

УДК.631.53.02

А. И. КОВАЛЕНКО, В. А. МУНТЯН, В. П. ПУТЯТИН

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СЕМЯН ПО КЛАССИФИКАЦИИ Н. Н. УЛЬРИХА

Для автоматизации научных исследований в семеноводстве, семенном контроле сельскохозяйственных культур, генетике, биологии, селекционной работе [1-3] требуется создание комплекса математических моделей изучаемых биологических объектов и соответствующего программно-аппаратного обеспечения. Примером могут служить задачи автоматизации периодической поверочной оценки качества посевных семян в процессе их хранения или при производстве (сепарации) семян путем разделения зерна на фракции.

Одной из наиболее важных задач анализа качества образца семян является задача определения (распознавания) числа «гостовских» семян. При этом, например, метод распознавания, путем сравнения с эталоном, является одним из наиболее эффективных подходов, естественно при наличии изображений эталонов семян в банке данных или при задании их соответствующими математическими моделями. Для осуществления операции оценки качества посевных семян, например с использованием оптико-электронной системы для оценки качества микробиологических объектов [3], необходимо иметь математические модели эталонов соответствующих семян.

Вопросам описания геометрической формы семян уделялось большое внимание при определении их физико-механических свойств (формы, размеров, коэффициентов трения движения, коэффициентов восстановления при ударе, коэффициентов мгновенного трения при ударе) для повышения качества технологического процесса вибросепарации [4, 5, 8, 11]. Однако, эти вопросы рассматривались только с точки зрения построения и дальнейшего использования профиля границы семян. При этом метод построения соответствующих уравнений основывался на аппроксимации семян правильными геометрическими фигурами, или путем применения метода наименьших квадратов. Заметим, что, например, семена некоторых овощных культур и семена сопутствующих им сорняков можно представить следующими фигурами: трехосным эллипсоидом, эллипсоидом вращения, сферой, а также фигурами, получающимися после усечения указанных поверхностей (половина эллипсоида, срезанный эллипсоид, сопряжение двух срезанных эллипсоидов, срезанный эллипсоид вращения и их сопряжение). Такими фигурами могут быть аппроксимированы поверхности семян следующих культур и сорняков: сурепки, капусты, редиса, повилики, турнепса, лука, щетинника, проса куриного, укропа.

Рассмотрим построение математических моделей эталонов семян некоторых сельскохозяйственных культур для их дальнейшего использования в процессе решения задач распознавания и оценки качества семян в образце. Для построения математических моделей, описывающих геометрическую форму семян целесообразно применить метод теории R-функций В.Л. Рвачева [6]. Такой подход дает возможность в общем случае, в трехмерном пространстве, получить модель семени в едином аналитическом виде, что позволяет перейти к созданию банка математических моделей, как типичных семян сельскохозяйственных культур, так и сопутствующих им семян сорняков в анализируемом образце. Кроме того, такие модели позволяют иметь не только уравнения границ семян в едином аналитическом виде, но и соответствующие неравенства, которые однозначно определяют их внутренние точки. Последняя наиболее существенная особенность отличает этот подход от других и дает возможность эффективного совместного применения метода R-функций, метода распознавания образов, путем сравнения с эталоном, и систем технического зрения [3, 7]. Проиллюстрируем этот подход для двумерного случая, поскольку в системах технического зрения с одной телекамерой, изображение семян воспринимается прибором с зарядовой связью (ПЗС-матрицей) в плоскости. В случае же применения нескольких телекамер, регистрирующих изображение семени в различных направлениях (проекциях), идея построения математической модели семени в трехмерном пространстве остается прежней.

Существует довольно большое число классификаций семян в зависимости от интересующих ис-

следователя свойств. Для специалистов, занимающихся контролем посевных семян в процессе их производства (сепарации) и хранения значительный интерес представляют физико-механические свойства семян. В связи с этим для общности подхода к построению математических моделей внешней геометрии семян возьмем за основу общепризнанную в семенном контроле классификацию Н.Н. Ульриха [8, стр. 6]. Такая классификация делит семена на пять типов. При этом семена классифицируются в зависимости от соотношения их характерных размеров: толщины – a , ширины – b и длины – l . К первому типу семян относятся шарообразные (семена гороха, проса, сорго и др.), для которых $a = b = l$. Ко второму – чечевицеобразные (чечевица и др.), для которых $a < b = l$. К третьему – эллиптические (эллипсоид вращения, это семена сои и ряда других бобовых культур), для которых $a = b < l$. К четвертому – удлинённые (семена пшеницы, ржи, ячменя и некоторых других зерновых культур), для которых $a < b < l$. К пятому – треугольные (семена гречишных культур), для которых $a < (=) b < (=) l$ и, кроме того, все характерные размеры равны между собой, или имеют незначительные отличия, но расположение их граней должно быть треугольным (приближаются к форме треугольной пирамиды). В работе [8, стр. 7] П.М. Заика ввел шестой тип семян, к которому относятся многие семена культурных и сорных растений, имеющие плоскую форму. Согласно этого дополнения, к нему относятся те семена, для которых $a \ll b$, $a \ll l$ и при этом $a < b < l$.

Модели шарообразных семян. Граница и внутренняя часть плоского изображения шарообразного семени определяется неравенством, построенным на основе уравнения соответствующей окружности радиуса r .

Модели чечевицеобразных семян. Вид сбоку (область D_{12} на рис. 1) можно получить путем конъюнкции (пересечения) двух областей D_1 и D_2 в виде кругов радиусов r_1 и r_2 соответственно:

$$D_{12} = D_1 \wedge D_2$$

Точки, принадлежащие областям D_1 и D_2 , удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_1) \quad f_1(x, y) \equiv r_1^2 - (x + a_1)^2 - y^2 \geq 0, \quad (1)$$

$$(D_2) \quad f_2(x, y) \equiv r_2^2 - (x - a_2)^2 - y^2 \geq 0, \quad (2)$$

где r_1, r_2 – радиусы изображения боковых оболочек семени чечевицы (рис. 1), а параметры a_1 и a_2 указаны на рис. 1.

Тогда область D_{12} описывается соотношением

$$(D_{12}) \quad f_{12}(x, y) \equiv f_1(x, y) \wedge_{\alpha} f_2(x, y) \geq 0, \quad (3)$$

где \wedge_{α} – операция R – конъюнкции, которая согласно работе [6] раскрывается следующим образом

$$f_1(x, y) \wedge_{\alpha} f_2(x, y) = \frac{1}{2}(f_1 + f_2 - \sqrt{f_1^2 + f_2^2 - 2\alpha f_1 f_2}), \quad (4)$$

значение α , согласно работе [6], выбирается на отрезке $-1 \leq \alpha \leq 1$.

Таким образом, раскрыв выражение (4), с учетом соотношений (1) и (2), получим неравенство (3) в виде

$$f_{12}(x, y) \geq 0, \quad (5)$$

обладающее тем свойством, что только для точек, принадлежащих боковой поверхности чечевицеобразного семени (точкам границы и внутренним точкам плоского изображения семени), выполняется неравенство (5).

При этом $f_{12}(x, y) = 0, \quad (x, y) \in \Gamma, \quad (6)$

$$f_{12}(x, y) > 0, \quad (x, y) \in D_{12} \setminus \Gamma, \quad (7)$$

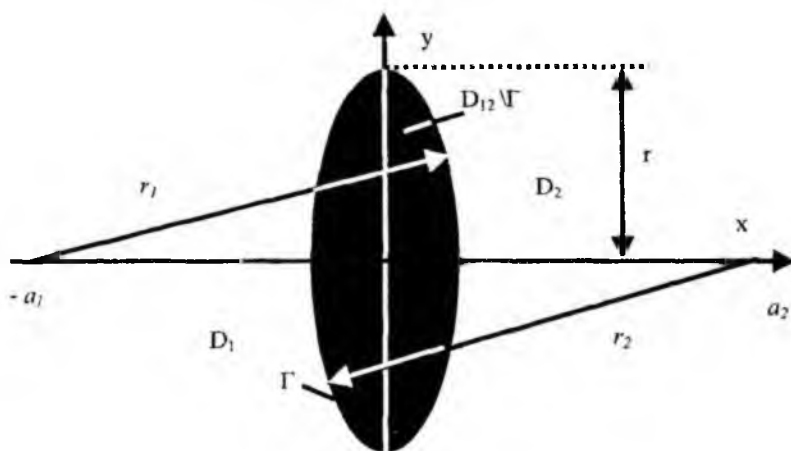


Рис. 1

где Γ – граница изображения семени чечевицы (вид сбоку, рис. 1); $D_{12}\Gamma$ – внутренняя часть изображения семени чечевицы (рис. 1). Такое описание бокового вида семени чечевицы дает возможность перейти к распознаванию качественных семян путем установления степени совпадения изображения семени с эталоном (эталонной моделью).

Вид сверху (рис. 1) чечевицеобразного семени описывается аналогично плоскому изображению шарообразного семени, соответствующее неравенство имеет вид

$$(D_3) \quad f_3(x, y) \equiv r^2 - x^2 - y^2 \geq 0, \quad (8)$$

где r – радиус внешней оболочки семени (рис. 1).

Модели семян, близких к эллипсоиду вращения. К семенам такого типа относятся семена сои и ряда других бобовых культур для которых толщина семени приближается к его ширине. Для описания изображения семян, форма которых приближается к эллипсоиду вращения, естественно воспользоваться уравнением эллипса для описания вида сверху. В этом случае соответствующее неравенство имеет вид

$$(D_4) \quad f_4(x, y) \equiv 1 - x^2/a^2 - y^2/b^2 \geq 0, \quad (9)$$

где a, b – параметры эллипса. Вид сбоку можно представить кругом и соответствующее неравенство имеет вид (8).

Все значительно усложняется, когда форма семени отклоняется от классической формы эллипсоида вращения. Так, например, для семян, изображение которых сверху имеет вид, указанный на рис. 2, их описание возможно осуществить путем дизъюнкции (объединения) областей D_1, D_2 . При этом области D_1 и D_2 являются эллипсами. Соответствующая булева функция для этого случая имеет вид

$$F_{12}^1(D_1, D_2) = D_1 \vee D_2. \quad (10)$$

Точки, принадлежащие областям D_1 и D_2 удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_1) \quad f_1(x, y) \equiv 1 - (x + x_1)^2/a_1^2 - y^2/b_1^2 \geq 0, \quad (11)$$

$$(D_2) \quad f_2(x, y) \equiv 1 - (x - x_2)^2/a_2^2 - y^2/b_2^2 \geq 0, \quad (12)$$

где x_1, x_2 – сдвиги соответственно эллипсов D_1 и D_2 по оси Ox (рис. 2); a_1, a_2, b_1, b_2 – параметры эллипсов D_1 и D_2 (рис. 2). Тогда неравенство, описывающее внутренние и граничные точки семени, представляется в виде

$$(D_{12}^1) \quad f_{12}^1(x, y) \equiv f_1(x, y) \vee_{\alpha} f_2(x, y) \geq 0. \quad (13)$$

где \vee_{α} – операция R-дизъюнкции [6], согласно которой

$$f_1(x, y) \vee_{\alpha} f_2(x, y) = \frac{1}{2}(f_1 + f_2 + \sqrt{f_1^2 + f_2^2 - 2\alpha f_1 f_2}). \quad (14)$$

значение α , согласно работе [6], выбирается на отрезке $-1 \leq \alpha \leq 1$.

Используя соотношения (11 – 12), на основании (14), получим неравенство (13) в виде

$$f_{12}^1(x, y) \geq 0, \quad (15)$$

обладающее тем свойством, что только для точек, принадлежащих боковой поверхности семени (рис. 2), выполняется неравенство (15). Вид сбоку (торец) можно представить кругом и соответствующее неравенство имеет вид (8), для некоторых семян вид сбоку можно представить соотношением (9).

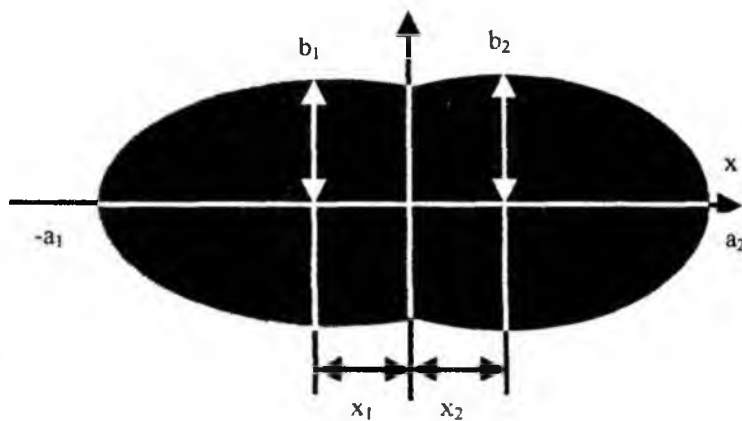


Рис. 2

Модели удлиненных семян. К семенам такого типа относятся семена ячменя, пшеницы, ржи и некоторых других зерновых культур. Методы построения двумерных эталонных моделей таких семян аналогичны изложенным ранее для чечевицеобразных семян. При этом отметим, что, например, для овса моделью вида сверху может служить неравенство (3), описывающее вид сбоку семян чечевицеобразных. Однако, пересекающиеся круги имеют значительно большие радиусы в силу большой вытянутости семян овса.

Рассмотрим построение математической модели удлиненных семян на примере семени, изображенного на (рис. 3). Для такого семени изображение сверху представляется булевой функцией вида

$$F_{15}(D_1, D_2, D_3, D_4) = (D_1 \wedge D_2) \vee D_3 \vee D_4. \quad (16)$$

где \wedge -конъюнкция, \vee -дизъюнкция.

Точки, принадлежащие областям D_1, D_2, D_3 и D_4 , удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_1) \quad f_{21}(x, y) \equiv r_{21}^2 - y^2 \geq 0, \quad (17)$$

$$(D_2) \quad f_{22}(x, y) \equiv r_{22}^2 - x^2 \geq 0, \quad (18)$$

$$(D_3) \quad f_{23}(x, y) \equiv r_{21}^2 - (x + r_{22})^2 - y^2 \geq 0, \quad (19)$$

$$(D_4) \quad f_{24}(x, y) \equiv r_{21}^2 - (x - r_{22})^2 - y^2 \geq 0, \quad (20)$$

где r_{21}, r_{22} – указаны на рис. 3.

Тогда неравенство, описывающее внутренние и граничные точки семени (рис.3) с использованием операции R- конъюнкция и R-дизъюнкция [6] представляется в виде

$$(D_{15}) \quad f_{15}(x, y) \equiv [f_{21}(x, y) \wedge_{\alpha} f_{22}(x, y)] \vee_{\alpha} f_{23}(x, y) \vee_{\alpha} f_{24}(x, y) \geq 0, \quad (21)$$

где \wedge_{α} – операция R – конъюнкции, а \vee_{α} – операция R-дизъюнкции (4), (14).

Таким образом, раскрыв выражение (21), с учетом соотношений (17)-(20), получим неравенство

$$f_{15}(x, y) \geq 0, \quad (22)$$

описывающее вид семени сверху (рис. 3). Т. е. если точка (x, y) принадлежит поверхности семени, то выполняется неравенство (22), причем равенство достигается только на границе этой области. Вид сбоку (торец) можно представить кругом, а в некоторых случаях эллипсом и соответствующие неравенства имеет вид (8), (9).

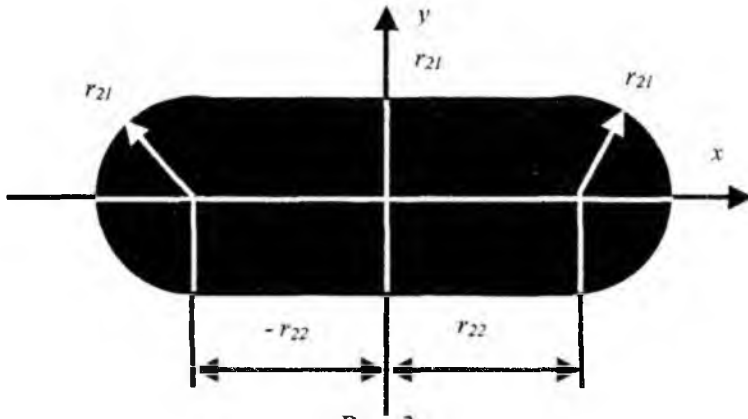


Рис. 3

Для ряда других семян зерновых культур этого типа может увеличиваться или уменьшаться число областей, образующих изображение семени. При этом изложенная выше логика подхода к построению соответствующих неравенств, описывающих двумерный образ семени остается прежним.

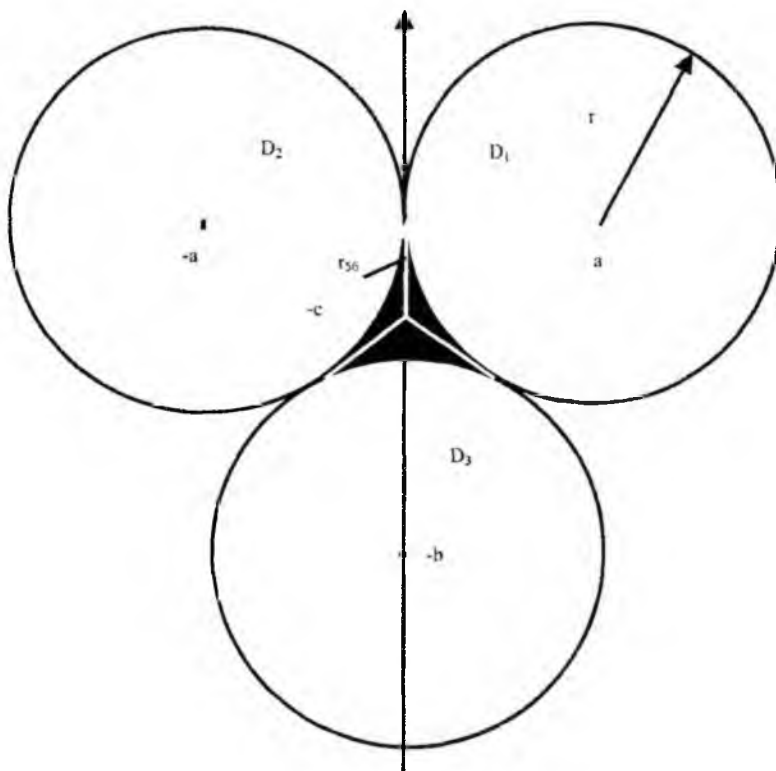


Рис. 4

Модели гречишных семян. В работе [5] проведен анализ формы семян гречихи сорта «Богатырь», выращенной на одном поле и в одинаковых агротехнических условиях. В этой же работе рассмотрена внутритиповая детальная классификация семян гречихи по шести формам. Большое число форм семян, как правило, связано с неодинаковой интенсивностью созревания зернообразования у семян гречишных растений. К форме 1 семян гречихи отнесен так называемый «рудяк» или крылатая форма по классификации Е.А. Столетовой. Форма 2 – околоплодник семени развит чрезмерно сильно и грани выгибаются вовнутрь. Форма 3 – промежуточная, с нормально развитым околоплодником и ядром семени. Форма 4 – ядро семени развито сильнее околоплодника. Форма 5 – бескрылатая, ядро семени развито чрезмерно, а околоплодник мало. Форма 6 – околоплодник имеет меньшие размеры, чем ядро и к концу налива разрывается по ребрам.

Рассмотрим математические модели внешней формы семян, наиболее часто встречающихся в образце (формы 2, 3 и 4). Метод построения моделей семян других форм – аналогичен.

1°. На рис. 4 приведен пример семени гречихи с хорошо развитым околоплодником, а грани семени выгибаются вовнутрь. Для такого семени изображение сверху представляется булевой функцией вида

$$F_{16}(D_1, D_2, D_3, D_4) = (\bar{D}_1 \wedge \bar{D}_2 \wedge \bar{D}_3) \vee D_4, \quad (23)$$

где \wedge -конъюнкция, \vee -дизъюнкция, $\bar{D}_1, \bar{D}_2, \bar{D}_3$ – внешняя часть соответственно областей D_1, D_2 и D_3 , а область D_4 – внутренняя часть круга радиуса r_{56} с центром в точке $y=-c, x=0$ (рис.4).

Точки, принадлежащие областям $\bar{D}_1, \bar{D}_2, \bar{D}_3, \bar{D}_4$ удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_1) \quad f_{26}(x, y) \equiv (x - a)^2 + y^2 - r_{16}^2 \geq 0, \quad (24)$$

$$(D_2) \quad f_{36}(x, y) \equiv (x + a)^2 + y^2 - r_{16}^2 \geq 0, \quad (25)$$

$$(D_3) \quad f_{46}(x, y) \equiv x^2 + (y + b)^2 - r_{16}^2 \geq 0, \quad (26)$$

$$(D_4) \quad f_{56}(x, y) \equiv r_{56}^2 - x^2 - (y + c)^2 \geq 0, \quad (27)$$

где r_{16}, r_{36} – указаны на рис.3.

Тогда неравенство, описывающее внутренние и граничные точки семени (рис. 4) с использованием операции R- конъюнкция и R-дизъюнкция [6] представляется в виде

$$(D_{16}) \quad f_{16}(x, y) \equiv [f_{26}(x, y) \wedge_{\alpha} f_{36}(x, y) \wedge_{\alpha} f_{46}(x, y)] \vee_{\alpha} f_{56}(x, y) \geq 0, \quad (28)$$

где \wedge_{α} – операция R – конъюнкция, а \vee_{α} – операция R-дизъюнкция [6].

Таким образом, применив операцию R – конъюнкция и R-дизъюнкция, выражение (28), с учетом соотношений (24)-(27), получим неравенство

$$f_{16}(x, y) \geq 0, \quad (29)$$

описывающее вид семени гречихи сверху (рис. 4). Т. е. если точка (x, y) принадлежит поверхности семени, то выполняется неравенство (29), причем равенство достигается только на границе этой области.

2^o. На рис. 5 приведено изображение семени гречихи с нормально развитым околоплодником и ядром. При этом области D_1, D_2 и D_3 (рис.5) являются полуплоскостями. Неравенства, определяющие полуплоскости, легко записываются на основе соответствующих уравнений прямых. Булева функция для этого случая имеет вид (рис. 5)

$$F_{17}^1(D_1, D_2, D_3) = D_1 \wedge D_2 \wedge D_3. \quad (30)$$

Точки, принадлежащие областям D_1, D_2, D_3 удовлетворяют следующим неравенствам

$$(D_1) \quad f_{17}(x, y) \equiv c - (c/d)x - y \geq 0, \quad (31)$$

$$(D_2) \quad f_{27}(x, y) \equiv c + (c/d)x - y \geq 0, \quad (32)$$

$$(D_3) \quad f_{37}(y) \equiv y \geq 0, \quad (33)$$

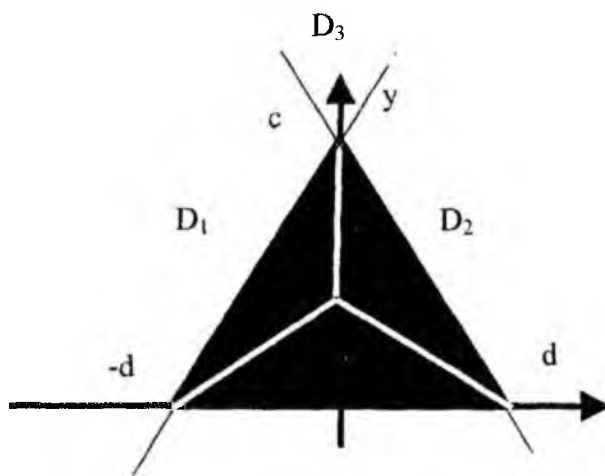


Рис. 5

Тогда неравенство, описывающее внутренние и граничные точки семени (рис.5) с использованием операции R- конъюнкция и R-дизъюнкция [6] представляется в виде

$$(D_{17}) \quad f_{17}^1(x, y) \equiv f_{17}(x, y) \wedge_{\alpha} f_{27}(x, y) \wedge_{\alpha} f_{37}(y) \geq 0, \quad (34)$$

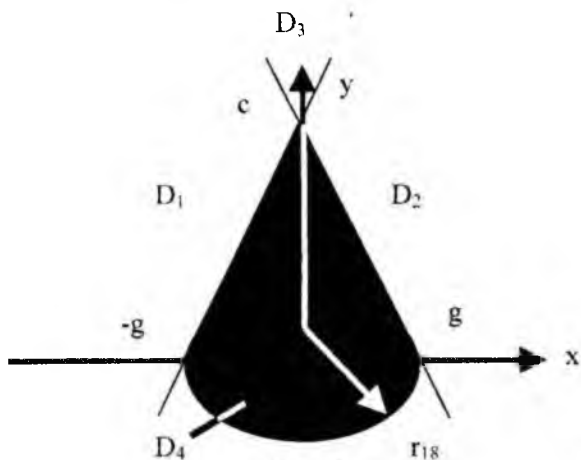


Рис. 6

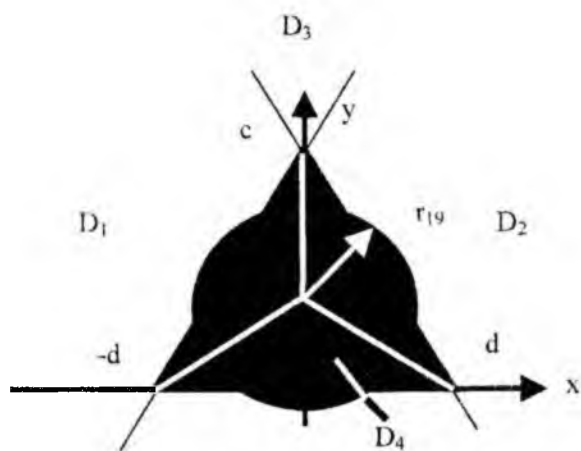


Рис. 7

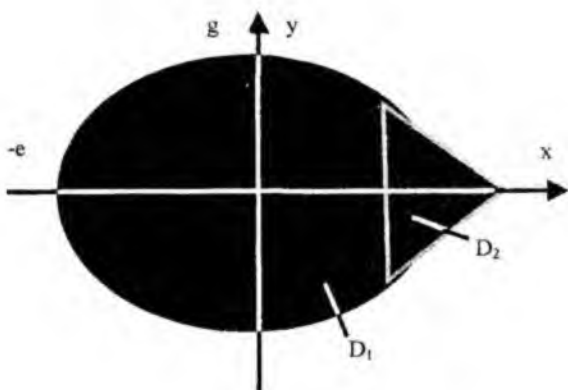


Рис. 8

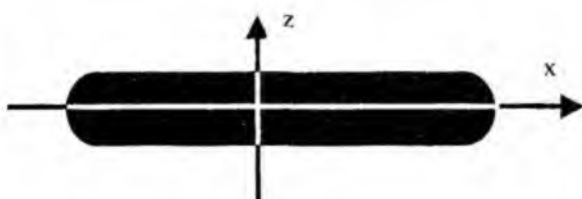


Рис. 9

где \wedge_a – операция R – конъюнкции, а \vee_a – операция R-дизъюнкция (см. (4), (14)).

Таким образом, раскрыв выражение (34), с учетом соотношений (31)-(33), получим неравенство

$$f_{17}^1(x, y) \geq 0, \quad (35)$$

описывающее вид семени сверху (рис. 5). т. е. если точка (x, y) принадлежит поверхности семени, то выполняется неравенство (35), причем равенство достигается только на границе этой области. Вид сбоку (рис. 6) определяется следующей булевой функцией

$$F_{18}^1(D_1, D_2, D_3, D_4) = (D_1 \wedge D_2 \wedge D_3) \vee D_4, \quad (36)$$

где область D_4 круг радиуса r_{18} (рис. 6), области D_1, D_2 и D_3 задаются подобными (31) – (33) неравенствами. Далее аналогично описанному выше способу осуществляется построение R – функции, определяющей внутренние и граничные точки вида семени гречихи сбоку.

3⁰. На рис. 7 приведено изображение семени гречихи с ядром, развитым сильнее околоплодника. На основании 2⁰ булева функция для этого случая имеет вид (рис. 6)

$$F_{19}^1(D_1, D_2, D_3, D_4) = (D_1 \wedge D_2 \wedge D_3) \vee D_4, \quad (37)$$

где область D_4 круг радиуса r_{19} (рис. 7) а области D_1, D_2 и D_3 задаются подобными (31) – (33) неравенствами. Аналогично описанному выше способу осуществляется построение R – функций (вид сверху и сбоку), определяющих внутренние и граничные точки этого типа семени.

Модели семян шестого типа (по классификации П.М. Заики [8, стр. 6 – 7]). На рис. 8 и 9 приведен пример семени, для которого характерные размеры соотносятся следующим образом: $a \ll b, a \ll l$ и при этом $a < b < l$. К такого типа семенам относятся, например, семена укропа, моркови, пастернака, гречишки развесистой и др. Описание внешней формы таких семян возможно осуществить путем дизъюнкции областей D_1, D_2 . При этом область D_1 являются эллипсом или кругом, а область D_2 – треугольником. Соответствующая булева функция для этого случая имеет вид

$$F_{110}^1(D_1, D_2) = D_1 \vee D_2. \quad (38)$$

Далее аналогично описанному выше способу осуществляется построение R – функции, определяющей внутренние и граничные точки семени (вид сверху). Вид сбоку описывается аналогичным неравенством (22) для удлиненных семян (рис. 3).

Замечание 1. В работе [8] отмечалось, что некоторые семена, например, сахарной, столовой, кор-

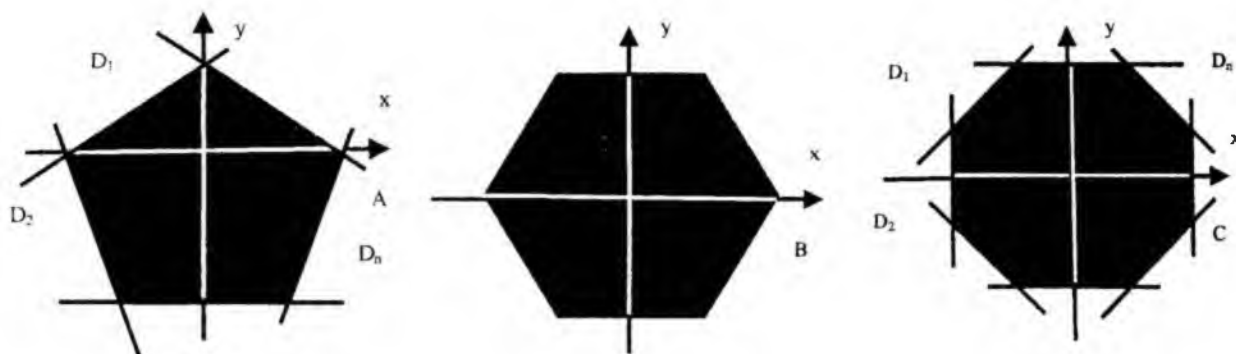


Рис. 10

мой свеклы и некоторых других растений имеют форму многогранника, или могут быть аппроксимированы ими (рис. 10, А,В,С). Построение математической модели в этом случае можно осуществить аналогично подпункту 2⁰ для семян гречихи. При этом изменится только число отсекающих полуплоскостей, а методика построения математических моделей останется прежней. Соответствующая булева функция имеет следующий вид

$$F_{111}^1(D_1, D_2, D_3, \dots, D_n) = D_1 \wedge D_2 \wedge \dots \wedge D_n = \bigwedge_{i=1}^{i=n} D_i, \quad (39)$$

где n – число сторон многоугольника (рис. 10).

Тогда неравенство, описывающее граничные и внутренние точки семени представляется в виде

$$f_{111}^1 \equiv \bigwedge_{i=1}^{i=n} f_i(x, y) \geq 0, \quad (40)$$

где \bigwedge_{α} – операция R – конъюнкции; $f_i(x, y) = 0, (i = 1, 2, \dots, n)$ – уравнения прямых, проходящих через стороны многоугольника; $f_i(x, y) \geq 0, (i = 1, 2, \dots, n)$ – неравенства, определяющие отсекающие полуплоскости.

Замечание 2. При построении эталонов двумерных моделей семян были специально введены нефиксированные параметры

$$r, r_1, r_2, r_{21}, a_1, a_2, r_{22}, r_{16}, r_{18}, r_{19}, c, \\ a, b, x_1, x_2, b_1, b_2, g, e, n.$$

Эталонные значения этих параметров зависят от многих факторов, принимают самые различные по величине значения и, как правило, они характерны по культуре, виду и сорту. Кроме того, в зависимости от условий развития, семена в пределах одного вида и сорта могут иметь различия по поверхности и форме. К таким условиям относятся, например, почвенно-климатические и агротехнические условия возделывания культуры, изменение внешней геометрии семян в результате уменьшения притока веществ к ним в период формирования и налива, изменение формы поверхности (ребристая, шероховатая, бугристая, морщинистая) семян при их попадании под заморозки в период развития. Отметим также, что при повышении влажности происходит увеличение характерных размеров семян: ширина увеличивается на 10,8%, толщина на 6,2%, длина на 5,2%. Кроме того, существенное значение имеет степень однородности (выравненности) отдельных зерен по размерам и влажности. По данным А.Н. Семенова [11] наибольшая выравниваемость зерна достигается по толщине и ширине (от культуры и сорта она колеблется от 75% до 99%), а по длине выравниваемость значительно ниже (от 19% до 80%). То есть внутри каждой культуры отклонения по ширине от среднего размера зерна меньше, чем по длине, а по толщине эти отклонения очень незначительны. В связи с этим настройка программного обеспечения на генерирование множества эталонных моделей, по соответствующим

математическим моделям, осуществляется путем задания дополнительной информации, учитывающей вид, сорт растения и изменения, произошедшие под воздействием внешних условий.

Замечание 3. Трансформацию полученных математических моделей на случай произвольного расположения семян в системе координат x, O, y (в поле зрения оптико-электронной системы [3]) легко осуществить путем введения подвижных систем координат для каждого семени и применения методов построения моделей произвольно расположенных геометрических объектов [6, стр. 149].

Замечание 4. Полученные двумерные эталонные модели семян сельскохозяйственных культур можно распространить на трехмерный случай, проведя соответствующие выкладки в трехмерном пространстве x, y, z . Такие модели важны в том случае, когда для определения качества образца семян применяются несколько телевизионных камер и прозрачный предметный столик.

Замечание 5. Автоматизацию построения неравенств вида (5, 15, 22, 29, 35, 40), описывающих двумерные изображения семян, легко осуществить на основе разработанной в Институте проблем машиностроения НАН Украины под руководством академика НАН В.Л. Рвачева, автоматизированной системы программирования (генераторы программ серии «ПОЛЕ») [9, 10].

Список литературы: 1. Пулятин В.П., Левкин А.В., Левкина Р.В. Моделирование процесів визначення якості посівного матеріалу // Овочівництво і баштанництво. Міжвід. тематичн. наук. зб. Київ: Урожай, 1996. Вип. 41. С. 6-9. 2. Пулятин В.П., Верескун О.В., Мегель Ю.Е. Моделирование эталонов эмбрионов // Проблемы бионики. Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. Харьков, ХГТУРЭ, 2000. Вып 57. 3. Зубец М.В., Мегель Ю.Е., Пулятин В.П. Автоматизированная система оценки подвижности микробиологических объектов // Вісник аграрної науки. 1993. № 6. С. 69-76. 4. Заика П.М., Мазнев Г.С. Сепарация семян по комплексу физико-механических свойств. М.: Колос, 1978. 287 С. 5. Бакеев С.Д. Исследование возможности сепарации семян гречихи с учетом их формы на вибрирующих неперфорированных фрикционных поверхностях // Повышение эффективности сельскохозяйственных машин и орудий для растениеводства. М.: МИИСП, 1984. С. 55-59. 6. Рвачев В.Л. Геометрические приложения алгебры логики. К.: Техніка, 1967. 212 с. 7. Писаревский А.Н., Чернявский А.Ф., Афанасьев Г.К. Системы технического зрения: принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение. Л.: Машиностроение, 1988. 424 С. 8. Заика П.М. Сортирование семян на вибросепараторах. – М.: МИИСП, 1987. 62 с. 9. Рвачев В.Л., Манько Г.П. Автоматизация программирования в краевых задачах. К.: Наук. думка, 1983. 232 с. 10. Рвачев В.Л., Шевченко А.Н. Проблемно-ориентированные языки и системы для инженерных расчетов. К.: Техніка, 1988. 197 с. 11. Семенов А.Н. Физико-механические свойства зерна. Кишинев: Труды Кишиневского СХИ, 1959. Т. 20. С. 311 – 346.

Поступила в редколлегию 22.09.2000