

6. *Kaverzina A.S., Mohammad A.A. Proektirovanie vsasyvayushchih truboprovodov gidrosistem mobil'nyh mashin // Zhurnal SFU. Tekhnika i tekhnologii. – 2012. – № 5. – S. 601–606.*
7. *Mohammad A.A., Kulikova N.P., Sorokin E.A. Eksperimental'nyi stend dlya ocenki ehffektivnosti primeneniya mnogohodovogo kalorifera kak sredstva ohlazhdeniya rabochei zhidkosti gidroprivoda // Zhurnal SFU. Tekhnika i tekhnologii. – 2013. – № 7. – S. 845–850.*
8. *Horosh I.A., Horosh A.I. Gidrooborudovanie lesnyh mashin: ucheb. posobie. Ch. 2. – Krasnoyarsk: Izd-vo SibGTU, 2009. – 234 s.*
9. *Horosh I.A. Ispol'zovanie rabochei zhidkosti na osnove rapsovogo masla v gidravlicheskih sistemah // Transportnye sistemy Sibiri. Problemy bezopasnosti: sb. nauch. tr. Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem (Krasnoyarsk, 17–19 okt. 2013 g.) / pod obshch. red. V.V. Minina. – Krasnoyarsk: Izd-vo SFU, 2013. – S. 255–262.*
10. *Horosh I.A. Teoreticheskie issledovaniya dinamicheskikh nagruzok v gidroprivode mekhanizma povorota // Resursosberegayushchie tekhnologii mekhanizacii sel'skogo hozyajstva: pril. k Vestniku KrasGAU: sb. st. – Krasnoyarsk: Izd-vo KrasGAU, 2003. – S. 74–78.*



УДК 697.956

*И.В. Калинин, Г.В. Смольников*

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА ОБЩЕОБМЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ В ПОМЕЩЕНИЯХ С ВЫДЕЛЕНИЕМ ВОДЯНЫХ ПАРОВ**

*Данная статья посвящена вопросам расчёта общеобменной вентиляции в помещениях с влаговыделениями. Целью работы являлось совершенствование методики определения параметров воздуха и воздухообмена в помещениях с выделением водяных паров. Приводится описание методики расчёта и обработки результатов исследований. В ходе работы были определены недостатки известного графо-аналитического метода расчёта с использованием I-d-диаграммы воздуха, к основным из которых относятся: низкая точность результатов, невозможность алгоритмизации и использования компьютерных методов для расчёта. В результате исследования была разработана аналитическая методика определения параметров воздуха и воздухообмена в помещениях с выделением водяных паров, включающая в себя полученные аналитические зависимости, которые более точно позволяют производить расчёт систем общеобменной вентиляции и алгоритмизировать расчёты для дальнейших вычислений с использованием компьютера.*

**Ключевые слова:** *общеобменная вентиляция, методика расчёта, выделение водяных паров, влагосодержание, воздухообмен, относительная влажность.*

*I.V. Kalinich, G.V. Smolnikov*

### **IMPROVEMENT OF CALCULATING APPROACH FOR GENERAL VENTILATION IN FACILITIES AFFECTED BY VAPOURING WATER**

*Present article is devoted to issues connected with calculating general ventilation in buildings affected by vapouring moisture. The aim is to improve the methods of determining the parameters of air and air exchange in rooms with the release of water vapor. The description of calculating techniques and analysis of research observations has been presented. In the course of research shortcomings of known graph-analytical method of calculation with use of I-d-chart were identified, to basic of which belong: low accuracy of the results, inability to use algorithms and computer methods for calculating. As a result of the*

research the analytical technique of determination of parameters of air and air exchange in rooms with release of water vapor was developed including the received analytical dependences which allow to make calculation of systems of general ventilation more precisely and use algorithmization calculations for further calculations with use of the computer.

**Key words:** general ventilation, calculating approach, vaporization of water, moisture content, air exchange, relative humidity.

**Введение.** В помещениях с выделением водяных паров величина необходимого воздухообмена определяется из условий ассимиляции влагоизбытков. Главную трудность при этом представляет определение влагосодержания уходящего из помещения воздуха –  $d_{yx}$ . Это связано с необходимостью выбора определённых параметров уходящего из помещения воздуха, а именно таких, при которых не происходила бы конденсация водяных паров на внутренних поверхностях ограждающих конструкций.

**Цель исследований.** Совершенствование методики определения параметров воздуха и воздухообмена в помещениях с выделением водяных паров.

**Задачи исследований.** Определение недостатков известной методики расчёта; получение аналитической методики для более точного расчёта.

**Методология.** В настоящее время расчет условия недопущения конденсации водяных паров на внутренних поверхностях ограждающих конструкций предлагается выполнять графо-аналитическим методом, используя I-d-диаграммы воздуха путем последовательных приближений [1]. Главными недостатками данного метода являются низкая точность результатов расчета, невозможность алгоритмизации, а также использования компьютерных методов для расчета.

Для избежания конденсации водяных паров на внутренней поверхности ограждающих конструкций в местах размещения вытяжных устройств, согласно рекомендациям работы [1], температура внутренней поверхности ограждения  $t_в$  должна быть выше температуры точки росы уходящего воздуха на  $\Delta t^p = 1-2^\circ\text{C}$ . Тогда условие предотвращения конденсации водяных паров запишется следующим образом:

$$\tau_в = t_{yx}^p + \Delta t^p, \quad (1)$$

где  $t_{yx}^p$  – температура точки росы удаляемого воздуха,  $^\circ\text{C}$ .

Учитывая уравнение теплообмена на поверхности ограждающей конструкции

$$\frac{t_{yx} - t_n}{R_0} = \alpha_в \cdot (t_{yx} - \tau_в) \quad (2)$$

и выражение (1), первое условие предотвращения конденсации водяных паров на внутренних поверхностях ограждающих конструкций можно записать в виде

$$t_{yx}^p + \Delta t^p = t_{yx} - \frac{t_{yx} + t_n}{R_0 \cdot \alpha_в}, \quad (3)$$

где  $t_n, t_{yx}$  – температура наружного и удаляемого воздуха,  $^\circ\text{C}$ ;

$R_0$  – сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции,  $(\text{m}^2\text{C})/\text{Вт}$ ;

$\alpha_в$  – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/(\text{m}^2\text{C})$ .

Из уравнения энтальпии водяных паров

$$I_{\text{вп}} = (2,6 \cdot 10^6 + 1800 \cdot t) \cdot d \quad (4)$$

можно выразить изменение энтальпии водяного пара при одновременном изменении температуры от температуры внутреннего воздуха  $t_{\text{вн}}$  до температуры удаляемого воздуха  $t_{\text{yx}}$  и влагосодержания – от влагосодержания внутреннего воздуха  $d_{\text{вн}}$  до влагосодержания удаляемого воздуха  $d_{\text{yx}}$  как

$$\Delta I_{\text{вп}} = I_{\text{yx}} - I_{\text{вн}} = 2500 \cdot 10^3 \cdot (d_{\text{yx}} - d_{\text{вн}}) + 1,8 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{d_{\text{yx}} \cdot t_{\text{yx}}}{t_{\text{вн}} - d_{\text{вн}}} \right) \cdot t_{\text{вн}}. \quad (5)$$

Полученное слагаемое можно упростить, полагая, что  $t_{\text{yx}} = t_{\text{вн}}$  и  $t_{\text{yx}}/t_{\text{вн}} = 1$ , и принимая во внимание то, что его величина мала по сравнению с первым слагаемым. После преобразования получаем

$$\Delta I_{\text{вп}} = (2500 + 1,8 \cdot t_{\text{yx}}) \cdot (d_{\text{yx}} - d_{\text{вн}}) \cdot 10^3. \quad (6)$$

Обозначим отношение потока явной теплоты  $Q$ , поступающей в помещение (включая также теплоту остывания водяных паров до температуры окружающего воздуха), к потоку скрытой теплоты  $Q^c$  через параметрический критерий  $V$  [2]

$$V = \frac{Q}{Q^c}. \quad (7)$$

Изменение энтальпии сухой части воздуха выражается уравнением

$$\Delta I_{\text{ст}} = c_{\text{ст}} \cdot (t_{\text{yx}} - t_{\text{ст}}), \quad (8)$$

где  $c_{\text{ст}}$  – удельная теплоемкость влажного воздуха, Дж/(кг °С).

Тогда учитывая уравнения (3) и (4), а также принимая  $c_{\text{ст}} = 1005$  Дж/(кг °С), параметрический критерий можно выразить отношением

$$V = \frac{(t_{\text{yx}} - t_{\text{вн}})}{(2500 + 1,8 \cdot t_{\text{вн}}) \cdot (d_{\text{yx}} - d_{\text{вн}})}. \quad (9)$$

Влагосодержание уходящего из помещения воздуха можно выразить через парциальное давление насыщенных водяных паров  $P_{\text{yx}}^p$  при температуре точки росы уходящего воздуха  $t_{\text{yx}}^p$  по известной формуле [3]

$$d_{\text{yx}} = 0,623 \cdot \frac{P_{\text{yx}}^p}{P_6 - P_{\text{yx}}^p}, \quad (10)$$

где  $P_6$  – барометрическое давление, Па.

Предел изменения температуры точки росы внутреннего воздуха – от 10 до 30°С. В этих пределах зависимость парциального давления насыщенных водяных паров от температуры с точностью 1,5 % может быть выражена полученным автором уравнением

$$P = 110 \cdot t + 90. \quad (11)$$

Преобразовав формулу (10) с учётом полученного соотношения (11), получаем

$$d_{yx} = 0,623 \frac{110 \cdot t_{yx}^p + 90}{P_6 - 110 \cdot t_{yx}^p - 90}. \quad (12)$$

Таким образом, параметры уходящего из помещения воздуха описываются системой уравнений (3), (9) и (12), в которой обозначим

$$x_1 = t_{yx}; \quad x_2 = t_{yx}^p; \quad x_3 = d_{yx}.$$

После упрощения получили

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 - x_3 \cdot (2500 \cdot V + 1,8 \cdot t_{\text{вн}} \cdot V) + (2500 \cdot V \cdot d_{\text{вн}} + 1,8 \cdot t_{\text{вн}} \cdot V \cdot d_{\text{вн}} - t_{\text{вн}}) = 0 \\ x_1 \cdot \left(1 - \frac{1}{\alpha_6 \cdot R_0}\right) - x_2 + \left(\frac{t_{\text{н}}}{\alpha_6 \cdot R_0} - \Delta t^p\right) \\ x_3 \cdot (P_6 - 90) - 110 \cdot x_2 \cdot x_3 - 66,5 \cdot x_2 - 56,1 = 0. \end{array} \right. \quad (13)$$

По СНиП 23-02-2003, принимаем  $\alpha_6 = 8,7 \text{ Вт/ ( м}^2\text{°С)}$  [4] и обозначим через:

$$K_1 = (2500 + 1,8 \cdot t_{\text{вн}}) \cdot V;$$

$$K_2 = K_1 \cdot d_{\text{вн}} - t_{\text{вн}};$$

$$K_3 = 1 - \frac{0,115}{R_0};$$

$$K_4 = 0,115 \cdot \frac{t_{\text{н}}}{R_0};$$

$$K_5 = P_6 - 90;$$

$$K_6 = K_4 - K_2 \cdot K_3.$$

Подставив новые обозначения в систему уравнений (13) и решая ее относительно  $x_3$ , после преобразований получаем

$$x_3^2 \cdot K_1 \cdot K_2 + x_3 \cdot (K_6 + 0,623 \cdot K_6 + 0,623 \cdot K_1 \cdot K_3 - 9,1 \cdot 10^{-3} \cdot K_5) + 0,623 \cdot K_6 + 0,51 = 0. \quad (14)$$

Обозначив в уравнении (14):

$$a = K_1 \cdot K_2;$$

$$b = K_6 + 0,623 \cdot K_1 \cdot K_3 - 9,1 \cdot 10^{-3} \cdot K_5;$$

$$c = 0,623 \cdot K_6 + 0,51,$$

получим квадратное уравнение вида

$$ax_3^2 + bx_3 + c = 0. \quad (15)$$

Решением данного квадратного уравнения являются два корня

$$d_{yx} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}. \quad (16)$$

При использовании данного метода для практических расчетов необходимого воздухообмена видно, что искомой величиной влагосодержания уходящего воздуха является положительное значение, отвечающее условию  $d > 0,03 \text{ кг/кг сух. возд.}$

Другие параметры воздушной среды в помещениях с выделением водяных паров определяются по следующим зависимостям:

температура уходящего воздуха

$$t_{yx} = d_{yx} \cdot K_1 - K_2; \quad (17)$$

температура точки росы уходящего воздуха

$$t_{yx}^p = t_{yx} \cdot K_3 + K_4; \quad (18)$$

влажность приточного воздуха

$$d_{yx} = 0,623 \cdot \frac{\varphi_n \cdot P_n}{P_0 - \varphi_n P_n}, \quad (19)$$

где  $\varphi_n$  – относительная влажность наружного воздуха, %;

$P_n$  – парциальное давление насыщенных водяных паров при температуре наружного воздуха, Па.

Величина необходимого для ассимиляции влагоизбытков воздухообмена определяется по формуле

$$G_{пр} = \frac{m \cdot G_{вл}}{d_{yx} - d_{пр}}. \quad (20)$$

где  $m$  – коэффициент, учитывающий долю влаги, поступающей в рабочую зону;

$G_{вл}$  – количество водяных паров, поступающих в воздух помещения, кг/ч.

**Заключение.** Таким образом, разработанная методика определения параметров воздуха и воздухообмена в помещениях с выделением водяных паров позволяет более точно производить расчеты систем вентиляции и алгоритмизировать расчеты для использования компьютера.

### Литература

1. Внутренние санитарно-технические устройства: справ. проектировщика. Ч. 3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1. / под ред. *Н.Н.Павлова и Ю.И. Шиллера*. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1992. – 416 с.
2. *Кутателадзе С.С.* Основы теории теплообмена. – Изд. 5-е, перераб. и доп. – М.: Атомиздат, 1979. – 416 с.
3. *Льков А.В.* Тепломассообмен: справ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 490 с.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – М., 2003.

### Literatura

1. Vnutrennie sanitarno-tekhnicheskie ustrojstva: sprav. proektirovshchika. Ch. 3. Ventilyaciya i kondicionirovanie vozduha. Kn. 1. / pod red. *N.N.Pavlova i Yu.I. Shillera*. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Strojizdat, 1992. – 416 s.
2. *Kutateladze S.S.* Osnovy teorii teploobmena. — Izd. 5-e, pererab. i dop. – М.: Atomizdat, 1979. – 416 s.
3. *Lykov A.V.* Teplomassoobmen: sprav. – 2-e izd., pererab. i dop. – М.: Ehnergiya, 1978. – 490 s.
4. SNiP 23-02-2003. Teplovaya zashchita zdanii. – М., 2003.

