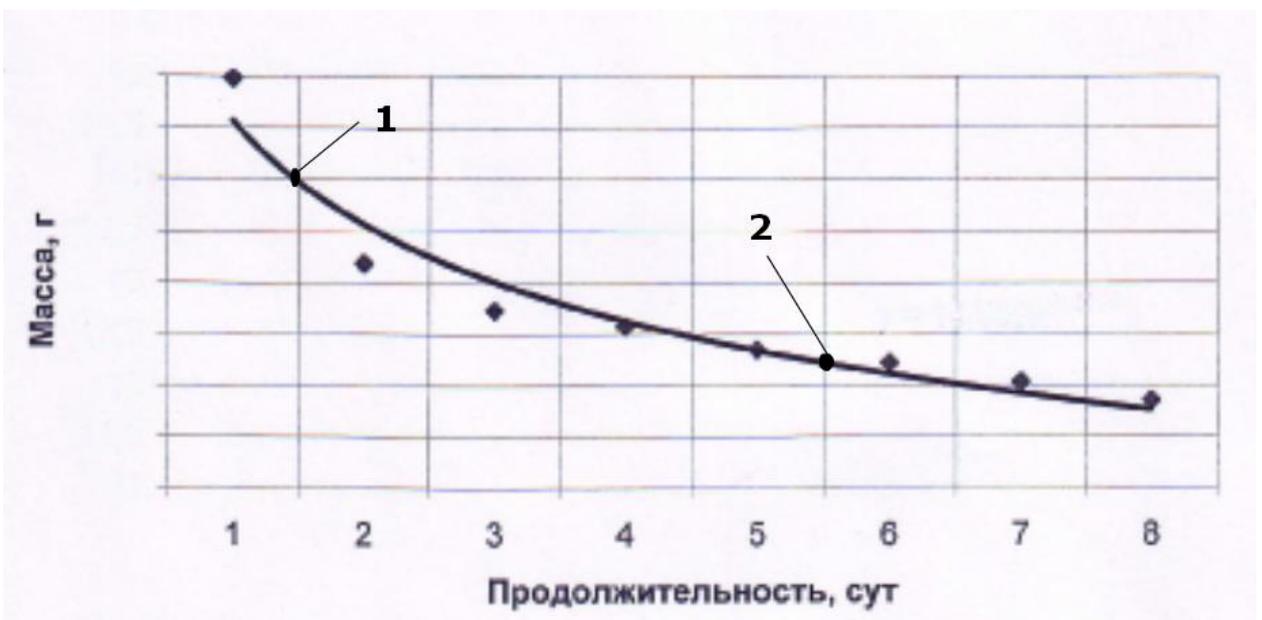


Рис. 3. Определение естественной убыли растительной продукции в точках 1 и 2 и сопоставление со средним значением.

### Список литературы:

1. Выгодский М.Я. Справочник по высшей математике. – М.: Наука, 1977. – 871 с.