

Рассмотрим работу ТПП при двух различных коэффициентах передачи  $k$  и  $k'$ . В том случае, если  $k'$  в два раза выше чем  $k$ , значение входного сигнала  $Q'_{min}$  в два раза меньше  $Q_{min}$  (см. рис. 4) при одном и том же значении граничной частоты  $F_{max}$ , которое соответствует верхнему граничному значению диапазона входного сигнала.

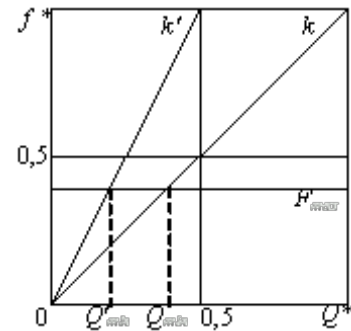


Рисунок 4. Зависимость частоты дискретизации от входного сигнала в ТПП

Таким образом, повышение коэффициента передачи ТПП приводит к уменьшению значения входного сигнала  $Q_{min}$ ,

а, следовательно, к расширению диапазона измерения при одинаковых требованиях к неравномерности АЧХ в заданной частотной полосе. Кроме того повышается чувствительность спирометрической измерительной системы по объему и объемной скорости. На практике увеличить коэффициент передачи ТПП  $k$  можно путем повышения количества лепестков измерительной турбины или увеличения числа оптических пар в ОУ-СИ.

**Список литературы:** 1. Гриппи М. Патологическая физиология легких: Пер. с англ. – М: БИНОМ, 1997. – 327 с. 2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. – М.: Машиностроение, 1989. – 702 с. 3. Сокол Е.И., Кипенский А.В., Томашевский Р.С. Спирометрия. Ее техническое обеспечение. Проблемы и перспективы // «Технічна електродинаміка» Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 3. – Київ: Інститут електродинаміки НАНУ, 2008. – С. 119 – 124. 4. Лопата В.А. Медико-технические требования к флоуспирометрам: стандарты, перспективы и возможности выполнения // Український пульмонологічний журнал. Матеріали симпозиуму. – Киев, 2005. №3(додаток). – С. 46 – 49. 5. Томашевский Р.С., Гура Ю.М. Технические аспекты разработки прибора для тестирования функции внешнего дыхания // Материалы ХХІХ научно-практической конференции «Применение лазеров в медицине и биологии». – Харьков, 2008. – С. 234 – 236. 6. Бошняк. Л.О., Бызов Л.Н. Тахометрические расходомеры. – Л.: Машиностроение, 1968. – 210 с. 7. Кипенский А.В. Импульсно-цифровые и цифро-импульсные преобразователи: Учеб. пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. – 132 с. 8. Котельников В.А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи – Всесоюзный энергетический комитет. // Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, 1993. Репринт статьи в Журнале УФН, т. 176 №7 2006, 762 – 770.

*Поступила в редколлегию 26.10.2009*

## УДК 631.2

**А. П. СЛЕСАРЕНКО**, канд. техн. наук, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

**М. А. РОМАНЧЕНКО**, канд. техн. наук, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

## БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ БАГАТОРІВНЕВОЮ ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЮВАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ ОБОГРІВУ ТЕХНОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ЗОН

Новые возможности для структурно-функционального управления энергопотоками в нагревательной системе реализуются на основе аналитического решения задачи теплопроводности для многослойной 2-мерной структуры с локализованными трубчатыми источ-

никами методом конечных интегральных преобразования и принципа функциональной суперпозиции источников тепла.

The new opportunities for structurally functional control of energy flow in heating system are realized on the basis of the analytical solving of a heating task for multilevel 2-dimension structure with the located tubular sources by a method of finite integral transformation and principle of a functional superposition of heating sources.

**Постановка проблеми.** В технологічних процесах виробництва продукції агропромислового комплексу, і зокрема тваринництва, значна кількість енергоносіїв витрачається для забезпечення заданих параметрів мікроклімату в виробничих спорудах [ 1 ]. Теплогенеруючі установки відомих систем мікроклімату таких споруд, що створюють теплові режими, працюючи за схемою «зверху-вниз» характеризуються низкою недоліків, які негативно впливають на собівартість одиниці продукції та навколишнє середовище. Крім того, такі системи характеризуються низькою технологічною надійністю, складністю та недовговічністю в експлуатації. Тому наукові дослідження, спрямовані на пошук більш енергоефективних технологій та засобів їх реалізації є актуальними і такими, що мають велике народногосподарське значення.

**Аналіз останніх досліджень.** Публікації робіт вітчизняних і зарубіжних авторів [ 1,5 ], присвячені даній проблемі підтверджують доцільність розробки технологічного обладнання і електротехнологій, які забезпечують задані параметри мікроклімату виробничих приміщень і споруд з застосуванням електрообігрівних підлог, до складу яких входять спеціальні електронагрівники трубчастого типу, розташовані в теплоакмулювальному наповнювачі траншеї, виконаної в ґрунті підлоги. При цьому якісне і енергоефективне забезпечення стандартів теплового режиму технологічно активних зон (ЗТА) тваринницьких приміщень за схемою «знизу-вверх» може бути вирішене за рахунок впровадження запропонованої багаторівневої електротеплоакмулювальної системи опалення – БЕТСО. Цей проект окрім можливості помітно поліпшити ефективність використання електроенергії в режимі автономного опалення дозволяє також ефективно функціонувати в режимі комбінованого використання наявного потенціалу потужностей традиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЕ). При цьому слід зазначити, що мова йде не тільки про вдосконалення силових теплогенеруючих пристроїв, але й створення відповідних систем керування, які б забезпечували не тільки чітке дотримання заданих стандартів теплового режиму обігрівної підлоги і повітря ЗТА виробничих споруд АПК, але і оптимального регульованого акумулювання " надлишку" енергії того чи іншого джерела живлення. До того ж ці системи повинні надавати можливість більш ефективно використовувати нетрадиційні джерела, знижувати негативний вплив відходів виробничих процесів на довкілля і працювати в режимі «споживач-регулятор».

**Мета роботи.** Аналіз якісних показників термостабілізації обігрівної підлоги в різних режимах роботи 3-ярусної системи БЕТСО та створення бази даних структурно-функціонального керування системою обігріву при коливаннях потужності енергопотоків, живлячих систему та зміні зовнішніх кліматичних умов.

**Основні матеріали досліджень.** Обчислювальний експеримент проводився для БЕТСО з 9-шаровою прямокутною структурою. Кількість активних шарів, що містять спеціальні електронагрівачі трубчастого типу (СЕТ) можна задавати в інтерфейсній частині комп'ютерної моделі. Прийняті характеристики шарів один по одному знизу нагору відповідають нагрівальній системі (НС) з [ 1 ] і є такі: нижній шар – гідроізоля-

ція (руберойд) завтовшки  $d_1 = 0.01 \text{ м}$ ,  $\lambda_1 = 0.017 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ , далі йде шар піску  $d_2 = 0.04 \text{ м}$ ,  $\lambda_2 = 0.58 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ , шар теплоізоляції – пінобетон  $d_3 = 0.20 \text{ м}$ ,  $\lambda_3 = 0.41 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ , активний шар (ярус №3) – ряд пустотілих труб, засипаних піском –  $d_4 = 0.15 \text{ м}$ ,  $\lambda_4 = \lambda_4^{\text{эф}}$ , шар піску –  $d_5 = 0.15 \text{ м}$ ,  $\lambda_5 = 0.58 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ , активний шар (ярус №2) – ряд пустотілих труб, засипаних піском –  $d_6 = 0.15 \text{ м}$ ,  $\lambda_6 = \lambda_6^{\text{эф}}$ , шар піску –  $d_7 = 0.15 \text{ м}$ , активний шар (ярус №1) – ряд пустотілих труб, засипаних піском –  $d_8 = 0.15 \text{ м}$ ,  $\lambda_8 = \lambda_8^{\text{эф}}$ , шар монолітного бетону –  $d_9 = 0.30 \text{ м}$ ,  $\lambda_9 = 0.87 \text{ Вт/м}^\circ\text{К}$ . Ефективний коефіцієнт теплопровідності активних шарів  $\lambda_i^{\text{эф}}$  залежить від кількості СЕТ  $M$ , що обчислюється при комп'ютерному моделюванні. На границях активних шарів задані умови неідеального теплового контакту, у яких контактні термічні опори приймалися рівними  $r_i^* = 0.15 \text{ м}^2\text{}^\circ\text{К/Вт}$ .

Глибина БЕТСО та повна ширина підлоги, що обігривається, обрані рівними відповідно  $A = 1.4 \text{ м}$  та  $2B = 5 \text{ м}$ . Кількість СЕТ у кожному із трьох активних ярусів обрано шляхом оптимізації енергопідводу до СЕТ із метою забезпечення заданих стандартів на обігрів поверхні підлоги. Були отримані наступні результати: верхній ярус №1 –  $M_1 = 9$ , середній ярус №2 –  $M_2 = 7$ , нижній ярус №3 –  $M_3 = 5$ . СЕТ покладені в шарах симетрично щодо площини симетрії  $y = 0$  й рівномірно (з однаковим кроком), віддалення крайніх СЕТ від бічних стінок однакове й рівне  $l_s = 0.2 \text{ м}$ . Для моделювання процесів теплопередачі в НС обрана спрощена математична модель СЕТ у вигляді труб з прямокутним перетином  $d \times d$ . СЕТ розглядається лише як джерело енергії без врахування їх внутрішньої структури. Для заданого непарного числа  $M_i$  СЕТ розподіл щільності потужності джерел в активних шарах задано у вигляді:

$$P_i(y) = \sum_{j=-(M_i-1)/2}^{(M_i-1)/2} e^{-\lambda_i y} f(y - y_{i,j}^c), \quad (1)$$

де  $P_{i,j}$  – щільність потужності розподілених джерел у трубі СЕТ,  $\text{Вт/м}^3$ ;  $f(y - y_{i,j}^c)$  – функція розподілу теплової потужності в області локалізації труби з координатою центра  $y_{i,j}^c$ , для моделювання прийнятий трапецевидний розподіл потужності в області перетину СЕТ.

Моделювання теплових процесів в НС зведено до рішення стаціонарної задачі теплопровідності:

$$\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial y^2} = -\frac{1}{\lambda_i} P_i(y), \quad i=1,2,\dots,N, \quad 0 \leq x \leq A, \quad 0 \leq y \leq B \quad (2)$$

$$u_1(x, y)|_{x=0} = t_0; \quad -\lambda_N \frac{\partial u_N}{\partial x} \Big|_{x=x_N} = \alpha \cdot (u_N - t_c) \Big|_{x=x_N} \quad (3)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0; \quad (4)$$

$$u_i + h \frac{\partial u_i}{\partial y} \Big|_{y=B} = T_{\text{сп},i}, \quad x_{i-1} \leq x \leq x_i \quad (i=1,\dots,N)$$

$$\lambda_i \frac{\partial u_i}{\partial x} \Big|_{x=x_i} = \lambda_{i+1} \frac{\partial u_{i+1}}{\partial x} \Big|_{x=x_i}; \quad (5)$$

$$u_i \Big|_{x=x_i} = \left( u_{i+1} - r_i^* \cdot \lambda_{i+1} \frac{\partial u_{i+1}}{\partial x} \right) \Big|_{x=x_i}$$

де  $i$  – номер шару (відлік ведеться знизу нагору до поверхні підлоги);  $x_{i-1} \leq x \leq x_i$  – область локалізації  $i$ -го шару по глибині НС;  $d_i = x_i - x_{i-1}$  – товщина  $i$ -го шару;  $u_i = u_i(x, y)$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$  – розподіл температури по частковій області –  $i$ -му шару;  $p_i = p_i(y)$  – задана функція щільності джерел тепла, розподілених по  $i$ -му шару,  $Вт/м^3$ ;  $\lambda_i$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу  $i$ -го шару;  $t_c$  – температура повітряного середовища на деякому видаленні від поверхні підлоги;  $T_{zp,i}$  – температура ґрунту поза НС по її товщі (висоті), приймається постійною в межах кожного шару;  $r_i^*$  – термічні контактні опори між шарами;  $\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі з поверхні підлоги у повітряне середовище, приймається постійною величиною;  $h = \lambda^* / \alpha_s$  – параметр теплопередачі із блоку НС у ґрунт через бічну стінку, приймається постійною величиною по всій глибині, при цьому  $\lambda^*$  – деяке усереднене значення коефіцієнта теплопровідності НС по її товщі,  $\alpha_s$  – коефіцієнт тепловіддачі в умовах 3-го роду (5).

У реальних умовах опалюваного приміщення конвекційний теплообмін з поверхні підлоги має нелінійний характер, обумовлений рухливістю повітря (наприклад, через вентиляцію) і іншими факторами. Однак, для одержання аналітичних рішень сформульованої математичної моделі будемо вважати коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha$  постійною величиною, що у рамках теоретико-експериментального підходу може бути зкореговано при діагностиці теплового режиму НС у реальному масштабі часу.

Рішення задачі представимо у вигляді функціональної суперпозиції, що враховує всі види джерел теплоти – повітряного середовища над ЗТА, глибинного ґрунту й ґрунту за боковою стінкою НС, а також кожного окремого нагрівального елемента НС. Складовою частиною цього рішення повинно бути визначення температури поверхні підлоги  $t_n = u(x_n, y)$  у вигляді функціонального ряду, що встановлює зв'язок між стандартами на нагрівання поверхні підлоги й потужністю енергопотоків у БЕТСО. Такий підхід дозволяє реалізувати структурно-функціональне керування енергопотоків й при цьому забезпечити високу оперативність і точність дотримування стандартів нагрівання підлоги в ЗТА.

Побудову аналітичного рішення граничної задачі теплопровідності (2) – (5), проведемо методом кінцевих інтегральних перетворень (КІП) [ 2 ]. Лінійність вихідної задачі дозволяє при побудові рішення застосувати принцип функціональної суперпозиції. Рішення означеної задачі для кожного шару представимо у вигляді суперпозиції двох функцій:

$$u_i(x, y) = u_{0,i}(x, y) + v_i(x, y) = [T_{zp,i} + v_{00,i}(x, y)] + v_i(x, y), \quad (6)$$

де  $u_{0,i}(x, y)$  – рішення однорідного рівняння (2) із заданими ГУ (3) – (5);  $u_{00,i}(x, y)$  – рішення однорідного рівняння (2) зі змішаними граничними умовами (однорідними ГУ 3-го роду на бічній стінці й неоднорідними ГУ 1-го й 3-го роду відповідно на нижній і верхній поверхнях НС;  $v_i(x, y)$  – часткове рішення неоднорідного рівняння з однорідними граничними умовами.

Функція  $U_{0,i}(x, y)$ , визначає внесок зовнішніх впливів у температурне поле  $i$ -го шару, а  $U_i(x, y)$  – внесок у температурне поле  $i$ -го шару тільки лише від набору зосереджених джерел у вигляді системи нагрівальних елементів при однорідних граничних умовах на частинах поверхні НС. Функції  $U_{0,i}(x, y)$  й  $U_i(x, y)$  для відповідних шарів крім граничних умов повинні бути підлеглі умовам сполучення на внутрішніх міжшарових границях, що відповідають вимогам узгодження температур і теплових потоків через них з урахуванням кінцевого термічного контактного опору між шарами. Явище погіршення термічного контакту зовнішніх поверхонь нагрітих елементів (труб) із ґрунтом добре відомо в практиці, наприклад, нафтопроводів [ 3 ], і його необхідно враховувати.

Рішення задач теплопровідності в області зображень КІП для шуканих функцій  $U_{0,i}(x, y)$  і  $U_i(x, y)$  та  $p_i(x, y) = p_i(y)$  у рівнянні (2) має вигляд:

$$\theta_{00,i}^{\prime}(x, \mu) = \frac{1}{B} \int_0^B K(y, \mu) \cdot U_{00,i}(x, y) dy, \quad (7)$$

$$\theta_i^{\prime}(x, \mu) = \frac{1}{B} \int_0^B K(y, \mu) \cdot U_i(x, y) dy$$

де  $K(y, \mu)$  - ядро КІП, загальне для всіх шарів, що є рішенням задачі Штурма-Ліувілля для області  $0 \leq y \leq B$ :

$$\frac{d^2 K}{dy^2} + \mu^2 K = 0, \quad \left. \frac{\partial K}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \quad \left( K + h \frac{\partial K}{\partial y} \right) \Big|_{y=B} = 0. \quad (8)$$

Рішенням (8) є функція  $\cos(\mu \cdot y)$ , де параметр  $\mu$  є коренем рівняння:  $ctg(\mu_q B) = h \cdot \mu_q$ ,  $q = 1, 2, \dots$ . Таким чином, ядро перетворення має вигляд:

$$K(\mu_q y) = \cos(\mu_q y), \quad q = 1, 2, \dots \quad (9)$$

Рішення задачі (2) – (5) окремо для кожного шару представимо у вигляді  $u_i(x, y) = U_{0,i}(x, y) + U_i(x, y)$ , де:

$$U_{0,i}(x, y) = T_{\varphi,i} + \sum_{q=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_q y)}{N_q} \cdot \theta_{00,i}^{\prime}(x, \mu_q), \quad (10)$$

$$U_i(x, y) = \sum_{q=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_q y)}{N_q} \cdot \theta_i^{\prime}(x, \mu_q), \quad N_q = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{(h/B)}{1 + (\mu_q h)^2} \right]. \quad (11)$$

Визначення функцій  $\theta_i^{\prime}(x, \mu_q)$  і  $\theta_{00,i}^{\prime}(x, \mu_q)$  в області зображень зводиться до інтегрування звичайних диференціальних рівнянь для кожного шару ( $i = 1, 2, \dots, N$ ):

$$\frac{d^2 \theta_i^{\prime}}{dx^2} + \mu_q^2 \theta_i^{\prime} = \frac{\cos(\mu_q B)}{h \cdot B} \cdot T_{\varphi,i}, \quad \frac{d^2 \theta_{00,i}^{\prime}}{dx^2} + \mu_q^2 \theta_{00,i}^{\prime} = 0. \quad (12)$$

Рішення відповідних задач для кожного шару в області зображень одержимо у вигляді комбінацій гіперболічних функцій:

$$\theta_i^{\prime}(x, \mu_q) = \frac{W_{i,q}}{\mu_q^2} + a_{i,q} \cdot ch[\mu_q(x - x_i)] + b_{i,q} \cdot sh[\mu_q(x - x_i)], \quad (13)$$

$$\theta_{00,i}^{\prime}(x, \mu_q) = c_{i,q} \cdot ch[\mu_q(x - x_i)] + d_{i,q} \cdot sh[\mu_q(x - x_i)], \quad (14)$$

$$\text{де } W_{i,q} = -\frac{1}{\lambda_i B} \int_0^B K(y, \mu_q) \cdot p_i(y) dy, \quad (15)$$

– інтегральне перетворення функції розподілу джерел у смузі. Зауважимо, що такий підхід дозволяє задавати в шарах довільний розподіл джерел як безперервний, так і дискретний, потрібно лише, щоб інтеграл (15) існував.

Числові значення  $2N$  коефіцієнтів  $a_{i,q}, b_{i,q}$  ( $i=1,2,\dots,N$ ) для кожного значення індексу  $q$  визначаються з рішення системи лінійних неоднорідних рівнянь порядку  $2N$  такого виду:

$$a_{1,q} \operatorname{ch}(\mu_q h_1) - b_{1,q} \operatorname{sh}(\mu_q h_1) = -\frac{W_{1,q}}{\mu_q^2}; \quad a_{N,q} + b_{1,q} \frac{\lambda_N}{\alpha} = -\frac{W_{N,q}}{\mu_q^2}; \quad (16)$$

$$a_{i,q} = \frac{W_{i+1,q} - W_{i,q}}{\mu_q^2} + a_{i+1,q} \left[ \operatorname{ch}(\mu_q h_{i+1}) + \mu_q r_i^* \lambda_{i+1} \operatorname{sh}(\mu_q h_{i+1}) \right] -$$

$$- b_{i+1,q} \left[ \operatorname{sh}(\mu_q h_{i+1}) + \mu_q r_i^* \lambda_{i+1} \operatorname{ch}(\mu_q h_{i+1}) \right];$$

$$b_{i,q} = \frac{\lambda_{i+1}}{\lambda_i} \left[ -a_{i+1,q} \operatorname{sh}(\mu_q h_{i+1}) + b_{i+1,q} \operatorname{ch}(\mu_q h_{i+1}) \right], \quad i=1,2,\dots,N-1,$$

яка формується при виконанні умов сполучення на міжшарових границях з урахуванням термічних контактних опорів  $F_i^*$  (5) і ГУ на граничних поверхнях  $x=0, x=x_N$ . В розглянутій задачі вирішувались системи з  $22$ -х лінійних неоднорідних рівнянь. Числові значення  $2N$  коефіцієнтів  $c_{i,q}, d_{i,q}$  ( $i=1,2,\dots,N$ ) для кожного значення індексу  $q$  визначаються з рішення системи лінійних неоднорідних рівнянь порядку  $2N$  аналогічного виду, де замість спектральних коефіцієнтів  $W_{i,q}/\mu_q^2$  у рівняння входять спектральні коефіцієнти зовнішніх температур  $t_0, t_c, T_{zp,i}$ .

Визначені в такий спосіб набори функцій  $\mathcal{E}_i(x, \mu_q)$  і  $\mathcal{E}_{00,i}(x, \mu_q)$  дозволяють за допомогою перетворень (10), (11) одержати рішення поставленої задачі. Кількість членів в рядах (10) і (11) установлюється шляхом обчислювального експерименту по збіжності результату (для розглянутої конфігурації кількість членів відповідних рядів дорівнює 50..80).

Для всебічного аналізу температурних режимів підлоги тваринницького приміщення, їхньої оптимізації шляхом диференційованого енергопідводу до нагрівальних елементів БЕТСО розроблена методологія комп'ютерного моделювання процесів теплопередачі в  $N$ - шаровій БЕТСО й відповідна комп'ютерна модель. В комп'ютерній моделі спочатку реалізовано знаходження аналітичного рішення зворотної задачі теплопровідності для необмеженої по ширині ОС [ 4 ], які дозволяють визначити питомі потужності нагрівання (по шарах), що забезпечують заданий рівень нагрівання поверхні підлоги. Ці значення потужностей використовуються для визначення потужностей енергокомпонент, що відповідають окремим нагрівальним елементам в обмеженій по ширині БЕТСО з урахуванням теплообміну через бічні стінки. Крім того, у комп'ютерній моделі БЕТСО передбачено проведення оптимізації розподілу енергокомпонент по нагрівальних елементах СЕТ так, щоб забезпечити на поверхні підлоги заданий температурний режим (стандарт нагрівання поверхні підлоги). Це можна виконати в обмеженому числі точок, яке не перевищує кількості нагрівальних елементів в активному шарі. Рівномірність розподілу температури по ширині підлоги, що обігривається, (ступінь відхилення від заданого стандарту) істотно залежить від кількості трубчастих на-

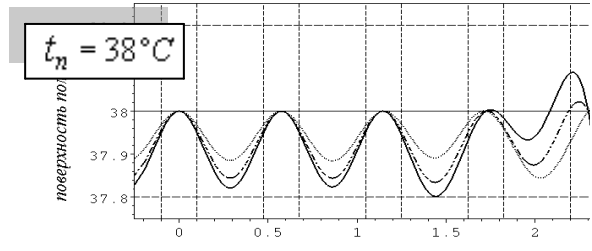
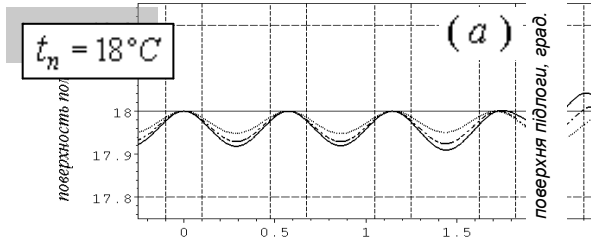
грівачів в активному шарі. Аналіз рішення граничної задачі теплопровідності (2) – (5) поводився для деяких режимів, враховуючі принцип функціональної суперпозиції всіх наявних джерел тепла [ 5 ].

В результаті рішення задачі теплопровідності отримано функціональну залежність температури поверхні підлоги  $t_n = u(x_n, y)$  (як однієї з складових частин рішення) від наявних теплоти повітряного середовища над ЗТА, глибинного ґрунту й ґрунту за бічною стінкою БЕТСО, а також потужності кожного окремого нагрівального елемента. Таким чином, встановлено зв'язок між стандартами на нагрівання поверхні підлоги й потужністю енергопотоків у БЕТСО, що дозволяє реалізувати структурно-функціональне керування енергопотоками. Останнє, у свою чергу, дозволить забезпечити високу оперативність і точність стандартів нагрівання підлоги в ЗТА. Завдяки проведеного обчислювального експерименту доведено, що конструкція БЕТСО, що розглядається, буде забезпечувати рівномірність нагріву підлоги не гірше, ніж  $0.5^\circ\text{C}$ . Наочна інформація про таку оптимізацію БЕТСО представлена на серії комплексних рис. 1, рис. 2, рис. 3. Показані очікувані розподіли температури на поверхні підлоги для стандартів нагрівання  $t_n = 18^\circ\text{C}$  й  $t_n = 38^\circ\text{C}$  і відповідні енергограми (погонні потужності) для режимів нагрівання I (а), III (б), V (в) при різних значеннях тепловтрат через бічну стінку БЕТСО –  $\alpha_g = 0$  - випадок ідеальної теплоізоляції,  $\alpha_g = 0.75 \text{ Вт/м}^2\text{К}$  і  $\alpha_g = 1.5 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ . Живлення здійснюється відповідно у 1-й, 2-й або 3-й яруси, при цьому енергопотоки надходять у СЕТ, розміщені по ширині підлоги в 8-м, 6-м або 4-м шарах БЕТСО. При цьому відповідно до режиму, підключаються 9, 7 або 5 СЕТ – на рисунках показана тільки права половина БЕТСО ( $0 < y < 2.5 \text{ м}$ ). Видно, що заданий рівень нагрівання поверхні підлоги забезпечується в точках проєкції осей СЕТ на поверхню підлоги, між ними спостерігаються відхилення від заданого рівня, причому тем більше, чим глибше розташований активний шар.

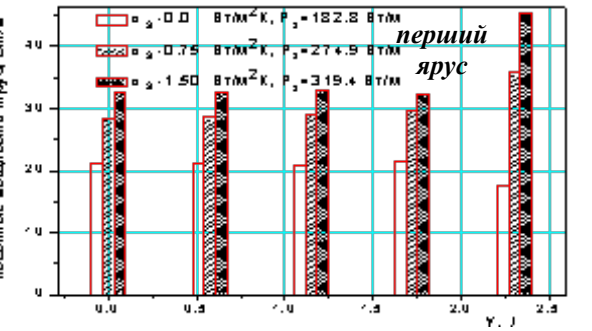
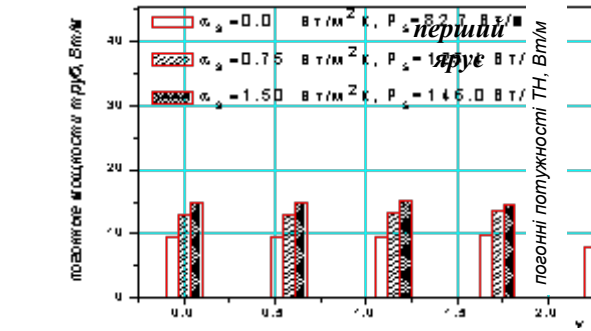
На рис. 2 і рис. 3 показано аналогічні розподіли для режимів II й IV при різних варіантах перерозподілу енергопотоків між двома активними ярусами БЕТСО (параметр R), де додані епюри розподілу енергопотоків по другому ярусі (для кожного випадку це нижній нерегульований ярус).

Розглянута математична модель дозволяє також робити прогноз загальних енерговитрат (інтервал min-max) для забезпечення того чи іншого стандарту нагріву ЗТА при різних зовнішніх теплових умовах. Як приклад, на рис. 4а і 4б наведені залежності сумарної потужності енергопотоків БЕТСО (погонна потужність обігрівної смуги, Вт/м, min- поверхня червоного кольору, max- поверхня синього кольору) в режимі I, III і V від двох параметрів – інтенсивності теплообміну на поверхні підлоги ( $7.5 \text{ J} \leq \alpha \leq 15$ ) і через бічні стінки ( $0 \text{ J} \leq \alpha_g \leq 2.25$ ), які в оптимізованому режимі забезпечують термостабілізацію поверхні підлоги на рівнях відповідно  $t_{n1} = 18^\circ\text{C}$  і  $38^\circ\text{C}$ .

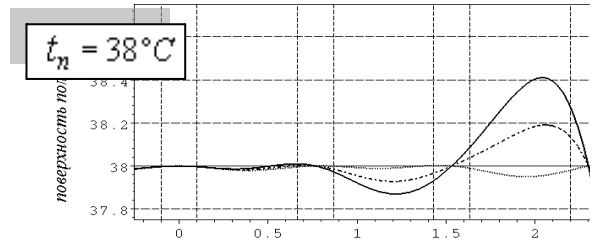
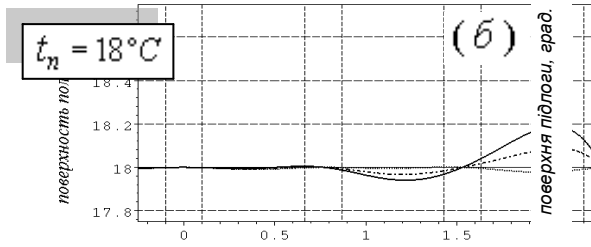
поверхня підлоги, град.



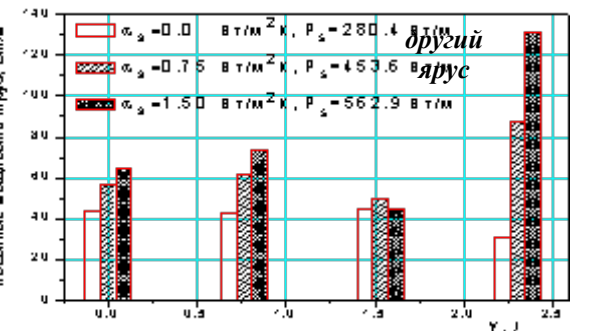
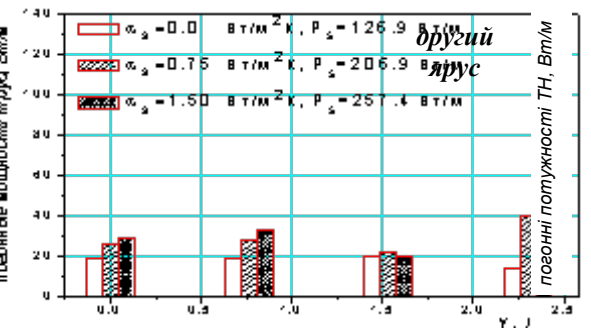
погонні потужності ТН, Вт/м



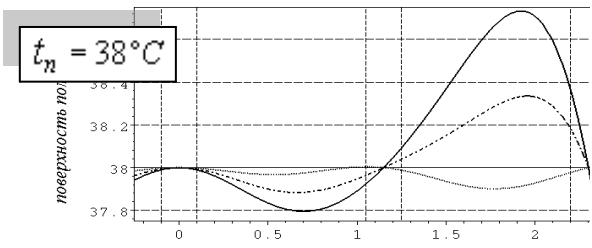
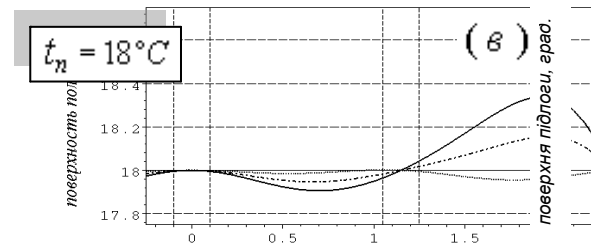
поверхня підлоги, град.



погонні потужності ТН, Вт/м



поверхня підлоги, град.



погонні потужності ТН, Вт/м

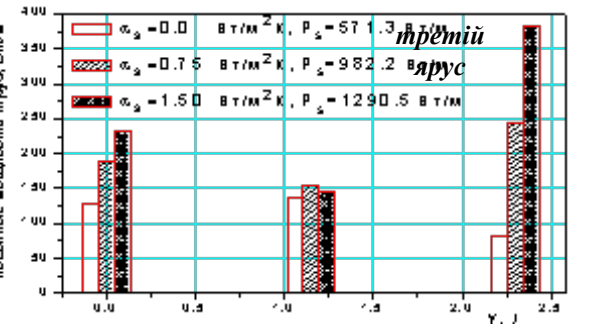
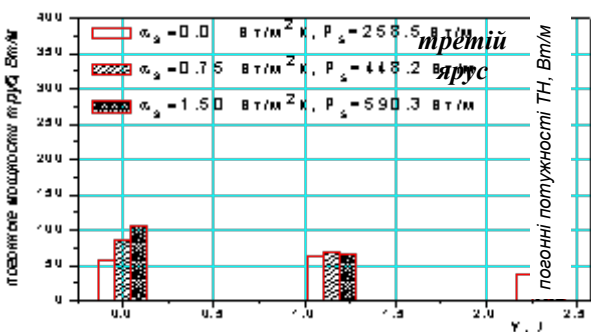
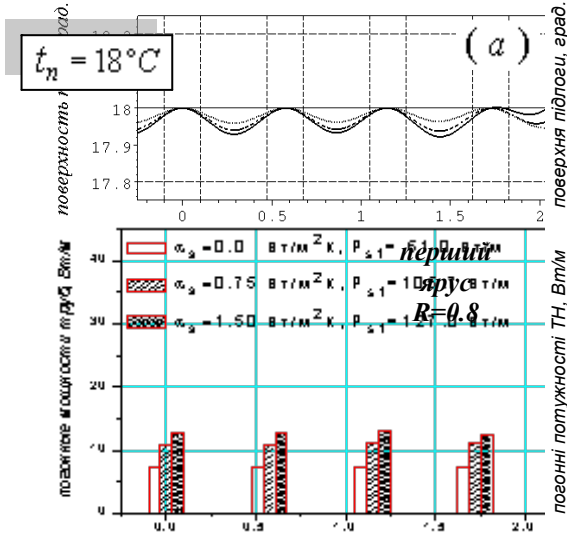


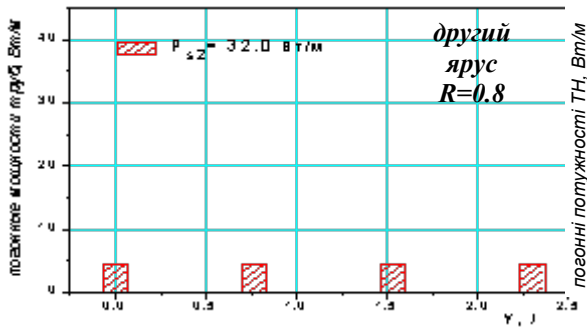
Рисунок 1 – Розподіл температури на поверхні підлоги при термостабілізації та відповідні енергограми НС для режимів I (а), III (б) та V (в)



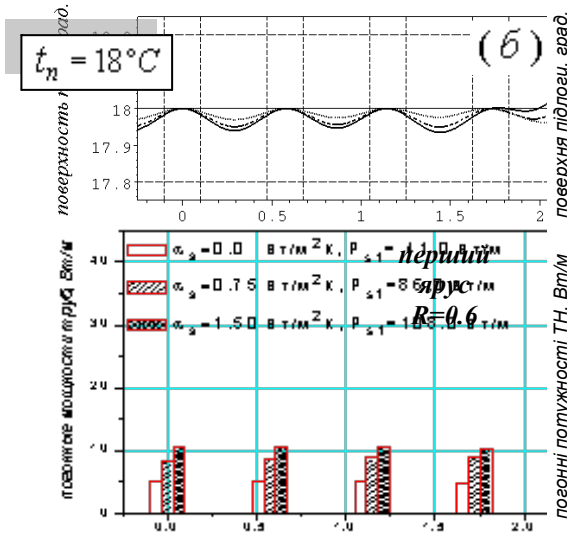
поверхня підлоги, потужності ТН, Вт/м



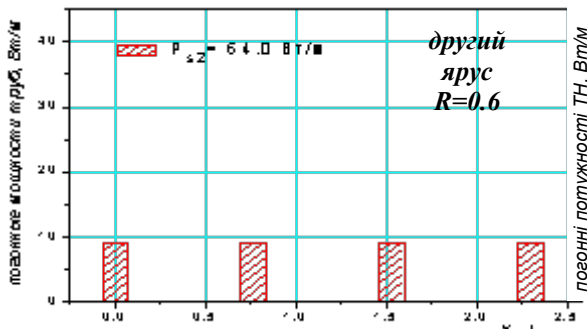
поверхня підлоги, потужності ТН, Вт/м



поверхня підлоги, потужності ТН, Вт/м



поверхня підлоги, потужності ТН, Вт/м



поверхня підлоги, град.

погонні потужності  $T_n$ , Вт/м град.

погонні потужності  $T_n$ , Вт/м град.

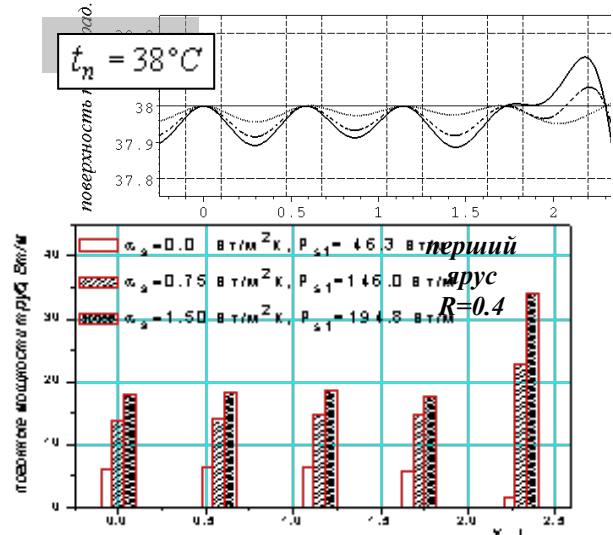
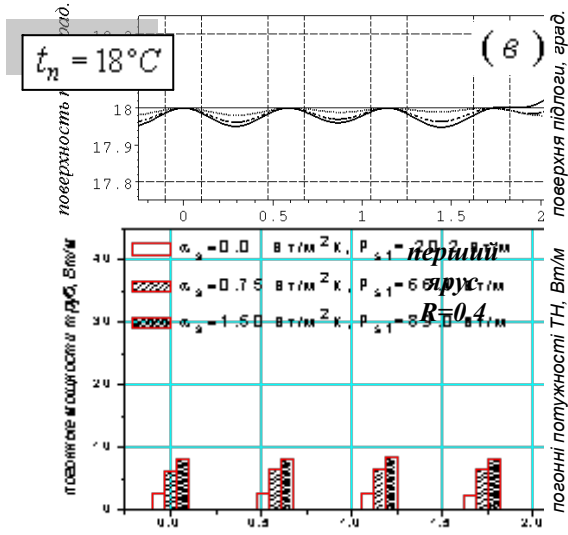
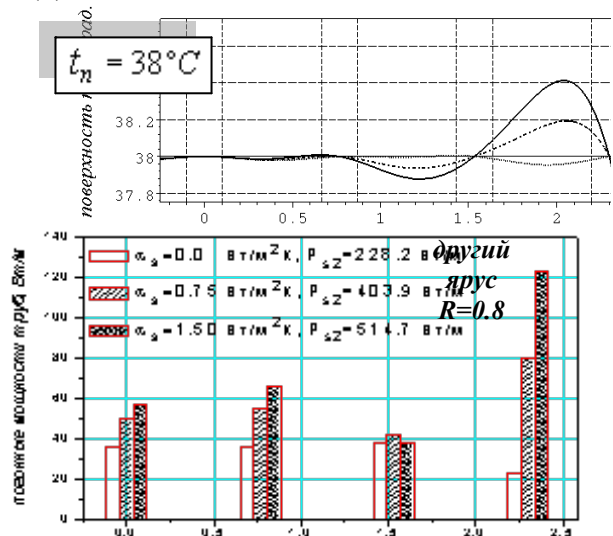
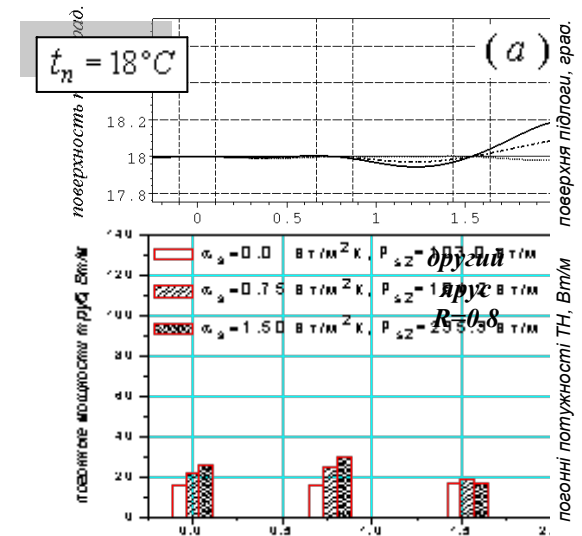


Рисунок 2 – Розподіл температури на поверхні підлоги та відповідні енергограми НС для режиму II при  $R=0.8$  (а),  $R=0.6$  (б) та  $R=0.4$  (в)

поверхня підлоги, град.

погонні потужності  $T_n$ , Вт/м град.

погонні потужності  $T_n$ , Вт/м град.



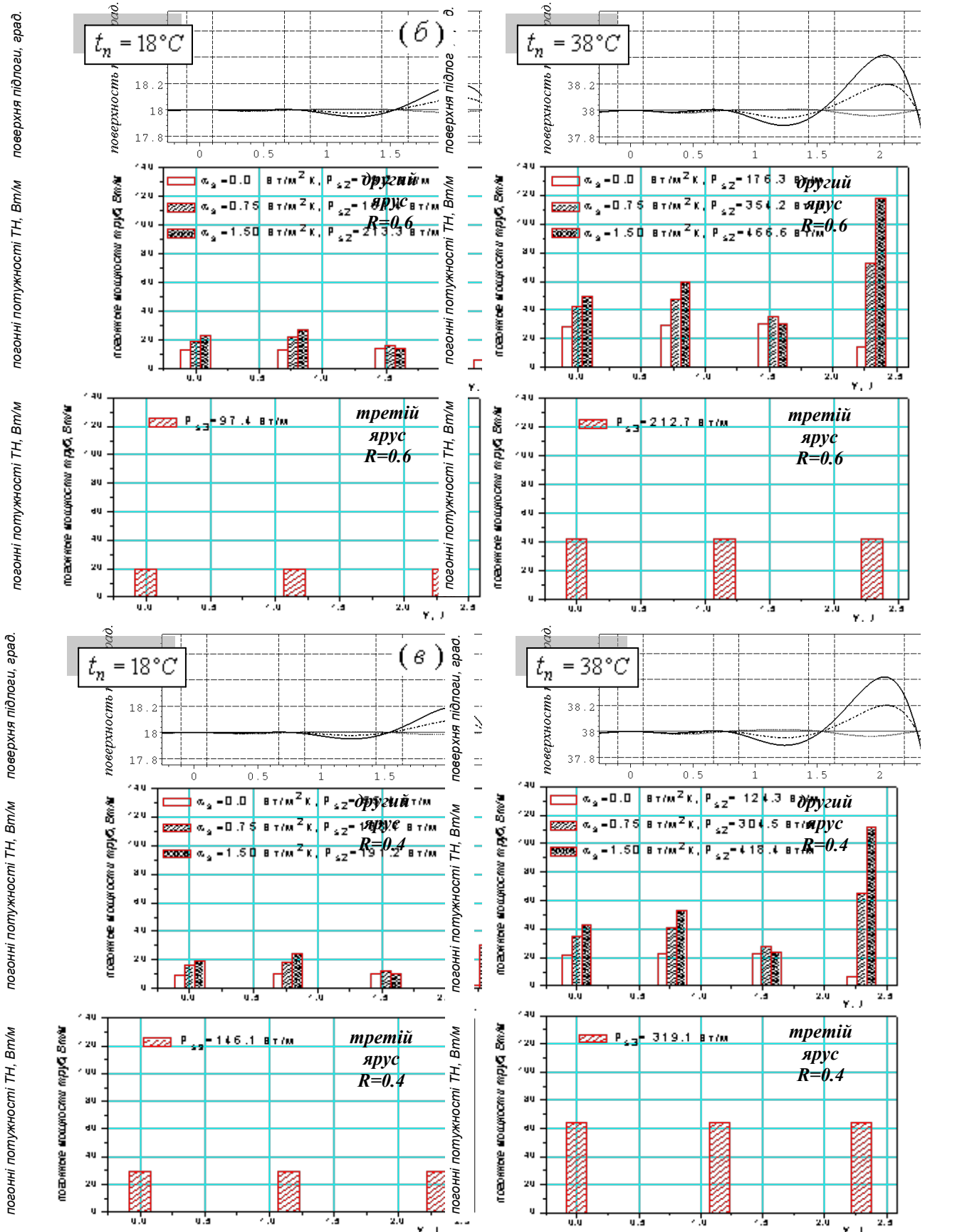


Рисунок 3 – Розподіл температури на поверхні підлоги та відповідні енергограми НС для режиму IV при  $R=0.8$  (а),  $R=0.6$  (б) та  $R=0.4$  (в)

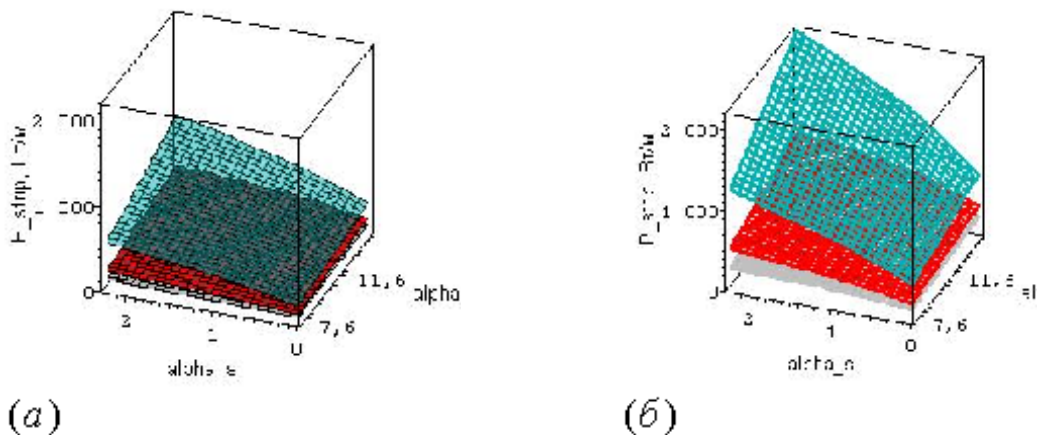


Рисунок 4 – Карти-поверхні прогнозованої погонної потужності БЕТСО для режимів I, III і V при термостабілізації поверхні підлоги на рівнях нагріву  $t_{зд} = (a) 18C^{\circ}; (б) 38C^{\circ}$  при зміні параметрів теплообміну  $a$  і  $a_g$

Реалізація запропонованої системи структурно-функціонального керування енергопотоками БЕТСО дозволяє, таким чином, виводити на екран монітора оператора начиний стан підведення енергії до нагрівальних елементів. Це дасть можливість у режимі реального часу порівнювати результати розрахункового прогнозування з інформацією про температурний режим технологічно активних зон, що надходить від обмеженої кількості датчиків, і цілеспрямовано корегувати надходження енергопотоків, досягаючи заданого рівня нагрівання ЗТА в режимі енергозбереження.

**Висновки.** 1. Ідентифікація енергокомпонент при забезпеченні заданих стандартів на обігрів поверхні підлог тваринницьких приміщень АПК дозволяє проводити аналіз і прогнозувати рівень енергозбереження при структурно-функціональному керуванні енергопотоками, що підводяться до нагрівальних блоків БЕТСО від традиційних і нетрадиційних джерел.

2. Запропонований теоретико-експериментальний підхід дає можливість на основі рішення зворотних задач теплопровідності для БЕТСО, при використанні інформації від обмеженого числа термодатчиків, розробити методіку структурно-функціонального керування енергопотоками в нагрівальних елементах БЕТСО, яка забезпечує стандарти обігріву ЗТА.

3. Результати комп'ютерного моделювання забезпечення стандартів нагрівання поверхні підлог тваринницьких приміщень АПК при різних зовнішніх і внутрішніх умовах представлено у вигляді бази даних (енергограми підводу тепла до нагрівальних елементів).

**Список літератури:** 1. Романченко М.А. Енергозберігаючі електротехнології забезпечення стандартів теплового режиму виробничих споруд АПК з електрообігрівними підлогами / М.А. Романченко, Д.І. Мазоренко, А.П. Слесаренко., О.А. Сорока // Електрифік. та автоматиз. сільськ. господарства. – 2006. – №2. – С. 82–92. 2. Положий Г.Н. Уравнения математической физики / Положий Г.Н. – М.: Высшая школа. 1964. – 560 с. 3. Тугунов П. Выбор коэффициентов теплопроводности грунтов при тепловом расчете «горячих» трубопроводов / П. Тугунов // Нефт. хоз-во. – 1969. – №11. – С. 6–11. 4. Математическая модель стационарного режима многослойного обогреваемого пола / Н. А. Романченко, А. П. Слесаренко, А. С. Сорока // Вісник ХДТУСГ ім. Петра Василенка «Проблеми енергозабезпеч. та енергозбереж. в АПК України». – 2004. – Вип. 27. – Т. 1 – С. 245–250. 5. Романченко М.А. Структурно-функціональне керування вхідними енергопотоками багаторівневої електротеплоакумуляційної системи обігріву підлог і повітря в спорудах АПК / М.А. Романченко // Електрифікація та автоматизація сільського господарства. – 2006. – №1. – С. 31–41.

УДК 515.47