

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПОДПОЧВЕННОГО АККУМУЛЯТОРА  
ТЕПЛА ГЕЛИОБИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТОПИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
ГЕЛИОТЕПЛИЦА - ЖИВОТНОВОДЧЕСКИЕ ПОМЕЩЕНИЯ**  
**Эргашев Ш.Х.<sup>1</sup>, Хайриддинов Б.Э.<sup>2</sup> Email: Ergashev1164@scientifictext.ru**

<sup>1</sup>Эргашев Шахриёр Хамудуллаевич - докторант;

<sup>2</sup>Хайриддинов Батир Эгамбердиевич - доктор технических наук, профессор,  
кафедра физики,  
Каршинский государственный университет,  
г. Карши, Республика Узбекистан

**Аннотация:** в статье приведены расчеты и результаты экспериментальных исследований процессов аккумуляции тепла цилиндрической формы подпочвенного субстратного слоя в зависимости от распределения температуры и теплопроводности в комбинированных гелиотеплицах – животноводческих помещениях. Достоверность приведенной методики подтверждена экспериментальными данными.

Важнейшим условием оптимизации микроклимата закрытых животноводческих помещений является его соответствие физиологическому состоянию животных. Физические и химические свойства воздушной среды - факторы непостоянные и подвержены большим колебаниям. Организм животного может приспосабливаться к этим изменениям, но лишь в определенных пределах.

При проектировании и строительстве гелиотеплицы – животноводческих помещений с подпочвенным аккумулятором тепла решающую роль имеет правильный выбор мощности аккумулятора для обеспечения разработанной установки. Последнее следует осуществлять с учётом предварительного расчёта теплопередачи сквозь субстрат аккумулятора, имеющего неоднородную структуру. Так как теплопровод представляет собой слой грунта, потока горячей воды в трубе, окруженной субстратом из композиционного материала, то точный расчёт передачи тепла в атмосферу животноводческих помещений практически невозможен. Поэтому исследователи применяют различные упрощения и приближенные расчёты. Так в работах [2] подпочвенный трубопровод принимается как точечный источник теплоты, а полученные результаты расчёта очень сильно расходятся с экспериментом.

**Ключевые слова:** гелиотеплица, микроклимата, аккумулятора, субстрат, грунт, температура почвы, воздух.

**INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER OF THE SUBSOIL HEAT  
ACCUMULATOR OF THE HELIOBIOENERGETIC HEATING SYSTEM OF THE  
HELIOTROPE – LIVESTOCK BUILDINGS**  
**Ergashev Sh.H.<sup>1</sup>, Khayriddinov B.E.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Ergashev Shahriyor Hamudullaevich - Doctoral Student;

<sup>2</sup>Khayriddinov Batir Egamberdievich - Doctor of Technical Sciences, Professor,  
DEPARTMENT OF PHYSICS,  
KARSHI STATE UNIVERSITY,  
KARSHI, REPUBLIC OF UZBEKISTAN

**Abstract:** the article presents the calculation and the results of studies of the experimental processes of accumulation of thermal substratum of the cylindrical form of the subsoil substrate layer depending on the temperature distribution of the combined thermal conductivity of livestock markings. The reliability of the above method is confirmed by experimental data.

The most important optimization of livestock buildings is its correspondence to the physiological state of animals. Physical and chemical properties of the air - factors are unstable and subject to large fluctuations. The body of the animal can adapt to these changes, but only within certain limits.

The design and construction of helioteplins and hot water production facilities with a sub-heat storage battery, the decisive role is played by the correct battery mobility to ensure the developed installation. The latter should be carried out taking into account the preliminary substrate heterogeneous structure. Since the heat conduit is a layer of a group, a stream of hot water in a pipe surrounded by a substrate of composite material, an accurate calculation of the transfer of tell into the atmosphere of animal husbandry calculation of heat transfer through an accumulator having is practically impossible. Therefore, researchers apply the works [2] changes to the settled calculations. So the subsoil pipeline is taken as a point source of heat, and the calculation results obtained are very different from the experiment.

**Keywords:** solar cell, microclimate, battery, substrate, temperature of soil, air, priming.

**Введение.** Важнейшим условием оптимизации микроклимата закрытых животноводческих помещений является его соответствие физиологическому состоянию животных. Физические и химические свойства воздушной среды-факторы непостоянные и подвержены большим колебаниям. Организм животного может приспосабливаться к этим изменениям, но лишь в определенных пределах.

Создание средств нормализации микроклимата связана с большими материальными и энергетическими затратами [1].

Надежность, устойчивость и эффективность систем энергообеспечения во многом определяют количественные, качественные и экономические показатели производства продукции сельского хозяйства.

При проектировании и строительстве гелиотеплицы – животноводческих помещений с подпочвенным аккумулятором тепла решающую роль имеет правильный выбор мощности аккумулятора для обеспечения разработанной установки. Последнее следует осуществлять с учётом предварительного расчёта теплопередачи сквозь субстрат аккумулятора, имеющего неоднородную структуру. Так как теплопровод представляет собой слой грунта, потока горячей воды в трубе, окруженной субстратом из композиционного материала, то точный расчёт передачи тепла в атмосферу животноводческих помещениях практически невозможен. Поэтому исследователи применяют различные упрощения и приближенные расчёты. Так в работах [2] подпочвенный трубопровод принимается как точечный источник теплоты, а полученные результаты расчёта очень сильно расходятся с экспериментом.

**Методы исследования.** Общая мировая тенденция развития животноводческих помещений требования к энергетическому режиму выражается нормированием численных значений некоторых принято характеризовать температурно-влажностного режима помещений для содержания животных. В этих помещениях в течение зимнего периода года требуется поддерживать заданную температуру внутреннего воздуха  $t_v$ , относительную влажность  $\varphi$ . Неотъемлемой частью системы солнечного отопления гелиотеплицы - животноводческих помещений является подпочвенного аккумулятора тепла.

При проектировании и строительстве гелиотеплицы животноводческих помещений с подпочвенным аккумулятором тепла решающую роль имеет правильный выбор мощности аккумулятора для обеспечения разработанной методике. Последнее следует осуществлять с учётом предварительного расчёта теплопередачи сквозь субстрат аккумулятора, имеющего неоднородную структуру. Так как теплопровод представляет собой слой грунта, неоднородную структуру. Нами разработано физической модель теплопереноса через подпочвенный аккумулятор, заложенный в субстрат в зависимости от температуры воды, протекающей с постоянной скоростью в цилиндрической трубе. В этой целью рассматривается тепловая и математическая модель системы отопления и разработанной физической модель, представляющую собой, предложенную в субстрате вокруг трубу подпочвенного аккумулятора тепла.

**Результаты исследований.** В настоящее время существует расчетное моделирование лишь отдельных элементов системы отопления (подпочвенные аккумулятора тепла в субстратом слое) теплообменника. Один из методов, предложенных для решения данной проблемы состоит в том, чтобы допустить дневной нагретый внутренний воздух объемные солнечного коллектора в подпочвенного субстратного слоя аккумулятора тепла.

Нахождение температурного поля и теплопередачи в субстратном слое подпочвенного аккумулятора тепла почве, где действует ряд факторов переноса тепла (конвекция, кондукция и излучение), является задачей большой сложности.

Одним из эффективных подходов к составлению физической модели теплообмена в подпочвенных субстратного слоя, который позволяет обойти некоторые трудности решения систем уравнений переноса, является метод введения эквивалентного коэффициента теплопередачи. Так как в квазистационарном режиме теплопередача от любой замкнутой поверхности подпочвенного аккумулятора к субстратному слою постоянна. Для расчета теплопередачи достаточно определить  $K_0$ . Соотношение (6) носит общий характер, и на его основе можно решать задачи о теплопередаче к подпочвенному аккумулятору и слою субстрата при любых условиях на границе  $\Gamma_1'$  и  $\Gamma_2'$ . Однако сопряжение решений связано с определенными техническими трудностями, а конечный результат не выражается простой аналитической зависимостью. Для решение составленный нами алгоритм "SIMPLE", который реализован на компьютерной технике обеспечивает вычисление (9) и проведены сопоставления с экспериментальными данными (рис 3).

Нами исследовался процесс теплопереноса через подпочвенный аккумулятор, заложенный в субстрат в зависимости от температуры воды, протекающей с постоянной скоростью в цилиндрической трубе [3 - 5]. С этой целью рассмотрим физическую модель, представляющую собой, проложенную в субстрате трубу подпочвенного аккумулятора тепла диаметром  $d = 2 r_0$  (рис. 1), нижняя образующая которого

отклоняется от дневной поверхности почвы на величину  $\pm b_1$ . Знак «плюс» означает, что трубы с горячей водой подпочвенного аккумулятора проложены на низких опорах, а «минус» - на глубине в субстратном слое. При  $b_1 = 0$  трубы подпочвенного аккумулятора проложены в середине субстратного слоя. Для расчета теплообменных процессов вокруг цилиндрического аккумулятора и определения теплопередачи, предположим, что поверхность в сечении имеет форму дуги окружности.

В этом случае задание координат двух точек на обваловке субстрата (например,  $M(x,0)$  и  $N(x_0,y_0)$ ) полностью определяет всю окружность  $\Gamma_2 = \Gamma'_2 \cup \Gamma''_2$  и ее диаметр  $D_1 = 2R_1$ . Внутри подпочвенного аккумулятора проложен круглый трубопровод, изготовленный из композиционного материала. Через трубопровод протекает теплоноситель с температурой  $T_{ж}$ , а температура наружного воздуха и прилегающего к ней слоя субстрата  $T_c < T_{ж}$ . Субстрат предполагается изотропным с коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ . Граница  $\Gamma_2$  разбивает субстратный слой на две зоны и для определения теплопередачи от горячего трубопровода на слой воздуха и субстрата необходимо решать сопряженную задачу в зонах I и II.

Учитывая симметрию температурного поля в зоне I, рассмотрим задачу Неймана для избыточной температуры субстрата  $\theta = T_B - T_c$ :

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} = 0, \quad \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} = 0, \quad -\lambda \left( \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) = \varphi_T(\rho) \quad (1)$$

$$-\lambda \left( \frac{\partial \theta}{\partial x} \right)_{\Gamma'_3 \cup \Gamma''_3} = \varphi_H(\rho), \quad \theta(x, y) = \theta(x, -y), \quad (2)$$

где  $\theta(x, y)$  – положительное возмущение, вносимое трубопроводом в субстрат зоны I. Для его определения отобразим область I в виде прямоугольника (рис. 2) при помощи конформного преобразования второго рода.

$$\bar{\omega} = \ln \frac{z+a}{z-a} \quad (3)$$

Из (3) следует

$$x = \frac{a \sin \alpha}{\cos \alpha - \cos \beta}; \quad y = \frac{a \sin \beta}{\cos \alpha - \cos \beta}; \quad a = \sqrt{h_0^2 - R_0^2} = \sqrt{h_1^2 - R_1^2}$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  - биполярные координаты.

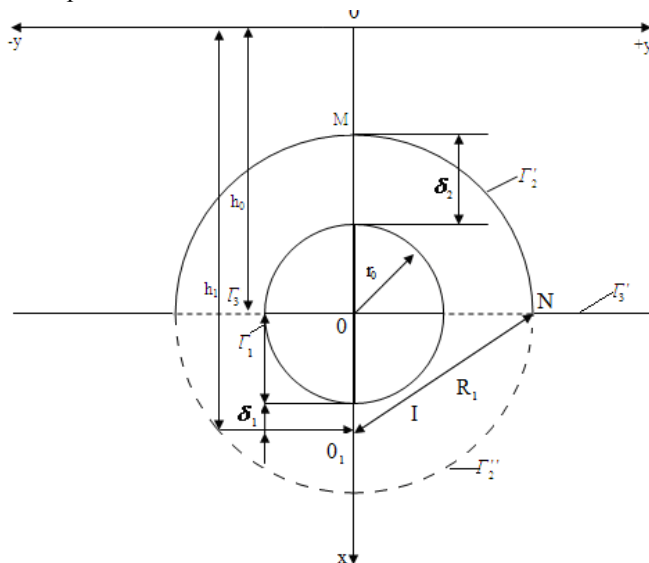


Рис. 1. Физическая модель и система координат

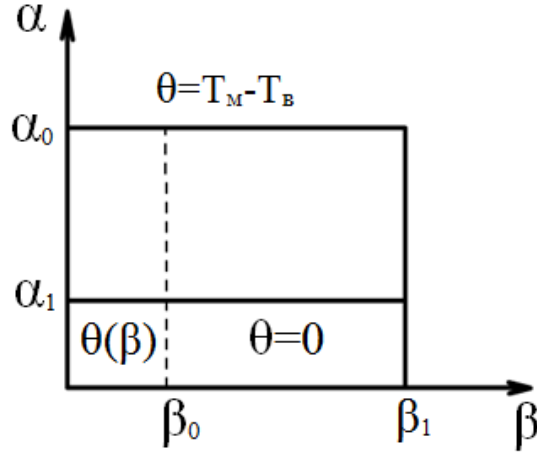


Рис. 2. Образ области I при конформном отображении (3)

Задача (1) – (2) в биполярных координатах:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial \alpha^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial \beta^2} = 0; \quad \lambda \left( \frac{\partial \theta}{\partial \alpha} \right)_{\alpha=\alpha_0} = q_T(\beta) \quad (4)$$

$$\lambda \left( \frac{\partial \theta}{\partial \alpha} \right)_{\alpha=\alpha_0} = q_H(\beta); \quad \left( \frac{\partial \theta}{\partial \beta} \right)_{\beta=0} = \left( \frac{\partial \theta}{\partial \beta} \right)_{\beta=\pi} = 0 \quad (5)$$

где  $q_T(\beta) = H_{\alpha=\alpha_0} \varphi_T(p)$ ;  $q_H(\beta) = H_{\alpha=\alpha_1} \varphi_H(p)$ ;  $H = a(ch\alpha - \cos \beta)^{-1}$  -

коэффициент Ламе.

Решая задачи (4) – (5) получим:

$$\theta = (\alpha, \beta) = A_0 + \frac{1}{2\lambda} K_0 \alpha + \frac{1}{\lambda} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{hshn(\alpha_0 - \alpha_1)} [chn(\alpha_1 - \alpha_0) K_{2n-1} - chn(\alpha_0 - \alpha) K_{2n}] \cos n\beta$$

$$\text{где } K_0 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} q_T(\beta) d\beta = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} q(\beta) d\beta$$

$$K_0 = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} q_H(\beta) \cos n\beta d\beta; \quad K_{2n-1} = \frac{2}{\pi} \int_0^{\pi} q_T(\beta) \cos n\beta d\beta$$

Так как в квазистационарном режиме теплопередача от любой замкнутой поверхности подпочвенного аккумулятора к субстратному слою постоянна, то получим

$$q = 2\lambda \int_{(\Gamma)} \left( \frac{\partial \theta}{\partial n} \right)_{\Gamma} dl = 2\lambda \int_0^{\pi} \left( \frac{\partial \theta}{\partial \alpha} \right)_{\Gamma} \partial \beta = 2 \int_0^{\pi} q(\beta) \partial \beta = \pi K_0 \quad (6)$$

Таким образом, для расчета теплопередачи достаточно определить  $K_0$ . Соотношение (6) носит общий характер, и на его основе можно решать задачи о теплопередаче к подпочвенному аккумулятору и слою субстрата при любых условиях на границе  $\Gamma'_1$  и  $\Gamma'_2$ . Предположим, что на границе  $\Gamma'_1$  и  $\Gamma'_2$  заданы условия первого рода:

$$\theta_{\Gamma'_1} = T_{ж} - T_s \quad (7)$$

$$\theta_{\Gamma'_2} = 0 \quad (8)$$

Из условия равенства температуры (6) и (7) на  $\Gamma'_1$  находим:

$$A_0 = T_{ж} - T_B + \frac{\alpha_0}{2\lambda} K_0; \quad K_{2n-1} = \frac{K_{2n}}{chn(\alpha_0 - \alpha_1)} A_0 = T_{ж} - T_B + \frac{\lambda_0}{2\lambda} K_0$$

$$K_{2n-1} = \frac{K_{2n}}{chn(\alpha_0 - \alpha_1)}$$

так как  $\theta(\alpha, \beta) = 0$ , если  $\beta_0 \leq \beta \leq \pi$ ;  $\theta(\beta)$ , если  $0 \leq \beta \leq \beta_0$ ;

Из (6) и (8) на  $\Gamma_2$  имеем

$$T_{\text{ж}} - T_B - \frac{\alpha_0 - \alpha_1}{2\lambda} K_0 = \frac{1}{\pi} \int_0^{\beta_0} \theta(\beta) d\beta$$

Отсюда

$$q = \frac{T_{\text{ж}} - T_B - \frac{1}{\pi} \int_0^{\beta_0} \theta(\beta) d\beta}{\frac{\alpha_0 - \alpha_1}{2\pi\lambda}} \quad (9)$$

Для оценки интегрального члена  $\frac{1}{\pi} \int_0^{\beta_0} \theta(\beta) d\beta$  в (9) необходимо найти решение в области I, II и

осуществить сопряжение на  $\Gamma'_2, \Gamma''_2$ . Его можно получить в виде интеграла Фурье, отображив область II на полуполосу. Однако сопряжение решений связано с определенными техническими трудностями, а конечный результат не выражается простой аналитической зависимостью. Поэтому целесообразно заменить (9) простым приближением и оценить его точность, так как это важно на стадии проектирования, когда достоверные данные  $\lambda$  в субстратном слое отсутствуют.

Пренебрегая положительным возмущением  $\theta(\beta)$  на  $\Gamma''_2$ , получим

$$q \leq \frac{T_{\text{ж}} - T_B}{\frac{\alpha_0 - \alpha_1}{2\pi\lambda}} \quad (10)$$

Пусть  $\theta_0$  - один из верхних границ множества значений функции  $\theta(\beta)$  на  $\Gamma''_2$ . Тогда

$$\frac{1}{\pi} \int_0^{\beta_0} \theta(\beta) d\beta \leq \frac{\beta_0}{\pi} \theta_0$$

$$q \leq \frac{T_{\text{ж}} - T_B - \frac{\beta_0}{\pi} \theta_0}{\frac{\alpha_0 - \alpha_1}{2\pi\lambda}} \quad (11)$$

Неизвестную избыточную температуру  $\theta(\beta)$  на  $\Gamma''_2$  аппроксимируем линейной функцией

$$\theta(\beta) \approx \tilde{\theta}(\beta) = \frac{\theta_0}{\beta_0} (\beta_0 - \beta) \quad (12)$$

Тогда из (9) и (10) – (12) для расчета теплопередачи получим

$$q = \tilde{q} = \Delta \quad (13)$$

$$\tilde{q} = \frac{T_{\text{ж}} - T_B - \frac{\beta_0}{\pi} \theta_0}{\frac{\alpha_0 - \alpha_1}{2\pi\lambda}}; \quad \Delta \leq \frac{\beta_0 \lambda}{\alpha_0 - \alpha_0} \theta_0$$

Качество оценки в (13) существенно зависит от значения  $\theta_0$ . Под отепляющим воздействием подпочвенного трубопровода на полосе  $\Gamma_3$  и  $\Gamma'_3$  (рис. 1) устанавливается распределение температуры

$$f(y) = T_{\text{ж}} - T_B \quad (14)$$

При  $\delta_1 \geq 0$ , температурное поле в слое субстрата  $\Gamma_3$  с избыточной температурой  $f(y)$ , запишем в виде функции [4]

$$T(x, y) = \frac{y}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(\xi) d\xi}{[\xi - (x - h_0 - r_0)]^2 + y^2} \quad (15)$$

Так как  $\theta(\beta) = T(x, y)|_{\Gamma_2}$ , из (15) и (14) имеем верхнюю границу значений  $\theta(\beta)$

$$\theta_{max}(\beta) \leq \frac{\psi}{\pi} (T_{ж} - T_B)$$

Таким образом,

$$\theta_0 = \frac{\psi}{\pi} (T_{ж} - T_B)$$

$$\psi = 2 \arctg \frac{y_0}{x^*} = 2 \arctg \frac{y_0}{h_1 + R_1 - h_0 - r_0}; \quad x^* = h_1 + R_1 - h_0 - r_0.$$

Постоянные  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$  и  $\beta_0$  входящие в расчетное уравнение (13), находим из соотношений:

$$\alpha_0 = \operatorname{arcch} \frac{h_0}{r_0}; \quad \alpha_1 = \operatorname{arcch} \frac{h_1}{R_1}; \quad \beta_0 = \arcsin \left( \frac{y_0}{x_0} \operatorname{sh} \alpha_1 \right)$$

$$n_0 = R_1^2 - r_0^2 - \frac{(R_1 - r_0 - \delta_2)^2}{2(R - r_0 - \delta_2)}; \quad h_1 = \frac{R_1^2 - r_0^2 + (R_1 - r_0 - \delta_2)^2}{2(R - r_0 - \delta_2)}$$

$$R_1 = \frac{h^2 + y_0^2}{2h}; \quad h = \pm \delta_1 + 2r_0 + \delta_2$$

При  $h \rightarrow 0$  имеем  $y_0 \rightarrow \infty$ ;  $R_1 \rightarrow \infty$ ;  $h_0 = \delta_2$ ;  $h_1/R_2 \rightarrow 1$ ;  $\alpha_1 \rightarrow 0$ ;  $\beta_0 \rightarrow 0$ ;  $u\Delta \rightarrow 0$ .

Уравнение (13) переходит в известное решение Форхгеймера [5]. Это значит, что по мере проложения трубы подпочвенного аккумулятора и вокруг него слоя субстрата влияние интегрального члена  $\frac{1}{\pi} \int_0^{\beta_0} \theta(\beta) d\beta$  в (9) повышается. В связи с изменением температуры воды подпочвенного аккумулятора и распределением температуры по расстоянию слоя субстрата меняется значение коэффициента теплопередачи (рис. 3).

Из теплового потока, протекающего через подпочвенный аккумулятор, часть тепла передается слою субстрата, который проложен вокруг отопительного трубопровода.

Для количественной оценки данной методики выполнены расчеты и проведены сопоставления с экспериментальными данными (рис. 3). Относительная погрешность теплопередачи составила 4,25%, что вполне допустимо в инженерных расчетах.

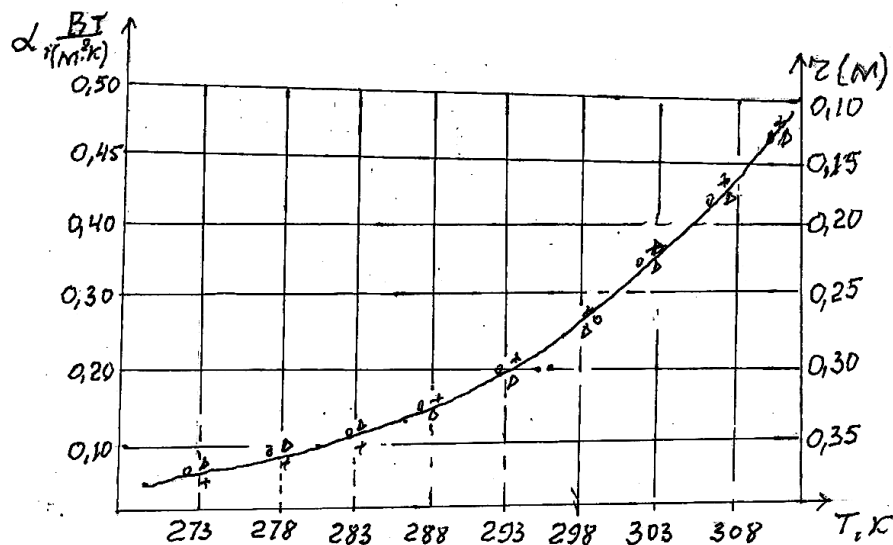


Рис. 3. Изменение коэффициента теплопередачи вокруг подпочвенного аккумулятора тепла в слое (по расстоянию  $x, y$ ) субстрата в зависимости от изменения температуры:

$\Delta$  - изменение теплопередачи в слое субстрата;

- - изменение температуры воды в трубах подпочвенного аккумулятора;
- + , 0- изменение температуры по расстоянию слоя субстрата от нагретых труб

Величину скорости воды в подпочвенном аккумуляторе можно вычислить по величине массового расхода  $G$  при данном положении задвижки:

$$\bar{w} = 4/\rho\pi d^2 G, \quad (16)$$

где  $G$  - массовый расход (кг/с), который определяется по формуле  $G = \sqrt{\gamma d \rho D h}$ ;  $\Delta h$  - показание дифманомера.

Так как в зависимости от значения  $Re_{ж}$  будет меняться и критерий  $Nu_{ж} = \alpha d / \lambda_{ж}$ , то переменность  $Nu_{ж}$  связана с изменением  $\alpha$ . В опыте измеряли температуру на поверхности трубы подпочвенного аккумулятора, заложенной в субстрате, а также измеряли температуру воды на входе и выходе экспериментальной трубы. На основе результатов эксперимента  $\alpha$  определяется по формуле

$$\alpha = \frac{Q}{\pi d L (T_{вх} - T_{вых})} \quad (17)$$

Для вычисления тепла использовалось уравнение

$$Q = cG(T_{вых} - T_{вх}) \quad (18)$$

где  $c$  – теплоемкость воды.

Таким образом, результаты теоретических расчетов и экспериментальные данные по определению теплопередачи субстратом слоя подпочвенного аккумулятором тепла в квазистационарном процессе с контрольными объемами в локально-трехмерной модели на порядок больше, чем полученные методом преобразования функции для температурного поля [4] за счет меньшего по сравнению с общим числом контрольных объемов числа точек, определяющих тепловые характеристики подпочвенного субстратного теплообменника.

#### *Список литературы / References*

1. Фурман А.В., Дечук Р.П. Теплопередача трубопровода в массиве. «Изв... нефть и газ», 1979. № 4. С. 116-119.
2. Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии. Под ред. Ю.Н. Малевского. М.: Мир, 1977. 420 с.
3. Хайридиннов Б.Э., Холмирзаев Н.С., Халимов Г.Г., Рысбаев А.С., Эргашев Ш.Х. Муқобил энергия манбаларидан фойдаланиш. Монография. Т. “ADAD PLYUS”, 2018. 417.
4. Даффи Д.А., Боркулько В.Г. Средства и система уравнения микроклиматом в животноводческих помещениях. Вестник ФГОУ ВПО МГДУ № 1, 2008. С. 74-76.
5. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена. Изд. М. «Мир», 1988. С. 524.