

Abstract. According to the results of the tasks of the Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 "Security, Energy Efficiency, Competitiveness", approved by the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 18, 2017 No. 605-p. it is planned to achieve the reduction of energy intensity of GDP more than twice before 2035.

Most problematic is the provision of accounting in the natural gas market. To control the energy balance of the country and the introduction of effective energy-saving technologies needs a common system of accounting and control of energy consumption that should be regulated by law. The system should collect data on the consumption of energy resources directly from consumers' meters, which should be in all homes and apartments. The information is accumulated at the district level, then the area. Generalized data should be processed in a single monitoring center. As a result, there should be a real picture of energy consumption and the state of payments.

Keywords: commercial accounting, energy markets, energy balance, Governments

УДК 631.331.021:62.001.57

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОБОТИ ГІДРОВІСІВНОГО АПАРАТА

С. М. ДЕЙНЕКА, здобувач

**Національний університет біоресурсів і природокористування
України**

E-mail: deyneka5555@ukr.net

Анотація. Проведено теоретичне дослідження процесу гідровисіву пророщеного насіння дрібнонасіньових овочевих культур. Методами дослідження є теорії пневматики та гідравліки, імітаційне моделювання процесів. Критерієм оптимізації прийнято рівномірність розподілу насіння в рядку, яка включає рівномірність розподілу насіння в об'ємі рідини та норми вилування водонасіньової суміші.

Розглянуто наукові засади проектування принципу дії та конструкції гідровисівного апарата для висіву пророщеного дрібного насіння овочевих культур. Запропоновано математичні моделі окремих процесів, використання яких дає змогу розділити загальний процес проектування гідровисівуючого апарата на такі фази: перша – процес барботування, друга – процес перемішування насіння в рідині, третя – процес висіву водонасіньової суміші. Застосування сукупності фізичних процесів дає можливість досягти високої якості виконання процесу гідровисіву пророщеного насіння без травмування паростків.

Проведені теоретичні дослідження процесу гідровисіву дають змогу сформуванню основні напрями експериментальних досліджень як окремих процесів, так і загального процесу, оптимізація режимів роботи яких дає змогу вирішити питання розробки конструкції гідросівалки. Таким чином, можливе досягнення скорочення терміну отримання врожаю овочевих культур за рахунок скорочення терміну появи сходів.

Ключові слова: *гідровисів, імітаційне моделювання, барботування, пророщене насіння*

Актуальність. Сучасний підхід до вирощування овочевих культур потребує застосування нових методів виконання технологічних операцій, які дозволяють отримувати високі врожаї та високу якість овочів.

Враховуючи те, що практично понад 90% площ овочевих та баштанних культур припадає на особисті підсобні господарства, середній розмір яких коливається в межах 0,2–2 га, постає проблема забезпечення виробника технікою, яка спроможна якісно виконувати технологічні операції з мінімальними витратами і максимальною ефективністю.

Однією з проблем при вирощуванні овочів є довгий термін від посіву до появи сходів при використанні посіву сухим насінням. Використання гідровисіву пророщеним насінням з одночасним мікророзрошенням значно скорочує цей термін, що дає змогу отримувати ранній врожай овочів з мінімальними витратами.

Отже, розробка гідровисівних апаратів в умовах сучасних тенденцій розвитку овочівництва є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розробці висівного апарата для посіву пророщеним насінням присвячені наукові дослідження Г. М. Черкащенко, В. І. Дешко, О. О. Коновал, Л. І. Кузьменко, Д. А. Ящук, М. Ф. Ольховського, М. В. Бакум, Ю. О. Манчиського, О. Д. Клімчук, В. Б. Бойко та інші.

Мета дослідження – проведення теоретичних досліджень окремих процесів, які забезпечують рівномірність висіву пророщеного насіння способом гідровисіву.

Матеріали і методи дослідження. Дослідження ґрунтувалися на теорії пневматики та гідравліки, імітаційному моделюванні процесів.

Результати дослідження та їх обговорення. Перспективним методом дослідження робочих процесів у механізації сільського господарства може бути математичне (імітаційне) моделювання. Перевагою імітаційного моделювання перед натуральним експериментом є можливість глибше проаналізувати фізичну суть складних процесів, істотно скоротити витрати на виготовлення експериментальних моделей, які передбачені багатофакторним експериментом [5].

Метод моделювання процесів за допомогою комп'ютерної техніки дозволяє імітувати вплив випадкових факторів і отримати більш точний результат дослідження.

Використання сучасних імітаційних моделей ґрунтується на прикладі метода Монте Карло [3]. Процес імітаційного моделювання передбачає такі етапи [4].

Етап 1. Змістовний опис процесу. Якісні і кількісні характеристики процесу виражаються в словесній формі:

- повністю відображується логіка подій і явищ;
- конкретизується мета моделювання з визначенням вихідних характеристик процесу, які слід фіксувати для отримання необхідних даних.

Етап 2. Складання формалізованої схеми процесу. Цей етап є проміжним між змістовим описом процесу і його математичною моделлю.

Відповідності, виражені в змістовому описі формуються в математичні залежності, характерні закономірності записуються у вигляді рівнянь.

Етап 3. Розробка математичної моделі. На цьому етапі всі дані про процес записуються в аналітичній формі.

Етап 4. Побудова моделюючого алгоритму.

Математична модель у своєму початковому вигляді не може бути використана для аналітичного дослідження, і взагалі не може містити в явному вигляді шукані величини [1]. Тому побудова моделюючого алгоритму є необхідним кроком для моделювання процесу з використанням комп'ютерних технологій. У відповідності з алгоритмом обчислювальних програм він дає можливість отримати інформацію, що описує елементарні явища досліджуваного процесу і з врахуванням їх взаємних впливів за допомогою явних формул обчислюються шукані величини. Для складних систем неможливо побудувати залежності між характеристиками стану і параметрами системи, тому постає необхідність поділу процесу функціонування системи на певну кількість підпроцесів, у математичному описі яких не виникає складнощів.

Як приклад математичного моделювання розглянемо дослідження процесу висіву дрібного насіння овочевих культур гідровисівним апаратом, в основі якого лежить принцип барботажної колони.

Параметром, що визначає якість роботи гідровисівного апарата, є рівномірність висіву насіння. На рис. 1 подана схема формування рівномірності за допомогою досліджуваного висівного апарата (формалізована схема процесу).

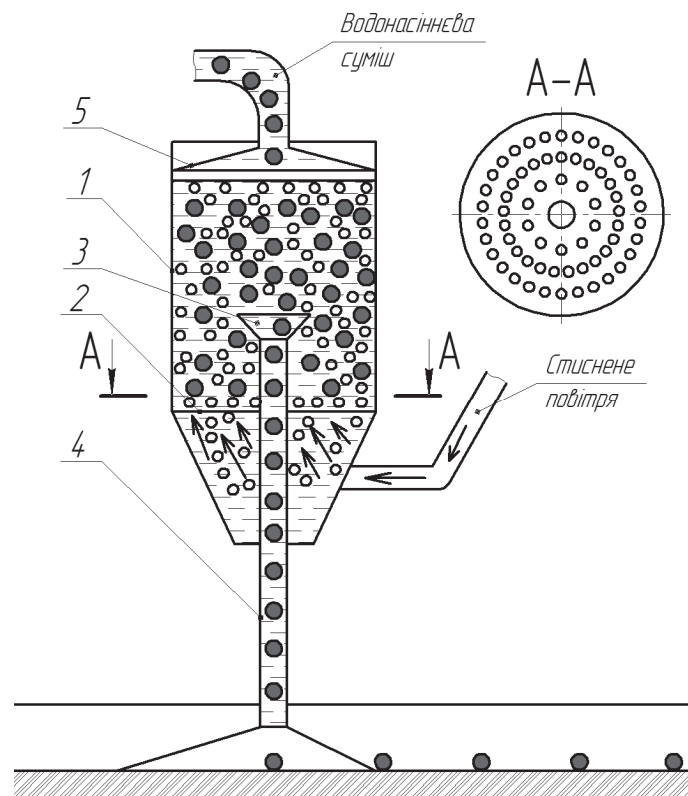


Рис. 1. Формалізована схема процесу гідровисіву:

- 1 – водонасіннева суміш; 2 – перфороване днище; 3 – воронка уловлювача;
4 – сошник; 5 – обмежувач рівня рідини

Процес гідровисіву можна поділити на ряд простих процесів, які характеризуються певними фізико-механічними властивостями.

Нехай густина насінини буде ρ_n , густина рідини ρ_p і середня швидкість її руху $U_{\text{сер.}}$.

На насінину діють такі сили:

- сила тяжіння: $G = \rho_n \cdot g \cdot V$;

- сила підйому пухирця (Архімедова сила): $R = \rho_p \cdot g \cdot V$, спрямована по вертикалі знизу вгору;

- сила опору, визначена за загальною формулою опору при

$$W = CF \frac{\rho_p U_p^2}{2}$$

обтіканні тіл:

де ρ_p – густина рідини, кг/м^3 ;

C – коефіцієнт опору;

F – площа проекції насінини;

U_p^2 – швидкість рідини відносно насінини, м/с .

Процес барботування. Розмір пухирця в момент відриву від поверхні можна обчислити. Нехай

d_0 – діаметр отвору;

d – діаметр пухирця;
 ρ_p та ρ_r – відповідно густина рідини та газу;
 σ – поверхневий натяг рідини.

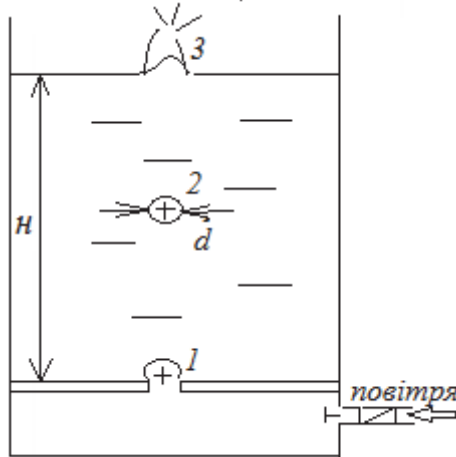


Рис. 2. Схема барботування:

1– бульбашка, що виникає; 2 – спливаюча бульбашка; 3 – руйнування бульбашки

При виході з отвору пухирець спочатку збільшується в об'ємі, а потім відривається та спливає. Коли сила, що піднімає (Архімедова сила) і сила опору рівні, то виконується рівність:

$$\frac{\pi d^3}{6} g(\rho_p - \rho_r) = \pi d_0 \sigma \quad (1)$$

Звідки:

$$d = \sqrt[3]{\frac{6d_0 \sigma}{g(\rho_p - \rho_r)}} \quad (2)$$

З останнього рівняння випливає, що діаметр пухирця при вільному русі не залежить від витрат газу, а визначається d_0 і властивостями рідини та газу. При збільшенні витрат газу збільшується лише частота пухирців.

Коли витрата газу досягає критичного значення $V_{кр}$, пухирці не встигають відірватися один від одного та рухаються ланцюжком, іноді зливаючись (спостерігається так зване явище *коалесценції*), перетворюючись в окрему струю газу. Критична витрата газу дорівнює:

$$V_{кр} = \frac{\pi d^3}{6} v_n = \frac{\pi v_n}{6} \left[\frac{6d\sigma}{g(\rho_p - \rho_r)} \right], \quad (3)$$

де v_n – швидкість піднімання пухирця, м/с.

У теоретичних дослідженнях механізму гідравлічних та аеродинамічних закономірностей фізичних явищ у процесі висіву

пророщеного насіння овочевих культур показаний зв'язок між параметрами, що впливають на процес гідровисіву.

Процес перемішування водонасінневої суміші. Для досягнення достатньої інтенсивності перемішування швидкість газу в отворах перфорованого днища не повинна бути менша, ніж величина ω_0 , що відповідає початку режиму рівномірної роботи

$$\omega_0 = a \sqrt{\frac{g \cdot \rho_{ж}}{\zeta \cdot \rho_2} l}, \text{ м/с}, \quad (4)$$

де a – коефіцієнт, що дорівнює 0,67 для сітчастих тарілок барботажних абсорберів;

g – прискорення сили тяжіння, м/с^2 ;

ζ – коефіцієнт опору;

$\rho_{ж}$ і ρ_2 – щільність рідини та газу, кг/м^3 ;

l – висота рівня рідини над днищем, м .

Гідравлічний опір Δp змішувальної камери складається з опору Δp_1 перфорованого днища, опору Δp_2 стовпа рідини на днищі, що відповідає глибині барботажу, та опору Δp_3 , обумовленого поверхневим натягненням рідини. Таким чином,

$$\Delta p = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3. \quad (5)$$

Опір перфорованого днища

$$\Delta p_1 = \zeta \frac{\rho_2 \omega_0^2}{2}, \text{ Н/м}^2, \quad (6)$$

де ρ_2 – щільність газу, кг/м^3 ;

ζ – коефіцієнт опору, що має наступні значення

$\varphi = 0,07-0,1 \dots \dots \dots 1,82$;

$\varphi = 0,15-0,2 \dots \dots \dots 1,45$;

φ – живий перетин отворів (відношення їх сумарної площини на днищі до площини поперечного перетину колони).

Процес виліву водонасінневої суміші. Опір стовпа рідини на днищі

$$\Delta p_2 = 1,3 g k \rho_{ж} (h_n + \Delta h), \text{ Н/м}^2 \quad (7)$$

де g – прискорення сили тяжіння, м/с^2 ;

k – відношення щільності піни до щільності чистої рідини (при розрахунках приймають $k=0,5$);

$\rho_{ж}$ – щільність рідини, кг/м^3 ;

Δh – висота рівня рідини над зливним порогом (уловлювачем), м ;

h_n – висота зливного порога (уловлювача), м .

Величина Δh визначається з урахуванням щільності піни

$$\Delta h = \left(\frac{V_{жс}}{1,85\Pi k} \right)^{2/3}, \text{ м}, \quad (8)$$

де $V_{жс}$ – об'ємна витрата рідини, $\text{м}^3/\text{с}$;

Π – периметр уловлювача, м .

Опір, обумовлений силами поверхневого натягіння

$$\Delta p = \frac{4\sigma}{d}, \text{ Н/м}^2, \quad (9)$$

де σ – поверхневий натяг, Н/м ;

d – діаметр отвору перфорації, м .

Під час перемішування водонасінневої суміші, щоб виключити травмування проростків, повинна виконуватись умова $F_{y\partial} < F_g$,

де $F_{y\partial}$ – сила удару газового пухирця по пророщеному насінню, Н ;

F_g – зусилля відриву проростка від насіння, Н .

Оскільки ударні сили занадто великі й за час удару змінюються в значних межах, то як міру взаємодії тіл розглядають не самі ударні сили, а їх імпульси.

$$S_{y\partial} = \int_0^{\tau} F_{y\partial} dt = F_{y\partial}^{cp} \tau, \text{ кг}\cdot\text{м/с}. \quad (10)$$

Надалі будемо розглядати швидкість на початку удару v , та в кінці удару u . Тоді запишемо теорему про зміну кількості руху точки при ударі

$$m(u - v) = \sum S_k. \quad (11)$$

Для визначення швидкостей на початку удару розглянемо осідання пророщеного насіння в рідині та спливання газового пухирця.

У початковий момент часу швидкість осідання насіння $v = 0$.

Використаємо рівняння руху у вигляді

$$m \frac{dv}{dt} = G - F, \quad (12)$$

де m – маса пророщеного насіння з урахуванням приєднаної маси рідини;

$\frac{dv}{dt}$ – прискорення руху насіння;

G – вага насіння з врахуванням впливу архімедової сили;

F – сила лобового опору.

Швидкість рівномірного осадження тіла в рідині визначимо з рівняння (10), в якому для ділянки рівномірного руху $\frac{dv}{dt} = 0$.

Вага насіння з урахуванням впливу архімедової сили

$$G = (\rho_n - \rho_p) g \frac{\pi d^3}{6}, \text{ Н}, \quad (13)$$

де ρ_n і ρ_p – відповідно, щільність насіння та рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$;

d – діаметр насіння, м.

Сила лобового опору визначиться у вигляді

$$F = c_x \frac{\pi d^2}{4} \rho_p \frac{v_0^2}{2}, \quad (14)$$

де v_0 – швидкість рівномірного руху насіння.

Прирівнявши праві частини рівнянь (13) і (14) та розв'язуючи отримане рівняння відносно швидкості, отримаємо:

$$v_0 = \sqrt{\frac{3 g d (\rho_n - \rho_p)}{4 \rho_p c_x}}. \quad (15)$$

Висновки і перспективи. Експериментальні дослідження мають за мету підтвердження достовірності впливу аналітичних залежностей, при теоретичному розгляді досліджуваних питань за наступною програмою:

1. Визначення впливу концентрації пророщеного насіння овочевих культур у змішувальній камері на рівномірність висіву.

2. Обґрунтування параметрів змішувальної камери: розмірів уловлювача та перфорованого днища.

3. Визначення впливу швидкості агрегата й діаметра виливного отвору на величину норми висіву та рівномірності розподілу насіння в рядку.

4. Визначення впливу зміни тиску повітря в отворах перфорованого днища на рівномірність висіву.

Дослідження, згідно з програмою, будуть проведені в два етапи – лабораторні та польові.

У процесі лабораторних експериментів буде досліджуватися вплив концентрації насіння в змішувальній камері на якість висіву, визначатиметься витрата насіння на одиницю площі.

Під час польових експериментів визначатиметься величина витрати гідросуміші залежно від діаметра вихідного отвору та швидкості агрегата.

Список літератури

1. Бусленко Н. П. Метод статистического моделирования / Н. П. Бусленко. – М. : Статистика, 1970. – 125 с.

2. Гідравліка / [Дідур В. А., Журавель Д. П., Палішкін М. А. та ін.]. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2015. – 624 с.

3. Соболев И. М. Численные методы Монте-Карло / Соболев И. М. – М. : Наука, 1973. – 312 с.
4. Хэдми А. Таха. Введение в исследование операций / Хэдми А. Таха ; пер. с англ. – [6-е изд.]. – М. : Вильямс, 2001. – 912 с.
5. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем. Искусство и наука / Шеннон Р. – М. : Мир, 1978. – 312 с.

References

1. Buslenko, N. P. (1970). Metod statisticheskogo modelirovaniya [The method of statistical modeling]. Moscow: Statistika, 125.
2. Didur, V. A., Zhuravel, D. P., Palishkin, M. A. [et al.] (2015). Hidravlika [Hydraulics]. Kherson: OLDI-PLluS, 624.
3. Sobol', I. M. (1973). Chislennyye metody Monte-Karlo [Numerical Monte Carlo methods]. Moscow: Nauka, 312.
4. Khedmi, A. Takha. (2001). Vvedeniye v issledovaniye operatsiy [Introduction to Operations Research]. Moscow: Vil'yams, 912.
5. Shennon, R. (1978). Imitatsionnoye modelirovaniye sistem. Iskusstvo i nauka [Simulation of systems. Art and Science]. Moscow: Mir, 312.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ РАБОТЫ ГИДРОВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

С. М. Дейнека

Аннотация. Проведено теоретическое исследование процесса гидропосева мелкоячменных овощных культур. Методы исследования – теории пневматики и гидравлики, имитационное моделирование процессов. Критерием оптимизации является равномерность размещения семян в ряде, включающая равномерность размещения семян в объеме жидкости и нормы высева водосеменной смеси.

Рассмотрены научные основы проектирования принципа действия и конструкции гидровысевающего аппарата для посева пророщенных мелких семян овощных культур. Предложены математические модели отдельных процессов, использование которых дает возможность поделить весь процесс проектирования гидровысевающего аппарата на следующие фазы: первая – процесс барботирования, вторая – процесс перемешивания семян в жидкости, третья – процесс высева водосеменной смеси. Использование совокупности физических процессов дает возможность достигнуть высокого качества исполнения процесса гидропосева пророщенных семян без травмирования ростков.

Проведенные теоретические исследования процесса гидропосева дают возможность сформулировать основные направления экспериментальных испытаний как отдельных процессов, так и общего процесса, оптимизация работы которых дает возможность решить вопросы разработки конструкции гидросеялки. Таким образом, возможно достичь сокращения периода получения урожая овощных культур за счет сокращения периода появления всходов.

Ключевые слова: гидропосев, имитационное моделирование, барботирование, пророщенные семена

USE OF MATHEMATICAL MODELLING METHODS OF THE OPERATION PROCESSES OF A HYDROSEEDING APPARATUS

S. M. Deyneka

Abstract. *The article deals with theoretical investigation of hydroseeding of germinated seeds of small seeded vegetable crops.*

The theories of pneumatics and hydraulics, simulation modelling of the processes were used. It is shown that the optimization criterion is the even seeds distribution in a row which includes even seeds distribution in the liquid volume and the standards of pouring of water and seeds mixture.

Attention is drawn to scientific basis of designing and working principles of hydroseeding apparatus for sowing of small seeds of vegetable crops.

The article gives an analysis of mathematical models of some processes which allow to divide the process of designing of the hydroseeding apparatus into the following phases: bubbling, mixing seeds in the liquid and pouring of water and seeds mixture.

It is stressed that the use of the complex of physical processes allows to

Theoretical investigations of hydroseeding help formulate the main areas reach high quality of hydroseeding of germinated seeds without their damaging. of experimental research of both separate processes and a general one. Optimisation of their operating modes permits to design a hydroseeder. In this way it is possible to shorten the period of having harvest of vegetable crops by reducing the period of sprouts emergence.

Keywords: *hydroseeding, simulation modelling, bubbling, germinated seeds*