

ХОЛОДОТЕПЛОТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ З ЇЇ ВИКОРИСТАННЯМ

УДК 62-533.6:62-541.2:681.5.013:681.542.4

Пищанская Н.А.

Одесская национальная пищевая академия,
г. Одесса, Украина, e-mail: podmazko@mail.ru

АНАЛИЗ СПОСОБНОСТИ ВОЗДУХА АССИМИЛИРОВАТЬ ВЛАГУ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ УВЛАЖНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Pishchanskaya N.A.

Odessa national academy of food technology,
Odessa, Ukraine, podmazko@mail.ru

ANALYSIS OF ABILITY OF AIR TO ASSIMILATE MOISTURE AT THE USE OF SPRAY-DAMPING DEVICES

Цель. Оценить, насколько воздух, проходящий через увлажнительное устройство с регулярной насадкой (РН), может воспринять влагу при различных сочетаниях температур и массовых расходов воды и воздуха. Для достижения поставленной цели были проведены аналитические и экспериментальные исследования работы увлажнительных устройств с РН.

Методика. В качестве экспериментальных образцов выбраны современные регулярные насадки (РН): Термотех-Пром / Украина (полимерные материалы), Бротеп-Эко / Голландия (полихлорвинил), Мунтерс / Швеция (GLASdek). Температура воздуха и воды, соответственно, изменялась в следующих диапазонах: $t_g = 10 \div 40$ °C, $t_w = 5 \div 80$ °C. Скорость воздуха варьировалась в пределах $v = 0,2 \div 30$ м/с. Изменение относительной влажности $\varphi = 10 \div 89$ %. Для расчетов были использованы уравнение теплового баланса, понятие тепловлажностной характеристики процесса.

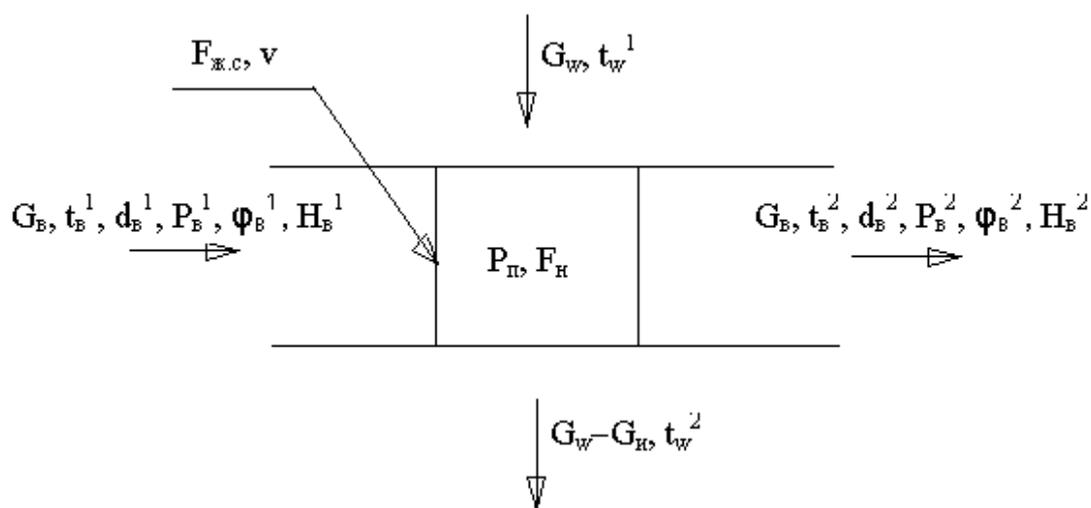
Результаты. Проведенные исследования позволили установить, насколько повышается влагосодержание воздуха, проходящего через увлажнительное устройство, при варьировании параметров сред «вода-воздух».

Научная новизна. Было установлено следующее: возможность воздуха максимально воспринять влагу существенно зависит от соотношения массовых расходов воды и воздуха, температуры воды, и мало зависит от параметров (температура и влагосодержание) входящего воздуха в увлажнительное устройство.

Практическая значимость. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и разработке увлажнительных устройств для промышленного применения: это холодильные камеры, выращивание грибов, инкубаторы, пищевые продукты, фрукты и овощи, деревообрабатывающие фабрики, табачные фабрики, типографии, фотолаборатории, текстильные фабрики, созревание вина, буровые платформы, оранжереи и теплично-парниковые хозяйства, покрасочные боксы для автомобилей и самолетов и т.п.

Ключевые слова: увлажнение воздуха, температуры воздуха, воды, соотношения расходов, приращение влагосодержания воздуха.

Под увлажнением воздуха подразумевают увеличение его влагосодержания. Как известно, увлажнение воздуха за счет испарения воды происходит в том случае, если парциальное давление пара в пограничном слое над поверхностью воды выше парциального давления пара увлажняемого воздуха. Движущей силой процесса является разность указанных парциальных давлений. Если температура воды выше температуры воздуха по сухому термометру, то процесс увлажнения будет сопровождаться возрастанием температуры и энтальпии воздуха. При температуре воды больше температуры предела охлаждения, но ниже температуры воздуха, температура воздуха будет уменьшаться, а энтальпия увеличиваться. В случае если температура воды выше температуры точки росы, но ниже предела охлаждения, увлажнение характеризуется понижением температуры и энтальпии воздуха. А если температура воды равна температуре предела охлаждения, увлажнение протекает при понижении температуры воздуха, а энтальпия остается практически неизменной.



$G_в$ и G_w – расходы, соответственно, воздуха и воды, кг/с; $t_в$ и t_w – температуры, соответственно, воздуха и воды, °С; $d_в$ – влагосодержание, кг/кг; P – парциальное давление, Па; P_n – парциальное давление на линии насыщения, Па; h – энтальпия, кДж/кг; $F_{ж.с}$ – «живое» сечение насадки, м²; F_n – площадь поверхности насадки, м²; G_u – количество испарившейся воды, кг/с; v – скорость движения воздуха в «живом» сечении насадки, м/с;

Рисунок 1 – Принципиальная схема орошаемой насадки

Уравнение теплового баланса можно представить в виде:

$$C_w \cdot [G_w \cdot (t_w^1 - t_w^2) + G_n \cdot t_w^2] = G_в \cdot (h_в^2 - h_в^1), \quad (1)$$

где C_w – теплоемкость воды, кДж/(кг·К).

Коэффициент испарения определяется по эмпирической зависимости, предложенной Р.М. Ладыженским:

$$\beta = 0,0017 + 0,0013 \cdot v, \text{ 1/час.} \quad (2)$$

Плотность воздуха:

$$\rho_v = 353 / (273 + t_v), \text{ кг/м}^3. \quad (3)$$

Расход воздуха можно определить из уравнения сплошности:

$$G_e = \rho_e \cdot v \cdot F_{ж.с.}, \text{ кг/с.} \quad (4)$$

Парциальное давление воздуха определяется по формуле:

$$P_e = d_e \cdot 100 / (0,622 + d_e), \text{ кПа.} \quad (5)$$

Парциальное давление на линии насыщения:

$$\lg P_n = 10,79574 \cdot (1 - T_1/T) - 5,028 \cdot \lg(T/T_1) + 1,50475 \cdot 10^{-4} [1 - 10^{-8,2969(T/T_1 - 1)}] + 0,42873 \cdot 10^{-3} \cdot [10^{4,76955(1 - T_1/T)} - 1] + 0,78614, \quad (6)$$

где $T_1 = 273,16 \text{ К}$; $T = 273,16 + t_w$.

Количество испарившейся воды определяется по формуле:

$$G_u = \beta \cdot (P_e - P_n) \cdot F_n / 3600, \text{ кг/с.} \quad (7)$$

где F_n – площадь поверхности насадки, м^2 .

Энтальпия воздуха определяется по формуле:

$$h = 1,006 \cdot t_e + d_e \cdot (2500 + 1,97 \cdot t_e), \text{ кДж/кг.} \quad (8)$$

Используя понятие тепловлажностной характеристики ε , можно определить энтальпию воздуха на выходе из насадки:

$$h_e^2 = \varepsilon \cdot (d_e^2 - d_e^1) + h_e^1, \text{ кДж/кг.} \quad (9)$$

Температура воздуха на выходе определяется следующим образом:

$$t_e^2 = (h_e^2 - 2500 \cdot d_e^2) / (1,006 + 1,97 \cdot d_e^2), \text{ }^\circ\text{С.} \quad (10)$$

Температуру воды на выходе находят из уравнения (1):

$$t_w^2 = (G_w \cdot t_w^1 - G_e \cdot (h_e^2 - h_e^1) / C_w) / (G_w - G_e), \text{ }^\circ\text{С.} \quad (11)$$

Используя алгоритмический язык GWBASIC, была составлена программа, позволяющая производить расчеты по вышеуказанным формулам.

Результаты расчетных и экспериментальных данных представлены на рисунках 2-4.

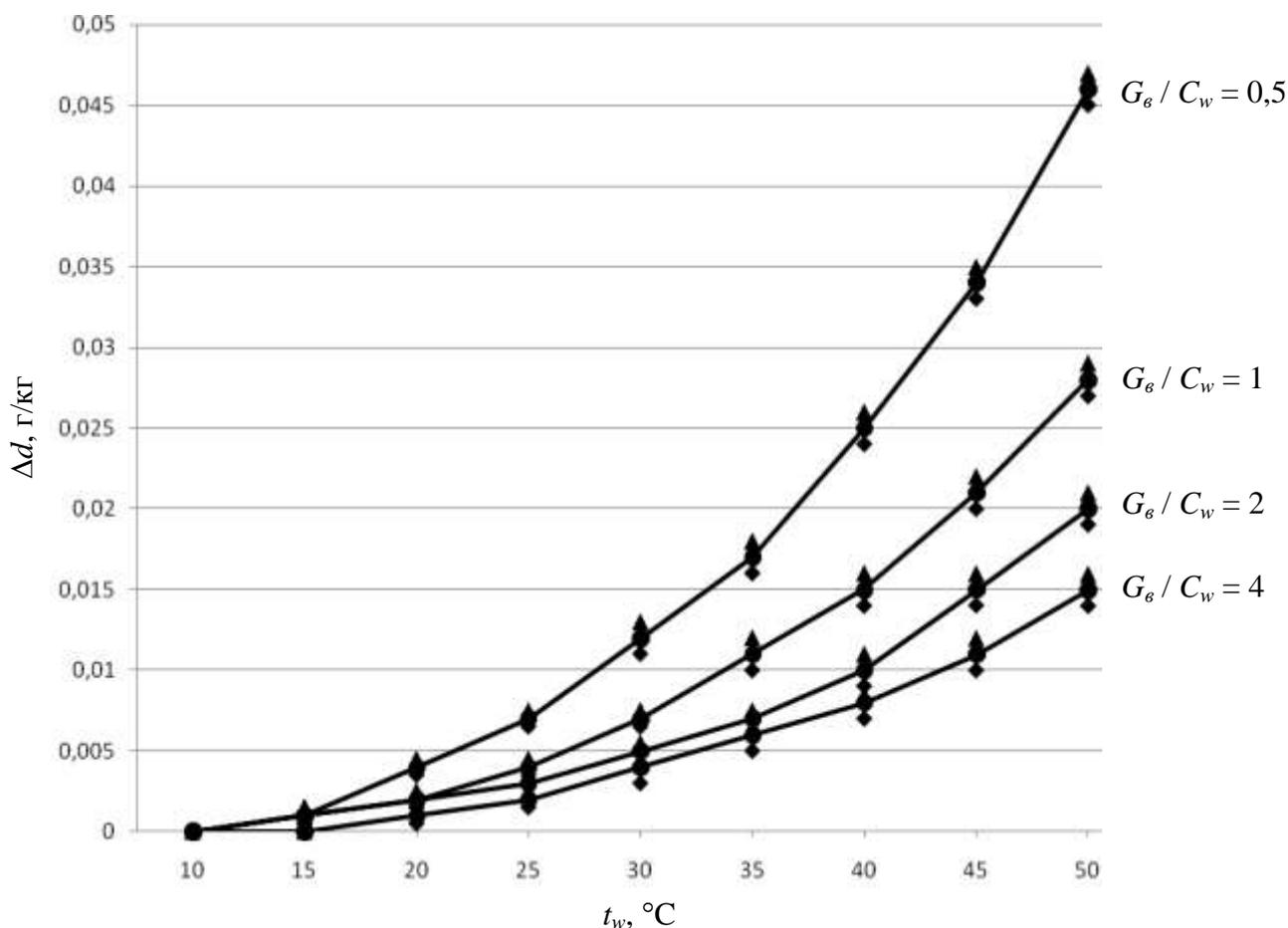


Рисунок 2 – Зависимость приращения влагосодержания воздуха от температуры воды для различных соотношений массовых расходов воздуха и воды G_g / C_w при $d_g = 0,003 \text{ кг/кг}$

Согласно рисункам 2-3, температура воздуха на входе составляла 20°C (\blacktriangle), 25°C (\bullet) и 30°C (\blacklozenge).

Относительно соотношения расходов G_g / C_w были рассмотрены два варианта:

Вариант № 1: $C_w = 0,1 \text{ кг/с} = \text{const}$; $G_g / C_w = 0,5; 1; 2; 4$.

Вариант № 2: $G_g = 0,1 \text{ кг/с} = \text{const}$; $G_g / C_w = 0,5; 1; 2; 4$.

Как видно из полученных экспериментальных и расчетных данных, приращение влагосодержания воздуха, проходящего через увлажнительное устройство, существенно зависит от температуры воды (чем выше температура, тем больше приращение); соотношения массовых расходов воздуха и воды (чем меньше соотношение, тем больше приращение) и мало зависит от параметров (температура и влагосодержание) воздуха, поступающего в увлажнительное устройство.

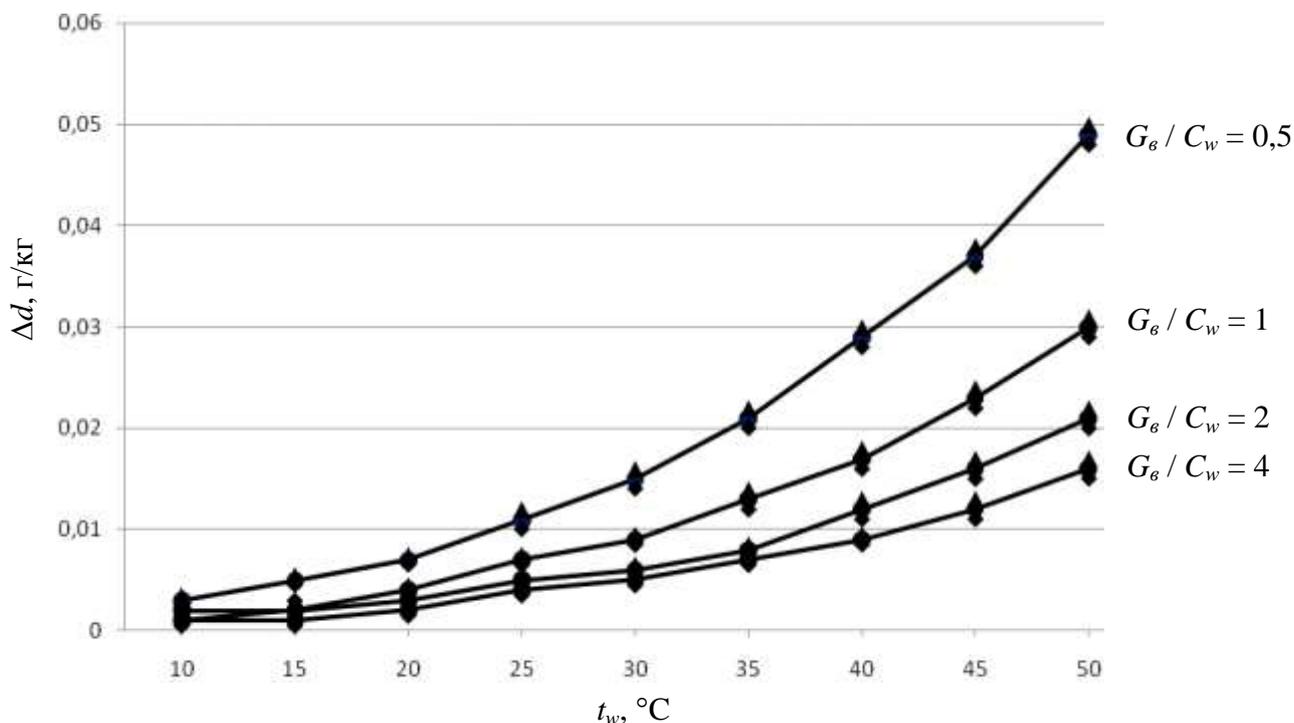


Рисунок 3 – Зависимость приращения влагосодержания воздуха от температуры воды для различных соотношений массовых расходов воздуха и воды G_g / C_w при $d_g = 0,009$ кг/кг

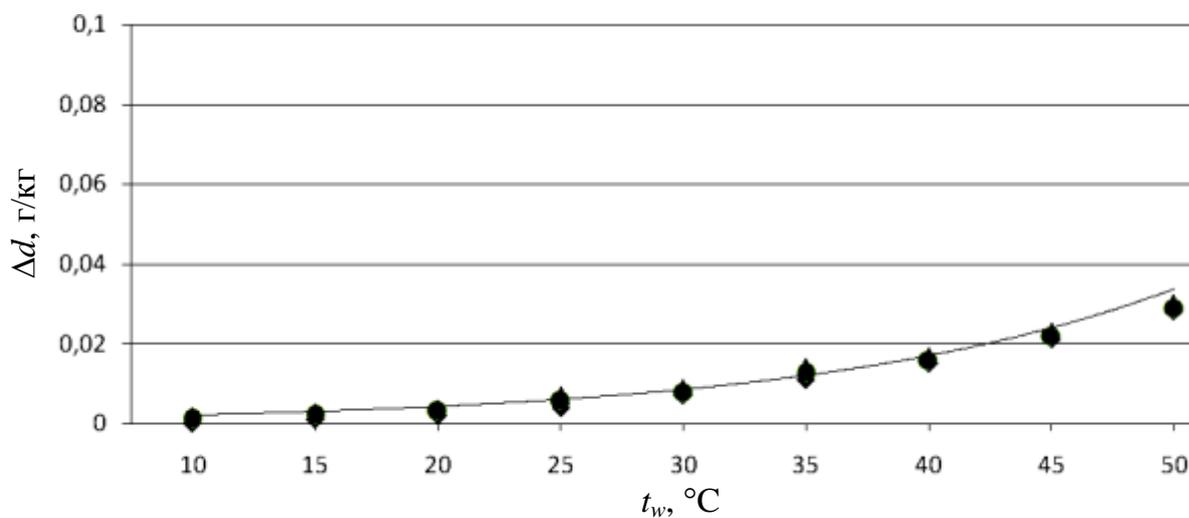


Рисунок 4 – Зависимость приращения влагосодержания воздуха от температуры воды для различных соотношений массовых расходов воздуха и воды G_g / C_w

Согласно рисунку 4, влагосодержание воздуха на входе в увлажнительное устройство составляло 0,009 кг/кг (▲) и 0,003 кг/кг (●).

В случае, когда массовый расход воздуха остается постоянным, а изменяется массовый расход воды (вариант № 2), приращение влагосодержания зависит только от температуры воды (рисунок 4). Это вполне объяснимо, поскольку во всех случаях ($G_g / C_w = 0,5; 1; 2; 4$) количества воды достаточно для увлаж-

нення воздуха. Поэтому для увлажнительных устройств с РН целесообразно использовать дозированную подачу воды.

Список литературы / References:

1. Пищанская Н.А. Экспериментальное исследование регулярных структурированных насадок для увлажнения воздуха / Н.А. Пищанская // Сучасні проблеми холодильної техніки і технології: зб. наук. праць 3-ї міжнар. наук.-техн. конф. – О. – С. 51-56.
Pishchanskaya, N.A. "Experimental study of regular structured packing for air humidification", *Zb. nauk. prats 3-i mizhnar. nauk.-tekhn. konf. "Suchasni problemy kholodilnoi tekhniky i tekhnolohii"*, Odessa, pp. 51-56.
2. Липа А.И. Кондиционирование воздуха. Основы теории. Современные технологии обработки воздуха / А.И. Липа. – О.: ОГЦНТЭИ, 2010. – 608 с.
Lipa, A.I. (2010), *Konditsionirovaniye vozdukha. Osnovy teorii. Sovremennyye tekhnologii obrabotki vozdukha* [Air conditioning. Fundamentals of the theory. Modern technology air treatment], OGTsNTEI, Odessa, Ukraine, 608 p.
3. Дмитриева Г.Б. Гидродинамика и массообмен в структурированных насадках из гофрированных листов / Г.Б. Дмитриева. – Иваново, 2008. – 225 с.
Dmitriyeva, G.B. (2008), *Gidrodinamika i massoobmen v strukturirovannykh nasadkakh iz gofrirovannykh listov* [Hydrodynamics and mass transfer in structured packing of corrugated sheets], Ivanovo, Russia, 225 p.
4. Рябушенко А.С. Гидродинамика и испарительное охлаждение в насадках для градирен / А.С. Рябушенко. – М., 2009. – 207 с.
Riabushenko, A.S. (2009), *Gidrodinamika i ispairitelnoye okhlazhdeniye v nasadkakh dlia gradiren* [Hydrodynamics and evaporative cooling nozzles for cooling towers], Moscow, Russia, 207 p.
5. Пеклов А.А. Кондиционирование воздуха / А.А. Пеклов, Т.А. Степанова. – К.: Высшая школа, 1978. – 328 с.
Peklov, A.A. and Stepanova, T.A. (1978), *Konditsionirovaniye vozdukha* [Air Conditioning], Vysshaya shkola, Kiev, Ukraine, 328 p.

Мета. Оцінити, наскільки повітря, що проходить через зволожувальний пристрій з регулярною насадкою (РН), може сприйняти вологу за різних поєднань температур і масових витрат води і повітря. Для досягнення поставленої мети були проведені аналітичні та експериментальні дослідження роботи зволожувальних пристроїв з РН.

Методика. Як експериментальні зразки вибрані сучасні регулярні насадки (РН): Термотех-Пром / Україна (полімерні матеріали), Бротеп-Еко / Голландія (поліхлорвініл), Мунтерс / Швеція (Glasdek). Температура повітря і води, відповідно, змінювалася в таких діапазонах: $t_g = 10 \div 40^\circ\text{C}$, $t_w = 5 \div 80^\circ\text{C}$. Швидкість повітря варіювалася в межах $v = 0,2 \div 30$ м/с. Зміна відносної вологості $\varphi = 10 \div 89\%$. Для розрахунків були використані рівняння теплового балансу, поняття тепловолісної характеристики вологості процесу.

Результати. Проведені дослідження дозволили встановити, наскільки підвищується вологовміст повітря, що проходить через зволожувальний пристрій, за варіювання параметрів середовищ «вода-повітря».

Наукова новизна. Було встановлено: можливість повітря максимально сприйняти вологу істотно залежить від співвідношення масових витрат води і повітря, температури

які і мало залежить від параметрів (температура і вологовміст) вхідного повітря в зволожувальний пристрій.

Практична значущість. Отримані результати можуть бути використані під час проектування і розробки зволожувальних пристроїв для промислового вживання: це холодильні камери, вирощування грибів, інкубатори, харчові продукти, фрукти і овочі, деревообробні фабрики, тютюнові фабрики, друкарні, фотолабораторії, текстильні фабрики, дозрівання вина, бурові платформи, оранжереї і теплично-парникові господарства, фарбувальні бокси для автомобілів і літаків тощо.

Ключові слова: зволоження повітря, температури повітря, води, співвідношення витрат, приріст вологовмісту повітря.

Objective. To estimate, as far as air, passing through a spray-damping device with regular attachment (PA) can perceive moisture at different combinations of temperatures and mass charges of water and air. For achievement of the put purpose analytical and experimental researches of work of spray-damping devices were conducted with PA.

Methods. As experimental standards modern regular attachments (PA) are chosen: Thermo-*tech* / Ukraine (polymeric materials), *Brotep-Eco* / Holland (polyvinylchloride), *Munters* / Sweden (GLASdek). The temperature of air and water, accordingly, changed in next ranges: $t_a = 10 \div 40^\circ\text{C}$, $t_w = 5 \div 80^\circ\text{C}$. Speed of air was varied within the limits of $v = 0,2 \div 30$ m/p. Change of relative humidity $\varphi = 10 \div 89\%$. For calculations were used equalization of thermal balance, a concept is a heat of humidity description of process.

Results. The conducted researches allowed to set, as far as dryness of air, passing through a spray-damping device rises, at varying of parameters of environments: water-air.

Scientific novelty. It was set following: possibility of air maximally to perceive moisture substantially depends on correlation of mass charges of water and air, temperature of water, and small depends on the parameters (temperature and dryness) of incoming air in a spray-damping device.

Practical value. The got results can be drawn on at planning and development of spray-damping devices for industrial application: coolrooms, growing of mushrooms, incubators, food foods, fruit and vegetables, woodworking factories, tobacco factories, printing-houses, photographic laboratories, textile factories, ripening of wine, borings platforms, hothouses and hothouse-hotbed economies, paint boxings for cars and airplanes etc.

Key words: moistening of air; temperatures of air, waters; correlations of charges; increase of dryness of air.

Рекомендовано к публікації канд. техн. наук,
проф. Кирич О.В.

Дата поступлення рукопису 24.10.2013 г.