

5-mavzu. Bug' hosil bo'lish termodinamika jarayonlari

Reja:

1. *Suv bug'i va uning asosiy xususiyatlari.*
2. *Bug' holati o'zgarish diagrammalari. Suv bug'i uchun "PV" va "TS" diagrammalari.*
3. *Nam havoning xususiyatlari. Nam havoning gaz doimiysi va entalpiyasi.*
4. *Nam havo uchun "h d" diagramma. Nam havo holat ko'rsatkichlari.*

1. Suv bug'i va uning asosiy xususiyatlari

Suv bug'lari sanoatning turli sohalarida juda keng tarqalgan. Issiqlik va atom elektr stantsiyalarining bug' elektr stantsiyalarida ishchi suyuqlik sifatida, turli xil issiqlik almashinuvchilari va texnologik jarayonlarda sovutish suvi sifatida ishlatiladi. Eslatib o'tamiz, bug' va haqiqiy gaz o'rtasida fundamental farq yo'q.

Suyuqlikni bug'ga aylantirish jarayoni bug'lanish deb ataladi. Bug'lanish suyuqliklarning bug'lanishi va qaynashi jarayonida sodir bo'ladi.

Bug'lanish bug'lanish deb ataladi, u faqat suyuqlikning erkin yuzasidan har qanday haroratda sodir bo'ladi. Bug'lanish tezligi suyuqlikning tabiatiga va haroratga bog'liq. Bug'lanish jarayonida suyuqlikning harorati pasayadi, chunki eng tez molekulalar uni tark etadi va qolgan molekulalarning o'rtacha kinetik energiyasi kamayadi.

Qaynatish. Issiqlik suyuqlikka o'tkazilganda, uning harorati va bug'lanish tezligi ortadi. Suyuqlikning tabiatiga va u joylashgan bosimga qarab ma'lum bir aniq belgilangan haroratda (to'yinganlik yoki qaynash nuqtasi t_s), bug'lanish uning butun massasida sodir bo'ladi. Bug' pufakchalari idishning devorlarida, so'ngra suyuqlik ichida shakllana boshlaydi. Bu hodisa suyuqlik qaynashi deb ataladi. Suyuqlikda erimagan gazlarning qo'shilishi, kichik qattiq zarralar, tomir devorlaridagi chuqurliklar va tirlangan joylar bug' pufakchalarini hosil qilish uchun markaz bo'lib xizmat qilishi mumkin. Chiqib ketayotgan bug' pufakchasi undagi

suyuqlikning bug'lanishi tufayli hajmini oshiradi. Natijada, uning ko'tarish kuchi ortadi va ma'lum bir diametrga yetganda, u devordan ajralib chiqadi va suyuqlik hajmidan bug' bo'shlig'iga o'tadi.

Uning hosil bo'lgan joyida bug' yadrosi qoladi, unda suyuqlik yana bug'lanadi va butun jarayon takrorlanadi. $P = \text{const}$ da suyuqlik qaynashi $T = \text{const}$ da sodir bo'ladi. Bosim ortishi bilan qaynash nuqtasi ham ortadi. Bosim va qaynash nuqtasi to'yinganlik bosimi p va to'yinganlik harorati t_s deb ataladi.

Kondensatsiya. Bug'ni suyuqlikka aylantirish jarayoni, undan issiqlik chiqarilganda amalga oshiriladigan va bug'lanishning teskari jarayoni kondensatsiya deb ataladi. Bu jarayon qaynash kabi, agar $p = \text{const}$ bo'lsa, $T = \text{const}$ da sodir bo'ladi. Kondensatsiya jarayonining harorati (to'yinganlik haroratiga teng) kondensatsiya harorati deb ataladi. Shunday qilib, bir xil bosimdagi suyuqlik uchun qaynash va kondensatsiya bir xil haroratda - to'yinganlik haroratida davom etadi. Kondensatsiya jarayonida hosil bo'lgan suyuqlik **kondensat** deb ataladi.

To'yingan bug'. Suyuqlik cheklangan bo'shliqqa bug'langanda, teskari hodisa ham sodir bo'ladi, ya'ni. bug' molekulalarining bir qismi suyuqlikka qaytib kelishi natijasida yuzaga keladigan kondensatsiya jarayoni. Suyuqlik ustidagi bo'shliq bug' bilan to'ldirilganligi sababli, bug'lanish intensivligi pasayadi va molekulalarning bug' bo'shlig'idan suyuqlikka qaytish intensivligi ortadi. Bir nuqtada, kondensatsiya tezligi bug'lanish tezligiga teng bo'lganda, tizimda dinamik muvozanat paydo bo'ladi. Bu holatda suyuqlikdan chiqadigan molekulalar soni unga qaytib keladigan molekulalar soniga teng bo'ladi. Bu holatdagi bug' mavjud bug' hajmini "to'yintiradi", maksimal zichlikka ega va to'yingan deb ataladi.

Shuning uchun to'yingan bug' u hosil bo'lgan suyuqlik bilan dinamik muvozanatda ekanligi tushuniladi. $P = \text{const}$ va $T = \text{const}$ da to'yingan bug'ning hajmining oshishi bilan ma'lum miqdordagi suyuqlik bug'ga o'tadi, bir xil sharoitlarda hajmning pasayishi bilan bug'ning suyuqlikka o'tishi sodir bo'ladi.

Agar qaynayotganda barcha suyuqlik doimiy harorat va bosimni saqlab turgan holda bug`ga aylansa, bunday bug` quruq to`yingan bug` deyiladi. Quruq bug'ning hajmi va harorati bosim funksiyasidir. Shuning uchun quruq bug'ning holati bitta parametr - bosim yoki harorat bilan belgilanadi.

Suyuqlikning to'liq bug'lanishi natijasida hosil bo'lgan ho'l **to'yingan bug'** bu quruq bug'ning suyuqlikning eng kichik tomchilari bilan aralashmasi bo'lib, uning massasi bo'ylab teng ravishda taqsimlanadi va unda to'xtatilgan holatda.

Quruq bug'ning nam bug'dagi massa ulushi **quruqlik darajasi** deb ataladi va x bilan belgilanadi.

$$x = \frac{M''}{M'' + M'} \quad (5.1)$$

bu yerda M'' - nam bug'dagi quruq to'yingan bug'ning massasi;

M' - nam bug'dagi to'yingan suyuqlik massasi.

Suyuqlikning nam bug'dagi massa ulushi **namlik darajasi** deb ataladi va $y = M' / (M'' + M')$ bilan belgilanadi. Shubhasiz $y = 1 - x$. Quruq bug 'uchun $x = 1$, suv (suyuqlik) uchun $x = 0$. Bug'lanish jarayonida x asta-sekin 0 dan 1 gacha ko'tariladi.

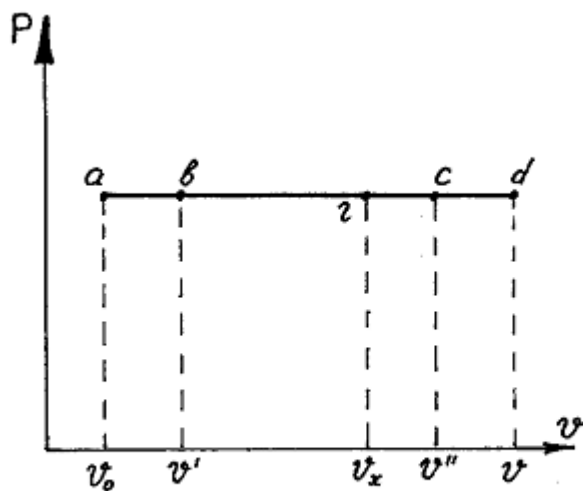
Nam to'yingan bug'ning holati ikki miqdor - bosim (yoki harorat) va quruqlik darajasi bilan belgilanadi.

O'ta qizdirilgan bug'. Quruq bug' $p = \text{const}$ da qizdirilsa, uning harorati ortadi. Ushbu jarayonda hosil bo'lgan bug' o'ta qizdirilgan deb ataladi. Shunday qilib, o'ta qizib ketgan bug' deb, uning harorati to'yingan bug'ning haroratidan yuqori bo'lgan bug' tushuniladi. To'yingan bug'ning harorati faqat bitta bosimning funksiyasidir, o'ta qizib ketgan bug' bosim va hajmga bog'liq bo'lgan haroratga ega. O'ta qizib ketgan bug'ning harorati va to'yingan bug'ning bir xil bosimdagi harorati o'rtasidagi farq o'ta qizib ketish darajasi deb ataladi. O'ta qizdirilgan bug'ning o'ziga xos hajmi bir xil bosimdagi to'yingan bug'ning o'ziga xos hajmidan

katta bo'lganligi sababli, qizdirilgan bug'ning birlik hajmi to'yingan bug'ning birlik hajmiga qaraganda kamroq molekulalarni o'z ichiga oladi. Natijada, qizib ketgan bug' to'yinmagan va mos keladigan to'yingan bug'dan pastroq zichlikka ega.

2. Bug' holati o'zgarish diagrammalari. Suv bug'i uchun "Pv" va "TS" diagrammalari. Bug'ning entalpiya va entropiasi.

Sanoat va issiqlik energiyasi ehtiyojlari uchun suv bug'ini ishlab chiqarish doimiy bosimdagi bug' qozonlarida amalga oshiriladi. Doimiy bosimda o'ta qizib ketgan bug'ning hosil bo'lish jarayoni ketma-ket uchta jarayondan iborat: suyuqlikni qaynash (to'yinganlik) ga qadar qizdirish, doimiy haroratda bug'lanish va bug'ning harorati ko'tarilganda sodir bo'ladigan o'ta qizib ketish. Bu jarayonning Pv koordinatalaridagi grafigi ad chiziq bo'ladi (1-rasm).

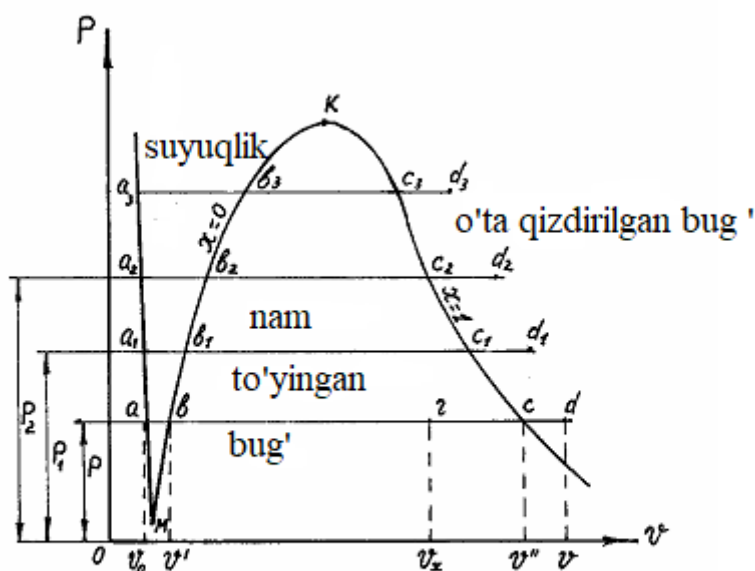


1-rasm. Suv bug'i uchun "Pv"- diagrammasi.

Bu chiziqning segmentlari ab - suyuqlikning $0^\circ C$ dan qaynash nuqtasiga (to'yinganlik) isishi, quyosh - bug'lanish va cd - o'ta qizib ketishga mos keladi. Shunday qilib, bug'lanish chizig'ida nuqtalar materiyaning quyidagi holatlariga mos keladi. A nuqtasi $0^\circ C$ da suv, a nuqtaning parametrlari v_0 va $t_0 = 0^\circ C$ bilan belgilanadi. Ichidagi nuqta - qaynash nuqtasidagi suv (to'yinganlik), nuqtaning parametrlari v' va t_s ni belgilaymiz. c nuqtasi - quruq to'yingan bug', c nuqtaning

parametrlari v'' va t_s bilan belgilanadi. **D** nuqtasi - o'ta qizigan bug, **d** nuqtaning parametrlari v va t bilan belgilanadi. Agar z va **c** nuqtalar orasidagi har qanday z nuqtani olsak, u holda olingan nuqtalarning istalgani nam to'yingan bug'ga mos keladi. **Γ** nuqtasi - nam to'yingan bug', z nuqtaning parametrlari v_x va t_s bilan belgilanadi.

Bug'lanish jarayonining grafigi quyidagi jarayonlardan iborat: **ab** - suvni isitish izobarini 0°C dan t_s gacha; quyosh - $t_s = \text{const}$ da ham izobar, ham izoterm bo'lib, bug'lanishning haqiqiy jarayonini, ya'ni suyuqlikning qaynash jarayonini ifodalaydi; **cd** - bug'ning haddan tashqari qizib ketishining izobaridir, u endi izoterma emas, chunki **cd** kesimida harorat t_s dan t gacha ortadi.



2-rasm. Suv bug'i uchun "Pv" diagrammasi

Agar bug'lanish jarayoni p_1 , p_2 va hokazo yuqori bosimlarda amalga oshirilsa. (2-rasm), keyin yuqori bosimlarda suvning hajmi v_0 amalda o'zgarmaydi (aniqroq aytganda, u juda oz kamayadi). Ovoz balandligi v' ortadi va v'' hajmi kamayadi. Shuning uchun, bosim ortishi bilan **a** va **b** nuqtalari oralig'i bir-biridan uzoqlashadi, va **b** va **c** nuqtalari bir-biriga yaqinlashadi. Turli bosimdagi izobarlarda yotgan bir xil nomdagi nuqtalarni birlashtirib, quyidagi chiziqlarni olamiz:

aa₁a₂...- nol izoterm бўлиб суyuqlikning 0 °C holatini tavsiflovchisidir; **bb₁b₂...**- суyuqlikning to'yingan (qaynayotgan) haroratdagi holatini tavsiflovchi to'yingan суyuqlik chizig'i yoki boshqacha aytganda, pastki chegara egri chizig'i; **cc₁c₂ ...** - quruq to'yingan bug'ning chizig'i yoki, - yuqori chegara egri chizig'i.

Har bir modda uchun o'ziga xos bo'lgan ba'zi bosimlarda chegara egri chiziqlari **k** nuqtada yaqinlashadi, bu **kritik nuqta** deb ataladi. **K** nuqtasi bir vaqtning o'zida pastki va yuqori chegara egri chiziqlariga tegishli, ya'ni **t_s** va quruq bug'dagi суyuqlik chiziqlari va moddaning ma'lum bir cheklovchi kritik holatiga to'g'ri keladi, bunda суyuqlik va bug' o'rtasida farq yo'q. Ushbu holatdagi moddaning parametrlari kritik deyiladi va **p_{KR}**, **v_{KR}** va **t_{CR}** bilan belgilanadi. Suv uchun kritik parametrlar: **p_{KR} = 221,15 bar**, **t_{KR} = 374,12 °C** va **v_{KR} = 0,003147 m³/kg**.

Chegaraviy egri chiziqlar **p**, **v** - diagrammani uchta mintaqaga ajratadi. Pastki chegara egri chizig'ining chap tomonida суyuqlik mintaqasi, yuqori va pastki chegara egri chiziqlari orasida nam to'yingan bug' hududi, o'ng va yuqori chegara egri chizig'idan yuqorida o'ta qizib ketgan bug' mintaqasi joylashgan. Shuni esda tutish kerakki, quruq bug'ning maydoni yo'q, faqat quruq bug'ning chizig'i bor - bu yuqori chegara egri chizig'i.

Parametrlarni hisoblash. Avval to'yingan суyuqlikning parametrlarini topamiz. To'yingan суyuqlikning parametrlari ko'rsatilgan: **v'**, **u'**, **h'**, **s'** va boshqalar. 0 °C da suv parametrlari belgilanadi: **v₀**, **u₀**, **h₀**, **s₀** va boshqalar. O'zgarmas bosimda **1 kg**

суyuqlikning haroratini 0 ° C dan **t_s** gacha ko'tarish uchun unga berilishi kerak bo'lgan issiqlik miqdori суyuqlikning issiqligi deb ataladi va **q'** bilan belgilanadi.

Texnik hisob-kitoblar uchun yetarli aniqlik bilan suv uchun: **h₀ = 0**, **u₀ = 0** va **s₀ = 0** ni oling.

Suyuqlikning issiqligini formulalardan topish mumkin

$$q' = c_{o'r}(t_s - t_0), \quad (5.2)$$

$$\text{yoki} \quad q' = c_{o'r} t_s, \quad (5.3)$$

bu erda $c_{o'r} - 0$ °C dan t_s °C gacha bo'lgan harorat oralig'ida suvning o'rtacha issiqlik sig'imi.

Izobarik jarayonda $q = h_2 - h_1$ bo'lgani uchun, suvni isitish uchun biz olamiz $q' = h' - h_0$, va $h_0 = 0$ ekan, u holda

$$q' = h'. \quad (5.4)$$

Termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra

$$q' = u' - u_0 + p(v' - v_0). \quad (5.5)$$

$u_0 = 0$ bo'lgani uchun va $p(v' - v_0)$ qiymati uning kichikligi tufayli e'tibordan chetda qolishi mumkinligi sababli, biz (5.4) ni hisobga olgan holda olamiz.

$$q' = u' = h'. \quad (5.6)$$

Entalpiyaning umumiy ifodasidan $h' = u' + pv'$ quyidagicha:

$$u' = h' - pv'. \quad (5.7)$$

Suyuqlik qizdirilganda entropiya o'zgarishi

$$\Delta s = s' - s_0 = \int_{273}^{T_s} \frac{dq}{T} = \int_{273}^{T_s} c_{o'r} \frac{dT}{T} = c_{o'r} \ln \frac{T_s}{273}. \quad (5.6)$$

$s_0 = 0$ bo'lgani uchun (5.6) dan kelib chiqadi:

$$s' = c_{o'r} \ln \frac{T_s}{273}, \quad (5.7)$$

Bu erda T_s - Kelvin shkalasi bo'yicha to'yinganlik harorati.

v' , s' , h' qiymatlari jadvallarda keltirilgan, ular quyida muhokama qilinadi.

Quruq to'yingan bug'ning parametrlari. Quruq to'yingan bug'ning parametrlari quyidagicha belgilanadi: v'' , u'' , h'' , s'' .

1 kg to'yingan suyuqlikni doimiy bosimda quruq to'yingan bug`ga aylantirish uchun unga berilishi kerak bo`lgan issiqlik miqdori bug`lanish issiqligi deyiladi va r harfi bilan belgilanadi.

Termodinamikaning birinchi qonuniga muvofiq bug'lanish issiqligi r ichki energiyani o'zgartirishga va hajmni o'zgartirish ishiga sarflanadi. Birinchi tashkil etuvchisi ρ **bug'lanishning ichki issiqligi** deyiladi. U molekular orasidagi tortishish kuchlarini yengish uchun sarflanadi (parchalanish ishi - molekularning ajralishi) $\rho = u'' - u'$. Ikkinchi tashkil etuvchi ψ **bug'lanishning tashqi issiqligi** deyiladi. Ovozni v' dan v'' ga o'zgartirishga sarflanadi. $\psi = \rho(v'' - v')$.

Demak,

$$r = \rho + \psi = u'' - u' + \rho(v'' - v'). \quad (5.8)$$

Bug'lanish (qaynatish) jarayoni izobarik bo'lgani uchun r entalpiyalar farqiga teng bo'ladi:

$$r = h'' - h', \quad (5.9)$$

shuning uchun quruq to'yingan bug'ning entalpiyasi

$$h'' = r + h'. \quad (5.10)$$

$h'' = u'' + pv''$ ekan, demak

$$u'' = h'' - pv''. \quad (5.11)$$

Bug'lanish jarayonida entropiya o'zgaradi

$$s'' - s' = \int_{x=0}^{x=1} \frac{rdx}{T_s} = \frac{r}{T_s} \int_{x=0}^{x=1} dx = \frac{r}{T_s}. \quad (5.12)$$

(5.12) ifodadan quruq bug'ning entropiyasini topamiz

$$s'' = s' + \frac{r}{T_s}. \quad (5.13)$$

v'' , h'' , s'' va r ning qiymatlari jadvallarda keltirilgan.

Nam to'yingan bug' parametrlari. Nam bug'ning parametrlari ko'rsatilgan:

v_x, h_x, u_x, s_x . Ham bug'ning solishtirma hajmi quyidagi tenglama bilan hisoblanadi

$$v_x = v''x + v'(1-x), \quad (5.14)$$

bu yerda $v''x$ - 1 kg ham holatda bug'ning tarkibidagi quruq bug'ning egallagan hajmi;

$v'(1-x)$ - 1 kg nam bug'da to'yingan suyuqlik egallagan hajm.

Formula (5.14) quyidagicha yozilishi mumkin

$$v_x = v' + (v'' - v')x. \quad (5.15)$$

2-rasmdan kesmalar nisbatini quyidagicha qo'rish mumkin $z/bc = (v_x - v')/(v'' - v') = x$. Keyin $z/bc = x$. Demak, $p-v$ diagrammadagi z nuqtaning holatidan x ni topish mumki. Bu holatni hisobga olib, $p-v$ va Ts diagrammalarida doimiy quruqlik darajasidagi chiziqlar chiziladi.

Termodinamik funktsiyalarning qo'shimchalilik xususiyatiga asoslanib, xususiy hajmga o'xshab, nam to'yingan bug'ning u_x, h_x va s_x ifodasini topish mumkin.

Nam bug'ning ichki energiyasi

$$u_x = u' + (u'' - u')x. \quad (5.16)$$

Nam bug' entalpiyasi

$$h_x = h' + (h'' - h')x = h' + rx. \quad (5.17)$$

Nam bug'ning entropiyasi

$$s_x = s' + (s'' - s')x. \quad (5.18)$$

Chunki $s'' - s' = r/T_s$, demak

$$s_x = s' + \frac{rx}{T_s}. \quad (5.19)$$

Haddan tashqari qizib ketgan bug' parametrlari. Haddan tashqari qizdirilgan bug' parametrlari quyidagilarni anglatadi: v, h, u, s . 1 kg quruq to'yingan bug'ni $p = \text{const}$ da ma'lum T_p haroratli o'ta qizigan bug'ga aylantirish

uchun berilishi kerak bo'lgan issiqlik miqdori **o'ta qizib ketish issiqligi** deb ataladi va q_p bilan belgilanadi.

$$q_p = c_{o'r} (T_p - T_s) = h - h'', \quad (5.20)$$

bu erda $c_{o'r} - T_s$ dan T_p gacha bo'lgan harorat oralig'ida o'ta qizib ketgan bug'ning o'rtacha issiqlik sig'imi.

O'ta qizib ketgan bug'ning entalpiyasi, ichki energiyasi va entropiyasi quyidagi ifodalardan topiladi:

$$h = h'' + c_{o'r} (T_p - T_s), \quad (5.21)$$

$$u = h - p\nu, \quad (5.22)$$

$$s = s'' + c_{o'r} \ln \frac{T_p}{T_s}. \quad (5.23)$$

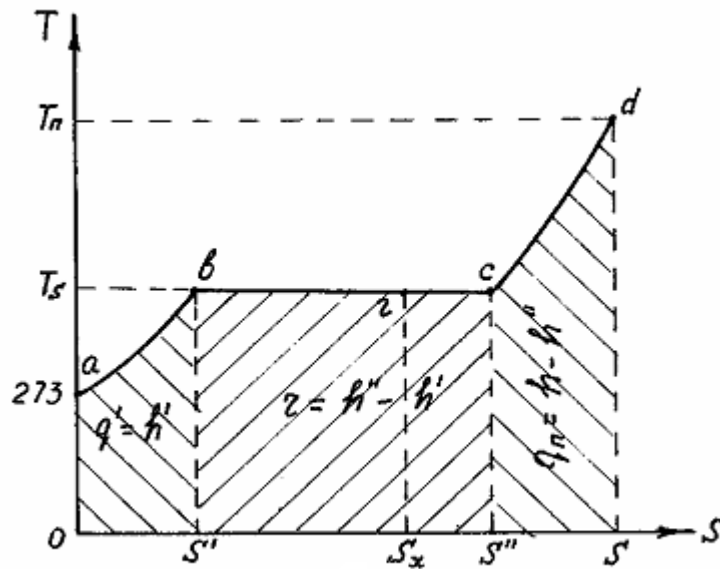
Jadvallarda haddan tashqari qizib ketgan bug'ning ν , h , s parametrlari keltirilgan.

Bug' uchun, bug'ning jadvallarda T_s va h s-diagrammalari. Bug' uchun holat tenglamalarining murakkabligi tufayli ular amal qilmaydi. Amaliy maqsadlarda termodinamik holat parametrlari jadvallari qo'llaniladi. To'yingan suyuqlik va quruq to'yingan bug'ning termofizik xususiyatlarini aniqlash uchun ikkita jadval tuziladi, ya'ni. ularga quyidagilar kiradi: t_s , p_s , ν' , ν'' , h' , h'' , r , s' , s'' . Ushbu jadvallarning birinchisida harorat mustaqil o'zgaruvchi sifatida, ikkinchisida esa bosim ishlatiladi.

Uchinchi jadvalda bosim va haroratning keng diapazonida to'yingan haroratgacha to'liq sovutilgan suv va o'ta qizdirilgan bug' uchun ν , h va s ko'rsatilgan.

Nam bug' parametrlarini jadvallardan olingan to'yingan suyuqlik va quruq bug' parametrlari yordamida yuqoridagi formulalar bo'yicha hisoblash mumkin.

T_s -suv bug'ining diagrammasi. Amaliy hisob-kitoblarda jadval ma'lumotlari bilan bir qatorda masalalarni yechishning grafik usullari ham keng qo'llaniladi. Ushbu maqsadlar uchun T_s va h_s - bug' uchun diagrammalardan foydalaning.



3-rasm. Bug' uchun "Ts" -diagrammasi.

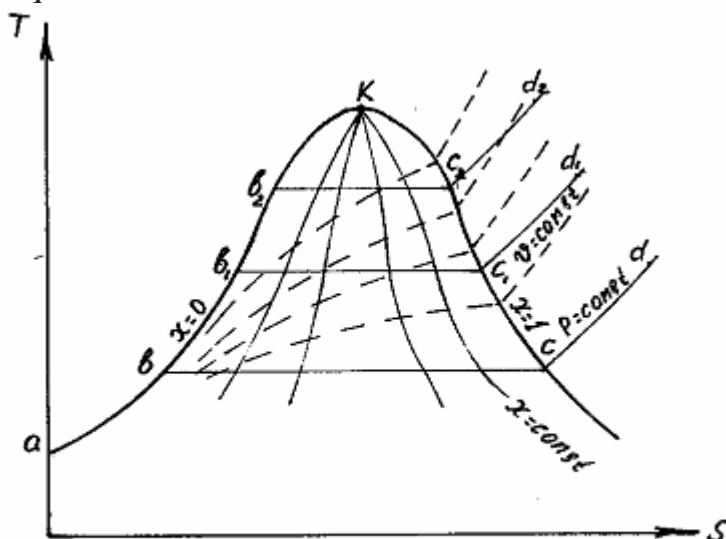
Ts -diagrammani ko'rib chiqamiz. $T_0 = 273 \text{ K}$ va $s_0 = 0$ da 1 kg suvning boshlang'ich holati a nuqta bilan ifodalanadi (3-rasm), **ab** - suvni to'yinganlik harorati T_s ga qizdirish izobaridir. **b** nuqtasi to'yingan suyuqlikka to'g'ri keladi, $p = \text{const}$ va $T_s = \text{const}$ bo'lgan sharoitda **bc**-bug'lanish (qaynash) jarayoni ham izobar, ham izotermdir. Demak, **bc**- oraliqda bir vaqtning o'zida izoterma va izobariya jarayonlari bo'lgan **c** nuqtasi quruq to'yingan bug'ga mos keladi. **b** va **c** nuqtalari orasidagi har qanday nuqta (masalan, **z** nuqta) nam to'yingan bug'ga mos keladi. **cd** -chizig'i bug'ning haddan tashqari qizishi izobaridir.

d nuqtasi o'ta qizib ketgan bug'ga mos keladi. (5.6) va (5.23) tenglamalarga muvofiq **ab** va **cd** chiziqlar logarifmik egri chiziqlardir. **ab**, **bc** va **cd** egri chiziqlar ostidagi maydonlar mos ravishda suyuqlikning q' issiqligini, bug'lanish issiqligini r va bug'ning o'ta qizish issiqligini q_n ifodalaydi. (5.12) va (5.19) ifodalardan kelib chiqadiki, $x = (s_x - s') / (s'' - s')$, ya'ni $x = \frac{bz}{bc}$ (3-rasm).

Shunday qilib, 0°C da suv holatidan o'ta qizib ketgan bug 'holatiga qadar butun bug'lanish jarayoni T_n harorati bilan izobar **abcd** bilan ifodalanadi. Boshqa, yuqoriroq p_1 bosimida butun jarayon **av₁c₁d₁** chizig'i bilan tasvirlanadi (4-rasm), $p_2 > p_1$ bosimida - **av₂c₂d₂** chizig'i va boshqalar. Bosim ortishi bilan **b** va **c** nuqtalari bir-biriga yaqinlashadi. ϵ , ϵ_1 , ϵ_2 ...va hokazo nuqtalarni bog'lab, biz to'yingan

suyuqlik chizig'ini yoki pastki chegara egri chizig'ini olamiz. Qattiy aytganda, chiziqlar

suyuq roar av , av_1 , av_2 va boshqalar. bir-biriga to'g'ri kelmaydi, lekin ular orasidagi farq juda kichik va amalda ular bir chiziqqa birlashadi, shuning uchun biz chegara egri chizig'i suyuqlikning turli bosimlarda T_s gacha qizishi chiziqlariga to'g'ri keladi deb taxmin qilishimiz mumkin.



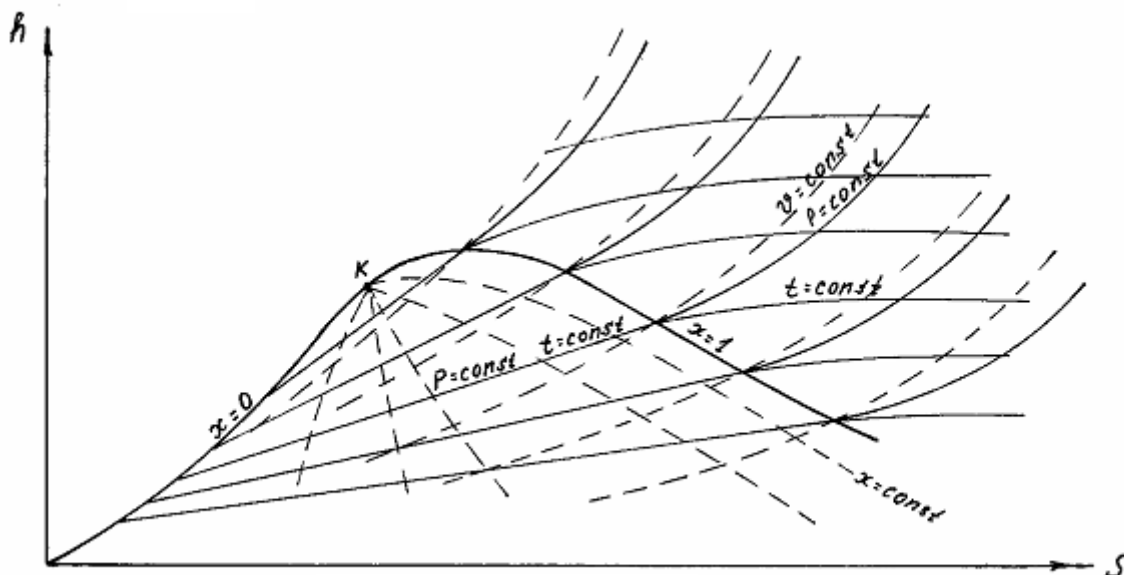
4-rasm. Bug' uchun "Ts"-diagrammasi

c , c_1 , c_2 ... va hokazo nuqtalarni bog'lab, biz quruq to'yingan bug' chizig'ini yoki yuqori chegara egri chizig'ini olamiz. Yuqori va pastki chegaraviy egri chiziqlarning tutashuv nuqtasi k kritik nuqtani beradi. Chegaraviy egri chiziqlar o'rtasida nam to'yingan bug'ning maydoni yotadi. Yuqori chegara egri chizig'idan o'ng va yuqorida ks o'ta qizib ketgan bug 'bo'ladi va diagrammaning ak pastki chegara egri chizig'ining chap tomonida yotgan qismi suyuqlik mintaqasi bo'ladi. Nam bug 'sohasida doimiy quruqlik darajasi $x = const$ chiziqlari qo'llaniladi. Diagrammada $v = const$ izoxorlari ham chizilgan. Ushbu diagrammaning ba'zi noqulayligi shundaki, issiqlik miqdorini aniqlashda tegishli maydonlarni o'lchash kerak.

Suv bug'lari uchun hs diagrammasi. Hisoblash uchun qulayroq hs diagrammasi (Mollier diagrammasi). Uning Ts - diagrammasiga nisbatan asosiy

afzalliklaridan biri shundaki, jarayonda ishtirok etayotgan issiqlik miqdori T_s koordinata tizimidagi kabi maydon bilan emas, balki chiziqli segment bilan ifodalanadi.

Turli bosimlar uchun jadvallardan olingan h' , s' , h'' , s'' qiymatlariga ko'ra yuqori KV va pastki OK chegara egri chiziqlari quriladi (5-rasm).



5-rasm. Suv bug'lari uchun "hs"- diagrammasi

Chegara egri chiziqlari orasida nam bug', yuqori chegara egri chizig'idan yuqorida qizib ketgan bug', pastki chegara egri chizig'ining chap tomonida suyuqlik bo'ladi. Pastki chegara egri chizig'i to'yingan suyuqlikka, yuqori chegara egri chizig'i esa har xil bosimdagi quruq bug'ga to'g'ri keladi.

Nam bug' hududida izobarlar va izotermlar bir-biriga to'g'ri keladi (bug'lanish yoki qaynash chiziqlari bo'lib) va bir oz farq qiluvchi to'g'ri chiziqlardir. Yuqori chegara egri chizig'idan keyin izobarlar va izotermlar ajralib chiqadi. Logarifmik egri chiziqlar ko'rinishidagi izobarlar yuqoriga ko'tariladi va izotermlar o'ngga yo'naltiriladi.

Nam bug' sohasida doimiy quruqlik darajasi $x = \text{const}$ chiziqlari chiziladi. Diagrammada izoxoralar $v = \text{const}$ ham chizilgan, ular izobarlarga bir oz burchak ostida joylashgan. Odatda, butun **hs**-diagramma bajarilmaydi, faqat yuqori qismi

kesib tashlanadi, amalda uchragan bug' parametrlarini topish uchun etarli va u keng miqyosda bajariladi.

Klapeyron-Klauzius tenglamasi. Bir yig'ilish holatidan ikkinchisiga o'tish jarayonini tavsiflovchi miqdorlar o'rtasidagi nisbat Klauzius-Klapeyron tenglamasi yordamida o'rnatiladi. Keling, bu tenglamani chiqaramiz. Nam bug 'hududida olib boriladigan abcd elementar Karno siklini ko'rib chiqaylik (6-rasm). Issiqlik samaradorligi Karno sikli,

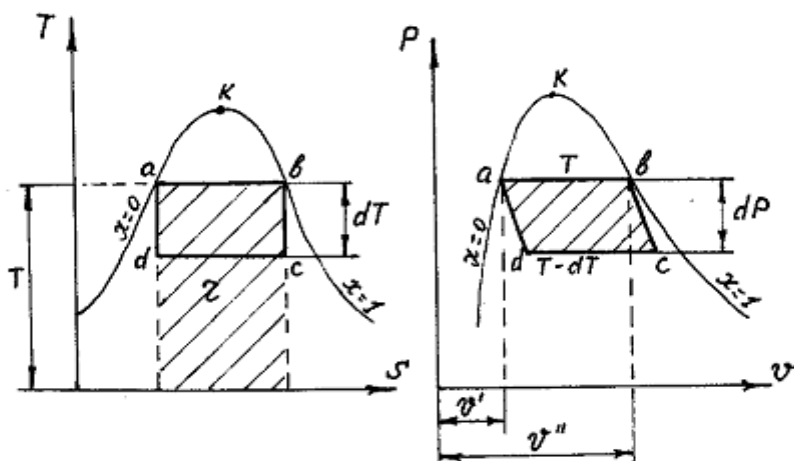
$$\eta_t = \frac{l_u}{q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (5.24)$$

abcd sikliga kelsak - tsiklning maydoniga teng ish $dl = (v'' - v') dp$. Berilgan issiqlik $q_1 = r$ - bug'lanish issiqlig. Harorat $T_1 = T$ va $T_2 = T - dT$, ya'ni bosimning cheksiz kichik o'zgarishi dp haroratning cheksiz kichik o'zgarishiga to'g'ri keladi dT . Ish, issiqlik kiritish q_1 va T_1 va T_2 haroratlarini (5.24) tenglamaga almashtirib, biz hosil bo'lamiz.

$$\frac{(v'' - v')dp}{r} = \frac{dT}{T}. \quad (5.25)$$

(5.25) tenglamani quyidagicha ifodalash mumkin

$$r = T(v'' - v') \frac{dp}{dT}. \quad (5.26)$$



6-rasm. Suv bug'ning Karni siklidagi "Ts" va "pV"-diagrammasi

Olingan munosabat nafaqat bug'lanishga, balki fazaviy o'zgarishlarning boshqa jarayonlariga (eritish, sublimatsiya) ham kengaytirilishi mumkin.

3. Nam havoning xususiyatlari. Nam havoning gaz doimiysi va entalpiyasi

Namlik havodagi namlik (suv bug'i) miqdorining o'lchovidir. Havo hajmidagi suv bug'lari qancha ko'p bo'lsa, uning namligi shunchalik yuqori bo'ladi. Kam namlikda havodagi suv bug'ining miqdori kamayadi va havo quruq bo'ladi. Tashqarida va xona ichidagi namlik ob-havo sharoitlariga, inson hayoti jarayonlariga, texnik jihozlarning ishlashiga, isitish, shamollatish va havoni tozalash tizimlariga qarab o'zgaradi.

Havoning quruqligi va namligi darajasi to'g'ridan-to'g'ri suv bug'ining to'yinganligiga, boshqacha qilib aytganda, 100% namlikka (ya'ni, namlik bilan to'liq to'yingan havo holati) qanchalik yaqinligiga bog'liq. Agar siz nam havoni sovutsangiz, undagi namlikni shunday holatga keltira olasizki, u kondensatsiyalana boshlaydi, ya'ni. suvga aylanadi. Bu hodisani an'anaviy konditsionerda havo sovutilganda, xona havosi sovutilganda, konditsionerda kondensatsiya shakllana boshlaganda kuzatilishi mumkin. Tabiatda bu hodisa erta tongda, sovutilgan tungi havoning kondensatsiyasidan keyin shudring paydo bo'lganda kuzatiladi.

Sovutilgan havoning kondensatsiyalanish jarayonining o'zi kondensatsiyalangan suyuqlik - shudring tomchilari paydo bo'lishida namoyon bo'ladi. Havoda suv bug'ining supersaturasiyasi mavjud bo'lgan harorat, ya'ni. Kondensatsiyaning paydo bo'lishi **shudring nuqtasi** deb ataladi.

Namlikning turlari, mutlaq va nisbiy namlik. Namlikni tavsiflash uchun mutlaq(**absolyut**) va nisbiy namlik kabi atamalardan foydalaning. Havoning **mutloq (absolyut) namligi** - 1 m^3 havodagi suv bug'ining og'irligi. To'yingan holatda (eng yuqori mumkin bo'lgan namlikda) havoning mutlaq namligi namlik sig'imi deb ataladi.

Mutlaq namlik ifodalanishi mumkin bo'lsada, u havoning namligi yoki quruqligi haqida to'liq tasavvurga ega emas. Havoning quruqligi yoki namligi darajasini aniqlash uchun nisbiy namlik kabi tushuncha kiritilgan.

Nisbiy namlik havo namligining yana bir mavhum tushunchasini beradi. Bu qiymat havoning suv bug'i bilan to'yinganligining foiz sifatida nisbatini ko'rsatadi.

Boshqacha qilib aytganda, **nisbiy namlik** - bu ma'lum bir vaqtda havodagi namlik massasining, odatda, ma'lum bir haroratda ushbu havo hajmida bo'lishi mumkin bo'lgan maksimal namlik massasiga nisbati.

Havoning namligi haqida gapirganda, masalan, ob-havo ma'lumotlarida ular doimo foiz sifatida ifodalangan havoning nisbiy namligini anglatadi.

Suv bug'ining bosimi. Namlikning asosiy xarakteristikasi suv bug'ining qisman bosimi (suv bug'ining bosimi) va nisbiy namlikdir.

Suv bug'i, har qanday gaz kabi, elastiklikka, boshqacha aytganda, bosimga ega. Suv bug'ining bosimi uning zichligiga (birlik hajmdagi massa, kg/m^3) va uning mutlaq haroratiga bog'liq. U havo va uning barcha tarkibiy qismlarining bosimi bilan bir xil birliklarda ifodalanadi. Hozirgi vaqtda ilmiy adabiyotlarda Paskal bosimning asosiy birligi ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$; $1 \text{ gPa} = 102 \text{ Pa}$) bo'lgan Xalqaro birliklar tizimidan (SI) foydalanish majburiydir.

Suv bug'ining to'yingan holatidagi bosimi (ya'ni 100% nisbiy namlikda, ma'lum bir haroratdagi havo suv bug'i bilan to'liq to'yingan bo'lsa) to'yingan suv bug'ining bosimi deb ataladi. Bu holatda, suv bug'i ma'lum bir haroratda mumkin bo'lgan maksimal bosimga ega. Misol uchun, 0 ° C da to'yingan bug 'bosimi 6,1 gPa ni tashkil qiladi. Agar havo ma'lum bir haroratda uni to'yintirish uchun zarur bo'lganidan kamroq suv bug'ini o'z ichiga olsa (ya'ni, uning maksimal namlik darajasiga erishsa), havoning to'yinganlikka qanchalik yaqinligini aniqlash mumkin.

Shunday qilib, ikkita asosiy parametrga ega:

e - havodagi suv bug'ining haqiqiy bosimi;

E - ma'lum bir havo haroratida to'yingan bug 'bosimi (mumkin bo'lgan maksimal namlik bilan),

havoning nisbiy namligini %da ifodalangan quyidagi formula yordamida aniqlashingiz mumkin:

$$f = \frac{e}{E} * 100\% \quad (5.27)$$

Masalan, 20 ° S haroratda, bug 'bosimi, havo bilan to'liq to'yingan bo'lsa, 23,4 gPa ni tashkil qiladi. Agar ma'lum bir vaqtda havodagi suv bug'ining haqiqiy bosimi, masalan, 11,7 gPa bo'lsa, havoning nisbiy namligi quyidagicha bo'ladi:

$$f = \frac{11,7}{23,4} * 100\% = 50\%$$

Shuni ham ta'kidlash kerakki, havo qanchalik issiq bo'lsa, u to'yingan holatda qancha suv bug'ini o'z ichiga olishi mumkin va shuning uchun undagi suv bug'ining bosimi qanchalik katta bo'lishi mumkin.

Namlik miqdori. Namlik (d) - bir kilogramm quruq havo uchun suv bug'ining massasi (gramda ifodalangan). Birlik o'lchanadi - g / kg.

$$d = \frac{m_6}{m_x} \quad (5.28)$$

bu yerda, m₆ - havoda erigan suv bug'ining massasi, g

m_x -quruq havo massasi, kg.

Nam havoning hd diagrammasi. L.K.Ramzin nam havo uchun quyidagi «hd» diagrammasini taklif qilgan(7-rasim). Nam havoning «hd» diagrammasi havo holatini o'zgartirishning turli jarayonlarini - uni isitish, sovutish, namlash va namlantirishni aks ettiruvchi asosiy vositadir.

Ushbu diagramma ventilyatsiya va konditsioner tizimlarida havo bilan sodir bo'ladigan turli jarayonlarni tushunishni sezilarli darajada soddalashtiradi va uning har qanday parametrlari uchun havo holati to'g'risida ma'lumotlarni olishni osonlashtiradi.

Ushbu diagrammada havo holatining asosiy parametrlari o'rtasidagi to'liq bog'liqlik grafik tarzda ko'rsatilgan:

-harorat

-nisbiy namlik

-namlik miqdori

-entalpiya

-suv bug'ining porsial bosimi.

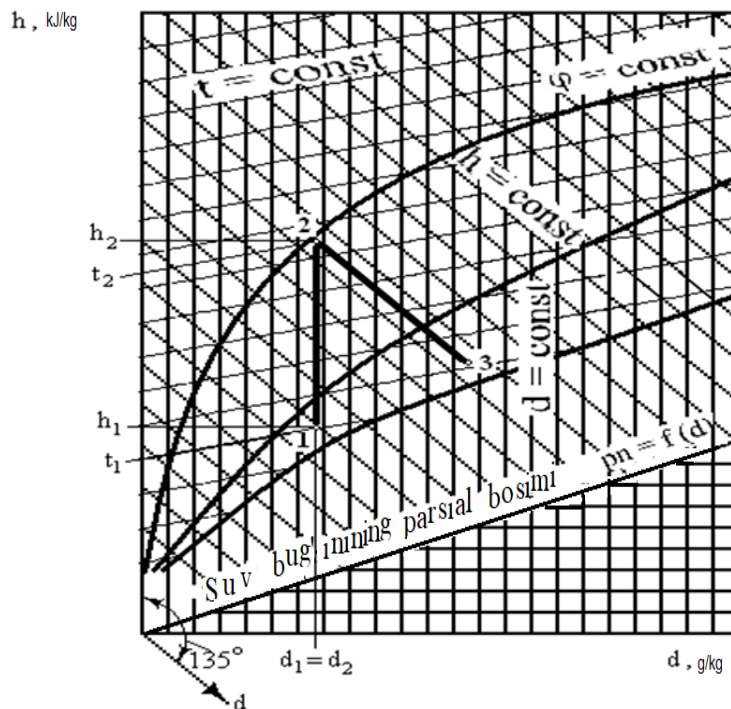
Shuni ta'kidlash kerakki, barcha qiymatlar atmosfera bosimida havo holatining ma'lum bir qiymatida ko'rsatilgan - 101,3 kPa.

«hd» diagrammasi (7-rasm) quyidagi qatorlarni ko'rsatadi:

-egri chiziqli - nisbiy namlik chiziqlari (5 dan 100% gacha).

-to'g'ri chiziqlar - doimiy entalpiya, harorat, qisman bosim va namlik.

Diagrammaning istalgan nuqtasida havo holatini, uning istalgan ikkita parametrini bilib olish mumkin.



7-rasim. Nam havoning «hd» diagrammasi.

Havoning holatini o'zgartirishning har qanday jarayonining grafik tasviri qo'shimcha chizilgan doiraviy diagramma yordamida sezilarli darajada osonlashadi. Ushbu diagramma turli burchaklardan issiqlik-namlik nisbati ε qiymatlarini ko'rsatadi.

Bu qiymat texnologik nurning qiyaligi bilan aniqlanadi va quyidagicha hisoblanadi:

$$\varepsilon = Q / W \quad (5.29)$$

bu yerda, Q - berilgan (olib tashlangan) issiqlik yoki issiqlik kiritishlari, kJ/soat;

W - havodan so'rilgan yoki chiqarilgan namlik, (kg/soat).

Issiqlik-namlik nisbati ε qiymati butun diagrammani to'rtta asosiy zonaga ajratadi, ular orqali havo holatini o'zgartirish jarayonini aniqlash mumkin:

$\varepsilon = +\infty \dots 0$ (isitish + namlash).

$\varepsilon = 0 \dots -\infty$ (sovutish + namlash).

$\varepsilon = -\infty \dots 0$ (sovutish + namlanish).

$\varepsilon = 0 \dots +\infty$ (isitish + namlikni yo'qotish).

Nam havoning gaz doimiysi . Nam havo ilgari aytganimizdek, havo va bug' aralashmasi bolgani uchun gaz aralashmasi sababli universal gaz doimiysiifodasidan foyda- lanamiz:

$$\mu_{ap} \cdot R_{ap} = 8314$$

yoki

$$R_{ap} = \frac{8314}{\mu_{ap}} = \frac{8314}{\mu_x \cdot r_x + \mu_b \cdot r_b} = \frac{8314}{\mu_x \frac{p_x}{B} + \mu_b \frac{p_b}{B}} \quad (5.30)$$

(5.30) tenglikdagi havo va bug'ning molekulyar massalari

$\mu_x = 29$ va $\mu_b = 18$ bo'lganligi uchun hamda parsial bosimlar $p_x = B - p_b$ bo'lganligini hisobga olib, tenglikka bir oz o'zgartirish kiritamiz:

$$R = \frac{8314}{28.3 - 10.3 \frac{p_b}{B}} \quad (5.31)$$

Nam havoning entalpiyasi quruq havo entalpiyasi bilan d kg suv bug'i entalpiyasining yig'indisiga teng:

$$h = h_x + dh_h. \quad (5.32)$$

Quruq havo uchun o'zgarmas bosimdagi issiqlik sig'imi $C_p = 1006 \text{ J/kg} \cdot \text{grad}$ bo'lganligi uchun:

$$h = 1006 t + dh_k. \quad (5.33)$$

Nam havoning entalpiyasi. Entalpiya ham 1kg quruq havoga nisbatan qaraladi,

ya'ni $\left(1 + \frac{d}{1000}\right)$ kilogramm nam havoga nisbatan.

Qavs ichidagi bir soni bir kilogramm quruq havo qo`shilgan bir kilogramm quruq havoga to`g`ri keladgan suv bug`i ekanligini bildiradi, ya'ni nam saqlash xususiyati d o`lchov birligi $\frac{gr \cdot bug'}{kg \cdot q.h.}$, shu sababli entalpiya quyidagicha belgilanadi:

$$H; \quad \frac{kJ}{kg \cdot q.h.}$$

Entalpiya H 1kg quruq havo entalpiyasi va $\left(\frac{d}{1000}\right)$ kg bug` entalpiyalari yig`indisidan iborat, ya`ni

$$H = h_{q.h} + 0,001d \cdot h_b. \quad (5.34)$$

$h_{q.h}$ – 1kg quruq havo entalpiyasi;

h_b - 1kg suv bug`i entalpiyasi.

Quruq havo uchun
$$h = c_p \cdot t \quad (5.35)$$

bunda c_p – massaviy izobarik issiqlik sig`imi, uni quyidagicha qabul qilish mumkin:

$$c \approx 1 \frac{kJ}{kg \cdot K} = 0,24 \frac{kcal}{kgk \cdot grad}.$$

Bug` entalpiyasi (1kg uchun) quyidagi emperik formuladan topilishi mumkin:

$$h_b = 2490 + 1,97 \frac{kJ}{kg} \quad (SI \quad sistemasida) \quad (5.36)$$

$$h_b = 595 + 0,46 \frac{kcal}{kgk} \quad (MKGSS \quad systemsida) \quad (5.37)$$

(5.34) va (5.35) formulalarga issiqlik sig`imi qiymatlarini va (5.36) va (5.37) ifodalar qiymatlarini qo`yib, hosil qilamiz:

$$H = t + 0,001d \cdot (2490 + 1,97) \frac{kJ}{kg \cdot q.h.} \quad (5.38)$$

$$H = t + 0,001d \cdot (595 + 0,46) \frac{kcal}{kgk \cdot q.h.} \quad (5.39)$$

Nazorat savollari va topshiriqlar

1. pv, Ts-, hs-kordinatalarda bug` hosil bo`lish jarayonlarini tahlil qiling. Ularning umumiy bir xilligini va farq qiluvchi xususiyatlarini ko`rsating.

2. Nam to`yingan, quruq to`yingan va qizdirilgan bug` nima? Suvni qizdirish, bug` hosil bo`lish va qonuniyatlarini ko`rsating.

3. Bug' holati o'zgarishi jarayonlari (izoxorik, izobarik, izotermik va adiabatik) tahlilini qiling. Nam va qizdirilgan bug' sohalari jarayonlarining xususiyatlarini ko'rsating.

4. To'yingan va to'yinmagan nam havo haqida aniqlik bering. To'yingan nam bug' turli mumkin bo'lgan yo'llarini ko'rsating (va aksincha).

5. Havoning namlik saqlash xususiyati, absolyut va nisbiy namligiga aniqlik bering. $\varphi < 100\%$ va $\varphi > 100\%$ bo'lgan sohalardagi jarayonlar xususiyatlarini keltiring.

6. Hd-diagramma yordamida aniq masalalar yeching.