

10.Kutscher C.F., C.B. Christensen and G.M. Barker. Unglazed Transpired Solar Collectors: Heat Loss Theory, J. of Solar Energy Engineering, V. 115, 1993. – P. 182–188.

Описано математичну модель теплообміну в транспіраційному сонячному колекторі з плоским пористим абсорбером з нетканого матеріалу. Проведено розрахунок температурних полів в абсорбері, теплопродуктивності та ефективності колектора залежно від швидкості повітря та інтенсивності сонячної радіації.

Транспіраційний сонячний колектор, плоский пористий абсорбер, нетканий матеріал, фільтрація повітря, ефективність колектора.

A mathematical model have been described concerned the heat transfer in transpired solar collector provided with flat porous absorber fabricated from nonweave material. The temperature distributions in the absorber as well, as the collector's capacities and efficiencies have been calculated depending on air velocities and the solar radiation intensities.

Transpired solar collector, flat porous absorber, nonweave material, air filtration, collector's efficiency

УДК 62-533.65

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ СВІТЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН У СПОРУДАХ ЗАКРИТОГО ГРУНТУ

**В.В Козирський, доктор технічних наук
І.М.Болбот, кандидат технічних наук
Ю.О. Батанов, аспірант***

Розглянуто математичну модель оцінювання впливу світлозабезпечення на ріст та розвиток рослин у системі рослина-ґрунт-повітря. Модель описує якісні показники росту і розвитку рослини, що знаходиться в тісній взаємодії з динамікою параметрів навколишнього середовища в спорудах закритого ґрунту.

Математична модель, світлозабезпечення, фотосинтез, інтенсивність освітлення, світловий потік, фотосинтетично-активна радіація, пряма і розсіяна радіація, споруда закритого ґрунту.

Практичний досвід експлуатації автоматичних систем керування в тепличних господарствах дозволяє зробити висновок, що світлозабезпе-

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.В Козирський

© В.В Козирський, І.М.Болбот, Ю.О. Батанов, 2014

чення в теплиці змінюється за випадковим алгоритмом, що ускладнює його забезпечення оптимальним значенням [1, 2]. Ця особливість не дозволяє здійснити одноразове настроювання обладнання на постійний оптимальний режим. Крім того, параметри таких систем змінюються в часі, що обумовлено зміною параметрів об'єкта, а тому актуальною є проблема розробки нової комп'ютерно-інтегрованої системи управління технологічним процесом у промисловій теплиці, яка буде враховувати вплив світлозабезпечення на розвиток та врожайність рослини.

Автоматичні системи управління такого типу в першу чергу повинні приймати рішення базуючись на математичних розрахунках [3, 5], які б враховували вплив світлозабезпечення на ріст та розвиток рослини.

Мета досліджень – побудова математичної моделі оцінювання впливу світлозабезпечення на розвиток рослин у спорудах закритого ґрунту на основі комбінованої фізико-статистичної схеми оцінки та аналізу явищ, що протікають у системі рослина-ґрунт-повітря.

Матеріали та методика досліджень. Проаналізовано джерела щодо впливу факторів навколишнього середовища на розвиток рослин. Методика дослідження ґрунтується на вивченні впливу світлозабезпечення на показники росту і розвитку рослини.

Аналіз літературних джерел [7, 8] свідчить про те, що всю кількість чинників, які впливають на рослину можна звести до світла, тепла, води, поживних речовин і вуглекислоти. Всі ці чинники рослина вбирає з навколишнього середовища, переробляє, частково засвоює і потім формується врожай. Цілоком природно, щоб весь цей потік енергії і маси, що надходить до рослини, засвоювався рослиною в оптимальних кількостях. Для рослини однаково погано і дуже малі, і дуже великі порції води, поживних елементів, тепла і т. д. Враховуємо, що кожен із цих чинників є досить складним і багатокомпонентним, а одночасне їх поєднання призводить до дуже складної системи, що зумовлює формування врожаю в цілому. З усього розмаїття факторів, що впливають на врожайність, одним із вагомих є світлозабезпечення.

Тільки на світлі в зелених листках відбувається найважливіший фізіологічний процес—фотосинтез, у процесі якого створюється близько 95 % органічної маси врожаю й акумулюється вся енергія, що накопичується в рослині.

Загальновідомо, що променева енергія Сонця вловлюється листом не цілоком. Частина енергії проходить повз листок, природно гублячись для фотосинтезу. З енергії, що падає на листок, 15 % відбивається в навколишнє середовище, 10 % проходить крізь листок, оскільки листок дуже тонкий, і 75 % поглинається листом, з них близько 5 % загальної кількості променевої енергії використовується для фотосинтезу, а 20 % та більше перетворюється в тепло, інші 50 % використовуються на транспірацію (рис. 1) [7].

При достатній кількості сонячного випромінювання фотосинтез у рослинах відбувається набагато інтенсивніше, ніж дихання, тому в них накопичуються органічні речовини. В міру зменшення інтенсивності випромінювання процес фотосинтезу слабшає, і нарешті, настає такий момент, коли інтенсивність фотосинтезу і дихання однакові. При подальшому зме-

ншенні інтенсивності випромінювання починає переважати процес дихання над процесом фотосинтезу, і рослини замість нагромадження органічних речовин витрачають їх, внаслідок чого в них припиняється ріст і опадає листя, а потім вони гинуть.

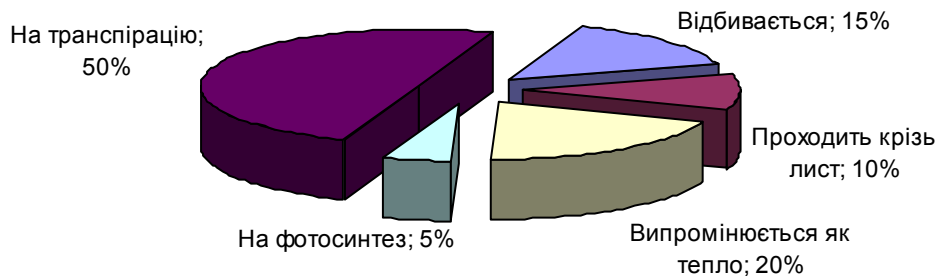


Рис. 1. Використання та розподіл світла листком

Більшість тепличних рослин залежно від своїх фізіологічних особливостей ростуть і плодоносять при освітленості 8–12 тис. лк. Такої потужності потік спостерігається наприкінці лютого та у вересні. Взимку освітленість на поверхні Землі опівдні на відкритому місці сягає близько 4–5 тис. лк, що приблизно у 15 разів менша від освітлення у ці ж години влітку. Ще менше променевої енергії надходить на Землю вранці і після полудня. Освітлення культивацийних споруд у цей час зовсім низьке. Внаслідок відбиття і поглинання світла склом воно зменшується приблизно наполовину в порівнянні з освітленням на відкритому місці, оскільки близько 10 % падаючого світла відбивається склом, 10 % поглинається конструкцією теплиць. При 30 %-ній втраті світла внаслідок забруднення покритті теплиць загальні втрати складають 50 %, з них на ґрунт надходить 20 % світла, то на частку рослини залишається лише 30 % [3].

Найважливішою для життя рослин є видима частина оптичного випромінювання (380–710 нм), що сприймається людським оком як світло. Її часто називають фотосинтетично активною радіацією (ФАР), оскільки багато фізіологічних процесів не можуть проходити без видимого випромінювання світла.

Розрізняють пряму і розсіяну сонячну радіацію. Інтенсивність її залежить від висоти стояння сонця, чистоти атмосфери. Співвідношення прямої і розсіяної радіації залежить від пори року і географічної широти місцевості. Восени й взимку переважає розсіяна радіація. Поряд з інтенсивністю освітлення на ріст і формування врожаю сильно впливає тривалість денного освітлення.

Розглянувши світловий фактор, можемо назвати ряд величин, які характеризують світлову енергію: освітленість, тривалість сонячного світла, сумарна радіація тощо. Причому кожен з цих величин, може належати до самої рослини, ґрунту, повітря, а також до різних поєднань цих об'єктів.

Як єдиний і найвпливовіший показник використаємо деяку особливість впливу світлозабезпечення на ріст та розвиток рослини. Сума світлозабезпечення за вегетаційний період або за інший відрізок часу, протягом якого протікають відповідальні етапи розвитку культури, являє собою лише підсумкове значення, до якого входять безліч світлових явищ, що мають місце в системі рослина-грунт-повітря.

Світло – це один із основних факторів, що лімітують ріст і розвиток рослин. Розглянемо вплив освітленості на рослину томата. Мінімальна освітленість, при якій ще можливий вегетативний ріст рослини 2..3 тис. лк. При освітленості нижче цього значення розпад асимілянтів на дихання перевищить їх прихід від фотосинтезу. При достатній наявності сонячних променів прискорюється розвиток рослин: вони раніше цвітуть і плодоносять. При похмурій, навіть теплій погоді, цвітіння затримується, і плодоношення настає пізніше. При сонячному опроміненні 7 МДж (1,94 кВт·ч) на добу та звичайному вмісті в повітрі CO₂ (0,03 %), врожайність томатів коливається в межах 40..150 г з одного куща за добу і залежить від рівня світлозабезпечення рослини (таблиця).

Вплив світлозабезпечення на врожайність томатів

Світлозабезпечення m , Мдж	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7
Врожайність томатів y , г	55	57	60	66	75	87	105	125	150

Результати досліджень. Оцінка розвитку та врожайності сільськогосподарської культури з заданими генетичними якостями щодо світлозабезпечення зводиться до вирішення рівняння вигляду [6]:

$$Y = f(m), \quad (1)$$

де m – світлозабезпечення.

Світлозабезпечення – неодмінна умова існування зелених рослин. Під її впливом відбувається процес фотосинтезу, в ході якого рослини з вуглекислого газу, води і мінеральних речовин ґрунту синтезують первинні органічні речовини, виділяючи в атмосферу кисень. Сонячне світло створює освітленість, яка характеризується сумарною дією прямої, розсіяної і відбитої радіації. Освітленість пропорційна інтенсивності сонячної радіації. Світлозабезпечення m може бути записане як:

$$m = \frac{R^{(n)}}{R}, \quad (2)$$

де $R^{(n)}$ – частина радіації, що досягає поверхні ґрунту за наявності рослинного шару, R – вся радіація, що може досягти поверхні ґрунту.

Таким чином, на частку рослин та міжрослинного шару повітря, висотою від верхівок рослин H до поверхні ґрунту, надходить $R^{(H)} = R - R^{(n)}$ або частина її від величини R , що дорівнює m . Значення величини $R^{(n)}$,

що утилізується ґрунтом, змінюється в межах $m=0..1$. Якщо $m = 0$, то рослини настільки розвинені, що своєю суцільною масою не пропускають жодної частини променистої енергії, яка дійшла б до поверхні ґрунту. І навпаки, при $m = 1$ через рідку і малорозвинену рослинність вся величина R досягає ґрунту.

Запишемо величину m інакше:

$$m = \frac{R^{(n)}}{R^{(H)} + R^{(n)}} \quad (3)$$

Оскільки весь радіаційний баланс R складається з частини радіації, що досягає поверхні ґрунту, і залишку, $R^{(H)}$ формується на висоті крон рослин H [3]. Введемо інший коефіцієнт $m_1 = 1 - m$, який, навпаки, показує своїм зростанням від 0 до 1 збільшення густини рослинності від повної розрідженості до повної загущеності рослин. Отримаємо:

$$m_1 = \frac{R^{(H)}}{R} \quad (4)$$

Запишемо кожен елемент R (як $R^{(n)}$, так і $R^{(H)}$) у розгорнутому вигляді:

$$R^{(n)} = \lambda \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} + c_p \rho k(x) \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=0} + L \rho k(x) \left. \frac{\partial q}{\partial x} \right|_{x=0} \quad (5)$$

$$R^{(H)} = -c_p \rho k(x) \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=H-0} + c_p \rho k(x) \left. \frac{\partial T}{\partial x} \right|_{x=H+0} - L \rho k(x) \left. \frac{\partial q}{\partial x} \right|_{x=H-0} + L \rho k(x) \left. \frac{\partial q}{\partial x} \right|_{x=H+0} + R^{(n)}, \quad (6)$$

де T – температура системи ґрунт – повітря вздовж координати x , додатні значення якої направлені в сторону повітря $x > 0$, а від’ємні в сто-

рону ґрунту $x < 0$, °C; q – абсолютна вологість повітря, %; $\frac{\partial T}{\partial x}$ і $\frac{\partial q}{\partial x}$ – вертикальні градієнти температури і вологості повітря; H – висота рослин, м; λ – коефіцієнт теплопровідності ґрунту, Вт/(м·К); $k(x)$ – коефіцієнт турбулентності; c_p , – теплоємність повітря, Дж/(кг·К); ρ – густина повітря, кг/м³.

Рівняння (5) являє собою частину радіації на рівні поверхні ґрунту $X = 0$, рівняння (6) частина радіації на висоті крон рослин $X = H$. Рівняння (6) відображає той факт, що рівень радіації на рівні H являє собою алгебраїчну суму стрибків потоків тепла турбулентності і випаровування. Рослина як би обумовлює виникнення розриву в величинах потоків турбулентного тепла і вологи, викликаного випаровуванням. Ефект від цього розриву, як показує досвід, буде максимальним на верхньому рівні крон рослин.

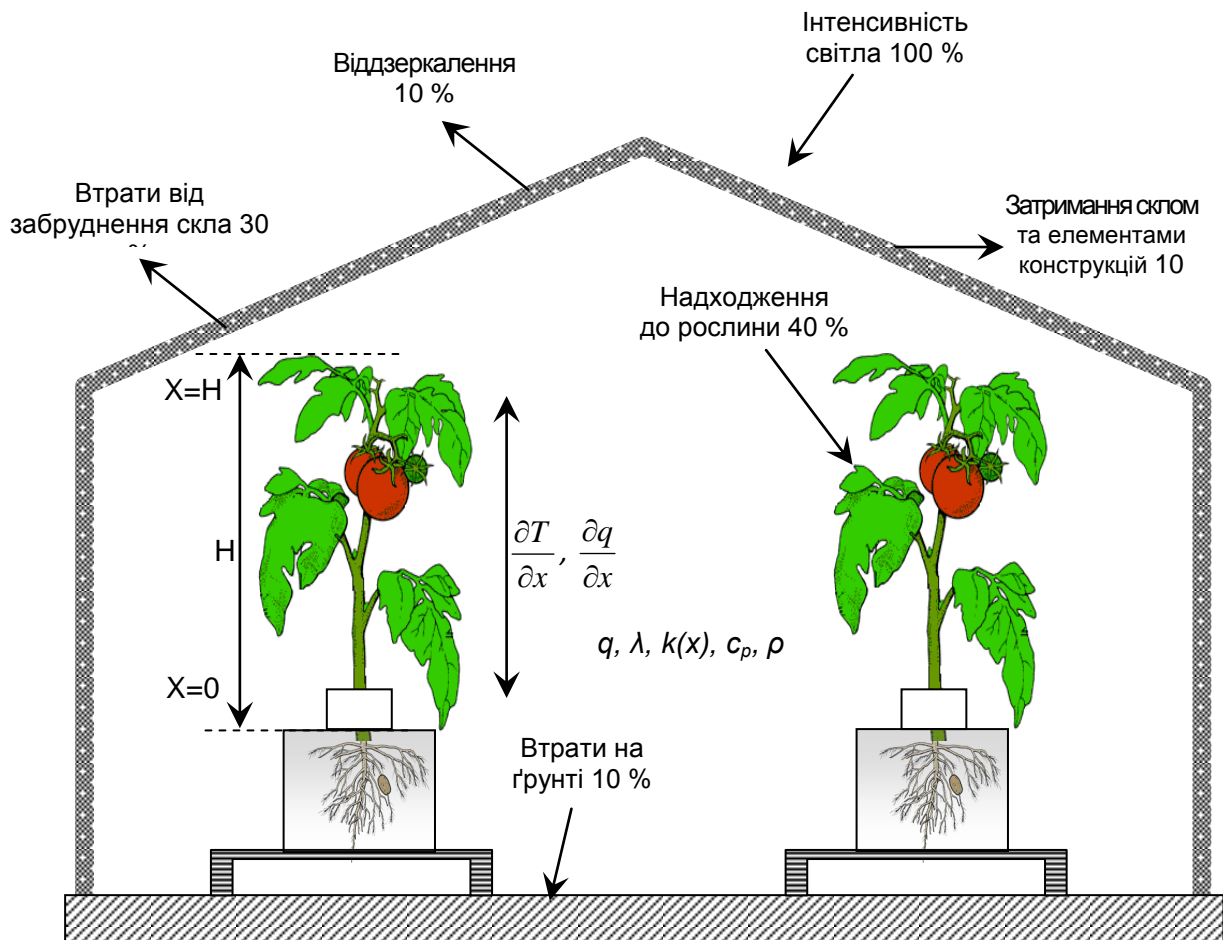


Рис. 2. Розподіл світла в теплиці

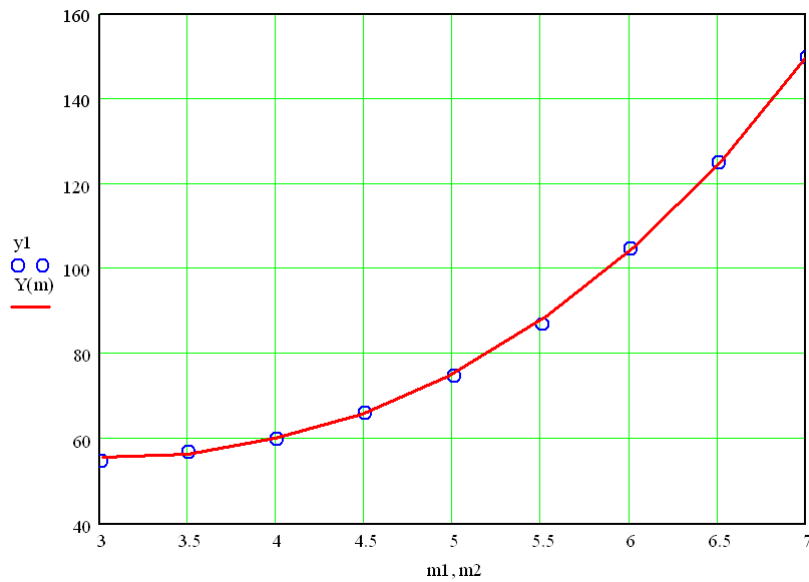


Рис. 3. Залежність врожайності томатів від світлозабезпечення в теплиці

ooo – дослідні значення; ----- – результати апроксимації за виразом (7)

Проведемо дослідження впливу світлозабезпечення на врожайність томата. Із попереднього розгляду таблиці бачимо, що модель цієї залежності є сумою двох експонент:

$$Y(m) = k_0(k_1 e^{-k_2 \cdot m} + k_3 e^{-k_4 \cdot m}), \quad (7)$$

де k_0, k_1, k_2, k_3, k_4 – коефіцієнти моделі.

Коефіцієнти моделі k_0, k_1, k_2, k_3, k_4 підлягають визначенню [4] на основі обробки статистичних даних. Отримані коефіцієнти моделі $k_0 = 7$, $k_1 = 1.2399$, $k_2 = -2.826$, $k_3 = 15.871$, $k_4 = 3.3669$ підставимо в рівняння (7) та побудуємо залежність впливу світлозабезпечення на врожайність томата (рис. 3).

У результаті всієї цієї комбінованої фізико-статистичної схеми оцінки та аналізу явищ, що досліджено, з'ясовано, яким повинен бути рівень світлозабезпечення, щоб отримати оптимальну величину врожаю Y враховуючи вартісно-економічні показники.

Висновки

Встановлено, що одним із головних чинників, що впливає на розвиток та врожайність томатів є світлозабезпечення. Запропоновано математичну модель оцінювання впливу світлозабезпечення на розвиток та врожайність томатів у системі рослина-грунт-повітря для споруд закритого ґрунту. Встановлено, що при тривалому світлозабезпеченні, відбувається зростання врожаю, але до певної межі.

Список літератури

1. Алиев Э. А. Выращивание овощей в гидропонных теплицах / Э.А. Алиев. – К.: Урожай, 1985. – 160 с.
2. Брызгалов В. А. Овощеводство защищенного грунта / В. А. Брызгалов, В. Е. Советкина, Н. И. Савинова: под ред. В.А. Брызгалова. – М.: Колос, 1995. – 325 с.
3. Журавлев В.В. Математические модели процессов регуляции в физиологии растений / В.В. Журавлева // Научный журнал Известия АГУ. –Барнаул, 2008. – Т.1. – №57. – С. 43 – 57.
4. Козирський В.В. Адаптивна математична модель «Температура повітря - врожайність томатів» / В.В. Козирський, І.М. Болбот, Ю.О. Батанов // Науковий вісник НУБіП України. – 2013. – № 184, ч. 2. – С. 110 – 114.
5. Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур / Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж. –СПб.: Изд-во С.-Петербур. унта, 2006. – 290 с.
6. Торнли Дж.Г.М. Математические модели в физиологии растений / Дж.Г.М. Торнли; пер. с англ. Д.М. Гродзинского. – К.: Наук. думка, 1982. – 312 с.
7. Шишко Г. Г. Теплицы и тепличные хозяйства: справ. / [Шишко Г.Г., Попов В.О., Сулима Л.Т. и др.]; под ред. Г.Г. Шишка. – К.: Урожай, 1993. – 421 с.
8. Stanghellini C. Transpiration of greenhouse crops. An aid to climate management: / C. Stanghellini. - Ph. D. Dissertation. – Wageningen: Agricultural University, 1987. – 150 p.

Рассмотрена математическая модель оценки влияния светообеспечения на рост и развитие растений в системе растение-почва-воздух. Модель описывает качественные показатели роста и развития растения, которое находится в тесном взаимодействии с динамикой параметров окружающей среды в сооружениях закрытого грунта.

Математическая модель, светообеспечение, фотосинтез, интенсивность освещения, световой поток, фотосинтетически-активная радиация, прямая и рассеянная радиация, сооружение закрытого грунта.

The mathematical model estimated the impact of providing light on the growth and development of plants in the system plant-soil-air. The model describes the qualitative indicators of plant growth and development, which is in close interaction with the dynamic parameters of the environment in the plants under glass.

The mathematical model, providing light, photosynthesis, light intensity, luminous flux, photosynthetically-active radiation, direct and diffuse radiation, greenhouses.

УДК 531.12

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПНЕВМОТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ

**П.Б. Клендій, В.Ю. Рамш, кандидати технічних наук
Г.Я. Клендій, О.П. Дудар, інженери
ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»**

У середовищі Simulink пакету прикладних програм MatLAB розроблено комп'ютерну модель пневмотранспортної системи млина типу Р6-АВМ-15. Використовуючи модель, досліджено роботу пневмомережі при різному завантаженні пневмовіток і визначено енергоефективні режими.

Комп'ютерне моделювання, пневмотранспортна система, енергоефективні режими.

Нині в нашій країні і за кордоном пневмотранспорт все ширше застосовують на різних підприємствах, де виникає необхідність транспортування зерна і продуктів його розмолу, піску, цементу, вугілля, вогнетривкої глини та інших матеріалів. Продуктивність сучасних пристроїв пневматичного транспорту досягає 300 т/год, дальність транспортування (однією

© П.Б. Клендій, В.Ю. Рамш,
Г.Я. Клендій, О.П. Дудар, 2014