



УДК 631.53.027.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СВОЙСТВ ДРАЖИРОВАННЫХ СЕМЯН В ПОЧВЕ

Кушнарев А. С., д.т.н.,

Сербий Е. К., к.т.н.

УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого

Тел. 066-79-50-135

Аннотация - в статье изложена методика и результаты экспериментальных исследований по определению прочности дражированных семян при переменном количественном составе, влажности и диаметре драже. Для развития ранее разработанной теоретически-эмпирической дискретной модели (экспериментально-теоретической) дражированного семени предложена методика прочностного анализа этой модели, сущность которого заключается в виртуальном ее деформировании и регистрации возникающих при этом реакций. С целью установить адекватность разработанной теоретически-эмпирической дискретной модели реализованы вычислительные эксперименты, по планам аналогичным натурных экспериментальных исследований. Доказательство адекватности разработанной теоретически-эмпирической дискретной модели позволило выполнить численные эксперименты для моделирования динамики свойств дражированных семян в почве, в результате которых получены зависимости изменения влажности, плотности и прочности драже в почве с заданным количеством продуктивной влаги. Серия вычислительных экспериментов вместе с процедурой поиска оптимального решения позволит обосновать рациональные количественные составы композиций дражированных семян для разных природно-технологических условий.

Ключевые слова: дражированные семена, моделирование, вычислительный эксперимент, прочность, влажность, плотность, почва.

Постановка проблемы. В овощеводстве, как одной из наиболее прогнозируемых и рентабельных отраслей растениеводства, наибольшим образом используются передовые научно-технические достиже-



ния из областей прецизионного земледелия, генной инженерии, эффективного использования микро- и макроудобрений, биологически активных микроорганизмов, ирригационных систем для наиболее полного использования растениями влаги, а также современные и высокоэффективные мероприятия предпосевной обработки семенного материала для достижения максимальной и дружной полевой всхожести. Так, рациональное комплексное использование новейших технологий при выращивании томатов позволяет достичь урожайности до 200 т/га на капельном орошении в открытом грунте и 55...60 кг/м² в теплицах [1, 24, 25].

В части предпосевной обработки и создания качественного семенного материала широкое распространение получила технология дражирования семян. Эта технология при правильной ее реализации обеспечивает неоспоримые технические, технологические, биологические, экологические и экономические преимущества [2]. Одними из ключевых физико-механических свойств дражированных семян является их прочность (в сухом состоянии $F_{max} \approx 50$ Н), плотность и влажность (гр/см³ и $Q_v \approx 20...30\%$ во влажном состоянии) как наиболее используемые в агрономических исследованиях величины, а также способность быстро впитывать (время достижения оптимальной влажности в почве не более 24 часов) и удерживать почвенную влагу в доступной для семян капиллярной форме [22].

Обзор сделанных исследований. В работах [3, 4] предложен качественный состав композиции для дражирования семян, базовыми компонентами которой являются песок – как наполнитель формирует пористую среду для удержания капиллярной влаги, а также бентонит и гумат, как физико-химические активные вещества, для связывания отдельных зерен песка и обеспечения целостности и прочности драже.

Дражированные семена целесообразно использовать в различных агротехнологиях выращивания в разных грунтово-климатических условиях (в грунте с различным количеством продуктивной влаги W_D) – с использованием капельного орошения, без орошения на богарных полях, в теплицах, в условиях недостаточной или избыточной влажности, с применением праймированных или пророщенных семян и многих других. Это обуславливает необходимость обоснования специфических по количественному составу композиций для дражирования семян и адаптированных под конкретные природно-технологические условия.

Существует два основных пути к познанию природы и свойств дражированных семян с целью реализации задачи обоснования количественного состава композиций для их производства: эмпирический и теоретический. Экспериментальные исследования позволяют получить результаты максимально близкие к натуральным, однако при



этом не выявляется внутренняя природа дражированных семян и использование полученных моделей возможно лишь внутри границ экспериментальных исследований. Этим недостатком лишены теоретические методы, в которых экспериментальные исследования могут использоваться для уточнения значений свойств некоторых объектов, входящих в модель, и доказательства адекватности всей теоретической модели в целом.

По результатам ранее сделанных исследований разработана теоретически-эмпирическая дискретная модель (экспериментально-теоретическая) структуры дражированного семени [5, 23] и процесса его разрушения при деформировании [6]. В ней частицы песка смоделированы дискретными элементами (чисто математический объект), а бентонит и гумат – в виде потенциала их взаимодействия (свойства математического объекта получены экспериментальным путем). Потенциал взаимодействия зависит от количественного состава и влажности Q_v композиции для дражирования семян и на этапе формирования дискретной модели он определяет равновесное положение – расстояния между дискретными элементами 1 и 2, а на этапе нагрузки (деформирования) драже - силы взаимодействия дискретных элементов между собой при их взаимном перемещении [5, 6].

После проверки на адекватность данной теоретически-эмпирической дискретной модели, одним из направлений ее использования является моделирование поглощения почвенной влаги с установлением динамики свойств (прочности, влажности и плотности) дражированного семени с целью дальнейшего обоснования количественного состава композиции, в том числе для создания драже путем многослойного поликомпозиционного покрытия.

Отсутствие исследований в данном направлении по моделированию динамики свойств дражированных семян в почве подчеркивает актуальность исследований.

Цель статьи. Разработать методику теоретического моделирования динамики свойств дражированных семян в почве и проверить ее адекватность.

Методика и результаты экспериментальных исследований. С целью установить адекватность разработанной теоретически-эмпирической дискретной модели проведены натурные экспериментальные исследования по определению прочности дражированных семян (функция отклика) при переменном количественном составе, влажности и диаметре драже (управляющие факторы).

В качестве компонентов для драже использовано гумат «ROST-концентрат», разработанный НИИ почвоведения и агрохимии им. Соколовского, произведенный отечественным производителем из экологически чистого отечественного сырья – низинного торфа, бентонит –



залежей бентонитової глини розположених в Закарпатській області і пісок ДСТУ Б В.2.7-131:2007 фракцій 0,630, 0,315 і 0,200 мм.

При плануванні експериментальних досліджень із всієї сукупності факторів, впливаючих на техніко-технологічні властивості драже, по даним априорної інформації і попередніх теоретичних досліджень, виділені найважливіші: відносне кількість бентоніту N_b , гумата N_g , фракція піску D_s , діаметр D_d і абсолютна вологість Q_v драже. Вибір рівнів факторів і інтервалів варіювання виконано на основі теоретичних обґрунтувань, априорної інформації, а також в результаті попередніх експериментальних досліджень, (табл. 1).

Експериментальні модельні зразки виготовлені на пресформах і обкатані на абдукторі до сферичної форми діаметрами D_d , 4,5...5,5 мм з кроком варіювання 0,5 мм при вологості композицій близької до нижнього межі пластичності – коли при подальшому зменшенні вологості суміш переходить із пластичного в тверде стан.

З метою регулювання вологості модельних зразків їх підсушували в низкотемпературній лабораторній печці SNOL 67/350, діапазон робочих температур якої знаходиться в межах 60...350°C, а похибка вимірювань становить $\pm 2^\circ\text{C}$ або насичували в ексикаторі [7] моделі 2atu geruft (виробництва Німеччини) і абсолютну вологість драже Q_v визначали за методикою [8].

Таблиця 1 – Рівні варіювання факторами композицій для дражировання

Рівень і інтервал варіювання факторами	Фактори			
	N_b , %	N_g , %	D_d , мм	Q_v , %
Верхній рівень (+)	30	10	5,5	10
Основний рівень (0)	20	7	5,0	5
Нижній рівень (-)	10	4	4,5	0
Інтервал варіювання	10	3	0,5	5

Масові характеристики визначені електронними лабораторними вагами OHAUS RV313 (клас точності ГОСТ 24104-01) з точністю до 0,002г, розмірні характеристики встановлено штангенциркулем ШЦ-I-150-0,1 по ГОСТ 8.050-73 з точністю до 0,1 мм.

Для зменшення кількості експериментів при проведенні експериментальних досліджень реалізовані два неплнофакторних ортогональних некомпозиційних практично рототабельних трьохрівневих плану за матрицею Бокса-Бенкіна: чотирьохфакторний (29 експериментів) і трьохфакторний (15 експериментів) [9]. Експеримент на кожному рівні факторів проведено в 5-кратній повторності [10, 11]. Метою чотирьохфакторного плану є отримання залежності міцності драже

F_{gbdv} от относительного количества бентонита N_b , гумата N_g , диаметра D_d и абсолютной влажности Q_v драже:

$$F_{gbdv} = f(N_b, N_g, D_d, Q_v).$$

Целью трехфакторного плана является получение зависимости прочности драже F_{dsv} от фракции песка D_s , диаметра D_d и абсолютной влажности Q_v драже: $F_{dsv} = f(D_s, D_d, Q_v)$.

Сущность экспериментальных исследований состоит в сдавливании модельных образцов до момента их разрушения с регистрацией во времени приложенного усилия F . Экспериментальные исследования проведены при постоянных значениях внешних параметров: температура окружающей среды и образцов $23 \pm 2^\circ\text{C}$, скорость деформации $0,0017$ м/с [12].

Для проведения лабораторных исследований изготовлена платформа с тензозвеном, которое регистрирует усилия нагрузки модельных образцов (рис. 1).

Рабочими элементами измерительного устройства является тензозвено, которое двухшарнирно закреплено на его раме и имеет платформу для установки модельного образца.

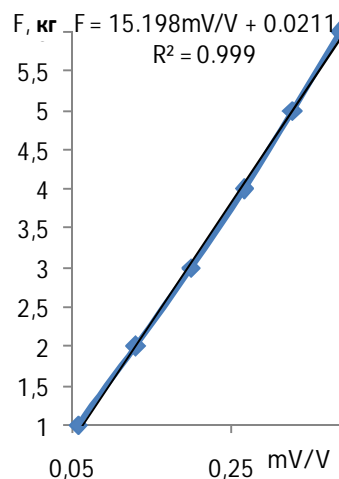
Для передачи данных с тензозвена на компьютер использован 4-канальный аналогово-цифровой преобразователь Spider-8 фирмы НВМ (рис. 1), который определяет соотношение падения mV напряжения на тензомосте к входящему mV напряжению- mV/V . С целью сопоставления mV/V с усилием проведено тарирование тензозвена (рис. 1, в) и получены функциональные зависимости по методике [13, 14].



а)



б)



в)

Рис. 1. Лабораторная установка для определения прочности драже: а - АЦП, б - тензозвено, в - результаты тарирования тензозвена

При тарировании нагрузки тензозвена осуществляли эталонными гириями по 1 кг. При аппроксимации данных тарировки полиномом 1 степени получили коэффициент регрессии 99,9%, значит зависимость нагрузки от mV/V является линейной с высокой степенью точности.

В комбинации изготовленного тензозвена и использованного АЦП значения показателя mV/V оказались устойчивыми во времени по отношению к внутренним и внешним электромагнитным помехам с точностью до 10^{-4} . Таким образом, при погрешности АЦП $\Delta mV/V=0.0002$ имеем абсолютную погрешность измерения нагрузки тензозвена – 24 гр., что при нагрузке модельного образца 1 кг дает относительную погрешность 2,4%.

Данные этих экспериментальных исследований по неполнофакторным планам использованы при определении адекватности теоретически-эмпирической модели дражированного семени, а также в результате обработки данных четырехфакторного эксперимента получена зависимость прочности драже от содержания бентонита, гумата, влажности и диаметра драже в виде полинома (рис.2):

$$F_{gbdv} = 15.65 - 2.08 \cdot N_g + 0.56 \cdot N_b + 7.00 \cdot D_d + 0.32 \cdot Q_v + 0.04 \cdot N_g \cdot N_b + 0.28 \cdot N_g \cdot D_d - 0.06 \cdot N_g \cdot Q_v + 0.07 \cdot N_b \cdot D_d - 0.07 \cdot N_b \cdot Q_v - 0.24 \cdot D_d \cdot Q_v + 0.04 \cdot N_g^2 - 0.01 \cdot N_b^2 - 0.79 \cdot D_d^2 + 0.15 \cdot Q_v^2. \quad (1)$$

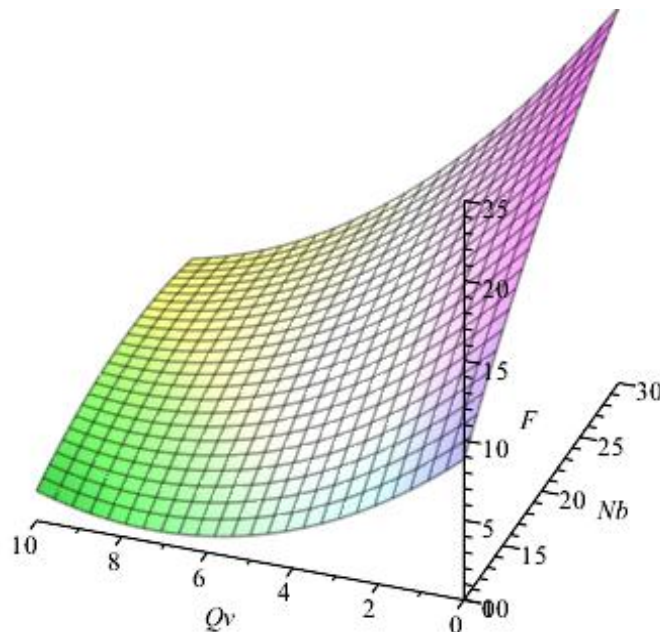


Рис. 2. Зависимость прочности драже от содержания бентонита, гумата, влажности и диаметра драже (при $N_g = 0.1$, $D_d = 5.5$ мм)

Методом статистической обработки данных трехфакторного эксперимента получена зависимость прочности драже от фракции песка, влажности и диаметра драже в виде полинома (рис. 3):

$$F_{d,sv} = 0.63 \cdot D_d^2 + 2.50 \cdot D_s \cdot D_d - 0.43 \cdot D_d \cdot Q_v - 4.78 \cdot D_s^2 - 3.84 \cdot D_s \cdot Q_v + 0.27 \cdot Q_v^2 - 2.91 \cdot D_d + 26.51 \cdot D_s - 0.44 \cdot Q_v + 2.27 \quad (2)$$

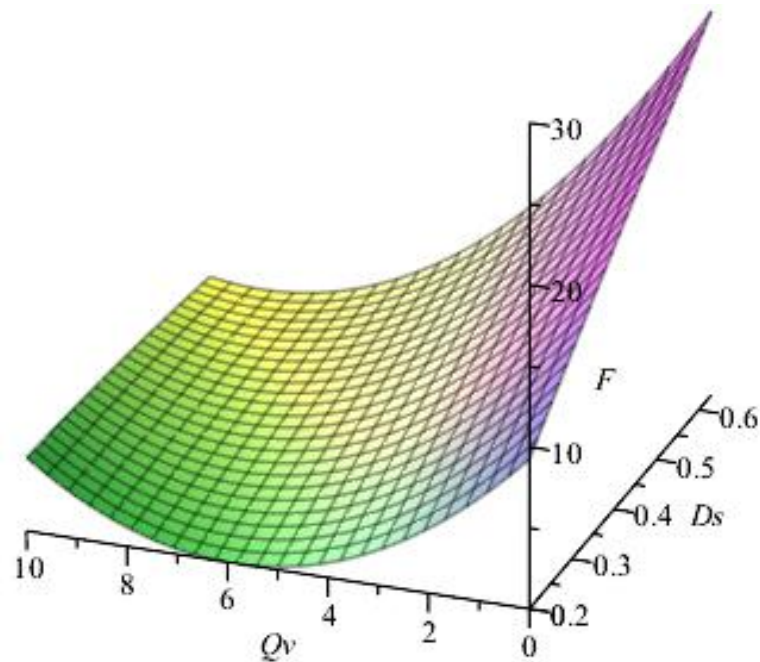


Рис. 3. Зависимость прочности драже от фракции песка, влажности и диаметра драже (при $N_g = 0.1$, $D_d = 4.5$ мм)

По результатам статистической обработки результатов экспериментов установлено, что расчетные значения критериев Кохрена $G_{gbdv} = 0.1193$ и $G_{dsv} = 0.2307$ меньше табличных $G_{29,4} = 0.1645$ и $G_{15,3} = 0.3346$, а значит, нет оснований отвергать гипотезу об однородности дисперсий; расчетные значения критериев Фишера $F_{gbdv} = 2.19$ и $F_{dsv} = 2.87$ меньше табличных $F_{29,4} = 2.78$ и, значит, принимаем гипотезу об адекватности описания уравнениями (1) и (2) результатов экспериментов с 95% вероятностью. При использовании данных экспериментальных исследований полученные модели (1) и (2) позволяют определить прочность дражированных семян при переменных количественном составе композиции, влажности и диаметре драже.

Методика теоретически-эмпирических исследований. Сущность прочностного анализа разработанной дискретной модели состоит в виртуальном ее деформировании (рис. 4) и регистрации возникающих при этом реакций (вычислительный эксперимент).

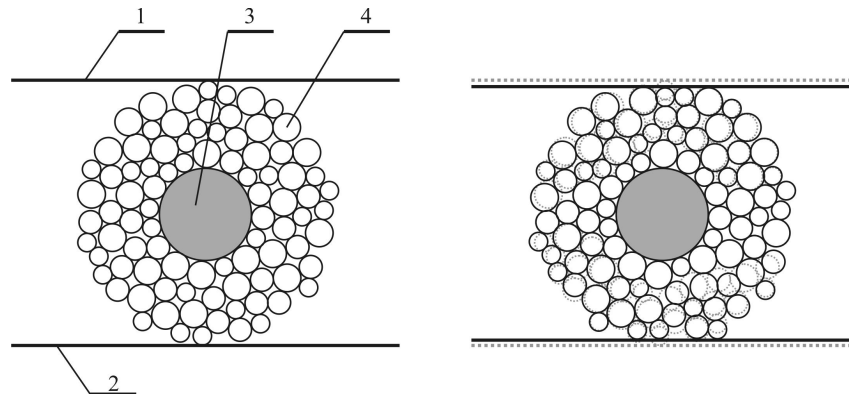


Рис. 4. Схема виртуальної деформації моделі дражированного семени.

Деформація реалізується двома діаметрально протилежними і паралельними площинами 1 і 2, які в початковий момент часу «касаються» моделі дражированного семени і фізично представляють собою опорну і нагромащуючу поверхності. В початковий момент часу ініціалізується цикл C_{init} , в якому площини здійснюють плоскопаралельне переміщення з кроком Δz до центру семени - імітується здавлення драже зі швидкістю V_d - при цьому спочатку переміщуються дискретні елементи, що торкаються до цих площин і в напрямку їх руху. Далі для встановлення рівноважного положення всіх дискретних елементів драже між двома послідовними циклами C_{out} реалізуються цикли C_{in} оцінки внутрішніх сил, що виникають між дискретними елементами, і зміни їх положень. Внутрішні цикли C_{in} в кількості N_{md} закінчуються при встановленні достатньо близького до рівноважного стану після однократного переміщення площин 1 і 2 - коли максимальне переміщення дискретного елемента $[\Delta S]_{i \max}^t$ за час дискретизації ΔT_{in} не перевищує встановленого порога ΔS_{\max}^t (рис. 5).

Оцінка станів і реалізація переміщень дискретних елементів реалізовані на основі положень і законів класическої механіки [15-17]. При цьому, взаємодія дискретних елементів описується законом Гука [18-21], час дискретизації прийнято $\Delta T_{in} = 10^{-7}$ с, максимальне переміщення дискретного елемента при рівноважному положенні $\Delta S_{\max}^t = 10^{-4}$ мм. Сила здавлення F_{\square} драже визначається як сумарна реакція дискретних елементів на площину 1 або 2 (які в рівноважному положенні повинні бути рівними).

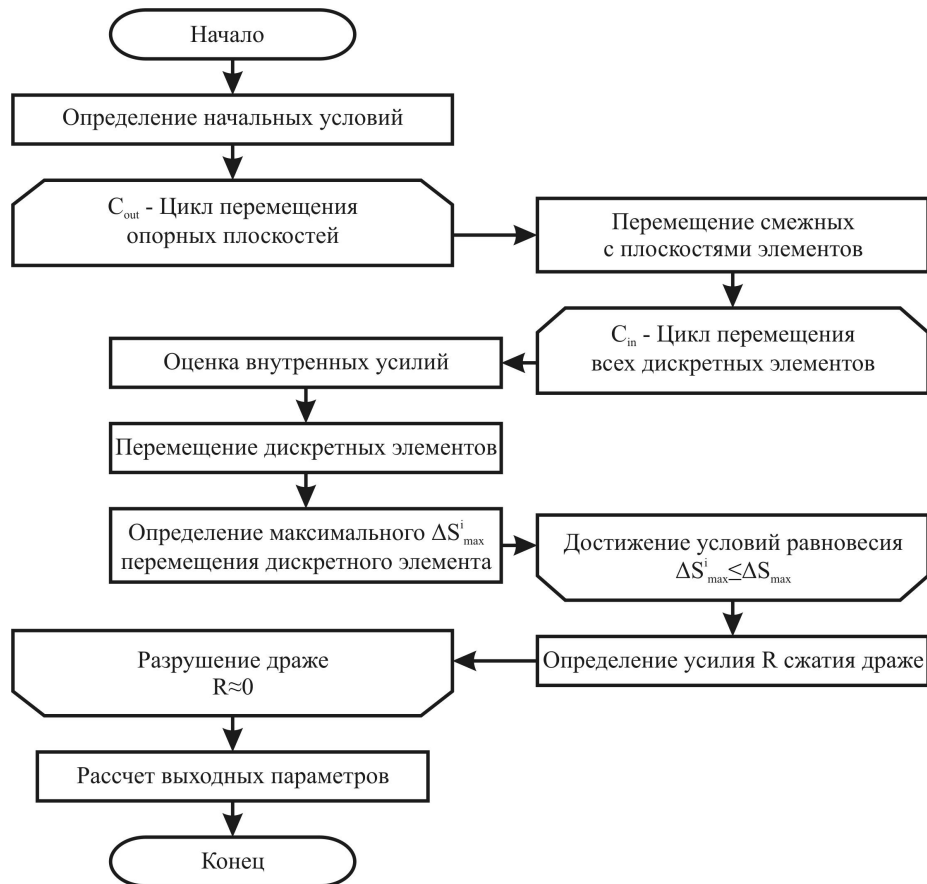


Рис. 5. Алгоритм виртуальной деформации модели дражированного семени.

По мере перемещения плоскостей 1 и 2, учитывая наличие упругой составляющей у дражированных семян, реакции на плоскости будут увеличиваться. Поскольку драже является несплошным материалом с присутствием неоднородностей и дефектов структуры в виде трещин и пустот, то кривая нагружения (реакция драже) будет не монотонной и плавно постоянно увеличивающейся – вблизи временных участков развития микродефектов (трещин и пустот) присутствуют скачкообразные уменьшения реакции. В момент, когда неоднородности структуры сольются в магистральную трещину, пересекающую все драже, его целостность будет нарушена и реакции опорных поверхностей резко снизятся до 0 – факт разрушения драже и завершения цикла C_{out} .

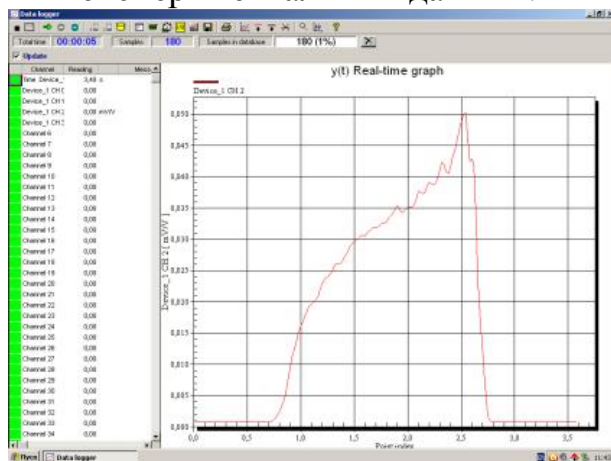
При одной реализации виртуальной деформации оценивается прочность драже (максимальная реакция опорной поверхности) при определенном его количественном составе, влажности и диаметре.

Серия подобных вычислительных экспериментов при переменном количественном составе и влажности композиции дражированных семян с учетом гидрофильных свойств компонентов для дражирования семян [2] и заданной влажности почвы позволяют оценить динамику свойств дражированных семян во влажной почве. Это в дальнейшем

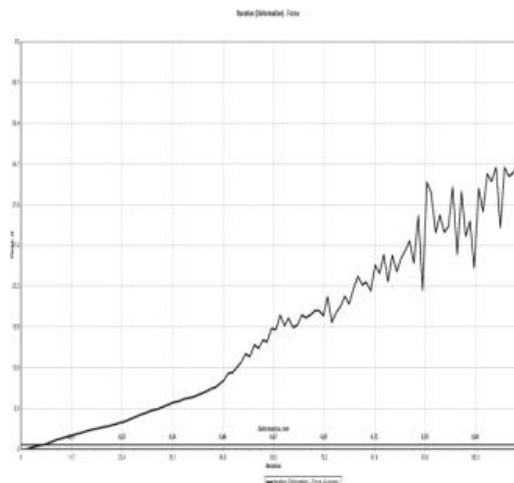
позволит обосновать рациональный состав композиции дражированных семян для конкретных природно-климатических и технико-технологических условий выращивания растений.

Проверка адекватности теоретически-эмпирической модели. Предложенная методика исследований дражированных семян с использованием вычислительных экспериментов пригодна к использованию только в случае ее адекватности – совпадении свойств (функций, параметров, характеристик) теоретической модели и соответствующих свойств физического моделируемого объекта в отношении цели моделирования.

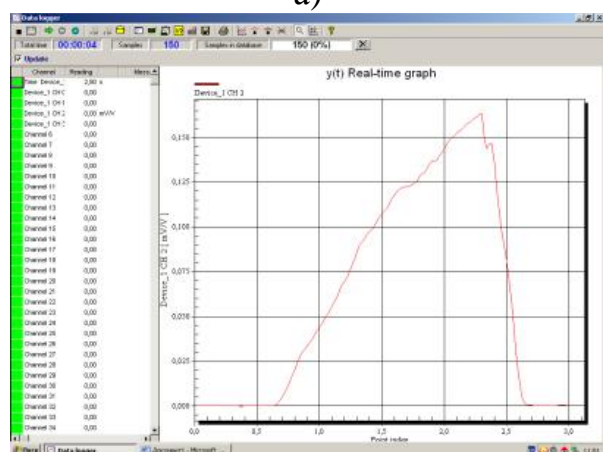
Для оценки адекватности модели реализованы вычислительные эксперименты, аналогичные плану натурных экспериментальных исследований, и выполнена проверка соответствия модели реальной системе путем оценки близости результатов вычислительных и натурных экспериментальных данных.



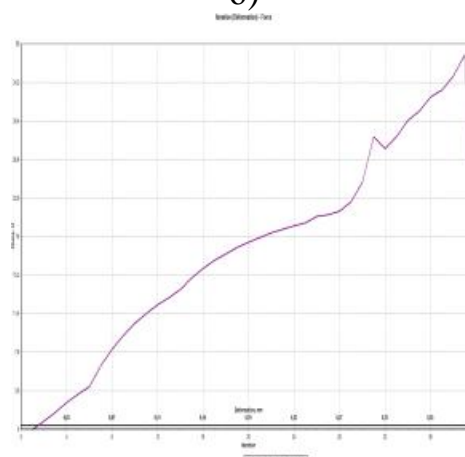
а)



б)



в)



г)

Рис. 6. Диаграммы разрушения дражированных семян в координатах деформация – нагрузка: а – экспериментальная ($Q_v = 0$), б – теоретическая ($Q_v = 0$), в – экспериментальная ($Q_v = 8\%$), г – теоретическая ($Q_v = 8\%$)

Визуально, приблизительная близость теоретической и физической модели дражированных семян наблюдается по подобию теоретической и реальной диаграммам нагрузки дражированных семян (диаметром 5,0 мм, бентонита – 20 %, гуматов – 10 %, фракция песка – 0,5...0,63 мм) в координатах деформация – нагрузка (или время деформирования при постоянной скорости) (рис. 6).

Численно оценку адекватности проведено сравнением дисперсий отклонений откликов модели от среднего значения откликов системы - с помощью критерия Фишера:

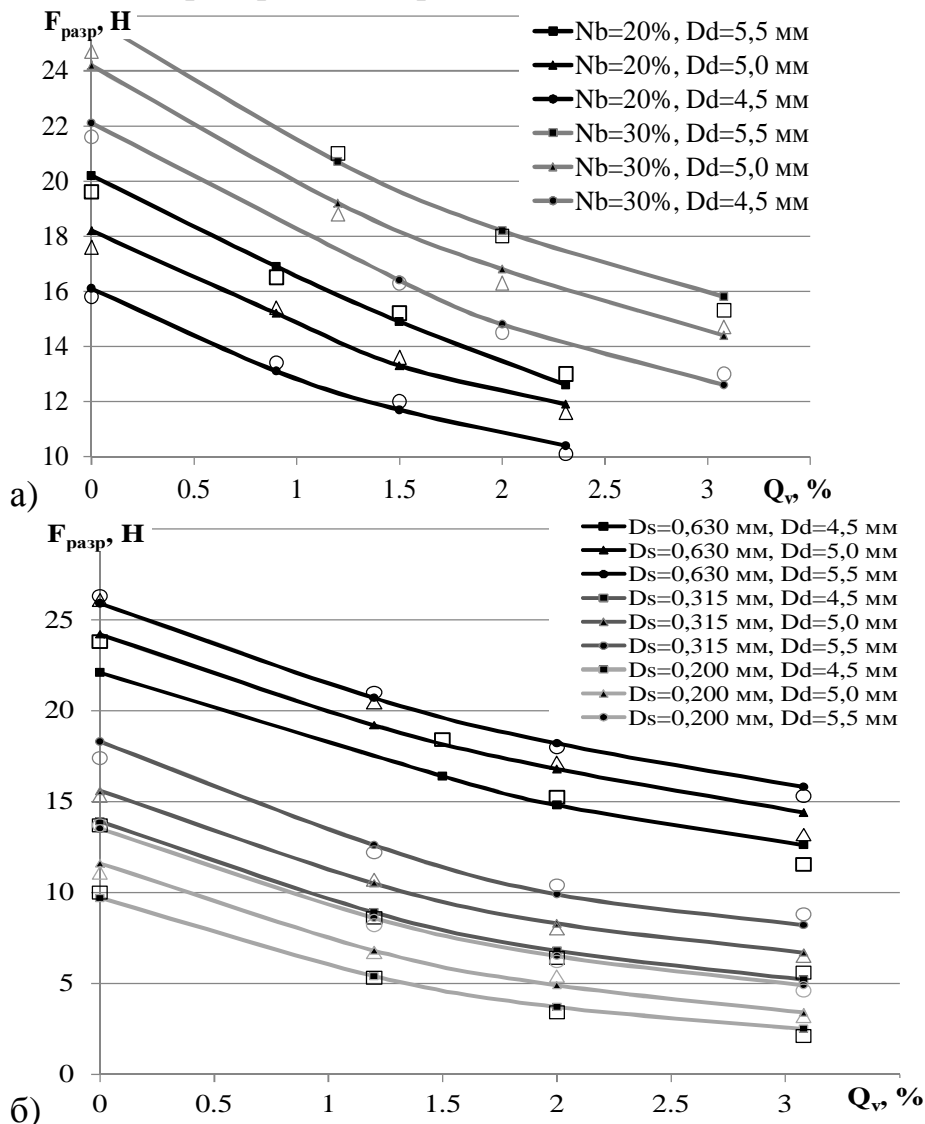


Рис. 7. Зависимость прочности дражированных семян от влажности (при $N_g = 0.1$), ———— - данные вычислительных экспериментов, \circ – данные натуральных экспериментов: а - $D_s = 0.63$ мм, б - $N_b = 0.3$.

Основная часть. Главными технико-технологическими свойствами дражированных семян являются прочность, плотность $\rho_c = f_2(N_b, N_g, D_s, Q_v)$ и гидрофильность $k_f = f_2(N_b, W_D)$.



В момент прорастания семени в драже, при наличии доступной влаги, твердость оболочки драже, как и твердость почвы, будет определять, сможет ли росток данной культуры с присущей ему силой роста прорости через оболочку драже и появиться на дневной поверхности. В агрономических исследованиях для каждого типа почв, как параметр определяющий благоприятность прорастания семян, указывают плотность семенного ложа и верхнего слоя почвы, а также его влажность. Поскольку базовые, формирующие структуру элементы драже и почвы идентичны, то благоприятность условий для прорастания семени через оболочку драже рационально определять, так же как и в почве, через плотность драже и его влажность. Плотность, как интегральная характеристика структуры сформированного драже, определяется массой m_c и объемом V_c драже: $\rho_c = \frac{m_c}{V_c}$, и, учитывая изоморфность аморфной структуры укладки дискретных элементов элементов, для моделей драже при разной его влажности, прямопропорциональна кубу среднего расстояния между ними. Аналогичная пропорциональная зависимость наблюдается для прочности драже и прочности композиции бентонита и гумата при прочих равных условиях [6].

Высокая гидрофильность драже обеспечивает возможность в грунте влажностью W_D активно впитывать влагу, что вызывает интенсивное уменьшение прочности и разрушение драже с формированием его свойств подобных к влажному грунту – наиболее благоприятной среде для прорастания семян. Обратной стороной высокой гидрофильности является способность усиленно впитывать влагу из атмосферного воздуха – определяется гигроскопичной влажностью, что накладывает ограничения на допустимые климатические условия и длительность хранения дражированных семян. Кроме того, по данным исследований [5, 6] гидрофильность и прочность предложенной композиции для дражирования семян находятся в обратно пропорциональной связи: с уменьшением гидрофильности (уменьшение количества гумата и увеличение бентонита) увеличивается прочность драже и наоборот.

С технической точки зрения прочность драже должна быть максимальной F_{max} – для обеспечения целостности во время хранения, транспортировки и высева. С технологической точки зрения гидрофильность должна быть максимальной – для наиболее быстрого впитывания почвенной влаги, уменьшения его плотности и формирования свойств драже оптимальных для прорастания семени. Поэтому задача поиска рационального количественного состава композиции для дражирования по целевым функциям $\{F_{разр}, \rho_c, k_f\}$ с вектором целевых переменных $\bar{x}(N_b, N_g, D_s, D_d, Q_v, W_D)^T$ является многокритериальной оптимизацией с конфликтующими целевыми функциями в заданной области определения.

Любая задача многокритериальной оптимизации состоит в поиске вектора целевых переменных, удовлетворяющего наложенным ограничениям и оптимизирующего векторную функцию, элементы которой соответствуют целевым функциям. Для дражированных семян многокритериальная оптимизация формулируется следующим образом $\min\{\rho_c(\vec{x})\}$.

Критерием оптимальности в данном случае будет либо обобщенная величина $f \in R$, либо одна из целевых функций при наложении ограничений на другие. В случае драже таким ограничением может быть максимально допустимое по техническим соображениям усилие разрушения семян $F_{max} \approx 50H$ и оптимальная для прорастания семян плотность оболочки драже gr/cm^3 . Наибольшие нагрузки семена испытывают в высевной камере высевающего аппарата, также они зависят от разброса размеров драже – при большей дисперсии размеров максимальные нагрузки в камере возрастают. Значит, условием оптимизации будет: $\max\{k_f(\vec{x})\}$.

Данное условие оптимизации обеспечивает обоснование рационального количественного состава композиции для дражирования семян при заданной влажности почвы и предполагает сбережение целостности драже при высеве и максимально интенсивное впитывание почвенной влаги с ускоренным формированием плотности и прочности драже, пригодных для прорастания семян.

Для абсолютно сухих дражированных семян диаметром D_d и массой m_c с площадью поверхности драже $S = \pi \cdot D_d^2$ количество влаги впитанной за единицу времени t составит $m_v = K_f \cdot S \cdot t$. Тогда, зная гигроскопичность композиции [2], можно определить изменение влажности драже в грунте заданной влажности за промежуток времени (рис. 8).

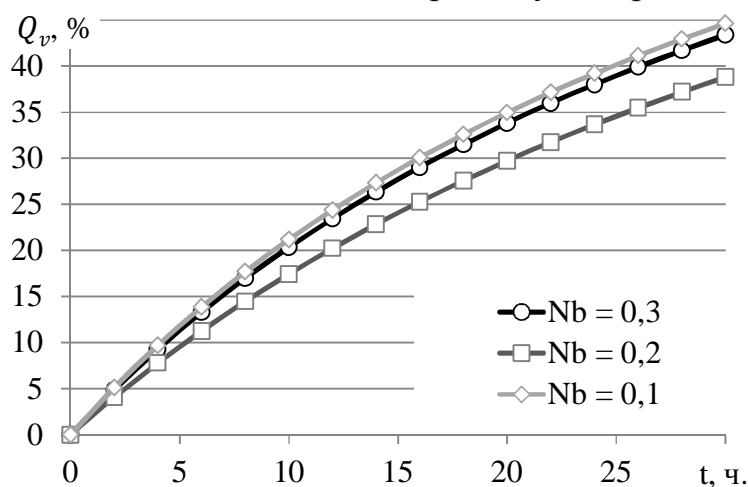


Рис. 8. Изменение влажности дражированных семян ($N_g = 0,1$, $D_d = 5,0$ мм, $D_s = 0,63$ мм) в грунте продуктивной влажностью $W_D = 20\%$

Через взаимосвязь влажности с объемом композиции [2] определим динамику плотности драже в грунте (рис. 9).

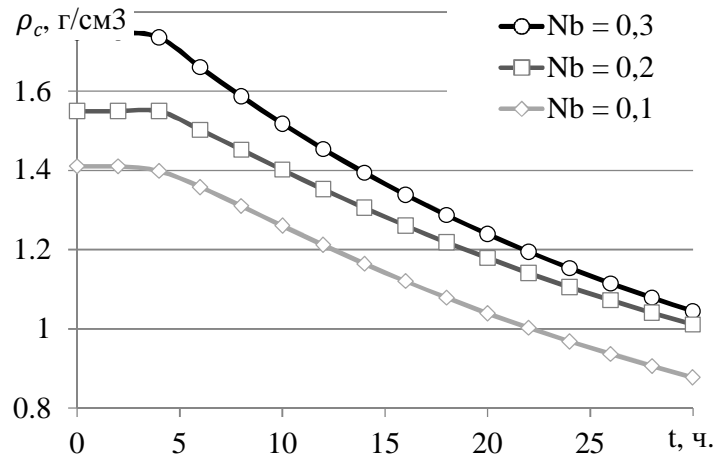


Рис. 9. Динамика плотности дражированных семян ($N_g = 0,1$, $D_a = 5,0$ мм, $D_s = 0,63$ мм) в грунте продуктивной влажностью $W_D = 20\%$

Используя предложенную методику вычислительного эксперимента теперь возможно перейти от влажности Q_v к прочности дражированных семян и получить зависимость динамики прочности драже в почве (рис. 10).

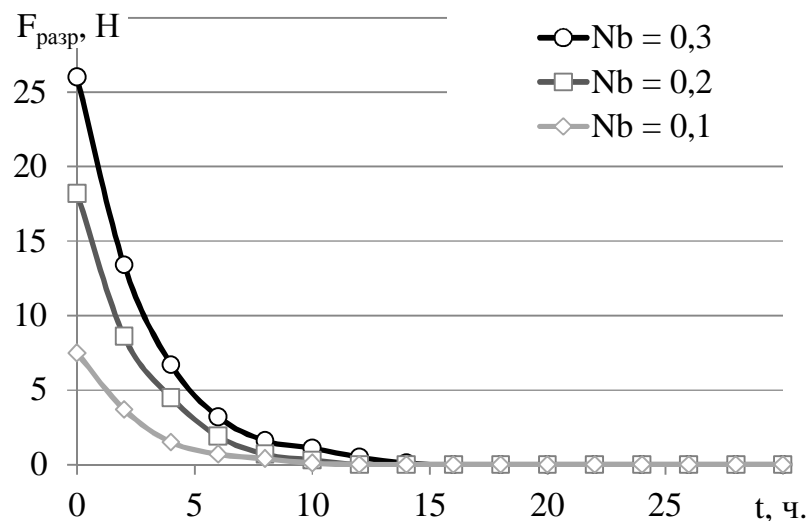


Рис. 10. Динамика прочности дражированных семян ($N_g = 0,1$, $D_a = 5,0$ мм, $D_s = 0,63$ мм) в грунте продуктивной влажностью $W_D = 20\%$

Из приведенных зависимостей видно, что композиция с содержанием бентонита 30% более предпочтительна, поскольку имеет максимальную прочность в сухом состоянии, за сутки в почве с продуктивной влажностью 20% приобретает плотность в пределах 1,0...1,2 г/см³.

Но все же данная композиция не является оптимальной при заданном качественном составе и не отвечает предпочтительным параметрам для дражированных семян. Поэтому использование данной мето-



дики при постановке и реализации плана вычислительного эксперимента вместе с процедурой поиска оптимального решения позволит обосновать рациональные количественные составы композиций дражированных семян для разных природно-технологических условий.

Выводы:

1. В развитии ранее разработанной теоретически-эмпирической дискретной модели (экспериментально-теоретической) структуры дражированного семени разработана методика вычислительного эксперимента с целью прочностного анализа разработанной дискретной модели драже.

2. Проверка адекватности разработанной теоретически-эмпирической дискретной модели позволила выполнять вычислительные эксперименты для моделирования динамики свойств дражированных семян в почве, при их реализации получены зависимости изменения влажности, плотности и прочности в почве с заданным количеством продуктивной влаги.

3. Серия вычислительных экспериментов вместе с процедурой поиска оптимального решения позволит обосновать рациональные количественные составы композиций дражированных семян для разных природно-технологических условий.

4. Установлено, что композиция с наибольшим содержанием бентонита более предпочтительна с прочностной точки зрения, поскольку имеет максимальную прочность в сухом состоянии, при содержании бентонита 30% драже за сутки в почве с продуктивной влажностью 20% приобретает плотность в пределах $1,0 \dots 1,2 \text{ г/см}^3$.

Литература

1. Экономика- урожайность теплиц: [Электронный ресурс]. - Режим доступа к журн.: <http://seleko.ru/ogorodniku/2012-09-02/konomika-urozhaynost-teplitc>. - 2 сентября 2012

2. Сербій Є.К. Гідрофільні властивості компонентів для дражування насіння // Є.К.Сербій, І. О. Гусар /Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: збірник наук. пр. / ДНУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорлого. - Дослідницьке, 2014. – Вип. 18 (32), кн. 2. – стор. 141-153

3. Сербий Е.К. Природные компоненты для дражирования семян / Е.К. Сербий // Материалы Международной научно-технической конференции «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве». Т.2. – Минск, 2012, стр. 253-261

4. Сербій Є.К. Можливості пролонгованого використання елементів драпувальної оболонки насіння овочевих культур/ Є.К. Сербій, М.Л. Новохацький // Праці / ТДАТУ – Вип. 12. Т.4. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – стр. 70-80



5. Сербій Є.К. Дискретна модель дражированої насінини / Збірник наук.праць. Випуск 17 (31): “ Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України”. Том 2. - Дослідницьке: УкрНДППВТім. Л. Погорілого, 2013. Стор. 158-176.
6. Сербій Є.К. Міцнісні властивості компонентів для дражування насіння / Є. К. Сербій// Праці / ТДАТУ – Вип. 22. Т.4. – Мелітополь: ТДАТУ, 2014. – стр. 70-81
7. ГОСТ 25336-82 Посуда и оборудование лабораторные стеклянные. Типы, основные параметры и размеры / Министерством приборостроения. – 1984 г. – 103 стр.
8. ДСТУ ISO 11465-2001 Якість ґрунту. Визначання сухої речовини та вологості за масою. Гравіметричний метод / Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського Української Академії аграрних наук. - 2001 р. – 11 стор.
9. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов / А. А Спиридонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 60 с.
10. Адлер Ю.П. и др. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий /Ю.П.Адлер, Е.В.Маркова, Ю.В.Грановский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
11. Мельников С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. – Л.: Колос, 1980. – 165 с.
12. Прибор для испытания металлов на твердость ТШ-2. Инструкция по эксплуатации / Ивановский завод по производству приборов для испытания металлов (ЗИП). – Иваново, 1966 г. – с. 28
13. Тимошенко С. П., Гудьер Дж., Теория упругости, пер. с англ., 2 изд., М., 1979
14. Макаров Р.А. Тензометрия в машиностроении / Р.А. Макаров, Л.Б. Ренский. - М.: Машиностроение, 1975. – с. 288
15. Аппель П. Теоретическая механика. Т. 2. Динамика системы. Аналитическая механика. – М.: гос.изд.физ.-мат.лит-ры, 1960. – 487 с.
16. Голдстейн Г. Классическая механика. – 415 с.
17. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, 1986. – 416с.
18. Афанасьев А. Е., Ефремов А. С. Теоретическая прочность формованных торфяных тел // ТГТУ. – 2009. - №8. – стр. 252-261
19. Ляв А., Математическая теория упругости, пер. с англ., М.-Л., 1935
20. Лейбензон Л. С., Курс теории упругости, 2 изд., М.-Л., 1947



21. Литвинский Г.Г. Аналитическая теория прочности горных пород и массивов. – Монография/ДонГТУ. – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 207 с.
22. Примак І.Д. Наукові основи землеробства / І.Д. Примак, В.А. Вергунов, В.Г. Рошко та ін. – Біла Церква, 2005. – 408 с.
23. Сербій Є.К. Концептуальні підходи статистичного аналізу дискретної моделі дражированої насінини // Матеріали ХХІІ Міжнародної науково-технічної конференції «Технічний прогрес у сільському господарстві». – Глеваха: ННЦ «ІМЕСГ», 2014. – стор. 100-101
24. Горбенко Е. Анализ средств получения семян бахчевых культур / Е. Горбенко, А. Норинский, Н. Горбенко, Н. Ким // MOTROL. MOTORYZACJA I ENERGETYKA ROLNICTWA, 2013. — Vol. 15, No2p. 191-196
25. Дубровін В. Проходження насіння овоче-баштанних культур крізь отвори решета давальсько-сепаруючої машини / В. Дубровін, А. Пастушенко// MOTROL. MOTORYZACJA I ENERGETYKA ROLNICTWA, 2011. — Vol. 13, No Вр. 10-14

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДРАЖИРОВАНОГО НАСІННЯ У ҐРУНТІ

Кушнар'ов А. С., Сербій Є.К.

Анотація - у статті викладена методика та результати експериментальних досліджень по визначенню міцності дражированого насіння при змінному кількісному складі, вологості та діаметру драже. Для розвитку раніше розробленої теоретично-емпіричної дискретної моделі (експериментально-теоретичної) дражированого насіння запропонована методика міцнісного аналізу даної моделі, сутність якої полягає у віртуальному її деформуванню та реєстрації реакцій, які при цьому виникають. З метою встановлення адекватності розробленої теоретично-емпіричної дискретної моделі реалізовані обчислювальні експерименти, за планами, які аналогічні натурним експериментальним дослідженням. Доведення адекватності теоретично-емпіричної дискретної моделі дозволило виконати числові експерименти для моделювання динаміки властивостей дражированого насіння у ґрунті, у результаті яких отримані залежності зміни вологості, щільності та міцності драже у ґрунті із заданою кількістю продуктивної вологи. Серія числових експериментів разом з процедурою пошуку оптимального рішення дозволить обґрунтувати раціональний кількісний зміст композицій дражированого насіння для різних природничо-технологічних умов.



DYNAMIC MODELING OF PANNED SEEDS PROPERTIES IN SOIL

Kushnarov A., Serbij E.

Summary

The technique and results of experimental researches by durability definition panned seeds at variables quantitative structure, humidity and diameter of a dragee is stated in article. In development before the developed theoretically-empirical discrete model (experimentally-theoretical) structure panned seed the technique analysis of durability the developed discrete model of the dragger which essence consists in its virtual deformation and registration of reactions arising thus is offered. Computing experiments are realized, under plans similar natural experimental researches on purpose to establish adequacy of the developed theoretically-empirical discrete model. The proof of adequacy of the developed theoretically-empirical discrete model has allowed to execute numerical experiments for modeling of dynamics of properties panned seeds in soil in which result dependences of change of humidity are received, density and durability's in soil with the set quantity of a productive moisture. A series of computing experiments together with procedure of search of the optimum decision will allow to prove rational quantitative structures of compositions panned seeds for different natural-technological conditions.