

Известны природно-климатические характеристики и параметры региона возделывания плодово-ягодных культур. При этом актуальной является задача обеспечения заданного теплового режима садов и питомников саженцев, находящихся в открытом грунте, в экстремальные промежутки времени года. Особо эти вопросы волнуют садоводов в трёх основных экстремальных периодах года: при первых осенних заморозках (-5°C , -10°C и ниже); в зимний период (-15°C , -20°C и ниже); при первых весенних заморозках (-1°C , -2°C и ниже). Кратковременные заморозки не так опасны, как продолжительные, но последние менее значительные по силе.

Анализ последних исследований. Для обеспечения теплового режима садов в весенний период года издавна применялись дымовые костры, которые зажигали при ночной температуре воздуха в $+2^{\circ}\text{C}$ и гасили не раньше, чем пройдет 1-1,5 часа после восхода солнца. Это позволяет повысить температуру воздуха на $1-1,5^{\circ}\text{C}$. Затем эта технология была усовершенствована: например, для сравнительно малых площадей садов (до 1,5 га) использовался пылесос с вливанием воды в поток воздуха, что увлажняло и утяжеляло дым, который затем стелился по саду, защищая его от понижения температуры [1]. Технологии борьбы с обледенением и ломкой кроны деревьев основываются на предварительной обработке кроны специальными растворами [1]. При этом применяется, например, следующий раствор: 10 частей воды; 0,5 части извести; 1,5 части просеянного песка или песчаной глины. Образовавшийся ледяной покров, вместе с раствором па кроне, легко осыпается с ветвей дерева [2]. Защита корневой системы осуществляется укрытием наземного слоя под деревьями [1, 2].

Математическим моделям описания динамики процессов в открытых агросистемах посвящены работы [3, 4]. Эти публикации дают методику построения математических моделей для описания процессов тепломассопереноса в открытых агросистемах. В работах [5-7] рассматриваются вопросы оптимизации параметров дискретных источников тепла по ограничениям в результирующее температурное поле. Результаты этих работ позволяют перейти к решению вопроса выбора и оптимизации параметров подвижных источников обогрева открытых агроэкосистем. Работы [11, 12] посвящены вопросам поиска оптимальных трасс в областях сложной формы и могут быть трансформированы на задачи оптимизации трасс передвижения источника обогрева.

Формулирование целей статьи. Целью работы является уточнение математической модели теплового баланса агроэкосистемы в состоянии скрытого заморозка с учётом взаимовлияния процессов теплообмена и массообмена друг на друга для определения необходимой

мощности источника теплоты и поддержания температуры листа на требуемом уровне.

Основная часть. Одним из видов заморозков есть скрытый заморозок. Для предсказания явления скрытого заморозка необходимо рассмотреть тепловой баланс листа. Теплообмен листа с окружающей средой сложным образом зависит от следующих параметров: температуры почвы; её отражательной способности (альбедо почвы); площади поверхности листьев обращенной к почве; переменной влажности воздуха; температуры окружающей среды; площади поверхности листьев обращенной к атмосфере; теплофизических свойств листа и окружающей атмосферы; скорости воздуха вокруг листа.

В работе [10] рассмотрено уравнение теплового баланса листа:

$$\pm Q_{accum} \pm Q_{micr} = \pm Q_{conv} \pm Q_{cond} \pm Q_{r\Sigma} \pm Q_{conduct}, \quad (1)$$

где Q_{accum} – количество теплоты аккумулированной (отданной) листом в единицу времени;

Q_{micr} – теплота, выделившаяся в результате жизнедеятельности микроорганизмов и при протекании физиологических процессов в листе;

$Q_{r\Sigma}$ – суммарный радиационный тепловой поток от почвы, атмосферы и поток излучённый листом;

Q_{conv} – конвективный тепловой поток к поверхности листа;

Q_{cond} – тепловой поток за счет конденсации водяного пара из атмосферного воздуха на листе;

$Q_{conduct}$ – тепловой поток за счет теплопроводности и массообмена по черенку листа.

В уравнении (1) знак плюс имеют тепловые потоки идущие к поверхности листа, минус – от неё. Приняв во внимание, что количество теплоты накопленной листом и количество теплоты переданной по черенку малы по сравнению с тепловыми потоками за счет излучения, конвекции и конденсации, а также, пренебрегая теплотой физиологических процессов в листе уравнение (1) запишется так:

$$\pm Q_{conv} \pm Q_{cond} \pm Q_{r\Sigma} = 0. \quad (2)$$

Рассмотрим члены этого уравнения и расставим знаки, приняв, что температура листа меньше, чем температура воздуха.

Конвективный тепловой поток к поверхности листа определим по уравнению Ньютона-Рихмана [11, 12, 13]:

$$Q_{conv} = \alpha \cdot F_n \cdot (T_a - T_n), \quad (3)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

F_n – площадь поверхности листа, м²;

T_a – температура атмосферного воздуха, К;

T_n – температура листа, К.

Коэффициент теплоотдачи является сложной функцией от теплофизических параметров среды, формы теплообменной поверхности (листа) и величины шероховатости, характера обтекания. В работе [14] представлена формула для определения коэффициента теплоотдачи:

$$\alpha = 4 + 2 \cdot W, \quad (4)$$

где W – скорость бокового ветра, м/с.

Тепловой поток за счет конденсации водяного пара из атмосферного воздуха на листьях запишется так [11, 12, 13]:

$$Q_{cond} = m_{cond} \cdot r_{cond}, \quad (5)$$

где r_{cond} – теплота конденсации (парообразования), Дж/кг;

$$m_{cond} = \beta \cdot F_{\text{л}} \cdot (\rho_{va} - \rho_{vl}) - \text{поток массы конденсирующегося водяного пара, кг/с;}$$

ρ_{va} – плотность паров воды в атмосферном воздухе, кг/м³;

$$\rho_{vl} = \rho_{vsat}(T_{\text{л}}) - \text{плотность насыщенных паров воды в воздухе}$$

при температуре листа, кг/м³;

$$\beta - \text{коэффициент массоотдачи м/с.}$$

Для расчета коэффициента массоотдачи воспользуемся результатами теории пограничного слоя и теории подобия — тройной аналогией Рейнольдса-Прандтля. Данная аналогия позволяет, зная безразмерное поле скорости около поверхности, вычислить безразмерные поля температур и концентраций [11, 12, 13]. Также она позволяет найти связь между коэффициентами теплоотдачи и массоотдачи, которые сложным образом зависят от теплофизических параметров среды, формы и особенностей поверхности, картины течения вблизи поверхности, наличия и взаимовлияния соседних поверхностей теплообмена. Необходимо отметить, что существует взаимное влияние процессов конвективного теплообмена и массоотдачи друг на друга. В качестве первого приближения для расчета коэффициента массоотдачи с помощью коэффициента теплоотдачи возьмём равенство числа Стэнтона (St) и диффузионного числа Стэнтона (St_D):

$$St = \frac{\alpha}{\rho \cdot c_p \cdot W} = St_D \cdot \frac{\beta}{W}, \quad (6)$$

где ρ , c_p , W – плотность, теплоёмкость и скорость среды.

Из формулы (6) легко получить:

$$\beta = \frac{\alpha}{c_p \cdot \rho}. \quad (7)$$

Если плотность насыщенного водяного пара при температуре листа больше, чем плотность водяного пара в атмосфере, то конденсации на листьях происходить не будет.

Суммарный радиационный тепловой поток от почвы, атмосферы и излучённый листом запишется так:

$$Q_{r\Sigma} = Q_{r\text{soil}} + Q_{ra} - Q_{r\check{e}}, \quad (8)$$

где $Q_{r\check{e}\Sigma} = Q_{r\text{soil}} + Q_{ra} - Q_{r\check{e}}$;

$Q_{r\text{soil}}$ – радиационный тепловой поток от почвы к листу;

Q_{ra} – радиационный тепловой поток от атмосферы к листу;

$Q_{r\check{e}}$ – радиационный тепловой поток от листа в почву и атмосферу.

Каждый из радиационных тепловых потоков определяется на основе закона Стефана-Больцмана [11, 12]:

$$Q_r = \sigma \cdot F \cdot T^4, \quad (9)$$

где $\sigma = (1 - A) \cdot \sigma_0$ – константа излучения серого тела, Вт/(м²·К⁴);

A – альбедо (отражательная способность) поверхности;

$\sigma_0 = 5,75 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴) – константа излучения Стефана-Больцмана абсолютно черного тела;

F – площадь излучающей поверхности, м²;

T – температура поверхности, К.

Радиационный тепловой поток от почвы запишется следующим образом:

$$Q_{r\text{soil}} = \sigma_{\text{soil}} \cdot F_{\check{e}\text{soil}} \cdot T_{\text{soil}}^4, \quad (10)$$

где $F_{\check{e}\text{soil}}$ – площадь поверхности листа обращённой к почве;

T_{soil} – температура почвы.

При безоблачном небе радиационный тепловой поток от атмосферы запишется так [14]:

$$Q_{ra} = \sigma_0 \cdot \left(0,526 + 0,0065 \cdot \sqrt{p_{va}} \right) \cdot F_{\check{e}a} \cdot T_a^4, \quad (11)$$

где p_{va} – парциальное давление паров воды (Па) в атмосферном воздухе;

$F_{\check{e}a}$ – площадь поверхности листа обращенная к атмосфере.

Излучение всего листа:

$$Q_{r\check{e}} = \sigma_{\check{e}} \cdot \left(F_{\check{e}\text{soil}} + F_{\check{e}a} \right) \cdot T_{\check{e}}^4. \quad (12)$$

В итоге тепловой баланс (2) можно записать:

$$Q_{\text{conv}}(T_{\check{e}}) + Q_{\text{cond}}(T_{\check{e}}) + Q_{r\text{soil}} + Q_{ra} - Q_{r\check{e}}(T_{\check{e}}) = 0. \quad (13)$$

Уравнение (13) можно решить численно относительно неизвестной равновесной температуры листа. В работе [10] получено уравнение для определения разницы температур между воздухом и

листом при скрытом заморозке ($T_a - T_n$) в котором теплота конденсации рассчитывается по экспериментальной формуле Онзагера:

$$Q_{cond} = B \cdot (p_{va} - p_{v\bar{e}}(T_{\bar{e}})), \quad (14)$$

где B – одинаковый числовой экспериментальный коэффициент;
 p_{va} – парциальное давление паров воды в атмосферном воздухе на высоте 2 м;

$p_{v\bar{e}}$ – парциальное давление паров воды в атмосферном воздухе возле поверхности листа, на которой происходит конденсация.

Каких либо зависимостей коэффициента B от коэффициента теплоотдачи и скорости бокового ветра в [10] не представлено.

Однако необходимо учитывать взаимное влияние процессов теплоотдачи и массоотдачи к поверхности листа (5-7).

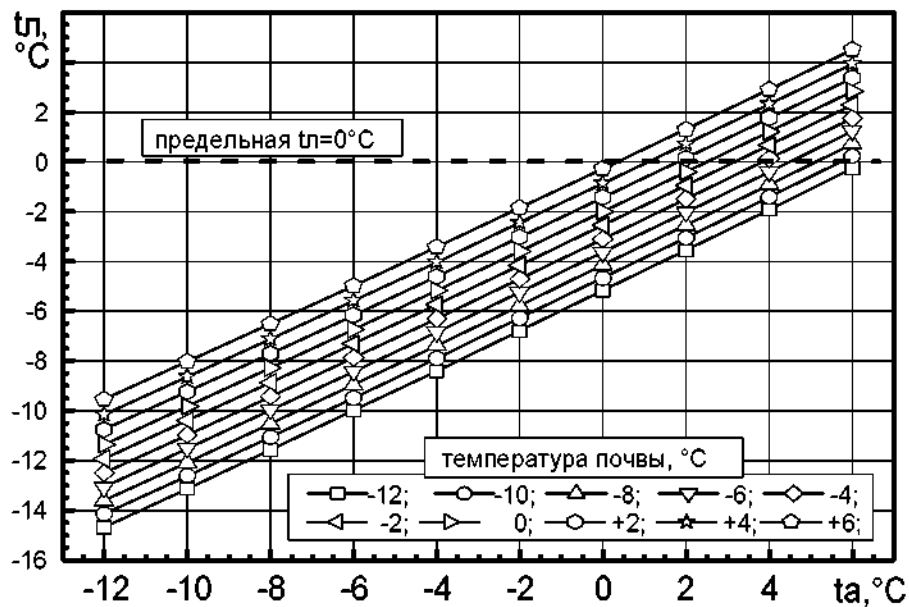


Рис.1. Зависимость равновесной температуры листа от температур атмосферы и почвы.

На рис.1 представлены результаты расчета равновесной температуры листа по уравнению (13) при следующих условиях: влажность атмосферно воздуха равна 60%; скорость бокового ветра равна 0 м/с; площадь поверхности листьев обращенной к атмосфере и почвы равны по 1 м²; площадь всей поверхности листьев равна 2 м²; безоблачная погода; альбедо почвы равно 0,05; альбедо листьев равно 0,15.

Параметры атмосферы задавались на высоте 2 м.

Из рис.1 видно, что равновесные температуры листа идут практически линейно. Это связано с тем, что при данных условиях конденсации на листьях не происходит.

Если задать предельную температуру листа, то это уравнение позволит определить необходимый тепловой поток, подвод которого к

листу позволит удержать температуру листа на требуемом уровне. При этом:

$$Q_{conv}(T_{\text{elim}}) + Q_{cond}(T_{\text{elim}}) + Q_{r\,soil} + Q_{r\,a} - \mathcal{E}_{r\,e}(T_{\text{elim}}) = \Delta Q. \quad (15)$$

Если разница тепловых потоков отрицательна, то к листу необходимо подвести такое же количество теплоты, которое выровняет тепловой баланс в ноль. На рис.2 представлены расчеты для предельной температуры листа равной 0°C и тех же условий что и для рис.1.

Так, например, на 1 квартал сада ($100\text{м} \times 100\text{м}$) при диаметре кроны 3 м и ширине прохода между рядами 3 м приходится 16 рядов деревьев. При этих условиях занимаемая площадь под деревьями составляет 4800 м^2 . В табл.1 представлена суммарная мощность источника теплоты для одного квартала сада (Вт) для тех же условий что и для рис.1 и 2. Знак минус указывает на то, что такое секундное количество теплоты необходимо подвести к листьям деревьев во всём квартале сада.

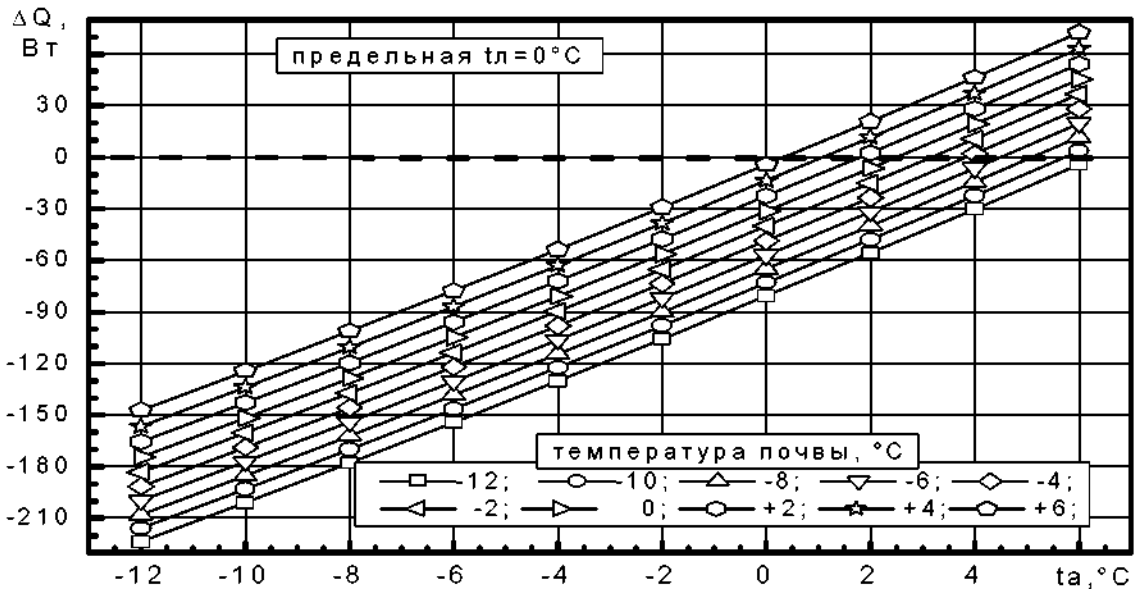


Рис.2. Зависимость требуемой мощности источника теплоты для поддержания температуры листа равной 0°C в зависимости от температур атмосферы и почвы.

На основе анализа метеоданных Коломакского района Харьковской области за пятилетний период можно вывести примерную связь между температурой воздуха и почвы во время заморозка:

$$T_{\text{soil}} = T_{\text{air}} - 7 \quad (16)$$

С учётом данной зависимости (16) представлен график (рис.3), который показывает, что более сухой воздух способствует возникновению заморозка листа, в то время как влажный воздух ему противо-

стоит, это явление связано с уменьшением парциального давления паров воды в более сухом воздухе и соответствующим снижением теплоты излучения атмосферы (11), которое подогревает лист.

Таблица 1 – Суммарная мощность источника теплоты для I квартала сада, где T_a – температура атмосферы, К; T_{soil} – температура почвы, К.

T_a T_{soil}	261,15	263,15	265,15	267,15	269,15	271,15	273,15	275,15	277,15	279,15
261,15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
263,15	1073,96	964,53	853,33	740,18	624,93	507,42	387,52	267,25	144,45	-19,17
265,15	1036,71	927,29	816,09	702,93	587,69	470,18	350,26	229,99	107,19	18,09
267,15	-998,58	889,16	777,96	664,80	549,56	432,05	312,14	191,87	-69,07	56,21
269,15	-959,60	850,18	738,98	625,82	510,53	393,06	273,15	152,87	-30,07	95,20
271,15	-919,69	810,31	699,07	585,91	470,67	353,18	233,27	112,99	9,81	135,08
273,15	-878,93	769,51	658,31	545,16	429,90	312,40	192,49	-72,21	50,58	175,86
275,15	-837,24	727,82	616,62	503,47	388,20	270,71	150,80	-30,52	92,28	217,55
277,15	-794,62	685,20	574,00	460,84	345,59	228,09	108,18	12,09	134,89	260,17
279,15	-751,07	641,64	530,44	417,28	302,04	184,54	-64,63	55,65	178,44	303,72
	-706,53	597,16	485,96	372,77	257,52	140,03	-20,12	100,16	222,96	348,24

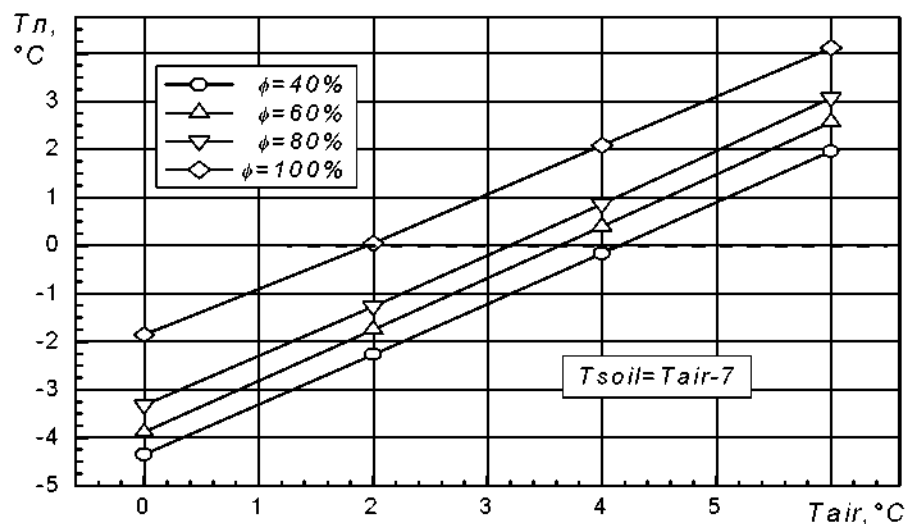


Рис.3. Равновесная температура листа в зависимости от температуры атмосферы на высоте 2 м, разности температур между воздухом и почвой 7°C при различной относительной влажности атмосферного воздуха.

Также видно что при температурах воздуха $+6^{\circ}\text{C}$ и температуре почвы -1°C и относительной влажности от 40% до 100% заморозка не возникает, поэтому в дальнейшем это сочетание параметров не рассматривается.

При защите сада обдувом теплыми струями [15] из уравнения (15) определения теплового потока (ΔQ), подвод которого к листу позволяет поддерживать температуру листа ($T_{лим}$) на требуемом уровне, необходимо выбросить теплоты конвекции и конденсации, поскольку теплопотери листа будут определяться только радиационным теплообменом с почвой и атмосферой, а относительно тёплый воздух вокруг листа, который вытеснил холодный воздух от листа, должен компенсировать эти теплопотери.

Таблица 2 - Потребные количество теплоты и расход топлива для поддержания температуры листа на заданном уровне ($T_{л}=+1^{\circ}\text{C}$) в течении 1 часа при различной относительной влажности.

T_{air} , $^{\circ}\text{C}$	T_{soil} , $^{\circ}\text{C}$	$\varphi = 40\%$		$\varphi = 60\%$		$\varphi = 80\%$		$\varphi = 100\%$	
		ΔQ , МДж	m_f , кг	ΔQ , МДж	m_f , кг	ΔQ , МДж	m_f , кг	ΔQ , МДж	m_f , кг
0	-7	164,364	4,325	148,804	3,916	135,691	3,571	105,332	2,772
2	-5	128,693	3,387	111,494	2,934	96,999	2,553	73,169	1,925
4	-3	91,652	2,412	72,648	1,912	56,700	1,492	заморозка нет	

В табл.2 представлены количество теплоты (ΔQ) и потребный расход топлива (m_f) для удержания температуры листа в течении 1 часа на уровне $+1^{\circ}\text{C}$ при низшей теплотворной способности топлива (H_u) 38 МДж/кг для двух рядов деревьев на одном прогоне квартала сада.

Из табл.2 видно, что наиболее потребное количество теплоты нам необходимо при более сухом воздухе, поэтому дальнейшие результаты приводятся для относительной влажности атмосферного воздуха $\varphi = 40\%$.

Желательно это количество энергии ввести в воздух за время одного прохода техники по улице квартала, поскольку это количество рассчитано на два ряда деревьев, то можно проходить квартал через улицу. По [8, 11, 12] определим расход воздуха подогревающего вентилятор [15] из уравнений (17, 18):

$$\Delta Q = m_{vent} \cdot c_{pvent} \cdot (T_{vent} - T_{air}) \cdot \Delta\tau_{ул}, \quad (17)$$

где m_{vent} , c_{pvent} , T_{vent} – массовый расход, теплоёмкость, температура тёплого воздуха от греющего вентилятора,

$\Delta\tau_{ул}$ – время прохода техники по одной «улице».

$$\Delta m_{vent} = \frac{\Delta Q}{c_{pvent} \cdot (T_{vent} - T_{air}) \cdot \Delta\tau_{ул}}, \quad (18)$$

Задаваясь різною швидкістю руху техніки і прийняв що температура теплового повітря не перевищує температуру листа більше ніж на 5°C (більш висока температура можливо обожжить лист) можна із (17) визначити масовий витіток вентилятору m_{vent} .

Результати розрахунку представлені в табл.3. Знаючи масовий витіток повітря можна визначити об'ємний годинний витіток повітря (тисяч $\text{м}^3/\text{ч}$), який нам знадобиться для вибору вентиляторів по формулі [9].

$$V_{vent} = \frac{m_{vent} \cdot R_{air} \cdot T_{н.у.}}{P_{н.у.}} \cdot 3,6. \quad (19)$$

Таблиця 3 – Потребний витіток повітря від грюючого вентилятору.

	$V, \text{ км/ч}$	5	10	15	20	30	40	50	
		$V, \text{ м/с}$	1,389	2,778	4,167	5,556	8,333	11,111	13,889
	$\Delta\tau_{вз}, \text{ с}$	72	36	24	18	12	9	7,2	
$m_{vent}, \text{ кг/с}$	$T_{air}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	0	379	757	1136	1514	2271	3029	3786
		2	445	889	1334	1779	2668	3557	4446
		4	633	1267	1900	2533	3800	5066	6333
$V_{vent}, \text{ } 10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$	$T_{air}, \text{ }^{\circ}\text{C}$	0	1146	2292	3438	4584	6876	9169	11461
		2	1346	2692	4038	5384	8076	10768	13460
		4	1917	3834	5752	7669	11503	15338	19172

По результатам розрахунку (табл.3) видно, що підвищення температури повітря призводить до зростання потрібного витітку повітря через вентилятор із-за зменшення різниці температур ($T_{vent} - T_{air}$), якщо всі потрібне кількість теплоти отримувати від теплої струї. Цей витіток можна зменшити за рахунок збільшення допустимої температури струї.

Висновки.

1. Уточнена математична модель прихованої заморозки з урахуванням взаємодії процесів теплообміну і масообміну один на одного.

2. Визначено необхідну сумарну потужність джерела тепла для підтримки температури листа на потрібному рівні.

3. Отримані в статті результати дозволяють перейти до розв'язку спектра завдань, пов'язаних з забезпеченням рухомого дискретного джерела обігріву агрокосистеми, володіючого можливостями зміни його потужності, траєкторії переміщення, швидкості руху.

4. При температурах повітря вище граничної температури листа можлива комбінована теплова захист саду з допомогою підігріву повітря і перемішування теплового повітря, але цей питання потребує подальшого кількісного роз'яснення.

5. При температуре воздуха равной или ниже предельной температуры листа, невозможно за один проход техники по улице квартала, обеспечить тепловую защиту сада за счёт обдува струями тёплого воздуха, поскольку промышленность не выпускает стандартных вентиляторов на большую производительность.

6. Вопрос о допустимой температуре нагревающей струи (T_{vent}) требует дальнейшего прояснения.

Литература

1. *Васюта В.М.* Справочник садовода / *Васюта В.М., Рыбак Г.М., Клименко С.В.* – К.: Наукова думка, 1990. – 352 с. – ISBN 5-12-001375-9.

2. *Васильева К.М.* Сад и цветы / *К.М. Васильева, И.И. Чубарина* – Петрозаводск: Карелия, 1973. – 375 с. – ISBN 1-11-1.

3. *Полуэкттов Р.А.* Динамические модели агроэкосистемы / *Ратмир Александрович Полуэкттов* – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 311 с. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 311 с. – ISBN 5-286-00552-7

4. *Марчук Г. И.* Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / *Гурий Иванович Марчук*. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1982. – 319 с. – ISBN 5-02-033218-6.

5. *Стоян Ю.Г.* Оптимизация технических систем с источниками физических полей / *Ю.Г. Стоян, В.П. Путятин*; АН УССР, Институт проблем машиностроения – К.: Наукова думка, 1988. – 188, [1] с. – ISBN 5-12-009354-X.

6. *Стоян Ю.Г.* Размещение источников физических полей / *Ю.Г. Стоян, В.П. Путятин*; АН УССР, Институт проблем машиностроения – К.: Наукова думка, 1981. – 182 с.

7. *Чубаров Е.П.* Контроль и регулирование с подвижным локальным воздействием / *Евгений Петрович Чубаров*. – М.: Энергия, 1977. – 208 с.

8. *Вукалович М.П.* Техническая термодинамика / *М.П. Вукалович, И.И. Новиков* – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1955. – 336 с.

9. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн.2. / *Б.В. Баркалов, Н.Н. Павлов, С.С. Амирджанов и др.*; под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. -4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 416 с. ISBN 5-274-01155-1.

10. *Чудновский А.Ф.* Заморозки / *Абрам Филиппович Чудновский* – М.: Гидрометеиздат, 1949. – 124 с.

11. *Исаченко В.П.* Теплопередача / *Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С.*; изд. 3-е перераб., доп. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.

12. *Михеев М.А.* Основы теплопередачи / *М.А. Михеев, И.М. Михеева*; изд. 2-е, стереотип. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.

13. Франк-Каменецкий Д.А. Диффузия и теплопередача в химической кинетике / Давид Альбертович Франк-Каменецкий; изд 2-е перераб. и доп. – М.: Наука, 1967. – 491 с.

14. Комплексное исследование и моделирование взаимосвязанных процессов переноса тепла, влаги и водорастворимых соединений в почвогрунтах / Бровка Г.П., Дедюля И.В., Ровдан Е.Н., Сычевский В.А. // Труды IV Минского Международного Форума по тепло- и массообмену (22-26 мая 2000 г.). Том 8. Теплообмен в капиллярно-пористых телах. – Минск: АНК «ИТМО имени А.В. Лыкова» НАНБ, 2000. – с.135-144. – ISBN 0-948749-98-9.

15. Патент №32163. Україна. Мобільний пристрій для захисту рослин від заморозків / Фришев С.Г., Рудницька Г.В., Колосок І.О. (Україна). – № u200713756; заявл. 10.12.2007; опубл. 12.05.2008.

ОБГРУНТУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ДЖЕРЕЛА ТЕПЛОТИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЖИМІВ АГРОЕКОСИСТЕМИ

В.И. Пастухов, А.В. Сергеева, А.В. Рудницкая

Анотація – запропоновано математичну модель агроєкосистеми в стані прихованого заморозку з урахуванням взаємовпливу процесів теплообміну і массообміну один на одного для визначення необхідної потужності джерела теплоти та підтримки температури листа на необхідному рівні.

SUBSTANTIATION OF CAPACITY OF THE SOURCE OF WARMTH FOR MAINTENANCE OF THERMAL MODELS AGROECOSYSTEM MODES

V. Pastukhov, A. Rudnytskaya, A. Sergyeyeva

Summary

The mathematical model agroecosystem in a condition of the latent frost with the account of interference of processes of heat exchange and exchange of weights against each other is offered and necessary capacity of a source of warmth for maintenance of temperature of sheet at demanded level is defined.