

პ. რაჭიანი, მ. გრძელიშვილი

# სამშენებლო თბოფიზიკა

---

განათლება



### სათავსის თბური რეჟიმი

სათავსში თბური მდგომარეობის განმსაზღვრელი სხვადასხვა ფაქტორებისა და პროცესების ერთობლიობას შენობის სათავსის თბური რეჟიმი ეწოდება.

შენობის სათავსი ვარე ვარემოდან იზოლირებულია შემომზღული კონსტრუქციებით, რაც საშუალებას გვაძლევს მასში შევქმნათ განსაზღვრული მიკროკლიმატი.

შემომზღული კონსტრუქციები სათავსს იცავს უშუალოდ ატმოსფერული ზემოქმედებისაგან, ხოლო სპეციალური კონდიციონების სისტემებში შიგა ვარემოში ამყარებს გარკვეულ პარამეტრებს. ტემპერატურათა სხვაობის, მზის რადიაციისა და ქარის ზემოქმედებით სათავსი შემომზღული კონსტრუქციის მეშვეობით ზამთარში კარგავს სითბოს და ზაფხულში კი—გადამეტბურდება. გრავიტაციული ძალები, ქარი და სავენტილაციო სისტემები ქმნიან წნევათა სხვაობას, რის გამოც სათავსებსა და გარემოს შორის ხდება ჰაერის გადადინება, ხოლო შემომზღული კონსტრუქციის ფორმებსა და ღრეჩოებში—მისი ფილტრაცია. ატმოსფერული ნალექები, ტენის გამოყოფა, ტენიანობის სხვაობა გარემოსა და სათავსის ჰაერს შორის ქმნიან შემომზღულ კონსტრუქციებში ტენცვლას. ამ მოვლენის გამო შესაძლებელია შენობის კედლებისა და გადახურვის მასალების დატენიანება, რაც უარყოფითად მოქმედებს მის ფიზიკურ-ქიმიურ თვისებებზე.

ზემოაღნიშნული პროცესები, რომლებიც ქმნიან სათავსის თბურ მდგომარეობას, საჭიროა განვიხილოთ ერთმანეთთან კავშირში, ვინაიდან მათი ურთიერთგავლენა შეიძლება არსებითი აღმოჩნდეს. მაგალითად, ჰაერის ფილტრაციამ და შემომზღული კონსტრუქციის მასალის დატენიანებამ შეიძლება რამდენიმეჯერ გაზარდოს შენობის თბოდანაკარგები.

შენობის ექსპლუატაციის დროს გადაამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს სათავსის თბურ რეჟიმს, რომელზედაც დამოკიდებულია: ადამიანების მიერ თბური კომფორტის შეგრძნება, საწარმოო პროცესების ნორმალური მიმდინარეობა და შენობის კონსტრუქციების მდგომარეობა და ხან-

გრძლივობა; სათავსში თბური მდგომარეობა განვსაზღვროთ სხვადასხვა ფაქტორების ერთდროული მოქმედებით: ჰაერის ტემპერატურით, მოძრაობით და ტენიანობით, ჰაერის პარამეტრების განაწილებით როგორც გვერდში, ისე სიმაღლის მიხედვით და აგრეთვე გარემომცველი ზედაპირების მიერ რადიაციული გამოსხივებით.

მიკროკლიმატის ფორმირების, მისი დინამიკისა და მასზე ზემოქმედების შესასწავლად აუცილებელი პირობაა ვიცოდეთ სათავსში თბოგადაცემის კანონები.

## § I-1. თბოგადაცემის ძირითადი ცნებები

თბოგადაცემის თეორია შესწავლის სითბოს გავრცელების პროცესებს, რომელთაც უპირატესად დიდი მნიშვნელობა აქვთ ტექნიკის მრავალ დარგში. არსებობს სითბოს გავრცელების სამი ელემენტარული სახე—თბოგამტარობა, კონვექცია და თბური გამოსხივება.

ენერჯის გადაცემას სხეულის ნაწილაკებს შორის მათი უშუალო შეხებით თბოგამტარობა ეწოდება. ამ დროს სითბოებს და მყარ სხეულებში (დიელექტრიკებში) ენერჯია ვრცელდება დრეკადი ტალღების საშუალებით, აირებში—ატომების ან მოლეკულების დიფუზიით, ხოლო ლითონებში—თავისუფალ ელექტრონთა დიფუზიით.

კონვექციის მოვლენები გვხვდება მხოლოდ სითბოებსა და აირებში. ამ შემთხვევაში ენერჯის გადატანა ხორციელდება ნაწილაკთა გადაადგილებით. კონვექციისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს სითბის მდგომარეობას და მისი მოძრაობის ხასიათს, კონვექციის მოვლენას ყოველთვის თან ახლავს თბოგამტარობის მოვლენა.

თბური გამოსხივება წარმოადგენს ენერჯის გავრცელებას ელექტრომაგნიტური ტალღების სახით, თავისი ბუნებით ეს მოვლენა განსხვავდება კონვექციისა და თბოგამტარობისაგან და დაკავშირებულია ენერჯის გარდაქმნასთან—თბური ენერჯის სხივურ ენერჯიად და სხივური ენერჯის თბურ ენერჯიად.

სინამდვილეში სითბოს გავრცელება მარტივი მოვლენები არ არის; იგი ერთმანეთისაგან გათიშული და წმინდა სახით იშვიათად გვხვდება. უმეტეს შემთხვევებში სითბოს გავრცელების ერთ სახეს თან ახლავს სითბოს გავრცელების დანარჩენი სახეები.

ზემოხსენებული თბოგადაცემის პროცესები გვხვდება აგრეთვე შენობების სათავსებში. კერძოდ,  $\dot{Q}$  ზედაპირის თბური ბალანსი შეიძლება გამოვსახოთ განტოლებით

$$Q_{\text{კონ}} + Q_{\text{რად}} + Q_{\text{გამგ}} = 0.$$

(I 1)

სათავსებში ზედაპირებზე თბოგადაცემის შემდგენებს—კონვექციურს  $Q_{კონ}$ , რადიაციულს  $Q_{რად}$  და კონდუქციურს  $Q_{კონდ}$  (თბოგამტარობით)— შეიძლება ჰქონდეს სხვადასხვა მნიშვნელობანი და ნიშანი, იცვლებოდნენ დროში, მაგრამ (I—1) განტოლება, ყველა სახის ზედაპირისათვის როგორც სტაციონარული, ისე არასტაციონარული, თბოგადაცემის პირობებისათვის უცვლელი რჩება; გამონაკლისს შეადგენს ზედაპირები, რომლებზედაც მიმდინარეობს სითბოს შთანქმისა და გამოყოფის მოვლენები (წყლის აორთქლება ან წყლის ორთქლის კონდენსაცია).

განვიხილოთ სათავსში კონვექციური თბოგადაცემის თავისებურებანი.

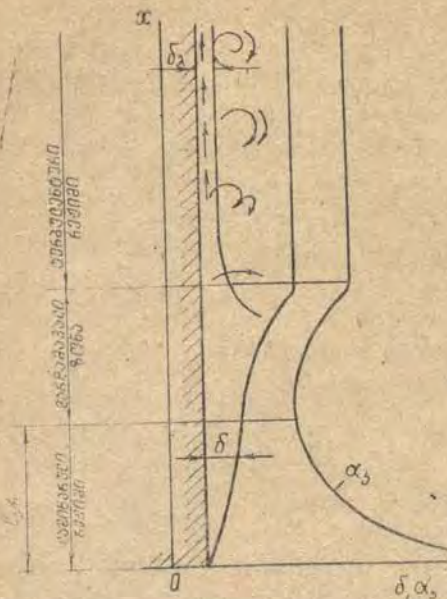
### § 1—2. სათავსში სითბოს კონვექციური გავრცელება

მყარი სხეულიდან უშუალოდ სითხეში ან სითხიდან უშუალოდ მყარ სხეულში სითბოს გადასვლის პროცესს სითბოს კონვექციური გავრცელება ეწოდება. ეს პროცესი ხორციელდება თბოგამტარობისა და კონვექციის ერთდროული მოქმედებით. სითბოს კონვექციურ გადასვლას შეხებით თბოგაცემას ან თბოგაცემასაც უწოდებენ.

წარმოშობის მიზეზების მიხედვით ასხვავებენ ორი სახის მოძრაობას—თავისუფალსა და იძულებითს. თავისუფალი ისეთი მოძრაობაა, რომელიც ჰაერის ცხელი და ცივი ნაწილაკების სიმკვრივეთა სხვაობით წარმოიქმნება, ხოლო გარეშე ამუხნები პირობების ზეგავლენით მიმდინარე სითხის მოძრაობა იძულებითი მოძრაობაა.

სათავსში ჰაერი სითბოს გავრცელებაში მონაწილეობს შემომზღუდი კონსტრუქციების ცივ და ცხელ ზედაპირებსა და აგრეთვე სათბობი ხელსაწყოების მიმართ. ამრიგად, მოძრაობა შეიძლება იყოს როგორც თავისუფალი (ბუნებრივი), ასევე იძულებითი. განვიხილოთ ძირითადი თეორიული და ექსპერიმენტული შედეგები ორივე სახის მოძრაობის შემთხვევაში.

თავისუფალი კონვექცია. როგორც აღვნიშნეთ, ჰაერის ცხელი და ცივი ნაწილაკების სიმკვრივეთა სხვაობით გამოწვეულ მოძრაობას თავისუფალი მოძრაობა ეწოდება. იმ შემთხვევაში, თუ ზედაპირი გაცხელებულია, მაშინ ზედაპირთან შეხების გამო ჰაერი თბება და მსუბუქდება, რაც გამოიწვევს ჰაერის გაფართოებას და მისი სიმკვრივის შემცირებას. ცხელი და ცივი ნაწილაკების სიმკვრივეთა სხვაობა წარმოიქმნის ამწევ ძალას, რომლის მოქმედებით ცხელი ნაწილაკები დაიწყებს გადაადგილებას ქვემოდან ზემოთ. მათ აღვიღს კი სხეულის ზედაპირთან დაიკავენ ახალი, ცივი ნაწილაკები, რომლებიც აგრეთვე გაცხელდება და ზემოთ გაემართება; პირიქით, თუ ზედაპირი ჰაერზე უფრო ცივია, მაშინ მასთან შეხების გამო ჰაერი ცივდება და ქვემოთ ეშვება.



ნახ. I-1. სასაზღვრო შრეები თავისუფალი კონვექციის დროს ( $\delta$  — ლამინარული ქვეშორის სისქე).

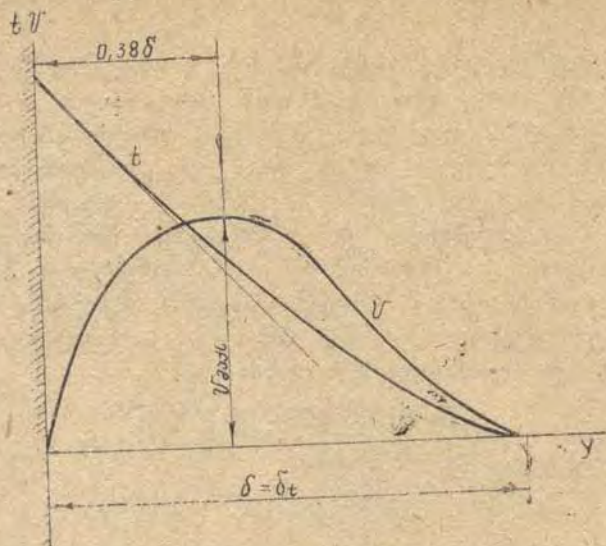
ლიც გადაადგილდება ვერტიკალური ზედაპირის გასწვრივ, წარმოიშობა პილროდინამიკური სასაზღვრო შრე, რომელიც ნაკადის მიმართულებით იზრდება (ნახ. I—1). მოძრაობის საწყის უბანზე სასაზღვრო შრე ლამინარულია. ქვედა ზედაპირის გარკვეული  $L_{\text{კ}}$  მანძილის შემდეგ ლამინარული აფსკი იშლება და მოძრაობის რეჟიმი ტურბულენტური ხდება.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, თბოგაცემის პროცესში სითხის მოძრაობის რეჟიმს დიდი მნიშვნელობა აქვს, რადგანაც ის განსაზღვრავს სითბოს გადატანის მექანიზმს. კერძოდ, ლამინარული მოძრაობის უბანზე თბოგაცემის კოეფიციენტი ზედაპირის გასწვრივ კლებულობს, ვინაიდან იზრდება პი-

ლოდინამიკური  $\delta$  სასაზღვრო შრე; გარდამავალი მოძრაობის უბანზე ის მატულობს, ხოლო ტურბულენტური მოძრაობის უბანზე თბოგაცემის კოეფიციენტი მუდმივია, მაგრამ ვაცილებით მეტია თავისი მნიშვნელობით. თბოგაცემის კოეფიციენტის ასეთი ცვლა სიმაღლის მიხედვით აიხსნება ვერტიკალური ზედაპირის ქვედა ნაწილში ლამინარული აფსკის არსებობით, რომელიც შემდეგ იშლება.

ტურბულენტური რეჟიმის უბანზე მიიღება საკმაოდ მცირე ზომის მუდმივი  $\delta$  სიდიდის ლამინარული ქვეშრე; ამ შემთხვევაში სითბოს გადატანა თბოგამტარობით ხდება მხოლოდ ლამინარულ ქვეშრეში, ტურბულენტური ბირთვის შიგნით სითბოს გადატანა ხორციელდება სითხის ნაწილაკების ინტენსიური შერევით. ამ პირობებში თბოგაცემის ინტენსივობას ძირითადად განვსაზღვრავთ სასაზღვრო შრის თერმული წინააღმდეგობით, რომელიც ბევრად აღემატება ტურბულენტური ბირთვის თერმულ წინააღმდეგობას. ამაში ადვილად დავრწმუნდებით, თუ დავუკვირდებით სითხის ტემპერატურის ცვლილებას კედლის ნორმალის მიმართულებით (ნახ. I-2).

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ტემპერატურა ყველაზე მეტად იცვლება (იზრდება) კედელთან თერმული სასაზღვრო შრის  $\delta$  ფარგლებში,



ნახ. I-2. სიჩქარეებისა და ტემპერატურების პროფილი სასაზღვრო შრეში თავისუფალი კონვექციის დროს

მხოლოდ ნაკადის სიჩქარის ჩაქრობა მიმდინარეობს ჰიდროდინამიკურ სასაზღვრო შრეში. სიჩქარის მნიშვნელობა უშუალოდ კედელთან ნულის ტოლია ( $v=0$ ). ამრიგად, შეიძლება დავასკვნათ, რომ თბოგაცემის ინტენსივობა ძირითადად დამოკიდებულია ჰაერის მოძრაობის რეჟიმზე. თავისუფალი კონვექციის დროს სითხის მოძრაობის რეჟიმში ყველა ფორმის სხეულისათვის განზოგადებული სახით შეიძლება დადგენილ იქნეს გრასპოფის ( $Gr$ ) და პრანდტლის კრიტერიუმების ( $Pr$ ) ნამრავლი ( $GrPr$ ). სათაფსის ჰაერისათვის  $20^{\circ}C$  ტემპერატურის დროს ამ კრიტერიუმების ნამრავლი ტოლია:

$$GrPr = \frac{\beta g l^3 \Delta t}{\nu^2} \frac{\nu}{\alpha} = \frac{1}{293} \cdot 9,81 \cdot l^3 \Delta t \cdot 0,709 \approx 10^{1/3} \Delta t, \quad (I-2)$$

სადაც  $\beta$  არის ტემპერატურის გაფართოების კოეფიციენტი, ჰაერისათვის

$$\beta = \frac{1}{T} = \frac{1}{293} \text{ 1/გრად};$$

$g$  — სიმძიმის ძალის აჩქარება, მ/წმ<sup>2</sup>;

$\nu$  — კინემატიკური სიბლანტის კოეფიციენტი,  $20^{\circ}C$ -სათვის იგი ტოლია  $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6}$ , მ<sup>2</sup>/წმ;

$l$  — ზედაპირის მსაზღვრელი ზომა ჰაერის ნაკადის მიმართულებით, მ;

$\Delta t$  — ტემპერატურათა სხვაობა ზედაპირსა და სათავისს ჰაერს შორის, °C;

$a$  — ტემპერატურის გამტარობის კოეფიციენტი, მ<sup>2</sup>/წმ.

პრანდტლის კრიტერიუმში 20°C-იანი ჰაერისათვის ტოლია  $Pr = 0,709$ . როგორც (I-2) ფორმულიდან ჩანს, ჰიდროდინამიკური კრიტერიუმები  $Gr$  და  $Pr$  შედგება ჰაერის ფიზიკური პარამეტრებისა და გახურების ზედაპირის გეომეტრიული ზომებისაგან. ვინაიდან ფიზიკური პარამეტრები დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, მისი მნიშვნელობები უნდა ავიღოთ სათანადო ცნობარებიდან ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე. აკადემიკოსმა მ. მიხევემა დაადგინა ნაკადის ლამინარული რეჟიმიდან ტურბულენტურ რეჟიმში გადასვლის საზღვრები:

ლამინარული რეჟიმისათვის  $l_{კრ}$  მანძილზე

$$Gr Pr = 5 \cdot 10^2 \neq 2 \cdot 10^7; \quad (I-3)$$

ტურბულენტური რეჟიმისათვის

$$Gr Pr \geq 2 \cdot 10^7. \quad (I-4)$$

ექვრტის მონაცემებით ჰაერისათვის გრასჰოფის კრიტიკული მნიშვნელობა ტოლია  $10^9$ . ამ შემთხვევისათვის, როდესაც ჰაერის ტემპერატურა ტოლია  $t = 20^\circ C$ , კრიტიკული მანძილი  $l$  შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი გამოსახულებიდან

$$Gr_{კრ} = 1,48 \cdot 10^8 \cdot l_{კრ}^3 \cdot \Delta t = 10^9, \quad (I-5)$$

საიდანაც

$$l_{კრ} = 1,89 \Delta t^{-1/3}.$$

ზემომოყვანილ ფორმულებში განმსაზღვრელ  $l$  ზომად ბრტყელი ზედაპირისათვის მიღებულია ფილის სიმაღლე, ხოლო ცილინდრული ზედაპირისათვის — დიამეტრი  $d$ .

როგორც აღვნიშნეთ, თბოგაცემის ინტენსივობა თავისუფალი კონვექციის დროს დამოკიდებულია სასაზღვრო შრის სისქეზე. მაგალითად, ზედაპირის საწყის წერტილში  $\delta$  მინიმალურ მნიშვნელობას თბოგაცემის მაქსიმალური მნიშვნელობა შეესაბამება. ნაკადის მოძრაობის მიმართულებით  $\delta$  იზრდება, ხოლო თბოგაცემის ინტენსივობა მცირდება. განსახილველი  $x$  ნებისმიერი კვეთისათვის დამოკიდებულება მსგავსების კრიტერიუმებს შორის შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს შემდეგი ხარისხოვანი ფუნქციის სახით

$$Nu_x = c (Gr Pr)_x^n. \quad (I-6)$$

ამასთან, (I-6) განტოლებაში ცალკეული რეჟიმისათვის  $c$  და  $n$  მუდმივები სხვადასხვაა და წარმოადგენს  $(Gr Pr)$  არგუმენტის ფუნქციებს.

ნუსელტის კრიტერიუმის  $Nu_x$  ლოკალური მნიშვნელობა  $x$  ნებისმიერი კვეთისათვის ტოლია

$$Nu_x = \frac{\alpha_{3x} \cdot x}{\lambda}, \quad (I-7)$$

სადაც  $\alpha_{3x}$  არის  $x$  კვეთში კონვექციური თბოგაცემის ლოკალური მნიშვნელობა, ვტ/მ<sup>2</sup>. გრად;

$\lambda$  — ჰაერის თბოგამტარობის კოეფიციენტი, ვტ/მ. გრად.

ლამინარული რეჟიმისათვის (I-6) კრიტერიალური განტოლება, როდესაც  $Pr = 0,709$ , შემდეგი სახისა:

$$Nu_x = 0,356 \cdot Gr_x^{1/4}. \quad (I-8)$$

20°C ტემპერატურის მქონე სათავისის ჰაერისათვის (I-8) განტოლება შეიძლება გამარტივდეს, რის შედეგადაც

$$\frac{\alpha_{3x}}{0,021} = 0,356 \left[ \frac{9,81 \cdot X^3 \cdot \Delta t}{293 (15,06 \cdot 10^{-6})^2} \right]^{1/4},$$

აქედან

$$\alpha_{3x} = 0,89 \left( \frac{\Delta t}{X} \right)^{1/4}. \quad (I-9)$$

კონვექციური თბოგაცემის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა  $\alpha_3$  მიიღება (I-9) განტოლების ინტეგრირებით საზღვრებში 0-დან  $l$ -მდე. ამ შემთხვევისათვის (I-9) განტოლება შემდეგი სახისაა:

$\alpha_{3x} = C_1 X^{-1/4}$  ინტეგრირების შედეგად მივიღებთ

$$\alpha_3 = \frac{4}{3} \alpha_{3x}. \quad (I-10)$$

თუ (I-10) განტოლებაში  $\alpha_{3x}$  მაგვირად შევიტანთ მის მნიშვნელობას (I-9) განტოლებიდან

$$\alpha_3 = \frac{4}{3} 0,89 \left( \frac{\Delta t}{l} \right)^{1/4} = 1,19 \left( \frac{\Delta t}{l} \right)^{1/4} = 1,19 \sqrt[4]{\frac{\Delta t}{l}}. \quad (I-11)$$

როგორც (I-11) ფორმულიდან ჩანს, ლამინარული პირობებისათვის ჰაერის მოძრაობის რეჟიმში და თბოგაცემა ძირითადად განისაზღვრება პროცესის ტემპერატურული პირობებით და სხეულის განმსაზღვრელი ზომით, მაგალითად, შემომზღუდი კონსტრუქციის  $l$  სიმაღლით.

ტურბულენტური რეჟიმისათვის (I-6) კრიტერიალური განტოლება შემდეგი სახისაა:

$$Nu_x = 0,135 (Gr_x Pr)^{1/3}. \quad (I-12)$$



(I-12) განტოლებიდან  $Nu$ -ის კრიტერიუმში შემავალი განმსაზღვრელი გეომეტრიული ზომა პირველ ხარისხშია, ხოლო  $Gr$ -ის კრიტერიუმში შემავალი — მესამე ხარისხში,  $1/3$  ხარისხის კანონის ფარგლებში თბოგაცემის პროცესი არ იქნება დამოკიდებული გეომეტრიულ ზომებზე, ე. ი. ავტომოდელური იქნება. ამასთან დაკავშირებით  $20^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის მქონე ჰაერისათვის (I-12) განტოლება შეიძლება გამარტივდეს

$$\alpha_{3x} = \alpha_3 = 1,43\sqrt{\Delta t}. \quad (\text{I-13})$$

სათავსების ვერტიკალური შემომზღუდი კონსტრუქციებისათვის კონვექციური თბოგაცემის კოეფიციენტის გაანგარიშება შეიძლება (I-12) და (I-13) ფორმულების საშუალებით, ვინაიდან განსახილველი შემთხვევებისათვის გრასპოფის კრიტერიუმის კრიტიკული მნიშვნელობა (I-5) ფორმულა ყოველთვის მეტია  $10^9$ -ზე. ე. ი. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ ამ კონსტრუქციების გასწვრივ ნაკადის მოძრაობა ძირითადად ტურბულენტურ რეჟიმს ეთანადება. ზემოთ მიღებული განტოლებები ვარგისია მხოლოდ ვერტიკალური ზედაპირებისათვის.

სულ სხვა ხასიათისაა ჰაერის თავისუფალი მოძრაობა გაცხელებულ ან ცივ ჰორიზონტალურ ბრტყელ კედელთან, რადგანაც ის დიდადაა დამოკიდებული ფილის მდებარეობასა და მის ზომებზე. თუ ფილის გაცხელებული ზედაპირი მიქცეულია ზემოთ (ანალოგიურია, რომ ცივი ზედაპირი მიმართული იყოს ქვემოთ), მაშინ მოძრაობა ა სქემის მიხედვით ხორციელდება (ნახ. I-3, ა); თუ ფილა დიდი ზომისაა, მაშინ მისი ცენტრალური ნაწილი განმხოლოებულია ფილის ირგვლივ არსებული ცივი ჰაერისაგან, ზედაპირის განაპირა უბნებში წარმოშობილი, გაცხელებული ჰაერის ზემოთ მიმართული ნაკადით. ჰორიზონტალური ფილის ცენტრალური ნაწილის ვენტილაციას ახდენს მხოლოდ ის ცივი ჰაერი, რომელიც უშუალოდ ზემოდან მოემართება (ნახ. I-3, ბ).

თუ გაცხელებული ჰორიზონტალური ზედაპირი მოქცეულია ქვემოთ (ანალოგიურია, რომ ცივი ზედაპირი მიმართული იყოს ზემოთ), მაშინ მოძრაობა ბ სქემით მიმდინარეობს (ნახ. I-3, ბ). ამ შემთხვევაში მოძრაობაშია მხოლოდ ზედაპირთან შემხები თხელი შრე, ხოლო ამ შრის ქვემოთ მოთავსებული სითხის მასა — უძრავი.

ჰორიზონტალური ზედაპირისათვის თბოგაცემის კოეფიციენტის გასანგარიშებლად გრიფიტისა და დევისის რეკომენდაციით შეიძლება გამოყენებულ იქნეს (I-13) ფორმულა. ამ შემთხვევაში განმსაზღვრელ ზომად იღებენ არა ფილის სიმაღლეს, არამედ მის მცირე გვერდის სიგრძეს. თუ თბოგაცემა ფილის ზედა სიბრტყიდან ხდება (გაცხელებისას), მაშინ (I-13) ფორმულიდან მიღებული თბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობას 30%-ით აღიღებენ, ხოლო იმ შემთხვევაში, როდესაც

თბოგაცემა ფილის ქვედა ზედაპირიდან ხდება (გაცხელებისას), იმავე კოეფიციენტის მნიშვნელობას 30%-ით ამცირებენ.

ალსანიშნავია, რომ საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის თბოაირმომარაგებისა და ვენტილაციის კათედრის თანამშრომლებმა — გ. დარჩიამ და გ. ქუმსიშვილმა ჩაატარეს ექსპერიმენტები და ცხადყვეს, რომ ჰორიზონტალური ზედაპირების თბოგაცემის კოეფიციენტების მნიშვნელობები მკვეთრად განსხვავდება გრიფიტისა და დევისის მიერ რეკომენდებული მნიშვნელობებისაგან. კერძოდ, გ. დარჩიამ და გ. ქუმსიშვილმა დაადგინეს, რომ, როდესაც თბოგაცემის მისი ინტენსივობა, გარდა ფიზიკური პარამეტრებისა, დამოკიდებულია აგრეთვე ზედაპირის ფართობზე. გახურების ზედაპირის ზრდით თბოგაცემის ინტენსივობა ფართობის 1/4 ხარისხის უკუპროპორციულად მცირდება. ამ შემთხვევაში მივიღებთ:

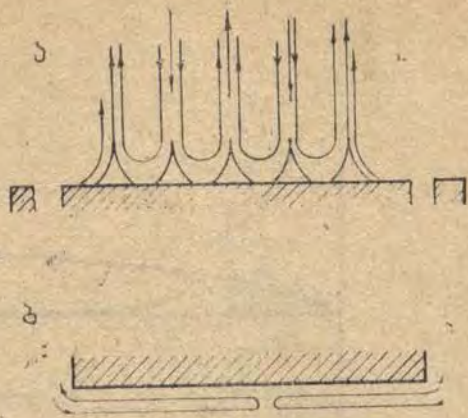
ლამინარული რეჟიმისათვის

$$Nu_x = 0,49 (Gr_x^* Pr)^{1/5} \left( \frac{F_{\text{ახ}}}{F} \right)^{1/5};$$

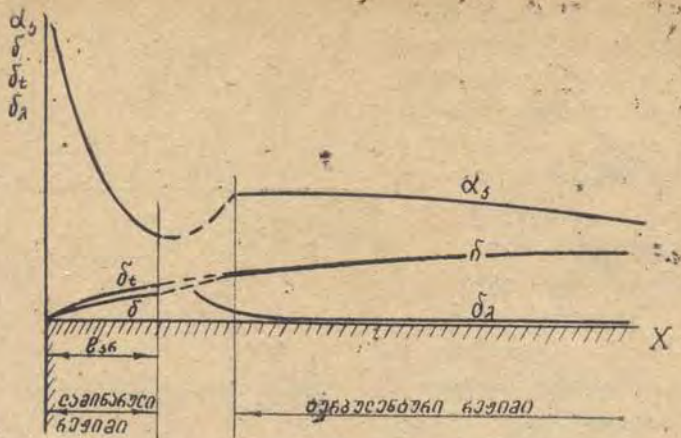
ტურბულენტური რეჟიმისათვის

$$Nu_x = 0,17 (Gr_x^* Pr)^{1/4} \left( \frac{F_{\text{ახ}}}{F} \right)^{1/5}.$$

იძულებითი კონვექცია. ჰაერის იძულებითი მოძრაობა ხორციელდება მოძრაობის გარე ამგზნების — ვენტილატორების საშუალებით. კერძოდ, სათავსებში შემომზღული კონსტრუქციების ზედაპირები შეიძლება მოთავსდეს იძულებითი ჰაერის ნაკადში. ამ დროს ბრტყელი კედლის გასწვრივ ჰაერის მოძრაობის დროს წარმოიქმნება მოვლენის მთელი რიგი ახალი თავისებურებანი. თუ ფილა ან კედელი მოთავსებულია ნაკადში, რომლის სიჩქარეა  $V_0$ , მაშინ ამ უკანასკნელის საშუა-



ნახ. 1-3. ჰაერის მოძრაობა თავისუფალი კონვექციის დროს ჰორიზონტალურ ცხელ ზედაპირთან, როდესაც ცხელი ზედაპირი მიმართულია ზემოთ (ა) და როდესაც ცხელი ზედაპირი მიმართულია ქვემოთ (ბ)



ნახ. I-4. სასაზღვრო შრე იძულებითი კონვექციის დროს

ლო მნიშვნელობა მთელი ნაკადისათვის ცვლილებას არ განიცდის. სიჩქარე მკვეთრად იცვლება მხოლოდ უშუალოდ კედლის ზედაპირთან. ამ შემთხვევაში ხახუნის გამო ყოველთვის წარმოიქმნება სასაზღვრო შრე, რომელშიც სიჩქარე  $V_0$ -დან ნულამდე ეცემა (ნახ. I-4).

გამორკვეულია, რომ უშუალოდ კედლის ზედაპირთან წარმოიშობა ლამინარული სასაზღვრო შრე, რომლის სისქე სითხის მოძრაობის მიმართულებით თანდათან მატულობს. როდესაც რეინოლდსის რიცხვი

$Re = \frac{V_0 x}{\nu}$  თავის კრიტიკულ მნიშვნელობას მიაღწევს ( $Re_{კრ} = 5 \cdot 10^5$ ), მაშინ სასაზღვრო შრე ტურბულენტური ხდება, ხოლო მის ქვემოთ მეტად თხელი ლამინარული ქვეშრე წარმოიქმნება.

თუ ცნობილია  $Re_{კრ}$ , ადვილად გამოვიანგარიშებთ ამ უბნის სიგრძეს  $x_{კრ}$  ლამინარული სასაზღვრო შრით.

$20^\circ\text{C}$  ტემპერატურის მქონე ჰაერისათვის  $l_{კრ}$  მნიშვნელობას გამოვთვლით შემდეგი გამოსახულებიდან


$$Re_{კრ} = \frac{V_0 l_{კრ}}{\nu} = \frac{V_0 l_{კრ}}{15,06 \cdot 10^{-6}} = 5 \cdot 10^5,$$

აქედან

$$l_{კრ} = 7,8 \frac{1}{V_0}. \quad (I-14)$$

ბრტყელი კედლის ლოკალური თბოგაცემის ინტენსივობა ლამინარული რეჟიმისათვის, როდესაც  $Pr = 0,709$ , შეიძლება გამოვთვალოთ შემდეგი კრიტერიალური განტოლებით

$$Nu_x = 0,297 Re^{0,5}. \quad (I-15)$$


  
 საქართველოს მეცნიერებათა აკადემია

$20^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის მქონე ჰაერისათვის (I-15) განტოლება შეიძლება გამარტივდეს და მიიღებს შემდეგ სახეს

$$\frac{\alpha_{3x} \cdot x}{0,021} = 0,297 \left( \frac{V_0 x}{15,06 \cdot 10^{-6}} \right)^{0,5}$$

აქედან

$$\alpha_{3x} = 1,69 \left( \frac{V}{x} \right)^{0,5} \quad (\text{I-16})$$

თბოგაცემის კოეფიციენტის  $\alpha_3$  საშუალო მნიშვნელობის გამოთვლის შემდეგ, ანალოგიურად (I-10) განტოლებისა, (I-16) განტოლება შემდეგი სახისაა:

$$\alpha_3 = 2\alpha_{3x} = 3,38 \left( \frac{V}{x} \right)^{0,5} \quad (\text{I-17})$$

როგორც აღვნიშნეთ, ტურბულენტური სასაზღვრო შრის ქვემოთ უშუალოდ კედელთან წარმოიქმნება მეტად თხელი ლამინარული ქვეშრე, რომელიც სითბოს გადასცემს მხოლოდ სითბოს გამტარობით. ამ ქვეშრის სისქე დამოკიდებულია როგორც ჰაერის სიჩქარეზე, ასევე თბოგაცემის კოეფიციენტი ტურბულენტური მოძრაობის დროს რეინოლდსის რიცხვზე.

ბრტყელი კედლის გასწვრივ ჰაერის ტურბულენტური მოძრაობის დროს საშუალო თბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობა მ. მიხევემა მიიღო იურგისა და ფრანკის ექსპერიმენტული მონაცემების განზოგადებით ( $Pr=0,709$ ). ეს კრიტერიალური განტოლება შემდეგი სახისაა:

$$Nu = 0,032 Re^{0,8} \quad (\text{I-18})$$

$20^{\circ}\text{C}$  ტემპერატურის მქონე ჰაერისათვის (I-18) განტოლება შეიძლება გამარტივდეს და მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\alpha_3 = 5,12 V^{0,8} \cdot l^{-0,2} \quad (\text{I-19})$$

მიღებული გამოსახულება შეიძლება გამოყენებულ იქნეს აგრეთვე შემომზღუდი კონსტრუქციების გარე ზედაპირებისათვისაც. ამ შემთხვევაში რიცხობრივი კოეფიციენტის ცვალემა უმნიშვნელოა და ჰაერის ტემპერატურის  $20^{\circ}\text{C}$ -ით შემცირების დროს შეადგენს მხოლოდ 7%. ზემოვანხილული კანონზომიერებანი და თანაფარდობანი მართებულია მხოლოდ იზოთერმული მოძრაობისათვის, როდესაც ჰაერის ტემპერატურა ნაკადის ყოველ წერტილში ერთნაირი და მუდმივია. თბოგაცემის შემთხვევაში კი მოძრაობა არაიზოთერმული ხდება, ტემპერატურა იცვლება როგორც განივკვეთში, ისე ფილის გასწვრივ. განივკვეთში ტემპერატურის ცვლილების გამო იცვლება სითხის სიბლანტე და მასთან ერთად, სიჩქარის ველის პროფილიც. იმის მიხედვით, თუ რა მიმართულებისაა

სითბოს ნაკადი, ეს ცვლილება სხვადასხვანაირია. გარდა ამისა, განვიკვეთოთ ტემპერატურის უთანაბრობა იწვევს ამწვევი ძალისა და ბუნებრივი კონვექციის წარმოქმნას, რაც აგრეთვე გავლენას ახდენს სიჩქარის ველის პროფილზე. ამგვარად, ჰაერის არაიზოთერმული მოძრაობის დროს წარმოიქმნება შერეული მოძრაობა (თავისუფალი და იძულებითი).

ამასთან დაკავშირებით  $\alpha$  კრიშერმა შეიმუშავა შერეული კონვექციისათვის თბოგაცემის კოეფიციენტის გათვლის მეთოდიკა. მიღებული მეთოდიკა ითვალისწინებს იმ პირობას, რომ შერეული კონვექციის დროს, ჰაერით ზედაპირის შემოგარება შეიძლება განისაზღვროს პირობითი რეინოლდსის კრიტერიუმით

$$Re_{\text{პირ}} = Re + \sqrt{\frac{Gr}{2}} \quad (I-20)$$

სადაც  $Re$  არის კრიტერიუმი, რომელიც განსაზღვრავს იძულებით რეჟიმს;  $Gr$  — კრიტერიუმი, რომელიც განსაზღვრავს თავისუფალი კონვექციის რეჟიმს.

საშუალო თბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობა შერეული მოძრაობის დროს შეიძლება განისაზღვროს შემდეგი კრიტერიალური განტოლებით:

$$Nu = 0,46 Re_{\text{პირ}}^{0,5} \quad (I-21)$$

ამ ფორმულით დამუშავებულ იქნა ცდები, რომლებმაც დამაკმაყოფილებლად განაზოგადა მიღებული შედეგები.

ზემოგანხილული იძულებითი კონვექციის გამოსაანგარიშებელ ფორმულებში განმსაზღვრელ ტემპერატურად მიღებულია ჰაერის ტემპერატურა  $t_s$ , ხოლო განმსაზღვრელ ზომად — ფილის სიგრძე  $l$ .

### § 1-3. უფრო ადრე კონსტრუქციები და ფენილი გრძელი ჰავლის მოძრაობის რეჟიმი და კონვექციური თბოგაცემა

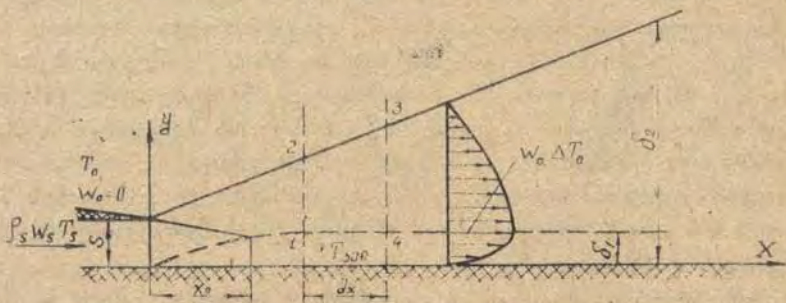
სათავსში ნორმალური მიკროკლიმატის შექმნის ერთ-ერთი მნიშვნელოვანი პირობაა ჰაერმიმოცვლის სწორი ორგანიზაცია. ჰაერმიმოცვლის ორგანიზაციის ნაირსახეობიდან აღსანიშნავია ჰაერის მიწოდება ნახევრად შეზღუდული ბრტყელი ჰავლების მეშვეობით. ნახევრად შეზღუდული ბრტყელი ჰავლი მიიღება ჰაერის გამოდინებით შემომზღული კონსტრუქციის ზედაპირთან მოთავსებული ხვრელიდან. ასეთი ჰავლები შემომზღული კონსტრუქციის ზედაპირზე ქმნის ჰაერის მდგრად ცირკულაციას. ნახევრად შეზღუდულ ჰავლებს დაფენილ ჰავლებსაც უწოდებენ.

გარდა ჰაერმიმოცვლის ორგანიზაციისა, დაფენილ ჰავლებს იყენებენ შენობათა ცალკეული კონსტრუქციების თბოდაცვის მიზნით. მაგალითად, მშენებლობაში ფართოდ გამოიყენება შემინული შემომზღული

კონსტრუქციები. მათ აქვთ მეტად დაბალი თერმული წინაღობა, რის გამოც შემინვის შიგა ზედაპირების ტემპერატურა ხშირ შემთხვევაში ეცემა ნამის წერტილზე დაბლა. ეს უკანასკნელი კი იწვევს სათავსის ტენიანი ჰაერიდან შემინულ ზედაპირებზე წყლის ორთქლის კონდენსაციას. კონდენსატის შრე ეკვრება რა შემინულ ზედაპირებს, აქვეითებს მათი ბუნებრივი განათების კოეფიციენტის მნიშვნელობას. მეორე მხრივ, ცივი ზედაპირებზე წარმოიქმნება ჰაერის ქვემოთ მიმართული კონვექციური ნაკადი, რომელიც აღწევს მუშა ზონაში და იწვევს სათავსის დისკომფორტს. დაბოლოს, ცივი ზედაპირები იწვევს სათავსში მყოფი ადამიანების მიერ გამოსხივებით თბოგაცემის გაზრდას. იმისათვის, რომ გაიზარდოს შიგა ზედაპირის ტემპერატურა, საჭიროა თერმული წინაღობის გადიდება ან შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირებთან თბოგაცემის ინტენსიფიკაცია. ამ უკანასკნელის მისაღწევად კი იყენებენ კონსტრუქციების თბოდაცვის ჰავლურ მეთოდს. ჰაერის იძულებითი ნაკადი, რომელიც წინასწარ თბება კალორიფერში, ჰავლის სახით გამოედინება სპეციალურად მოწყობილ ხვრელებში იმ შემომზღუდ კონსტრუქციებთან, რომელთა შიგა ზედაპირებსაც აქვთ დაბალი ტემპერატურა.

იმის მიხედვით, თუ რომელ შემომზღუდ კონსტრუქციაზე ხდება ჰავლის მიწოდება, მისი მოძრაობის რეჟიმი და თბოცვლის კანონზომიერებანი სხვადასხვაა. ქვემოთ განხილულია არაიზოთერმული ჰავლის მოძრაობის რეჟიმი და თბოგაცემა ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ შემომზღუდ კონსტრუქციებთან.

**ჰორიზონტალური ზედაპირი.** განვიხილოთ ბრტყელი ჰავლი (ნახ. I-5), რომელიც  $S$  სიმაღლის ხვრელიდან გამოედინება და ვრცელდება ბრტყელ ჰორიზონტალურ კედელთან. ჰავლის ჰაერის სიმკვრივე იგივეა, რაც გარემომცველი გარემოსი, ხოლო  $T_0 > T_1$  და  $W_0/W_1 \gg 1$  გამოტინების კვეთიდან ( $x=0$ ) ზედაპირთან ვითარდება ტურბულენტური სასაზღვრო შრე  $\delta_1$  სისქით. ამ შრის გარე საზღვარზე სიჩქარე ჰავლის კვეთში აღწევს  $W_0$  მაქსიმალურ მნიშვნელობას. ისევე,



ნახ. I-5. ბრტყელი დაწოლილი არაიზოთერმული ჰავლი.

როგორც იძულებითი კონვექციის შემთხვევაში, აქაც უშუალოდ ზედაპირთან თხელი ლამინარული ქვეშრე არსებობს. ზედაპირთან წარმოშობილი სასაზღვრო  $\delta_1$  შრე ურთიერთქმედებს ჰავლთან და მასთან ერთად წარმოქმნის ერთიან ჰავლურ სასაზღვრო შრეს  $\delta$  სისქით.

ზედაპირთან წარმოქმნილ  $\delta_1$  სასაზღვრო შრეში სიჩქარისა და ტემპერატურის განაწილების კანონი იგივეა, რაც იძულებითი კონვექციის შემთხვევაში, ხოლო გარე ჰავლურ შრეში — სიჩქარისა და ტემპერატურის ცვლილება შეიძლება დახასიათებულ იქნეს თავისუფალი ჰავლების კანონზომიერებით.

როცა გამოდინების კვეთში ჰავლის  $T_*$  ტემპერატურა ტოლია გარემომცველი გარემოს ჰაერის  $T_0$  ტემპერატურისა, მაშინ ასეთ ჰავლებს იზოთერმული ეწოდება. თუ  $T_*$  ტემპერატურა განსხვავდება  $T_0$ -საგან, მაშინ ჰავლს ეწოდება არაიზოთერმული.

გამოდინების კვეთიდან ჰავლის  $W_0$  ღერძული სიჩქარე და მისი შესაბამისი  $T_0$  ტემპერატურა თანდათან კლებულობს, რადგანაც  $\delta_1 \ll \delta_2$ , ამიტომ მაქსიმალური სიჩქარის გამოსათვლელად ზედაპირის გასწვრივ შეიძლება გამოყენებულ იქნეს იგივე ფორმულა, რაც თავისუფალი ჰავლის შემთხვევაში

$$\frac{W_0}{W_*} = 3,8 \left( \frac{S}{X} \right)^{0,5} \quad (I-22)$$

სიჩქარის შემცირება ზედაპირის გასწვრივ იწვევს სათანადო ჰავლის მაქსიმალური ტემპერატურისა და თბოგაცემის კოეფიციენტის შემცირებას. ს. ქუთათელაძემ და ა. ლეონტიევმა სასაზღვრო შრის განტოლებათა ინტეგრირების შედეგად მიიღეს ზედაპირის გასწვრივ თბოგაცემის კოეფიციენტის გამოსაანგარიშებელი ფორმულა

$$Nu_3 = \frac{\alpha X}{\lambda} = 0,12 Re^{0,8} \left( \frac{S}{X} \right)^{0,4} Pr^{0,4} \quad (1-23)$$

ზემოთ განხილული პროცესი (ნახ. I-5) შეესაბამება თბილი ჰავლის გავრცელების პროცესს იატაკთან. გრავიტაციული ძალების მოქმედების შედეგად შესაძლებელია სასაზღვრო შრის მოწყვეტა ზედაპირიდან (ნახ. I-6). სასაზღვრო შრის მოწყვეტის წერტილიდან ( $a$ ) ჰავლი შორდება ზედაპირს, რასაც შეუძლია გამოიწვიოს ზედაპირის არასაიმედო თბოდაცვა და ჰაერის არასასურველი ცირკულაცია. ამიტომ (I-23) ფორმულით სიჭრითა შეირჩეს  $S$  კვეთის ფართობი და გამოდინების  $W_0$  სიჩქარე, რათა უზრუნველყოფილ იქნეს ჰავლის გადაადგილება წინასწარ დადგენილ  $X$  მანძილზე.

ხშირ შემთხვევაში ცივი ჰავლი წყდება ჰერიდან. ამ დროს ჰავლი ეცემა მუშა ზონაში მანამ, ვიდრე იგი მიაღწევდეს მოპირდაპირე კა-

დელს. ხშირ შემთხვევაში ჰაერის ჰაველი საკმაოდ დაბალი ტემპერატურისაა და მისი მოხვედრა მუშა ზონაში არასასურველია.

მცირე ზომის სათავსებში ჰაველი, რომელიც ეფინება ჰერს, აღწევს საწინააღმდეგო მხარეზე მოთავსებულ კედელს და შებრუნდება  $90^\circ$ -ით და განაგრძობს მოძრაობას ქვემოთ (ნახ. I-6). ამ დროს ჰაველის გავრცელების კანონზომიერება უცვლელია და მოპირდაპირე ზედაპირი ითვლება წინა ზედაპირის გავრცელებად. ასეთ დაშვებას გაანგარიშების დროს შეუძლია გარკვეული ცდომილება გამოიწვიოს, რადგანაც ვერტიკალურ ზედაპირებთან ჰაველის გავრცელების ბუნება განსხვავდება ჰორიზონტალურ ზედაპირებთან გავრცელების ბუნებისაგან.

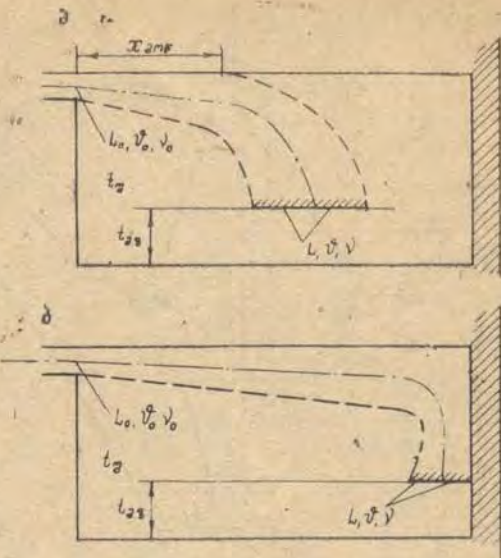
ვერტიკალური ზედაპირი. სათავსის შემომხლულ კონსტრუქციებთან (ფანჯრები და ვიტრაჟები) წარმოქმნილი ქვემოთ მიმართული კონვექციური ნაკადების სალიკვიდაციოდ მიზანშეწონილია ამ კონსტრუქციებს ქვემო ნაწილიდან მივაწოდოთ არაიზოთერმული ჰაველი.

როგორც ცნობილია, ნახევრად შეზღუდული ჰაველის გავრცელება წარმოადგენს შენელებულ მოძრაობას. თბოგამტარ კედელთან ასეთი ჰაველის გავრცელებისას გამოდინების კვეთიდან მოშორებით ზედაპირთან დინების ხასიათზე მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს ბუნებრივი კონვექცია. განსაკუთრებით ეს მოქმედება გამოვლინდება მაშინ, როდესაც ვერტიკალურ კედელთან ბუნებრივი კონვექცია ნახევრად შეზღუდული ჰაველის გავრცელების საწინააღმდეგოდაა მიმართული.

I-7 ნახაზზე წარმოდგენილია ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ მიმართული კონვექციური ჰაერის ნაკადის და ნახევრად შეზღუდული ჰაველის ურთიერთქმედება. ამ დროს ვერტიკალურ კედელთან არსებობს ჰაერის მოძრაობის სამი რეჟიმი. ზედა ზონაში თბოგაცემის ინტენსივობა გამოიანგარიშება ბუნებრივი კონვექციის ცნობილი ფორმულებით.

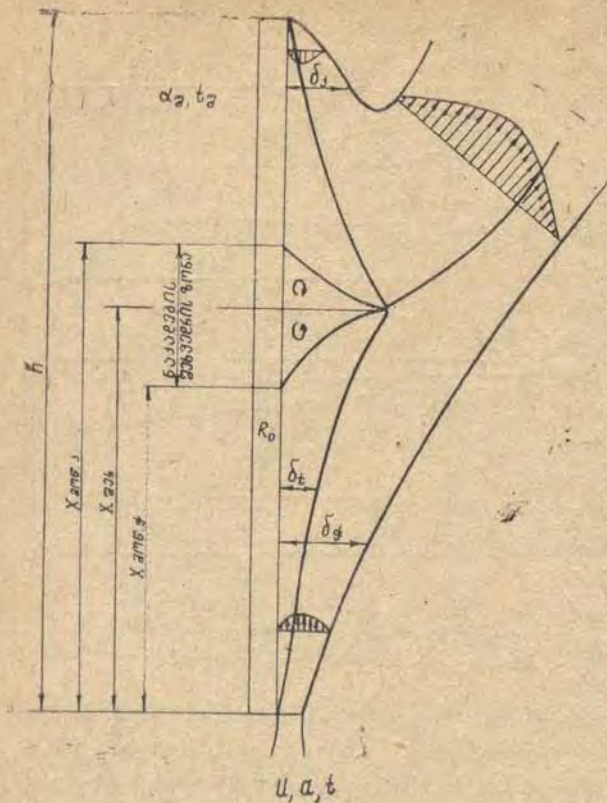
ქვედა ზონაში, ანუ ნახევრად შეზღუდული ჰაველის გავრცელების

2. გ. რატინი, შ. გრძელიშვილი



ნახ. I-6. ჰერზე დაწოლილი ჰაველი:  
 ა—ჰერზე დაწოლილი ცივი ჰაველის მოწყვეტა;  
 ბ—ჰაველის მოწყვეტლივ მოძრაობა





ნახ. 1-7. ნახევრად შემოსაზღვრული ჭავლის ზემოქმედება ბუნებრივი კონვექციით გამოწვეულ ნაკადზე

ციური ნაკადის სიჩქარისა და ტემპერატურის ტოლია.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, წერტილების 1 და 2 შესაბამის კვეთებში სასაზღვრო შრე ზედაპირიდან წყდება და წარმოიქმნება ახალი ერთიანი შერეული ჰაერის ნაკადი.

ჭავლური მეთოდით შემომზღუდი კონსტრუქციების თბოდაცვის დროს გაანგარიშების მიზანია განესაზღვროთ თბოგაცემის ინტენსივობა ჭავლის მოქმედების ზონაში და ჭავლის სიგრძე (შორსმსროლობა). ჭავლის სიგრძედ მიიღება მანძილი ჭავლის გამოღინების კვეთიდან ქვემოთ მიმართულ კონვექციურ ნაკადთან შეხვედრამდე ( $x_3$ ). ორი ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ მიმართული ნაკადის შეხვედრა ხდება იმ კვეთში, სადაც სრულდება პირობა

$$U_{მაქს.ტ} = U_{მაქს.კ}$$

(I-24)

ზონაში სიჩქარისა და ტემპერატურის პროფილები განსხვავდება ბუნებრივი კონვექციის შემთხვევაში მათი გავრცელების კანონზომიერებისაგან. უშუალოდ კედელთან, ისევე როგორც პორიზონტალური ზედაპირის შემთხვევაში, წარმოიშობა ტურბულენტური სასაზღვრო შრე ( $\delta$ ) და გარე ჭავლური სასაზღვრო შრე ( $\delta_3$ ). ამ ორი შრის საზღვარზე ჭავლის სიჩქარე და ტემპერატურა განსახილველ კვეთში მაქსიმალური სიდიდეებია. გამოღინების კვეთიდან სიჩქარე და ტემპერატურა თანდათან მცირდება და რომელიღაც კვეთში ეს სიჩქარე და ტემპერატურა ქვემოთ მიმართული კონვექ-

ე. ი. ნახევრად შეზღუდული ჭავლის გავრცელების მაქსიმალური სიჩქარე  $U_{\text{მაქს}}$  ქვემოთ მიმართული კონვექციური ნაკადის მაქსიმალური სიჩქარის  $U_{\text{მაქს},k}$  ტოლია. ეკერტისა და ჯექსონის მონაცემების თანახმად, ბუნებრივი კონვექციის შენთხვევაში, მაქსიმალური სიჩქარე  $U_{\text{მაქს}}$  განსაზღვროთ შემდეგი გამოსახულებით

$$(U_{\text{მაქს}})_{\text{კონ}} = 3,1 Gr_{h-x}^{5/12} \frac{\nu}{h-x}, \quad (\text{I-25})$$

სადაც  $Gr_{h-x}$  არის გრასპოფის რიცხვის მნიშვნელობა ქვემოთ მიმართული კონვექციური ნაკადისათვის, რომელიც მიეჭუთვნება  $h-x$  კვეთს.

ნახევრად შეზღუდული, ბრტყელ ჭავლის ღერძის გასწვრივ მაქსიმალური სიჩქარის გამოსათვლელად გამოვიყენოთ (I-22) ფორმულა. თუ (I-22) და (I-25) გამოსახულებებს ჩავსვამთ (I-24) განტოლებაში, მიიღება განტოლებები, რომლებიც აკავშირებენ ჭავლის გამოდინების საწყის პირობებს მის კინემატიკურ შორსნსროლობასთან, ე. ი.

$$Re_0 = 1,05 Gr_a^{5/12} \left(\frac{x}{a}\right)^{1/2} \left(\frac{h-x}{a}\right)^{1/4} \quad (\text{I-26})$$

ან

$$Re_0 = 1,05 Gr_{h-x}^{5/12} \left(\frac{h-x}{a}\right)^{-1/2} \left(\frac{h-x}{x}\right)^{-1/2}, \quad (\text{I-27})$$

სადაც  $Re_0 = \frac{V_0 a}{\nu}$  რეინოლდსის რიცხვის მნიშვნელობაა ჭავლის გამოდინების კვეთისათვის, ხოლო  $Gr_a$  — ამ კვეთისათვის გრასპოფის რიცხვის მნიშვნელობა.

ნახევრად შეზღუდული ჭავლის ზონაში თბოგაცემის ინტენსივობა გამოდინების კვეთიდან სიმაღლის მიხედვით თანდათან მცირდება.

როგორც (I-7) ნახაზიდან ჩანს, სიმაღლის მიხედვით ხდება ჭავლის კვეთში როგორც მაქსიმალური სიჩქარისა, ასევე ტემპერატურის ჩახშობა. ჭავლის ნებისმიერ კვეთში სიჩქარისა და ტემპერატურის განაწილება ტურბულენტურ სასაზღვრო შრეში სიჩქარისა და ტემპერატურის განაწილების ანალოგიურია და მათი მნიშვნელობები გამოისახება შემდეგი კანონზომიერებით

$$U = U_{\text{მაქს}} \left(\frac{y}{\delta}\right)^{1/7}, \quad \vartheta = \vartheta_{\text{მაქს}} \left[1 - \left(\frac{y}{\delta_i}\right)^{1/7}\right], \quad (\text{I-28})$$

სადაც  $U$  არის ჭავლის კვეთში ნებისმიერ მანძილზე სიჩქარის მნიშვნელობა;

$U_{\text{მაქს}}$  — ჭავლის ღერძის გასწვრივ მაქსიმალური სიჩქარე;

$\theta = t - t_{\text{კვლ}}$  — ჰავლის კვეთში ნებისმიერ ტემპერატურასა და კედლის ზედაპირის ტემპერატურას შორის სხვაობა;

$\theta_{\text{მაქს}} = t_{\text{მაქს}} - t_{\text{კვლ}}$  — მაქსიმალური ტემპერატურული სხვაობა.

კედლის სიმაღლის მიხედვით ჰავლის ღერძის გასწვრივ მაქსიმალური ტემპერატურის მნიშვნელობას გამოვთვლით ფორმულის საფუძველზე

$$\frac{t_{\text{მაქს}} - t_{\text{კვლ}}}{t_0 - t_{\text{კვლ}}} = 3,2 \left( \frac{a_0}{x_0} \right)^{1/3} \quad (\text{I-29})$$

თუ დავუშვებთ, რომ კედლის ზედაპირი იზოთერმულია ( $t_{\text{კვლ}} = \text{const}$ ), მაშინ ასეთ ზედაპირთან არაიზოთერმული ჰავლის გავრცელების შემთხვევაში, როდესაც  $Pr = 0,709$ , თბოგაცემის კოეფიციენტის ლოკალური მნიშვნელობებს გამოვთვლით შემდეგი კრიტერიალური განტოლებებით

$$Nu_{ax} = 0,118 Re_a^{0,8} \left( \frac{a}{x} \right)^{0,625} \quad (\text{I-30})$$

სადაც  $Nu_{ax} = \frac{\alpha_x a}{\lambda}$  ნუსელტის რიცხვის მნიშვნელობაა გამოდინების

კვეთის მიხედვით. ინდექსი  $x$  იმის მაჩვენებელია, რომ ნუსელტის რიცხვის ლოკალური მნიშვნელობა აღებულია ნებისმიერი  $x$  კვეთისათვის, სადაც თბოგაცემის კოეფიციენტის ლოკალური მნიშვნელობა  $\alpha_x$ -ის ტოლია.

ხშირ შემთხვევაში ნახევრად შეზღუდული ჰავლის გაანგარიშების დროს საჭიროა ჰავლის მთელ სიგრძეზე თბოგაცემის ინტენსივობის დადგენა. ეს უკანასკნელი კი ხდება ჰავლის სიგრძეზე თბოგაცემის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობის მიხედვით, რომელსაც გამოვთვლით შემდეგი კრიტერიალური განტოლებით

$$Nu_a = 0,302 Re^{0,8} \left( \frac{a}{x_3} \right)^{0,625} \quad (\text{I-31})$$

(I-3) განტოლება მიიღება (I-30) განტოლების ინტეგრირების შედეგად 0-დან  $x_3$ -მდე.

ქვემოთ მიმართული კონვექციური ნაკადისა და ნახევარშეზღუდული ჰავლის შეხვედრის ზონაში წარმოიქმნება ჰაერის ერთიანი ნაკადი. ჰაერის შერეული ნაკადი შესაძლებელია მიმართულ იქნეს კედლის ზედაპირის მართობულად ან მიედინებოდეს ზემოთ გადახურვისაკენ ან ქვემოთ მუშა ზონისაკენ. შერეული ნაკადი მეტად ცივია და მისი მოხვედრა მუშა ზონაში არასასურველია. ამიტომ გაანგარიშების დროს ჰავლის პარამეტრები ისე უნდა შევარჩიოთ, რომ უზრუნველყოთ შე-

რეული ცივი ნაკადის გადაადგილებას ჰერისაკენ. ამ პირობის დაცვა ხდება შემდეგი გამოსახულებით

$$1 \geq \frac{h-x_3}{x_3} Gr_{h-x_3}^{-0.1} \left[ 1 + 9 \left( \frac{x_3}{a} - 8 \right)^{-1} \right]. \quad (I-32)$$

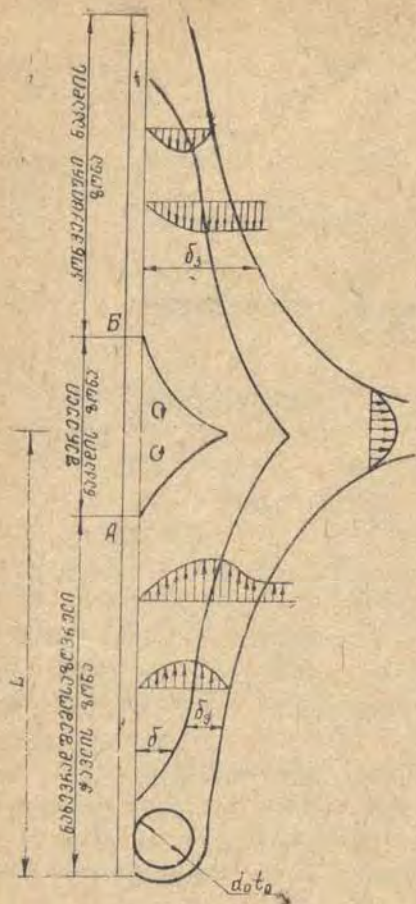
ამ გამოსახულებიდან ჩანს, რომ ჰავლის დიდი შორსმსროლობის დროს, ე. ი. როდესაც  $x_3 \gg h - x_3$ , ჰაერის შერეული ნაკადი მიმართულია ზემოთ, ხოლო  $x_3$  მცირე მნიშვნელობებისას — ქვემოთ.

#### § I-4. უმომოვლულ კონსტრუქციებთან ჰაერის ცივი ნაკადების ლოკალიზაცია თბური ზავლის მეშვეობით

ერთ-ერთ უმარტივეს ხერხს შემომზღულ კონსტრუქციებთან წარმოქმნილ ქვემოთ მიმართული ჰერის ცივი ნაკადის სალიკვიდაციოდ და შემინულ ზედაპირებზე (ფანჯრები, ვიტრინები, შექუარნები) კონდენსატის წარმოშობის აღმოსაფხვრელად წარმოადგენს თბური (კონვექციური) ჰავლი. ეს უკანასკნელი წარმოიქმნება კონვექტორული ტიპის სათბობ ხელსაწყოებზე. რადგანაც სათბობი ხელსაწყოები მოთავსებულია შემომზღული კონსტრუქციის ქვედა ნაწილში, ამიტომ ჰაერის თბილი ნაკადი, რომელიც წარმოიშობა ბუნებრივი კონვექციის გზით, ეფინება ვერტიკალურ შემომზღულ კონსტრუქციას და ქმნის ამ ზედაპირთან ჰაერის თბურ ფარდას. სათავსის თბილი ჰაერი ზედა ნაწილში ეხება ცივ ზედაპირს, მიმდება და ეშვება ქვემოთ. ამრიგად, ვერტიკალურ ცივ ზედაპირთან წარმოიქმნება ორი ერთმანეთის საწინააღმდეგო ჰაერის ნაკადი. ორივე ნაკადის გავრცელება განპირობებულია გრავიტაციული ძალების მოქმედებით. ამ ორი ნაკადის ურთიერთქმედება სათავსის მოცულობაში იწვევს ზედაპირიდან სასაზღვრო შრის მოწყვეტას და ჰაერის შერეულ ნაკადის გადაადგილებას.

შემომზღული კონსტრუქციების თბური ჰავლებით დაცვის დროს საჭიროა შეირჩეს ჰავლის პარამეტრები ისე, რომ უზრუნველყვით ქვემოთ მიმართული ცივი კონვექციური ნაკადის მთლიანი ლიკვიდაცია ან ვაიძულოთ ჰაერის შერეული ნაკადი გადაადგილდეს გადახურვისაკენ. ამ ამოცანის გადაწყვეტა კი განპირობებულია თბური ჰავლების ზედაპირთან გავრცელების კანონზომიერებათა ცოდნით.

I-8 ნახაზზე ნაჩვენებია ვერტიკალურ ზედაპირთან თბური ჰავლის ქვემოთ მიმართული ჰაერის ცივ ნაკადთან ურთიერთმოქმედება. ნახაზიდან ჩანს, რომ შემომზღული კონსტრუქციის ქვედა ნაწილში ვრცელდება თბური ჰავლი. ამ უკანასკნელის ლერძის გასწვრივ გადის კედელთან არსებული ჰიდროდინამიკური და თბური სასაზღვრო შრის გარე საზღვარი (შ). გარდა ამისა, მის გარე ნაწილში არსებობს გარე ჰავლური შრე



სისქით ზე. ჭავლის გავრცელების მანძილი და აგრეთვე მისი ღერძის გასწვრივ მაქსიმალური ტემპერატურის ცვლილება დამოკიდებულია სათბობი ხელსაწყოს ზომებსა და მისი ზედაპირის ტემპერატურაზე. ზედაპირის ტემპერატურის გაზრდით ჭავლის სიგრძე იზრდება. იმ შემთხვევაში, როდესაც  $Gr_0 > 10^6$ , ჭავლის მოძრაობის რეჟიმი ტურბულენტურია, ხოლო გრასპოფის რიცხვის ნაკლები მნიშვნელობის დროს — მოძრაობა ლამინარული. გათბობა-ვენტილაციის ტექნიკაში ძირითადად გამოიყენება ტურბულენტური თბური ჭავლები. ჭავლის სიმალლეზე ჭავლის მოძრაობის კანონზომიერება სხვადასხვანაირია. უშუალოდ სათბობ ხელსაწყოს ზემოთ წარმოიშობა აჩქარებული მოძრაობის ზონა. ამ ზონაში ხდება ჭავლის ღერძული სიჩქარის ზრდა სიმაღლის მიხედვით, შემდეგ კი — ჭავლის ძირითადი უბნის ფორმირება.

ნახ. 1-8. ნახევარად შემოსაზღვრული თბური ჭავლის ზემოქმედება ქვემოთ მიმართული ცივი ჰაერის ნაკადთან

ძირითად უბანზე გადასვლა ხდება გარდამავალი უბნის გავლით. აჩქარებული მოძრაობის ზონაში, როგორც წესი, მოძრაობა

ლამინარულია, ძირითად უბანში — ტურბულენტური. ვინაიდან სათბობი ხელსაწყოს ზედაპირი შეწიბოებული და გარკვეული სიმაღლისაა, ამიტომ შეგვიძლია გაანგარიშების დროს აჩქარებული მოძრაობისა და გარდამავალი უბნები უგულვებელყოთ და ბუნებრივი ჭავლის მოქმედების ზონა განვიზილოთ როგორც ერთიანი უბანი ტურბულენტური მოძრაობის რეჟიმით.

ბუნებრივი ჭავლის თბოგაცემის კანონზომიერებათა შესწავლის დროს ზედაპირთან ჰიდროდინამიკური სასაზღვრო შრის სისქე თბური სასაზღვრო შრის სისქის ტოლია

$$\delta = \delta_3 = \delta_{\text{თბ}}$$

ჰავლის კვეთში ტემპერატურათა და სიჩქარეთა განაწილება გამოი-  
სახება „ერთი მეშვიდედის“ კანონით:

$$\Theta = \Theta_{\text{მაქს}} \left( \frac{y}{\delta} \right)^{1/7},$$

$$U = U_{\text{მაქს}} \left( \frac{y}{\delta} \right)^{1/7}, \quad (\text{I-33})$$

სადაც  $\Theta = t - t_{\text{კვლ}}$  და  $\Theta_{\text{მაქს}} = t_{\text{მაქს}} - t_{\text{კვლ}}$ ;  
 $t_{\text{მაქს}}$  და  $U_{\text{მაქს}}$  — ჰავლის ღერძის გასწვრივ მაქსიმალური ტემპერატურა  
და სიჩქარეა.

ბუნებრივი ჰავლის ზონაში თბოგაცემის გაანგარიშების დროს  
მნიშვნელოვან სიდიდეს წარმოადგენს ჰავლის ღერძის გასწვრივ მაქსი-  
მალური ტემპერატურის მნიშვნელობა  $t_{\text{მაქს}}$ . ეს სიდიდე სათბობი ხელსა-  
წყოდან ზემოთ თანდათან მცირდება და გარკვეულ სიმაღლეზე მისი  
მნიშვნელობა უტოლდება სათავსის ჰაერის ტემპერატურას. ჰავლის ღერ-  
ძის გასწვრივ მაქსიმალური ტემპერატურის ლოკალურ მნიშვნელობას  
გამოვთვლით შემდეგი ფორმულით:

$$\frac{\Theta_{\text{მაქს}}}{\Theta_0} = 0,34 \left( \frac{d_0}{x} \right)^{0,7}, \quad (\text{I-34})$$

სადაც  $\Theta_0 = t_0 - t_{\text{კვლ}}$  არის ტემპერატურული სხვაობა სათბობი ხელსაწყოს  
ზედაპირსა და შემომზღუდი კონსტრუქციის  
ზედაპირს შორის;

$d_0$  — ცილინდრული კონვექტორის დიამეტრი ან სათ-  
ბობი ხელსაწყოს სიგანე;

$x$  — მანძილი სათბობი ხელსაწყოდან განსახილველ  
კვეთამდე.

საშუალო ტემპერატურული სხვაობა იილება (I-34) განტოლების  
ინტეგრირებით 0-დან  $L$ -მდე ზღვრებში

$$\frac{\Theta_{\text{მაქს}}}{\Theta_0} = 1,2 \left( \frac{d_0}{L} \right)^{0,7}, \quad (\text{I-35})$$

სადაც  $L$  — ჰავლის სიგრძე, ანუ მისი შორსმსროლობაა.

საშუალო ტემპერატურული სხვაობის მეშვეობით შეგვიძლია გა-  
მოვთვალოთ ჰავლის გავრცელების ზონაში კედლის ზედაპირზე თბური  
ნაკადის მნიშვნელობა.

სასაზღვრო შრის განტოლებათა ამოხსნის შედეგად მიღებულია  
განტოლებები თბოგაცემის კოეფიციენტის გამოსაანგარიშებლად ჰავლის  
მოქმედების ზონაში.

ჰაერისათვის, როდესაც  $Pr=0,73$ , თბოგაცემის კოეფიციენტის ლოკალურ მნიშვნელობებს გამოვთვლით ფორმულით

$$Nu_0 = 0,21 Gr_0 \left( \frac{d_0}{x} \right)^{0,25}, \quad (I-36)$$

სადაც  $Nu_0 = \frac{\alpha d_0}{\lambda}$  ნუსელტის კრიტერიუმია, ხოლო  $Gr_0 = \frac{g \beta \theta_0 d_0^3}{\nu^2}$  გრასჰოფის კრიტერიუმი. ამ კრიტერიუმებში განმსაზღვრელ ზომად აღებულია ცილინდრული კონვექტორის დიამეტრი  $d_0$ .

როგორც ფორმულიდან ჩანს,  $x$  მანძილის ზრდასთან ერთად თბოგაცემის კოეფიციენტი ( $\alpha$ ) მნიშვნელობა შემცირდება. ეს გარემოება გამოწვეულია კედლის ზედაპირის გასწვრივ თბური სასაზღვრო შრის სისქის გაზრდით.

თბოგაცემის კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობას ჰაელის მოქმედების ზონაში გამოვთვლით ფორმულით

$$\bar{Nu}_0 = 0,28 Gr_0 \left( \frac{d_0}{L} \right)^{0,25}, \quad (I-37)$$

სადაც  $L$  — ჰაელის შორსმსროლობაა.

ჰაელის შორსმსროლობის დასადგენად განვიხილავთ თბური ჰაელის ურთიერთმოქმედებას ქვემოთ მიმართულ კონვექციურ ნაკადთან. ორი ერთმანეთის საწინააღმდეგოდ მიმართული დინების გამო ზედაპირთან წარმოიშობა შერეული ზონა, რომელშიც ხდება სასაზღვრო შრეში დამუხრუჭებული ჰაერის გადატანა გარე (პოტენციალურ) დინებაში, რის გამოც სასაზღვრო შრე წყდება კედლის ზედაპირს (ნახ. I-8), თბური ნახევრად შეზღუდული ჰაელი მოწყვეტის შემდეგ (A წერტილი) კვლავ განაგრძობს დინებას, მაგრამ იცვლის ტრაექტორიას კედლის ზედაპირის მიმართ. მოწყვეტის A წერტილიდან რაღაც მანძილზე ჰაელი ხვდება ქვემოთ მიმართულ კონვექციურ ნაკადს, რომელიც, თავის მხრივ წყდება კედლის ზედაპირს B წერტილი. ნაკადების მოწყვეტის კლასიკური თეორიიდან ცნობილია, რომ მოწყვეტის წერტილში სიჩქარის გრადიენტი

$$\left. \frac{\partial U}{\partial y} \right|_{y=0} = 0. \quad (I-38)$$

რადგანაც კედლის ზედაპირთან მართებულია გამოსახულება

$$\tau_w = \mu \left. \frac{\partial U}{\partial y} \right|_{y=0}, \quad (I-39)$$

შეგვაძლია დავუშვათ, რომ მოწყვეტის წერტილში მხები ძაბვა ( $\tau_w$ ) ნულის ტოლია.

(I-39) გამოსახულებაში  $\mu$ —დინამიკური სიბლანტის კოეფიციენტია.

რადგანაც მოწყვეტის წერტილში მხები ძაბვის სიდიდე ნულია, ამ კვეთში ხახუნი არ ხდება და ნაკადი შორდება ზედაპირს რაღაც კუთხით. მოწყვეტის შემდეგ იწყება უკუდინება, რის გამოც სასაზღვრო შრის სისქე მნიშვნელოვნად იზრდება (C წერტილი) და აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას მოწყვეტის წერტილიდან რაღაც მანძილზე.

კვეთი, რომელშიც სასაზღვრო შრის სისქე აღწევს მაქსიმალურ მნიშვნელობას, ნაკადების შეხვედრის ადგილია, ხოლო მანძილი სათბობი ხელსაწყოს ზედაპირიდან ნაკადების შეხვედრის ადგილამდე — ჭავლის შორსმსროლობა.

(I-36) ფორმულიდან გამომდინარე, თბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობა სათბობი ხელსაწყოს ზედაპირიდან თანდათან მცირდება და რომელიღაც გარკვეულ კვეთში მისი მნიშვნელობა ქვემოთ მიმართული კონვექციური ნაკადის ზონაში თბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობის ტოლია. ამ კვეთის ზემოთ თბოგაცემის კოეფიციენტი ინარჩუნებს მუდმივ მნიშვნელობას (§ I-2). როგორც ჩანს, ნაკადების შეხვედრის კვეთში ჭავლის ზონაში თბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობა  $\alpha_3^*$  ქვემოთ მიმართული კონვექციური ნაკადის ზონაში თბოგაცემის კოეფიციენტის ტოლია

$$\alpha_3^* = \alpha_3 \tag{I-40}$$

თუ (I-40) ფორმულაში (I-37) და (I-12) ფორმულებიდან ჩავსვამთ  $\alpha_3^*$  და  $\alpha_3$  მნიშვნელობებს, მივიღებთ ჭავლის შორსმსროლობის გამოსაანგარიშებელ ფორმულას ტურბულენტური მოძრაობის რეჟიმისათვის

$$L = \frac{d_0}{1 - 0,14 \frac{h}{b}} \tag{I-41}$$

(I-41) ფორმულის საშუალებით განვსაზღვრავთ სათბობი ხელსაწყოს ზომებსა და ტემპერატურას იმ პირობით, რომ უზრუნველვეყოთ ნაკადების სასურველ მანძილზე შეხვედრა.

შემინული ზედაპირების თბური დაცვის დროს ამ ზედაპირების ტემპერატურა აიღება სათავსის ჰაერის ნამის წერტილზე  $1 \div 2^\circ\text{C}$ -ით მეტი, რაც თავიდან გვაცილებს ამ ზედაპირებზე კონდენსატის წარმოშობას. გარდა ამ პირობისა, შემომზღული კონსტრუქციის ქვედა ნაწილში მოთავსებული სათბობი ხელსაწყო აუმჯობესებს სათავსის რადიაციულ რეჟიმს, რაც გაითვალისწინება კომფორტულობის მეორე პირობით.

რადგანაც თბური ჭავლის გამოყენების დროს ზედაპირებთან თბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობები იზრდება. ბუნებრივია, ეს გარემოება გამოიწვევს თბოდანაკარგების მნიშვნელოვან ვაზრდას.





ამიტომ, გათბობის სისტემის სიმძლავრის დასადგენად თბორღან-კარგების გაანგარიშების დროს საჭიროა ცალ-ცალკე გამოვთვალოთ ეს სიდიდეები როგორც ჭავლის გავრცელების, ასევე ქვემოთ მიმართული კონვექციური ნაკადის ზონაში და შემდეგ შევაჯამოთ.

**§ 1-5. ზედაპირების მიერ თბური გამოსხივების თვისებები**

სხივური ენერგია რთულ შიგაატომურ აგზნებათა შედეგია და წარმოიშობა სხვადასხვა სახის ენერგიის, ძირითადად თბური ენერგიის ხარჯზე. ამიტომ სხეულის გაცხელების დროს თბური ენერგიის ნაწილი აუცილებლად გარდაიქმნება ხოლმე სხივურ ენერგიად. ვინაიდან შიგა ატომური აგზნების პირველადი მიზეზი სხეულის ტემპერატურაა, ამიტომ წარმოშობილი სხივური ენერგიის რაოდენობა ტემპერატურით განისაზღვრება და მხოლოდ მასზეა დამოკიდებული.

სხივური ენერგიის გავრცელება ხორციელდება ელექტრომაგნიტურ რხევათა საშუალებით. რხევათა ტალღის სიგრძე განვსაზღვროთ შემდეგი ტოლობით:

$$C = \nu \lambda, \tag{1-42}$$

სადაც  $C$  არის რხევის გავრცელების სიჩქარე;

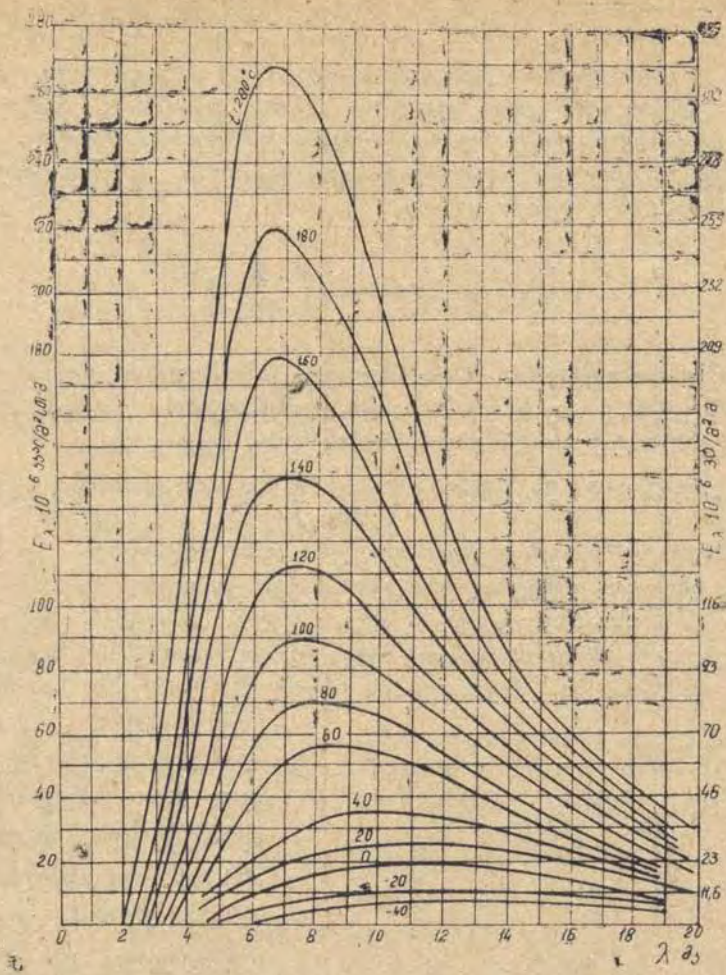
$\nu$  — რხევათა რიცხვი;

$\lambda$  — ტალღის სიგრძე.

ტალღის სიგრძე მიკრონის ნაწილებიდან მრავალ კილომეტრამდეა. ელექტრომაგნიტური რხევები ცნობილია ელექტრომაგნიტური ტალღებისა და რენტგენის, ულტრაიისფერი, ხილული, ანუ სინათლისა და ინფრაწითელი სხივების სახელწოდებით. ამ სხივების თვისებები სხვადასხვანაირია. ჩვენთვის ყველაზე უფრო ის სხივებია საინტერესო, რომლებიც სხეულების მიერ შთანთქმება, რადგანაც შთანთქმის დროს ამ სხივების ენერგია ისევ თბურ ენერგიად გარდაიქმნება. ასეთი თვისებები უმთავრესად გააჩნია ხილვად და ინფრაწითელ სხივებს, რომელთა ტალღების სიგრძე დაახლოებით 0,4—40 მიკრონამდეა. ინფრაწითელ სხივებს ეწოდება თბური სხივები, ხოლო მათ გავრცელების პროცესს თბური გამოსხივება, ანუ სხივფენა.

სათავსის ყველა ზედაპირი გამოსხივების წყაროა.

(1—9) ნახაზზე მოცემულია აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების  $I$  სპექტრული ინტენსივობის (გტ/მ<sup>2</sup>. გრად) დამოკიდებულება ტალღის სიგრძესთან. გრაფიკი აგებულია პლანკის კანონის თანახმად, სადაც ტემპერატურული ზღვრები მიღებულია სათავსში დაშვებული ტემპერატურული დიაპაზონისათვის. საკმაოდ დაბალი ტემპერატურების დროს თბური გამოსხივება, რომელსაც ეთანადება სათავსის ყველა ზედაპირი, მოიცავს შედარებით ტალღის სიგრძის მცირე მონაკვეთს და



ნახ. 1-9. აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივება, როგორც ტალღის სიგრძის ფუნქცია სხვადასხვა ტემპერატურების დროს

იგი შეიძლება განხილულ იქნეს, როგორც მონოქრომატული, ე. ი. შედგენილი თანაბარი სიგრძის ტალღებით. რაც უფრო მაღალია ტემპერატურა, მით მოკლეა ის ტალღები, რომლებსთვისაც გამოსხივება აღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას. კავშირს  $T$ -სა და  $\lambda_{max}$  შორის ამყარებს ვინის კანონი

$$\lambda_{max} \cdot T = a, \tag{1-43}$$

სადაც  $a$  — გამოსხივების მუდმივაა და  $0,29 \text{ სმ } ^\circ\text{K}$  ტოლია.

(I-9) ნახაზზე  $T = \text{const}$  მრუდით, აბსცისითა და  $\lambda$  და  $\lambda + d\lambda$  ორდინატებით შემოსაზღვრული ფართობი (ნახაზზე ეს ფართობი დაშტრიხულია) გამოსხივებული ენერჯიის რაოდენობაა  $dE_0$ , რომელიც შეესაბამება ტალღების სიგრძეთა შუალედს  $-d\lambda$ -ს; მაშასადამე,  $dE_0 = I_{0\lambda} d\lambda$ , ხოლო გამოსხივებული ენერჯიის მთლიანი რაოდენობა, რომელიც შეესაბამება ყველა ტალღას, მიუხედავად მათი სიგრძისა, სტეფან-ბოლცმანის კანონის თანახმად, ტოლი იქნება:

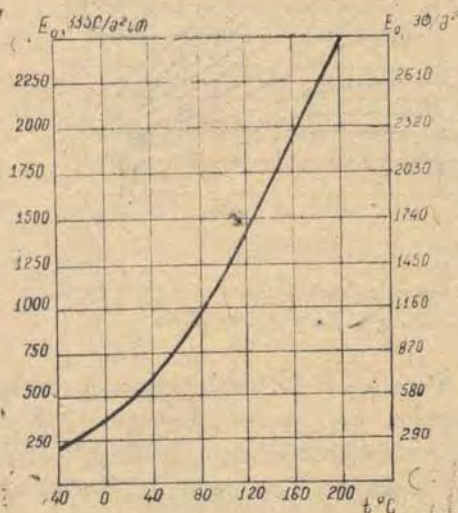
$$E_0 = \int_0^{\infty} I_{0\lambda} d\lambda = C_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4, \quad (\text{I-44})$$

სადაც  $C_0$  აბსოლუტურად შავი სხეულის გამოსხივების კოეფიციენტი;  $C_0 = 5,75$  ვტ/მ<sup>2</sup>. გრად  $K^4$ ; მაშასადამე, გამოსხივების ენერჯია აბსოლუტური ტემპერატურის მეოთხე ხარისხის პროპორციულია.

(I-10) ნახაზზე მოცემულია  $\left( \frac{T}{100} \right)^4$  ტემპერატურული ფაქტორის  $^{\circ}C$  ტემპერატურისაგან ფუნქციონალური დამოკიდებულება.

$E_0$  სიდიდეს ინტეგრალური გამოსხივება ეწოდება, მაგრამ სინამდვილეში ის არის აბსოლუტურად შავი სხეულის სხივების უნარი.

რეალური სხეულებისათვის, მაგალითად, სათავისის ზედაპირებისათვის, გამოსხივების ინტენსივობის ცვლილება ტალღების სიგრძისა და



ნახ. I-10. აბსოლუტურად შავი სხეულის ინტეგრალური გამოსხივების ინტენსივობა ტემპერატურის მიხედვით

ტემპერატურის მიხედვით შეიძლება დავადგინოთ მხოლოდ მათი სპექტრის ექსპერიმენტული შესწავლით. ამასთან, თუ სხეულისათვის გამოსხივების სპექტრი განუწყვეტელია და ერთი და იმავე ტემპერატურის პირობებში მრუდი  $E_\lambda = f(\lambda)$  აბსოლუტურად შავი სხეული სათანადო მრუდის მსგავსია, მაშინ ასეთ სხეულს ნაცრისფერი სხეული ეწოდება. ცდებით გამოირკვა, რომ სათავისის თითქმის ყველა ზედაპირი ნაცრისფერი სხეულებია. ცხადია, ნაცრისფე-

რი სხეულები გამოასხივებს ნაკლებ თბურ ენერგიას, ვიდრე აბსოლუტურად შავი სხეულები.

თუმცა სტეფან-ბოლცმანის კანონი მხოლოდ აბსოლუტურად შავი სხეულისათვის მართებულია, მაგრამ სტეფანისა და მკვლევარების ცდებით დამტკიცებულია ამ კანონის გამოყენების შესაძლებლობა ნაცრისფერი სხეულებისათვისაც. ამ შემთხვევაში (I-44) განტოლება შემდეგი სახისაა:

$$E = C \left( \frac{T}{100} \right)^4 \quad (I-45)$$

სხვადასხვა სხეულისათვის გამოსხივების კოეფიციენტი  $C$  სხვადასხვაა და განისაზღვრება სხეულის ბუნებით, მისი ზედაპირის მდგომარეობით და ტემპერატურით. ეს კოეფიციენტი ყოველთვის ნაკლებია  $C_0$ -ზე და იცვლება 0-დან 5,75-მდე.

თუ თანასწორი ტემპერატურის პირობებში ერთმანეთს შევუფარდებთ ნაცრისფერ და აბსოლუტურად შავი სხეულების გამოსხივების ენერგიას, მივიღებთ სხეულის ახალ მახასიათებელს, რომელსაც სხეულის შედარებითი გამოსხივების უნარი, ანუ სიშავის ხარისხი ეწოდება და აღინიშნება  $\epsilon$ -ით, ე. ი.

$$\epsilon = \frac{E}{E_0} = \frac{C}{C_0} \quad (I-46)$$

$\epsilon$  იცვლება 0-დან 1-მდე. საჭირო სამუშეო მასალებისათვის  $\epsilon$ -ის მნიშვნელობანი მოცემულია I-1 ცხრილში.

თუ ცნობილია  $\epsilon$ , გამოვთვლით  $E$  სხივურ ენერგიას. ამ შემთხვევაში გამოსაანგარიშებელი (I-45) განტოლება შემდეგი სახისაა:

$$E = \epsilon E_0 = \epsilon C_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4 = \epsilon \cdot 4,96 \left( \frac{T}{100} \right)^4 \quad (I-47)$$

I-1 ცხრილში მოცემულია აგრეთვე მზის სხივების შთანთქმის უნარი სხვადასხვა სამუშეო მასალებისათვის.

ცხრილი I-1

№№ რიგ.	მასალის დასახელება	სიშავის ხარისხი	მზის სხივების შთანთქმის უნარი
1	2	3	4
1	მარმარილო მონაცრისფრო, გაპრიალებული	0,98	0,3
2	მარმარილო მუქი, გაპრიალებული	0,98	0,63
3	გრანიტი ნაცრისფერი, გაპრიალებული	0,42	0,8

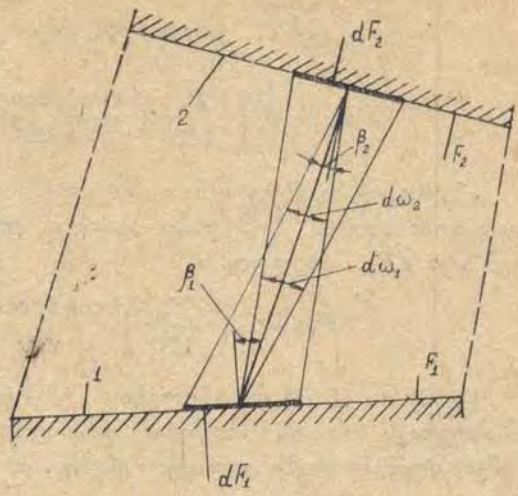
1	2	3	4
4	კირკვა ღია, გაპრიალებული	0,4	0,35
5	კირკვა მუქი, გაპრიალებული	0,4	0,5
6	ქვიშაქვა მოყვითალო-მოყავისფრო, გაპრიალებული	—	0,54
7	ქვიშაქვა ღია	—	0,62
8	ქვიშაქვა წითელი	0,57	0,73
9	აგური წითელი	0,93	0,7—0,74
10	აგური ღია ყვავისფერი	—	0,55
11	აგური შოკიქული, თეთრი	—	0,26
12	ბეტონი გლუვი ზედაპირით	0,62	0,54—0,65
13	მობათქაშება ღია	0,91	0,42
14	მობათქაშება მუქი	0,94	0,73
15	ხე შეუღებავი	0,7—0,9	0,59
16	ხე შეღებილი ღია ყვითელი ფერით	—	0,6
17	აზბესტი თეთრი	0,96	0,42
18	რუბეროიდი	0,93	0,76—0,94
19	ტოლი შავი	0,91	0,86—0,88
20	რკინა გაპრიალებული	0,128	0,45
21	რკინა მოთუთიებული	0,28	0,64
22	აზბესტცემენტი თეთრი	0,96	0,61
23	ალუმინი მქრქალი	0,055	0,52
24	ალუმინი გაპრიალებული	0,039—0,057	0,26
25	სპილენძი კარგად გაპრიალებული	0,018—0,023	—
26	ლაქი თეთრი ემალის, რკინის მქისე ფონზე	0,906	—
27	ლაქი შავი მბრწყინავი	0,87	—
28	ლაქი შავი, მქრქალი	0,96—0,98	—
29	ლაქი თეთრი	0,8—0,95	—
30	ლაქი შავი, მქრქალი	0,91	—
31	ზეთის სიღებავები სხვადასხვა ფერის	0,81—0,92	—
32	რეზინი მაგარი, გაელვარებული	0,945	—
33	რეზინი რბილი, ნაცრისფერი, მქისე	0,859	—
34	მინა ზ=4,5 მმ	0,94	0,04
35	მინა ზ=7 მმ	0,94	0,076

§ I-5. ხხივური სითბოს უკთიერთგადაცემა  
ხათავისი ზედაპირებს შორის

გამოსხივების, შთანთქმის და არეკვლის კანონებისა და აგრეთვე მიმართულებაზე გამოსხივების დამოკიდებულების ცოდნა საშუალებას გვაძლევს ზედაპირებს შორის სითბოს სხივური ურთიერთგადაცემა გამოვიანგარიშოთ ფორმულების მეშვეობით. ეს ამოცანა შეიძლება შემდგენაირად ამოვხსნათ.

განვიხილოთ სხი-  
ვური სითბოს ურთი-  
ერთგადაცემა ორი  
აბსოლუტურად შავი  
სხეულის ზედაპირებს  
შორის (ნახ. I-11).  
სტეფან-ბოლცმანის კა-  
ნონის თანახმად, ზე-  
დაპირის  $dF_1$  ელემენ-  
ტარული ფართობი  
ნახევარსფეროს ფარ-  
გლებში ყველა მიმარ-  
თულებით ასხივებს სი-  
თბოს რაოდენობას,  
რომელიც ტოლია

$$dq_1 = C_0 \left( \frac{T_0}{100} \right)^4 dF_1. \quad (I-48)$$



ნახ. I-11. ორ ზედაპირს შორის თბოგაცემა გამოსხი-  
ვებით

ლამბერტის კანონის თანახმად, ზედაპირის გამოსხივების უნარი ნორმალის მიმართულებით  $\pi$ -ჯერ უფრო ნაკლებია, ვიდრე მისი სრული გამოსხივება

$$dq_{\text{ნორ}} = \frac{dq_1}{\pi} = \frac{1}{\pi} C_0 \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 dF_1. \quad (I-49)$$

$dF_1$  ელემენტის მიერ  $dF_2$  ელემენტის  $\beta_1$  კუთხის მიმართულებით გამოსხივებული ენერჯიის რაოდენობა ტოლია

$$dq_{\beta_1} = \frac{1}{\pi} C_0 \left( \frac{T_1}{100} \right) \cos \beta_1 dF_1. \quad (I-50)$$

ლამბერტის კანონის თანახმად,  $dA_1$  სივრცული კუთხის ზღვრებში ობჟური ნაკადი ტოლია

$$d^2q = \frac{1}{\pi} C_0 \left( \frac{T_1}{100} \right) \cos \beta_1 dF_1 d\omega_1, \quad (I-51)$$

სადაც  $d\omega_1$  სივრცული კუთხეა, რომლითაც  $a$  წერტილიდან მოჩანს ელე-  
მენტი  $dF_2$ , ე. ი.

$$d\omega_1 = \frac{dF_2 \cos \beta_2}{R^2}, \quad (I-52)$$

სადაც  $R$  არის მანძილი ელემენტარულ  $dF_1$  და  $dF_2$  ფართობებს შორის;

$dF_2 \cos \beta_2 - dF_2$  ფართობის გეგმილი სფეროზე, რომლის რადიუსი  $R$ .

მაშასადამე, (I-51) განტოლება შეიძლება გადაიწეროს შემდეგი სახით:

$$d^2q_1 = C_0 \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi R^2} dF_1 dF_2. \quad (I-53)$$

ანალოგიური მსჯელობით მივიღებთ გამოსახულებას ენერჯის ის რაოდენობისათვის, რომელსაც ასხივებს ელემენტი  $dF_2$  და შთანთქმავს ელემენტი  $dF_1$ , სახელდობრ

$$d^2q_2 = C_0 \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi R^2} dF_1 dF_2. \quad (I-54)$$

(I-53) და (I-54) ფორმულებით ენერჯის რაოდენობათა სხვაობა განსაზღვრავს სითბოს სხივური ურთიერთგადაცემის გზით პირველი ელემენტიდან მეორეზე გადასულ ენერჯიას

$$\begin{aligned} d^2Q_{1-2} &= d^2q_1 - d^2q_2 = \\ &= C_0 \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi R^2} dF_1 dF_2 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]. \end{aligned} \quad (I-55)$$

სასრული სიდიდის ზედაპირებისათვის გადაცემული სითბოს რაოდენობას განვსაზღვრავთ (I-34) განტოლების ინტეგრირებით  $F_1$  და  $F_2$  ფართობზე, ე. ი.

$$Q_{1-2} = C_0 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \int_{F_1} dF_1 \int_{F_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi R^2} dF_2. \quad (I-56)$$

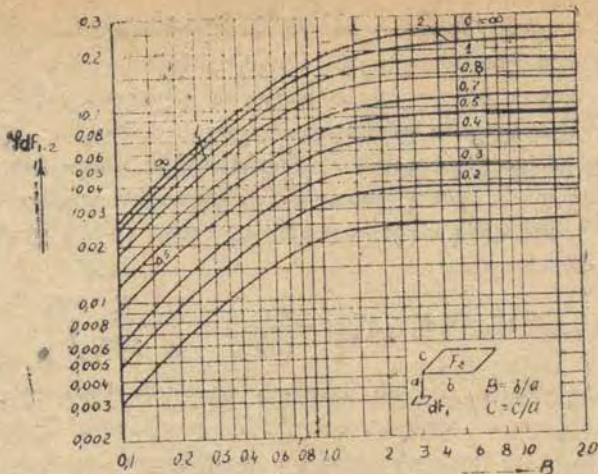
ამ გამოსახულების ბოლო თანამამრავლს (ინტეგრალს) ეწოდება დასხივებულობის კოეფიციენტი და აღინიშნება  $\varphi$  ასოთი, ე. ი.

$$Q_{1-2} = C_0 F_1 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \varphi_{1-2}, \quad (I-57)$$

სადაც  $\varphi_{1-2}$  — საშუალო კუთხური კოეფიციენტი, ანუ დასხივებულობის კოეფიციენტი;

უკანასკნელი სიდიდე დამოკიდებულია მხოლოდ გეომეტრიულ პარამეტრებზე და განვსაზღვრავთ ზედაპირების ფორმით, მათი ზომებით ურთიერთგანლაგებით და მათ შორის მანძილით

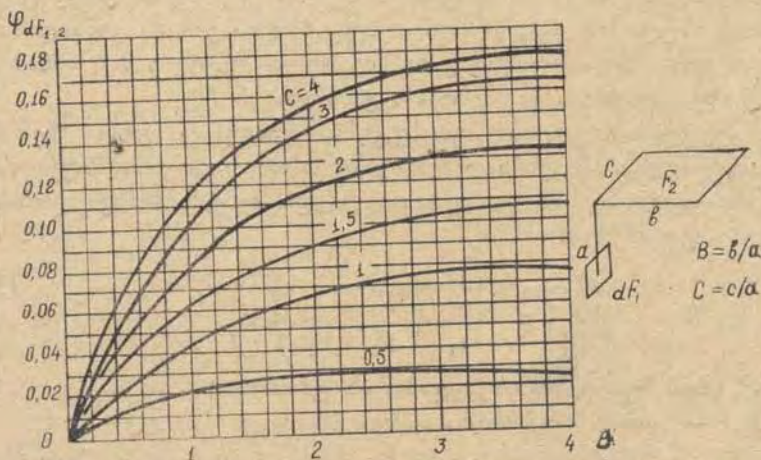
$$\varphi_{1-2} = \frac{1}{F_1} \int_{F_1} dF_1 \int_{F_2} \frac{\cos \beta_1 \cos \beta_2}{\pi R^2} dF_2 = \frac{1}{F_1} \int_{F_1} \varphi' dF_1, \quad (I-58)$$



ნახ. I-12. დასხივებულობის კოეფიციენტი ელემენტარულ ზედაპირიდან ზედაპირზე მის პარალელურ სიბრტყეში

სადაც  $\varphi'$  არის რიცხობრივი მნიშვნელობა, რომელიც გვიჩვენებს, თუ ელემენტის მიერ მთელ ნახევარ სივრცეში გამოსხივებული ენერგიის რა ნაწილი ეცემა  $F_2$  ზედაპირს, ხოლო  $\varphi_{1-2}$  —  $\varphi'$ -ის საშუალო მნიშვნელობა მთელი  $F_1$  ზედაპირისათვის.

I-12 და I-13 ნახაზებზე მოცემულია  $dF$  ელემენტარული ზედაპირებიდან გამოსხივების კოეფიციენტების მნიშვნელობები. როგორც



ნახ. I-13. დასხივებულობის კოეფიციენტი ელემენტარულ ზედაპირიდან ზედაპირზე მის პარალელურ სიბრტყეში



აღნიშნეთ, სათავსში ზედაპირები წარმოადგენს ნაცრისფერ სხეულებს. ცხადია, ეს გარემოება ართულებს სხივური თბოგაცემის პროცესს, ვინაიდან ნაცრისფერი სხეულებიდან სხივური ენერჯის ნაწილი აირეკლება. ზოგიერთ შემთხვევაში ურთიერთაეკვლის პროცესი შესაძლებელია მრავალჯერად გამეორდეს, სანამ არ შთაინთქმება ერთ-ერთი ზედაპირის მიერ. მიუხედავად ამ სირთულისა, სამშენებლო თბოფიზიკაში სხივური თბოგაცემის გამოსაანგარიშებლად გამოიყენება (I-57) ფორმულის ანალოგიური გამოსახულება

$$Q_{1-2} = \varepsilon_{\text{დაყ}} C_0 \varphi_{1-2} F_1 \left[ \left( \frac{T_1}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_2}{100} \right)^4 \right]. \quad (\text{I-59})$$

ამ ფორმულაში  $\varepsilon_{\text{დაყ}}$  არის სითბოს სხივური ურთიერთგადაცემის პროცესში მონაწილე სხეულთა სისტემის დაყვანილი შედარებითი გამოსხივების უნარი ან სიშავის ხარისხის დაყვანილი სიდიდე.

სისტემის დაყვანილი სიშავის ხარისხის მნიშვნელობის დასადგენად განვიხილოთ სამი შემთხვევა:

1. ორი პარალელური ზედაპირისათვის, რომელთა შორის მანძილი მცირეა მის ზომებთან,  $\varepsilon_{\text{დაყ}}$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა შემდეგი სახისაა:

$$\varepsilon_{\text{დაყ } 1-2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}, \quad (\text{I-60})$$

სადაც  $\varepsilon_1$  და  $\varepsilon_2$  ზედაპირების სიშავის ხარისხის კოეფიციენტებია.

ცხადია, ამ პირობებისათვის საშუალო კუთხური კოეფიციენტი, ანუ დასხივებულობის  $\varphi_{1-2}$  კოეფიციენტი ტოლია ერთის, ვინაიდან პრაქტიკულად ერთი ზედაპირიდან გამოსხივებული ენერჯია მთლიანად ეცემა მეორე ზედაპირს და გარშემო არ გაიბნევა;

2. შეკრული სივრცის შემთხვევაში, როდესაც ერთი ზედაპირი გარშემორტყმულია მთლიანად მეორე ზედაპირით (სფერო—სფეროში ან ცილინდრი—ცილინდრში და სხვ.),  $\varepsilon_{\text{დაყ}}$  კოეფიციენტის მნიშვნელობას გამოვთვლით ფორმულით

$$\varepsilon_{\text{დაყ } 1-2} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{F_1}{F_2} \left( \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)}, \quad (\text{I-61})$$

სადაც  $F_1$  არის მცირე ზომის ზედაპირის ფართობი;

$F_2$  — დიდი ზედაპირის ფართობი.

3. მცირე ზომის ზედაპირების ღროს ან როდესაც ზედაპირებს შორის საკმაოდ დიდი მანძილია,  $\varepsilon_{\text{დაყ}}$  კოეფიციენტი ტოლია

$$\varepsilon_{\text{დაყ } 1-2} = \varepsilon_1 \varepsilon_2. \quad (\text{I-62})$$

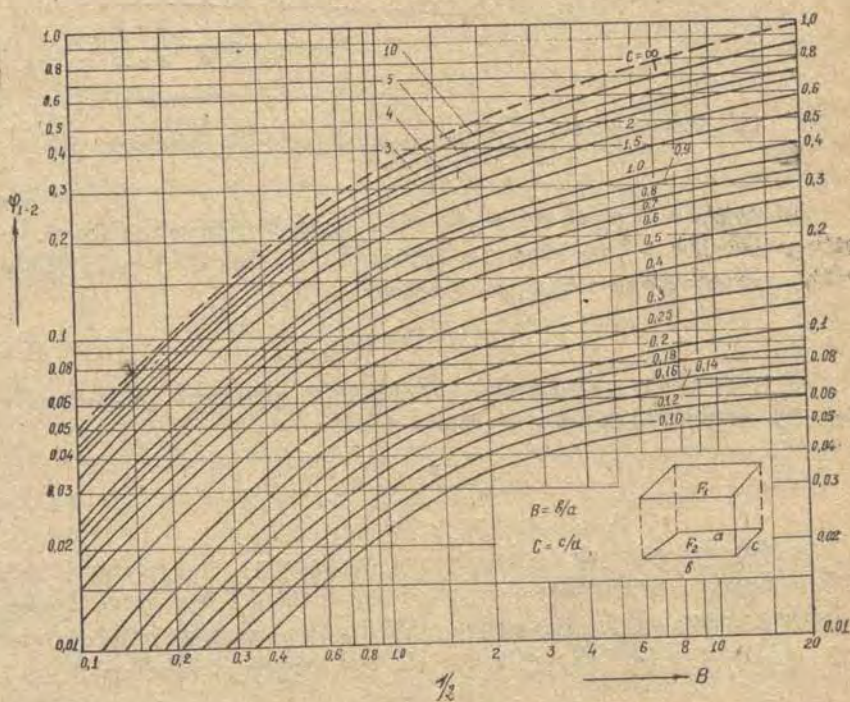
ამ შემთხვევაში არეკლილი სხივური ენერჯის საკმაოდ დიდი ნაწილი არ უბრუნდება პირველ ზედაპირს. ჩვეულებრივი პირობებისათვის ლაზერ კოეფიციენტი (I-60) და (I-61) ფორმულებით განსაზღვრულ მნიშვნელობებს შორისაა. სათავსში ზედაპირებს აქვს დაყვანილი სიშავის ხარისხის კოეფიციენტების მაღალი მნიშვნელობები. ამ ზედაპირებისათვის ლაზერ კოეფიციენტის მნიშვნელობები გამოთვლილი (I-60) და (I-61) ფორმულებით ერთმანეთისაგან მხოლოდ 5% განსხვავდება.

სათავსში ზედაპირების ურთიერთგანლაგების (პრაქტიკულად ყველა შემთხვევისათვის) კუთხური კოეფიციენტები  $\varphi_{1-2}$  შეიძლება გამოვთვალოთ I-14 და I-15 ნახაზზე ნაჩვენები გრაფიკებით ან ფორმულებით, რომლებიც მოცემულია I-2 ცხრილში. ეს ფორმულები მიღებულია გამოსხივების ხაკადებ ს სამი თვისებიდან.

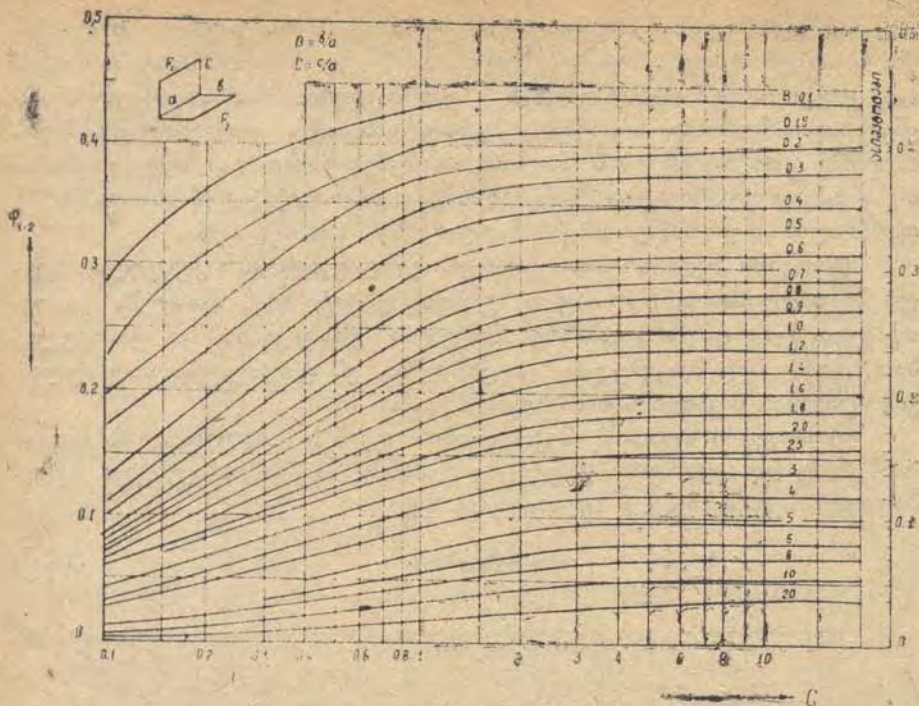
ა) სხივური ნაკადის შეკრულობის თვისება მდგომარეობს იმაში, რომ საშუალო კუთხური კოეფიციენტების ჯამი გამოსხივებული ზედაპირიდან 1 დანარჩენი  $j$  ზედაპირების მიმართ

$$\sum \varphi_{1-j} = 1.$$

(I-63)



ნახ. I-14. დასხივებულობის კოეფიციენტი ზედაპირიდან მის პარალელურ მეორე ზედაპირზე



ნახ. I-15. დასხივებულობის კოეფიციენტი ზედაპირიდან მის მართობულ მეორე ზედაპირზე

ბ) სხივური ნაკადის ურთიერთობის თვისების დროს ნაკადი, რომელსაც ასხივებს I ზედაპირი II ზედაპირს, II ზედაპირიდან I ზედაპირზე გამოსხივებული ნაკადის ტოლია:

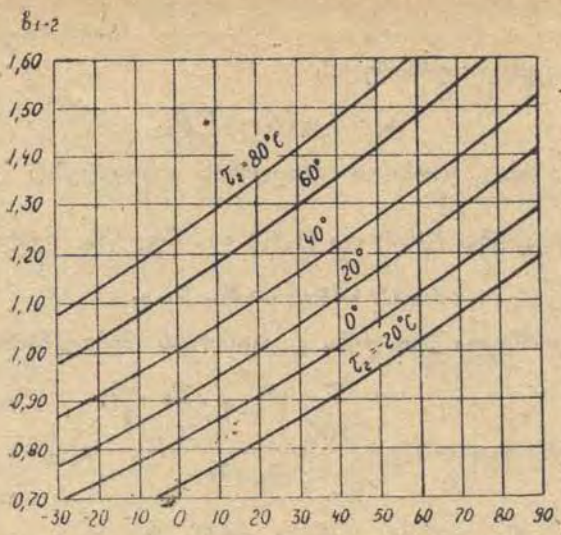
$$F_1 \varphi_{1-2} = F_2 \varphi_{2-1} \quad (I-64)$$

ამ ფარდობის გამოყენება საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ  $\varphi_{1-2}$ , თუ ცნობილია კუთხური კოეფიციენტი

$$\varphi_{1-2} = \frac{\varphi_{2-1} F_2}{F_1} \quad (I-65)$$

გ) სხივური ნაკადის განაწილების თვისება კი მდგომარეობს იმაში, რომ ნაკადი, რომელსაც ასხივებს I ზედაპირი II ზედაპირს, შეიძლება წარმოდგენილ იქნეს ნაკადების ჯამის სახით ამ ზედაპირების ცალკეულ  $m$  (1) და  $n$  (2) ნაწილებს შორის. აღნიშნულის თანახმად,

$$F_1 \varphi_{1-2} = \sum_m \sum_n F_m \varphi_{m-n} \quad (I-66)$$



ნახ. I-16. ტემპერატურული კოეფიციენტის  $b$ -ს დამოკიდებულება თბოგაცემის ზედაპირების ტემპერატურაზე

ამგვარად, (I-45) დამოკიდებულება საშუალებას გვაძლევს ზედაპირების განლაგების მარტივი სქემებისათვის მივიღოთ გამოსხივების კოეფიციენტის მნიშვნელობები ამ ზედაპირების ცალკეულ ნაწილებს შორის.

საინჟინრო გათვლების დროს მიზანშეწონილია (I-59) ფორმულა ვავამარტივოთ. სახელდობრ, აბსოლუტურ ტემპერატურათა მეოთხე ხარისხების სხვაობა უნდა შევცვალოთ პირველი ხარისხის ტემპერატურათა სხვაობებით  $^{\circ}\text{C}$ , მივიღებთ

$$\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 = b_{1-2}(\tau_1 - \tau_2), \quad (\text{I-67})$$

სადაც  $b_{1-2}$  წარმოადგენს ტემპერატურულ კოეფიციენტს და ცხადია, დამოკიდებულია  $\tau_1$  და  $\tau_2$  ზედაპირების ტემპერატურათა მნიშვნელობებზე.  $b_{1-2}$  მნიშვნელობა, სათავის ტემპერატურის დროს, შეიძლება გინვსაზღვრით ფორმულით

$$b_{1-2} = 0,81 + 0,01\tau_{\text{საშ}}, \quad (\text{I-68})$$

სადაც  $\tau_{\text{საშ}}$  თბოგაცემის ზედაპირების საშუალო ტემპერატურა  $\tau_{\text{საშ}} = \frac{\tau_1 + \tau_2}{2}$ .  $b$ -ს მნიშვნელობას ავიღებთ აგრეთვე გრაფიკიდან, რომელიც მოცემულია (I-16) ნახაზზე. ზემოხსენებულის გათვალისწინებით (I-38) ფორმულა შემდეგი სახისაა

$$Q_{1-2} = C_0 \epsilon_{\text{დაყ } 1-2} b_{1-2} (\tau_1 - \tau_2) \varphi_{1-2} F_1. \quad (\text{I-69})$$

სახეინრო პრაქტიკაში გამოსხივებით გაცემული ან შეთვისებული სითბოს რაოდენობის გამოსაანგარიშებლად ვიყენებთ ნიუტონის ანალოგიურ გამარტივებულ ფორმულას

$$Q = \alpha_{\text{გამ}} (\tau_1 - \tau_2) F_1, \quad (\text{I-70})$$

სადაც  $\alpha_{\text{გამ}}$  არის პირობითი სხივფენის თბოგაცემის კოეფიციენტი, ვტ/მ<sup>2</sup>. გრად.

თუ შევადარებთ (I-69) და (I-70) ფორმულებს, მივიღებთ:

$$\alpha_{\text{გამ}} = C_0 \varepsilon_{\text{დაყ } 1-2} b_{1-2} \varphi_{1-2}. \quad (\text{I-71})$$

(I-71) ფორმულა შეიძლება გადაიწეროს შემდეგნაირად

$$\alpha_{\text{გამ}} = C_{\text{დაყ}} \frac{\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4}{\tau_1 - \tau_2} \varphi_{1-2}. \quad (\text{I-72})$$

სადაც

$$C_{\text{დაყ}} = C_0 \varepsilon_{\text{დაყ}} \quad \text{ან} \quad \alpha_{\text{გამ}} = C_{\text{დაყ}} b_{1-2} \varphi_{1-2}. \quad (\text{I-73})$$

იმ შემთხვევაში, თუ სათავის შემომზღული კონსტრუქციის მხოლოდ ერთი ზედაპირი გამოსხივებით თბოგაცემის პროცესშია დანარჩენ ზედაპირებთან, მაშინ დასხივებულობის კოეფიციენტს  $\varphi_{1-2}$  მივიღებთ ერთს ტოლად. დანარჩენი შემთხვევებისათვის  $\varphi$  ნაკლებია ერთზე და შეიძლება გამოვთვალოთ I-14, I-15 ნახაზების გრაფიკებით.

სათავისათვის, სადაც ზედაპირები ნებისმიერადაა განლაგებული, სისტემის დაყვანილი სიშავის ხარისხის კოეფიციენტს გამოვიანგარიშებთ (I-62) ან (I-73) ფორმულებით. სისტემის დაყვანილი გამოსხივების კოეფიციენტი

$$C_{\text{დაყ}} = \frac{C_1 C_2}{C_0}, \quad (\text{I-74})$$

სადაც  $C_1$  და  $C_2$  ნაცრისფერი ზედაპირების გამოსხივების კოეფიციენტებია;  $C_1 = C_0 \varepsilon_1$  და  $C_2 = C_0 \varepsilon_2$ .  $\varepsilon_1$  და  $\varepsilon_2$  მნიშვნელობებს სხვადასხვა მასალებისათვის ავიღებთ I-1 ცხრილიდან.

სხივური თბოგაცემის ძირითადი (I-59) და (I-73) განტოლებები მივიღეთ ორი ზედაპირის თბოგაცემის პირობებისათვის. იმ შემთხვევაში, როცა სხივურ თბოგაცემაში მონაწილეობს რამდენიმე  $j$  ზედაპირი, მაშინ გამოსაანგარიშებელ ფორმულად შეგვიძლია გამოვიყენოთ ვ. ბოვოსლოვსკის გამარტივებული ფორმულა

$$\lambda_1 = \sum_j C_0 \varepsilon_{1-j} b_{1-j} (\tau_1 - \tau_j) \varphi_{1-j} F. \quad (\text{I-75})$$

ცხადია, გამონაგარიშების დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ ყველა ზედაპირი, რომელიც მონაწილეობს გამოსხივებით თბოგაცემაში I ზედაპირთან.

### § 1-7. სათავსის ტერმინატურული კოეფიციენტის პირობები

ვათბობისა და გაცივების სისტემების საშუალებით სათავსში უნდა შეიქმნას ისეთი თბური მდგომარეობა, რომელიც დააკმაყოფილებს ადამიანის კომფორტულ პირობებს. ადამიანის კარგი განწყობა და შრომისუნარიანობა დამოკიდებულია ორგანიზმის თერმორეგულაციის ფიზიოლოგიური სისტემის მუშაობაზე, რომელიც ნორმალურად ფუნქციონირებს  $36.6^{\circ}$  ტემპერატურის დროს. ამ ტემპერატურის მუდმივობის შესანარჩუნებლად ადამიანი განუწყვეტლივ გამოყოფს სითბოს, რომელიც შემდგომ გადაეცემა გარემოს.

ადამიანის საერთო სითბოს (ენერგეტიკული) ბალანსს განვსაზღვრავთ განტოლებით

$$Q_a \pm Q_c \pm Q_r - Q_{\text{აორ}} - Q_s \pm \Delta Q = 0, \quad (I-76)$$

სადაც  $Q_a$  არის ორგანიზმის სითბოს პროდუქცია, ე. ი. საერთო სითბოს რაოდენობა, რომელსაც გამოყოფს ადამიანი;

$Q_c$  — კონვექციით გაცემული ან შეთვისებული სითბოს რაოდენობა;

$Q_r$  — რადიაციით გაცემული ან შეთვისებული სითბოს რაოდენობა;

$Q_{\text{აორ}}$  — ტენის აორთქლებაზე დახარჯული სითბოს რაოდენობა;

$Q_s$  — მექანიკურ მუშაობაზე დახარჯული სითბოს რაოდენობა;

$\Delta Q$  — ორგანიზმში სითბოს სიკარბე ან დანაკლისი (დეფიციტი).

ადამიანის საერთო ენერჯის პროდუქცია  $Q_a$  ძირითადად დამოკიდებულია მის მიერ შესრულებულ მუშაობაზე (ცხრ. I-2 მოზარდთათვის შემოტანილია 0,8 კოეფიციენტი).

იმ შემთხვევაში, თუ ორგანიზმის თბოპროდუქცია და სითბოს დანაკარგები ბალანსირებული არ არის, მაშინ მოსალოდნელია, რომ ორგანიზმის ტემპერატურა აიწივს ან პირიქით, სხეული გადაცივდება. თერმორეგულაციის სისტემა საშუალებას გვაძლევს გარკვეულ საზღვრებში დაიცვას ორგანიზმის თბური ბალანსი. რეალურ პირობებში თერმორეგულაციის შესაძლებლობა შეზღუდულია. ადამიანის მიერ სითბოს გაცემის ინტენსივობა დამოკიდებულია სათავსის თბურ მდგომარეობაზე, რომლის მნიშვნელობას განვსაზღვრავთ: ჰაერის  $V_a$  სიჩქარით, ფაფარდობითი ტენიანობით,  $t_a$  ჰაერისა და  $t_s$  ზედაპირების ტემპერატურებით და ზედაპირების ზომებით. ასეთი მაჩვენებლების კომფორტულ ერთობლიობას შეესა-

№№ რიგ.	მუშაობის სახე	სითბოს პროდუქტა
1	ადამიანი მშვიდ მდგომარეობაში:	
	წოლის დროს	80
	ჯდომის დროს	85—90
2	დგომის დროს	90
	ფიზიკური დატვირთვისას:	
	მკერავი, ასოთამწყობი	115—140
	მბეჭდავი მემანქანე	140—200
	ჩამომსხმელი, მეტალურგი	175—290
	მიწის მომუშავე, მკვლელი	290—490
	სპორტული ცურვა	1000-მდე
	მთაზე ასვლა	775—895
3	მუსკულატურის მაქსიმალური მუშაობა	1940
	გონებრივი დატვირთვისას	
	კითხვა	115
	ლაბორატორიული მუშაობა	140—160
	საინჟინერო მანქანასთან მუშაობა	135
	ლექციების კითხვა	200—315

ბამება ისეთი ოპტიმალური მეტეოროლოგიური პირობები, რომლის დროსაც თბური წონასწორობა არ ირღვევა და თერმორეგულაციის პროცესში დაძაბულობა არ იგრძნობა. ცხადია, რეალურ პირობებში საქმე გვაქვს თერმორეგულაციის პროცესის მცირე დაძაბულობასთან, რომელიც ქმნის თბური მდგომარეობის დასაშვებ დისკომფორტს.

რადიაციული თბოცვლის შემდგენის გასაანგარიშებლად, მსუბუქად ჩაცმული ადამიანებისათვის, ცნობილია შემდეგი ფორმულა

$$Q_R = 2,16 (35 - t_R), \quad (I-77)$$

სადაც  $t_R$  — რადიაციული ტემპერატურა ( $t_R = \sum \varphi_{a-l} t_i$ ).

ამ ფორმულაში ანალიზური გზით მივიღეთ თბოგაცემის კოეფიციენტი 2,16. კონვექციური თბოგაცემის ინტენსივობა დამოკიდებულია ჰაერის ტემპერატურასა და მის მოძრაობის სიჩქარეზე და გამოვთვლით შემდეგი ემპირიული ფორმულით:

$$Q_3 = 8,87 \sqrt{V_3} (35 - t_3) \quad (I-78)$$

$Q_R$  და  $Q_3$  სიდიდეები წარმოადგენენ „მშრალ“ ან აშკარა თბოცვლის შემდგენებს ადამიანისა და გარემოს შორის. მათი ჯამური მნიშვნელობა განვსაზღვროთ ფორმულით

$$Q_{R+3} = (2,16 + 8,87 \sqrt{V_3}) (35 - t_{30}), \quad (I-79)$$



$$t_{სათ} = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

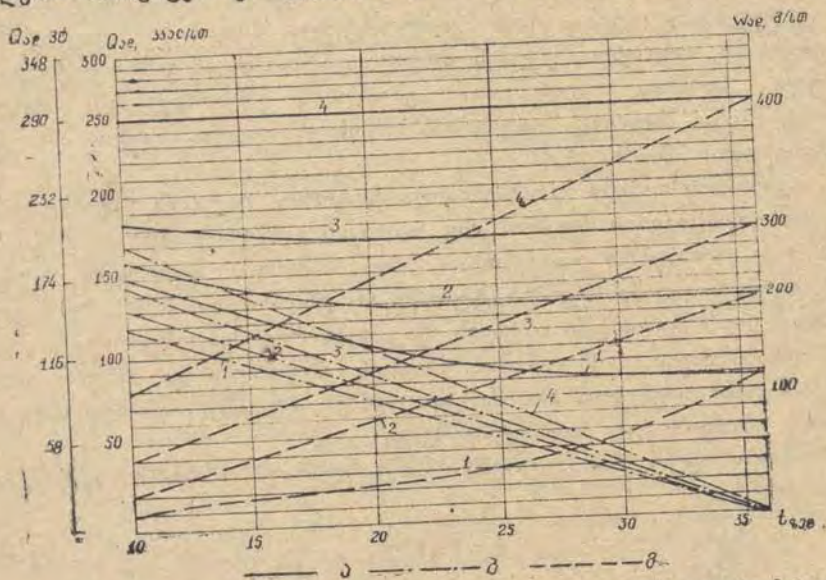
(I-80)

(I-79) ფორმულა ვარგისია ადამიანის მიერ მსუბუქი მუშაობის დროს.

ადამიანის სხეულის მიერ მთლიანი, აშკარა და ფარული სითბოს დანაკარგები სხვადასხვა ფიზიკური მუშაობის დროს სათავის ტემპერატურის მიხედვით მოცემულია (I-17) ნახაზზე.

როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, ფიზიკური მუშაობის ზრდით დიდდება ადამიანის მიერ დაკარგული აშკარა სითბო. ეს დანაკარგები (I-79) ფორმულაში შეიძლება გავითვალისწინოთ  $\beta_1$  შესწორების კოეფიციენტი. საშუალო დატვირთვისათვის  $\beta_1 = 1,07$ , ხოლო მძიმე მუშაობის პირობებისათვის —  $\beta_1 = 1,15$ .

მეორე  $\beta_2$  შესწორების კოეფიციენტი ითვალისწინებს ტანისამოსის გავლენას თბოგაცემაზე. ჩვეულებრივი (საშუალო) ჩაცმულობისათვის  $\beta_2$



ნახ. I-17. ადამიანის სხეულის მიერ აშკარა, ფარული (ტენის აორთქლება) და სრული სითბოს გაცემა შესრულებული სამუშაოს ხასიათის მიხედვით სხვადასხვა ტემპერატურაზე:

- ა — სრული სითბოს რაოდენობა; ბ — სითბო, რომელიც იხარჯება ტენის აორთქლებაზე; გ — აშკარა სითბოს რაოდენობა; 1 — ადამიანი მშვიდ მდგომარეობაში; 2 — დაწესებულებაში მსუბუქი მუშაობა; 3 — საშუალო ფიზიკური მუშაობა; 4 — მძიმე ფიზიკური მუშაობა



მნიშვნელობა უდრის 0,655, ხოლო თბილი ტანსაცმლისათვის  $\beta_2 = 0,488$ , ე. ი. ყველა შემთხვევისათვის ფორმულა (I-79) შემდეგი სახისაა:

$$Q_{r+z} = \beta_1 \beta_2 (2,16 + 8,87\sqrt{V}) (35 - t). \quad (I-81)$$

აღამიანის კანის ზედაპირიდან ტენის აორთქლებაზე იხარჯება  $Q$ , სითბო, რომელიც დამოკიდებულია მრავალ ფაქტორზე და მისი გამოანგარიშება საკმაოდ რთულია ამასთან დაკავშირებით ლიტერატურაში რეკომენდებულია აორთქლებაზე დახარჯული სითბო (ფარული სითბო) გამოვიანგარიშოთ გრაფიკით, რომელიც მოცემულია (I-17) ნახაზე. გარდა საერთო თბური ბალანსისა, რომელიც განსაზღვრავს ორგანიზმის კომფორტს, აღამიანის ობურ განწყობაზე მოქმედებს აგრეთვე ის პირობებიც, რომლებშიც იმყოფება სხეულის ცალკეული ნაწილები. ამ მხრივ განსაკუთრებით უნდა აღვნიშნოთ ის თბური პირობები, რომელშიც აღამიანის თავი და ფეხები. თავი მგრძნობიარეა რადიაციული გადამეტებების მიმართ. მისი რადიაციული თბური ბალანსი მიზანშეწონილია იყოს უარყოფითი, ე. ი. ეს იმის მაჩვენებელია, რომ თავის ზედაპირის ყველა ნაწილი საჭიროა გამოსხივებით გასცემდეს სითბოს. გამოკვლევებმა გვიჩვენა, რომ კომფორტული პირობები დატულია იმ შემთხვევაში, თუ თავის ელემენტარული ფართობიდან გამოსხივებით გაცემული სითბოს რაოდენობა, გათბობის შემთხვევაში, ტოლია 116 ვტ/მ<sup>2</sup>-ის, მხოლოდ გაცივების დროს ეს თბური ნაკადი არ უნდა აღემატებოდეს 70—90 ვტ/მ<sup>2</sup>.

აღამიანის ფეხები მგრძნობიარეა როგორც იატაკის გადამეტებებისა და გაცივების მიმართ, ისე იატაკის დასწვრივ ჰაერის ცივი ნაკადისადმი. ნორმებით დადგენილია, რომ ზამთრის პერიოდში იატაკის ტემპერატურა ოთახის ტემპერატურაზე არ უნდა იყოს 2,5°C-ზე ნაკლები. ზაფხულის პერიოდში იატაკის გაცივება რეკომენდებული არ არის.

აღსანიშნავია, რომ ფეხებით სითბოს შეგრძნება და თბური დანაკარგები დამოკიდებულა არა მარტო ტემპერატურაზე, არამედ იატაკის მასალის თბოფიზიკურ პარამეტრებზედაც.

თბოფიზიკურ პარამეტრებს განვსაზღვრავთ თბური აქტივობის კოეფიციენტით

$$b = \sqrt{\lambda C \gamma}. \quad (I-82)$$

მეგალითად, ფეხისათვის  $b$ -ს მნიშვნელობა მიღებულია, რომ უდრის 16-ს, ხოლო იატაკისათვის

$$b_{\text{იატ}} = b_{\text{ად}} \frac{t_{\text{ფეხ}} - t_{\text{დახ}}}{t_{\text{დახ}} - t_{\text{იატ}}} = 16 \frac{33 - 27}{27 - 18} = 10,6,$$

სადაც  $t_{\text{დახ}}$  არის ფეხის მინიმალური დასაშვები ტემპერატურა, ე. ი. სა-



ცხოვრებელი სახლებისათვის იატაკის თბური აქტივობის კოეფიციენტი არ უნდა აღემატებოდეს 0. მაშასადამე, საზოგადოებრივი და საწარმოო შენობებისათვის  $b = 12$ . პირველი სართულებისათვის  $b_{\text{იკ}}$  რეკომენდებულია გაიზარდოს 10%-ით.

იატაკის ზედაპირის დასაშვები ტემპერატურა შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ა. მისინერისა და რ. მაკნეის ემპირიული ფორმულით

$$t_{\text{იკ}} = 55,7 - 1,63t_{31}, \quad (I-83)$$

სადაც  $t_{31}$  — იატაკიდან 1 მ სიმაღლეზე ჰაერის ტემპერატურაა.

მას შემდეგ, რაც გავეცანით თბოგაცემის პროცესებს ადამიანსა და გარემოს შორის, საჭიროა დავადგინოთ სათავსის ის ძირითადი გამოსაანგარიშებელი თბური პირობები, რომლის დროსაც მასში იქმნება კომფორტული ზონა. ცხადია, ასეთი ზონები რამდენიმეა. ეს ზონები დამოკიდებულია სხვადასხვა ფაქტორზე: წლის სხვადასხვა დროზე, სამუშაოს შესრულების სახეზე, შენობის დანიშნულებაზე, ადამიანის ასაკზე, გარემოს კლიმატზე და სხვა. კომფორტული ზონები შეიძლება იყოს როგორც ობტიმალური, ისე დასაშვები.

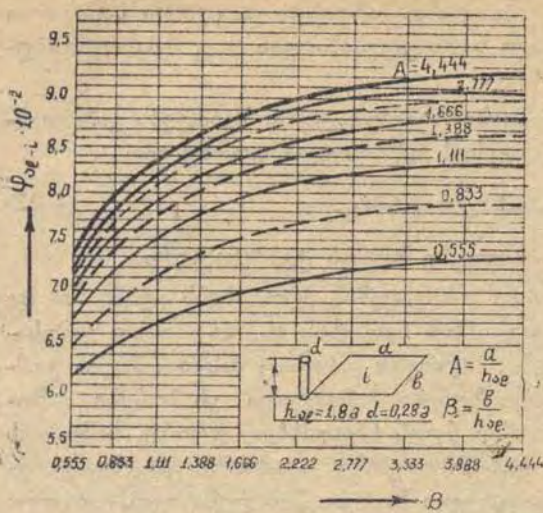
სათავსში თბური პირობები ძირითადად დამოკიდებულია ჰაერისა და მასში განლაგებული ზედაპირების ტემპერატურებზე, ე. ი. მას განვსაზღვრავთ ტემპერატურული რეჟიმით. კომფორტულ შეიძლება ვუწოდოთ ისეთ პირობებს, როდესაც ადამიანი მუშა ზონაში არ განიცდის გადამეტხურებისა და გადაცივების შეგრძნებას. ამასთან დაკავშირებით სათავსის ტემპერატურული რეჟიმი შეიძლება განვსაზღვროთ ტემპერატურული კომფორტის ორი პირობით. პირველი განსაზღვრავს სათავსის ტემპერატურულ კომფორტს მთლიანობაში, ხოლო მეორე — ტემპერატურულ კომფორტს მომსახურე ზონის საზღვარზე, ე. ი. გამთბარი და გაცივებული ზედაპირების უშუალო მახლობლობაში.

კომფორტული პირობების პირველი პირობა. ამ შემთხვევაში კომფორტული იქნება სათავსის ისეთი ტემპერატურული რეჟიმი, რომლის დროსაც ადამიანი სათავსის ცენტრშია და არ განიცდის გადამეტხურებისა და გადაცივების შეგრძნებას. ადამიანის თბოშეგრძნებაზე გარკვეულად მოქმედებს რადიაციული და ჰაერის ტემპერატურები. რადიაციული ტემპერატურა, ამ შემთხვევაში, განვსაზღვროთ ფორმულით

$$t_R = \sum \varphi_{\text{ად-ი}} t_i, \quad (I-84)$$

სადაც  $t_i$  არის ზედაპირების ტემპერატურა;

$\varphi_{\text{ად-ი}}$  — სათავსის ცენტრში მყოფი ადამიანიდან ცალკეული  $t_i$  ტემპერატურის მქონე ზედაპირების დასხივებულობის კოეფიციენტი.



ნახ. I-18. ადამიანის სხეულის ზედაპირიდან გამოსხივების კოეფიციენტები სათავსში ჰორიზონტალურ ზედაპირზე (იატაკზე)

სადაც  $F_{\text{პლ}}^{\text{ბ}}$ ,  $F_{\text{პლ}}^{\text{ა}}$  არის ადამიანის თბოგაცემის ზედაპირები სათანადო გამოსხივებით და კონვექციური თბოგაცემის დროს;  
 $\tau_{\text{ა}}$  — ჩატემული ადამიანის სხეულის ზედაპირის საშუალო ტემპერატურა;  
 $\alpha_{\text{ა}}$  და  $\alpha_{\text{ბ}}$  — სათანადოდ გამოსხივებით და კონვექციით თბოგაცემის საშუალო კოეფიციენტები.

უკანასკნელი განტოლება  $t_R$  და  $t_{\text{ბ}}$  მიმართ შემდეგი სახისაა:

$$t_R = \frac{F_{\text{პლ}}^{\text{ბ}} \alpha_{\text{ბ}} \tau_{\text{ა}} + F_{\text{პლ}}^{\text{ა}} \alpha_{\text{ა}} \tau_{\text{ა}} - Q_{\text{აღ}}^{\text{ბ+ა}}}{F_{\text{პლ}}^{\text{ბ}} \alpha_{\text{ბ}}} - \frac{F_{\text{პლ}}^{\text{ა}} \alpha_{\text{ა}}}{F_{\text{პლ}}^{\text{ბ}} \alpha_{\text{ბ}}} t_{\text{ბ}} \quad (\text{I-87})$$

მიღებული (I-87) გამოსახულება კომფორტულობის პირველი პირობის ზოგადი განტოლებაა, ზამთრის რეჟიმის დროს

$$\tau_{\text{ა}} = 25^{\circ}\text{C}; \alpha_{\text{ბ}} = 2,0; \alpha_{\text{ა}} = 44; F_{\text{პლ}}^{\text{ბ}} = 1,9; F_{\text{პლ}}^{\text{ა}} = 1,7 \text{ მ}^2.$$

ამ მნიშვნელობების (I-78) განტოლებაში ჩასმის შემდეგ მივიღებთ

$$t_R = \frac{28,7 - Q_{\text{აღ}}^{\text{ბ+ა}}}{7,3} - 0,57 t_{\text{ბ}} \quad (\text{I-88})$$

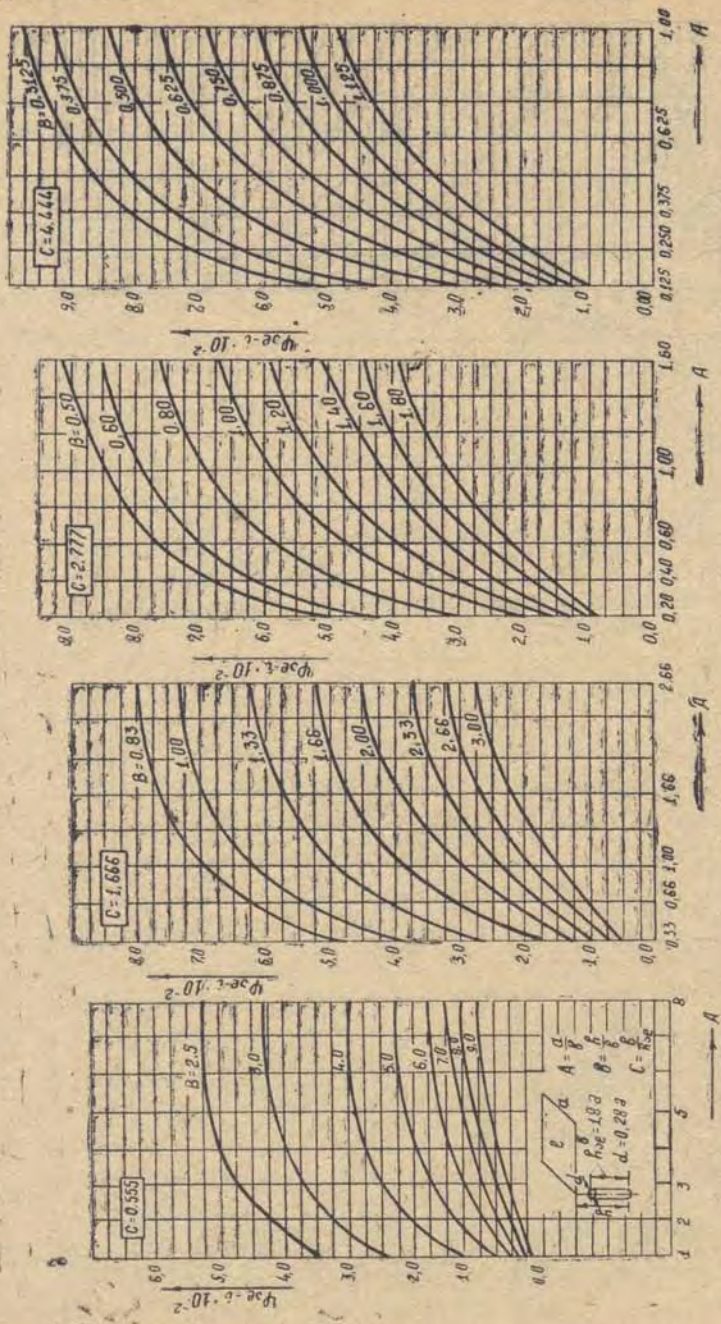
თუ საცხოვრებელი სათავსებისა და საზოგადო შენობებისათვის

წალკის კოეფიციენტები შეიძლება განვსაზღვროთ ი. შარკაუსკასის გრაფიკით, რომელიც მოცემულია I-18, I-19, I-20 ნახაზებზე.

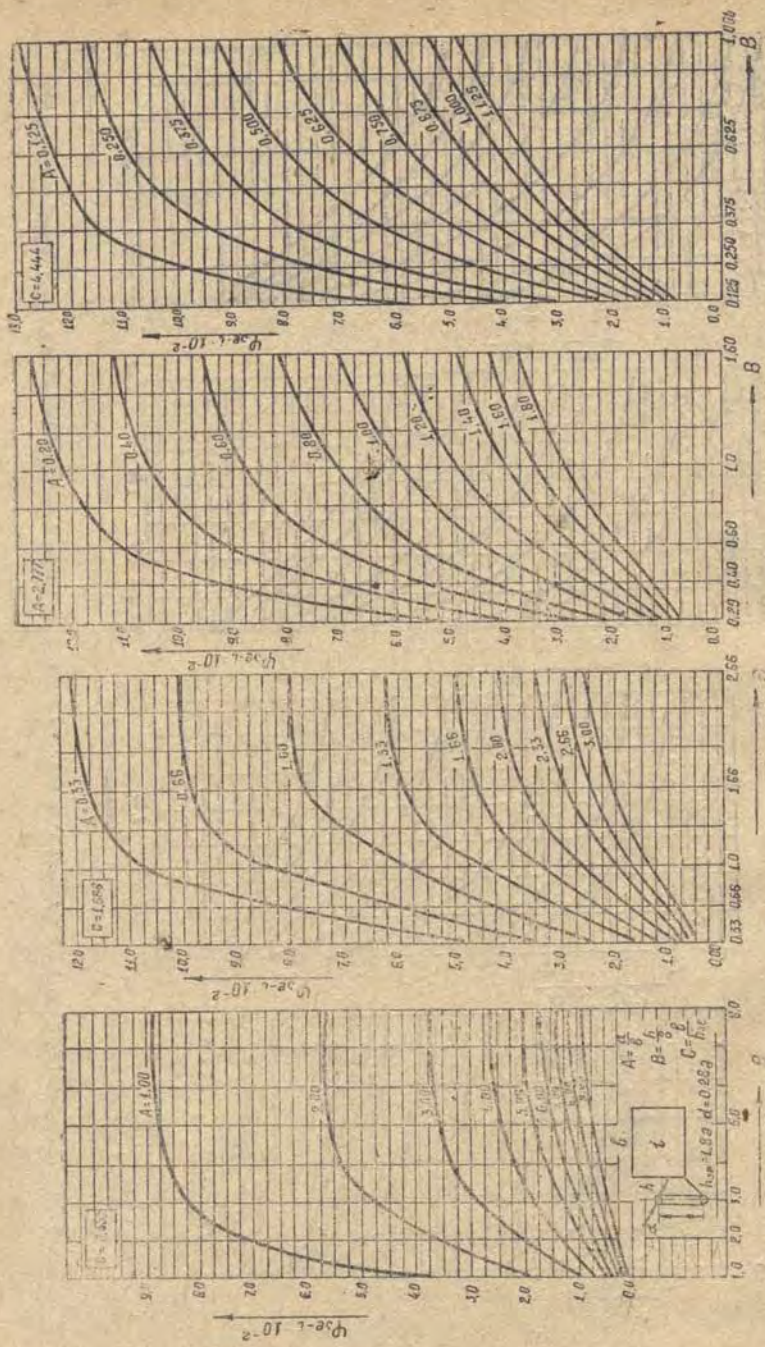
ადამიანის კონვექციურ-რადიაციულ თბოცვლას გარემოსთან გამოვიანგარიშებთ ფორმულით

$$Q_{\text{ბ+რ}} = F_{\text{პლ}}^{\text{ბ}} C_{\text{აღ-ბ}} \varphi_{\text{აღ-ბ}} \times b_{\text{აღ-ბ}} (\tau_{\text{აღ}} - \tau_{\text{ბ}}) + F_{\text{პლ}}^{\text{ა}} \alpha_{\text{ა}} (\tau_{\text{აღ}} - \tau_{\text{ბ}}) \quad (\text{I-85})$$

$$\text{ან} \quad Q_{\text{ბ+რ}} = F_{\text{პლ}}^{\text{ბ}} \alpha_{\text{ბ}} (\tau_{\text{აღ}} - t_R) + F_{\text{პლ}}^{\text{ა}} \alpha_{\text{ა}} (\tau_{\text{აღ}} - t_{\text{ბ}}) \quad (\text{I-86})$$



ნახ. 1-19 აღმომართის სტრუქტურის შედეგადან გამოსხივების კოეფიციენტები სთავსში პორტონტალურ ზედაპირზე (გრძეზე)



ნს. 1-20. ადამიანის სხეულის ზედაბრიდან გამოსხივების კოეფიციენტები სათავსო ვერტიკალურ ზედაბრიზე (ცენტრებზე)

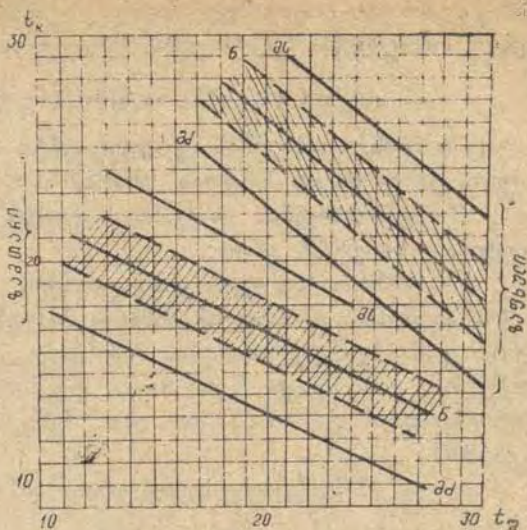
აშკარაა სითბოს რაოდენობა, რომელსაც ვაცავს ადამიანი  $Q_{აღ}^{33} = 87,0$  ვტ, მაშინ (I-88) განტოლებიდან

$$t_R = 29 - 0,57t_3. \quad (I-89)$$

ზაფხულის რეჟიმის შემთხვევაში (I-87) განტოლება სათანადო პარამეტრების ჩასმის შემდეგ მიიღებს სახეს:

$$t_R = \frac{332 - Q_{აღ}^{33}}{7,65} - 0,5t_3. \quad (I-90)$$

თუ საცხოვრებელი სათავსებისა და საზოგადო შენობებისათვის აშკარა სითბოს რაოდენობა  $Q_{აღ}^{33} = 64$  ვტ, მაშინ (I-90) განტოლებიდან



ნახ. I-21. კომფორტულობის პირველი პირობა: მდ—მძიმე, ნ—ნორმალური, მს—მსუბუქი მუშაობა (ნორმალური მუშაობისათვის დაშტრიხულია დასაშვები გადახრების არე)

$$t_R = 36 - 0,5t_3. \quad (I-91)$$

I-21 ნახაზზე მოცემულია პირველი კომფორტულობის გრაფიკი ზამთრისა და ზაფხულის რეჟიმებისათვის.

კომფორტულობის მეორე პირობა ზღუდავს ადამიანის სხეულის თბოვაცემას ცხელი და ცივი ზედაპირების მიმართ, როდესაც იგი მის მახლობლობაშია. ამ შემთხვევაში განმსაზღვრელ სიდიდეს წარმოადგენს გამოსხივებითი თბოვაცემა. რადიაციული გათბობის მიმართ ყველაზე მგრძობიარე სხეულის ნაწილია ადამიანის თავი. რადიაციული ბალანსი ისე უნდა შევარჩიოთ, რომ ყველა შემთხვევაში თავის ელემენტარულმა ფართობმა გამოსხივებით გასცეს გარემო ზედაპირების მიმართ არანაკლები  $12$  ვტ/მ<sup>2</sup> სითბო. იმ შემთხვევაში, თუ პანელი მოთავსებულია ჭერში, თბური შევარძნების თვალსაზრისით ადამიანისათვის ყველაზე არახელსაყრელი (ამიტომ საანგარიშოც) იქნება პანელის ცენტრის ქვეშ მდებარე ადგილი, როდესაც პანელი განლაგებულია კედლებში, მაშინ საანგარიშო მდგომარეობად შეიძლება მივიღოთ გამთბარი ზედაპირიდან  $1$  მ მანძილით ადამიანის დაშორება.

ადამიანის თავის ზედაპირის ელემენტარული ფართობის გამოსხივებით თბოგაცემის განტოლება შემდეგი სახისაა:

$$q_{\text{ვლ}}^{\circ} = C\varphi b_{\text{ად.ა}}(\tau_{\text{ად}} - \tau_{\text{ა}}) + C(1-\varphi)b_{\text{ად.ა}}(\tau_{\text{ად}} - \tau_{\text{ს}}), \quad (\text{I-92})$$

სადაც  $\varphi$  არის დასხივების კოეფიციენტი თავის ზედაპირის ელემენტარული ფართობიდან პანელის მიმართ;

$C$  — გამოსხივების დაყვანილი კოეფიციენტი; ამ შემთხვევისათვის მიიღება 4,64 ვტ/მ<sup>2</sup>. გრად;

$b$  — ტემპერატურული კოეფიციენტი, რომელიც ზამთრის რეჟიმის დროს ადამიანიდან პანელის მიმართ მიიღება  $b_{\text{ად.ა}} = 1,15$ , ზოლო ადამიანიდან დანარჩენი ზედაპირების მიმართ  $b_{\text{ად.ს}} = 1,05$ . ამ შემთხვევაში, მიღებულია, რომ თავის ზედაპირის ტემპერატურა  $\tau_{\text{ად}} = 30^{\circ}\text{C}$ , პანელის ტემპერატურა  $\tau_{\text{პ}} = 40^{\circ}\text{C}$  და დანარჩენი ზედაპირების ტემპერატურა  $\tau_{\text{ს}} = 18^{\circ}\text{C}$ .

თუ ამ მნიშვნელობებს ჩავსვამთ (I-92) ფორმულაში, მივიღებთ:

$$q_{\text{ვლ}}^{\circ} = 4,6\varphi(30 - \tau_{\text{ა}}) + 50(1 - \varphi). \quad (\text{I-93})$$

ეს განტოლება პანელის ზედაპირის ტემპერატურის მიმართ შემდეგი სახისაა:

$$\tau_{\text{ა}} = 19,2 + \frac{50 - q_{\text{ვლ}}^{\circ}}{4,6\varphi_{\text{ა-პ}}}. \quad (\text{I-94})$$

გამოსხივებით მინიმალური დასაშვები თბოგაცემის დროს  $q_{\text{ვლ}}^{\circ} = 12$  ვტ/მ<sup>2</sup>. გრად. (I-94) განტოლებიდან მიიღება გამთბარი ზედაპირის მაქსიმალური დასაშვები ტემპერატურის გამოსათვლელი ფორმულა

$$\tau_{\text{ა}}^{\text{დას}} \leq 19,2 + \frac{8,7}{\varphi_{\text{ა-პ}}}. \quad (\text{I-95})$$

აღნიშნული განტოლება მართებულია ცხელი ზედაპირების მიმართ, ე. ი. ზამთრის პერიოდისათვის. ზაფხულის რეჟიმის შემთხვევაში, თუ  $\tau_{\text{ად}} = 33^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau_{\text{ს}} = 24^{\circ}\text{C}$  და  $\tau_{\text{პ}} = (12 + 15)^{\circ}\text{C}$ , (I-92) განტოლებიდან

$$\tau_{\text{ა}} = 23 - \frac{q_{\text{ვლ}}^{\circ} - 40}{4\varphi_{\text{ა-პ}}}. \quad (\text{I-96})$$

თუ ცივი ზედაპირების მიმართ დასაშვები გამოსხივების თბოგაცემის მნიშვნელობა  $q_{\text{ვლ}}^{\circ} = 70$  ვტ/მ<sup>2</sup>, მაშინ (I-96) განტოლება ასე გამოისახება

$$\tau_{\text{ა}}^{\text{დას}} \geq 23 - \frac{5}{\varphi_{\text{ა-პ}}}. \quad (\text{I-97})$$

გარდა ამ პირობისა, სათავსში ცივ ზედაპირებზე დაუშვებელია გარემოდან წყლის ორთქლის კონდენსაცია. ამასთან დაკავშირებით ზე-

დაპირის ტემპერატურა ყოველთვის მეტი უნდა იყოს ნამის წერტილზე.

I-22 ნახაზზე მოცემულია (I-94) და (I-96) ფორმულებით მიღებული მრუდები, რომლებიც ზღუდავენ დასაშვები ტემპერატურების ზონას სათავსის ზედაპირებზე. ამრიგად, აღნიშნული განტოლებები წარმოადგენს კომფორტულობის მეორე პირობის ანალიზურ გამოსახულებას როგორც ზამთრის (I-94 ფორმულა), ისე ზაფხულის (I-96) რეჟიმებისათვის. ამ ფორმულებში დასხივების კოეფიციენტის  $\varphi_{a-a}$  საორიენტაციო მნიშვნელობებს განვსაზღვრავთ ფორმულით

$$\varphi_{a-a} = 1 - 0,8 \frac{x}{l}, \quad (I-98)$$

სადაც  $x$  მანძილია ადამიანის თავიდან პანელამდე, ხოლო პანელის ზომას გამოვიანგარიშებთ შემდეგი გამოსახულებიდან:

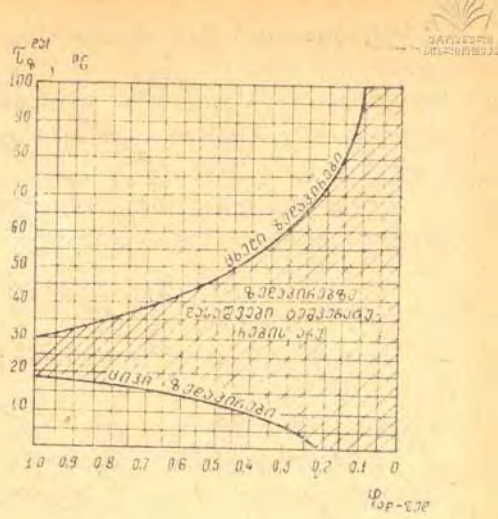
$$l = \sqrt{F_3}. \quad (I-99)$$

მოქმედი ნორმების თანახმად, სათავსებში დასაშვებია სათბობი ხელსაწყობების ზედაპირების შემდეგი ტემპერატურები:

- ა) იატაკიდან 1 მ სიმაღლემდე  $+95^{\circ}\text{C}$ ; საავადმყოფოებსა და საბავშვო ბაგებში  $+85^{\circ}\text{C}$ .
- ბ) კედლის პანელებში იატაკიდან 1 მ სიმაღლეზე ზემოთ  $+45^{\circ}\text{C}$ .
- გ) ჭერის პანელებში სათავსის სიმაღლით 2,5—2,8 მ.,  $+28^{\circ}\text{C}$ ; სიმაღლით 2,9—3 მ.,  $+30^{\circ}\text{C}$ ; სიმაღლით 3,1—3,4 მ.,  $+33^{\circ}\text{C}$ .
- დ) იატაკის პანელებში  $+30^{\circ}\text{C}$ ; საბავშვო დაწესებულებებში  $+24^{\circ}\text{C}$ ; საცურაო აუზებში  $+34^{\circ}\text{C}$ .

§ I-8. სითბოს გაცემა უმჯობესი კონსტრუქციის მიერ

შემომზღული კონსტრუქციის გარე ზედაპირი სითბოს გასცემს კონვექციითა და გამოსხივებით. ეს პროცესი მიმდინარეობს ზუსტად სითბოს შეთვისების პროცესის ანალოგიურად იმ განსხვავებით, რომ ამ შემთხვევაში სითბოს გასცემს ზედაპირი, ხოლო ატმოსფერული ჰაერი



ნახ. I-22. კომფორტულობის მეორე პირობა. ცხელ და ცივ ზედაპირებზე დასაშვები ტემპერატურების დამოკიდებულება დასხივების კოეფიციენტზე



ამ სითბოს ითვისებს. გარდა ამისა, შემომზღველი კონსტრუქციის ზედაპირის მიერ გარე ჰაერისადმი სითბოს გაცემა ხდება არა ბუნებრივი (როგორც შივა ჰაერიდან ზედაპირზე სითბოს შეთვისებისას), არამედ იძულებითი კონვექციით. ამ შემთხვევაში იძულებითი კონვექცია ხორციელდება გარე ზედაპირზე ქარის ზემოქმედებით.

როგორც აღვნიშნეთ, საშუალო თბოგაცემის კოეფიციენტის მნიშვნელობა კრიტერიალური განტოლების სახით მოგვცა მ. მიხევემა:

$$Nu = 0,032 Re^{0,8};$$

$$\frac{\alpha_3 l}{\lambda} = 0,032 \left( \frac{Wl}{\nu} \right)^{0,8}, \quad (I-100)$$

სადაც  $l$  არის განმსაზღვრელი ზომა და სართულის სიმაღლის ტოლი.

განტოლება (I-100) შეიძლება გავამარტივოთ, თუ მის ფიზიკურ პარამეტრებს აღვნიშნავთ  $C$  მულტიპლიკაციით:

$$\alpha_3 = CW^{0,8} l^{-0,2}, \quad (I-101)$$

აქ  $W$  არის ქარის სიჩქარე, მ/წმ. ზოცემული ადგილმდებარეობისათვის  $W$  მნიშვნელობა მიიღება ქარის საანგარიშო სიჩქარედ;

$C$  — დამოკიდებულია ჰაერის ტემპერატურაზე. მისი ცვლილება უმნიშვნელოა და ჰაერის ტემპერატურის  $20^\circ C$ -ით შემცირების დროს შეადგენს 7%. პრაქტიკულ გაანგარიშებებში შეიძლება გამოვიყენოთ (I-19) განტოლება, რომელიც  $20^\circ C$  ჰაერისათვისაა მიღებული.

მშენებლობაში, როგორც წესი, მიიღება  $l$ -ის დიდი მნიშვნელობები, რომლებიც აღემატება განტოლების საზღვრებს. ამ შემთხვევაში, თუ გამოვიყენებთ (I-91) ან (I-92) გამოსაანგარიშებელ ფორმულებს, მივიღებთ თბოგაცემის კოეფიციენტის საკმაოდ დიდ მნიშვნელობებს, რომლებიც სინამდვილეს არ შეეფერება.

მეორე ცდომილებას დავუშვებთ იმ შემთხვევაში, როდესაც ჰაერი კედლის მიმართ მოძრაობს არა მის პარალელურად, არამედ გარკვეული კუთხით. ამ შემთხვევაში როგორც ჰიდროდინამიკური, ისე თბური სასაზღვრო შრე ირღვევა და მოსალოდნელია თბოგაცემის კოეფიციენტის მკვეთრი გაზრდა. ეს მოსაზრებანი მტკიცდება რეიერის ექსპერიმენტებით, რომლის თანახმადაც, თბოგაცემის კოეფიციენტი ( $\alpha_3$ ) იზრდება დაახლოებით 7-ჯერ. მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის რომ, რაც უფრო დიდია ზედაპირის ზომები, მით ნაკლებად მოქმედებს ნაკადის მიმართულება, ვინაიდან ჰაერი განიდინება ზედაპირის პარალელურად.

კონვექციითა და დასხივებით თბოგაცემის კოეფიციენტთა ჯამი თბოგაცემის საერთო კოეფიციენტია

$$\alpha_{\text{გაყ}} = \alpha_3 + \alpha_6. \quad (I-102)$$

ამრიგად, (I-63) განტოლების ანალოგიურად, შემომზღული კონსტრუქციის გარე ზედაპირებისათვის თბური ბალანსის, ანუ გაცემული სითბოს სრული მნიშვნელობა

$$Q = [\alpha_3(\tau_3 - t_3) + \alpha_{რად}(\tau_3 - t_3)] F, \quad (I-103)$$

სადაც  $F$  არის გარე ზედაპირის ფართობი;

$\tau_3$  — გარე ზედაპირის ტემპერატურა;

$t_3$  — გარე ჰაერის ტემპერატურა.

$\alpha_{რად}$  განვსაზღვროთ ფორმულით

$$\alpha_{რად} = C_{დაყ} b_{1-2} \varphi_{1-2},$$

აქ

$$\varphi_{1-2} = 1.$$

თ ა 3 0 11

## შემომზღული კონსტრუქციების თბოგამტარობა

შემომზღული კონსტრუქციები უნდა იცავდეს შენობის სათავსებს უშუალოდ ატმოსფერული ზეგავლენისაგან.

გარე შემომზღული კონსტრუქციების შიგა ზედაპირს გამოსხივებით და კონვექციით გადაეცემა სითბოს გარკვეული რაოდენობა. ზამთრის პერიოდში ეს სითბო იკარგება ატმოსფეროში ამ კონსტრუქციების შრეებში გავლით. სითბოს დანაკარგების ძირითადი წინააღმდეგობაა შემომზღული კონსტრუქციების მასალები, რომლებიც თბოსაიზოლაციით თვისებებით ხასიათდება. სტაციონარულ პირობებში სითბოს რაოდენობა, რომელიც მოხვდება შიგა ზედაპირზე, მთლიანად ატმოსფერულ ჰაერს გადაეცემა. ზაფხულის პერიოდში შემომზღული კონსტრუქციები სათავსებს იცავს სითბოს მოღინებისაგან და აფერხებს მასში ტემპერატურის მკვეთრ ცვლილებას. არასტაციონარულ თბოგადაცემის პროცესში შემომზღულ კონსტრუქციებს (კედლებს, გადახურვას და სხვ.) შეუძლია სითბოს გარკვეული რაოდენობის აკუმულაცია, რის შედეგადაც მცირდება შენობის გადამეტხურება.

შემომზღულ კონსტრუქციებში სითბოს გადატანის ძირითადი შემადგენელია კედლის შრეების თბოგამტარობა.

### § II-1. თბოგამტარობის განტოლება

მყარი სხეულებისათვის (როგორცაა სამშენებლო მასალები) თბოგამტარობის დიფერენციალური განტოლება, რომელიც ფურიეს განტოლების სახელითაა ცნობილი, შემდეგი სახისაა:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (II.1)$$

სადაც  $\tau$  არის დრო;

$$a = \frac{\lambda}{C\gamma} \text{ — ტემპერატურის გამტარობის კოეფიციენტი, მ}^2/\text{წმ}.$$

(II-1) განტოლება გარემოს ყოველი წერტილისათვის დროსა და სივრცეში მომხდარი ტემპერატურის ცვლილებათა შორის ამყარებს კავშირს; განტოლება სტაციონარული და ერთგანზომილებიანი ტემპერატურული ველისათვის შედარებით მარტივი სახისაა:

$$\frac{d^2 t}{dx^2} = 0. \quad (II-2)$$

(II-1) განტოლების ამოსახსნელად მოცემული უნდა იქნეს შემდეგი სასაზღვრო პირობები:

- 1) ტემპერატურის საწყისი განაწილება სხეულში;
  - 2) გარემოს ზემოქმედება სხეულის ზედაპირზე.
- თავის მხრივ, უკანასკნელი პირობა სამი სახისაა:

პირველ შემთხვევაში მოცემულია ზედაპირის ტემპერატურა. ამ დროს ცნობილი არ არის სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც გადის ზედაპირის  $dF$  ელემენტში. ეს სითბოს რაოდენობა, ფურიეს კანონის თანახმად, დროის ყოველი მომენტისათვის

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF, \quad (II-3)$$

სადაც  $\lambda$  არის მასალის თბოგამტარობის კოეფიციენტი, ვტ/მ. გრად;

$$\frac{\partial t}{\partial n} \text{ — ტემპერატურული გრადიენტი.}$$

მეორე შემთხვევაში პირიქით, მოცემულია ზედაპირის ელემენტში გამავალი სითბოს რაოდენობა  $dQ$  და ცნობილი არ არის სხეულის ზედაპირის ტემპერატურა  $t$ .

დაბოლოს, მესამე შემთხვევაში მოცემულია გარემოს ტემპერატურა  $t_1$  და გარემოსა და ზედაპირს შორის თბოგაცემის  $\alpha$  კოეფიციენტი.

სხეულის ზედაპირიდან გარემოში გაცემული სითბოს  $dQ$  რაოდენობა ტოლია

$$dQ = \alpha (t_{\text{კვლ}} - t_1) dF. \quad (II-4)$$

(II-3) და (II-4) განტოლებათა შედარების საფუძველზე მივიღებთ:

$$-\frac{\partial t}{\partial n} = \frac{\alpha}{\lambda} (t_{\text{კვლ}} - t_1). \quad (II-5)$$

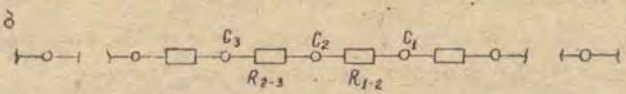
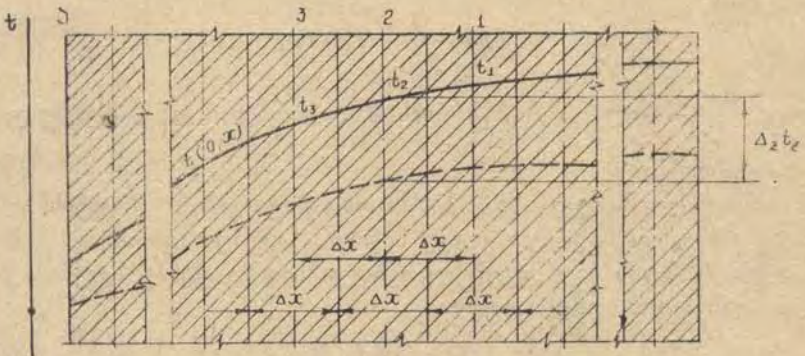
(II-5) განტოლება მესამე სახის სასაზღვრო პირობის მათემატიკური გამოსახულებაა.

(II-1) დიფერენციალური განტოლების ამოხსნის შემდეგ უნდა მივიღოთ ისეთი ფუნქცია, რომელიც ერთდროულად დააკმაყოფილებს როგორც ამ განტოლებას, ისე სამივე სახის სასაზღვრო პირობებს.

ტექნიკური ხასიათის ამოცანების ამოსახსნელად უმეტეს შემთხვევებში საკმარისია დავაკმაყოფილოთ პროცესის მიმდინარეობის განხილვით, მხოლოდ ერთი რომელიმე  $x$  ღერძის მიმართულებისათვის. კერძოდ, სამშენებლო თბოტექნიკაში თბოგამტარობის ამოცანები საინჟინრო მეთოდებით განისაზღვრება; ერთ-ერთი ასეთი მეთოდია (II-1) განტოლების ჩაწერა სასრული სხვაობის ფორმით. ამ მეთოდის გამოყენებისას დასაშვებად ითვლება როგორც სივრცეში, ისე დროში განუწყვეტელი პროცესის შეცვლა ნახტომისებრი პროცესით. ამ დაშვებასთან დაკავშირებით თბოგამტარობის დიფერენციალური განტოლება (II-1) იცვლება სასრულსხვაობათა განტოლებით, რომელიც ერთგანზომილებიანი ველი-სათვის

$$\frac{\Delta t}{\Delta \tau} = a \frac{\Delta^2 t}{\Delta x^2} \quad (II-6)$$

აღნიშნული მეთოდით თბოგამტარობის განტოლების მისაღებად განვიხილოთ ერთგანზომილებიანი ტემპერატურული ველი, რომელსაც სითბო გადაეცემა ერთგვაროვან ბრტყელ კედელს (ნახ. II-1).



ნახ. II-1. სქემა სასრულ სხვაობებში თბოგამტარობის განტოლების ამოსახსნელად: ა—უწყვეტი ველი; ბ—თბური ჯაჭვი

კედელს ვყოფთ თანასწორი  $\Delta x$  სისქის შრეებად, რის შემდეგ დავადგენთ, რომ კედლის მასალის თბური თვისება თანაბრადაა განაწილებული და თავმოყრილი თითოეული შრის საზღვრებში.

ფურიეს (II-3) განტოლების თანახმად, თითოეულ შრეში გატარებული კუთრი სითბოს რაოდენობა

$$q = -\lambda \frac{dt}{dn} \quad (\text{II-7})$$

უარყოფითი ნიშანი გვიჩვენებს, რომ სითბოს ნაკადი ტემპერატურული გრადიენტის საწინააღმდეგოდაა მიმართული.

დაყოფილი ელემენტარული შრეებისათვის (II-7) განტოლება შემდეგი სახისაა

$$q = \frac{\lambda}{\Delta x} (t_1 - t_2), \quad (\text{II-8})$$

სადაც  $t_1$  და  $t_2$  არის ტემპერატურა ელემენტარული შრეების 1 და 2 ღერძებზე;

$\Delta x$  — ღერძებს შორის მანძილი.

ცხადია, (II-8) განტოლება მართებულია მხოლოდ სტაციონარული პირობებისათვის, როდესაც კედლის ტემპერატურა იცვლება წრფივი კანონით; არასტაციონარულ პირობებში კი კედლის ტემპერატურის ცვლილება მრუდწირულ კანონს ემორჩილება, შრეებს შორის (II-8) განტოლება მიახლოებით ასე გამოისახება:

$$q = \frac{1}{R_{1-2}} (t_1 - t_2), \quad (\text{II-9})$$

სადაც  $\frac{\Delta x}{\lambda}$  — 1-ელ და მე-2 შრეებს შორის თბური, ანუ თერმული, წინაღობა ეწოდება.

არასტაციონარულ პირობებში თბოგამტარობას შრეების სისქეში დამატებით განვსაზღვრავთ კიდევ სითბოს აკუმულაციით. ამ შენთხვევისათვის  $dx$  შრის მიერ აკუმულირებული სითბო ტემპერატურის  $dt$  ნაშტის პირდაპირპროპორციულია

$$dQ = C \gamma dx dt, \quad (\text{II-10})$$

სადაც  $C \gamma$  არის მასალის მოცულობითი თბოტევადობა, ვტ/მ<sup>3</sup>. გრად.

სასრული სხვაობისათვის ( $z$ ) დროის შუალედში, აკუმულირებული  $\Delta Q$  ცვლილება ელემენტარული  $\Delta x$  შრისათვის ტოლია

$$\Delta Q = C \gamma \Delta x \Delta_z t. \quad (\text{II-11})$$

შევადგინოთ ელემენტარული  $n$  შრის თბური ბალანსის განტოლე-

ბა, რომელიც II-1 ნახაზზე აღნიშნულია ინდექსით 1.  $n$  შრე, გამტარობის კანონის თანახმად,  $\Delta x$  დროის განმავლობაში  $n+1$  შრიდან მიიღებს სითბოს რაოდენობას

$$q_{n+1, n} \Delta x = \frac{\lambda}{\Delta x} (t_{n+1} - t_n) \Delta x \quad (\text{II-12})$$

და გადასცემს  $n-1$  შრეს სითბოს რაოდენობას

$$q_{n, n-1} \Delta x = \frac{\lambda}{\Delta x} (t_n - t_{n-1}) \Delta x. \quad (\text{II-13})$$

ზემოთ აღნიშნულ განტოლებებში მიღებულია, რომ  $\Delta x$  დროის განმავლობაში ტემპერატურათა სხვაობა უცვლელია.

(II-12) და (II-13) განტოლებათა სხვაობით მივიღებთ  $n$  შრის მიერ აკუმულირებულ  $\Delta Q_n$  სითბოს რაოდენობას, რომელიც გაზრდის მის საშუალო ტემპერატურას  $\Delta_x t_n$ -ით, ე. ი.  $n$  შრისათვის თბური ბალანსი ტოლი იქნება

$$C \gamma \Delta x \Delta_x t_n = \frac{\lambda}{\Delta x} [(t_{n+1} - t_n) - (t_n - t_{n-1})] \Delta x; \quad (\text{II-14})$$

გარდაქმნის შემდეგ

$$C \gamma \frac{\Delta_x t_n}{\Delta x} = \frac{\lambda}{(\Delta x)^2} \Delta_x^2 t_n, \quad (\text{II-15})$$

სადაც

$$\begin{aligned} \Delta_x^2 t_n &= (t_{n+1} - t_n) - (t_n - t_{n-1}) = \Delta t_{n+1, n} - \Delta t_{n, n-1} = \\ &= t_{n+1} + t_{n-1} - 2t_n \end{aligned} \quad (\text{II-16})$$

არის ტემპერატურათა მეორე სასრული სხვაობა, ე. ი. ელემენტარულ შრეებს შორის ტემპერატურათა სხვაობა. (II-16) განტოლება შინაარსით იგივეა, რაც (II-15) განტოლება, რომელიც ვ. ბოგოსლოვსკიმ მიიღო ანალიზური გზით.

თუ სასრულ სხვაობებს შევცვლით უსასრულო მცირე ნამატებით, მაშინ (II-15) განტოლება ფურიეს დიფერენციალური განტოლების ანალოგიურია, ე. ი.

$$C \gamma \frac{\partial t}{\partial x} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial x^2}. \quad (\text{II-17})$$

მიღებული დასკვნები შეიძლება ვაფიქსიროთ ზოგადი პირობებისათვის როგორც ორგანოზომილებიანი, ისე სამგანზომილებიანი ტემპერატურული ველისათვის.

იმისათვის, რომ დავაპროექტოთ პაერის კონდიციებისა და ვაბობის სისტემები, აუცილებელია სათავსების შემომზადი კონსტრუქციების საშენ მასალათა თბოფიზიკური მახასიათებლებისა და მათი მნიშვნელობის ცოდნა.

ზემოთ მოყვანილი ფორმულების მეშვეობით როგორც არ უნდა ზუსტად შევასრულოთ თბოტექნიკური გაანგარიშება, ვერასდროს ვერ მივიღებთ დამაკმაყოფილებელ შედეგს, თუ მასალათა თბოტექნიკური მაჩვენებლების სიდიდეები არ შეესაბამება მათ ნამდვილ მნიშვნელობებს. ეს მნიშვნელობები ყოველთვის ერთი და იგივე დადგენილი სიდიდეები არ არის და სხვადასხვა პირობების მიხედვით მკვეთრად იცვლება. ამიტომ გასაანგარიშებლად ამა თუ იმ მაჩვენებლის შერჩევა მეტად ძნელია. განსაკუთრებით ეს იგრძნობა ახალი, ჯერ შეუსწავლელი სამშენებლო მასალების გამოყენებისას.

თბოგამტარობის გაანგარიშებებში (II-17) ფორმულა გამოიყენება სამი თბოფიზიკური კოეფიციენტი — თბოგამტარობის  $\lambda$ , მოცულობითი თბოტევადობის  $C$  და ტემპერატურაგამტარობის  $a$ . მათი რიცხვობრივი მნიშვნელობები დამოკიდებულია მასალების შემადგენლობაზე, სტრუქტურასა და თბოტენიანობის მდგომარეობაზე.

სამშენებლო მასალები წარმოადგენს კაპილარულ-ფორებიან სხეულებს. ფორები შეიძლება შევსებულ იქნეს ტენიანი პაერით, წყლით და ყინულით. ამასთან დაკავშირებით მისი თბოფიზიკური პარამეტრები სხვადასხვა პირობებისათვის შეიძლება მკვეთრად იცვლებოდეს.

სხეულში სითბოს გადატანის პროცესი თბოგამტარობის კოეფიციენტით ხასიათდება. მისი ფიზიკური არსი შეიძლება განვსაზღვროთ (II-7) განტოლებით

$$\lambda = - \frac{q}{\text{grad } t} = \frac{Q}{Fz \Delta t/l}$$

მაშასადამე, თბოგამტარობის კოეფიციენტის სიდიდე გამოსახავს კილოჯოულით სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც გაივლის დროის ერთეულში 1 მ<sup>2</sup> ფართობის მქონე რაიმე ნივთიერების შრეში, როდესაც ტემპერატურათა სხვაობა მოპირდაპირე ზედაპირებს შორის 1°C და შრის სისქე ერთი მეტრია.

როგორც აღვნიშნეთ, თბოგამტარობის კოეფიციენტი სხვადასხვანაირი სამშენებლო და საიზოლაციო მასალებისათვის სხვადასხვა და თითოეული მათგანისათვის დამოკიდებულია ამ ნივთიერების აგებულებაზე, მოცულობით წონაზე, ტენიანობაზე, წნევაზე და ტემპერატურაზე. ყველა ეს ზემოთ მოყვანილი მეტად აძნელებს თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობის სწორად შერჩევას. ტექნიკურ გაანგარიშებათა

ჩასატარებლად თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშვნელობას ჩვეულ-  
ბრივად იღებენ სათანადო ცნობარებში მოთავსებული ცხრილებიდან. ამ  
მონაცემებით სარგებლობისას ყურადღება უნდა მივაქციოთ იმას, რომ  
ცნობარში გათვალისწინებული მასალის ფიზიკური დახასიათება შეესა-  
ბამებოდეს განსახილავი კონკრეტული ამოცანის პირობებს. კერძოდ, ტე-  
ნიან სამშენებლო მასალაში სითბოს გადაცემა მიმდინარეობს რამდენიმე  
ხერხით. მასალის მყარ ჩონჩხსა და აგრეთვე სითხის აფსკში და ყინულ-  
ში სითბო გადაიტანება თბოგამტარობით. ფორებში, რომელიც შეესე-  
ბულია ტენიანი ჰაერით, გარდა თბოგამტარობისა, სითბოს ცვლილება  
მიმდინარეობს კონვექციითა და გამოსხივებით. სითბოს გადატანა შეი-  
ძლება ხდებოდეს აგრეთვე ტენის ცვლის და ჰაერის ფილტრაციის შემ-  
თხვევებში.

სამშენებლო მასალები ერთმანეთისაგან განსხვავდება შემადგენლო-  
ბით და მყარი ნაწილის (ჩონჩხი) აგებულებით. მყარი ნაწილის საშუა-  
ლებით სითბოს გამტარობა არაორგანულ მასალებში უფრო მეტია, ვი-  
დრე ორგანულებში. მაგალითად, არაორგანული მასალების მყარი ნაწი-  
ლების თბოგამტარობის მნიშვნელობები: ამორფული სტრუქტურისა-  
თვის — 0,7—3,5; კრისტალური აგებულების სხეულებისათვის — 4,5—14,  
ხოლო ორგანული მყარი ნაწილებისათვის  $\lambda = 0,29 - 0,4$ , პლასტმასები-  
სათვის  $\lambda = 0,16 \div 0,35$  ვტ/მ. გრად.

ბოჭკოვანი მასალების სტრუქტურა ძირითად შემთხვევებში ანი-  
ზოტროპულია. ასეთ სხეულებში თბოგამტარობის კოეფიციენტის მნიშ-  
ვნელობა, როდესაც თბური ნაკადი მიმართულია ბოჭკოების გასწვრივ,  
დაახლოებით სამჯერ მეტია მაშინ, როდესაც ეს ნაკადი მიმართულია  
ბოჭკოების მართობულად.

რადგანაც სითბოს გავრცელების დროს სხეულის სხვადასხვა ნა-  
წილში ტემპერატურა სხვადასხვაა, ამიტომ, პირველ ყოვლისა, საჭიროა  
ვიცოდეთ თბოგამტარობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ტემპერა-  
ტურისაგან. ცდებით გამოჩვენებულია, რომ მასალების დიდი უმრავლე-  
სობისათვის თბოგამტარობის კოეფიციენტსა და ტემპერატურებს შორის  
არსებობს შემდეგი სახის დამოკიდებულება

$$\lambda = \lambda_0 + b t, \tag{II-18}$$

სადაც  $\lambda_0$  არის თბოგამტარობის კოეფიციენტი  $0^{\circ}\text{C}$  დროს;  
 $b$  — მუდმივა, რომელსაც ცდის საშუალებით მივიღებთ.  
კაუქსანის მონაცემებით სამშენებლო მასალებისათვის  $b$  მნიშვნე-  
ლობა იცვლება  $10^{-6}$ -დან  $10^{-4}$ -მდე.

პრაქტიკულ გაანგარიშებაში თბოგამტარობის კოეფიციენტის ცვლი-  
ლებას მხედველობაში არ მივიღებთ და მის სიდიდეს განვსაზღვრავთ  
სხეულის ტემპერატურათა ზღვრული მნიშვნელობების საშუალო არით-



მეტიკულის მიხედვით, რომელიც მიჩნეულია მუდმივ სიდიდედ და მოცემულია სათანადო ცნობარებში.

თბოგამტარობის კოეფიციენტზე დიდ გავლენას ახდენს მასალის ტენიანობა.

როგორც ცნობილია, წყლის თბოგამტარობა ტოლია 0,5, ხოლო ყინულისა — 2,32 ვტ/მ·გრად. მაშასადამე, მასალის ფორმებში ჰაერის ნაცვლად წყლის არსებობა მკვეთრად ზრდის მასალის თბოგამტარობას, ვინაიდან ჰაერის  $\lambda$  შედარებით ნაკლებია წყლის თბოგამტარობის კოეფიციენტზე.

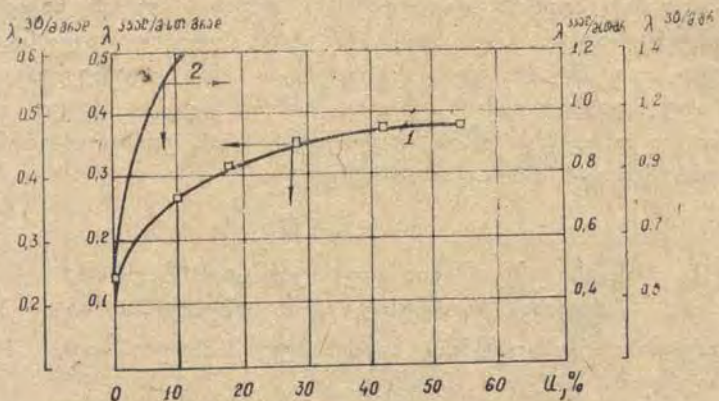
მასალის ტენიანობა წყლისა და მშრალი მასალის წონათა პროცენტული ფარდობაა. მას წონითი ტენიანობა ეწოდება. (II-2) ნახაზზე მოცემულია აირსილიკატისა და აგურის თბოგამტარობის კოეფიციენტის ცვლილება წონითი ტენიანობის მიმართ.

როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს, აგურის ტენიანობის 10%-ით გაზრდის შემთხვევაში მისი თბოგამტარობის კოეფიციენტი მატულობს 2,5-ჯერ.

შემომზღულ კონსტრუქციებში მასალის ტენიანობა იცვლება დროის მიხედვით. საწყის პერიოდში მას აქვს „სამშენებლო ტენი“.

ექსპლუატაციის პერიოდში (მას შემდეგ, რაც ტენის გარკვეული რაოდენობა აორთქლდება) კედლებისა და გადახურვის მასალებში მყარდება კვაზისტაციონარული ტენიანობის რეჟიმი. ცხადია, ტენიანობა დამოკიდებული იქნება კონსტრუქციებში მასალის განლაგებაზე, სათავსის პირობებსა და მშენებარე რაიონის კლიმატზე.

შენობის თბური რეჟიმის ანგარიშის დროს თბოგამტარობის კოეფიციენტს მივიღებთ „ნორმალური ტენიანობისათვის“, რომელიც დადგე-



ნახ. II-2. სამშენებლო მასალების  $\lambda$ -ს დამოკიდებულება ტენიანობაზე აირსილიკატის  $\gamma=700$  კგ/მ<sup>3</sup> (1) და წითელი აგურის (2) მაგალითზე



ნილია ექსპლუატაციის პერიოდში. კონსტრუქციების საანგარიშო ნორმებში მოცემულია ტენიანობის მდგომარეობის სამი გრადაცია, რომლებიც დაკავშირებულია შიგა და გარე კლიმატის ტენიანობის მახასიათებლებთან. აღსანიშნავია, რომ სამშენებლო მასალების თბოფიზიკური პარამეტრები მოცემულია სამშენებლო ნორმებში (СНП II-7-71).

სამშენებლო მასალებისათვის კუთრი თბოტევადობა იცვლება  $C=0,75$ -დან  $C=2,5$  კჯ/კგ·გრად-მდე. თბოტევადობა დამოკიდებულია მასალების ტენიანობაზე. ტენიანობის ზრდით მატულობს მისი თბოტევადობაც, რაც გამოწვეულია წყლის მაღალი სითბოტევადობით ( $C=4,19$  კჯ/კგ·გრად).

თბოტევადობის დამოკიდებულება მასალის ტენიანობაზე შეიძლება მიახლოებით გამოვიანგარიშოთ შემდეგი ფორმულით

$$C = C' + 0,01 \epsilon_{\text{B}}, \quad (\text{II-19})$$

სადაც  $C$  არის მშრალი მასალის თბოტევადობა;

$\epsilon_{\text{B}}$  — მასალის წონითი ტენიანობა.

სამშენებლო მასალების თბოტევადობის მნიშვნელობები ნორმალური ტენიანობისათვის მოცემულია სამშენებლო ნორმებში (СНП II-7-71).

### § II-3: თბოგადაცემა ჰაერის შემოსახლვრულ სივრცეში

მშენებლობაში ხშირად ჰაერის მცირე შრე წარმოადგენს თბოსა-იზოლაციო საშუალებას. მაგალითად, ჰაერის შრეს იყენებენ ფანჯრების კონსტრუქციებში (ორმაგი ფანჯარა), ვიტრინებში, გარე კედლებსა და გადახურვებში. ამ შემთხვევაში (შემოსახლვრულ და დახშულ სივრცეში), ბუნებრივი კონვექციის მიმდინარეობის დროს ჰაერის გაცხელებისა და გაცივების მფიქვანათა ერთიმეორისაგან განცალკევება შეუძლებელია და ეს მოვლენები უნდა განვიხილოთ როგორც ერთი მთლიანი პროცესი. ერთმანეთის სიახლოვეში ამავალი და დამავალი ნაკადების არსებობის გამო ჰაერის მოძრაობისა და, მაშასადამე, თბოგაცემის პირობები ძლიერ რთულდება; ამ პირობებს განესაზღვრავთ როგორც ჰაერის ფიზიკური თვისებებითა და პროცესის ინტენსივობით, ასევე სივრცის ფორმითა და ზომებით.

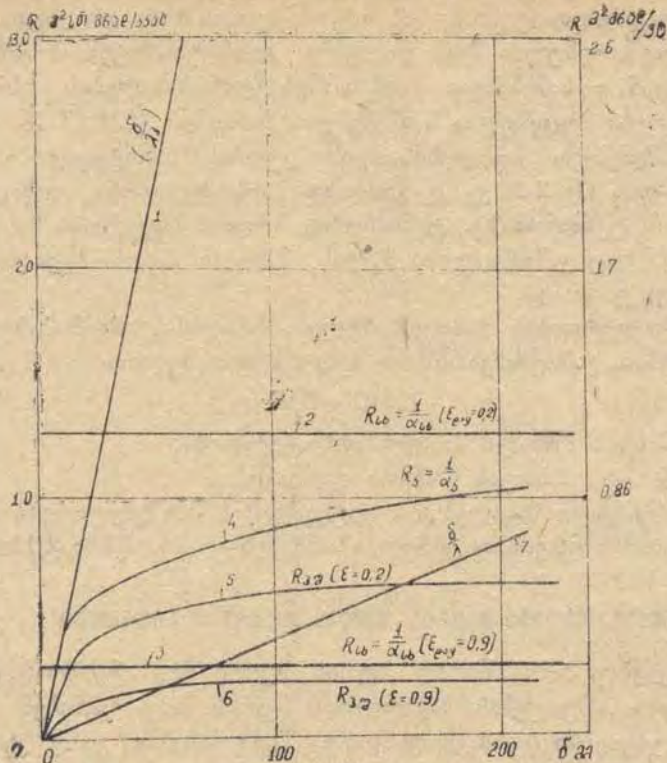
ჰაერის მცირე შრის არსებობის დროს ერთი ზედაპირიდან მეორე ზედაპირზე სითბოს გადატანა ერთდროულად მიმდინარეობს თბოგამტარობით, კონვექციითა და გამოსხივებით (ნახ. II-3). ამ შემთხვევისათვის სრული თბური ნაკადის მნიშვნელობა

$$q = q_{\text{თბ}} + q_{\text{კ}} + q_{\text{რ}}, \quad (\text{II-20})$$

სადაც  $q_{\text{თბ}}$  არის თბოგამტარობის შემდგენი;

$q_{\text{კ}}$  — კონვექციის შემდგენი;

$q_{\text{რ}}$  — რადიაციული შემდგენი.



ნახ II-3. ჰერმეტიკული საპაერო შრისა და მისი შემდგენების თბოგაცემის წინაღობის ცვლილება:

- 1—ხ სისქის ჰაერის შრის თბოგამტარობის წინაღობა; 2—გამოსხივებით თბოცვლის წინაღობა, როდესაც  $\epsilon_{\text{დაყ}}=0,2$ ; 3—იგივე, როდესაც  $\epsilon_{\text{დაყ}}=0,9$ ; 4—კონვექციური თბოცვლის წინაღობა; 5—საპაერო შრის თბოგაცემის თერმული წინაღობა, როდესაც  $\epsilon_{\text{დაყ}}=0,2$ ; 6—იგივე, როდესაც  $\epsilon_{\text{დაყ}}=0,9$ ; 7—ხ სისქის წილის შრის წინაღობა

ხშირად რადიაციული და კონვექციური შემდგენები გაერთიანებულია ერთი კონვექციური თბოგადაცემის შემდგენად და გამოიანგარიშება შემდეგი ფორმულით:

$$q_3 = \alpha_3' (\tau_1 - \tau_2), \quad (\text{II-21})$$

სადაც  $\alpha_3'$  — კონვექციური თბოგაცემის კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს სითბოს გადატანას თბოგამტარობითა და კონვექციით.

ჰაერის ცირკულაცია ვერტიკალურ სადენებსა და ვიწრო ხვრელებში მიმდინარეობს ორგვარად: როდესაც შრის სისქე ( $\delta$ ) საკმარისად დიდია, ჰაერის ამავალი და დამავალი ნაკადები ერთმანეთს ხელს არ



უშლის და პირქით, თუ  $\delta$  მცირეა, მაშინ ნაკადების შერევის გამო წარმოიშობა შიგა საცირკულაციო კონტურები, რომელთა სიმაღლეს განვსაზღვრავთ ზვრელის სიგანით. მცირე ტემპერატურული დაწნევებით წარმოიქმნება კედლების გასწვრივ ჰაერის პარალელურ-ჰაელური მოძრაობა. მ. მიხევემა დაადგინა ნაკადის ლამინარული რეჟიმიდან ტურბულენტურ რეჟიმში გადასვლის საზღვრები. კერძოდ, თუ  $Gr Pr < 1000$ , მოძრაობა ლამინარულია. ნული გრადუსის შემთხვევისათვის კრიტიკული მნიშვნელობა (I-2) ფორმულით

$$(Gr Pr)_{კრ} \approx 10^8 \delta^3 \Delta \cdot \tau \leq 1000, \quad (II-22)$$

სადაც  $\delta$  არის ჰაერის შრის სისქე, მ.

ზემოთ მიღებული განტოლებიდან დავადგენთ ჰაერის შრის კრიტიკულ მნიშვნელობას, რომლის დროსაც ნაკადი ინარჩუნებს ლამინარულ რეჟიმს

$$\delta_{კრ} \approx 20 \Delta \tau^{-1/3}, \quad (II-23)$$

სადაც  $\Delta \tau = \tau_1 - \tau_2$  — კედლებს შორის ტემპერატურათა სხვაობაა.

ამ შემთხვევაში კონვექციური თბოგაცემის კოეფიციენტი

$$\alpha' = \frac{\lambda_j}{\delta}, \quad (II-24)$$

რაც იმის მაჩვენებელია, რომ  $Gr Pr$ -ის მნიშვნელობისათვის ჰაერის შუა-შრეების მეშვეობით ცხელი ზედაპირიდან ცივზე სითბოს გადაცემა მხოლოდ ჰაერის თბოგამტარობით ხდება, რომლის დროსაც

$$\delta \leq \delta_{კრ}.$$

იმ შემთხვევაში, როდესაც  $Gr Pr > 1000$ , თბოგაცემის კოეფიციენტის გამოსაანგარიშებლად შეგვიძლია ვისარგებლოთ შემდეგი დამოკიდებულებით:

$$Nu = 0,18 (Gr Pr)^{0,25}. \quad (II-25)$$

ნულგრადუსიანი ჰაერისათვის (II-25) განტოლებიდან თბოგაცემის კოეფიციენტი

$$\alpha_3' = 2,4 \left( \frac{\Delta \tau}{\delta} \right)^{0,25}. \quad (II-26)$$

(II-26) განტოლებაში ტემპერატურის  $10^\circ C$  შემცირება იწვევს რიცხობრივ კოეფიციენტის ზრდას მხოლოდ 4%-ით.

ჰორიზონტალური შრეებისათვის პროცესის მიმდინარეობას განვსაზღვრავთ ცხელი და ცივი ზედაპირების ურთიერთგანლაგებითა და ამ ზედაპირებს შორის მანძილით. იმ შემთხვევაში, როდესაც გამთბარი ზედაპირი ზემოთაა მოთავსებული, მაშინ ცირკულაცია სრულიად არ ხდება.

ბ. ამ პირობებისათვის თბოგაცემის კოეფიციენტი  $\alpha_3'$  უნდა გამოვიანგარიშოთ (II-24) განტოლებით. თუ გაცხელებული ზედაპირი მოთავსებულია ქვემოთ, მაშინ წარმოიქმნება მცირე საცირკულაციო კონტურები; ამასთან, მეზობლად განლაგებულ კონტურებში ჰაერი ერთმანეთის საწინააღმდეგო მიმართულებით მოძრაობს. ამ შემთხვევაში თბოგაცემის კოეფიციენტი (II-26) ფორმულით მიღებულ თბოგაცემის კოეფიციენტზე მეტია.

თბოგაცემის  $\alpha_3$  კოეფიციენტის ცვლილება ძირითადად დამოკიდებულია ჰაერის შრის სისქეზე. მაგალითად, როდესაც  $\delta = 10$  მმ,  $\alpha_3$  მატულობს 20%; როდესაც  $\delta = 50$  მმ,  $\alpha_3$  მნიშვნელობა მაქსიმალურია და იზრდება (II-26) ფორმულასთან შედარებით 45%-ით. შემდგომი გადიდების შედეგად თბოგაცემის კოეფიციენტი მცირდება ისე რომ, როდესაც  $\delta = 200$  მმ,  $\alpha_3$  იზრდება 5%/ით.

ჰაერის შრეში გამოსხივებით გადაცემული სითბოს შემდგენი

$$q_r = \alpha_r (\tau_1 - \tau_2), \quad (II-27)$$

სადაც  $\alpha_r$  — გამოსხივებით თბოგაცემის კოეფიციენტი, ვტ/მ<sup>2</sup>.გრად.

თბოგაცემის კოეფიციენტს  $\alpha_r$  განვსაზღვრავთ ცნობილი ფორმულით

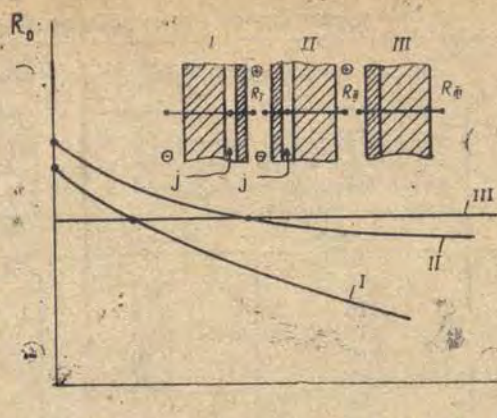
$$\alpha_r = \epsilon_{\text{დაყ}} C_0 b \phi. \quad (II-28)$$

დახშულ სისტემაში  $\phi = 1$ . დაყვანილი სიშავის ხარისხის მნიშვნელობას განვსაზღვრავთ (I-60) ფორმულით, რომელიც გამოიყენება ოთხპარალელურ ზედაპირს შორის. უმეტესი სამშენებლო მასალებისათვის  $\epsilon_{\text{დაყ}} = 0,85$ . თუ საშუალო 0°C ტემპერატურის დროს ტემპერატურული კოეფიციენტი, რომელსაც გამოვიანგარიშებთ (I-68) ფორმულით,  $b = 0,80$ , მაშინ, (I-26) ფორმულის თანახმად,

$$\alpha_3 = 0,85 \cdot 5,75 \cdot 0,81 \cdot 1 = 3,94 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად.}$$

მაშასადამე, გამოსხივებით გაცემული სითბოს რაოდენობა ბევრად მეტია კონვექციით გაცემულ სითბოს რაოდენობაზე. ამასთან დაკავშირებით სითბოს გადაცემის შესამცირებლად მიზანშეწონილია გავზარდოთ ამ შრის თერმული წინაღობა, ე. ი. შევამციროთ გამოსხივებითი თბური ნაკადი. ამ ნაკადის შემცირება შესაძლებელია ერთ-ერთი ზედაპირის ეკრანით დაფარვით. ეკრანულ ზედაპირებად ძირითადად იყენებენ ალუმინის კილიტას, რომელიც ალუმინის ძლიერ თხელი ფირფიტაა. 0,009—0,01 მმ სისქის ასეთ ზედაპირებს დაარმატურებული ზედაპირები ეწოდება. კილიტით დაფარვა მიზანშეწონილია შედარებით თბილ ზედაპირებზე, რათა თავიდან ავიცილოთ წყლის ორთქლის კონდენსაცია. ეკრანი საშუალებას გვაძლევს შევამციროთ გამოსხივების ნაკადი დაახლოებით 10-ჯერ.

გამოსხივებით თბო-  
გაცემის  $\alpha_{\text{კ}}$  კოეფიციენ-  
ტის შემცირება შესაძლებელია აგრეთვე  
ჰაერის შრის მიახლოებით შემომზღული კონ-  
სტრუქციის გარე ზედაპირთან. ამ შემთხვე-  
ვაში ტემპერატურა მკვეთრად ეცემა, რის  
გამოც მცირდება ტემ-  
პერატურული  $b$  კოე-  
ფიციენტი და სათანა-  
დო გამოსხივებით  
თბოგაცემის  $\alpha_{\text{კ}}$  კოე-  
ფიციენტი.



ნახ. II-4. არაპერმეტული ჰაერის შრიან შემომზღული კონსტრუქციის თბოგაცემის თერმული წინაღობის ცვლილება, როდესაც ჰაერის შრე მოთავსებულია შიგა ზედაპირთან (I), გარე ზედაპირთან (II) და შემომზღული კონსტრუქციისათვის შრეების იმავე სისქეებით, მხოლოდ ჰაერის შრის გარეშე (III)

ჰაერის შრის ეფექტური სისქე ვერტიკალურ კედლებში ტოლია 76—95 მმ. ჰორიზონტალური ზედაპირებისათვის შრის სისქის გაზრდით დიდდება თერმული წინაღობა. ჩვეულებრივი პირობებისათვის ამ შრის სისქე მიზანშეწონილია არ აღემატებოდეს 50 მმ, ვინაიდან სისქის შემდეგი გაზრდა უმნიშვნელოდ ამცირებს თბოგაცემას. ჰაერის თხელი შრის თერმული წინაღობის ცვლილება დამოკიდებულია ამ შრის სისქეზე (ნახ. II-4). ნორმირებული თბოგაცემის თერმული წინაღობა ნორმების მიხედვით მოცემულია II-1 ცხრილში.

თერმულ წინაღობათა მნიშვნელობები მართებულია მხოლოდ პერმეტული ჰაერის შრეებისათვის. რეალურ პირობებში კონსტრუქციულ მასალებში ჰაერის ინფილტრაციისა და ექსფილტრაციის შედეგად ამ შრის პერმეტულობა ირღვევა. ცხადია, პერმეტულობის დარღვევა გამოიწვევს თერმული წინაღობის შემცირებას. განსაკუთრებით მცირდება ეს წინაღობა მაშინ, როდესაც შრე შემომზღული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის მიმდებარეა და მასში ხვდება ატმოსფერული ჰაერი.

სათავსიდან ჰაერის ექსფილტრაციის დროს მიმდინარეობს ტენის გადატანა, რის შედეგადაც შესაძლებელია შემომზღული კონსტრუქციის მასალის დატენიანება. ამ მოვლენის ასაცილებლად სამშენებლო კონსტრუქციებში ხშირად აწყობენ მოძრავი ჰაერის შრეებს. ჰაერის მოძრაობა ამ შრეებში ხორციელდება სპეციალური ვენტილატორების მეშვეობით და ეს ელემენტები წარმოადგენს თბური ეკრანებისა და ჰაერსათბობების კონსტრუქციებს (ნახ. II-4).

## შერეულული ჰაერის შრის თერმული წინაღობანი

ჰაერის შრის სისქე, მმ	თბოგაცემის თერმული წინაღობა $R_p$ , მ <sup>2</sup> . გრად/ვტ			
	ჰორიზონტალური ზედაპირები, როდესაც თბური ნაკალი მიმართულია ქვემოდან ზემოთ და ვერტიკალური შრეები		ჰორიზონტალური ზედაპირები, როდესაც თბური ნაკალი მიმართულია ზემოდან ქვემოთ	
	ზაფხული	ზამთარი	ზაფხული	ზამთარი
10	0,15	0,17	1,15	0,18
20	0,16	0,18	0,18	0,22
30	0,16	0,19	0,19	0,24
50	0,16	0,20	0,20	0,26
100	0,17	0,21	0,21	0,27
150,0	0,18	0,21	0,22	0,28
200—300	0,18	0,22	0,22	0,28

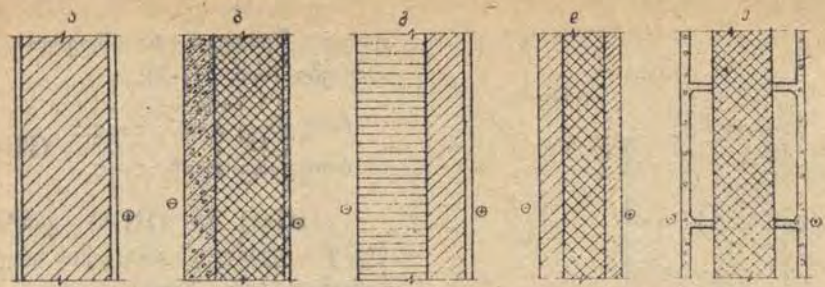
შ ე ნ ი შ ვ ნ ა:  $R_p$  მნიშვნელობას შეესაბამება ტემპერატურათა სხვაობა  $\Delta t = 10^{\circ}\text{C}$ . ტემპერატურათა სხვაობის შემცირებისას საჭიროა  $R$ -ის მნიშვნელობა გავამრავლოთ შემდეგ კოეფიციენტებზე: როდესაც  $\Delta t = 5^{\circ}\text{C}$ , 1,05-ზე;  $\Delta t = 6^{\circ}\text{C}$ , 1,1-ზე;  $\Delta t = 4^{\circ}\text{C}$ , 1,25-ზე;  $\Delta t = 2^{\circ}\text{C}$ , 1,4-ზე.

## თ ა გ ი III

## თბოგადაცემა უმომზღული კონსტრუქციებით

უმომზღულ კონსტრუქციებში სითბოს გადაცემის პროცესს, როდესაც გარკვეულ დროში ყველა პარამეტრი უცვლელია, სტაციონარული თბოგადაცემა ეწოდება და იგი ყველაზე მარტივი შემთხვევაა. ამასთან დაკავშირებით უმომზღული კონსტრუქციების თბოტექნიკური განგარიშების დროს მიზანშეწონილია რთული თბოგაცემის პროცესები დავიყვანოთ სტაციონარულ თბოგადაცემაზე.

როგორც აღვნიშნეთ, სითბო სათავსიდან გარე გარემოში გადაცემა თბოგამტარობით, კონვექციითა და თბური გამოსხივებით. რეალურად კი ეს მოვლენები ერთდროულად მიმდინარეობს და გარკვეულ გავლენას ახდენს ერთიმეორეზე. მაგალითად, კონვექციას ყოველთვის ახლავს თბოგამტარობა და ხშირად გამოსხივებაც — თბოგამტარობას ფორვან სხეულებში — კონვექცია და გამოსხივება ფორვებში, ხოლო გამოსხივებას — თბოგამტარობა და კონვექცია. თანამედროვე უმომზღული კონსტრუქციები მრავალშრიანია (ნახ. III-1). ძირითადად უმომზღული კონსტრუქცია შედგება: მზიდი (კონსტრუქციული), ჰიდრო- და თბოსაიზოლაციო, შიგა და გარე ზედაპირების შელესვის შრეებისაგან. თბოგადაცემის რეჟიმისათვის ძირითადი შრეებია კონსტრუქციული და საი-



ნახ. III-1. შენობათა თანამედროვე გარე შემომზღული კონსტრუქციების ტიპები:  
 ა—ერთპირიანი კერამიტიტობეტონის პანელი შიგა და გარე ფაქტურული შრეებით;  
 ბ—ორპირიანი პანელი (ბეტონი, ეფექტური თბოსაიზოლაციო მასალა გარე ფაქტურული შრით);  
 გ—ვიბროაგურის პანელი; დ—სამპირიანი პანელი; ე—სამპირიანი ნაგლინი პანელი

ზოლაციო. მზიდი შრე ჩვეულებრივად მზადდება მკვრივი მასალისაგან. რის გამოც მისი თბოგამტარობის კოეფიციენტი შედარებით მაღალია; სამაგიეროდ ის ცუდი ტენგამტარია და ჰაერშეუღწევადი. საიზოლაციო შრის მასალა ფოროვანია, ამიტომ ეს შრე მაღალი თერმული წინაღობით ხასიათდება და წყლის ორთქლისა და ჰაერის კარგი გამტარია.

თბოსაიზოლაციო შრე შეიქმლება განლაგებულ იქნეს შემომზღული კონსტრუქციის როგორც შიგა, ისე გარე ზედაპირზე. თბოტექნიკური თვალსაზრისით მიზანშეწონილია ეს შრე მოთავსებულ იქნეს კონსტრუქციის გარე ზედაპირზე, ვინაიდან, ამ შემთხვევაში, შემომზღული კონსტრუქციები თბომდგრადია (გამორიცხულია კონსტრუქციებში კონდენსატის გამოყოფა) და შრეების ზედაპირებზე ტემპერატურა დადებითია. ასეთი გადაწყვეტის უარყოფითი მხარე ისაა, რომ საიზოლაციო შრეზე უშუალოდ მოქმედებს ატმოსფერული მოვლენები, რის გამოც საჭიროებს დამატებით დამცავი შრის მოწყობას. ამ შემთხვევაში კი მიზანშეწონილია საიზოლაციო შრე გადატანილ იქნეს შიგა ზედაპირზე და მასზე დამატებით გათვალისწინებულ იქნეს ორთქლსაიზოლაციო შრე.

§ III-1. თანამედროვე შემომზღული კონსტრუქციების ერთგანზომილებიანი ტემპერატურული ველი

როგორც განვიხილეთ ფურცელს ძირითადი (II-1) განტოლება სტაციონარული, ერთგანზომილებიანი და ერთგვაროვანი პროცესისათვის მარტივი სახისაა:

$$\frac{d^2\tau}{dx^2} = 0. \tag{III-1}$$

5. გ. რატინი, მ. გრძელიშვილი



განსახილველ ამოცანაში მივიღოთ შემდეგი სასაზღვრო პირობები (ნახ. III-2):

$$\text{როდესაც } x=0, \tau=\tau_1; \quad (\text{III-2})$$

$$\text{როდესაც } x=\delta, \tau=\tau_2.$$

(III-1) და (III-2) განტოლებები გვაძლევს ამოცანის სრულმათემატიკურ ასახვას.

კელის სისქეში ტემპერატურის განაწილების კანონი შეიძლება ვიპოვოთ (III-1) განტოლების ორჯერადი ინტეგრირებით.

პირველი ინტეგრირებისას

$$\frac{d\tau}{dx} = C_1; \quad (\text{III-3})$$

მეორე ინტეგრირებისას

$$\tau = C_1 x + C_2. \quad (\text{III-4})$$

$C_1$  და  $C_2$  მუდმივებს გან-

ნახ. III-2. ერთგვაროვანი ბრტყელი კელის თბოგამტარობა

ვსაზღვრავთ შემდეგი სასაზღვრო პირობებიდან:

$$\text{როდესაც } x=0, \tau=\tau_1 \text{ და } C_2=\tau_1;$$

$$\text{როდესაც } x=\delta, \tau=\tau_2 \text{ და } C_1 = -\frac{\tau_1 - \tau_2}{\delta}.$$

თუ (III-4) განტოლებაში შევიტანთ  $C_1$  და  $C_2$  მნიშვნელობებს, მივიღებთ განსახილველ ბრტყელ კელელში ტემპერატურული განაწილების კანონს

$$\tau = \tau_1 - \frac{\tau_1 - \tau_2}{\delta} x. \quad (\text{III-5})$$

თბური ნაკადის დასადგენად გამოვიყენოთ ფურიეს ძირითადი (III-7) განტოლება

$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}. \quad (\text{III-6})$$

$$\text{ვინაიდან } \frac{\partial \tau}{\partial x} = C_1 = -\frac{\tau_1 - \tau_2}{\delta}, \text{ ამიტომ ამ მნიშვნელობის შეტა-}$$

ნით (III-6) განტოლებაში, მივიღებთ:

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (\tau_1 - \tau_2). \quad (\text{III-7})$$

რადგან სტაციონარულ რეჟიმში თბური ნაკადი არაერთგვაროვანი მრავალშრიანი კედლისათვის ერთი და იგივეა

$$\frac{\partial q}{\partial x} = 0,$$

ამიტომ კუთრი თბური ნაკადის მნიშვნელობა

$$q = \frac{\tau_1 - \tau_{n+1}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n}} = \frac{\tau_1 - \tau_{n+1}}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (\text{III-8})$$

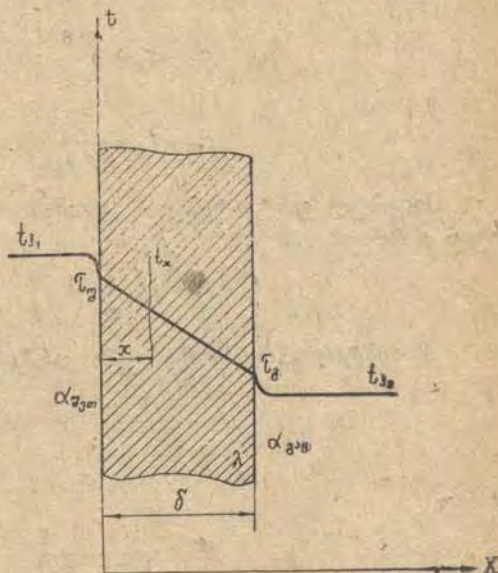
ზემოთ განვიხილეთ ერთგანზომილებიანი ტემპერატურული ველი. ვინაიდან თბოგადაცემაში შემოაზღუდი კონსტრუქციის შიგა და გარე ზედაპირებზე მოქმედებს კონვექციური და რადიაციული შემდგენები, ამიტომ საჭიროა განვიხილოთ თბოგადაცემა ბრტყელი ერთგვაროვანი კედლის მეშვეობით.

დავუშვათ, გვაქვს ბრტყელი კედელი (ნახ. 3), რომლის თბოგამტარობის კოეფიციენტია  $\lambda$  და შრის სისქე  $\delta$ . ასევე, კედლის შიგა ზედაპირის სითბოს გადასცემს სათავისის ჰაერი, რომლის ტემპერატურაა  $t_1$ , ხოლო გარე ზედაპირიდან კედელს სითბოს აართმევს ატმოსფერული ჰაერი, რომლის ტემპერატურა აღვნიშნოთ  $t_2$ . ამასთან, კედლის შიგა ზედაპირის  $\tau_1$  ტემპერატურაა და გარე ზედაპირის —  $\tau_2$ . ცხადია, ჰაერისა და კედლის ტემპერატურები იცვლება მხოლოდ  $x$ -ის მიმართულებით. კედლის შიგა ზედაპირის მიერ შეთვისებულ სრულ სითბოს რაოდენობას გამოვიანგარიშებთ (I-63) ფორმულით

$$q_1 = (\alpha_{\text{გონ}} + \alpha_{\text{რად}}) (t_1 - \tau_1) = \alpha_{\text{სრ}} (t_1 - \tau_1), \quad (\text{III-9})$$

ხოლო გარე ზედაპირის მიერ გაცემული სითბოს რაოდენობა

$$q_2 = \alpha_{\text{გარ}} (\tau_2 - t_2), \quad (\text{III-10})$$



ნახ. III-3. ბრტყელი კედლის თბოგადაცემა

სადაც  $\alpha_{\text{გაბ}}$  არის შიგა ზედაპირის თბოგაცემის კოეფიციენტი;

$\alpha_{\text{გაბ}}$  — გარე ზედაპირის თბოგაცემის კოეფიციენტი.

დამყარებული თბური მდგომარეობის პირობებში სითბოს ის რაოდენობა, რომელიც შიგა ჰაერიდან კედელს გადაეცემა, კედელში გავლილი სითბოს რაოდენობის ტოლია [(III-7) განტოლება], ე. ი.

$$q_0 = q_1 = q_2 = \dots = q_3 \quad (\text{III-11})$$

და

$$q_1 = q_2 = \frac{\lambda}{\delta} (\tau_1 - \tau_2). \quad (\text{III-12})$$

ეს უკანასკნელი, თავის მხრივ, უდრის სითბოს იმ რაოდენობას, რომელიც გარე კედლის გარე ზედაპირიდან გარემო ჰაერს გადაეცემა. მაშასადამე, თბური ნაკადისათვის:

$$q = \alpha_3 (t_3 - \tau_1);$$

$$q = \frac{\lambda}{\delta} (\tau_1 - \tau_2); \quad (\text{III-13})$$

$$q = \alpha_6 (\tau_2 - t_6).$$

ამ განტოლებიდან განვსაზღვრავთ ცალკეულ ტემპერატურულ დაწნევებს:

$$t_3 - \tau_1 = q \frac{1}{\alpha_3};$$

$$\tau_1 - \tau_2 = q \frac{\delta}{\lambda}; \quad (\text{III-14})$$

$$\tau_2 - t_6 = q \frac{1}{\alpha_{\text{გაბ}}}.$$

მიღებულ განტოლებათა შეჯამებით მივიღებთ სრულ ტემპერატურულ დაწნევას

$$t_3 - t_6 = q \left( \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{გაბ}}} \right). \quad (\text{III-15})$$

ამ განტოლებიდან შეიძლება განვსაზღვროთ თბური ნაკადი

$$q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{გაბ}}}} (t_3 - t_6) = K (t_3 - t_6), \quad (\text{III-16})$$

სადაც

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{\text{გაბ}}}}, \quad (\text{III-17})$$

აქ  $K$  არის თბოგადაცემის კოეფიციენტი. მის განსასაზღვრავად საჭიროა ვიცოდეთ კედლის სისქე  $\delta$ , მისი თბოგამტარობისა  $\lambda$  და თბოგაცემის  $\alpha_a$  და  $\alpha_b$  კოეფიციენტები.

თბოგადაცემის კოეფიციენტის შებრუნებულ სიდიდეს თბოგადაცემის თერმული წინაღობა ეწოდება.

(III-17) განტოლების თანახმად, თერმული წინაღობა

$$R_0 = \frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha_a} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{ბაბ}} \quad (III-18)$$

ამ ტოლობიდან ჩანს, რომ თერმული წინაღობა ცალკეულ წინაღობათა ჯამის ტოლია. მაშასადამე, თუ კედელი შედგება რამდენიმე შრისაგან, რომელთა სისქეები სათანადოაა აღნიშნული  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$ , ხოლო თბოგამტარობის კოეფიციენტები —  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ , მაშინ ასეთი კედლის თერმული წინაღობა

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_a} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_{ბაბ}} \quad (III-19)$$

ან

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_a} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{ბაბ}}, \quad (III-20)$$

სადაც  $\frac{1}{\alpha_a} = R_a$  არის შემომზღული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის კონვექციური თერმული წინაღობა;

$\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} = \sum_{i=1}^n R_i$  — თბოგამტარობით ჯამური თერმული წინაღობა;

$\frac{1}{\alpha_{ბაბ}} = R_{ბაბ}$  — შემომზღული კონსტრუქციის გარე ზედაპირის კონვექციური თერმული წინაღობა.

ამგვარად, (III-20) განტოლება შემდეგი სახისაა:

$$R_0 = R_a + \sum_{i=1}^n R_i + R_{ბაბ} \quad (III-21)$$

სადაც  $R_{i,პრ}$  არის  $i$ -აერის შრის თერმული წინაღობა და მიიღება (II-1) ცხრილიდან.

თუ (III-16) ფორმულაში შევიტანთ  $K$ -ს მნიშვნელობას, მივიღებთ თბური ნაკადის მნიშვნელობას

$$q = \frac{1}{R_a + \sum_{i=1}^n R_i + R_{1,2} + R_{3,0}} (t_a - t_b) = \frac{1}{R_0} (t_a - t_b). \quad (\text{III-22})$$

(III-22) განტოლებიდან ჩანს, რომ თითოეულ შრეში ტემპერატურული ვარდნა მისი თერმული წინაღობის პროპორციულია. მაგალითად, განვსაზღვროთ ტემპერატურა  $t_x$  ნებისმიერი  $x$  კვეთისათვის (ნახ. 3). ამასთან, თბური ნაკადი ამ კვეთისათვის

$$q = \frac{1}{R_{a-x}} (t_a - t_x). \quad (\text{III-23})$$

(III-22) და (III-23) განტოლებები გავუტოლოთ ერთმანეთს და ამოვხსნათ  $t_x$ -ის მიმართ, მივიღებთ:

$$t_x = t_a - (t_a - t_b) \frac{R_{a-x}}{R_0}, \quad (\text{III-24})$$

სადაც  $R_{a-x}$  არის თერმული წინაღობა შიგა შრეებიდან  $x$  კვეთამდე.

მიღებული განტოლება გვიჩვენებს შემომზღულ კონსტრუქციებში ტემპერატურულ განაწილებას. ცხადია, ეს განაწილება წრფივია და მისი მასშტაბში გამოხაზვა (ნახ. III-3) ნებისმიერი კვეთისათვის ტემპერატურის დადგენის საშუალებას გვაძლევს.

### § III-2. ორგანოზომილგვიანი ტემპერატურული ველი

რეალურ კონსტრუქციებში, განსაკუთრებით თანამედროვე შენობების კედლების პანელებში, ფაქტიურად შეუძლებელია გამოიყოს ფართობი, რომლის ფარგლებში უზრუნველყოფილ იქნეს ერთგანზომილებიანი ტემპერატურული ველი. შემომზღულ კონსტრუქციებში თბოგამტარი ჩანართების არსებობა იწვევს მასში რთულ-, ორ- და სამგანზომილებიანი ტემპერატურული ველების წარმოქმნას (ნახ. III-4).

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ორგანოზომილებიანი ველები წარმოიქმნება ჩანართებით, როგორცაა: ჩარჩოს პანელის წიბოები, ფანჯრის ღიობები, შიგა და გარე შევრილების სამშენებლო ნაწილები და სხვ.

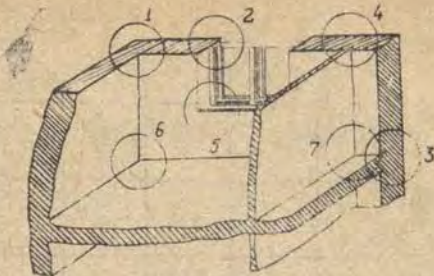
სტაციონარული პირობებისათვის ერთგვაროვან სხეულში ფურიეს ძირითადი (II-1) განტოლება შენდება სახისაა:

$$\frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \tau}{\partial z^2} = 0.$$

ცხადია, ეს განტოლება ორგანზომილებიანი ველისათვის

$$\frac{\partial^2 \tau}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \tau}{\partial y^2} = 0. \quad (\text{III-25})$$

სამშენებლო ტექნიკაში პრაქტიკულ ინტერესს წარმოადგენს ორგანზომილებიანი ტემპერატურული ველის დიფერენციალური განტოლება არაერთგვაროვანი სხეულებისათვის. ამ პირობებისათვის დიფერენციალური განტოლება შემდეგი სახისაა:



ნახ. III-4. შენობის გარე შემომზღუდ კონსტრუქციებში ორ- (1; 2; 3; 4) და სამგანზომილებიანი (5; 6; 7) ტემპერატურული ველის ფორმირების ელემენტები

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ \lambda(x, y) \frac{\partial \tau}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \lambda(x, y) \frac{\partial \tau}{\partial y} \right] = 0, \quad (\text{III-26})$$

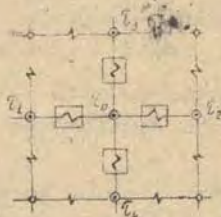
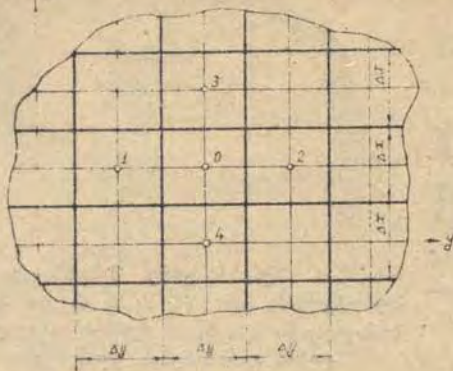
სადაც  $\lambda(x, y)$  ცალკეული ნაწილების თბოგამტარობის კოეფიციენტის მოცემული მნიშვნელობაა ორგანზომილებიანი შემომზღუდი კონსტრუქციის კვეთში.

აღნიშნული განტოლების ანალიზური ამოხსნა რთულია, ვიდრე ერთგანზომილებიანი ველის განტოლებისა. თუმცა არსებობს ისეთი ამოცანები, რომლის ამოხსნისად იყენებენ ანალიზურ მეთოდებს. (III-26) განტოლების ამოხსნა ძირითადად გართულებულია იმ პირობით, რომ თბოგამტარობის კოეფიციენტი  $x$  და  $y$  ღერძების მიმართ უწყვეტი ფუნქციაა.

ამჟამად არსებობს, ზემოთ აღნიშნული განტოლების, ამოხსნის რამდენიმე მიახლოებითი მეთოდი: სასრული სხვაობის (ბადის), გრაფიკული და ელექტრონობრივი ანალოგიის. განვიხილოთ ზემოაღნიშნული მეთოდებით ორგანზომილებიანი ტემპერატურული ველის მიახლოებითი ამოხსნა.

### ხასრული სხვაობის (ბადის) მეთოდი

ამ მეთოდით ამოხსნის ძირითადი არსი იმაში მდგომარეობს, რომ (III-25) დიფერენციალური განტოლება მოცემულია როგორც სასრული სხვაობის განტოლება, ე. ი. წარმოებულები შეცვლილია ამ გამოსახულებათა სასრული სხვაობებით. ამ მეთოდით ტემპერატურული ველის ამოხსნა შემდეგში მდგომარეობს: შემომზღუდი კონსტრუქციის ორგანზომილებიან კვეთს ვყოფთ ელემენტარულ ფართობებად (ბადედ, ნახ. III-5) ისე, რომ ბადის კვანძები შეძლებისდაგვარად განლაგდეს იმ წერტილებში, რომლებშიც საჭიროა ტემპერატურების განსაზღვრა. ბადის ბი-



ნახ. III-5. ორგანოზომილებიანი ველების დაყოფა ელემენტარულ ფართობებად (ა) და გადასვლა ველიდან დაქვემდებარებულ პარამეტრებიან ბალებზე (ბ)

განტოლებას ბადის  $\tau_0$  კვანძის ნებისმიერი ვიღებთ:

$$\frac{1}{\Delta^2} (\tau_1 - 2\tau_0 + \tau_2) + \frac{1}{\Delta^2} (\tau_3 - 2\tau_0 + \tau_4) = 0, \quad (\text{III-30})$$

საიდანაც

$$\tau_0 = \frac{\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4}{4}, \quad (\text{III-31})$$

ამრიგად, ერთგვაროვანი ველისათვის ნებისმიერი ბადის კვანძის ტემპერატურა მეზობელი კვანძების ტემპერატურების საშუალო არითმეტიკული მნიშვნელობის ტოლია.

თბოგაცემის სტაციონარული პირობებისათვის არაერთგვაროვანი მასალისაგან დამზადებული ბრტყელი სხეულის შემთხვევაში საძიებელი ბადის კვანძში ტემპერატურის განსაზღვრა დაკავშირებულია შემდეგ დიფერენციალური განტოლების ამოხსნასთან

$$\frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0, \quad (\text{III-32})$$

ჯი  $x$  და  $y$  მიმართულებით მივიღოთ ერთმანეთის ტოლიად. ამოცანის გასამარტივებლად განვიხილოთ ერთგვაროვანი არე. ამ ბადისათვის ტემპერატურული ველის (III-25) განტოლება სასრული სხვაობით შემდეგი სახისაა:

$$\frac{\Delta_x^2 \tau}{\Delta x^2} + \frac{\Delta_y^2 \tau}{\Delta y^2} = 0. \quad (\text{III-27})$$

$y$  ღერძის მიმართ მეორეული სასრული სხვაობა

$$\begin{aligned} \Delta_y^2 \tau &= (\tau_1 - \tau_0) - (\tau_0 - \tau_2) = \\ &= \tau_1 - 2\tau_0 + \tau_2. \end{aligned} \quad (\text{III-28})$$

ანალოგიურად,  $x$  ღერძის მიმართ

$$\begin{aligned} \Delta_x^2 \tau &= (\tau_3 - \tau_0) - (\tau_0 - \tau_4) = \\ &= \tau_3 - 2\tau_0 + \tau_4. \end{aligned} \quad (\text{III-29})$$

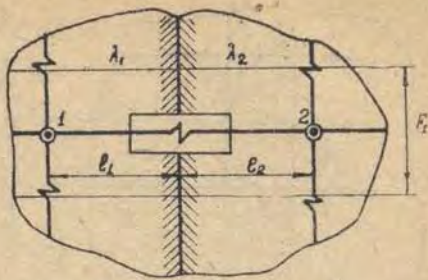
თუ ამოვხსნით (III-27)

მნიშვნელობებისათვის, მი-

სადაც  $q_x$  და  $q_y$  შესაბამისად  $x$  და  $y$  კოორდინატთა მიმართულ-ებით გადაცემული სითბოს რაოდენობაა.

ამ განტოლების ინტეგრირება განხილულ ანალოგიურ განტოლებაზე უფრო ძნელია, მაგრამ მისი ამოხსნაც არსებითად აღვილდება სასრულ სხვაობათა მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში.

როგორც ერთგვაროვანი სხეულის განხილვის დროს, აქაც შემომზღუდი კონსტრუქციის ორგანზომილებიან კვეთს ვყოფთ ელემენტარულ ფართობად (ნახ. III-6). (III-32) განტოლების ნაცვლად გამოვსახოთ განტოლების სასრული სხვაობა



$$R_{1-2} = \frac{l_1}{\lambda_1 F} + \frac{l_2}{\lambda_2 F} \quad K_{1-2} = \frac{1}{R_{1-2}}$$

ნახ. III-6. არაერთგვაროვანი ველის დაყოფა ელემენტარულ ფართობებად

$$\frac{\Delta q_x}{\Delta x} + \frac{\Delta q_y}{\Delta y} = 0, \quad (III-32')$$

აქ  $y$  ღერძის მიმართ

$$\Delta q_{0-1} = (\tau_1 - \tau_0) K_{0-1} \quad \text{და} \quad \Delta q_{0-2} = (\tau_0 - \tau_2) K_{0-2},$$

ხოლო

$$\Delta q_{3-0} = (\tau_3 - \tau_0) K_{3-0} \quad \text{და} \quad \Delta q_{0-4} = (\tau_0 - \tau_4) K_{0-4}.$$

თუ ამ ოთხი სიდიდის მნიშვნელობებს ჩავსვამთ (III-32') განტოლებაში და განტოლებას ამოვხსნით საძიებელი  $\tau_0$  კვანძის მიმართ, მივიღებთ

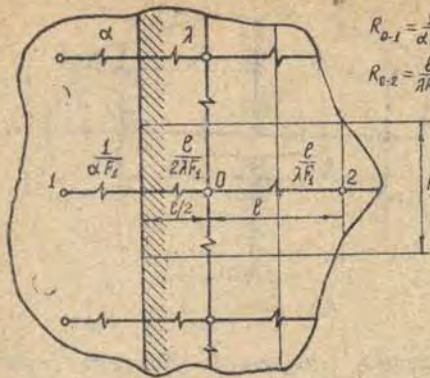
$$\tau_0 = \frac{K_{0-1} \tau_1 + K_{0-2} \tau_2 + K_{0-3} \tau_3 + K_{0-4} \tau_4}{K_{0-1} + K_{0-2} + K_{0-3} + K_{0-4}}, \quad (III-33)$$

სადაც  $K$  — ბადის კვანძებს შორის თბოგადაცემის კოეფიციენტებია.

უკანასკნელი განტოლებიდან ჩანს, რომ არაერთგვაროვანი ველისათვის ნებისმიერი ბადის კვანძის ტემპერატურა მეზობელი კვანძების ტემპერატურებს საშუალო შეტივტივებულის ტოლია, რომელიც მიიღება თბოგადაცემის კოეფიციენტებისაღმი. ეს ზოგადი განტოლება შეიძლება გამოვიყენოთ ტემპერატურის დასადგენად გარემოსაკენ მიმართული შემომზღუდი კონსტრუქციის ზედაპირებისა და მატერიალური შრეების უშუალოდ შეუღლების კვანძებში.

კერძო შემთხვევაში, თუ ყველა ოთხი წერტილი, რომლებიც მდებარეობენ  $t_0$ -ტემპერატურიანი წერტილის ირგვლივ, განლაგებულია (არაერთგვაროვანი სხეულის) ერთი მასალის ფარგლებში, მაშინ მასალის





$$R_{e.1} = \frac{1}{\alpha F_1} + \frac{\rho}{2\lambda F_1}$$

$$R_{e.2} = \frac{\rho}{\lambda F_1}$$

ნახ. III-7. ბადის წინაღობების განსაზღვრა გარემოსა და სხეულის საზღვრებზე

ყველა მიმართულებით თბო-  
გადაცემის კოეფიციენტები  
ურთიერთტოლია და ამი-  
ტომ (III-33) ფორმულა გა-  
მარტივდება და მიიღებს  
(III-31) განტოლების სახეს.  
კვანძებს შორის თბო-  
გადაცემის  $K$  კოეფიციენ-  
ტის მნიშვნელობები უნდა  
განვსაზღვროთ მიმდევრო-  
ბით და პარალელურად  
განლაგებული თერმული  
წინაღობების  $R$  (ნახ. III-7)  
შეჯამების კანონით.

დასადგენად განვიხილავთ ორ შემთხვევას. პირველი — ელემენტარული  
მოცულობის გამტარობის წინაღობა

თერმული წინაღობის

$$R = \frac{l}{\lambda F}, \quad (\text{III-34})$$

სადაც  $l$  არის ელემენტის სიგრძე იმ მიმართულებით, რომელშიც უნდა  
განვსაზღვროთ წინაღობა;

$F$  — ელემენტის ფართობი, რომელიც პერპენდიკულარულია ამ  
მიმართულებისა.

მეორე შემთხვევაში უნდა განვსაზღვროთ ამ ელემენტის ზედაპირ-  
ზე თბოგაცემის წინაღობა, რომელიც მიმართულია გარემოსაკენ:

$$R = \frac{1}{\alpha F}, \quad (\text{III-35})$$

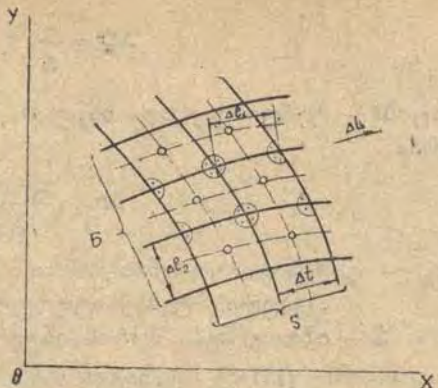
სადაც  $F$  არის ელემენტის ზედაპირის ფართობი;

$\alpha$  — ამ ზედაპირზე თბოგაცემის ფართობი.

ზედაპირის ელემენტარულ ბადეებად დაყოფა, რომლის ცენტრებში  
განლაგებულია თბური კვანძები, უნდა ჩავატაროთ ისე, რომ მათი სა-  
ზღვრები დაემთხვეს შემომზღული კონსტრუქციის კვეთში მაჩასიათებელ  
ზედაპირებს.

ბადის მეთოდით ტემპერატურული ველის ანგარიში მდგომარეობს  
წრფივ განტოლებათა სისტემების ამოხსნაში, რომლებიც შედგება იმდენი  
განტოლებისაგან, რამდენი კვანძიცაა მიღებული თბურ ბადეზე. მი-  
ღებული სისტემის ამოხსნა მიზანშეწონილია თანმიმდევრული მიახლოე-  
ბით. კერძოდ, ბადას თითოეულ კვანძზე რიგითი ნომრის დაწერის შემ-

ამ კვანძისათვის ვიღებთ ტემპერატურის რომელიმე ჰერმეტიკი მნიშვნელობას, შემდეგ (III-31) და (III-33) ფორმულებით გამოვიანგარიშებთ ტემპერატურის მნიშვნელობას ყველა კვანძში, რის შემდეგ ტემპერატურის მიღებული სიდიდეებით ვცვლით წინასწარ დაშვებულ მნიშვნელობებს. ამასვე ფორმულებით ისევ ვაზუსტებთ ტემპერატურებს და გაანგარიშებას ვაგრძელებთ მანამ, სანამ ბადის თითოეულ კვანძში ტემპერატურა არ დააკმაყოფილებს (III-31) და (III-33) განტოლებებს.



ნახ. III-8. ორთოგონალური მრუდწირული კვადრატების სქემა

გაანგარიშების პროცესი დამთავრებულად შეიძლება ჩაითვალოს მაშინ, როდესაც წინასწარ დაშვებული სიზუსტის ფარგლებში ტემპერატურის მნიშვნელობები ბადის ყველა კვანძში მუდმივია. გაანგარიშების ხანგრძლივობა დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენად სწორია ტემპერატურის საწყისი მნიშვნელობები.

ბადის მეთოდით ტემპერატურული ველის გაანგარიშება საკმაოდ შრომატევადია. ამასთან, ხშირად მიიწინააღმდეგება გრაფიკულ მეთოდს, რომლის საშუალებით შეიძლება სწრაფად შევაფასოთ ტემპერატურული ველის სირთულე.

გრაფიკული მეთოდი ბადის მეთოდის ნაირსახეობაა და დამყარებულია ორთოგონალური ბადის თვისებებზე, რომლებიც წარმოიქმნებიან სიტბოს  $Q$  დინების წირებითა და იზოთერმებით.

III-8 ნახაზზე დატანილია სიტბოს დინებისა და იზოთერმების მრუდწირული ორთოგონალური ბადე. თითოეული კვადრატის ფარგლებში იზოთერმებს შორის საშუალო მანძილი ( $\Delta l_1$ ) სიტბოს დინების წირების საშუალო მანძილის ( $\Delta l_2$ ) ტოლია

$$\Delta l_1 = \Delta l_2.$$

ამ ბადეში სიტბოს ნაკადი

$$\Delta Q = \frac{1}{R} \Delta t = \frac{\Delta l_2 \lambda}{\Delta l_1} \Delta t = \lambda \Delta t$$

$$\Delta Q = \frac{\lambda}{S} (\tau_1 - \tau_2), \quad (III-37)$$

სადაც  $\Delta t$  — ტემპერატურათა სხვაობაა მეზობელ იზოთერმებს შორის ტოლია

$$\Delta t = \frac{\tau_1 - \tau_2}{S}, \quad (III-38)$$

აქ  $\tau_1$  და  $\tau_2$  ტემპერატურებია იმ არის საზღვრებზე, რომელთათვისაც აგებულია ტემპერატურული ველი;

$S$  — იზოთერმებს შორის ინტერვალების რიცხვი.

როგორც (III-8) ნახაზიდან ჩანს, ორი სითბოს ნაკადის წირო წარმოქმნის სითბოს „მილაკებს“. თუ დენის „მილაკების“ რიცხვია (თბურ ნაკადების წირებს შორის ინტერვალები)  $B$ , მაშინ სრული სითბო ნაკადი

$$Q = \frac{B}{S} \lambda (\tau_1 - \tau_2) \quad (III-39)$$

და ამ ნაწილში გამტარობის წინააღმდეგობა

$$R = \frac{S}{B\lambda}. \quad (III-40)$$

ფარდობა  $\frac{S}{B}$  გეომეტრიული პარამეტრია, რომელიც გარკვეულ კონფიგურაციის არეს ახასიათებს (ორგანზომილებიანი ტემპერატურული ველი).

ერთგვაროვანი კედლის ველისათვის, რომლის ზედაპირის სიგანე ერთი კალიბრია (ერთი კალიბრი ტოლია კედლის სისქის),  $\frac{S}{B} = 1$ , ხოლო,

თუ ზედაპირის სიგანე ორი კალიბრია,  $\frac{S}{B} = 2$  და ა. შ. ერთნაირი სიგანის ორ- და ერთგანზომილებიანი არეებისათვის გეომეტრიული პარამეტრების ფარდობას ეწოდება ფორმის ფაქტორი  $f$ , რომელიც გვიჩვენებს, ერთგანზომილებიან არესთან შედარებით, რამდენჯერ იცვლება ორგანზომილებიან არეში გარკვეული სისქის ზედაპირისადმი თბური ნაკადი.

შემომზღული კონსტრუქციების ცვლილება (კუთხეები, ჩანართები, ფერდობები და სხვ.) იწვევს ერთგანზომილებიანი ტემპერატურული ველის დარღვევას მიახლოებით ამ კონსტრუქციის სიგანის მიხედვით ორი კალიბრის მანძილზე. ამიტომ შემომზღული კონსტრუქციის ორგანზომი-

ლებიანი ველისათვის ფორმის ფაქტორს გამოვთვლით სივანის ორი კალიბრისათვის:

$$f = \frac{\frac{B}{S}}{r} \quad (\text{III-40})$$

რეალური შემომზღული კონსტრუქციებისათვის კალიბრად მიიღება ერთგვაროვანი შემომზღული კონსტრუქციის პირობითი სისქე, რომლის თერმული წინაღობაა  $R_0$  და საინჟოლაციო მასალის თბოგამტარობის კოეფიციენტი— $\lambda$ . გეომეტრიული ფაქტორის ფორმის დასადგენად ორი კალიბრის სივანე

$$a_f = 2\lambda R. \quad (\text{III-41})$$

ზოგიერთი ორგანზომილებიანი ელემენტების (კუთხე, პირაპირი) ფაქტორის ფორმა შეიძლება გამოვთვალოთ შიგა და გარე ზედაპირების მიმართ. სათავეს სითბოს დანაკარგებს გამოვიანგარიშებთ შემომზღული კონსტრუქციების გარე ზედაპირის ფართობით, ამიტომ ფაქტორის ფორმაც უნდა გამოვიანგარიშოთ გარე ზედაპირისადმი.

### § III-3. ელექტროტეპური ანალოგიის მეთოდი

სტაციონარული ტემპერატურული ველის ანგარიშის ყველაზე უფრო მონერხებულ და სრულყოფილ მეთოდად შეიძლება ჩაითვალოს ელექტროტეპური ანალოგიის მეთოდი.

ეს მეთოდი ძირითადად დაფუძნებულია ორი სხვადასხვა ფიზიკური მოვლენის—თბოგამტარობისა და ელექტროგამტარობის—მათემატიკური ჩაწერის ანალოგიაზე.

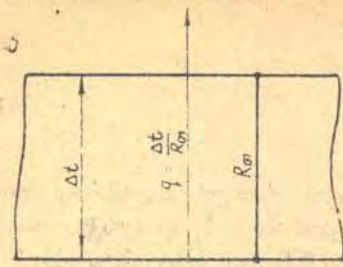
განვიხილოთ აღნიშნული მეთოდი. სითბოს გადაცემა თბოგამტარობით შეიძლება გამოვსახოთ ფურიეს განტოლებით

$$q = -\frac{\Delta t}{R_{\text{თ}}} \quad (\text{III-42})$$

გამტარებში ელექტრული დენის გადაცემას განვსაზღვრავთ ომის კანონით

$$I = \frac{\Delta U}{R_{\text{გ}}} \quad (\text{III-43})$$

- დაც  $R_{\text{თ}}$  არის თბური წინაღობა;
- $R_{\text{გ}}$  — გამტარის ელექტროწინაღობა;
- $\Delta t$  — ტემპერატურული ვარდნა;
- $q$  — სითბოს ნაკადი;
- $I$  — დენის ნაკადი.



ნახ. III-9. ანალოგია თბოგამტარობის (ა) და ელექტროგამტარობის (ბ) პროცესებს შორის

ამ ორი კანონის შათემატიკური ჩანაწერიდან გამომდინარეობს, რომ, თუ ავიღებთ კელის კვეთის გეომეტრიულად მსგავს ელექტროგამტარ ლითონის მასალას, სითბოს გადაცემა კელის საშუალებით ელექტრობის გამტარობის კანონზომიერების ანალოგიური იქნება (ნახ. III-9). ამ შემთხვევისათვის მივიღებთ შემდეგი ძახასიათებლების ანალოგიას (ცხრ. III-1).  $\Delta t$  ტემპერატურულ და ელექტროპოტენციალის ვარდნებს შორის შეიძლება ავიღოთ ნებისმიერი თანაფარდობა, რომელიც გამოისახება ტემპერატურულ მასშტაბში  $m_t$  გრად/პოტენციალთა ერთეულ რებით, ე. ი.

$$m_t = \frac{\Delta t}{\Delta U} \tag{III-44}$$

ცხრილი III-1

ელექტროთბური ანალოგია

აღნიშვნა	თბოგამტარობა		აღნიშვნა	ელექტროგამტარობა	
	ძახასიათებლების დასახელება	განზომილება		ძახასიათებლების დასახელება	განზომილება
$t$	ტემპერატურა	გრად	$U$	ელექტროპოტენციალი	ვ
$Q$	სითბოს რაოდენობა	კჯ	$G$	დენის რაოდენობა	კულ
$q$	თბური ნაკადი	ვტ	$I$	დენის ნაკადი	კულ/წმ
$R_m$	თერმული წინაღობა	გრად/ვტ	$R_g$	ელექტრული წინაღობა	ომი ან ერთ. პოტ/ამპ

თბური  $R_m$  და ელექტრული  $R_g$  წინაღობების ფარდობანიც შეიძლება ნებისმიერი იყოს. იგი განსაზღვრავს წინაღობის მასშტაბს  $m_R$  გრად/ვტ ერთ. პოტ/ამპ, ე. ი.

$$m_R = \frac{R_m}{R_g} \tag{III-45}$$

მაშასადამე, თბოვამტარობისა და ელექტროვამტარობის განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ წინასწარ მოცემული წინააღმდეგობებისა და ტემპერატურების მასშტაბების მნიშვნელობებით განვსაზღვრავთ თბური ნაკადის მასშტაბს:

$$m_q = \frac{q}{I}; \quad (\text{III-46})$$

$$m_q = \frac{m_t}{m_R}. \quad (\text{III-47})$$

თუ (III-42) თბოვამტარობის განტოლებაში ჩავსვამთ  $\Delta t = m_t \Delta U$ ;  $R_0 = m_R R_0$ ;  $q = m_q I$  მნიშვნელობებს, მივიღებთ ამ განტოლების მსგავს (III-43) ელექტროვამტარობის განტოლებას

$$m_q I = \frac{m_t \Delta U}{m_R R_0}; \quad I = \frac{m_t}{m_R m_q} \frac{\Delta U}{R_0}, \quad \text{როცა} \quad \frac{m_t}{m_R m_q} = 1. \quad (\text{III-48})$$

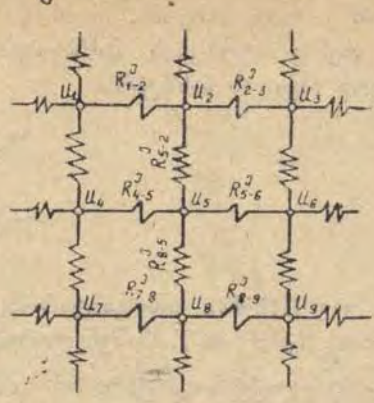
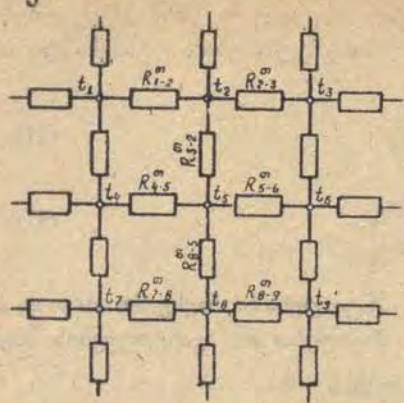
ამგვარად,  $I = \frac{\Delta U}{R_0}$ .

კედლის თანაბრად განაწილებულბარამეტრებიანი ტემპერატურული ველი შეცვლილია მოდელის ელექტრონული ველით, ამიტომ მოდელის ცალკეულ წერტილებში, თუ გავზომავთ პოტენციალთა მნიშვნელობებს და ავაგებთ ელექტრულ ველს იზოხაზების ფორმით, მივიღებთ კედელში ტემპერატურულ ველს იზოთერმების სახით.

ელექტროპოტენციალების ტემპერატურებად გადაანგარიშებისათვის ვისარგებლებთ მათი  $m_t$  მასშტაბით.  $m_q$  მასშტაბის მეშვეობით ელექტრო-მოდელის მოცემულ კვეთში დენის გაზომვა საშუალებას გვაძლევს განვსაზღვროთ დენის ნაკადი.

ამოცანა შეიძლება მდგომარეობდეს რთული ელემენტის თბოვამტარობის წინააღმდეგობის განსაზღვრაში. ამ შემთხვევაში მოდელზე სათანადოდ გადავზომავთ ელექტროწინააღმდეგობას, რის შემდეგ მას გადავიანგარიშებთ  $m_R$  წინააღმდეგობის მასშტაბის მეშვეობით, ე. ი. ელექტრომოდელით შეიძლება განვსაზღვროთ შემომზღუდი კონსტრუქციების ელემენტების ფორმის ფაქტორი.

ტემპერატურული ველის განმსაზღვრელ გეომეტრიულად მსგავს ელექტროვამტარ გარემოს „გეომეტრიული ანალოგები“ ეწოდება. მათი მეშვეობით პირველი რიგის სასაზღვრო პირობების დაცვით ვაღგენთ როგორც ერთგვაროვან, ასევე არაერთგვაროვანი კონსტრუქციების (ჩანართების შემთხვევაში) ტემპერატურულ ველს. ელექტროვამტარ გარემოდ იყენებენ ელექტროვამტარ ქაღალდს, ლითონის კილიტას, ელექტრო-



ნახ. III-10. თერმული წინაღობების ბადე (ა) და მისი შესაბამისი ელექტრული წინაღობების ჯაჭვი (ბ)

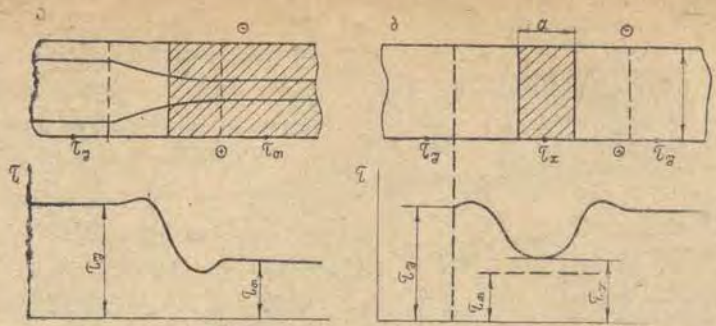
ლიტს და სხვა. რთული ჩანართების ტემპერატურული ველის მესამე რიგის სასაზღვრო პირობებისათვის მიზანშეწონილია ანგარიში შევასრულოთ ელექტროწრედის საშუალებით. ამ შემთხვევაში ელექტრომოდელს გყოფთ საანგარიშო ბადეებად.

ელექტროწრედში თავმოყრილი ელექტროწინაღობებით გამოისახება თბური წინაღობები (ნახ. III-10). ამ სქემაშიც მთლიანად დაცულია როგორც თბოვადაცემის, ისე ელექტროგამტარობის მათემატიკური აღწერა. აღსანიშნავია, რომ ამ მეთოდის გამოყენების შემთხვევაში  $R_{\theta}$  და  $R_{\theta}$  მიიღება როგორც თავმოყრილი წინააღმდეგობანი, ხოლო  $\Delta t$  და  $\Delta U$  — თბური ბადის და ელექტროწრედის ტემპერატურათა და ძაბვათა ვარდნის სხვაობანი.

ზემოაღნიშნულას გამოსაანგარიშებლად გამოიყენება ელექტროინტეგრატორების სპეციალური მოდელები ЭИ-12, УСМ და სხვ.

§ III-4. თბოგადაცემა უფროჯულად კონსტრუქციებში  
თბოგამტარი ჩანართების დროს

ორგანზომილებიანი ტემპერატურული ველის ერთ-ერთი სახეობაა შემომზღუდი კონსტრუქციები თბოგამტარი ჩანართებით; ეს უკანასკნელი ყველაზე გავრცელებულია იმ შემთხვევაში, როდესაც თბოგამტარი წიბო ნაწილობრივ ან მთლიანად შეჭრილია შემომზღუდი კონსტრუქციის (კედლის) სიზრქეში. ამ პირობებისათვის საჭიროა დადგინდეს კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზე მინიმალური ტემპერატურა და ამ ზონის თბური დანაკარგები.



ნახ. III-11. ტემპერატურული ველი ორი მასალის პირაპირზე (ა) და შემომზღული კონსტრუქციის თბოგამტარი ჩანართის ზონაში (ბ)

იმ შემთხვევაში, თუ ჩანართები მოიცავს კედლის მნიშვნელოვან ნაწილს, მაშინ თბოგადაცემა მის საშუალო ზონაში მიმდინარეობს ერთგანზომილებიანი სქემითა და ზედაპირის ტემპერატურა  $\tau_გ$  შეიძლება გამოვიანგარიშოთ (III-24) ფორმულით (ნახ. III-11, ა).

როგორც ნახაზიდან ჩანს,  $\lambda_{საიბ}$  საიზოლაციო მასალის და  $\lambda_გ$  თბოგამტარი ჩანართის პირაპირზე (საზღვარზე) წარმოიქმნება ორგანზომილებიანი ტემპერატურული ველი. ამ პირობებისათვის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა იცვლება  $\tau_ა$ -დან (საიზოლაციო მასალის პირაპირიდან დაშორებით) ჩანართის შუა ზონის  $\tau_გ$  ტემპერატურამდე. პირაპირის გველენა ტემპერატურის ველზე დამოკიდებულია ჩანართის თბოგამტარობის  $\lambda_გ$  კოეფიციენტზე და იგი ვრცელდება რამდენიმე კალიბრის მანძილზე.

ჩვეულებრივ, თუ ჩანართის სიგანე  $a > 2b$  ( $b$  კედლის სისქეა), მაშინ ნებისმიერი  $\tau_ა$  ტემპერატურა მის საშუალო ნაწილში  $\tau_ა = \tau_გ$ .

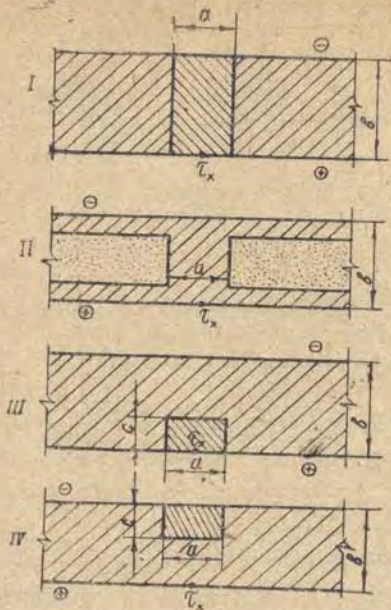
ჩანართის მცირე ზომების შემთხვევაში, როდესაც  $a < 2b$ , ტემპერატურა  $\tau_ა$  განსხვავებული იქნება  $\tau_გ$ -სა  $\tau_ა$ -საგან (ნახ. III-11, ბ).

ტემპერატურის გაანგარიშების დროს ვსარგებლობთ ტემპერატურული კოეფიციენტით

$$\eta = \frac{\tau_ა - \tau_გ}{\tau_ა - \tau_გ} \quad (III-49)$$

აღნიშნული კოეფიციენტი გვიჩვენებს, რომ  $\tau_ა - \tau_გ$  სხვაობიდან კონსტრუქციის  $\tau_ა$  ტემპერატურის მიმართ ძირითადი ჩანართის შუა ნაწილში  $\tau_ა$  ტემპერატურა რამდენად შემცირდა; ტემპერატურული კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია კედლისა და ჩანართის თერმულ წინაღობებზე, ამ მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტებსა და გეომეტრიული ზომების  $a/b$  და  $c/b$  ფარდობაზე (ნახ. III-12), სადაც I სქემა წარმოადგენს ძირითად კონსტრუქციასთან გამჭოლ ჩანართს, რომ-





ნახ. III-12. შემომზღული კონსტრუქციების სხვადასხვა სახის თბოგამტარი ჩანართები: I—გამჭოლი; II—სათანაბრებელი შრეებით; III—შიგა ზედაპირთან; IV—გარე ზედაპირთან

სტრუქციის შიგა ზედაპირის პირობითი ტემპერატურაა.

თუ კონსტრუქციაში თბოგამტარი ჩანართი გამოდის შიგა და გარე მეორეხელ შრედ (II ვარიანტი, ნახ. III-12), მაშინ  $t_x$  ტემპერატურა იზრდება, თუმცა ამ დროს ჩანართის გავლენის ზონა ფართოვდება.

შიგა სათანაბრებელი შრის სისქის ზრდით მატულობს როგორც ჩანართის ზედაპირის ტემპერატურა, ასევე მისი ზონის გავლენა.

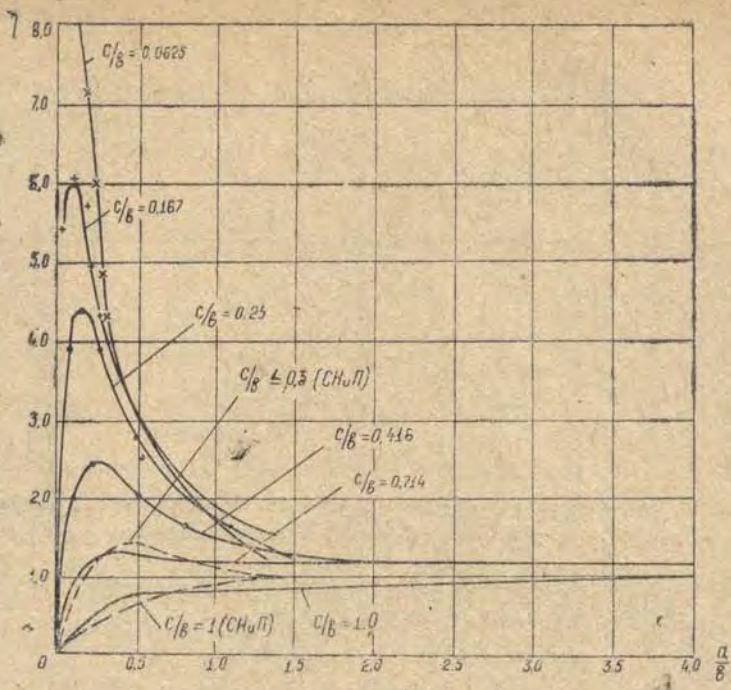
არაგამჭოლი ჩანართის დროსაც მის ზედაპირზე მცირდება ტემპერატურა. ამ შემთხვევაში მნიშვნელობა აქვს ჩანართის მდებარეობას. თუ არაგამჭოლი ჩანართი მოთავსებულია შემომზღული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირთან (III ვარიანტი, ნახ. III-12), მაშინ ტემპერატურული  $\eta$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა მეტია ერთზე, რის გამოც ტემპერატურა ნაკლებია ჩანართის პირობით  $t_R$  ტემპერატურაზე. ეს პარადოქსალური შოვლენა შეიძლება აიხსნას შემდეგნაირად (ნახ. III-14). შემომზღული კონსტრუქციის კვეთში ტემპერატურა იცვლება ისე, რომ ძირითადი კონსტრუქციის ზონაში (კვეთი I-I), ჩანართის ზონასთან შედარებით, ნაკლებია (II-II). ამიტომ ტემპერატურა  $t_1$  (პირველ წერტილში)  $t_2$ -ზე

ლის სიგანეა  $a$ , II სქემაში ჩანართულია სათანაბრებელი თბოგამტარი შრე, რომელთა შორის მანძილი  $a$ -ს ტოლია და ბოლოს III და IV სქემები წარმოადგენენ არაგამჭოლ ჩანართებს, სადაც C შეჭრის სიმაღლეა. III-13 ნახაზის გრაფიკზე მოცემულია დამოკიდებულება ტემპერატურულ კოეფიციენტებისა და ჩანართის გეომეტრიულ ზომებთან. როგორც გრაფიკიდან ჩანს, 0-დან 2-მდე  $a/b$  ფარდობის ზრდით  $\left(\frac{c}{b} = 1\right)$   $\eta$

იცვლება 0-დან 1-მდე. ცხადია, თუ გამოვიყენებთ გრაფიკებს  $\eta = f(a/b; c/b)$  ადვილად ვადავწყვეტთ ჩანართის შიგა ზედაპირის ნებისმიერ წერტილში  $t_x$  მნიშვნელობას

$$t_x = t_a - \eta(t_a - t_R), \quad (III-50)$$

სადაც  $t_R$  — ჩანართის მასალისაგან შემდგარი შემომზღული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის პირობითი ტემპერატურაა.



ნახ. III-13. ტემპერატურული კოეფიციენტის  $\eta$ -ს დამოკიდებულება თბოგამტარი ჩანართის გეომეტრიული ზომებისაგან

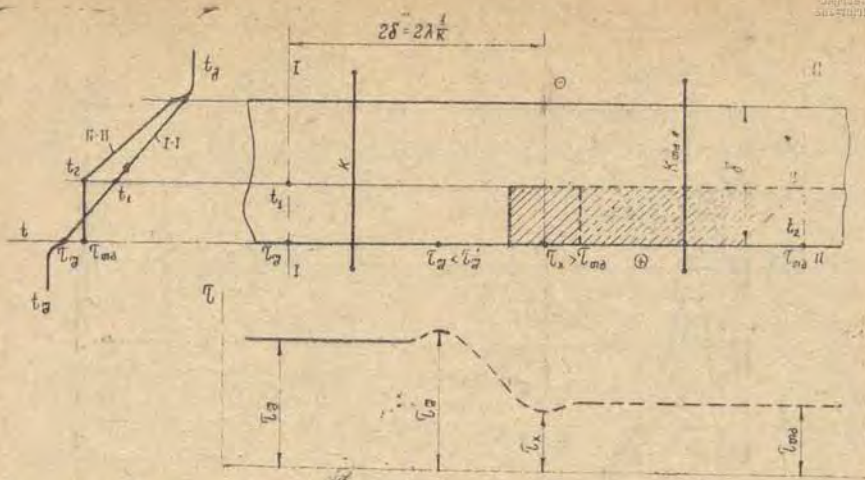
ნაკლებია.  $t_1 - \tau_a$  წერტილებს შორის საშუალოდ შრის ტემპერატურა  $t_2 - \tau_n$  წერტილებს შორის შრის ტემპერატურაზე ნაკლებია. ამიტომ ჩანართის გვერდითი წახნაგი შედარებით უფრო დაბალი ტემპერატურისაა, ვიდრე თვით ჩანართი, რის გამოც ხდება დამატებითი გაცივება და ტემპერატურა ჩანართის შიგა ზედაპირზე მცირდება.

ჩანართის წახნაგი, რომელიც უშუალოდ ძირითადი კონსტრუქციის საიზოლაციო შრეს ეხება, მის საზღვარზე ჩანართის შიგა ზედაპირს დამატებით აცივებს. გარდა ამ შემთხვევისა, შეიმჩნევა შებრუნებული ეფექტი, როდესაც იმავე ჩანართის წახნაგი ათბობს მის შიგა ზედაპირს. ამ დროს ძირითადი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა შეერთების საზღვართან უფრო მაღალია, ვიდრე  $\tau_a$ . ამ ეფექტების გამოვლინება ძირითადად დამოკიდებულია გეომეტრიულ  $c/b$  და  $a/b'$  ფარდობებზე.

III-13 ნახაზზე მოცემულია ტემპერატურული კოეფიციენტის დამოკიდებულება  $c/b$ -სა და  $a/b$ -ს მნიშვნელობებზე.

როგორც ამ გრაფიკიდან ჩანს,  $\eta$ -ს მნიშვნელობის მაქსიმუმი იზრდება  $c/b$  პარამეტრის ფარდობის შემცირების დროს.

არავამჟოლო ჩანართების დროს, როდესაც ისინი განლაგებულია



ნახ. III-14. შემომზღული კონსტრუქციის კვეთში მის შიგა ზედაპირთან განლაგებული არაგამჭოლი თბოგამტარი ჩანართის ზონაში ტემპერატურის ცვლილება

შემომზღული კონსტრუქციის გარე ზედაპირზე (IV ვარიანტი, ნახ. III-12), შიგა ზედაპირზე ჩანართის ზონაში ტემპერატურა მცირდება. ამ შემთხვევისათვის  $\eta$  ყოველთვის ერთზე ნაკლებია.

მიღებული შედეგები, რომლებიც მოყვანილია (III-13) გრაფიკზე, გამოანგარიშებულია ელექტროინტეგრატორზე შემდეგი პირობებისათვის:

$$\alpha_a = 8,7; \alpha_b = 23,3; \lambda_{თ. იგ} = 0,1; \lambda_{\delta} = 1,0.$$

ამ შედეგების გავრცელება შესაძლებელია სხვა პირობებისთვისაც, მაგრამ მხედველობაში უნდა მივიღოთ მათი გარკვეული მიახლოებითი მნიშვნელობანი.

თბოგამტარი ჩანართის ზონიდან სითბოს დანაკარგები ძირითადი კონსტრუქციის კედლის შიგა ზედაპირიდან თბოდანაკარგებზე მეტია. ცალკეული ჩანართებისათვის მოხერხებულია დამატებით განვსაზღვროთ თბოდანაკარგები დანართის ერთ გრძივ მეტრზე (დანაკარგები ძირითადი კონსტრუქციიდან, რომლის სიგანე ორი კალიბრის ტოლია). სითბოს დანაკარგები იზრდება, თუ კონსტრუქციაში მოთავსებულია სათანაბრებელი ჩანართის შრე.

განვსაზღვროთ ჩანართის  $f_R$  ფორმის ფაქტორი. ამასთან დაკავშირებით განვიხილოთ კონსტრუქციის ნაწილი ორი კალიბრით ჩანართის სიმეტრიის ღერძის ორივე მხარეს (III-41) ფორმულა.

შემომზღული კონსტრუქციის ჩანართის  $K_R$  გამტარობა, რომლის სიგანე ორი კალიბრია, შეიძლება გამოვიანგარიშოთ გამტარობის შეჯამების წესით:

$$K_{\text{г}} = K \cdot 2\lambda \frac{1}{K} - K \frac{a}{2} + K_1 \frac{a}{2} = 2\lambda + (K_1 - K) \frac{a}{2}, \quad (\text{III-51})$$

სადაც  $K$  და  $K_1$  შესაბამისად ძირითადი კონსტრუქციისა და ჩანართის თბოგადაცემის კოეფიციენტებია.

ძირითადი შემომზღული კონსტრუქციის კედლის ზედაპირის გამტარობა

$$K_{\text{გ.კ}} = K \cdot 2\lambda \frac{1}{K} = 2\lambda. \quad (\text{III-52})$$

ფორმის ფაქტორი ზემოთ განხილული გამტარობების ფარდობის ტოლია:

$$f_{\text{г}} = \frac{K_{\text{г}}}{K_{\text{გ.კ}}} = 1 + \frac{ad}{4\lambda} (K_1 - K), \quad (\text{III-53})$$

სადაც  $a$  — შესწორების კოეფიციენტი და ითვალისწინებს ჩანართით თბოგამტარობის ზრდას.

იმ შემთხვევაში, თუ შემომზღული კონსტრუქცია შედგება რამდენიმე ჩანართისაგან, რომლებიც ერთმანეთისაგან დაშორებულია მცირე მანძილთ, მაშინ თბოგადაცემის საანგარიშოდ მიზანშეწონილია განვსაზღვროთ მთელი კონსტრუქციის პირობითი თერმული წინაღობა.

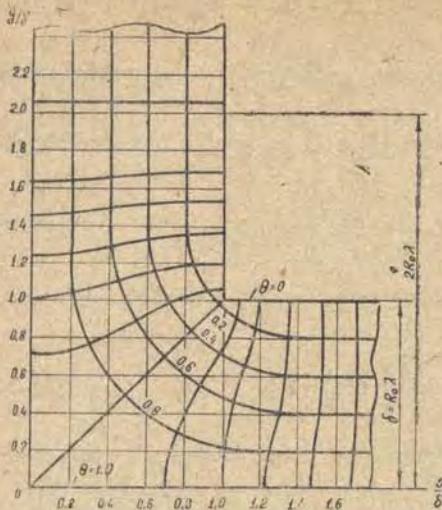
### § III-5. თბოგადაცემა შემომზღული კონსტრუქციების გარე კუთხეებსა და პირამიდებში

თბოგადაცემა შემომზღული კონსტრუქციების გარე კუთხეებში. გარე კუთხეების კვეთისათვის ტემპერატურული ველის აგება შესაძლებელია გრაფიკული მეთოდის საშუალებით (ნახ. III-15). ამ შემთხვევისათვის შიგა და გარე ზედაპირებზე კედლის სისქეს დაემატება ეკვივალენტური შრე, რომელსაც განვსაზღვრავთ ამ ზედაპირების თბოგადაცემით. ამოცანაში მოცემულია შიგა და გარე პაერის ტემპერატურის მუდმივი მნიშვნელობები და ტემპერატურული ველი — უგანზომილებო სახით. გრაფიკული დამოკიდებულება, რომელიც მოცემულია III-15 ნახაზზე, წარმოადგენს უნივერსალურს ერთგვაროვან გარე კუთხეებისათვის. იგი არ არის დამოკიდებული არც მასალასა და არც ზედაპირის თერმულ წინაღობაზე.

გარე კუთხისათვის ფაქტორის ფორმა (ნახ. III-16)

$$f_{\text{კუთ}} = \frac{B}{S \cdot 2} = \frac{6,8}{5,0 \cdot 2} = 0,68. \quad (\text{III-54})$$

ეს ფარდობა გვიჩვენებს, რომ შიგა ზედაპირის მიმართ გარე კუთხიდან ორი კალიბრის მანძილზე დაკარგული სითბოს რაოდენობა იმა-



ნახ. III-15. ტემპერატურული ველი ერთგვაროვანი შემომზღული კონსტრუქციის გარე კუთხის კვეთში

პირებზე გარე კუთხეში. ტემპერატურის ეს შემცირება შეიძლება გამოვიანგარიშოთ ტემპერატურული ველით (ნახ. III-15). მოცემული ნახაზიდან კუთხის სიმეტრიის ღერძის მიმართ კონსტრუქციის კვეთისათვის შეიძლება ავაგოთ ტემპერატურის ცვალებადობის მრუდი. კუთხის სიმეტრიის ღერძისადმი ტემპერატურული ცვლილების მრუდი აგებულა III-16 ნახაზზე; სწორი ხაზი 1 გვიჩვენებს ტემპერატურის ცვალებას კედლის ძირითად კვეთში, ხოლო მრუდი 2 — კუთხეს სიმეტრიის ღერძზე. ამ მრუდების ორდინატთა სხვაობით განვსაზღვრავთ, ძირითად ზედაპირთან შედარებით, კუთხის ტემპერატურის შემცირებას.

ზოგიერთ შემთხვევაში სათავეში შეიძლება შევკრილ იქნეს შემომზღული კონსტრუქციის შიგა კუთხე.

ამ პირობებისათვისაც მართებულია ზემოთ მოყვანილი ტემპერატურული ველი (ნახ. II. 16). შიგა კუთხის წვეროზე ტემპერატურის დასადგენად გრაფიკზე (ნახ. III. 16) მოცემულია მეორე სკალა  $Q_{ა.კ.}$ . თბოღანაკარგები შიგა კუთხის ზონაში 1,18-ჯერ მეტია (ფორმის ფაქტორი), ვიდრე შემომზღული კონსტრუქციის ძირითად ზედაპირზე, ე. ი.  $f_{კუთ} = 1,18$ . ამ შემთხვევაში დანაკარგები მიღებულია გარე ზედაპირის ორი კალიბრის სიგანის მიმართ.

ტემპერატურული ველი მიახლოებითია, ვინაიდან იგი შეესაბამება „შიგა ამოცანას“ ეკვივალენტური შრეებით და ზედაპირებზე მო-

ვეთა ფართობის მქონე კედლის ძირითადი ზედაპირიდან სითბოს რაოდენობაზე 32%-ით ნაკლებია.

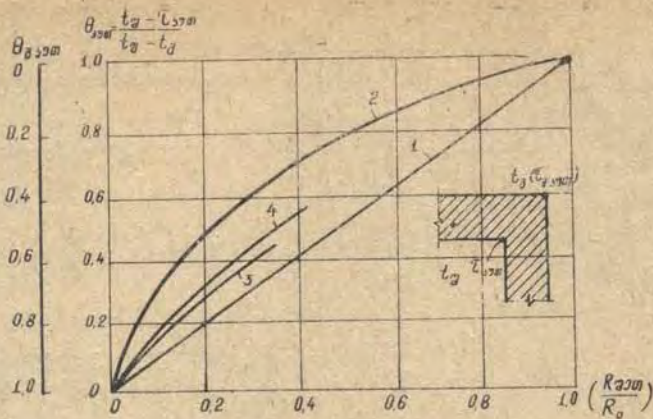
ორკალიბრიანი ( $2\lambda R_0$ ) სიგანის ერთგვაროვანი შემომზღული კონსტრუქციის გარე კუთხის თბოღანაკარგები

$$Q_{კუთ} = \frac{1}{R_0} (t_3 - t_3) 2\lambda R_0 f_{კუთ} = 2\lambda (t_3 - t_3) f_3. \quad (III-55)$$

ერთგვაროვან კედელთან შედარებით გარე კუთხის დამატებითი თბოღანაკარგები

$$\Delta Q_3 = 2\lambda (t_3 - t_3) (f_3 - 1). \quad (III-56)$$

სანიტარულ-ტექნიკური თვალსაზრისით დიდი მნიშვნელობა აქვს ტემპერატურის შემცირებას კედლის შიგა ზედაპირების პირა-



ნახ. III-16. ფარდობითი ჭარბი ტემპერატურის ცვლილების გრაფიკი შემომზადებული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზე (1) და კუთხის სიმეტრიის ლერძზე (2) ერთგვაროვანი შემომზადებული კონსტრუქციისათვის

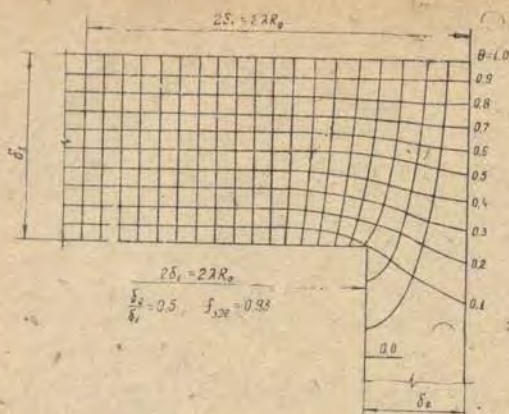
$$\frac{R_{შეშ}}{R_0} - \text{საგან დამოკიდებულებით}$$

ცემული ტემპერატურებით. ამ ამოცანის ამოხსნა, როდესაც მოცემულია თბოგაცემის პირობები ზედაპირებზე, შეიძლება როგორც ელექტროთბური ანალოგიით, ისე ბადის მეთოდით. შედეგები, რომლებიც მიიღო კ. ფოკინმა ელექტროინტეგრატორზე, მოცემულია III-16 ნახაზზე. ამ ამოცანის ამოხსნისას გარე კუთხის ზონაში შიგა ზედაპირზე თბოგაცემის კოეფიციენტის ორი მნიშვნელობა მივიღეთ, სახელდობრ  $\alpha = 7$  და  $5$  ვტ/მ<sup>2</sup>. გრად.

როგორც ნახაზიდან ჩანს, ელექტროინტეგრატორზე მიღებული შედეგები ბევრად არ განსხვავდება მიახლოებით ამოხსნილი შედეგებიდან.

გარე კუთხის თბურ ანალოგიას წარმოადგენს თბოგაცემა იმ შემთხვევისათვის, როდესაც შიგა შემომზადებული კონსტრუქცია ეკვრის გარე კონსტრუქციას.

თბოგაცემა შემომზადებული კონსტრუქციის პირაპირებიდან. ეს ამოცანა შეიძლება ამოგხსნათ ორგანზომილებიანი ტემპერატურული ველით კერძოდ, ელექტროინტეგრატორის მეშვეობით, როდესაც ტიხრის ნახევარი  $\delta_1$  სისქისა და გარე კედლის  $\delta_2$  სისქის ფარდობა  $\frac{\delta_1}{\delta_2} = 0,5$  და ზედაპირებზე მიიღება პირველი რიგის სასაზღვრო პირობები (III-17 ნახ.). ფარდობით კოორდინატებში  $x/\delta_1$  და  $y/\delta_1$  ტემ-



პერატურული ველის იზო-  
თერმებს შეესაბამება კარბი  
ფარდობითი ტემპერატურები

$$\Theta = \frac{t_a - t}{t_a - t_b} = f\left(\frac{x}{\delta_1}; \frac{y}{\delta_1}\right) \quad (\text{III-57})$$

ანალოგიური ტემპერატურული ველები აგებულია  $\delta_2/\delta_1$  ფარდობის სხვადასხვა მნიშვნელობებისათვის. ერთგვაროვანი კონსტრუქციის თითოეული ველი, მოცემული  $\delta_2/\delta_1$  ფარდობის ყველა მა-

ნახ. III-17. ტემპერატურული ველი ერთგვაროვან გარე და შიგა კედლების პირაპირის კვეთში, როდესაც

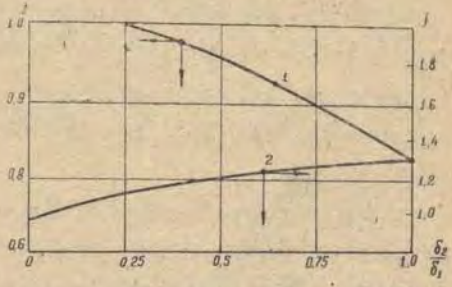
$$\frac{\delta_2}{\delta_1} = 0,5$$

სალისა და ნებისმიერი ტემპერატურების სხვაობისათვის  $t_a - t_b$  უნივერსალურია.

ყველა ტემპერატურული ველისათვის განვსაზღვრავთ პირაპირის ფორმის ფაქტორს  $f_a$ ; მისი განსაზღვრისას მივიღებთ, რომ ტიხრის სიგრძე უსასრულოა, ხოლო გარე შემომზღუდი კონსტრუქციის ზომა პირაპირის ღერძიდან გარე ზედაპირამდე ორი კალიბრის ტოლია.

III-18 ნახაზზე მოცემულია გრაფიკი, რომელიც გვიჩვენებს პირაპირის ფაქტორის  $f_a$  დამოკიდებულებას  $\delta_2/\delta_1$  ფარდობასთან.

ხშირად გათბობის ტექნიკაში საჭიროა პირაპირზე შიგა კუთხის ზედაპირზე ტემპერატურის  $t_3$  განსაზღვრა. ამ ტემპერატურის დასადგენად შეიძლება გამოვიყენოთ ზემოთ განხილული ამოხსნები. ამასთან დაკავშირებით კედლისა და ტიხრის შიგა ზედაპირიდან საჭიროა გადავზომოთ ეკვივალენტური შრის სისქე  $\frac{\lambda}{\alpha_a}$ . საერთო ამონახსნი კო-



ნახ. III-18. გარე კედლისა და შიგა ტიხრის ფორმის ფაქტორის  $f_{კედ}$  დამოკიდებულება ფარ-

ლობაზე  $\frac{\delta_2}{\delta_1}$

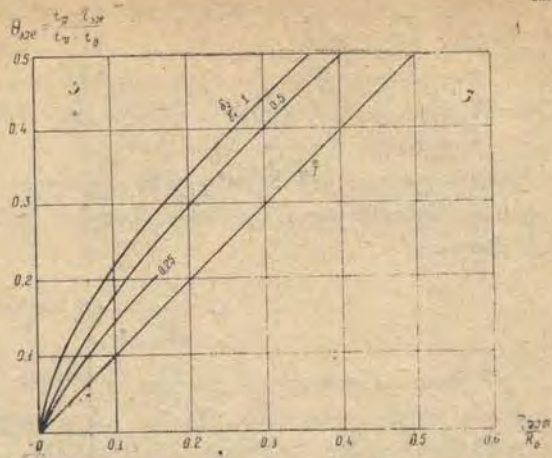
1—გარე აზომვით; 2—შიგა აზომვით

ორდინატებში  $Q =$   
 $= f(\delta_2/\delta_1; R_a/R_0)$  მო-  
 ცემულია III-19 ნა-  
 ხაზზე, სადაც

$$\Theta = \frac{t_a - t_3}{t_a - t_0} =$$

$$= f\left(\frac{\delta_2}{\delta_1}; \frac{R_a}{R_0}\right). \text{ (III-58)}$$

რეალურ შემ-  
 თხვევებში ტიხრის მა-  
 სალა განსხვავდება ძი-  
 რითადი შემომზღუდი  
 კონსტრუქციის მასა-  
 ლისაგან, მაგრამ ეს  
 გარემოება პრაქტიკუ-  
 ლად არ მოქმედებს  
 კედლის ფორმის ფაქ-  
 ტორზე.



ნახ. III-19. ფარდობითი უკარბი ტემპერატურის  $\Theta$  კედ-  
 დამოკიდებულება  $\frac{R_{\text{შეთ}}}{R_0}$ -საგან კედლის ზედაპირზე (1)  
 და გარე და შიგა კედლების შეუღლების კუთხეზე, რო-  
 დესაც  $\frac{\delta_2}{\delta_1} = 1; 0,5; 0,25$ .

§ III-6. რთული შემოგზღუდი კონსტრუქციის  
 დაყვანილი წინააღობა

თანამედროვე შენობების შემომზღუდი კონსტრუქციები დამზადე-  
 ბულია მსხვილზომიანი ელემენტებისაგან, რომლებიც ხასიათდებიან გარ-  
 კვეთული თავისებურებებით. კერძოდ, კედლებში განლაგებულია დიდი  
 ზომის ფანჯრის ღიობები. სათავსის ზომები დიდი არ არის, რის გამოც  
 გარე კედლებს სათავსის შრიდან ხშირად უერთდება ტიხრები და სარ-  
 თულებს შორის გადახურვები. კედლის პანელების კონსტრუქციებს ხში-  
 რად აქვს ბეტონის წიბოები, რომლებიც თბოსაბოლოაციო სისქის შრე-  
 ში ქმნიან თბოგამტარულ ჩანართებს. ზემოჩამოთვლილი კონსტრუქციუ-  
 ლი თავისებურების გამო შემომზღუდი კონსტრუქციის მთელი ზედაპი-  
 რიდან სითბოს დანაკარგები მეტია იმ დანაკარგებზე, რომელიც გაი-  
 თვლება ერთგვაროვანი ტემპერატურული ველის შემთხვევაში. ამ ველის  
 ზუსტი გათვლა შესაძლებელია ელექტროინტეგრატორზე მხოლოდ იმ  
 შემთხვევაში, თუ მხედველობაში მივიღებთ თანამედროვე კონსტრუქ-  
 ციების ყველა თავისებურებას. მიუხედავად ამისა, პრაქტიკული გაანგა-  
 რისებების დროს საჭიროა ამ ამოცანების გამარტივება.

რთული კონსტრუქციების სითბოს დანაკარგების სწორი გაანგარი-



შებნისათვის შეიძლება გამოვიყენოთ ამ კონსტრუქციების დაყვანილი თერმული წინაღობა.

დაყვანილი ეწოდება ისეთი პირობითი ერთგანზომილებიანი ველის შემომზღუდი კონსტრუქციის წინაღობას, რომლის თბოდანაკარგები ორგანზომილებიანი რთული შემომზღუდი კონსტრუქციების სითბოს დანაკარგების ტოლია. ამ შემთხვევაში შეიძლება გამოვიყენოთ ერთგანზომილებიანი შემომზღუდი კონსტრუქციების შემდეგი გამოსაანგარიშებელი ფორმულა

$$Q = \frac{1}{R_{0 \text{ დაყ}}} (t_{\text{в}} - t_{\text{г}}) F_0 \quad (\text{III-59})$$

ზემოთ განვიხილეთ რთული სამშენებლო პანელების ორგანზომილებიანი ელემენტები (ნახ. III-4). ასეთ ელემენტებს წარმოადგენს: შიგა კონსტრუქციების, ტიხრების პირაპირები ვარე შემომზღუდი კონსტრუქციებთან, ვარე კუთხეები და თბოგამტარი ჩანართები. ორგანზომილებიანი ელემენტების თბოგადაცემის განხილვის შედეგად ვ. ბოგოსლოვსკიმ თითოეული შემთხვევისათვის განსაზღვრა  $f_i$  ფორმის ფაქტორი. მისი მნიშვნელობანი მოცემულია III-2 ცხრილში.

ცხრილი III-2

შემომზღუდი კონსტრუქციების ფორმის ფაქტორის მნიშვნელობები

№ რიგ.	ორგანზომილებიანი შემომზღუდი კონსტრუქციების ელემენტები	ორკალიბრიანი სივანის ელემენტის ფორმის ფაქტორი	
		შიგაზედაპირების	გარეზედაპირების
1	ვარე კუთხე	0,68	1,18
2	შიგა კუთხე	1,18	0,68
3	შემომზღუდი კონსტრუქციაში დიობის $f_{\text{ფ}}$ ფართობი	1,5	1,5
4	ერთგვაროვანი შემომზღუდი კონსტრუქციის ვარე და შიგა $f_3$ პირაპირები	$f_3$ მიიღება (III-19) ნახაზიდან	—
5	თბოგამტარი ჩანართები ცალ მხარეზე (ჩანართის $f_R$ ) ღერძისადმი	$f_R$ მიიღება (III-53) ფორმულით	—

$f$  ფორმის ფაქტორი გვიჩვენებს, თუ ერთი გრძივი მეტრის ორი კალიბრის სივანის ელემენტი ძირითად ელემენტთან შედარებით რამდენჯერ მეტ სითბოს დაკარგავს. სხვადასხვა  $\lambda$  სიგრძისა და  $f$  ფორმის ფაქტორების მქონე შემომზღუდი კონსტრუქციის რამდენიმე ორგანზომ-

მიღებიანი ელემენტების საერთო თბოდანაკარგები განვსაზღვროთ შემდეგი ფორმულით

$$Q = \frac{1}{R_0} F_0 (t_a = t_b) + \frac{1}{R_0} \sum a_i l_i (f_i - 1) (t_a - t_b). \quad (\text{III-60})$$

თუ (III-59) და (III-60) ფორმულებში ერთმანეთს გავუტოლებთ მარჯვენა მხარეებს, მივიღებთ რთული შემომზღული კონსტრუქციის დაყვანილი თერმული წინაღობის ანალიზურ გამოსახულებას, რომელიც შემდეგი სახისაა:

$$R_{\text{დაყ}} = R_0 \frac{1}{1 + \frac{1}{F_0} \sum a_i l_i (f_i - 1)}. \quad (\text{III-61})$$

რთული შემომზღული კონსტრუქციისათვის (III-61) ფორმულის საშუალებით შეიძლება განვსაზღვროთ  $R_{\text{დაყ}}$  დაყვანილი თერმული წინაღობა იმ შემთხვევაში, თუ შემომზღული კონსტრუქციის ორგანოზომებიდან არეში შეჭრილია თბოგამტარი ჩანართი, მაშინ დასაშვებია ფორმის ფაქტორების შეკრება.

#### თ ა ზ ი IV

### არასტაციონარული თბოგადაცემა შემომზღული კონსტრუქციებით

ზემოთ განვიხილეთ სითბოს გავრცელების პირობები სტაციონარული რეჟიმის შემთხვევაში, როდესაც ტემპერატურული არე დროის განმავლობაში მუდმივია. თუ ტემპერატურული არე დროის განმავლობაში ცვლილებას განიცდის, ე. ი. დროის ფუნქციაა, მაშინ ასეთ თბურ პროცესს არასტაციონარული პროცესი ეწოდება.

ბუნებრივ პირობებში თბოგადაცემა შემომზღული კონსტრუქციების მეშვეობით ყოველთვის არასტაციონარულია. როგორც ცნობილია, გარე ჰაერის ტემპერატურა, მზის რადიაციის ინტენსივობა, ქარის ძალა და მიმართულება განუწყვეტლივ იცვლება. დროის, სეზონის მიხედვით იცვლება აგრეთვე სათავსის ტემპერატურა. ამასთან, სათავსის თბური რეჟიმის გასათვლელად თბოგადაცემა შემომზღულ კონსტრუქციებსა და ჰაერის კონდიციონების სისტემების ელემენტებში აუცილებელია განხილულ იქნეს, როგორც არასტაციონარული რეჟიმი.

ზედაპირზე სითბოს ნაკადის  $q(x, 0) = q = \text{const}$  რეგულარული მწოდების  $x=0$  დროის შემდეგ წყდება თბური ნაკადი  $q(0, x) = 0$ . ამასთან, ფარდობითი ჭარბი ტემპერატურა  $\Theta_{\text{გავ}} = 1 - \Theta$ .

#### § IV-1. სასრულ სხვაობათა მეთოდი

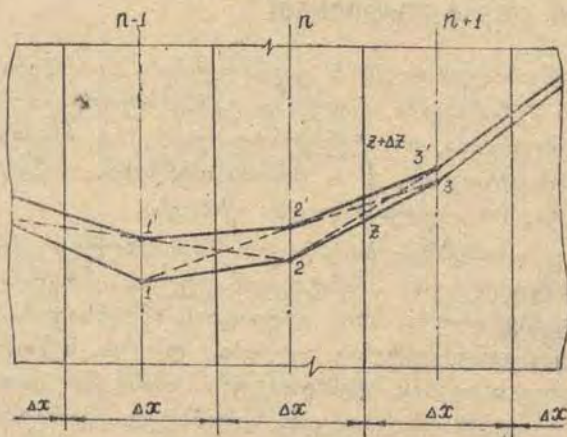
თბოგადაცემის რეალური პროცესები, რომლებიც მიმდინარეობენ მრავალწრიან შემომზღულ კონსტრუქციებში, განსხვავდება იმ მარტივი შემთხვევებისაგან, რომლებიც განხილულ პარაგრაფში ანალიზური ხერხით მივიღეთ. ამ პროცესების ანალიზური განხილვა საკმაოდ რთულია და ზოგიერთ შემთხვევაში შეუძლებელიც. ამიტომ პრაქტიკაში ხშირად იყენებენ არასტაციონარული ამოცანების ამოხსნის საინჟინრო მეთოდებს — სასრული სხვაობისა და ჰიდროფანალოგიის.

განვიხილოთ სასრული სხვაობის მეთოდი ბრტყელი კედლის გაანგარიშებისას. აღსანიშნავია, რომ ეს მეთოდი განხილული სასრული სხვაობის ბადის მეთოდის ანალოგიურია (§ III-2).

როგორც აღვნიშნეთ, ამ მეთოდის გამოყენებისას დასაშვებად თვლიან განუწყვეტელი პროცესის შეცვლას ნახტომისებრი პროცესით როგორც სივრცეში, ისე დროში.

ამ დაშვებასთან დაკავშირებით თბოგამტარობის (III-17) დიფერენციალური განტოლება იცვლება სასრულ სხვაობათა განტოლებით, რომელიც ერთგანზომილებიანი არისათვის

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} = a \frac{\Delta^2 t}{\Delta x^2} \quad (\text{IV-1})$$



ნახ. IV-1. სასრულ სხვაობათა მეთოდის გრაფიკული ინტერპრეტაცია აშკარა სქემის დროს

კედელს ვყოფთ თანასწორი  $\Delta x$  სისქის არეებად (ნახ. IV-1), რომლებსაც აღვნიშნავთ ნომრებით  $(n-1)$ ,  $n$ ,  $(n+1)$  და ა. შ. დროის განსახილველ შუალედსაც ვყოფთ  $\Delta z$  ინტერვალებად და მასაც აღვნიშნავთ ნომრებით  $k$ ,  $(k+1)$  და ა. შ. ამ შემთხვევაში  $t_{n,k}$ -თი აღვნიშნება ის ტემპერატურა, რომელიც მოთავსებულია  $k$  ინტერვალის განმავლობაში  $n$  შრის შუაში. ამგვარად, ტემპერატურული მრუდი ტეხილი ხაზის სახისაა.

როგორც IV-1 ნახაზიდან ჩანს,  $n$  შრის ზღვრებში ტემპერატურული მრუდი ორი სხვადასხვა დახრილობისაა, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ  $\Delta x$ -ით ტემპერატურის წარმოებულსაც შესაბამისად უნდა ჰქონდეს ორი მნიშვნელობა:

$$\left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right)_+ = \frac{t_{n+1,k} - t_{n,k}}{\Delta x}; \quad (IV-2)$$

$$\left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right)_- = \frac{t_{n,k} - t_{n-1,k}}{\Delta x}. \quad (IV-3)$$

აქედან გამოვძინარე, მეორე წარმოებულს

$$\frac{\Delta^2 t}{\Delta x^2} = \frac{1}{\Delta x} \left[ \left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right)_+ - \left(\frac{\Delta t}{\Delta x}\right)_- \right] = \frac{1}{\Delta x^2} [t_{n+1,k} + t_{n-1,k} - 2t_{n,k}]. \quad (IV-4)$$

მაშასადამე, მიღებული მნიშვნელობა ელემენტარულ შრეებს შორის ტემპერატურათა სხვაობაა და (IV-4) განტოლება (II-16) ფორმულის ანალოგიურია.

ტემპერატურის წარმოებულს დროის მიხედვით  $n$ -ური შრისთვის

$$\frac{\Delta t}{\Delta z} = \frac{t_{n,k+1} - t_{n,k}}{\Delta z}. \quad (IV-5)$$

თუ (IV-1) განტოლებაში (IV-4) და (IV-5) განტოლებათა მნიშვნელობებს ჩავსვამთ, მივიღებთ:

$$\frac{t_{n,k+1} - t_{n,k}}{\Delta z} = a \frac{t_{n+1,k} + t_{n-1,k} - 2t_{n,k}}{\Delta x^2}, \quad (IV-6)$$

საიდანაც

$$t_{n,k+1} = 2a \frac{\Delta z}{\Delta x^2} \frac{t_{n+1,k} + t_{n-1,k}}{2} - \left(2a \frac{\Delta z}{\Delta x^2} - 1\right) t_{n,k}. \quad (IV-7)$$

ამგვარად, თუ ცნობილია სხეულში დროის  $k$  ინტერვალისათვის ტემპერატურათა განაწილება, მაშინ (IV-7) განტოლების საფუძველზე ტემპერატურათა განაწილებას დავადგენთ დროის მომდევნო  $(k+1)$  ინტერვალისათვის და ა. შ.

როდესაც დროის ინტერვალებისა და  $\Delta x$  სისქის შრეების ზომებს

შევარჩევთ ისე, რომ დაკმაყოფილდება პირობა  $2a \frac{\Delta z}{\Delta x^2} = 1$ , მაშინ (IV-7) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$t_{n, k+1} = \frac{1}{2} (t_{n+1, k} + t_{n-1, k}) \quad (IV-8)$$

ამ განტოლებიდან ჩანს, რომ  $t_{n, k+1}$  წარმოადგენს  $t_{n+1, k}$ -სა და  $t_{n-1, k}$ -ს საშუალო არითმეტიკულს. ამ შემთხვევაში გაანგარიშების ტექნიკა ძალიან მარტივია; ასევე მარტივად წყდება (IV-8) განტოლება გრაფიკულადაც. დროის  $\Delta z$  ინტერვალს განვსაზღვრავთ შემდეგი ტოლობიდან:

$$\Delta z = \frac{\Delta x^2}{2a} \quad (IV-9)$$

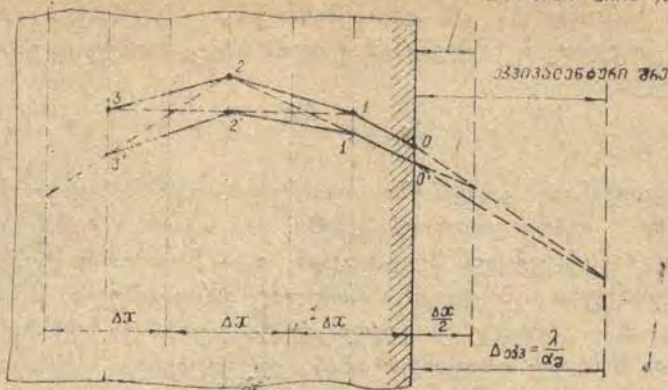
თუ განვიხილავთ ბეტონის კედელს ( $a=0,002$  მ<sup>2</sup>. სთ) და თითოეული შრის  $\Delta x$  სისქედ 5 სმ-ს ავიღებთ, მაშინ დროის ინტერვალი

$$\Delta z = \frac{\Delta x^2}{2a} = \frac{(0,05)^2}{2 \cdot 0,002} = 0,625 = \frac{5}{8} \text{ სთ.}$$

ამგვარად, ამოცანის ამოხსნის ყოველ კონკრეტულ შემთხვევაში ჯერ უნდა შევარჩიოთ გრაფიკული აგების თვალსაზრისით  $\Delta x$ -ის ყველაზე უფრო მოხერხებული მნიშვნელობა, ხოლო შემდეგ უნდა ავაგოთ ტემპერატურის საწყისი განაწილება, რომელსაც შეიძლება ჰქონდეს 0, 1, 2, 3 ტეხილი ხაზის სახე (ნახ. IV-2). 1 და 3 წერტილების შეერთებით მივიღებთ 2' წერტილს, 2 და 4 წერტილების შეერთებით — 3' წერტილს და ა. შ.

0' და 1' წერტილების მისაღებად საჭიროა გარემოს გავლენის გავალისწინება.

როგორც ცნობილია (ნახ. IV-2), მესამე სახის პირობა განსაზღვრავს ისეთ წერტილს, რომელზედაც უნდა გაიაროს ყველა იმ მხებმა, რომელთაც გავავლებთ ტემპერატურული მრუდისადმი. ეს წერტილი ზედაპირიდან დაშორებულია  $\frac{\lambda_{\text{კედ.}}}{\alpha}$  მანძილით და მას შრის ეკვივალენტური სისქე ეწოდება. აღნიშნულის თანახმად, ტემპერატურული მრუდის ბოლოს (ამ შემთხვევაში მონაკვეთი 1'0') განვსაზღვრავთ სათანადო მიმართველი R წერტილით, რომლის ორდინატია გარემოს  $t_g$  ტემპერატურა, ხოლო აბსცისა — მხებქვეშა სიდიდე. ამიტომ 0' და 1' წერტილების მისაღებად დამატებით ავაგებთ მიმართველ R წერტილს და, გარდა ამისა, ზედაპირის პარალელურად გავავლებთ დამხმარე MN სწორს, რომელიც ზედაპირიდან  $\frac{\Delta x}{2}$  მანძილითაა დაშორებული. თუ 0 წერტილს



ნახ. IV-2. სასრულ სხვაობათა მეთოდის გრაფიკული ინტერპრეტაცია III გვერის სასაზღვრო პირობების დროს

შეაერთებთ  $R$  მიმმართველთან, მაშინ ამ მაერთებელი ხაზის გადაკვეთაზე  $MN$ -თან მივიღებთ  $a$  წერტილს, ხოლო  $a$  და  $2$  წერტილების მაერთებელი ხაზის გადაკვეთაზე — ახალი ტემპერატურული მრუდის  $1'$  წერტილს; უკანასკნელი მონაკვეთი  $1'0'$  უნდა განვსაზღვროთ აგრეთვე მიმმართველი წერტილის მეშვეობით. როდესაც მივიღებთ  $0'1'2'3'...$  წერტილებს საწყის წერტილებად და გავიმეორებთ აღწერილ აგებას, გამოვიანგარიშებთ მრუდებს  $0''1''2''3''...0'''1'''2'''3'''$  და ა. შ. თუ პროცესის მიმდინარეობის დროს იცვლება აგრეთვე  $\alpha$ , ეს გარემოება შეიძლება გავითვალისწინოთ  $R$  მიმმართველი წერტილის მდებარეობის სათანადო შეცვლით.

მრავალშრიანი კედლის გაანგარიშებისას ტემპერატურული მრუდი უნდა ავსავთ თერმულ წინააღობათა მასშტაბით, ე. ი. აბსცისთა ღერძზე  $\Delta x$ -ის ნაცვლად უნდა გადავზომოთ  $\frac{\Delta x}{\lambda_{კედ}}$ .

ამრიგად, აღწერილი მეთოდით შედარებით მარტივად ამოვხსნით არასტაციონარული თბოგამტარობის მრავალ ტექნიკურ ამოცანას. მიუხედავად იმისა, თუ რა სახისაა მოცემული სასაზღვრო პირობები. განხილული მეთოდის სუსტი მხარე იმაში მდგომარეობს რომ, აქ სხეულის ფიზიკური პარამეტრები მიჩნეულია მუდმივ სიდიდეებად.

არსანიშნავია, რომ (IV-8) ფორმულა მართებულია მხოლოდ მაშინ, როდესაც  $\Delta x = \frac{\Delta x^2}{2\alpha}$ . მისი ფიზიკური არსი შემდეგში მდგომარეობს:

დროის მოცემულ  $\Delta x$  ინტერვალში  $n+1$  და  $n-1$  ზედაპირებს შორის მყარდება თბოგადაცემის სტაციონარული რეჟიმი.

ამრიგად, მოცემული დროის ინტერვალი მაქსიმალურია და (IV-5) ფორმულა გამოიყენება იმ პირობებისათვის, როდესაც  $\Delta z$  დროის ინტერვალი ყოველთვის ნაკლები ან ტოლია  $\Delta z_{\text{მაქს}}$ , რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$\Delta z_{\text{მაქს}} = \frac{\Delta x^2}{2a}. \quad (\text{IV-10})$$

გამოვიყვანოთ საანგარიშო ფორმულა გარემოს გავლენის გათვალისწინებით. შემოვიღოთ აღნიშვნები:  $t_1$  — ჰაერის ტემპერატურა შემომზღული კონსტრუქციის ზედაპირთან;  $\tau_0$  — ზედაპირის ტემპერატურა;  $\tau_1$  — ტემპერატურა სიბრტყეში, რომელიც დაშორებულია ზედაპირს  $\Delta x$  მანძილზე;  $\alpha$  — თბოგაცემის კოეფიციენტი ჰაერსა და ზედაპირს შორის;  $\lambda$  — კედლის მასალის თბოგამტარობის კოეფიციენტი, რის დასადგენადაც განვიხილოთ ორი შემთხვევა:

ა) იმ შემთხვევაში, როდესაც  $\Delta z = \Delta z_{\text{მაქს}}$ , დროის ინტერვალის შემდეგ სიბრტყეებს შორის თბოგადაცემა სტაციონარულია, რის გამოც  $\tau_0$  მნიშვნელობას განვსაზღვრავთ თბური ბალანსიდან

$$Q_1 + Q_2 = \alpha(\tau_0, s+1 - t_1) \Delta z + \frac{\lambda}{\Delta x} (\tau_0, s+1 - \tau_1, s) = 0, \quad (\text{IV-11})$$

სადაც  $Q_1$  არის სითბოს რაოდენობა, რომელიც მიეწოდება ჰაერიდან კედლის ზედაპირს;

$Q_2$  — სითბოს რაოდენობა, რომელსაც ვაატარებს გარე ზედაპირიდან  $\Delta x$  სისქის მქონე კედელი.

ამ ფორმულიდან

$$\alpha \tau_0, s+1 - \alpha t_1 + \frac{\lambda}{\Delta x} \tau_0, s+1 - \frac{\lambda}{\Delta x} \tau_1, s = 0. \quad (\text{IV-12})$$

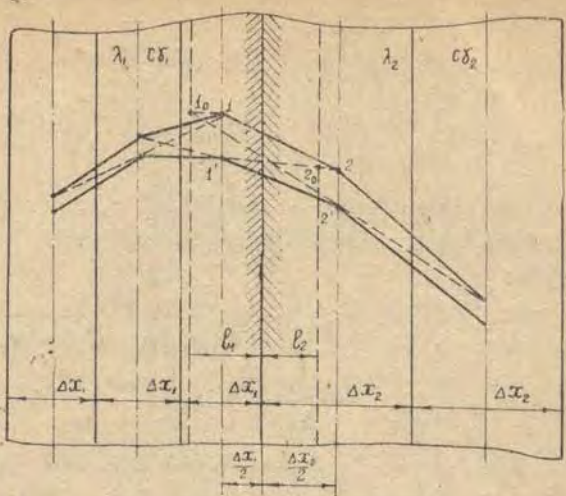
თუ (IV-52) განტოლებას ამოვხსნით  $\tau_0, s+1$ -ის მიმართ, მივიღებთ:

$$\tau_0, s+1 = \frac{\alpha t_1 + \frac{\lambda}{\Delta x} \tau_1, s}{\alpha + \frac{\lambda}{\Delta x}}. \quad (\text{IV-13})$$

ბ) იმ შემთხვევაში, როდესაც  $\Delta z < \Delta z_{\text{მაქს}}$ , მაშინ  $\Delta z_{\text{მაქს}}$  დროის ინტერვალში ტემპერატურის ცვალებების მნიშვნელობა  $\tau_0$ , რომელიც მიიღება (IV-13) ფორმულიდან, პროპორციულად შემცირდება  $\frac{\Delta z}{\Delta z_{\text{მაქს}}}$  სიდიდით. ასე, რომ (IV-13) ფორმულიდან

$$\tau_0, s+1 = \tau_0, s \left( 1 - \frac{\Delta z}{\Delta z_{\text{მაქს}}} \right) + \frac{\alpha t_1 + \frac{\lambda}{\Delta x} \tau_1, s}{\alpha + \frac{\lambda}{\Delta x}} \frac{\Delta z}{\Delta z_{\text{მაქს}}}. \quad (\text{IV-14})$$

განვიხილოთ ის რეალური შემთხვევა, რომელიც გვხვდება სამშენებლო ტექნიკაში. კერძოდ, შემომზღუდი კონსტრუქცია შედგება სხვადასხვა მასალის რამდენიმე შრისაგან. ამ შემთხვევაში თითოეულ შრეს ცყოფთ  $\Delta x$  ტოლ შრეებად. ზოგიერთ შემთხვევაში სხვადასხვა მასალების ცალკეული შრეების  $\Delta x$  მნიშვნელობა შეიძლება სხვადასხვა იყოს. თითოეული შრისათვის განვსაზღვრავთ  $\Delta x_{\text{მაქს}}$  მნიშვნელობებს, რის შემდეგაც მთელი კედლისათვის გამოსაანგარიშებლად ვღებულობთ  $\Delta x$ -ის ერთ-ერთ მნიშვნელობას, რომელიც უმცირესია. იმ შრეებისათვის, რომელთათვისაც  $\Delta x$ -ს შეესაბამება მისი მაქსიმალური მნიშვნელობა, გამოსაანგარიშებლად ვიყენებთ (IV-8) განტოლებას, დანარჩენი შრეებისათვის კი ვსარგებლობთ (IV-7) ფორმულით.



ნახ. IV-3. სასრულ სხვაობათა მეთოდის გრაფიკული ინტერპრეტაცია IV გვარის სასაზღვრო პირობების დროს

გადაცემული სითბოს რაოდენობა  $\Delta q$  დროის ინტერვალის განმავლობაში  $n$  სიბრტყიდან  $n-1$  სიბრტყეზე (ნახ. IV-13) ტოლია

$$Q_1 = (\tau_{n-1, s} - \tau_{n, s}) \frac{\lambda_1}{\Delta x_1} \Delta x, \quad (IV-15)$$

ხოლო იმავე დროის ინტერვალის განმავლობაში  $n$  სიბრტყიდან სითბოს რაოდენობა გადაცემული  $n+1$  სიბრტყეზე ტოლია

$$Q_2 = (\tau_{n, s} - \tau_{n+1, s}) \frac{\lambda_2}{\Delta x_2} \Delta x. \quad (IV-16)$$

სიბრტყის მოსაზღვრე მარჯვენა და მარცხენა შრეების ნახევრების სითბოს შემცველობის ცვლილება

$$\Delta Q = \frac{1}{2} (C_1 \gamma_1 \Delta x_1 + C_2 \gamma_2 \Delta x_2) (\tau_{n, s+1} - \tau_{n, s}). \quad (IV-17)$$

როგორც IV-3 ნახაზიდან ჩანს, ტემპერატურა  $\Delta q$  დროის განმავლობაში შეიცვალა  $\tau_{n, s}$ -დან  $\tau_{n, s+1}$ -მდე.



თბური ბალანსის პირობიდან  $\Delta Q = Q_1 - Q_2$ , ე. ი.

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} (C_1 \gamma_1 \Delta x_1 + C_2 \gamma_2 \Delta x_2) (\tau_{n, s+1} - \tau_{n_2}) = \\ & = \left( \frac{\tau_{n-1, s} - \tau_{n_2}}{\Delta x_1} \lambda_1 - \frac{\tau_{n_2} - \tau_{n+1, s}}{\Delta x_2} \lambda_2 \right) \Delta x. \end{aligned} \quad (IV-18)$$

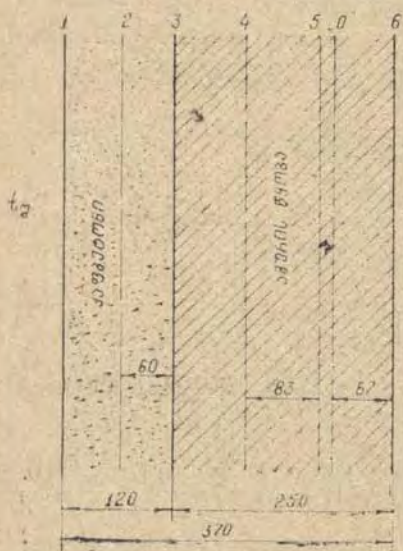
(IV-18) განტოლება ამოვხსნათ  $\tau_{n, s+1}$  მიმართ, მივიღებთ სხვადასხვა მასალების საზღვარზე ტემპერატურის გამოსაანგარიშებელ ფორმულას

$$\begin{aligned} \tau_{n, s+1} &= \frac{2\Delta x}{C_1 \gamma_1 \Delta x_1 + C_2 \gamma_2 \Delta x_2} \times \\ & \times \left( \frac{\tau_{n-1, s} - \tau_{n_2}}{\Delta x_1} \lambda_1 - \frac{\tau_{n_2} - \tau_{n+1, s}}{\Delta x_2} \lambda_2 \right) + \tau_{n_2}. \end{aligned} \quad (IV-19)$$

მაგალითი, გარემოს ჰაერი 8 საათის განმავლობაში  $-5^{\circ}\text{C}$ -დან  $-25^{\circ}\text{C}$ -მდე მცირდება, რის შემდეგ ისევ იზრდება  $-5^{\circ}\text{C}$ -მდე. როგორ შეიცვლება კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა (ნახ. IV-4).

შემომზღული კონსტრუქცია აგურისაა, სისქით 25 სმ-ია და შიგა მხრიდან ამოგებულია ქაფბეტონის 12 სმ სისქის ფილებით.

მიღებული მასალების თბოფიზიკური მახასიათებლებია: მძიმე ხსნარით დაკავშირებული წითელი აგურის წყობისათვის  $\lambda = 0,81$  ვტ/მ·გრად;  $C = 0,88$  კჯ/კგ·გრად;  $\gamma = 1800$  კგ/მ<sup>3</sup>; ქაფბეტონისათვის  $\lambda = 0,2$  ვტ/მ·გრად;  $C = 0,83$  კჯ/კგ·გრად;  $\gamma = 600$  კგ/მ<sup>3</sup>.



ნახ. IV-4

კედლის თერმული წინაღობა  $R_0 = 1,05$  გრად. მ<sup>2</sup>/ვტ. ტემპერატურის ცვალების გამოსაანგარიშებლად კედელი დავყოთ ხუთ შრედ.

გამოსაანგარიშებელი დროის ინტერვალის  $\Delta x$  შესარჩევად კედლის ყველა შრისათვის განვსაზღვროთ  $\Delta x_{\text{მაქს}}$ -ის მნიშვნელობები.

ქაფბეტონისათვის

$$\Delta x_{\text{მაქს}} = \frac{\Delta x^2}{2a} = \frac{0,06^2}{2 \cdot 15} \cdot 10^4 = 1,2 \text{ სთ},$$

სადაც  $a = 15 \cdot 10^{-4}$  მ<sup>2</sup>/სთ;

$$\Delta x = 0,06 \text{ მ}.$$

აგურის წყობისათვის

$$\Delta z_{\text{აკს}} = \frac{\Delta x^2}{2a} = \frac{0,083}{2 \cdot 18,5} \cdot 10^4 = 1,87 \text{ სთ;}$$

$$a = 18,5 \cdot 10^{-4} \text{ მ}^2/\text{სთ}; \quad \Delta x = 0,083 \text{ მ.}$$

საანგარიშოდ ავიღებთ  $\Delta z = 1,2$  საათს.

ცალკეული კედლის შრეებისათვის ტემპერატურის გამოსაანგარიშებელი ფორმულები შემდეგი სახისაა:

სიბრტყე 1 (კედლის შიგა ზედაპირი). ვინაიდან ქაფბეტონისათვის დროის ინტერვალად მიღებულია  $\Delta z_{\text{აკს}}$ , ამიტომ ამ სიბრტყეში ტემპერატურებს განვსაზღვრავთ (IV-13) ფორმულით. მივიღოთ  $\alpha = 8,7 \text{ ვტ/მ}^2$ . გრად;

$$\tau_{1, z+1} = \frac{8,7 t_3 + \frac{0,2}{0,06} \tau_2}{8,7 + \frac{0,02}{0,06}} = 0,175 t_3 + 0,285 \tau_2.$$

სიბრტყე 2 (ქაფბეტონის შუა ხაზი). ვინაიდან ქაფბეტონისათვის  $\Delta z = \Delta z_{\text{აკს}}$ , ამიტომ ამ სიბრტყეში ტემპერატურას განვსაზღვრავთ (IV-8) ფორმულით

$$\tau_{2, z+1} = 0,5 (\tau_1 + \tau_3).$$

სიბრტყე 3 (ქაფბეტონისა და აგურის წყობის საზღვარი). ამ სიბრტყეში ტემპერატურას განვსაზღვრავთ (IV-19) ფორმულით

$$\tau_{3, z+1} = \frac{2 \cdot 1,2}{0,83 \cdot 600 \cdot 0,06 + 0,88 \cdot 1800 \cdot 0,083} \left( \frac{\tau_2 - \tau_3}{0,06} \cdot 0,2 - \frac{\tau_3 - \tau_4}{0,083} \cdot 0,81 \right) + \tau_3 = 0,06 \tau_2 + 0,773 \tau_3 + 0,185 \tau_4.$$

სიბრტყე 4 (აგურის წყობა). ამ სიბრტყეში ტემპერატურას განვსაზღვრავთ (IV-48) ფორმულით

$$\tau_{4, z+1} = \tau_4 + 18,5 \cdot 10^{-4} \frac{1,2}{0,083^2} (\tau_3 + \tau_5 - 2\tau_4) = 0,322 (\tau_3 + \tau_5) + 0,356 \tau_4.$$

სიბრტყე 5 (აგურის წყობა). მე-4 სიბრტყის ანალოგიურად ტემპერატურას განვსაზღვრავთ (IV-48) ფორმულით

$$\tau_{5, z+1} = 0,322 (\tau_4 + \tau_6) + 0,356 \tau_5.$$

სიბრტყე 6 (კედლის გარე ზედაპირი). ვინაიდან აგურის

წყობისათვის ღროის ინტერვალი  $\Delta z$  არ ემთხვევა  $\Delta z_{\text{გაქს}}$ , ამიტომ ამ სიბრტყეში ტემპერატურას განვსაზღვრავთ (IV-14) ფორმულით

$$\tau_{6, s+1} = \tau_{6, s} \left( 1 - \frac{1,2}{1,87} \right) + \frac{20t_a + \frac{0,81}{0,083} \tau_s}{20 + \frac{0,81}{0,083}} =$$

$$= 0,19\tau_s + 0,36\tau_6 + 0,45\tau_4.$$

ტემპერატურების  $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5$  და  $\tau_6$  მნიშვნელობები მიიღება სტაციონარული პირობებიდან აგებული ტემპერატურის მრუდებისაგან. სათავსის ჰაერის ტემპერატურა მიღებულია მუდმივად და ტოლია  $t_3 = 18^\circ\text{C}$ . განგარიშების შედეგებს შევიტანო ცხრილში, რომელიც მოცემულია ქვემოთ. ატმოსფერული ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება მოცემულია IV-1 ცხრილის ბოლო გრაფში. კედელში საწყისი ტემპერატურული განაწილება, რომელსაც შეესაბამება  $z=0$ , მიღებულია თბოგადაცემის სტაციონარული პირობებიდან, როცა  $t_3 = 18^\circ$  და  $t_6 = -5^\circ$ .

ცხრილი IV-1

ღრო აცივების დასაწყისიდან n სთ	სათავსის ჰაერის ტემპერატურა $t_3$	სიბრტყეების ზედაპირების ტემპერატურები						გარემო ჰაერის ტემპერატურა $t_a$
		1	2	3	4	5	6	
0	18	15,5	9,1	2,7	0,4	-1,9	-4,2	-6
1,2	18	15,5	9,1	2,7	0,4	-1,9	-4,6	-8
2,4	18	15,5	9,1	2,7	0,4	-2,0	-5,5	-12
3,6	18	15,5	9,1	2,7	0,4	-2,3	-7,8	-16
4,8	18	15,5	9,1	2,7	0,3	-3,2	-10,4	-20
6,0	18	15,5	9,1	2,6	-0,1	-4,4	-13,4	-22
7,2	18	15,5	9,0	2,4	-0,6	-5,9	-15,5	-24
8,4	18	15,4	8,9	2,1	-1,3	-7,3	-17,5	-25
9,6	18	15,4	8,1	1,6	-2,1	-8,6	-18,9	-24
10,8	18	15,3	8,5	1,0	-3,0	-9,8	-19,2	-22
12	18	15,3	8,2	0,3	-3,9	-10,6	-17,7	-20
13,2	18	15,2	7,8	-0,4	-4,7	-11,1	-17,7	-16
14,4	18	15,1	7,4	-1,1	-5,4	-11,2	-15,7	-12
15,6	18	15,0	7,0	-1,8	-5,9	-10,8	-13,2	-8
16,8	18	14,9	6,6	-2,3	-6,2	-10,0	-10,4	-6
18	18	14,8	6,3	-2,7	-6,2	-8,9	-8,3	-5
19,2	18	14,7	6,1	-2,9	-5,9	-7,8		
20,4	18	14,6	5,9	-2,8	-5,5			
21,6	18	14,5	5,9	-2,8				
22,8	18	14,5	6,0					
24	18	14,6						

განგარიშებიდან ჩანს, რომ შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის მინიმალური ტემპერატურა მიიღება აცივების მხოლოდ 13,2 და 21,6 საათის შემდეგ, როდესაც გარემო ტემპერატურა მიაღწევს თავის მინიმალურ მნიშვნელობას. აგრეთვე ამ ცხრილიდან ჩანს, რომ კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის ტემპერატურის მინიმალური მნიშვნელობები ჩამორჩება დროში გარე ზედაპირის მინიმალურ ტემპერატურას.

თუ კედლის შიგა ზედაპირის მინიმალურ ტემპერატურას გამოვიანგარიშებთ სტაციონარული რეჟიმის მიხედვით, (III-24) ფორმულიდან

$$t_{\text{в}} = 18 - \frac{18 + 25}{1,05} \frac{1}{8,7} = 13,3^{\circ}\text{C}.$$

ეს გამოსახულება გვიჩვენებს, რომ აღნიშნული ტემპერატურა  $1,2^{\circ}\text{C}$  ნაკლებია ნამდვილი არასტაციონარული რეჟიმის დროს მიღებულ ტემპერატურაზე.

სასრული სხვაობის მეთოდის გამოყენებით შეიძლება განგარიშებულ ოქნეს თბოვადაციემის ნებისმიერი რთული პროცესები.

#### § IV-2. ჰიდრაპლიკური ანალოგიის მეთოდი

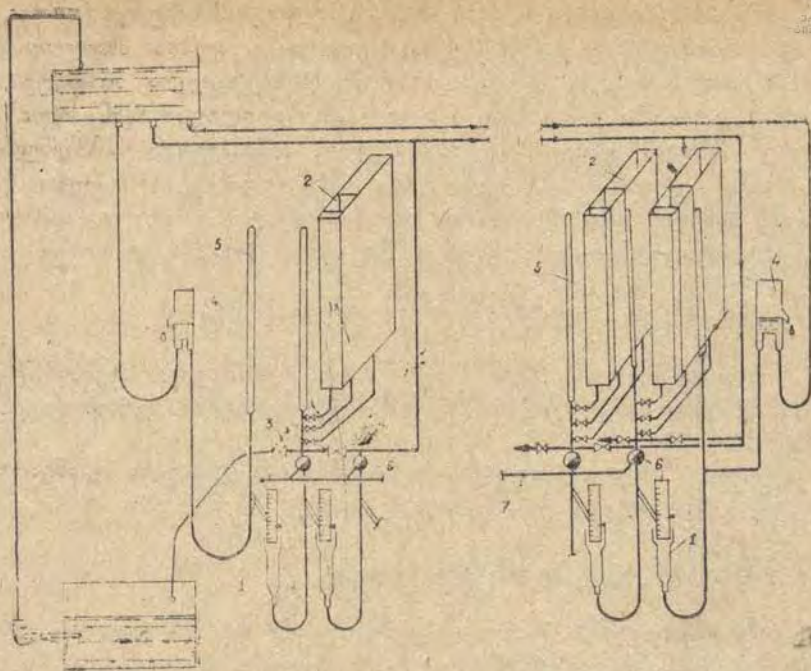
ჰიდროანალოგიის მეთოდი შემუშავა პროფ. ვ. ლუკიანოვმა. ამ მეთოდის პრინციპი დამყარებულია მყარ სხეულში სითბოს მოჭრაობისა და სითხის ლამინარული მოძრაობის პროცესების მსგავსებაზე.

ბრტყელი კედლის უმარტივესი ერთგვაროვანი ამოცანის ჰიდრომოდელის სქემა მოცემულია IV-5 ნახაზზე. მოდელი შეიძლება ავაწყოთ რიგი ცილინდრული ჭურჭლებისაგან, რომლებიც დაკალიბრებული მილაკების მეშვეობით ერთმანეთთან მიმდევრობითაა შეერთებული. თითოეული ჭურჭელი კედლის  $\Delta x$  სისქის ერთი შრის იმიტაციაა, რომლის მიხედვითაც დაყოფილია გამოსაკვლევი შემომზღუდი კონსტრუქცია. საწყის მომენტში ჭურჭელში წყლის დონე შეესაბამება თითოეული შრის საწყის ტემპერატურას. ონკანების  $R, R_1, R_2$  გაღების შემდეგ წყალი იწყებს გამოდინებას. ამ დროს წყლის დინების ცვლილება კედლის ცალმხრივი გაცივების სათანადო შრეების ტემპერატურების ცვლილების ანალოგიურია.

განვიხილოთ ამ მეთოდის პრინციპი: როგორც ცნობილია, ველის ელემენტარულ შრეებად დაყოფის დროს თბოვამტარობის პროცესში ტემპერატურების ცვლება განისაზღვრება ორი დამოკიდებულებით:

1) თბური ნაკადით, ვტ, რომელიც გადის მასალის ელემენტარულ ბლოკში თერმული წინაღობით  $R$ , გრად. მ<sup>2</sup>/ვტ (მის ზედაპირებზე ტემპერატურათა სხვაობაა  $\Delta t$ ) და ტოლია:

$$q = \frac{1}{R} \Delta t.$$



ნახ. IV-5. ჰიდროკალიკური ინტეგრატორის სქემა:

1—ჰიდროკალიკური წინაღობები; 2—ტვედობათა წყობილები; 3—საწყისი პირობების მისაცემი მოწყობილობები; 4—სასაზღვრო პირობების მისაცემი მოწყობილობები; 5—პიეზომეტრები; 6—ონკანები პროცესის გასაჩერებლად; 7—წვეა მოცულობათა ერთდროული გამორთვისათვის

2) სითბოს ჯაოდნობით, კვ (იგი აკუმულირებულია მასალის ელემენტარული ბლოკის მიერ) და ტოლია

$$Q = C \Delta t_1,$$

სადაც  $C = c \gamma V$ , კვ/გრად. კვ — ელემენტარული ბლოკის სითბოტევადობა;  $\Delta t_1$  — ამ ბლოკის ტემპერატურის ცვალემა.

ერთი ჭურჭლიდან მეორეში წყლის გადადინების ლამინარული ჰიდროკალიკური პროცესი შეიძლება განგსაზღვროთ თბური პროცესის ანალოგიური დამოკიდებულებით:

1) წყლის ნაკადით, რომელიც გადის ჰიდროკალიკურ წინაღობაში ჭურჭელში წყლის დონეთა სხვაობის  $\Delta H$  დროს და ტოლია

$$j = \frac{1}{\rho} \Delta H. \quad (IV-20)$$

2) წყლის რაოდენობით, რომელიც გროვდება ჭურჭელში და ტოლია

$$G = \omega \Delta H_1, \quad (IV-21)$$

სადაც  $\omega$  არის ჭურჭლის განივკვეთის ფართობი;

$\Delta H_1$  — ჭურჭელში წყლის დონეთა ცვალება.

ზემოთ განხილული თბური და ჰიდრავლიკური ოთხივე განტოლება ერთმანეთის ანალოგიურია. ასევე ანალოგიურია მათი ცალკეული მახასიათებელი ელემენტები (ცხრ. IV-2).

ცხრილი IV-2

თბური და ჰიდრავლიკური პროცესების ანალოგია

თბური პროცესი			ჰიდრავლიკური პროცესი		
ილნი-შენი-ბი	მახასიათებლების დასახელება	განზომილება	ილნი-შენი-ბი	მახასიათებლების დასახელება	განზომილება
$T$	ტემპერატურა	გრად	$H$	წყლის პიეზომეტრული დონე (დაწნევა)	სმ
$R$	თერმული წინაღობა	გრადმ <sup>2</sup> /ვტ	$\rho$	ჰიდრავლიკური წინაღობა	წთ/სმ <sup>2</sup>
$C$	სითბოტევადობა	კჯ/გრად კგ	$\omega$	ჭურჭლის განივკვეთის ფართობი	სმ <sup>2</sup>
$Q$	სითბოს რაოდენობა	კჯ	$G$	წყლის რაოდენობა	სმ <sup>3</sup>
$q$	სითბოს ნაკადი	ვტ	$j$	წყლის ნაკადი	სმ <sup>3</sup> /წთ

ზემოთ განხილულ ჰიდრავლიკურ მოდელში წყლის დონეთა ცვლილება

$$\omega \frac{\partial H}{\partial z_1} = \frac{1}{\rho} \Delta^2 H, \quad (IV-22)$$

სადაც  $\Delta$  — სასრული სხვაობაა.

თბური წინაღობისათვის ტემპერატურის ცვალების პროცესის განტოლება შემდეგი სახისაა:

$$C \frac{\partial t}{\partial z_{თბ}} = \frac{1}{R} \Delta^2 t. \quad (IV-23)$$

იმისათვის, რომ დადგინდეს დროის განმავლობაში, თუ როგორ შეესაბამება გამოსაკვლევი თბური პროცესი ჰიდრავლიკური პროცესის მიმდინარეობას, საჭიროა  $m_2$  დროის მასშტაბის ცოდნა, რომელიც გვიჩვენებს ნატურაში ტემპერატურული პროცესის მიმდინარეობის რამდენ საათს შეესაბამება მოდელზე ჰიდრავლიკური პროცესი.

ბუ (IV-22) და (IV-23) განტოლებებში ყველა ცვლად სიდიდეს შევ-  
ცვლით უგანზომილებო სიდიდეებად, მივიღებთ:

$$\frac{z_A}{\omega p} \quad \text{და} \quad \frac{z_{\text{თბ}}}{CR} = F_0,$$

სადაც  $\frac{z_{\text{თბ}}}{CR}$  ფურიეს კრიტერიუმია.

ცხადია, ეს კრიტერიუმები წარმოადგენს მსგავსების პროცესის განმსაზღვრელ კრიტერიუმებს.  $m_z$  მასშტაბი (სთ/წთ) შეიძლება განვსა-  
ზღვროდ მიღებული კრიტერიუმების ტოლობიდან

$$m_z = \frac{z_{\text{თბ}}}{z_A} = \frac{CR}{\omega p}. \quad (\text{IV-24})$$

მასშტაბები, რომლებიც სათანადოდ განსაზღვრავენ წყლის დონეს და  $m_z$  ტემპერატურას,  $m_R$  ჰიდრაულიკურ და თბურ წინაღობებს და  $m_z$  თბურ და ჰიდრაულიკურ ტევადობებს, შეიძლება მივიღოთ ნებისმიერად და გამოვთვალოთ ხელსაწყოს ჰიდრაულიკური პარამეტრებით.

ჰიდრაულიკურ მოდელზე მასშტაბური ფარდობების გამოყენებით შეიძლება განვახორციელოთ რთული თბური პროცესები. მაგალითად, საზღვარზე ცვლადი ტემპერატურული პირობები ჰიდრომოდელზე აღი წერება სასაზღვრო ჭურჭელში წყლის დონის ცვლილებით. ჰიდრაულიკური წინაღობებისა და ჭურჭლის განივკვეთის ცვლილებით ჰიდრომო-  
დელზე შეიძლება აღწეროთ სხვადასხვა მახასიათებლის მასალის ტემ-  
პერატურული ველი და სხვ.

ჰიდრაულიკური ინტეგრატორის დანიშნულებაა მათემატიკური ფი-  
ზიკის სასაზღვრო ამოცანების მიახლოებითი რიცხობრივი ამოხსნა, რო-  
მელიც აღიწერება ფურიეს ტიპის კერძო წარმოებულების დიფერენ-  
ციალური განტოლებებით.

IV-5 ნახაზზე მოცემულია ჰიდროინტეგრატორის მოწყობილობის სქემა.

ხელსაწყოს ძირითადი ნაწილია ჰიდრაულიკური სისტემა. წინააღ-  
მდეგობის ჰიდრაულიკური მილაკები 1 საშუალებას გვაძლევს წინააღ-  
მდეგობათა მნიშვნელობები შევცვალოთ ფართო დიაპაზონით. ჰიდრაუ-  
ლიკური ტევადობა 2 კი სხვადასხვა განივკვეთის მქონე ჭურჭლების ნაკ-  
რებია. მოცემული საწყისი პირობების შესაქმნელი ხელსაწყო 3 საშუა-  
ლებას გვაძლევს ერთმანეთისაგან განმზოლოებული ჭურჭლები შევაგ-  
სოთ საჭირო დონემდე. მოცემული საწყისი პირობების ხელსაწყო

4 მთელი რიგი წყალჩამოსასხამი სისტემაა, რომლის საშუალებით შეიძლება სასაზღვრო ტემპერატურის ცვლილების აღწერა.

სასაზღვრო პირობების ცვლილებათა გრაფიკები გამოიხატება ქალაქულზე, რომელიც დამაგრებულია მბრუნავ დოლზე. ტემპერატურის ზრდა ან შემცირება იწვევს წყლის სიბლანტის ცვლილებას და ჰიდრაგულიკური პროცესის სიჩქარეს. ეს ცვლილებები აღირიცხება დროის მასშტაბის გაზრდით ან შემცირებით. ცვლადი სასაზღვრო პირობების ამოცანის ამოხსნის დროის მასშტაბი განისაზღვრება დოლის ბრუნვის სიჩქარით.

ჰიდროინტეგრატორის ჭურჭლებში წყლის დონის მდგომარეობა ფიქსირებულია მილიმეტრულაზე, რომელიც დამაგრებულია ეკრანებზე პიეზომეტრების 5 უკან. თითოეულ ტევადობას აქვს ასეთი პიეზომეტრი.

სპეციალური მოწყობილობები, სახელდობრ, საცობიანი ონკანები 6, რომლებიც შეერთებულა ერთი წვეთით 7, შესაძლებლობას გვაძლევს დროის ნებისმიერ პროცესში შევაჩეროთ პროცესი, ე. ი. ერთდროულად განვაშლოთ ერთმანეთისაგან ყველა ჭურჭელი და ავიღოთ წყლის დონის მდგომარეობის ანათვალი. გარდა ამისა, პროცესის შეჩერება შესაძლებლობას გვაძლევს ხელსაწყოთა გამოანგარიშების დროს შევცვალოთ წინააღმდეგობა, ტევადობა, ჭურჭლებში წყლის დონის მდგომარეობა და ა. შ.

ამრიგად, ჰიდროინტეგრატორის დადებითი თვისებებია: სიმარტივე, პრაქტიკულია ნებისმიერი პროცესის გადაწყვეტა და შედეგების თვალსაჩინოება. ჰიდროინტეგრატორზე შეიძლება გადაწყდეს თბოგადაცემის ურთულესი ამოცანები, მაგალითად, თბოგადაცემის პროცესების მიმდინარეობა ჰაერის ფილტრაციის, წყლის მიგრაციის, ტენის აგრეგატული მდგომარეობის ცვლილების დროს და სხვ.

თ ა 3 0 V

## შემოგზავნილი კონსტრუქციისა და სათაჯის თბოგადაცემა

§ V-I. შემოგზავნილი კონსტრუქციაში შემვიტარებული  
ცვლილების ჩაძროგის ამოცანის ანალიზური ამოხსნა

სამშენებლო თბოტექნიკაში დიდი მნიშვნელობა აქვს ტემპერატურებისა და თბური ნაკადების პერიოდულ რხევებთან დაკავშირებულ საკითხებს.

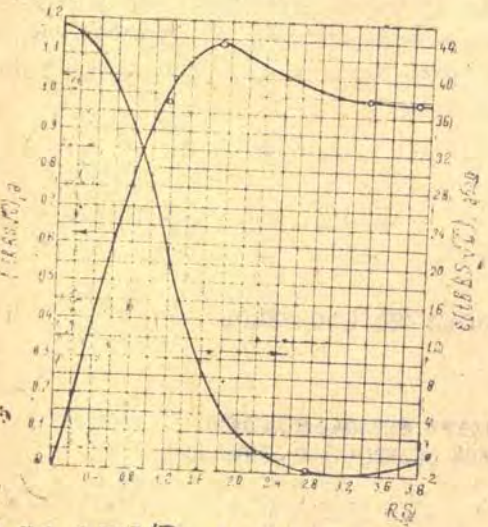


ატმოსფერული ჰაერის ტემპერატურა სეზონურად განუწყვეტლივ იცვლება, რაც იწვევს მოცემული შემომზღული კონსტრუქციების ჭარბ ზედაპირების მიერ გაცემული სითბოს რაოდენობის პერიოდულ რხევას. მუდმივად იცვლება აგრეთვე სითბოს ნაკადი შემომზღული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზე, რის გამოც იცვლება სათავისის ჰაერის, შიგა ზედაპირებისა და კონსტრუქციის ცალკეული შრეების ტემპერატურებიც.

შემომზღული კონსტრუქციები ტემპერატურის ცვლილებას სხვადასხვანაირად რეაგირებს. მაგალითად, ნაწილი სწრაფად იცვლის ტემპერატურას ატმოსფერული ან სათავისის ტემპერატურის ცვლილებით, ნაწილი კი — ნელა. ამიტომ გარემო ჰაერის ტემპერატურის ცვლება პირველ შემთხვევაში შემომზღული კონსტრუქციის მეშვეობით სწრაფად გადაეცემა ამ კონსტრუქციის შიგა ზედაპირებს და შემდეგ სათავისის ჰაერს, ვიდრე მეორე შემთხვევისას. შემომზღული კონსტრუქციის ამ თვისებას თბომდგრადობა ეწოდება.

თბომდგრადობა შემომზღული კონსტრუქციის თვისებაა — თბური ნაკადების ცვლილების დროს შეინარჩუნოს ფარდობითი ტემპერატურული მუდმივობა.

თბომდგრადობის თეორიის ფუძემდებელმა ო. ვლასოვმა განსაზღვრა — თბური ნაკადებისა და ტემპერატურის რხევები ჰარმონიული რხევებია ან რიგი ჰარმონიკების ჯამია. ამიტომ შემომზღული კონსტრუქციის თვისებების შესწავლას სითბოსა და ტემპერატურების პერიოდული რხევების დროს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ამ პარაგრაფში განხილულია ამოცანის ზუსტი ანალიზური ამოხსნა მრავალშრიან კედელში ტემპერატურული რხევების გადაცემის დროს. ამოცანის ამოხსნისას გამოყენებულია ვ. ბოგოსლოვსკის მონოგრაფიაში მოცემული ო. ვლასოვისა და ს. მურომოვის ანალიზური ამოხსნები.



დირითადი საანგარიშო ფორმულების გამოყენების გასამარტივებლად განვიხილოთ რხევების მიღვევის ამოცანა, როდესაც ატმოსფერული რხევების დროს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ამ პარაგრაფში განხილულია ამოცანის ზუსტი ანალიზური ამოხსნა მრავალშრიან კედელში ტემპერატურული რხევების გადაცემის დროს. ამოცანის ამოხსნისას გამოყენებულია ვ. ბოგოსლოვსკის მონოგრაფიაში მოცემული ო. ვლასოვისა და ს. მურომოვის ანალიზური ამოხსნები.

დირითადი საანგარიშო ფორმულების გამოყენების გასამარტივებლად განვიხილოთ რხევების მიღვევის ამოცანა, როდესაც ატმოსფერული რხევების დროს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა აქვს. ამ პარაგრაფში განხილულია ამოცანის ზუსტი ანალიზური ამოხსნა მრავალშრიან კედელში ტემპერატურული რხევების გადაცემის დროს. ამოცანის ამოხსნისას გამოყენებულია ვ. ბოგოსლოვსკის მონოგრაფიაში მოცემული ო. ვლასოვისა და ს. მურომოვის ანალიზური ამოხსნები.

ნახ. V-1.  $hRS\sqrt{i}$  ფუნქციის მოდულისა და არგუმენტის ცვლილების გრაფიკი

სტორი პერის საშუალო  $t_{30}$  და  $t_3$  ტემპერატურები ერთმანეთის ტოლია და უდრის ნულს (V-1). ზოგადი ფიზიკურ-მათემატიკური მოდელი შემდეგია: გარე გარემოს ტემპერატურა იცვლება საშუალო ტემპერატურის  $t_{30}=0=\text{const}$  მიმართ სწორი პარაბოლური რხევებით, რომლის სრული პერიოდია  $T$  და ამპლიტუდა  $A_{t_3}$ . შიგა გარემოს ტემპერატურა ტოლია  $t_3=0=\text{const}$ . მოცემულია აგრეთვე შიგა და გარე ზედაპირებზე თბოგაცემის  $\alpha_3$  და  $\alpha_6$  კოეფიციენტები, შემომზღუდი კონსტრუქციის მატერიალური შრეების  $\lambda_1, C_1$  მახასიათებლები და  $\delta$  სისქე.

კედლის თითოეული შრის საზღვრებში მართებულია (II-17) ფურციეს განტოლება. შიგა და გარე ზედაპირებზე მოცემულია თბოგაცემის მესამე რიგის პირობები. კედლის მატერიალური შრეების პირაპირზე თბური ნაკადები და ტემპერატურები ერთმანეთის ტოლია.

ამოცანის ამოხსნა მდგომარეობს შემდეგში: შემომზღუდი კონსტრუქციის სიზრქესა და ზედაპირებზე განვსაზღვროთ ტემპერატურული რხევების მიღება ან ნებისმიერ  $x$  კვეთში  $z$  დროის განმავლობაში დავადგინოთ  $t(x, z)$  ტემპერატურა.

თბოგამტარობის დიფერენციალური განტოლება ამოიხსნება ცვლადთა განცალგების მეთოდით, საძიებელი დამოკიდებულება  $t(x, z)$  კი მიიღება ორი დამოუკიდებელი ფუნქციის ნამრავლის სახით, რომელთაგან ერთი მათგანი დამოკიდებულია მხოლოდ  $x$ -ზე, ხოლო მეორე —  $z$ -ზე, ე. ი.

$$t(x, z) = c f_1(x) f_2(z), \quad (V-1)$$

სადაც  $c$  არის ნებისმიერი მუდმივა.

თუ თბოგამტარობის ძირითად (II-17) განტოლებაში (V-1) განტოლებიდან ჩავსვამთ  $t(x, z)$  მნიშვნელობას, მივიღებთ:

$$\frac{\partial [c f_1(x) f_2(z)]}{\partial z} = a \frac{\partial^2 [c f_1(x) f_2(z)]}{\partial x^2}. \quad (V-2)$$

დიფერენცირებისა და ცვლადთა დაჯგუფების შემდეგ

$$\frac{1}{a f_2(z)} \frac{\partial [f_2(z)]}{\partial z} = \frac{1}{c f_1(x)} \frac{\partial^2 [f_1(x)]}{\partial x^2}. \quad (V-3)$$

განტოლების მარცხენა ნაწილი დამოკიდებულია მხოლოდ  $z$  დროზე, ხოლო მარჯვენა —  $x$  კვეთზე. ისინი ერთმანეთის ტოლია იმ შემთხვევაში, როდესაც განტოლების მარცხენა და მარჯვენა ნაწილები ერთი და იმავე ცვლადის სიდიდის ტოლი იქნება. ცხადია, ცვლადი არ იქნება დამოკიდებული არც  $x$ -ისა და არც  $z$ -ის მნიშვნელობებზე. მივიღოთ ასეთ მნიშვნელობად  $\psi^2$  და ცალ-ცალკე გავუტოლოთ ის მარცხე-

ნა და მარჯვენა ნაწილებს, რის შედეგადაც მივიღებთ ორ ჩვეულებრივ დიფერენციალურ განტოლებას:

$$\frac{1}{af_2(z)} \frac{d[f_2(z)]}{dz} = -\psi^2; \quad (V-4)$$

$$\frac{1}{cf_1(x)} \frac{d^2[cf_1(x)]}{dx^2} = -\psi^2. \quad (V-5)$$

(V-4) განტოლების ამოხსნით მივიღებთ ფუნქციას

$$f_2(z) = e^{a\psi^2 z}. \quad (V-6)$$

ინტეგრირების მუდმივას (V-6) განტოლებაში არ ვწერთ და შეგვაქვს (V-1) განტოლების  $\epsilon$  მნიშვნელობაში.

მოცემულ ამოცანაში  $\psi^2$  მუდმივა ისე უნდა შევარჩიოთ, რომ საძიებელი დამოკიდებულებები იქნეს დროის პერიოდული ფუნქციები. (V-6) განტოლების ექსპონენტა შეიძლება იყოს ასეთი ფუნქცია, თუ  $\psi^2$  იქნება განყენებული სიდიდე და იგი ტოლია

$$\psi^2 = \frac{i\omega^2}{a}, \quad (V-7)$$

სადაც  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  წრიული სიხშირეა, მაშინ (V-6) განტოლება ასე გამოიხატება:

$$f_2(z) = e^{i\omega z}. \quad (V-8)$$

ასე, რომ (V-5) დიფერენციალური განტოლების ფუნქციას  $cf(x)$  თავის ტოლი მეორე წარმომებული აქვს. ასეთი ფუნქციებია ჰიპერბოლური სინუსი  $\text{sh}$  და ჰიპერბოლური კოსინუსი  $\text{ch}$ . (V-5) განტოლების ამოხსნა მოცემულია ა. ლიკოვის მონოგრაფიაში. აღნიშნული შემთხვევისათვის, როდესაც  $f_1$  დამოკიდებულია მხოლოდ ერთ  $x$  ცვლადზე, (V-5) განტოლება შეიძლება წარმოვიდგინოთ ორი კერძო ამოხსნის სახით

$$c_1 f_1(x) = c_1 \text{ch } \psi x + c_2 \text{sh } \psi x. \quad (V-9)$$

(V-9) განტოლებაში  $c_1$  და  $c_2$  ინტეგრირების მუდმივებია, რომლებსაც განვსაზღვრავთ ამოცანის სასაზღვრო პირობიდან.

(V-1) განტოლების ზოგად ამოხსნაში პირველი თანამართავლი  $cf_1(x)$  ტემპერატურის რხევის ამპლიტუდაა, ხოლო მეორე  $f_2(z)$  -- სრული ამპლიტუდის ნაწილი. გაშლილი სახით (V-1) განტოლება ასე გამოიხატება:

$$f(x, z) = (c_1 \text{ch } \psi x + c_2 \text{sh } \psi x) e^{a\psi^2 z}. \quad (V-10)$$

(V-10) განტოლება წარმოადგენს (II-17) ფურიეს განტოლების ამონახსნს.  $x$ -ის მიხედვით ორმაგი დიფერენცირების შედეგად (V-10) განტოლებიდან

$$a \frac{\partial^2 t(x, z)}{\partial x^2} = a \psi^2 (c_1 \operatorname{ch} \psi x + c_2 \operatorname{sh} \psi x) e^{a \psi^2 z} \quad (\text{V-11})$$

ამავე განტოლების დიფერენცირება  $z$ -ით იქნება:

$$\frac{\partial t(x, z)}{\partial z} = (c_1 \operatorname{ch} \psi x + c_2 \operatorname{sh} \psi x) a \psi^2 e^{a \psi^2 z} \quad (\text{V-12})$$

თუ (V-11) და (V-12) განტოლებათა მარჯვენა ნაწილები ტოლია, მაშინ მისი მარცხენა ნაწილებიც ტოლი იქნება, რაც აკმაყოფილებს (II-17) განტოლებას. ამრიგად, (V-10) განტოლება ფურიეს (II-17) განტოლების ამონახსნია.

თბური ნაკადი  $q(x, z)$ , რომელიც  $z$  დროისა და  $x$  სივრცეში იცვლება, შეიძლება მივიღოთ  $t(x, z)$  განტოლების დიფერენცირებით:

$$\begin{aligned} -q(x, z) &= \lambda \frac{\partial t}{\partial x} = \lambda \psi (c_1 \operatorname{sh} \psi x + c_2 \operatorname{ch} \psi x) e^{a \psi^2 z} = \\ &= s \sqrt{i} (c_1 \operatorname{sh} \psi x + c_2 \operatorname{ch} \psi x) e^{a \psi^2 z}, \end{aligned} \quad (\text{V-13})$$

სადაც

$$\lambda \psi = \lambda \sqrt{\frac{i 2 \pi c \gamma}{\lambda T}} = \sqrt{\frac{2 \pi c \gamma \lambda}{T}} \sqrt{i} = s \sqrt{i}. \quad (\text{V-14})$$

მიღებულ (V-14) განტოლებაში  $s$  არის მატერიალური შრის სითბოს შეთვისების კოეფიციენტი და იგი დამოკიდებულია მასალის თბოფიზიკურ მახასიათებლებსა ( $\lambda, c, \gamma$ ) და რხევის სრულ პერიოდზე ( $T$ ). მისი განზომილებაა ვტ/მ<sup>2</sup>. გრად.

$c_1$  და  $c_2$  კოეფიციენტების მნიშვნელობებს განვსაზღვრავთ (V-10) და (V-13) განტოლებებში შემომზღუდი კონსტრუქციების შიგა პირობების გათვალისწინებით. დავეშვათ, შიგა ზედაპირზე საწყისი კოორდინატა  $x=0$ , მაშინ (V-10) განტოლება შემდეგი სახისაა:

$$t(x=0; z) = (c_1 \cdot 1 + c_2 \cdot 0) e^{a \psi^2 z} = c_1 e^{a \psi^2 z} \quad (\text{V-15})$$

ამრიგად, საწყისი ფაზის გათვალისწინებით შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზე  $c_1$  სიდიდე,  $f_1(x)$  სიდიდის ანალოგიურად (V-1) განტოლებაში ტემპერატურის რხევის ამპლიტუდაა. თუ საწყის მომენტში მივიღებთ  $z$  დროს,  $x=0$  კვეთში ტემპერატურული მაქსიმუმისათვის  $c_1$  შიგა ზედაპირზე ტემპერატურული რხევის ამპლიტუდის

$A_t(x=0)$  ტოლი იქნება, ხოლო ზედაპირის ტემპერატურის ჰარმონიულ რხევა გამოისახება შემდეგი განტოლებით:

$$t(0, z) = A_{t(0)} \cdot e^{\frac{2\pi z}{T} i} \quad (V-16)$$

(V-13) განტოლების თანახმად, შიგა ზედაპირზე თბური ნაკადი

$$q(x=0, z) = s \sqrt{i} (c_1 \cdot 0 + c_2 \cdot 1) e^{a\psi^2 z} = c_2 s \sqrt{i} e^{a\psi^2 z} \quad (V-17)$$

(V-17) განტოლებაში  $c_2 s \sqrt{i}$  ნამრავლს შეესაბამება თბური ნაკადის ამპლიტუდა საწყისი მომენტის გათვალისწინებით. მისი ნამდვილი სიდიდე თბური ნაკადის ამპლიტუდის  $A_{q(0)}$  ტოლია.

ამრიგად, მივიღოთ  $t(x, z)$  და  $q(x, z)$  მნიშვნელობები სასაზღვრო ზედაპირის ცნობილი პირობებისათვის ( $x=0$ ). როგორც წესი, შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზე მოცემულია შიგა ჰაერის თბოგაცემის პირობები

$$q(0, z) = \alpha [t(0, z) - t_a] \quad (V-18)$$

მოცემულობის თანახმად, ჰაერის ტემპერატურა  $t_a$  მუდმივი სიდიდეა და  $t_a=0$ . (V-18) განტოლებიდან გამომდინარეობს, რომ დროის ნებისმიერ მომენტში თბური ნაკადისა და ზედაპირის ტემპერატურის ფარდობა კონფექციური თბოგაცემის კოეფიციენტის ტოლია

$$\frac{q(0, z)}{t(0, z)} = \alpha \quad (V-19)$$

(V-19) განტოლება მუდმივი სიდიდეა და ნამდვილი რიცხვის ტოლია. აღსანიშნავია, რომ შიგა ზედაპირზე  $x=0$ ,  $q$  და  $t$  რხევებს შორის ფაზის ძვრა არ აღემატება, ამიტომ თბოგაცემის კოეფიციენტი აგრეთვე ამპლიტუდების ფარდობის ტოლია

$$\alpha = \frac{A_{q(0)}}{A_{t(0)}} \quad (V-20)$$

მაშასადამე, ჩვეულებრივი თბოგაცემის პირობების დროს მოცემულია არა თბური ნაკადისა და ტემპერატურების მახასიათებლების ცვლილება, არამედ მათი სიდიდეთა ფარდობა.

ამასთან დაკავშირებით საჭიროა თბომდგრადობის თეორიაში შემოტანილ იქნეს სპეციალური მაჩვენებელი — ზედაპირის თბოშეთვისების  $y$  კოეფიციენტი. ზოგადი შემთხვევისათვის, შემომზღუდი კონსტრუქციაში, ნებისმიერ  $x$  კვეთსა და ნებისმიერ  $z$  დროის მომენტში მისი სიდიდე

$$y(x, z) = \frac{q(x, z)}{t(x, z)} \quad (V-21)$$

ამ შემთხვევაშიც  $y$  სიდიდე, როგორც  $q$  და  $t$ , შეიძლება გამოვსახოთ კომპლექსური სიდიდით, რომლის ნამდვილი მნიშვნელობა, ე. ი. მისი  $y_{\text{მაქს}}(x)$  მოდული  $q$ -სა და  $t$ -ს ამპლიტუდის ფარდობის ტოლია

$$y_{\text{მაქს}}(x) = \frac{A_q(x)}{A_t(x)}, \quad (\text{V-22})$$

ხოლო  $\varepsilon_y(x)$  არგუმენტი  $x$  კვეთში თბური ნაკადის  $\varepsilon_q(x)$  ფაზის ტემპერატურის ფაზასთან წინსწრებაა და ტოლია

$$\varepsilon_y(x) = \varepsilon_q(x) - \varepsilon_t(x). \quad (\text{V-23})$$

თუ დავუბრუნდებით შიგა ზედაპირზე თბოცვლის პირობებს, როდესაც  $y(x=0)$ , იგი გამოისახება შემდეგი სახით:

$$y(x=0) = \alpha; \quad (\text{V-24})$$

$$y_{\text{მაქს}}(x=0) = \alpha \text{ და } \varepsilon_y(x=0) = 0. \quad (\text{V-25})$$

ამ კერძო შემთხვევისათვის ზედაპირის თბოშეთვისების კოეფიციენტი თავისი მოდულის ტოლია და წარმოადგენს მატერიალურ რიცხვს  $-\alpha$ .

(V-10) და (V-13) გამოსახულებათა გამოყენებით მივიღებთ ზედაპირის თბოშეთვისების კოეფიციენტის განტოლებას

$$\begin{aligned} y_x = s\sqrt{i} &= \frac{\text{sh } \psi x + \frac{c_2}{c_1} \text{ch } \psi x}{\text{ch } \psi x + \frac{c_2}{c_1} \text{sh } \psi x} = \frac{s\sqrt{i} \left( \text{th } \psi x + \frac{c_2}{c_1} \right)}{1 + \frac{c_2}{c_1} \text{th } \psi x} \\ &= s\sqrt{i} \frac{\text{th } sR\sqrt{i} + \frac{y(x=0)}{s\sqrt{i}}}{1 + \frac{y(x=0)}{s\sqrt{i}} \text{th } sR\sqrt{i}}. \end{aligned} \quad (\text{V-26})$$

ეს განტოლება (V-14). განტოლების ანალოგიურია, რომელიც ტოლია

$$\psi x = \frac{s\sqrt{i}}{\lambda} = sR\sqrt{i}, \quad (\text{V-27})$$

სადაც  $R-x$  სისქის მასალის შრის თერმული წინაღობაა.

გარდა ამისა,  $c_2/c_1$  ფარდობა გამოსახულია  $y(x=0)$  სიდიდის მიმართ. (V-15) და (V-17) განტოლებათა თანახმად,

$$\frac{c_2 s\sqrt{i}}{c_1} = y(x=0); \quad (\text{V-28})$$

$$\frac{c_2}{c_1} = \frac{y(0)}{s\sqrt{i}} \quad (V-29)$$

განსახილველი პროცესის შემდგომი გაანგარიშებისათვის მოსახერხებელ მახასიათებლად მიღებულია ტემპერატურული რხევის მიღევის მაჩვენებელი  $v(x)$ . მისი სიდიდე გვიჩვენებს, თუ რამდენად მიიღევა ტემპერატურული რხევები, როდესაც ის გადის  $x$  კვეთიდან  $x=0$ -მდე მატერიალურ შრეს, ე. ი.  $x$  სიბრტყეში  $t(x, z)$  და  $x=0$  სიბრტყეში  $t(x=0, z)$  ტემპერატურულ რხევათა ფარდობა ტოლია

$$v(x) = \frac{t(x, z)}{t(x=0, z)} = \frac{\operatorname{ch} \psi x + \frac{y(x=0)}{s\sqrt{i}} \operatorname{sh} \psi x}{\operatorname{ch} \psi x + \frac{y(x=0)}{s\sqrt{i}} \operatorname{sh} \psi x} \quad (V-30)$$

(V-30) განტოლება შეიძლება მივიღოთ სხვა სახითაც. კერძოდ, თუ გამოვიყენებთ (V-30) განტოლებას და (V-26) გამოსახულების პირველ ნაწილს, მაშინ შეგვიძლია გარდაექმნათ შემდეგი იგივეობა:

$$\begin{aligned} 1 + \frac{y(x)}{s\sqrt{i}} &= \frac{\operatorname{ch} \psi x + \frac{y(x=0)}{s\sqrt{i}} \operatorname{sh} \psi x}{v(x)} + \frac{\operatorname{sh} \psi x + \frac{y(x=0)}{s\sqrt{i}} \operatorname{ch} \psi x}{\operatorname{ch} \psi x + \frac{y(x=0)}{s\sqrt{i}} \operatorname{sh} \psi x} = \\ &= \frac{\operatorname{ch} \psi x + \operatorname{sh} \psi x + \frac{y(x=0)}{s\sqrt{i}} (\operatorname{sh} \psi x + \operatorname{ch} \psi x)}{v(x)} \quad (V-31) \end{aligned}$$

$\operatorname{ch} \psi x + \operatorname{sh} \psi x = e^{\psi x}$  საფუძველზე, (V-30) ფორმულიდან

$$v(x) = e^{\psi x} \frac{1 + \frac{y(x=0)}{s\sqrt{i}}}{1 + \frac{y(x)}{s\sqrt{i}}} = e^{Rs\sqrt{i}} \frac{s\sqrt{i} + y(x=0)}{s\sqrt{i} + y(x)} \quad (V-32)$$

როგორც (V-26) და (V-32) განტოლებებიდან ჩანს, ნებისმიერი  $x$  შრის კვეთისათვის  $v(x)$  და  $y(x)$  განსასაზღვრავად აუცილებელია საზღვარზე  $x=0$  მივიღოთ მხოლოდ ერთი სასაზღვრო პირობა — ზედაპირის თბოშეთვისების კოეფიციენტი  $y(0)$ .

მრავალშრიანი შემომზღული კონსტრუქციის 1-ელი შრისათვის, რომელიც ესაზღვრება სათავსს, თბოშეთვისების კოეფიციენტი  $y(0) = \alpha$  მოცემულია (V-26) განტოლებიდან; 1-ელი შრის ზედაპირის მოსაზღვრე მე-2 შრისათვის შეიძლება განვსაზღვროთ თბოშეთვისების  $y_1$  კოეფიციენტი. თუ მივიღებთ  $y_1$  მეორე შრის სასაზღვრო პირობად, შეიძლება მე-2 შრეში (V-32) განტოლების მეშვეობით გამოვთვალოთ რხევის

მიღება, ხოლო მე-3 შრის საზღვარზე (IV-26) განტოლებით მიიღება თბოშეთვისების  $y_2$  კოეფიციენტის მნიშვნელობა.

ამრიგად, მიმდევრობით თუ განვიხილავთ თითოეულ შრეს, შეიძლება გამოვიანგარიშოთ საბოლოო შრის თბოშეთვისება.

როგორც ფორმულიდან და განსაზღვრებიდან ჩანს, ყველა შრისათვის  $\nu$  და  $y$  მნიშვნელობები დამოკიდებულია მხოლოდ შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის სასაზღვრო პირობაზე  $y(0)$ , შრეების გეომეტრიასა და ფიზიკურ პარამეტრებზე. ნებისმიერი შრისათვის (V-32) და (V-26) განტოლებები, რომელთა წინა შრეა  $n-1$ , ზოგადად შემდეგი სახისაა:

$$\nu_n = e^{R_n S_n \sqrt{i}} \frac{S_n \sqrt{i} + y_{n-1}}{S_n \sqrt{i} + y_n}, \quad (V-33)$$

$$y_n = \frac{S_n \sqrt{i} \text{th} R_n S_n \sqrt{i} + y_{n-1}}{1 + \frac{y_{n-1}}{S_n \sqrt{i}} \text{th} R_n S_n \sqrt{i}}. \quad (V-34)$$

გარემო ჰაერიდან კონსტრუქციის გარე ზედაპირზე ტემპერატურის რხევის მიღევის მახასიათებლის  $\nu_0$  განსაზღვრავად, სასაზღვრო პირობად შეიძლება გამოყენებულ იქნეს გარე ზედაპირის სითბოშეთვისების  $y_0$  კოეფიციენტი. რადგან

$$(t_0 - \tau_0) \alpha_0 = q_0,$$

ამიტომ

$$y_0 = \frac{q}{\tau_0} = \alpha_0 \left( \frac{t_0}{\tau_0} - 1 \right) = \alpha_0 (\nu_0 - 1); \quad (V-35)$$

$$\nu_0 = \frac{t_0}{\tau_0} = 1 + \frac{y_0}{\alpha_0} = 1 + R_0 y_0.$$

მრავალშრიან შემომზღუდი კონსტრუქციის სიბრტყეში ტემპერატურული რხევის  $\nu$  მიღევის მახასიათებელს განვსაზღვრავთ როგორც ცალკეულ შრეებში მიღევის ნამრავლს, გარემო ჰაერიდან გარე ზედაპირზე რხევის მიღევის მახასიათებელზე

$$\nu = \Pi \nu_n \cdot \nu_0, \quad (V-36)$$

სადაც  $\Pi$  — ნამრავლის ნიშანია.

ამრიგად, თუ მოცემულია გარე ზედაპირზე ტემპერატურული რხევა, თბოგაცემის  $\alpha_0$  და  $\alpha_0$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები და შემომზღუდი კონსტრუქციის სრული მახასიათებელი, ტემპერატურული მიღევის მახასიათებლის მეშვეობით შეგვიძლია კონსტრუქციის ნებისმიერ კვეთში გამოვიანგარიშოთ ტემპერატურული ცვლილება, მათ შორის კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზეც.



ზუსტი ფორმულებით გათვლა რთული არ არის, მაგრამ ამ ფორმულებით გაანგარიშებისას საჭიროა გამოვიყენოთ კომპლექსური რიცხვები, ჰიპერბოლური ფუნქციები და სპეციალური ცხრილები და გრაფიკები. პრაქტიკაში ჩვეულებრივად იყენებენ მიახლოებით საინჟინრო გამოთვლის მეთოდებს.

V-1 ნახაზზე მოყვანილია მოდულისა და არგუმენტის მნიშვნელობები როგორც  $thRS' \sqrt{i}$  გამოსახულების ფუნქცია (V-34) ფორმულაში, ამ გრაფიკიდან ჩანს, რომ, როდესაც  $RS < 1$ , მაშინ მოდულის ფუნქცია მიახლოებით ტოლია:

$$(thRS \sqrt{i})_a = RS. \quad (V-37)$$

როცა  $RS \geq 1$ , მოდულის ფუნქცია უახლოვდება ერთს—

$$(thRS \sqrt{i})_a = 1. \quad (V-38)$$

იმავე დროს თვითონ ფუნქციის სიდიდე მხოლოდ  $RS \geq 3,0$  მნიშვნელობის დროს უახლოვდება ერთს (მოდული — 1, არგუმენტი — 0).

მიახლოებით ფორმულებში  $s$  და  $y$  სიდიდეები ითვლებიან, როგორც ნივთიერი რიცხვები და თბური ნაკადისა და ტემპერატურის ამპლიტუდის ფარდობის ტოლი.

თუ მივიღებთ ამ გამარტივებულ დაშვებებს, რომლებიც შემოწმებულია მრავალრიცხოვანი გაანგარიშებით, მაშინ, როდესაც  $R_n S_n < 1$ , (IV-34) ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$y_n = \frac{S_n S_n R_n + y_{n-1}}{1 + \frac{y_{n-1} R_n S_n}{S_n}} = \frac{R_n S_n^2 + y_{n-1}}{1 + R_n y_{n-1}}. \quad (V-39)$$

ხშირად მასჯლის შრეს, როდესაც  $R_n s_n < 1$ , უწოდებენ „თხელ“ შრეს.

„სქელი“ შრისათვის, როდესაც  $R_n S_n > 1,0$ , გამოსაანგარიშებელი (IV-34) ფორმულა შემდეგი სახისაა:

$$y_n = \frac{S_n \cdot 1 + y_{n-1}}{1 + \frac{y_{n-1}}{S_n}} = S_n. \quad (V-40)$$

(V-39) ფორმულა შედარებით ყველაზე დიდ ცდომილებას გვაძლევს შენობზღუდი კონსტრუქციის შიგა შრის სითბოს შეთვისების კოეფიციენტის განსაზღვრის დროს. მაგრამ, უმეტეს შემთხვევაში, ზემოთ მოყვანილი ფორმულები ზუსტია და საკმარისი საინჟინრო გაანგარიშების დროს.



შემომავლელ კონსტრუქციაში თვითგადატანის ყველაზე გავრცელებული შემთხვევაა, როდესაც გარემოს ტემპერატურა იცვლება, ხოლო სათავის ტემპერატურა უცვლელია (ნახ. V-2).

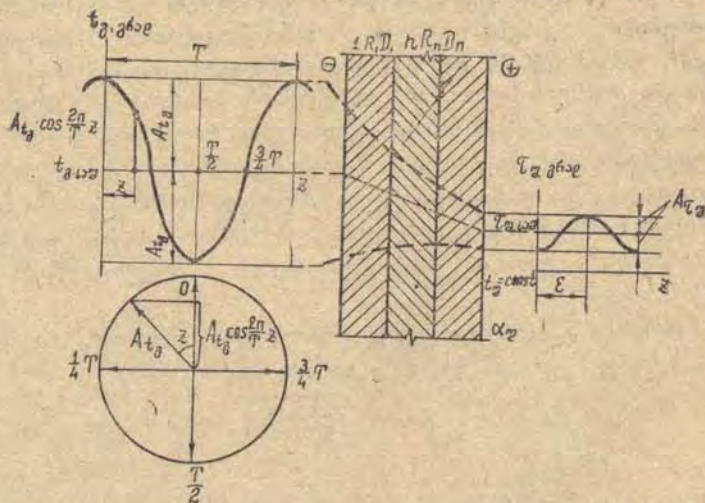
სწორი პარამონიული რხევების დროს გარემო ჰაერის ტემპერატურა იცვლება საშუალო მნიშვნელობის  $t_{\text{გ}}$  მიმართ  $T$  პერიოდით ისე, რომ  $x$  დროის ნებისმიერ მომენტში

$$t_{\text{გ}} = St_{\text{გ0}} + A_{t_{\text{გ}}} \cos \frac{2\pi}{T} \tau, \quad (\text{V-41})$$

სადაც  $A$  არის ტემპერატურის გადახრა მის საშუალო მნიშვნელობის მიმართ ან გარემო ჰაერის ტემპერატურის რხევის ამპლიტუდა.

(V-40) ფორმულაში მარჯვენა ნაწილის პირველი წევრი არ არის დამოკიდებული ტემპერატურაზე, ხოლო მეორე დროის მიხედვით განსაზღვრავს ტემპერატურის ცვალებას. ეს ცვლილება მიმდინარეობს კოსინუსების კანონით, რომლისთვისაც დროის ათვლის საწყისი მომენტი  $\tau=0$  ემთხვევა პერიოდის  $T$  დასაწყისს. ცხადია, შეიძლება დროის ათვლის დასაწყისი მივიღოთ პერიოდის დასაწყისზე  $\varepsilon$  საათით ადრე ან გვიან, მაშინ ტემპერატურის ცვლილებას განვსაზღვრავთ ფორმულით

$$t_{\text{გ}} = t_{\text{გ0}} + A_{t_{\text{გ}}} \cos \frac{2\pi}{T} (\tau \pm \varepsilon). \quad (\text{V-42})$$



ნახ. V-2. შემომავლელ კონსტრუქციაში ტემპერატურული რხევების ჩახშობა

ნიშან „მინუსს“ შეესაბამება შემთხვევა, როდესაც რხევები იცვნი-  
ნებს დროში და ათვლა დასაწყის  $T$  პერიოდზე  $\varepsilon$  საათით აღრე ხდება.  
გარემო ჰაერის ტემპერატურული რხევები გამოიწვევს შემომზღუ-  
დი კონსტრუქციის სიზრქეში და მის ზედაპირზე თბური ნაქადების და  
ტემპერატურების ცვლილებას.

ტემპერატურის რხევის ამპლიტუდა შემომზღუდი კონსტრუქციის  
სიზრქეში მცირდება გარე ზედაპირიდან შიგა ზედაპირისაკენ. ნებისმიერ  
რო  $X$  კვეთისათვის (ნახ. V-2) ტემპერატურის  $t_x$  ცვლილების ამპლი-  
ტუდის  $A_{tx}$  მნიშვნელობა  $\nu_x$ -ჯერ ნაკლებია გარე ზედაპირის ამპლიტუ-  
დაზე  $A_{t_0}$ , ე. ი.

$$\nu_x = \frac{A_{t_0}}{A_{tx}} \quad (V-43)$$

დროში (ფაზაში) რხევებში ჩამორჩება გარე ჰაერის ტემპერატურის  
ცვლილებას  $\varepsilon$  საათით, თუ დროის ათვლის დასაწყისი ემთხვევა ტემპე-  
რატურის ცვლილების პერიოდის დასაწყისს, მაშინ  $X$  კვეთში ტემ-  
პერატურის ცვლილებას განვსაზღვრავთ ფორმულით

$$t_x = t_{x0} + A_{tx} \cos \frac{2\pi}{T} (\tau - \varepsilon_x) \quad (V-44)$$

სადაც  $t_{x0}$ — $X$  კვეთში ტემპერატურის საშუალო მნიშვნელობაა.

ტემპერატურების ცვლილებასთან ერთად იცვლება თბური ნაქადების  
მნიშვნელობებიც, რომლებიც იცვლებიან თავისი საშუალო მნიშვნელო-  
ბების მიმართ კოსინუსების კანონით  $A_t$  ამპლიტულით.

როგორც აღვნიშნეთ, თბური პროცესების გაანგარიშების დროს  
შიახლოებით განვსაზღვრავთ თბოშეთვისების კოეფიციენტებს  
 $\mu$  ვტ/მ<sup>2</sup>. გრად [(V-39) და V-40) ფორმულები], რომლებიც თბური ნა-  
ქადისა და ტემპერატურის ამპლიტუდების ფარდობის ტოლია.

საკმაოდ დიდი სისქის ერთგვაროვანი შრის შუა ნაწილში, სადაც  
პრაქტიკულად არ მოქმედებს ზედაპირების პირობები, თბოშეთვისე-  
ბის კოეფიციენტი დამოკიდებულია მხოლოდ შრის მასალის თვისებებზე.  
ამ ნაწილის საზღვრებში („რეგულარული“ შრის რხევა)  $\mu$ -ის მნიშვნელო-  
ბა მასალის კუთრი თბოშეთვისების კოეფიციენტის ტოლია  
 $S$  (ვტ/მ<sup>2</sup>. გრად.).

როგორც ცნობილია,  $\lambda$  დაკავშირებულია მასალის სხვა თბოფიზი-  
კურ მახასიათებლებთან შემდეგი სახით:

$$S = \sqrt{\frac{2\pi\lambda c \gamma}{T}} \quad (V-45)$$

სადაც  $T$ —პერიოდია.

როდესაც  $T = 24$  სთ, მაშინ

$$S = 0,51 \sqrt{\lambda c \gamma} \quad (V-46)$$

თუ  $T=12$  სთ, რიცხობრივი კოეფიციენტი (V-46) ფორმულაში უდრის 0,72. პეროდის  $n$ -ჯერ შემცირებით  $s$  იზრდება  $\sqrt{n}$ -ჯერ.

ამრიგად, რაც უფრო ვცილდებით ზედაპირს, რხევები, სიზრქეში მიისწრაფვის უსასრულო სიზრქის ანალოგიურად „რეგულარული“ რეჟიმისაკენ.

ზედაპირთან მასალის შრეს, რომელშიც მიმდინარეობს რეგულარული რხევები, ეწოდება აქტიური. მის სისქეს განსაზღვრავენ თბური ინერციის მახასიათებლის  $D_n$  (პირობითი სისქე) მეშვეობით. პირობითი სისქე უგანზომილებო სიდიდეა

$$D_n = R_n S_n, \quad (V-47)$$

სადაც  $R_n$  არის შრის თერმული წინაღობა, გრად. მ<sup>2</sup>/ვტ;

$S_n$  — კუთრი თბოშეტვისების კოეფიციენტი, ვტ/მ<sup>2</sup>. გრად როდესაც მკვეთრი ტემპერატურული რხევის შრედ მიღებულია ისეთი შრე, რომლისთვისაც  $D=1$ , ე. ი.

$$D_n = R_n S_n = 1,$$

საიდანაც

$$\frac{\delta}{\lambda} S = 1,$$

აქედან

$$\delta = \frac{\lambda}{S}. \quad (V-48)$$

ამრიგად, აღნიშნულ შრეზე ნაკლები სისქის შრეს ეწოდება „თხელი“, ხოლო მეტი სისქისას — „სქელი“. ცხადია ასეთი დაყოფა პირობითია, ვინაიდან ფაქტიურად ტემპერატურის რეგულარული რხევები ვრცელდება მასალის შრის მეტ სისქეში.

საინჟინრო მეთოდებში თბური ინერციის  $D$  მახასიათებელი გამოიყენება შემომზღუდი კონსტრუქციის თბომდგრადობის შესაფასებლად. მრავალშრიანი  $D$  კონსტრუქციებისათვის მნიშვნელობა ცალკეული მატერიალური შრეების თბური ინერციის მახასიათებლების ჯამის ტოლია:

$$D = \sum D_n = \sum R_n S_n. \quad (V-49)$$

ბევრი ავტორი სამართლიანად შენიშნავს, რომ  $D$  მახასიათებელი შეიძლება გამოვიყენოთ მხოლოდ მრავალშრიანი კონსტრუქციების თბოინერციულობის მიახლოებით შეფასების დროს. იგი არ ითვალისწინებს შემომზღუდი კონსტრუქციების ცალკეულ შრეებში თბური ნაკადისა და ტემპერატურების რხევების თანხვედნას.

საინჟინრო მეთოდებში მიზანშეწონილია შრეების დანომვრა ტემპერატურული რხევების გავრცელების მიმართულებით მრავალშრიან

შემომზღულ კონსტრუქციებში კი სიბრტყის შეთვისების კოეფიციენტის გაანგარიშების დროს გათვალისწინებულია მხოლოდ კონსტრუქციის ის ნაწილი, რომელსაც მოიცავს მკვეთრი ტემპერატურული რხევა ( $D=0$ ).

შემომზღულ კონსტრუქციებში  $n$  ნებისმიერი კვეთისათვის სიბრტყის  $y_n$  შეთვისების კოეფიციენტი განისაზღვრება შემდეგი შემთხვევებისათვის:

1. შემომზღული კონსტრუქციის  $n$  პირობითი შრის სისქე, თუ ტოლი ან მეტია 1-ზე ( $D \geq 1$ ), მაშინ

$$y_n = S_n. \quad (V-50)$$

2. მკვეთრი ტემპერატურული რხევის შრე, თუ მოიცავს მეორე მატერიალურ შრეს ( $D_n + D_{n+1} \geq 1$ ), მაშინ

$$y_n = \frac{R_n S_n^2 + S_{n+1}}{1 + R_n S_{n+1}}. \quad (V-51)$$

3. იმ შემთხვევაში, თუ ტემპერატურული რხევის გავრცელება მოიცავს მესამე, მეოთხე და სხვა შრეებს, ე. ი.  $D_n + D_{n+1} < 1$ , მაშინ საჭიროა გავითვალისწინოთ  $y_n$  გავლენა ყველა მატერიალურ შრეზე. ამ შემთხვევისათვის

$$y_n = \frac{R_n S_n^2 + y_{n+1}}{1 + R_n y_{n+1}}, \quad (V-52)$$

სადაც  $y_{n+1}$  — კონსტრუქციის ნაწილის თბოშეთვისების კოეფიციენტია, რომელიც იწყება  $n+1$  მატერიალური შრის ზედაპირიდან. ეს სიდიდე ისევე უნდა განვსაზღვროთ, როგორც (V-52) ფორმულით, და იგი დამოკიდებულია იმაზე, თუ რამდენ მატერიალურ შრეს მოიცავს მკვეთრი ტემპერატურული რხევები.

4. მთელი შემომზღული კონსტრუქციის პირობითი სისქე  $\sum D_n < 1$ , მაშინ თბომდგრადობის ანგარიშს ვაწარმოებთ ისე, როგორც მესამე შემთხვევაში, ხოლო უკანასკნელი მატერიალური  $k$  შრის თბოშეთვისების კოეფიციენტი

$$y_k = \frac{R_k S_k^2 + \alpha_3}{1 + R_k \alpha_3}, \quad (V-53)$$

სადაც  $\alpha_3$  — კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზე თბოგაცემის კოეფიციენტი და რიცხობრივად უდრის ამ ზედაპირის თბოშეთვისების კოეფიციენტს (როდესაც ტემპერატურული რხევა ვრცელდება გარემოდან სათავისაკენ).

5. იმ შემთხვევაში, როდესაც შემომზღულ კონსტრუქციას ან მის ნაწილს პრაქტიკულად არ გააჩნია თბური ინერცია (მაგალითად, ფანჯრები, კონსტრუქციაში ჰაერის შრე), მაშინ

$$y_n = \frac{y_{n+1}}{1 + R_n y_{n+1}}. \quad (V-54)$$



6. როდესაც შემომზღული კონსტრუქციის ორივე მხარეზე მიმდინარეობს პერიოდული ტემპერატურული რხევები და მისი პირობითი სისქე  $\Sigma D_n < 2,0$ , მაშინ კედელს ყოფენ ორ ნაწილად — ერთნაირ პირობით სისქეებად. ამ შემთხვევაში თბოშეთვისებას გამოვთვლით თითოეული ზედაპირიდან  $m$  შრეებამდე, სადაც გადის გამყოფი ზედაპირი (საზღვარი).  $m$  შრის ზედაპირის კოეფიციენტი  $y_m$  გამოიანგარიშება (V-52) ფორმულით, სადაც გამყოფ საზღვარზე თბოშეთვისების კოეფიციენტი ნულის ტოლია

$$y_m = \frac{R_m S_m^2 + 0}{1 + R_m 0} = R_m S_m^2, \quad (V-55)$$

სადაც  $S_m$  არის შრის მასალის კუთრი თბოშეთვისების კოეფიციენტი;  $R_m$  — გამყოფ ზედაპირამდე ამ შრის თერმული წინაღობა.

გარემო ჰაერის ტემპერატურული რხევების მიღვევის გაანგარიშების დროს, დიდი მნიშვნელობა აქვს კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის ტემპერატურის  $\tau_a$  ცვლილებას. მას გამოვიანგარიშებთ ფორმულით

$$\tau_a = \tau_{a,0} + \frac{At_a}{\nu} \cos \frac{2\pi}{T} (\chi - \varepsilon). \quad (V-56)$$

ტემპერატურის საშუალო მნიშვნელობას  $\tau_{a,0}$  განვსაზღვრავთ სტაციონარული თბოგადაცემის პირობებიდან, ამასთან დაკავშირებით (V-56) ფორმულაში

$$\tau_{a,0} = t_a - \frac{R_a}{R_0} (t_a - t_{a0}). \quad (V-57)$$

მიღვევის  $\nu$  და ფაზური (დროის) ჩამორჩენის  $\varepsilon$  მახასიათებლებს ზუსტად გამოვიანგარიშებთ წინა პარაგრაფში მოყვანილი ფორმულებით. საინჟინრო გაანგარიშებებში გამოიყენება გამარტივებული ფორმულები  $\nu$ -სა და  $\varepsilon$ -ის გამოსათვლელად. (V-36) ფორმულის მეშვეობით მოცემული მიღვევის მახასიათებელი

$$\nu = \nu_0 \dots \nu_1 \nu_2 \dots \nu_{3,36} \dots \nu_n \dots \nu_k, \quad (V-58)$$

სადაც  $\nu_0$  არის მიღვევის მახასიათებელი გარე ჰაერიდან შემომზღული კონსტრუქციის გარე ზედაპირზე;

- $\nu_{3,36}$  — იგივე, ჰაერის შრისათვის;
- $\nu_1, \nu_2 \dots \nu_n$  — იგივე, ცალკეული მატერიალური შრეებისათვის;
- $\nu_k$  — იგივე, შემომზღული კონსტრუქციის უკანასკნელი შრისათვის, რომელიც ესაზღვრება სათავსს.

ჩაქრობის მახასიათებლები  $\nu_0$  და  $\nu_{3,36}$  შეიძლება გამოვთვალოთ (V-35) ფორმულიდან

$$\nu_0 = 1 + y_1 R_0; \quad (V-59)$$

$$v_{1,26} = 1 + y_{1,26} R_{1,26},$$

(V-60)

სადაც  $R_0$  და  $R_{1,26}$  — სათანადოდ კონსტრუქციის გარე ზედაპირზე და ჰაერის შრის თერმული წინაღობებია;

$y_1$  და  $y_{1,26}$  — სათანადოდ შემომზღული კონსტრუქციის გარე ზედაპირისა და ჰაერის შრის თბოშეთვისების კოეფიციენტები.

შემომზღული კონსტრუქციის სიზრქეში  $n$  ნებისმიერი კვეთისათვის  $v_n$  მნიშვნელობის განსასაზღვრავად იყენებენ (V-33) ფორმულას

$$v_n = e \frac{R_n S_n}{\sqrt{2}} \frac{S_n + y_{n+1}}{S_n + y_n},$$

(V-61)

სადაც  $R_n$  არის  $n$  შრის თბოგამტარობის წინაღობა;

$S_n$  —  $n$  შრის თბოშეთვისების კოეფიციენტი;

$y_n$  და  $y_{n+1}$  — სათანადოდ  $n$  და  $n+1$  შრეების ზედაპირების თბოშეთვისების კოეფიციენტები.

როდესაც  $n$  შრე „სქელია“, ე. ი.  $R_n S_n > 1$ , მაშინ  $y_n = S_n$  და (V-61) ფორმულა მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$v_n = e \frac{R_n S_n}{\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{y_{n+1}}{S_n} \right).$$

(V-62)

თუ შრე  $n$  მოთავსებულია „რეგულარული“ რბევების ზონაში, მაშინ  $y_{n+1} = y_n = S_n$  და

$$v_n = e \frac{R_n S_n}{2}.$$

(V-63)

თუ მხედველობაში მივიღებთ, რომ  $e \frac{1}{\sqrt{2}} = e^{0,7} = 2$  და  $R_n S_n = D_n$ , მაშინ (V-63) განტოლება მარტივი სახით ასე გამოისახება:

$$v_n = 2 D_n.$$

(V 64)

(V-64) ფორმულიდან ჩანს, რომ რბევების ამპლიტუდა ორჯერ მცირდება იმ შრის საზღვრებში, რომლის პირობითი სისქე  $D$  ერთის ტოლია. მრავალშრიანი კონსტრუქციებისათვის ჩაქრობის მაჩასიათებლის ფორმულა შემდეგი სახისაა:

$$v = e \frac{\sum R S}{\sqrt{2}} \cdot \varphi,$$

(V-65)

სადაც (V-65) განტოლება ითვალისწინებს მიღების ზრდას რეალურ შემომზღულ კონსტრუქციაში. მის მიახლოებით მნიშვნელობას გამოვიანგარიშებთ ვ. ბოგოსლოვსკის მონოგრაფიის მიხედვით, ე. ი.

$$\varphi = 0,83 + 3 \frac{\Sigma R}{D} \quad (V-66)$$

(V-66) ფორმულაში არ არის გათვალისწინებული შრეების თბოფიზიკური პარამეტრების ცვლილებანი. იგი შეიძლება მიახლოებით გამოვიანგარიშოთ ფორმულებით

$$\gamma_{\text{შრ}} = 0,85 + 0,15 \frac{S_2}{S_1} \quad (V-67)$$

და ჰაერის შრეებისათვის

$$\gamma_{\text{ჰ}} = 1 + 0,5 R_{\text{ჰ,შრ}} \frac{D}{\Sigma R} \quad (V-68)$$

საბოლოოდ (V-66) და (V-67) ფორმულებიდან მივიღებთ მიღების მახასიათებლის ფორმულას

$$\nu = 2^D \left( 0,83 + 3 \frac{\Sigma R}{D} \right) \gamma_{\text{შრ}} \gamma_{\text{ჰ,შრ}} \quad (V-69)$$

ფაზური ჩამორჩენის მახასიათებელი  $\varepsilon$  მრავალშრიანი შემომზღული კონსტრუქციებისათვის მიახლოებით გამოვიანგარიშებთ ფორმულით

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{ფელ}} + \Sigma \varepsilon_n + \varepsilon_{\text{ჰ,შრ}} \quad (V-70)$$

სადაც  $\Sigma \varepsilon_n$  — შემომზღული კონსტრუქციის სიზრქეში  $n$  შრის გავლის დროს ფაზური ჩამორჩენის მახასიათებელია და უდრის:

$$\Sigma \varepsilon_n = \frac{T}{2\pi\sqrt{2}} \Sigma RS = 0,113T \Sigma RS \quad (V-71)$$

(V-71) ფორმულა ზუსტი პასუხია „სქელი“ კონსტრუქციებისათვის; დანარჩენი შემთხვევებისათვის ის მიახლოებითია.

$\varepsilon_{\text{ფელ}}$  მნიშვნელობა ითვალისწინებს რბევების გადაცემის დროს ფაზათა ძვრას გარემო ჰაერიდან კონსტრუქციის გარე ზედაპირზე და შიგა ზედაპირიდან — სათავსის ჰაერში. რეალური კონსტრუქციებისათვის  $\varepsilon_{\text{ფელ}}$  მნიშვნელობა იცვლება 0,1-დან 0,06-მდე. საინჟინრო გათვლებისას მისი მნიშვნელობა მუდმივია, ე. ი.

$$\varepsilon_{\text{ფელ}} = -0,017T \quad (V-72)$$

ჰაერის შრეში რბევების დაგვიანების სიდიდე უმნიშვნელოა და პრაქტიკული გაანგარიშებისათვის იგი შეიძლება უგულებელვყოთ. საბოლოოდ (V-70) განტოლება შემდეგი სახისაა:

$$\varepsilon \cong 0,113TD - 0,017T \quad (V-73)$$



როდესაც  $T=24$  სთ-ს, (V-73) ფორმულა ასე გამოისახება:

$$\epsilon = 2,7D - 0,04. \quad (V-74)$$

მიახლოებითი გამოსაანგარიშებელი (V-68) და (V-73) ფორმულების გამოყენების დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ შემომზღუდი კონსტრუქციის ტემპერატურული რჩევის მიღევის პროცესის ზოგიერთი კერძო საკითხი. მაგალითად, კონსტრუქციაში რჩევის მიღევა იქნება უმცირესი, თუ მასალის თბოტევადობა ნულის ტოლია ან რჩევის ამპლიტუდა  $T=\infty$ . ამ შემთხვევაში, გარემოს ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება დაუგვიანებლად გადაეცემა კონსტრუქციის შიგა ზედაპირს და

$$v = v_{\text{გონ}} = \frac{R_0}{R_3}, \quad (V-75)$$

სადაც  $R_0$  — კონსტრუქციის სრული თერმული წინაღობაა.

იმ შემთხვევაში, როდესაც  $D < 2,5 \div 1,5$ , (V-65) და (V-68) ფორმულები არ გამოიყენება. ამ დიაპაზონის  $D$  მნიშვნელობის დროს  $v$  სიდიდე შეიძლება გამოვიანგარიშოთ მიახლოებითი ფორმულით, რომელიც მიღებულია სასრული სხვაობის მეთოდით

$$v = v_{\text{გონ}} + [(0,8 + 1,15\Sigma R) \gamma_{\text{პ},\text{პ},\text{გ}} - 0,16v_{\text{გონ}}] D^2. \quad (V-76)$$

მაგალითი.  $2^{1/2}$  სისქის აგურის წყობის კედლისათვის განვსაზღვროთ მკვეთრი ტემპერატურული რჩევის შრის სისქე, თუ თბური ნაკადის რჩევების პერიოდი  $T=24$  სთ და  $T=12$  სთ.

აგურის წყობისათვის მივიღოთ  $\lambda=0,81$  ვტ/მ. გრად.;  $C=4,18$  კჯ/კგ. გრად და  $\gamma=1800$  კგ/მ<sup>3</sup>.

როდესაც  $T=24$  სთ, (V-45) ფორმულით აგურის წყობისათვის განვსაზღვრავთ თბოშეთვისების კოეფიციენტს

$$S_{24} = \sqrt{\frac{2\pi\lambda C\gamma}{T}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,81 \cdot 4,18 \cdot 1800}{24}} = 9,63 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად}$$

და მკვეთრი ტემპერატურული რჩევის შრის სისქე (V-48) ფორმულით განისაზღვრება

$$\delta = \frac{\lambda}{S} = \frac{0,81}{9,63} = 0,084 \text{ მ} = 8,4 \text{ სმ.}$$

სათანადოდ, როცა  $T=12$  სთ,

$$S_{12} = 11,7 \text{ და } \delta = 0,06 \text{ მ ან } \delta = 6 \text{ სმ.}$$

მაგალითიდან ჩანს, რომ აგურის წყობის კედელში მკვეთრი ტემპერატურული რჩევის შრის სისქის უმნიშვნელო ნაწილი უკავია (13%, როდესაც  $T=24$  სთ და 9,5%, როდესაც  $T=12$  სთ). მხოლოდ ეს შრე

ახდენს გავლენას შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის თბოშეთვისების კოეფიციენტზე. დანარჩენი კედლის მასა, რომელიც მდებარეობს ამ შრის შემდეგ, არაკითარ გავლენას არ ახდენს შიგა ზედაპირის თბოშეთვისების კოეფიციენტზე.

თ ა 3 0 V I

## შემოგულუდი კონსტრუქციების ტენიანობის რეჟიმი

### § VI-1. ტენი შემოგულულ კონსტრუქციაში. სათავსის ჰაერის ტენიანობა

როგორც ცნობილია, სათავსის ჰაერი უფრო მაღალი ტენიანობისაა, ვიდრე გარემოს ჰაერი. შემომზღუდი კონსტრუქციის სხვადასხვა მხარეს ჰაერის ტენიანობათა სხვაობისა და აგრეთვე ჰაერშედწევადობის გამო კონსტრუქციაში ტენი გადაადგილდება. ამ პროცესით ხდება შემომზღუდი კონსტრუქციის ცალკეულ შრეთა გატენიანება, რაც იწვევს ამ შრეთა თბოგამტარობის კოეფიციენტის გაზრდას და შესაბამისად შემომზღუდი კონსტრუქციის თბური დაცვის თვისებების შემცირებას. გარდა ამისა, ტენიანი მასალა დაუშვებელია სანჰიგიენური თვალსაზრისითაც, რადგან იგი ხელს უწყობს შემომზღულ კონსტრუქციაზე ხავსის, სოკოვანი დაავადებისა და სხვა ბიოლოგიური პროცესების გავრცელებას. მშენებლობის დროს გამოყენებულ სველ სამშენებლო მასალებს შეუძლია გამოიწვიოს სათავსის ჰაერის გატენიანება ექსპლუატაციის დროს. ჰიგიენის ტემპის მონაცემებით, ტენს საცხოვრებელ ოთახებში შეუძლია გამოიწვიოს რიგი დაავადებები. ხავსოვანი სოკოები, რომლებიც წარმოიქმნებიან ტენიან შიგა ზედაპირებზე, სწრაფად ვრცელდებიან საგნებსა და კვების პროდუქტებზე, რაც იწვევს მათ სწრაფ გაფუჭებას.

გარდა სანჰიგიენური და თბოტექნიკური მნიშვნელობისა, შემომზღუდი კონსტრუქციის ნორმალური ტენიანობის რეჟიმის დაცვას ტექნიკური მნიშვნელობა აქვს, რადგანაც იგი განაპირობებს შემომზღუდი კონსტრუქციის ხანგრძლივმდგრადობას. მაგალითად, მასალის ყინვამდგრადობა დამოკიდებულია მის ტენიანობაზე. რაც უფრო ნაკლებია მასალის ტენიანობა, მით ნაკლებად უძლებს ყინვას, ამიტომ სველი და ტენიანი სათავსების შემომზღულ კონსტრუქციებში მასალების გამოყენება ძირითადად განისაზღვრება მათი ტენიანობის ხარისხით.

შემომზღულ კონსტრუქციებში ტენის წარმოქმნა სხვადასხვა მიზეზებით მიმდინარეობს. ამიტომ წარმოშობის მიხედვით არსებობს ტენის

რამდენიმე სახე: ტექნოლოგიური (საწყისი), რომელიც შეიტანება კედელში მშენებლობის (ბეტონირების) დროს ან ტენიანი სამშენებლო მასალების გამოყენებისას; გრუნტის ტენი, რომელიც საძირკვლის და კედლის კაპილარებსა და ფორებში შეიწოვება გრუნტიდან. ამ სახის ტენის შეღწევა შემომზღულ კონსტრუქციებში ექსპლუატაციის დროს არ მოხდება, თუ კარგად შესრულდა ტენსაიზოლაციო შრე. ატმოსფერული ტენი, რომელიც ირიბი წვიმის დროს აღწევს კონსტრუქციებში; კონდენსირებული ტენი, რომელიც წარმოიქმნება შემომზღული კონსტრუქციების შიგა ზედაპირებზე სათავსის ჰაერიდან წყლის ორთქლის კონდენსაციისას. კონდენსირებული ტენის წარმოქმნა ძირითადად ხდება ისეთ სათავსებში, რომლებიც მაღალი საექსპლუატაციო ტენიანობისაა. წყლის ორთქლი, რომელიც გამთბარი სათავსის შემომზღული კონსტრუქციის ტენგამტარობის დროს წარმოიქმნება კედლის სიზრქეში.

შემომზღულ კონსტრუქციებში ტენის გადაცემის დროს დიდი მნიშვნელობა აქვს სათავსის ტენიანობის მდგომარეობას, რომელიც გაპირობებულია სათავსში ტენის გამოყოფით და ჰაერმიმოცვლის ორგანიზაციით. ტენის გამომყოფ წყაროებს საცხოვრებელ სახლებში წარმოადგენს საყოფაცხოვრებო პროცესები (საჭმლის მომზადება, რეცხვა და სხვ.) საზოგადოებრივ შენობებში — მათში მყოფი ადამიანები, ხოლო სამრეწველო საწარმოებში — მიმდინარე ტექნოლოგიური პროცესები. ჰაერს შეუძლია მოახდინოს ჰარბი ტენის ასიმილაცია და სათავსის ვენტილაციის დროს გაიტანოს გარეთ.

ჰაერი ყოველთვის შეიცავს ტენის რაღაც რაოდენობას წყლის ორთქლის სახით, რომელიც მასშია გადამეტხურებული. 1 მ<sup>3</sup> ჰაერში წყლის ორთქლის რაოდენობას გამოსახულს გრამობით, ეწოდება ჰაერის აბსოლუტური ტენიანობა, ტენის კონდენსაციის პროცესების გაანგარიშებისას ჰაერის ტენიანობის დახასიათება მიზანშეწონილია წყლის ორთქლის სიმკვრივით, ანუ პარციალური  $e$  ნ/მ<sup>3</sup>, წნევით რომელიც გამოსახავს ჰაერში ტენის თავისუფალ ენერგიას. წყლის ორთქლის  $e$  პარციალური წნევა იზრდება ნულიდან მაქსიმალურ  $E$  სიმკვრივემდე, რომელიც შეესაბამება ჰაერის სრულ გაჯერებას წყლის ორთქლით და ჰაერში წყლის ორთქლის თავისუფალი ენერგიის მაქსიმალური მნიშვნელობის გამოსახველია. რაც უფრო მაღალია ჰაერის ტემპერატურა, მით მეტია მასში წყლის ორთქლის პარციალური წნევის მაქსიმალური მნიშვნელობა, ე. ი. მით უფრო მეტი წყლის ორთქლის შეცულობის უნარი აქვს ჰაერს.

პარციალური  $e$  წნევა განიხილება როგორც ჰაერში წყლის ორთქლის ენერგეტიკული პოტენციალის საზომი. ჰაერში ტენის დიფუზია მიმდინარეობს მაღალი პარციალური წნევიდან დაბლისაკენ, ანუ მაღალი პოტენციალის არიდან დაბალი პოტენციალის არისკენ.

ჰაერში წყლის ორთქლის სიმკვრივე (პარციალური წნევა) ისევე, როგორც ჰაერის აბსოლუტური ტენიანობა არ გვადლევს სრულ წარმოდგენას ჰაერის ტენით გაჯერების შესახებ. იმისათვის, რომ დავახასიათოთ ჰაერის წყლის ორთქლით გაჯერების ხარისხი შემოგვაქვს ფარდობითი ტენიანობის ცნება. ფარდობითი  $\varphi$  ტენიანობა ჰაერში წყლის ორთქლის პარციალური  $e$  და ამ ტემპერატურის დროს მაქსიმალურ პარციალური წნევათა ფარდობაა და გამოისახება

$$\varphi = \frac{e}{E} 100\% \quad (\text{VI-1})$$

ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის სიდიდეზეა დამოკიდებული ადამიანის კანიდან ტენის აორთქლების ინტენსივობა. ჰიგიენისტების მონაცემების თანახმად, ადამიანთა ყოფნის ადგილებში ნორმალურად ითვლება ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა 30—60%-ის ფარგლებში. 60%-ზე ზემოთ ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის გაზრდა იწვევს ადამიანის კანიდან ტენის აორთქლების შესუსტებას, რაც უარყოფითად მოქმედებს ადამიანის განწყობაზე და პირიქით, ფარდობითი ტენიანობის მნიშვნელობის შემცირება 30%-ზე ქვემოთ იწვევს კანიდან და ლორწოვანი გარსიდან ტენის ინტენსიურ აორთქლებას, რაც გამოისახება პირის ღრუსა და ყელის არეში არასასიამოვნო სიმშრალის შეგრძნებით.

თუ მოცემული ტენიანობის ჰაერის ტემპერატურას გავზრდით, ე. ი. ჰაერს შევატობთ, მისი ფარდობითი ტენიანობა შემცირდება. ამ დროს წყლის ორთქლის პარციალური  $e$  წნევა რჩება მუდმივი, ხოლო მაქსიმალური პარციალური წნევის მნიშვნელობა ტემპერატურის ზრდასთან ერთად მატულობს და პირიქით, ჰაერის გაცივების დროს ფარდობითი ტენიანობის მნიშვნელობა მცირდება, რადგანაც მცირდება  $E$  მაქსიმალური პარციალური წნევის მნიშვნელობა. რაღაც ტემპერატურაზე, როდესაც წყლის ორთქლის  $E$  მაქსიმალური პარციალური წნევა გაუტოლდება წყლის ორთქლის  $e$  პარციალურ წნევას, ფარდობითი ტენიანობა 100%-ის ტოლია,  $\varphi = 100\%$ , ე. ი. ჰაერი მიაღწევს წყლის ორთქლით სრულ გაჯერებას. იმ ტემპერატურას, რომლის დროსაც ჰაერი აღწევს სრულ გაჯერებას, ეწოდება ნამის წერტილი და აღინიშნება  $t_s$ . თუ ჰაერს გავაცივებთ ნამის წერტილზე ქვემოთ, პარციალური წნევა იქნება მუდმივი (მაქსიმალური) და ჰაერიდან ჰარბი ტენი კონდენსირდება.

ნამის წერტილს დიდი მნიშვნელობა აქვს შემომზღუდი კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმის შეფასებისას. თუ შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა ზედაპირი გაცივდა ნამის წერტილზე ქვემოთ, მაშინ ჰაერიდან, რომელიც შეეხება ამ ზედაპირს, წყლის ორთქლი კონდენსირდება შემდეგ შეიწოვება კედლის კონსტრუქციის მიერ, რაც გამოიწვევს მისი ტენიანობის გაზრდას. ნამის გამოყოფას შემომზღუდი კონსტრუქციებზე

უბირველესად შევამჩნევთ ისეთ ადგილებში, სადაც მისი ტემპერატურა აღწევს მინიმალურ მნიშვნელობას (გარე კუთხეები, ლავგარდანის კვანძები, პანელთა პირაპირები და სხვ.).

ზამთარში ზოგჯერ აღინიშნება ნამის გამოყოფა შემომზღული კონსტრუქციების გარე ზედაპირებზე. ეს მოვლენა შეიმჩნევა მაშინ, როდესაც გარე ჰაერის ტემპერატურა მკვეთრად იზრდება მკაცრი ყინვების შემდეგ. ამ დროს გარე ზედაპირის ტემპერატურა უფრო დაბალია, ვიდრე გარე ჰაერის; შემდეგ კონდენსირებული ტენი იყინება და შემომზღულ კონსტრუქციებზე წარმოქმნის მინაყინის თხელ შრეს. ეს მოვლენა ძირითადად დამახასიათებელია გაუმთბარი შენობებისათვის და ცალკე მდგარი ნაგებობებისათვის (ძველები, სვეტები, ხიდები და სხვ.).

ზაფხულის პერიოდშიც ხშირად შენობათა სახურავებზე ტენი წარმოიქმნება. ეს შეიმჩნევა მხოლოდ მოწმენდილი ცის შემთხვევაში და აიხსნება ცის თალის მიერ შენობათა სახურავებიდან სითბოს რადიაციით დიდი რაოდენობით შთანთქმით. როგორც ცნობილია, დედამიწიდან დიდ სიმაღლეზე ტემპერატურა ბევრად ნაკლებია, ვიდრე დედამიწის ზედაპირზე ატმოსფეროში. ამიტომაც სახურავი ასხივებს სითბოს დიდი რაოდენობით ცივ სივრცეში. ამ პარაქსის დროს სახურავის ტემპერატურა გარემომცველი ჰაერის ტემპერატურასთან შედარებით  $8-11^{\circ}\text{C}$  გრადუსით მცირდება, რაც იწვევს მათზე ჰაერიდან წყლის ორთქლის კონდენსაციას. ღრუბლიანი ცის შემთხვევაში აღნიშნულ მოვლენას, როგორც წესი, ადგილი არა აქვს.

## § VI-2. სამშენებლო მასალასთან ტენის კავშირის სახეები

სამშენებლო მასალების მიერ შთანთქმული ტენის შეკავება ხდება წყლის მოლეკულების მასალის მოლეკულებთან ურთიერთმოქმედებისა და წყლის ზედაპირული დაჭიმულობის ძალების მეშვეობით. მასალის ჩონჩხთან ტენის კავშირის ენერგია დამოკიდებულია ტენის რაოდენობაზე. მასალასთან მტკიცედაა დაკავშირებული ტენი, თუ იგი მასში მცირე რაოდენობითაა. ძლიერ გატენიანებულ მასალაში ტენის მასალასთან კავშირი სუსტია, რის გზამკაც მასალაში ტენი ადვილად გადაადგილდება.

სამშენებლო მასალასთან ტენის კავშირის ფორმები და მათი ენერგეტიკული შეფასება სრულად შეიმუშავა აკად. პ. რებინდერმა.

ტენის მასალასთან კავშირის ენერგიისა და ამ კავშირის ენერგეტიკული დონის სიდიდის მიხედვით ასხვავებენ ტენის სამ სახეს. ყველაზე უფრო მტკიცეა ტენის კავშირის ქიმიური ფორმა. ქიმიურად დაკავშირებული ტენი წარმოადგენს ტენის იმ აუცილებელ რაოდენობას, რომელიც საჭიროა ახალი ნივთიერების მიღების დროს ქიმიური რეაქციისათვის. იგი შედის მასალის სტრუქტურულ (სივრცით) მესერში ახლად

წარმოქმნილი ქიმიური შენაერთებისა და კრისტალჰიდრატების სახით და გამოიჩინება ნივთიერებასთან მოლეკულური კავშირის მაღალი ენერგეტიკული დონით. ტემპერატურის ბუნებრივ რჩევას, რომელიც მიმდინარეობს შემომზღუდი კონსტრუქციის ზედაპირებზე, არ შეუძლია დაარღვიოს ტენის ეს კავშირი მასალასთან და განაცალკევოს ქიმიურად დაკავშირებული ტენი მასალისაგან. ამიტომ შემომზღუდ კონსტრუქციებში ტენგადაცემის პროცესების გაანგარიშების დროს მას მხედველობაში არ ღებულობენ.

ტენის მასალასთან კავშირის შემდეგი ფორმაა ფიზიკურ-ქიმიური. ამ დროს მიმდინარეობს ტენის ადსორბცია მასალის ფორებისა და კაპილარების შიგა ზედაპირების მიერ და იგი დაკავშირებულია მასალასთან მოლეკულათა ურთიერთმოქმედების ძალებით. ფიზიკურ-ქიმიური კავშირის ფორმის ნაირსახეობაა აგრეთვე ოსმოსური, ანუ სტრუქტურული ტენი, რომელსაც შთანთქავს მასალის ფორები და კაპილარები.

თხევადი ტენის ძირითადი მოცულობა მასალის ფორებსა და კაპილარებში მოლეკულური მიზიდულობის სფეროს გარეთაა და იგი დაკავშირებულია მასალასთან ზედაპირული დაქიმულობის ძალებით. ამ ფორმას ეწოდება ტენის მასალასთან კავშირის ფიზიკურ-მექანიკური ფორმა. ტენის ეს ფორმა ადვილად გადაადგილდება შემომზღუდ კონსტრუქციაში, როდესაც წნევა აღემატება კაპილარულ წნევას ბუნებრივი შრობის პროცესში და ადვილად ორთქლდება ნაკეთობის ან კონსტრუქციის ზედაპირული შრიდან. შემომზღუდ კონსტრუქციაში ტენის ფიზიკურ-მექანიკურ ფორმას მიეკუთვნება მაკრო- და ნაწილობრივ მიკროკაპილარების, აგრეთვე პირაპირული და აფსკური ტენი.

შემომზღუდი კონსტრუქციების ტენიანობის რეჟიმი დაკავშირებულია მათში ტენის კავშირის ფორმასა და მის გადაადგილებაზე. იგი ფიზიკური პროცესია და შედგება მრავალი კერძო მოვლენისაგან. ტენის გადაადგილება შემომზღუდ კონსტრუქციაში ხდება როგორც თხევადი, ასევე ორთქლის სახით. შესაძლებელია ტენის ორივე ფაზის (ორთქლისა და სითხის) ერთდროული გადაადგილება. შემომზღუდ კონსტრუქციაში არსებობს ტენის გადატანისა და სათანადოდ ტენიანობის რეჟიმის გაანგარიშების რამდენიმე მეთოდი.

## § VI-3. სოკოცია და დესოკოცია

მუდმივ წონამდე გამომშრალ სამშენებლო მასალის ნიმუშს (რომლის ტენიანობაც ნულის ტოლია), თუ მოვათავსებთ ატმოსფერულ ჰაერში, იგი დატენიანდება. ნიმუშის დატენიანება მოხდება ყველა შემთხვევაში, თუნდაც ატმოსფერული ჰაერი უმნიშვნელო ტენიანობის იყოს. ნიმუში მით მეტად დატენიანდება, რაც მეტია გარემომცველი ჰაერის

ფარდობითი ტენიანობა და ნაკლებია ტემპერატურა. ამ შემთხვევაში მასალის დატენიანება ხდება გარემომცველი გარემოდან წყლის ორთქლის შთანთქმით. ამ მოვლენას ეწოდება სორბცია, რომლისთვის საჭირო არ არის მასალასა და გარემომცველ ჰაერს შორის არსებობდეს ტემპერატურათა სხვაობა. აქედან გამომდინარე, იგი არაა დაკავშირებული ტემპერატურულ კონდენსაციასთან.

სორბციის ცნება შეიცავს მასალის მიერ ტენის შთანთქმის ორ მოვლენას:

1. აღსორბციის, როცა ფორების ზედაპირებით ხდება წყლის ორთქლის შთანთქმა ზედაპირებზე წყლის ორთქლის მოლეკულების შეჯახების შედეგად;

2. აბსორბციის, როცა წყლის ორთქლი შთანთქმება მასალის მოცულობაში მისი უშუალო გახსნით.

ზემოაღნიშნული ორი მოვლენის განცალკევება წარმოადგენს რთულ ამოცანას და საინჟინრო გაანგარიშებისას ხშირ შემთხვევაში მისი ამოხსნა შეუძლებელია. ამიტომ ორივე პროცესს განვიხილავთ ერთდროულად. აღსანიშნავია, რომ ამ დროს სჭარბობს აღსორბციის მოვლენა.

თუ ჰაერში მოვითავსებთ მასალის ნიმუშს, რომელიც ჰარბი ტენიანობისაა, მაშინ იგი გადასცემს ტენს გარემომცველ ჰაერს, რის გამოც მისი ტენიანობა შემცირდება. ამ მოვლენას დესორბცია ეწოდება.

თუ მშრალი მასალის წონას აღვნიშნავთ  $P_{მშრ}$ -ით, ხოლო ტენიანობას  $P_{ტ}$ -ით და მასალას ავწონით, შევამჩნევთ, რომ  $P_{მშრ} < P_{ტ}$  წონათა სხვაობა ტენის ის რაოდენობაა, რომელსაც შეიცავს მასალა. მშრალი და ტენიანი მასალების წონათა სხვაობისა და მშრალი მასალის წონის ფარდობას ეწოდება კუთრი ტენშემცველობა, ე. ი.

$$\omega = \frac{P_{ტ} - P_{მშრ}}{P_{მშრ}} = \frac{M_{ტ}}{M_{მშრ}}, \quad (VI-1)$$

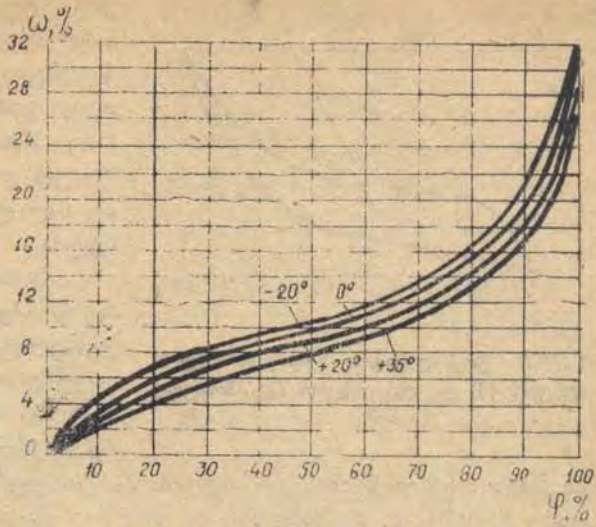
სადაც  $M_{ტ}$  და  $M_{მშრ}$  შესაბამისად ტენისა და მშრალი მასალის მასებია.

სამშენებლო თბოფიზიკაში მასალის ტენშემცველობა ხშირად გამოისახება პროცენტობით. მას წონით ტენიანობა ან ფარდობითი ტენშემცველობა ეწოდება და ასე გამოისახება:

$$\omega = \frac{P_{ტ} - P_{მშრ}}{P_{მშრ}} \cdot 100\%. \quad (VI-2)$$

მასალისა და გარემომცველი ჰაერის ფარდობით ტენიანობებს შორის დამოკიდებულება გრაფიკულად გამოისახება სორბციის იზოთერმების სახით. ხის მასალისათვის სორბციის იზოთერმები მოცემულია VI-1 ნახაზზე.

როგორც აღნიშნული ნახაზიდან ჩანს, ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის ( $\varphi$ ) ვადიდებითა და ტემპერატურის შემცირებით ხის ტენიანობა იზრდება. თუ ტემპერატურის გავლენა სორბციულ გატენიანებაზე ხისათვის მნიშვნელოვანია, სხვა მასალებისათვის იგი (აგური, ფიბროლიტი) მეტად უმნიშვნელოა. არაორგანული მასალები სორბციული გატენიანების მიმართ ნაკლებუნარიანია, ვიდრე ორგანული.



ნახ. VI-1. ხის მასალის მიერ წყლის ორთქლის სორბციის იზოთერმა

სამშენებლო მასალათა უმეტესობისათვის სორბციისა და დესორბციის იზოთერმები არ ემთხვევიან ერთმანეთს.

VI-2 ნახაზზე მოცემულია ქაფსილიკატის სორბციისა და დესორბციის იზოთერმები. როგორც ამ ნახაზიდან ჩანს,  $\varphi=60\%$  ფარდობითი ტენიანობის ჰაერისათვის სორბციის დროს ქაფსილიკატის წონითი ტენიანობა  $w=2,1\%$ , ხოლო დესორბციის შემთხვევაში  $w=4,3\%$ , ე. ი. ამ დროს სორბციულობის ჰისტერეზისი 2-ის ტოლია.

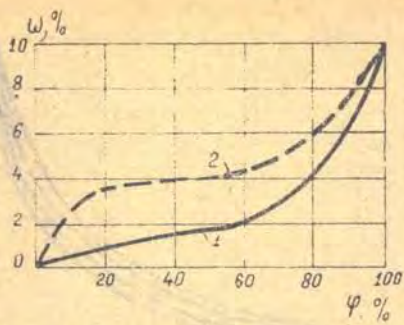
ზემოთ განხილული სორბციისა და დესორბციის მოვლენების თანახმად, შემომზღუდი კონსტრუქციების ტენიანობის რეჟიმების გაანგარიშებისას მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ: დატენიანების დროს სორბციის იზოთერმები, ხოლო მასალის გამოშრობისას დესორბციის იზოთერმები. მაგრამ, ვინაიდან არა გვაქვს მონაცემები დესორბციის შესახებ, ამიტომ ტენიანობის რეჟიმების გაანგარიშება ძირითადად ხდება სორბციის იზოთერმებით, რაც გარკვეულ ცდომილებას გვაძლევს.

§ VI-4. წყლის ორთქლის გადაადგილება შემოკვლულ კონსტრუქციაში

ორთქლშელწევადობა

გარე შემომზღუდი კონსტრუქციების შიგა ზედაპირებზე ჰაერიდან წყლის ორთქლის კონდენსაციის აღკვეთა ხშირ შემთხვევაში ვერ უზრუნველყოფს შემომზღუდი კონსტრუქციის შესაძლო დატენიანებას. ამ დროს





ნახ. VI-2. ქაფსილიკატივ წყლის ორთქლის სორბციის (1) და დესორბციის (2) იზოთერმები

შინ შიგა ჰაერში წყლის ორთქლის პარციალური წნევა მეტი იქნება, ვიდრე გარეში, ე. ი. ზამთრის პერიოდში გამთბარი შენობის გარე შემომზღუდი კონსტრუქცია განაცალკევებს ერთი და იმავე ბარომეტრული წნევის ორ საჰაერო არეს, რომელთაც აქვთ წყლის ორთქლის პარციალური წნევების სხვადასხვა მნიშვნელობები. წყლის ორთქლის პარციალურ წნევათა შორის სხვაობა ჩვეულებრივი პირობებისათვის დაახლოებით 1333 ნ/მ<sup>2</sup>. სათავისის ჰაერის ტემპერატურისა და ფარდობითი ტენიანობის გადიდებით ამ სხვაობის მნიშვნელობა იზრდება.

შემომზღუდი კონსტრუქციის სხვადასხვა მხარეს წყლის ორთქლის პარციალურ წნევათა სხვაობის ხარჯზე შემომზღუდი კონსტრუქციაში აღიძვრება წყლის ორთქლის ნაკადი მაღალი პარციალური წნევის არიდან დაბალი პარციალური წნევის არისაკენ. ჭამ მოვლენას ეწოდება შემომზღუდი კონსტრუქციაში წყლის ორთქლის დიფუზია, ე. ი. ზამთრის პერიოდში შემომზღუდი კონსტრუქციაში სათავსიდან გარემოსაკენ დიფუნდირებს წყლის ორთქლი. ზაფხულის პირობებში ისეთი შენობებისათვის, რომელთა შიგა ჰაერის ტემპერატურა ნაკლებია გარემო ჰაერის ტემპერატურაზე (მაცივრები, ჰაერის კონდიციონერების სისტემებით აღჭურვილი სათავსები), წყლის ორთქლის დიფუზია შემომზღუდი კონსტრუქციაში მიმდინარეობს გარე ჰაერიდან სათავსისაკენ. დიფუზიის ეს პროცესი შედარებით სუსტად მიმდინარეობს გარე და შიგა ჰაერის ტემპერატურათა მცირე სხვაობის და გარემო ჰაერის ფარდობითი ტენიანობის დაბალი მნიშვნელობის გამო, ამიტომ შემომზღუდი კონსტრუქციაში დიფუზიის მოვლენას განვიხილავთ მხოლოდ ზამთრის პირობებისათვის.

შემომზღუდი კონსტრუქციებში წყლის ორთქლის დიფუზიის პროცესის პარალელურად გარემოდან სათავსისაკენ დიფუნდირებს ჰაერი, რაც გამოწვეულია გარე და შიგა ჰაერის შემადგენელი აირების პარცია-

კონსტრუქციის დატენიანება შესაძლებელია წყლის ორთქლის სორბციითა და კონდენსაციით თვით კონსტრუქციის სიზრტეში, რაც ხშირ შემთხვევაში შემომზღუდი კონსტრუქციებში მასალათა მაღალი ტენიანობის მაუწყებელია.

ზამთრის პერიოდში შიგა ჰაერს აქვს შედარებით მაღალი ტემპერატურა, ვიდრე გარე ჰაერს. დავუშვათ, რომ ფარდობითი ტენიანობა როგორც შიგა, ასევე გარე ჰაერისათვის ერთნაირია, მა-

ლურ წნევათა სხვაობით. გარე ჰაერში შემავალ აირებს გააჩნიათ უფრო მაღალი პარციალური წნევა, ვიდრე შიგა ჰაერს, რადგანაც ამ დროს წყლის ორთქლის პარციალური წნევა შიგა ჰაერში წყლის ორთქლის პარციალურ წნევაზე ნაკლებია. სწორედ ამაში მდგომარეობს დიფუზი-  
 ასა და ჰაერშელწვეადობის პროცესს შორის პრინციპული განსხვავება. ჰაერშელწვეადობისას ჰაერის მთელი მასა გადაადგილდება საერთო წნე-  
 ვათა სხვაობის ხარჯზე, დიფუზიის დროს კი საერთო წნევის მნიშვნე-  
 ლობები ორ არეს შორის ერთი და იგივეა, ხოლო მასში შემავალი აი-  
 რების პარციალური წნევები — სხვადასხვაა. აქედან გამომდინარე, დიფუ-  
 ზია სუფთა მოლეკულური პროცესია და ორი აირის მოლეკულათა ურ-  
 თიერთგაცვლით ხასიათდება.

ფიზიკის ზოგადი კურსიდან ცნობილია, რომ თბოგამტარობისა და დიფუზიის პროცესებს შორის არსებობს სრული ანალოგია. ამიტომ ყვე-  
 ლა დებულება, რაც მიღებულია თბოგამტარობის მოვლენისადმი, სავსე-  
 ბით მართებულია წყლის ორთქლის დიფუზიის პროცესებისათვის.

სიტბოს რაოდენობის მნიშვნელობის ანალოგიურად, თბოგამტარო-  
 ბის დროს ვღებულობთ, რომ სტაციონარული პროცესის შემთხვევაში  
 ერთგვაროვანი მასალისაგან შემდგარ ბრტყელ კედელში დიფუნდირებუ-  
 ლი წყლის ორთქლის რაოდენობა

$$P = (e_a - e_b) F \lambda \frac{\mu}{\delta}, \quad (VI-3)$$

სადაც  $P$  არის დიფუნდირებული წყლის ორთქლის რაოდენობა;

$e_a$  და  $e_b$  — შესაბამისად შემომზღუდი კონსტრუქციის შიგა და გარე  
 მხარეებზე წყლის ორთქლის პარციალური წნევები;

$\mu$  — მასალის ორთქლშეუღწვეადობის კოეფიციენტი.

(VI-4) ფორმულა მართებულია მხოლოდ იმ შემთხვევისათვის, რო-  
 დესაც კედელში წყლის ორთქლის კონდენსაცია არ მიმდინარეობს.

ორთქლშელწვეადობის  $\mu$  კოეფიციენტი გამოსახავს მასალის უნარს  
 გაატაროს მის სისქეში დიფუნდირებული წყლის ორთქლი და იგი თბო-  
 გადაცემის პროცესში თბოგამტარობის კოეფიციენტის ანალოგიური სი-  
 დიდია. ორთქლშელწვეადობის კოეფიციენტი გვიჩვენებს წყლის ორ-  
 თქლის იმ რაოდენობას, რომელიც 1 საათის განმავლობაში დიფუნდი-  
 რებს 1 მ<sup>2</sup> კედელში, რომლის სისქე 1 მ ტოლია, ხოლო კედლის სხვა-  
 დასხვა მხარეს პარციალურ წნევათა სხვაობა 133,3 ნ/მ<sup>2</sup>. ორთქლშელწე-  
 ვადობის კოეფიციენტთა მნიშვნელობები მასალათა სახის მიხედვით, სხვა  
 თბოტექნიკურ მანასიათებლებთან ერთად, მოცემულია ცხრილებში. ორ-  
 თქლშელწვეადობის კოეფიციენტის მნიშვნელობა დამოკიდებულია მასა-  
 ლის ტემპერატურასა და ტენიანობაზე. ტემპერატურის მომატებით ორ-  
 თქლშელწვეადობის კოეფიციენტის ნიშნელობა იზრდება. სამშენებლო

მასალებიდან ყველაზე დაბალი ორთქლშედწევადობის კოეფიციენტი აქვს რუბეროიდს, ხოლო ყველაზე მაღალი — მინისა და მინერალურ ბამბას. მინა და ლითონი ორთქლშედწევადი მასალებია. ჰაერის ორთქლშედწევადობის კოეფიციენტი სამშენებლო მასალებზე გაცილებით მაღალია, მისი მნიშვნელობა ჰაერის კონვექციური დინების გადიდებით საგრძნობლად იზრდება.

ორთქლშედწევადობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება მასალის ტენიანობისაგან ვ. პლონსკის მონაცემების თანახმად, გამოკვლეული არ არის და სორბციული დატენიანების პირობებში დამოკიდებული არაა მასალის ტენიანობისაგან, ამიტომაც შემომზღუდი კონსტრუქციების ტენიანობის რეჟიმების გაანგარიშების დროს მისი მნიშვნელობა მუდმივია.

ფორმულაში  $\frac{\mu}{\delta}$  სიდიდის შებრუნებული სიდიდე ორთქლშედწევადობის წინააღმდეგობაა და ტოლწ

$$R_{\text{ო.შ}} = \frac{\delta}{\mu} \text{ ნ. სთ/გ.} \quad (\text{VI-4})$$

იგი გვიჩვენებს, კედლის ზედაპირზე პარციალურ წნევათა სხვაობა რა სიდიდის უნდა იყოს ნ/მ<sup>2</sup>, რომ მის 1 მ<sup>2</sup> ზედაპირზე 1 საათის განმავლობაში დიფუნდირებდეს 1 გ ორთქლი.

სრული წინააღმდეგობა, რომელსაც შემომზღუდი კონსტრუქცია უწევს მასში დიფუნდირებულ წყლის ორთქლს, ცალკეულ შრეებ ორთქლშედწევადობის წინააღმდეგობათა ჯამის ტოლია:

$$R_{\text{ო.შ}} = R_{\text{ო.შ}}^1 + R_{\text{ო.შ}}^2 + R_{\text{ო.შ}}^3 + \dots + R_{\text{ო.შ}}^n = R_{\text{ო.შ}}^3 + \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\mu_n} + R_{\text{ო.შ}}^n \quad (\text{VI-5})$$

სადაც  $R_{\text{ო.შ}}^1, R_{\text{ო.შ}}^2, \dots, R_{\text{ო.შ}}^n$  არის ცალკეულ შრეთა ორთქლშედწევადობის წინააღმდეგობები, ნ. სთ/გ.

$R_{\text{ო.შ}}^1$  და  $R_{\text{ო.შ}}^n$  — სათანადოდ შიგა და გარე ზედაპირებზე ტენცილის წინააღმდეგობები, რომლებიც თბომეთვისებისა და გაცემის კოეფიციენტების ანალოგიურია (პრაქტიკული გაანგარიშებების დროს მათი მნიშვნელობები მიიღება  $R_{\text{ო.შ}}^1=2, R_{\text{ო.შ}}^n=1, \text{ ნ. სთ/გ.}$ )

შემომზღუდი კონსტრუქციაში წყლის ორთქლის დიფუზიის დროს წყლის ორთქლის პარციალური წნევა  $\mu$ -დან  $\epsilon$ -მდე მცირდება. ერთგვაროვანი მასალის შემთხვევაში მისი ცვლილება წრფეა, ხოლო მრავალშრიანი კედლისათვის — ტუხილი ხაზი. იმისათვის, რომ ავაგოთ პარციალური წნევების დაცემის გრაფიკი, საჭიროა ცალკეულ შრეთა სა-

ბლერზე ჭანვსაზღვროთ მათი მნიშვნელობები, რომლებიც გამოითვლება ტემპერატურის ცვლილების ანალოგიურად ბრტყელი კედლისათვის

$$\epsilon_n = \epsilon_a - \frac{\epsilon_a - \epsilon_b}{R_{\text{თ.ბ}}} \sum_{n=1}^{R_{\text{თ.ბ}}-1} R_{\text{თ.ბ}}^{n-1}, \quad (\text{VI-6})$$

ადაც  $\epsilon_a$  და  $\epsilon_b$  სათანადოდ პარციალურ წნევითა მნიშვნელობებია შიგა და გარე ზედაპირებზე.

$\sum_{n=1}^{R_{\text{თ.ბ}}-1} R_{\text{თ.ბ}}^{n-1}$  — დაწყებული პირველი შრიდან განსახილველ შრემდე (კვეთამდე) ორთქლშედწვეადობის წინააღმდეგობათა ჯამი;

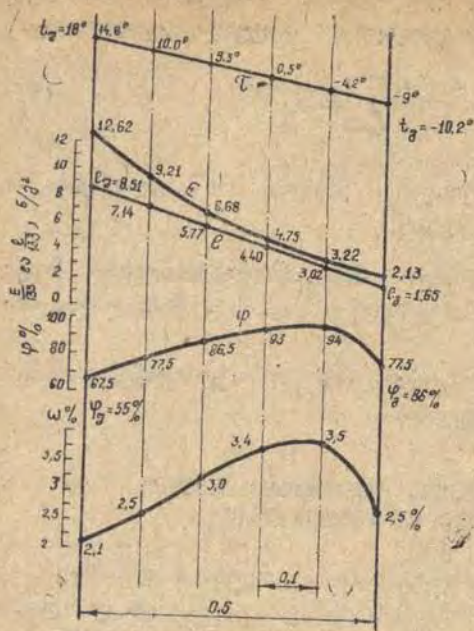
$R_{\text{თ.ბ}}$  — შემომზღუდი კონსტრუქციის ორთქლშედწვეადობის საერთო წინააღმდეგობა.

### § VI-5. შემომზღუდი კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმის ანალიზი წყლის ორთქლის საციონარული დიფუზიის დროს

შემომზღუდი კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმის დასადგენად საჭიროა ვიცოდეთ გარე და შიგა ჰაერის ტემპერატურა და ფარდობითი ტენიანობა. შიგა ჰაერის პარამეტრები ავიღოთ სანჰიგიენური მოთხოვნებით გათვალისწინებული ნორმების თანახმად, ე. ი. იგივე, რაც შემომზღუდი კონსტრუქციების თბოტექნიკური გაანგარიშებისას; გარე ჰაერის ტემპერატურა აიღება შედარებით უფრო მაღალი, ვიდრე თბოტექნიკური გაანგარიშების დროს. ეს გარემოება იმით აიხსნება, რომ წყლის ორთქლის დიფუზია მიმდინარეობს შედარებით ნელა, ვიდრე თბოგაცემის პროცესი; სტაციონარული რეჟიმის დასამყარებლად დიფუზიის დროს გაცილებით მეტი დროა საჭირო, ამიტომ გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურად მიღებულია ყველაზე ცივი თვის საშუალო ტემპერატურა, ხოლო ფარდობითი ტენიანობად — ყველაზე ცივი თვის საშუალო ტენიანობა.

შემომზღუდი კონსტრუქციაში დიფუნდირებული წყლის ორთქლის პარციალური წნევა კედლის შიგა ზედაპირიდან — გარესაკენ მცირდება. ამავდროულად წყლის ორთქლს უხდება შემომზღუდი კონსტრუქციის უფრო ცივი შრეების გავლა. კედელში ტემპერატურისა და პარციალური წნევების შემცირება შეიძლება მიმდინარეობდეს კედლის სისქეში წყლის ორთქლის კონდენსაციის გარეშე. თუ ტემპერატურის დაცემა წყლის ორთქლის პარციალური წნევის დაცემაზე ინტენსიურია, მაშინ შეიძლება შეიქმნას შემომზღუდი კონსტრუქციაში წყლის ორთქლის კონდენსაციის პირობა.

შემომზღუდი კონსტრუქციაში წყლის ორთქლის კონდენსაცია მი-



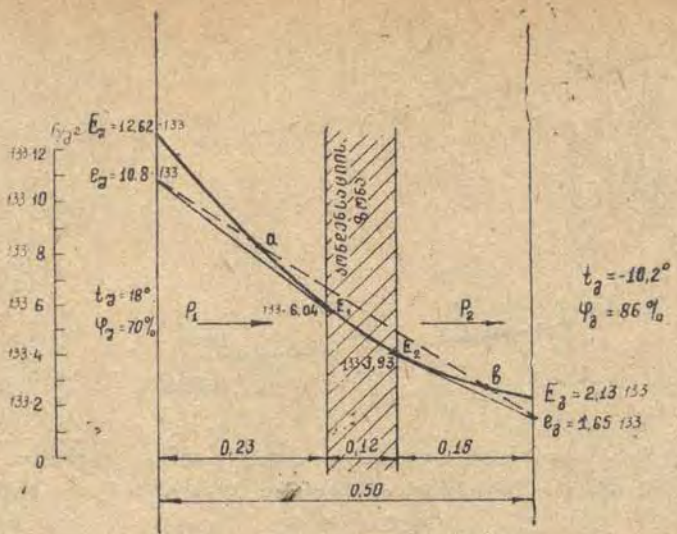
ნახ. VI-3. მსუბუქი ბეტონის კედლის სტაციონარული ტენიანობის რეჟიმის სქემა ზომთრის პერიოდში

ნამდვილი პარციალური წნევის გრაფიკს. თუ  $E$  და  $\nu$  წირები ერთმანეთს არ გადაკვეთს, ეს იმის მაჩვენებელია, რომ შემომზღულ კონსტრუქციაში არ მიმდინარეობს დიფუნდირებული წყლის ორთქლის კონდენსაცია. ამ დროს წყლის ორთქლის პარციალური წნევის ნამდვილი მნიშვნელობა  $e$  შემომზღული კონსტრუქციის ყოველი კვეთისათვის მის  $E$  მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე მცირეა.

თუ  $e$  წრფე ჰკვეთს  $E$  წირს, მაშინ შემომზღულ კონსტრუქციაში მოსალოდნელია წყლის ორთქლის კონდენსაცია (ნახ. VI-4).

$e$ -ის ასაგებად საჭიროა ვიცოდეთ მხოლოდ ორი წერტილი, ვინაიდან იგი იცვლება წრფივი კანონით ((VI-1) ფორმულით). ასეთ წერტილებად კი უმჯობესია შევარჩიოთ  $e$ -ის მნიშვნელობები კედლის  $e_0$  შიგა და  $e_8$  გარე ზედაპირებზე. კონდენსაციის ზონის დასადგენად  $e_0$  და  $e_8$  წერტილებიდან გავატარებთ  $E$ -სადმი მხებს. შეხების წერტილებს შორის მოთავსებულ მონაკვეთზე მოსალოდნელია წყლის ორთქლის კონდენსაცია. შეხების წერტილებს შორის ზონას ეწოდება „კონდენსაციის ზონა“ (ნახ. VI-4). ამ დროს წყლის ორთქლის პარციალური წნევის შემცირება ხდება როგორც ორთქლშედწვედობისადმი შემომზღული კონ-

ზანშეწონილია ვიანგარიშით გრაფიკული მეთოდით (ნახ. VI-3). ამ მეთოდის არსი შემდეგში მდგომარეობს. კედლის ჰრილზე ვაგებთ ტემპერატურის დაცემის გრაფიკს ( $\tau$ ) და მისი მეშვეობით კი — მაქსიმალური პარციალური წნევის  $E$  ცვლილების გრაფიკს, რისთვისაც კედელს ვყოფთ რამდენიმე ნაწილად და გამოვთვლით ყოველი შრის ტემპერატურის შეხებადამის მაქსიმალურ  $E$  პარციალურ წნევას. მათ მნიშვნელობებს დავიტანთ კედლის ჰრილზე და მივიღებთ წერტილთა გარკვეულ რაოდენობას, რომელთა შეერთება გვაძლევს მაქსიმალური პარციალური წნევის დაცემის მრუდს. შემდეგ კი ვაგებთ წყლის ორთქლის

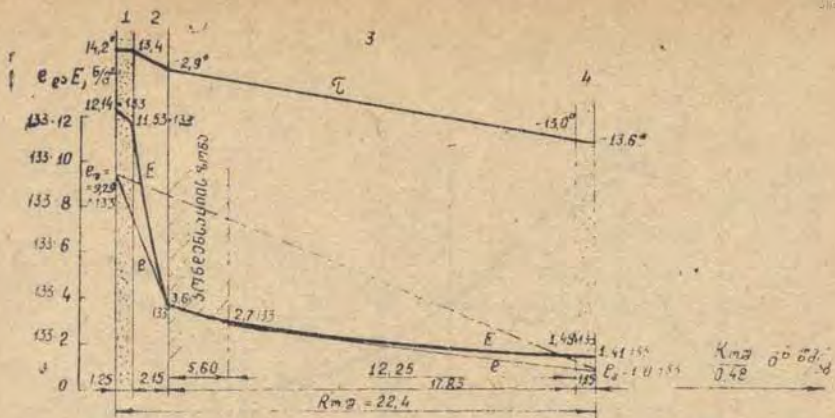


ნახ. VI-4. კონდენსაციის ზონის საზღვრების განსაზღვრა მსუბუქი ბეტონის კედლისათვის

სტრუქციის წინააღმდეგობით, ასევე მის სისქეში წყლის ორთქლის კონდენსაციის პროცესის არსებობით.  $e_3 E_1 E_2 e_3$  წირი წყლის ორთქლის ნამდვილი პარციალური წნევის დაცემის გრაფიკია. მის წრფივ მონაკვეთებზე ( $e_3 E_1$  და  $E_2 e_3$ ) პარციალური წნევის შემცირება ხდება სათანადო შრეთა ორთქლშეღწევადობისადმი წინააღმდეგობის შედეგად, ხოლო  $E_1 E_2$  მრუდზე — წყლის ორთქლის კონდენსაციის ხარჯზე. იმისათვის, რომ გამოვიანგარიშოთ კონდენსირებული წყლის რაოდენობა, საჭიროა (VI-4) ფორმულის მეშვეობით განვსაზღვროთ  $P_1$  შივა და  $P_2$  გარე შრეში გატარებული წყლის ორთქლის რაოდენობა. მათი სხვაობა გამოსახავს კონდენსირებულ ტენს

$$P = P_2 - P_1. \tag{VI-7}$$

მრავალშრიანი კედლის ტენიანობის რეჟიმის გამოსაანგარიშებლად მიზანშეწონილია კედლის კრილი წარმოვადგინოთ ორთქლშეღწევადობისადმი წინააღმდეგობის მასშტაბით (ნახ. VI-5). ჭამ დროს წყლის ორთქლის პარციალური წნევის ნამდვილი სიდიდე  $e$  იცვლება წრფივი კანონით, წინააღმდეგ შემთხვევაში (კედლის გამოსახვა შრეების სათანადო სისქეებით)  $e$  ტეხილი ხაზია, რაც ართულებს მხების შეხების წერტილების განსაზღვრას. კედლის სისქის ორთქლშეღწევადობისადმი წინააღმდეგობის მასშტაბით გამოსახვის დროს კონდენსაციის ზონის დადგენა მრავალშრიანი კედლის შემთხვევაში ხდება ზემოაღნიშნული წესის თანახმად.



ნახ. VI-5. შიგა მხრიდან დათბუნებულ კედელში ტენის კონდენსაცია:

1—კირით მობათქაშება; 2—ცემენტის ფიბროლიტი; 3—აგურის წყობა; 4—შელესეა რთული ხსნარით

კედლის კრილის აგებისას საჭიროა გამოვთვალოთ ცალკეულ შრეთა ორთქლშედლწევადობას წინააღობები

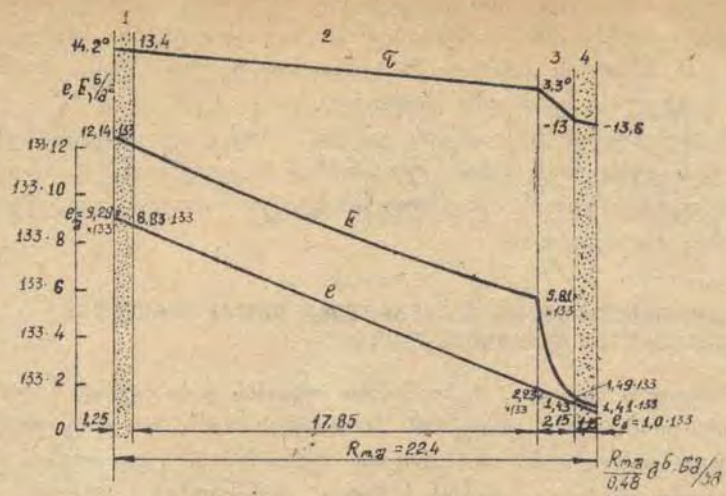
$$R_{0,შ}^1 = \frac{\delta_1}{\mu_1}, R_{0,შ}^2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} \dots R_{0,შ}^n = \frac{\delta_n}{\mu_n},$$

სადაც  $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$  სათანადო შრეთა ორთქლშედლწევადობის კოეფიციენტებია;

$\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  — ამ შრეთა სისქეები.

შემომზღული კონსტრუქციის შესაძლო გატენიანების ასაცილებლად საჭიროა კედლის შიგა ზედაპირისკენ მოვაწყოთ ნაკლებად ორთქლშედლწევადი მასალის შრე, ხოლო კედლის გარე ზედაპირისკენ — ნაკლებად თბოგამტარი (თბოსაიზოლაციო) და მაღალი ორთქლშედლწევადი მასალის შრე, რაც გამორიცხავს დატენიანების შედეგად თბოგამტარობის კოეფიციენტის არასასურველ გაზრდას (ნახ. VI-6). გარდა ამისა, შემომზღულ კონსტრუქციებში შრეთა ასეთი განლაგება ზრდის მის თბომდგრადობას.

შემომზღულ კონსტრუქციაში კონდენსირებული ტენის რაოდენობაზე დიდ გავლენას ახდენს შიგა ჰაერის ტემპერატურა და ტენიანობა. შიგა ჰაერის ტენიანობის მომატებით მკვეთრად იზრდება შემომზღულ კონსტრუქციაში კონდენსაციის რაოდენობა. ამ შემთხვევაში შიგა ჰაერის ტემპერატურა ორმაგად მოქმედებს მულმივი ფ-ის დროს. ტემპერატურის გაზრდით დიდდება შიგა ჰაერის აბსოლუტური ტენიანობა, რაც იწვევს კედელში კონდენსაციის გაზრდას, ასევე მულმივი აბსოლუტური ტენია-



ნახ. VI-6. გარე მხრიდან დათბუნებული კედლის ტენიანობის რეჟიმი:  
1—შიგა შელესვა; 2—აგურის წყობა; 3—ფიბროლიტი; 4—გარე შელესვა

ნობის დროს ტემპერატურის გაზრდით კონდენსატის რაოდენობა მცირდება.

გარე ჰაერის ტემპერატურის შემცირებით შემომზღულ კონსტრუქციაში კონდენსატის რაოდენობა იზრდება. გარე ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა ზამთრის პერიოდში შემომზღული კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმზე გავლენას არ ახდენს, რადგან ამ დროს ჰაერის დაბალი ტემპერატურის გამო წყლის ორთქლის  $E$  მაქსიმალურ პარციალურ წნევას გააჩნია დაბალი მნიშვნელობები.

ტენიანობის რეჟიმის გაანგარიშება წყლის ორთქლის სტაციონარული დიფუზიის დროს მიახლოებითა და ტენიანობის ნამდვილ რეჟიმს არ გაშოსახავს დიფუზიის პროცესის ნელა მიმდინარეობის გამო. ამიტომ ხშირ შემთხვევაში, თუ ანგარიშით მივიღებთ, რომ შემომზღულ კონსტრუქციაში აღინიშნება ტენის გამოყოფა, ეს სრულებით არ ნიშნავს იმას, რომ სინამდვილეშიც ექნება ადგილი ამ მოვლენას, რაც განსაკუთრებით მასიურ კედლებს ახასიათებს. ნაკლები მასიურობის კედლისათვის გაანგარიშების შედეგები უფრო უახლოვდება მოსალოდნელ პროცესს. მიუხედავად ასეთი უარყოფითი მხარეებისა, ეს მეთოდი ფართოდ გამოიყენება პრაქტიკაში და საინჟინრო გაანგარიშების დროს საშუალებას გვაძლევს დავადგინოთ მოსალოდნელია თუ არა შემომზღულ კონსტრუქციაში ტენის გამოყოფა და როგორი იქნება ტენის წლიური ბალანსი მასში. ამ უკანასკნელის დასადგენად საჭიროა შემომზღული კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმი გავიანგარიშოთ თვეების ან წლის



ოთხი დროის მიხედვით, რის შედეგადაც შეიძლება გავარკვიოთ შემომზღულ კონსტრუქციაში მიმდინარეობს თუ არა ტენის სისტემატურ გამოყოფა ან ზამთრის პერიოდში კონდენსირებული ტენი მოასწრებს თუ არა ზაფხულის პერიოდში აორთქლებას.

ზემოხსენებული საკითხების გარდა, რომელიც დაკავშირებულია შემომზღული კონსტრუქციების ტენიანობის რეჟიმებთან, მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ წყლის ორთქლის არასტაციონარული დიფუზიის განგარიშების მეთოდები.

#### § VI-6. ტენიანობის რეჟიმის გაანგარიშება წყლის ორთქლის არასტაციონარული დიფუზიის დროს

განხილული მეთოდი, ტენიანობის რეჟიმის დასადგენად წყლის ორთქლის სტაციონარული დიფუზიის პირობებისათვის, არ ითვალისწინებს შემომზღული კონსტრუქციის მასალის ტენიანობის ცვლილებას დროის მიხედვით და აგრეთვე მასალის საწყისი ტენიანობის გავლენას შემომზღული კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმზე. სტაციონარული რეჟიმის დასამყარებლად საჭიროა მეტად ხანგრძლივი დრო (ხშირ შემთხვევაში ეს დრო აღემატება წლის ცრფ პერიოდს), რის გამოც შემომზღულ კონსტრუქციაში მიმდინარე წყლის ორთქლის დიფუზიის რეალური პროცესი სავსებით განსხვავდება სტაციონარული პროცესისაგან. სტაციონარული დიფუზიის მეთოდებით გაანგარიშებისას მიიღება მოსალოდნელი დატენიანებისაგან თავის დაღწევის დიდი შესაძლებლობა, რის გამოც ხშირ შემთხვევაში არ იყენებენ ისეთ კონსტრუქციებს, რომელთაც ექსპლუატაციის დროს შეიძლება გააჩნდეთ სავსებით ნორმალური ტენიანობის რეჟიმი; ამ მეთოდებით გაანგარიშების დროს კი ვღებულობთ, რომ თითქოს კონსტრუქციებს აქვს ტენიანობის დაბალი მაჩასიათებლები.

თუ არასტაციონარული პროცესისათვის დიფუზიისა და თბოგამტარობის პროცესს შორის არსებულ ანალოგიას გამოვიყენებთ, მივიღებთ ბრტყელ კედელში წყლის ორთქლის დიფუზიის დიფერენციალურ განტოლებას

$$\frac{\partial e}{\partial x} = \frac{\mu}{\xi \gamma} \frac{\partial^2 e}{\partial x^2} \quad (\text{VI-8})$$

სადაც  $e$  არის წყლის ორთქლის პარციალური წნევა, ნ/მ<sup>2</sup>;

$\mu$  — მასალის ორთქლშეღწევადობის კოეფიციენტი, გ. მ/ნ. სთ.;

$\xi$  — მასალის კუთრა ორთქლშეღწევადობა, გ. მ<sup>2</sup>/კგ. ნ და გვიყენებს წყლის ორთქლის რაოდენობას გრამობით, რომელიც საჭიროა 1 კგ მასალის წყლის ორთქლის პარციალური წნევის 1 ნ/მ<sup>2</sup> გასადიდებლად.

(VI-8) განტოლებაში შემავალი მასალის ერთ-ერთი ძირითადი ტენიანობის მახასიათებელი კუთრი  $\xi$  ორთქლტევადობა ცვალებადი სიდიდეა და ამიტომაც აღნიშნული განტოლება ძნელად ამოიხსნება. იგი დამოკიდებულია შემომზღუდი კონსტრუქციის ტენიანობასა და ტემპერატურაზე. მისი მნიშვნელობა ტემპერატურისა და ტენიანობის ცვლილებით მნიშვნელოვნად იცვლება. მასალის ტემპერატურის ცვლილებაზე დამოკიდებულია აგრეთვე წყლის ორთქლის მაქსიმალური პარციალური წნევის ცვლილება.

თუ გავითვალისწინებთ აღნიშნულ გარემოებას და  $\xi$  კუთრი ორთქლტევადობის მნიშვნელობას ფარდობითი ორთქლტევადობის მნიშვნელობით შევცვლით

$$\xi_0 = \xi E_t, \tag{VI-9}$$

მაშინ (VI-8) განტოლება შემდეგნაირად დაიწერება

$$\frac{\partial e}{\partial x} = \frac{\mu}{\xi_0 \gamma} E_t \frac{\partial^2 e}{\partial x^2}. \tag{VI-10}$$

როგორც განტოლებიდან ჩანს, ტემპერატურის გავლენა გამოისახება  $E_t$ -ს მნიშვნელობით.

ფარდობითი ორთქლტევადობა  $\xi_0$  (გ/კგ) გამოისახავს ტენის რაოდენობას გრამობით, რომელიც საჭიროა 1 კგ მასალაში წყლის ორთქლის ფარდობითი ტენიანობის 0-დან 100%-მდე გასადიდებლად.  $\xi_0$ -ის გამოსაანგარიშებლად საჭიროა მასალის წყლის ორთქლით სორბციის იზოთერმის ცოდნა, რომელიც გარკვეული მრუდია. რაიმე მონაკვეთზე  $\xi_0$ -ის საშუალო მნიშვნელობა გამოისახება

$$\xi_0 = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\varphi_2 - \varphi_1} 100, \tag{VI-11}$$

სადაც  $\omega_1$  და  $\omega_2$  მრუდის გარკვეულ მონაკვეთზე მასალის საწყისი და საბოლოო წონითი ტენიანობებია;

$\varphi_1$  და  $\varphi_2$  — მათი შესაბამისი ფარდობითი ტენიანობები.

ამრიგად, მასალის წყლის ორთქლით სორბციის იზოთერმის მეშვეობით განვსაზღვრავთ  $\xi_0$ -ის მნიშვნელობას მოცემული  $\varphi$ -ის დროს და ჩავსვამთ (VI-10) ფორმულაში.

(VI-10) განტოლების ამოხსნა ანალიზური გზით რთულია, ამიტომ პრაქტიკული ამოცანების ამოხსნისას მიმართავენ სასრულ სხვაობათა მეთოდს (შმიდტის მეთოდს). გამოანგარიშების დროს დავუშვათ, რომ შემომზღუდ კონსტრუქციაში ტემპერატურული ველი სტაციონარულია — არ არის დამოკიდებული დროზე.

გაანგარიშებისას მოსალოდნელია დროის რომელიმე მომენტისათვის შემომზღუდი კონსტრუქციის ცალკეულ კვეთებში  $e_0$  მეტი იყოს.

ამ კვებების სათანადო ტემპერატურათა შესაბამის მიქსიმალურ პარციალურ წნევაზე. ეს კი გვაუწყებს შემომზღულ კონსტრუქციაში ტენის გამოყოფას.

შემომზღული კონსტრუქციის არასტაციონარული ტენიანობის რეჟიმის გაანგარიშების ზემომოყვანილ მეთოდს სხვანაირად „თანდათანობითი დატენიანების“ მეთოდსაც უწოდებენ, რადგანაც იგი გვაძლევს დროის მიხედვით მასალის ტენიანობის თანდათანობითი ცვლილების მნიშვნელობებს. ამ მეთოდით შეიძლება დავადგინოთ გამოყოფილი კონდენსატის რაოდენობა, აგრეთვე გავიანგარიშოთ შემომზღული კონსტრუქციის გამოშრობის პროცესი.

**§ VI-7. შებენი კონსტრუქციაში ტენის გადაადგილება  
თხევად მდგომარეობაში ტენიანობაში**

ტენის გადაადგილება მასალაში იწყება კონდენსატის წარმოქმნისას, რადგანაც შთანთქმულ მასალასთან კავშირში მყოფ ტენს თხევად მდგომარეობაში გადაადგილება არ შეუძლია. მხოლოდ თავისუფალ ტენს, რომელიც წარმოიშობა მასალაში წყლის ორთქლის კონდენსაციის დროს ან შეიწოვება მასალის მიერ, შეუძლია გადაადგილება. მასალის შიგნით ტენის გადაადგილების ხასიათს განესაზღვრავთ მასალასთან ტენის კავშირის ფორმებით, მასალის სტრუქტურითა და მისი თერმული მდგომარეობით.

მასალაში ტენი ორთქლის, სითხის ან ჰინულის სახითაა. გადაადგილება ძირითადად ხდება ორთქლის, ტენის ან სითხის სახით. როგორც წინა პარაგრაფებში აღვნიშნეთ, ორთქლის გადაადგილება ხდება პარციალურ წნევათა სხვაობის ხარჯზე; თხევად მდგომარეობაში კი გაპირობებულია კაპილარული ძალებით. ტენის გადაადგილება თხევად მდგომარეობაში შემდეგნაირად მიმდინარეობს: პირველ სტადიაში ტენი მასალაში ძირითადად წვრილ კაპილარებშია, რომლებიც ერთმანეთთან კავშირში არ იმყოფებიან და ამიტომაც საწყის მომენტში მათ გადაადგილება არ შეუძლიათ. შემდეგ იწყება ცალკეულ კაპილარებში არსებული სითხის ერთმანეთთან შერევა და შემდგომი გადაადგილება მასალაში. ამ დროს ტენი ავსებს მასალის ფორებს მხოლოდ ნაწილობრივ, რადგანაც მასში, გარდა ტენისა, წყლის ორთქლი და ჰაერია. გადაადგილების ამ სტადიას ეწოდება კაპილარული დიფუზია, ე. ი. ამ დროს, თხევადი ტენის გარდა, შემომზღულ კონსტრუქციაში გადაადგილდება წყლის ორთქლიც. წყლის ორთქლი შეიძლება გადაადგილდეს თხევადი ტენის საწინააღმდეგო მიმართულებითაც. ტენის გადაადგილება მასალაში მოსალოდნელია როგორც ტემპერატურული გრადიენტის არსებობისას, ასევე მის გარეშეც.

ტენის გადაადგილებას მასალაში ტემპერატურული გრადიენტის ვარეშე (იზოთერმულ პირობებში) მაღალი ტენიანობის არიდან დაბალი ტენიანობის არისკენ ა. ლიკოვმა უწოდა ტენგამტარობა, ხოლო ტენის გადაადგილების პროცესს მასალაში, ტემპერატურული გრადიენტის არსებობის დროს (თბური ნაკადის მიმართულებით) — თბოტენგამტარობა.

ტენის კაპილარული გადაადგილების დროს (ტენგამტარობა) აუცილებელი პირობაა ტენიანობის გრადიენტის არსებობა, ე. ი. მასალის ტენიანობათა სხვაობა ტენის მოძრაობის მიმართულებით. ტენის პოტენციალად ამ დროს მიიღება მასალის წონითი ტენშეცულობა. ტენის რაოდენობა (კგ/მ<sup>3</sup>. სთ), რომელიც გადაადგილდება შემომზღუდ კონსტრუქციაში წყლის ორთქლისა და სითხის ნებისმიერი თანაფარდობის დროს იზოთერმული პირობებისათვის ტენშეცულობის გრადიენტის პროპორციულია

$$i = -k \gamma_0 \nabla u, \tag{VI-12}$$

სადაც  $\nabla u$  არის ტენიანობის გრადიენტი;

$k$  — მასალის ტენგამტარობის კოეფიციენტი, მ<sup>2</sup>/სთ;

$\gamma_0$  — აბსოლუტურად მშრალი მასალის მოცულობითი წონა, კგ/მ<sup>3</sup>.

თბოტენგამტარობის დროს (არაიზოთერმული პირობები) ტენის ნაკადი ტემპერატურული გრადიენტის პროპორციულია

$$i_t = -k \gamma_0 \delta \nabla t, \tag{VI-13}$$

სადაც  $\delta$  თბოტენგამტარობის კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა იმ კვეთისათვის, სადაც  $i_H$  ტოლია  $i_t$ -ს, (VI-12) და (VI-13) ფორმულების თანახმად, გამოითვლება ტოლობით:

$$\delta = \frac{\nabla u}{\nabla t}. \tag{VI-14}$$

შემომზღუდი კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმის გაანგარიშების დროს ტემპერატურული გრადიენტის არსებობისას საჭიროა მასალის ტენშეცულობის ველის დიფერენციალური განტოლების ამოხსნა, რომელიც არასტაციონარული პროცესის დროს შემდეგი სახისაა:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( k \delta \frac{\partial t}{\partial x} \right). \tag{VI-15}$$

ეს განტოლება გამოიყენება ერთგვაროვანი მასალისაგან შემდგარი ერთშირიანი კედლისათვის. ამიტომ შემომზღუდი კონსტრუქციების ტენიანობის რეჟიმების დასადგენად ნაკლებად იყენებენ. მას ძირითადად ვიყენებთ შემომზღუდ კონსტრუქციაში თხევადი ტენის გადაადგილების საანგარიშოდ. მასალაში თხევადი ტენის გადაადგილების დროს ტემპე-

რატურული გრადიენტი ჩვეულებრივ უმნიშვნელოა და შესაძლებელია მისი უგულებელყოფა. საბოლოოდ (VI-15) განტოლება მიიღებს შემდეგ სახეს:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial u}{\partial x} \right). \quad (\text{VI-16})$$

ამ ფორმულაში შემავალი სიდიდე  $k$  ცვალებადია. იგი დამოკიდებულია მასალის სტრუქტურაზე, რაც გაითვალისწინება გაანგარიშების დროს.

(VI-16) განტოლების ამოხსნისას, ისევე როგორც სხვა განხილულ შემთხვევაშიც, მიმართავენ სასრულ სხვაობათა მეთოდს.

**§ VI-8. უფმოკვლულ კონსტრუქციაში წყლის ორთქლისა და ტენის თხევად მდგომარეობაში ერთდროული გადაადგილება. ტენის პოტენციალის ცნება**

თუ სამშენებლო მასალას (შემომზღულ კონსტრუქციას) გააჩნია სორბციულ დატენიანების ზღვარზე მაღალი ტენიანობა და ამავე დროს შემომზღულ კონსტრუქციის სისქეში არ აღინიშნება ტემპერატურის ცვლილება  $\left( \frac{\partial t}{\partial x} = 0 \right)$ , მაშინ კონსტრუქციაში ადგილი აქვს ტენის გადაადგილებას მხოლოდ თხევად მდგომარეობაში. თუ შემომზღული კონსტრუქციის სისქეში ადგილი აქვს ტემპერატურულ გრადიენტს, მაშინ ტენის კაპილარულ გადაადგილებასთან ერთად შეიმჩნევა წყლის ორთქლის დიფუზიაც, გამოწვეული მაქსიმალური პარციალური წნევის გრადიენტით  $\left( \frac{\partial E}{\partial x} \right)$ .

მასალის ზესორბციული ტენიანობისა და ამ დროს ტენის გადაადგილების, აგრეთვე შემომზღული კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმის შესწავლა მიზანშეწონილია განვაზოროციელოთ ტენის პოტენციალის სიდიდის მიხედვით. სამშენებლო თბოფიზიკაში ტენის პოტენციალის ცნება და შემომზღული კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმების გაანგარიშება ტენის პოტენციალის საფუძველზე მოგვცა პროფ. ვ. ბოგოსლოვსკიმ. ამ მეთოდის საფუძველია ტენის გადაადგილების შესწავლის თერმოდინამიკური მეთოდი, რომელიც საშუალებას გვაძლევს შემომზღულ კონსტრუქციაში მაშინდარე კერძო კანონზომიერებათა და მიკრომოვლენათა ანალიზის გარეშე მივიღოთ ტენცვლის საერთო სურათი და დავადგინოთ მისი კანონზომიერებანი.

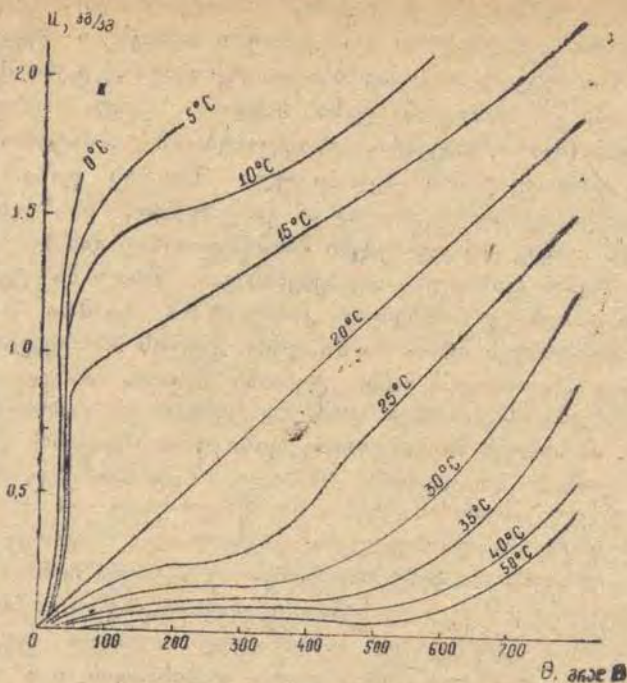
თერმოდინამიკური ტერმინოლოგიის თანახმად, ტენიანი მასალა შემომზღულ კონსტრუქციაში განიხილება, როგორც ღია ჰეტეროგენული

სისტემა, რომელიც შედგება რამდენიმე კომპონენტისაგან: მასალის ჩონჩხის (გეომეტრია, შედგენილობა და ქიმიური თვისებები ტენგადაცემის პროცესის დროს უცვლელია), ჰაერისა და ტენისაგან. ტენი შემომზღულ კონსტრუქციაში კი რამდენიმე ფაზის სახითაა. გარდა საერთოდ ცნობილი ფაზებისა (მყარი, თხევადი, ორთქლისებრი), დამატებით საჭიროა განვიხილოთ აგრეთვე ტენის ზედაპირული შრეების ფაზა. ამ ფაზის ცალკე გამოყოფა განპირობებულია იმ გარემოებით, რომ ტენის ზედაპირული შრის ფიზიკური თვისებები მნიშვნელოვნად განსხვავდება მასალის შიგნით ტენის ფიზიკური თვისებებისაგან. მასალაში ტენის ზემოქმედებით ფაზები ერთმანეთთან კონტაქტშია და მათ შორის შეიძლება მიმდინარეობდეს თბო- და მასალათა ცვლის პროცესები.

როგორც ანალიზიდან ჩანს, ტენიანი მასალა რთული სისტემაა, რომელიც შედგება სხვადასხვა კომპონენტებისა და ტენის სხვადასხვა ფაზებისაგან. ამ სისტემაში მიმდინარე ფიზიკური პროცესის თერმოდინამიკური ანალიზის საფუძველზე პროფ. ვ. ბოგოსლოვსკი დაასკვნის, რომ შესაძლებელია ასეთი სისტემის მნიშვნელოვნად გამარტივება. სახელდობრ, ტენიანი მასალა შეიძლება განვიხილოთ როგორც ორკომპონენტური და ერთფაზიანი სისტემა, რომელიც შედგება ჩონჩხისა და მასში შთავსებული ტენისაგან (ჰაზებად დაყოფის გარეშე). ამასთან, მასალის ტენიანობის მდგომარეობის გამომსახველი სიდიდეა ტენის პოტენციალი, რომელიც საერთოა ტენის ყველა ფაზისათვის. იგი ტენგადაცემის პროცესში ასრულებს იმავე როლს, რასაც ტემპერატურა, რომელიც წარმოადგენს პოტენციალს თბოგადაცემის პროცესში. ტენას პოტენციალი მასალის დატენიანების ხარისხს გამოსახავს. ტენის გადაადგილება შემომზღულ კონსტრუქციაში ხდება მაღალი პოტენციალის არიდან დაბალი პოტენციალის არისაკენ. ტენიანი მასალის ორ წერტილს შორის ტენის პოტენციალთა სხვაობა განსაზღვრავს ტენის გადატანის ინტენსიურობას და მის მიმართულებას.

ტენის პოტენციალის ცნებას საფუძვლად უდევს პოსტულატი — თუ სხვადასხვა მასალისაგან შემდგარი ორი ტენიანი სხეული იმყოფება ტენიანობრივ წონასწორობაში მესამე ტენიან სხეულთან, მაშინ ისინი ტენიანობრივ წონასწორობაშია ერთმანეთთან. ეს პოსტულატი, რომელიც დამტკიცებულია მრავალი ექსპერიმენტით, საშუალებას გვაძლევს ტენის პოტენციალის საზომად შევაოჩიოთ ნებისმიერი ტენიანი სხეული, რომელიც ეტალონური მასალაა. ამ გზით მიღებული ტენის პოტენციალი წარმოადგენს ექსპერიმენტულ პოტენციალს. ეტალონურ მასალად მიზანშეწონილია მივიღოთ საფილტრავი ქაღალდი, რომელიც ტენიან მასალასთან ტენიანობრივ წონასწორობაშია. ეტალონურ ტემპერატურად მიღებულია  $+20^{\circ}\text{C}$ .

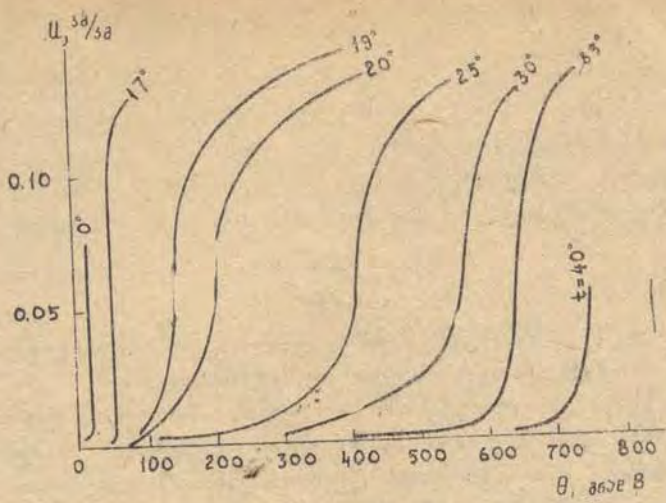
ტენის პოტენციალი გამოისახება გრადუსობით, რომელსაც ტენის გრადუსი ეწოდება და აღინიშნება  $^{\circ}\text{B}$ . ტენის პოტენციალის შკალა თა-



ნახ. VI-7. ტენის პოტენციალსა და საფილტრავი ქაღალდის ტენიანობას შორის დამოკიდებულება სხვადასხვა ტემპერატურების დროს

ნაბარია და აგებულია შემდეგი ორი წერტილისათვის მშრალი საფილტრავი ქაღალდისათვის  $\Theta = 0^\circ B$ ; მაქსიმალური სორბციის ტენიანობისათვის კი  $\Theta = 100^\circ B$ . ტენის პოტენციალის 1°-ით ცვლილება შეესაბამება  $+20^\circ C$  ტემპერატურაზე საფილტრავი ქაღალდის მაქსიმალური სორბციული ტენიანობის  $\frac{1}{100}$  ნაწილს. მაქსიმალური სორბციული ტენიანობისათვის ყველა მასალისათვის  $\Theta = 100^\circ B$ .

VI-7 ნახაზე წარმოდგენილია საფილტრავი ქაღალდის ტენიანობისა და ტენის პოტენციალს  $\Theta$  შორის დამოკიდებულება სხვადასხვა ტემპერატურების დროს. იმისათვის, რომ განვსაზღვროთ სამშენებლო მასალის ტენის პოტენციალი მასალის მოცემული ტენიანობის დროს, საჭიროა იგი შევანოთ საფილტრავ ქაღალდს ისე, რომ გარემომცველ გარემოსთან ტენცვლას ადგილი არ ჰქონდეს. შეხების შედეგად მასალასა და საფილტრავ ქაღალდს შორის დამყარდება ტენიანობრივი წონასწორობა, ე. ი. მათი ტენიანობები ერთმანეთს გაუტოლდება. ამის შემდეგ განვსაზღვრავთ მასალისა და საფილტრავი ქაღალდის ტენიანობას, რის

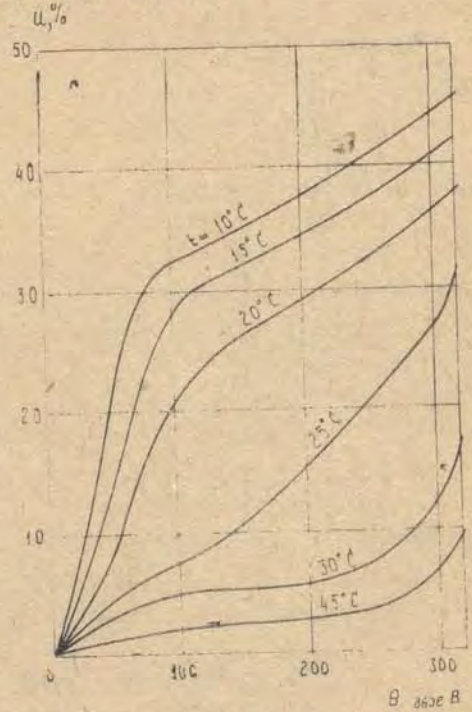


ნახ. VI-8. წითელი აგურის ტენიანობის დამოკიდებულება ტენის პოტენციალზე სხვადასხვა ტემპერატურების დროს

საფუძველზეც შემდეგ განისაზღვრება მასალის ტენის პოტენციალი  $\theta^{\circ}B$  VI-8 და VI-9 ნახაზებზე წარმოდგენილია ამ გზით მიღებული ტენიანობის ( $\mu$ ) დამოკიდებულება ტემპერატურასა ( $t$ ) და ტენის პოტენციალზე ( $\theta$ ) აგურისა და ქაფბეტონისათვის.

თუ ცნობილია მასალის ტენის პოტენციალი, შესაძლებელია მრავალშრიან კედელში არაიზოთერმული პირობებისათვის ტენგადაცემის არასტაციონარული რეჟიმის აღწერა.

როგორც აღნიშნეთ (წინა პარაგრაფებში), მასალის სისქეში ტენცვლის პროცესი ექვემდებარება ორ 10. გ. რატიანი, მ. გრძელწივილი



ნახ. VI-9. ქაფბეტონის ტენიანობის დამოკიდებულება ტენის პოტენციალზე სხვადასხვა ტემპერატურების დროს.



კანონზომიერებას: მასალის მიერ ტენის შთანთქმას და ტენგამტარობას.

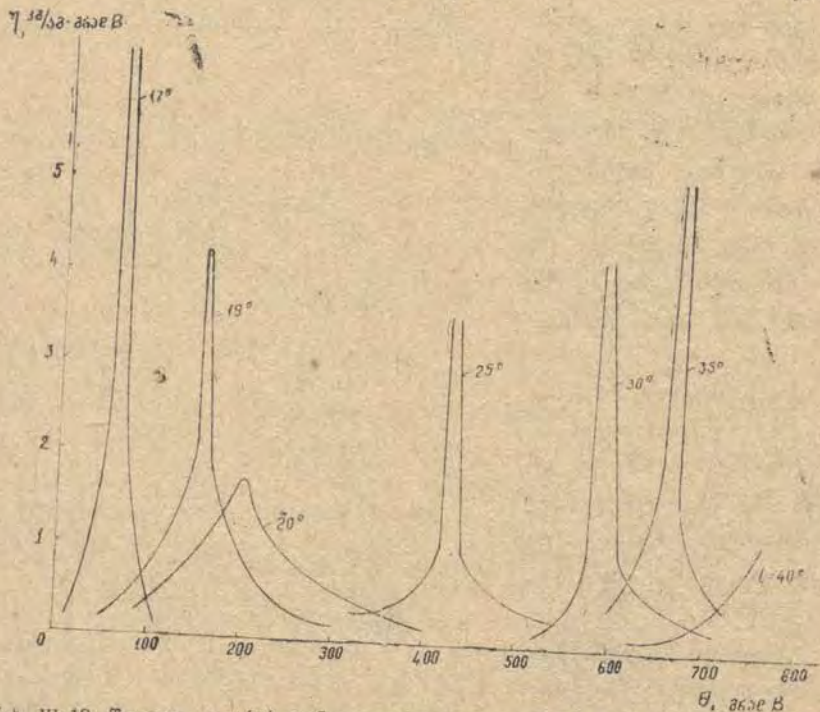
მასალის მიერ ტენის შთანთქმა დამოკიდებულია მისი  $\eta$  ტენტევალობის თვისებებზე, რომლებიც გვიჩვენებენ მასალის  $\mu$  ტენიანობის ცვლილებას ტენის პოტენციალის  $\Theta$ -ს ცვლილებასთან დაკავშირებით. იგი დამოკიდებულია ტემპერატურასა და ტენის პოტენციალზე და წარმოადგენს ტენშეცულობას კერძო წარმოებულს ტენის პოტენციალზე

$$\eta = \frac{\partial \mu}{\partial \Theta} \quad (VI-17)$$

V-10, და V-11 ნახაზებზე წარმოდგენილია ფუნქციონალური დამოკიდებულება  $\eta = f(\Theta; t)$  აგურისა და ქაფბეტონისათვის.

შემომზღულ კონსტრუქციაში ტენცვლის პროცესის მეორე სახე — ტენგამტარობა განსაზღვრავს მასში ტენის გადატანის ინტენსივობას. თბოგამტარობის ანალოგიურად (ფურიეს კანონი) მიღებულია, რომ  $i$  ტენის ნაკადი (კგ/მ<sup>2</sup> სთ)  $\nabla \Theta^\circ B/მ$  ტენის პოტენციალის გრადიენტის პროპორციულია:

$$i = -\chi \nabla \Theta, \quad (VI-18)$$



ნახ. VI-10. წითელი აგურის ტენტევალობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ტენის პოტენციალზე სხვადასხვა ტემპერატურების დროს

სადაც  $\chi$  ტენგამტარობის კოეფიციენტი, კგ/მ სთ<sup>°</sup>B. აფურისა და ქაფბეტონისათვის  $\chi$ -ს დამოკიდებულება  $\theta$ -საგან მიღებული ექსპერიმენტალური გზით წარმოღვენილია VI-12 ნახაზზე.

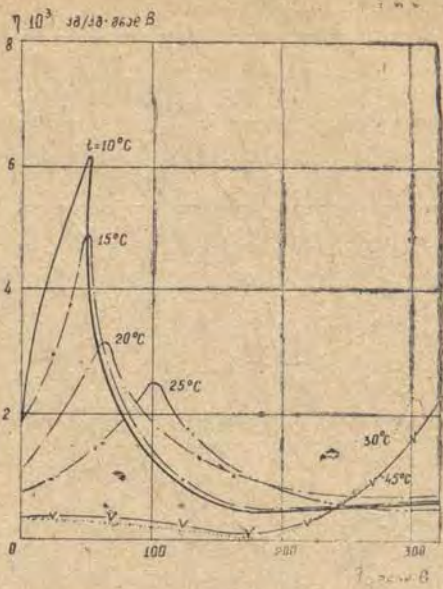
მასალის სისქეში ტენგამტარობის პროცესი შეიძლება აღვწეროთ ტენის პოტენციალის ველის განტოლებით

$$\eta = (\theta, t) \gamma_0 \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \chi(\theta, t) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right]. \quad (VI-19)$$

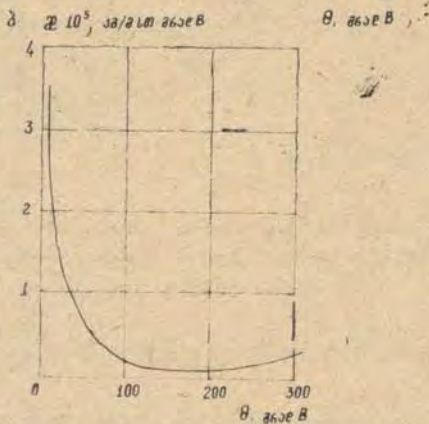
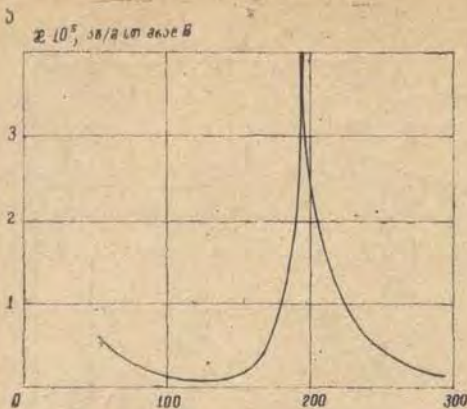
ეს განტოლება ნიიღება მასის შენახვის კანონის საფუძველზე, ელემენტარული შრის ტენის ბალანსის განხილვის შედეგად. ამ განტოლებაში  $\gamma_0$  აბსოლუტურად მშრალი მასალის მოცულობითი წონაა, კგ/მ<sup>3</sup>.

ტენის პოტენციალი დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. შემომზღულ კონსტრუქციაში ტენის გადაადგილება დაკავშირებულია მასში სითბოს გადაცემასთან და იწვევს კედლის სისქეში ტემპერატურული ველის ცვლილებას. კონსტრუქციაში ტენისა და სითბოს გადაცემის პროცესები მიმდინარეობს ერთდროულად და ერთმანეთს განსაზღვრავს. ამიტომ შემომზღული კონსტრუქციების თბოტენიანობის რეჟიმების შესასწავლად საჭიროა თბოგამტარობისა და ტენგამტარობის განტოლებათა სისტემის ერთობლივი განხილვა. ასეთი გაანგარიშება მათემატიკური თვალსაზრისით სირთულეს წარმოადგენს და, როგორც წესი, მათ განვსაზღვრავთ ცალ-ცალკე. ამასთან შემომზღული კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმის გაანგარიშების დროს მისი ტემპერატურული ველი წინასწარ ცნობილი სრდიღვა.

შემომზღული კონსტრუქციის ზედაპირებზე ტენცვლას პროცესის აღწერისას აუცილებელია ჰაერის ტენიანობა სხვადასხვა ტემპერატურის დროს გამოვსახოთ ტენის პოტენციალით. ეს დამოკიდებულება მოცემულია VI-13 ნახაზზე.



ნახ. VI-11. ქაფბეტონის ტენტევილობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება ტენის პოტენციალზე სხვადასხვა ტემპერატურების დროს



ნახ. VI-12. წითელი აგურის (ა) და ქაფბეტონის (ბ) ტენგამტარობის კოეფიციენტის დამოკიდებულება Θ-საგან.

$$\chi_1 \frac{\partial \Theta_1}{\partial x} \Big|_{\text{ზედ}} = \chi_2 \frac{\partial \Theta_2}{\partial x} \Big|_{\text{ზედ}} \quad (\text{VI-21})$$

$$\Theta_1|_{\text{ზედ}} = \Theta_2|_{\text{ზედ}}$$

სადაც ინდექსები 1 და 2 შეესაბამება სათანადოდ 1-ელ და მე-2 შრეებს.

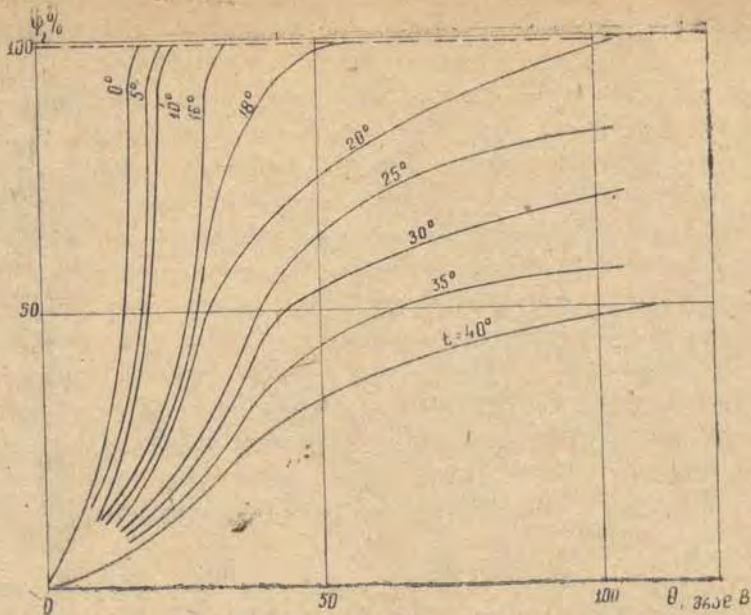
ტენის პოტენციალის ზემოგანხილული ყველა დებულება მართებულა უარყოფითი ტემპერატურების შემთხვევაშიც. უარყოფითი ტემპერატურების დროს შეიძლება საქმე გვქონდეს გაყინულ მასალებთან. ასეთ მასალებში ტენის ნაწილი იქცევა ყინულად, მაგრამ ტენის ფაზებში აღინიშნება ტენის პოტენციალებს შორის ტოლობები. ტენის პოტენციალის საფუძველზე ეს გარემოება გაყინული მასალების ტენიანობის რეჟიმების შესწავლის საშუალებას გვაძლევს.

ზედაპირსა და ჰაერს შორის ტენცვლის პირობა შეიძლება აღწერილ იქნეს III გვარის სასაზღვრო პირობით

$$\beta (\Theta|_{\text{ზედ}} - \Theta_3) = -\chi \frac{\partial \Theta}{\partial x} \Big|_{\text{ზედ}} \quad (\text{VI-20})$$

სადაც  $\Theta|_{\text{ზედ}}$  და  $\frac{\partial \Theta}{\partial x} \Big|_{\text{ზედ}}$ , ტენის პოტენციალის გრადიენტი მასალაში და კონსტრუქციის ზედაპირზე.  $\Theta_3$  — ჰაერის ტენის პოტენციალი;  $\beta$  — ტენცვლის კოეფიციენტი, კვ/მ<sup>2</sup>. სთ. გრად.

მრავალშრიანი კედლის შემთხვევაში თბოგადაცემის ანალოგიურად შრეთა საზღვრებზე უნდა დავიცვათ პოტენციალებისა და ტენის ნაკადების ტოლობის პირობები (IV გვარის სასაზღვრო პირობები)



ნახ. VI-13. ჰაერის ფარდობითო ტენიანობის დამოკიდებულება ტენის პოტენციალზე სხვადასხვა ტემპერატურების დროს

შემომზღული კონსტრუქციების ტენიანობის რეჟიმის შესწავლის შემოგანხილული მეთოდი, დაფუძნებული ტენის პოტენციალის ცნებაზე, საშუალებას გვაძლევს შევისწავლოთ არასტაციონარული ტენგადაცემის პროცესი ტემპერატურისა და ტენიანობის ნებისმიერი დიაპაზონის და რთულ სასაზღვრო პირობების შემთხვევაში, მეორის მხრივ, ეს მეთოდი ნაკლებად გამოიყენება საინჟინრო გაანგარიშების პრაქტიკაში. ეს გარემოება აიხსნება იმით, რომ არ მოგვეპოვება მონაცემები ყველა სახის სამშენებლო მასალის ტენის პოტენციალის შესახებ.

თა 30 VII

**ჰაერზე ზედადობა და სათაფლის თაბური რეჟიმი**

შემომზღული კონსტრუქციის მოპირდაპირე მხარეებზე ჰაერის წნევათა სხვაობის არსებობის დროს მოსალოდნელია ჰაერის შეღწევა მაღალი წნევიდან დაბლისაკენ. ჰაერის შეღწევის პროცესი შემომზღულ კონსტრუქციაში ფილტრაციაა. ფილტრაციის მოვლენას გარე ჰაერიდან სა-

თავსში ეწოდება ინფილტრაცია, ხოლო ფილტრაციის მოვლენას სათავსიდან გარემოში — ექსფილტრაცია; შემომზღუდი კონსტრუქციის ან მასალის თვისებას გაატაროს ჰაერი ეწოდება ჰაერშედწევადობა.

სანჰიგიენური თვალსაზრისით ჰაერშედწევადობა შემომზღუდი კონსტრუქციის დადებითი თვისებაა, რადგანაც ამ დროს გარე ჰაერი ინფილტრაციის შედეგად ახდენს სათავსის ბუნებრივ ვენტლაციას. თუ ამ საკითხს შევაფასებთ თბოტექნიკური თვალსაზრისით, დავრწმუნდებით, რომ ჰაერშედწევადობა შემომზღუდი კონსტრუქციის უარყოფითი თვისებაა. მაგალითად, ზამთარში ჰაერის ინფილტრაციის დროს იზრდება სითბოს ხარჯი ინფილტრირებული ჰაერის გასათბობად. ინფილტრაციის შედეგად მოსალოდნელია სათავსის გაცივება, ექსფილტრაციისას კი — შემომზღუდი კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმის დარღვევა. ამ დროს შემომზღუდი კონსტრუქციაში სათავსის შიგა, ტენიანი ჰაერი გადაადგილდება. შემომზღუდი კონსტრუქციის სისქეში ტემპერატურის დაცემის შედეგად მოსალოდნელია მასში ტენიანი ჰაერიდან წყლის ორთქლის კონდენსაცია, რაც აქვეითებს შემომზღუდი კონსტრუქციის თბური დაცვის თვისებას.

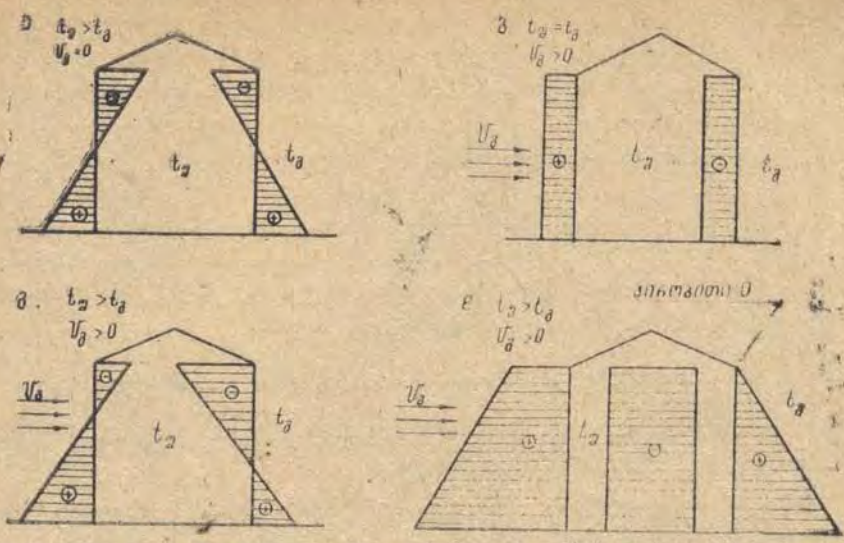
ფილტრაციის მოვლენის აუცილებელი პირობაა წნევათა სხვაობა შემომზღუდი კონსტრუქციის მოპირდაპირე მხარეებზე. წნევათა სხვაობა შეიძლება გამოწვეულ იქნეს ტემპერატურათა სხვაობით (თბური დაწნევა) ან ქარის მოქმედებით (ქარის დაწნევა).

თბური დაწნევა. ზამთრის პირობებში გამთბარი შენობის ჰაერის ტემპერატურა მეტია გარე ჰაერის ტემპერატურაზე. სათანადოდ, გარე ჰაერი მეტი მოცულობითი წონისაა, ვიდრე შენობის ჰაერი. გარე და შიგა ჰაერის მოცულობითი წონების ხარჯზე წარმოიქმნება წნევათა სხვაობა, რომელსაც თბური ან გრავიტაციული დაწნევა ეწოდება. VII-1 ნახაზზე ნაჩვენებია შენობის განივი ჭრილი. თუ შენობის ქერი და იატაკი ჰაერშედწევადია, მაშინ გარე შემომზღუდი კონსტრუქციის ქვედა ნაწილში მიმდინარეობს ინფილტრაცია, ზედა ნაწილში კი — ექსფილტრაცია.

შენობის ქვედა ნაწილში გარე ჰაერის წნევა მეტია, ვიდრე შიგა ჰაერის, ხოლო ზედა ნაწილში პირიქით, შიგა ჰაერის წნევა მეტია გარე ჰაერის წნევაზე, ამიტომაც წნევათა ეპიურებს აქვს სხვადასხვა ნიშანი. თბური დაწნევის სიდიდე შემომზღუდი კონსტრუქციის სიმაღლის მიხედვით სხვადასხვაა და გამოისახება

$$\Delta P = h (\gamma_a - \gamma_b), \quad (\text{VII-1})$$

სადაც  $\gamma_a$  და  $\gamma_b$  — შესაბამისი გარე და შიგა ჰაერის მოცულობითი წონებია.



ნახ. VII-1. ქარის წნევების ეპიურები გამოწვეული ტემპერატურათა სხვაობით (ა), ქარით (ბ). მათი ერთდროული მოქმედებით (გ), პირობითი ნულიდან ათვლის დროს (დ)

შენობის სიმაღლის შუა ნაწილისათვის ( $h=0$ ) შემომზღუდი კონსტრუქციის მხარეებზე ჰაერის წნევათა სხვაობა არ შეიმჩნევა,  $\Delta P=0$ . თუ ამ სიმაღლეზე შენობის კედელში მოვაწყობთ ხვრელს, ჰაერის მოძრაობას აღვილი არ ექნება. ნულოვან წნევათა სხვაობის სიბრტყეს შენობის ნეიტრალური სიბრტყე ეწოდება. ნეიტრალური სიბრტყე (VII-1, ა) ნახაზზე ნაჩვენებია შენობისათვის მისი სიმაღლის შუაზე გადის და ამ დროს თბური დაწნევის მაქსიმალური სიდიდე

$$\Delta P = 0,5 H (\gamma_B - \gamma_B), \quad (VII-2)$$

სადაც  $H$  — შენობის მთლიანი სიმაღლეა.

(VII-2) ფორმულა გვიჩვენებს, რომ თბური დაწნევის სიდიდე მატულობს შენობის სიმაღლისა და შიგა და გარე ჰაერის ტემპერატურათა სხვაობის გაზრდით.

ქარის დაწნევა. თუ შენობაზე მოქმედებს ქარი, ხოლო შენობის შიგა და გარე ჰაერის ტემპერატურები ერთნაირია, მაშინ გარე კედლების გარე ზედაპირებზე წარმოიქმნება გადიდებული ან შემცირებული სტატიკური წნევები იმის მიხედვით, თუ რომელ კედელზე მოქმედებს ქარი, ენერჯის შენახვის კანონის თანახმად, წნევა შენობის შიგნით ერთნაირი ჰაერშედწვეადობის დროს ზემოხსენებული სტატიკური წნევების საშუალო მნიშვნელობის ტოლია. აღსანიშნავია, რომ წნევის გადიდება აღინიშნება იმ კონსტრუქციებზე, რომლებზეც უშუალოდ მოქმედებს ქა-

რი, ხოლო წნევის შემცირება — იმ კედლებზე; რომლებზეც ქარბი მოქმედებს (ნახ. VII-1, ბ). როგორც ნახაზიდან ჩანს, ეპიურებს შენობის მთელ სიმაღლეზე გააჩნიათ ერთი და იგივე ორდინატები, რაც განპირობებულია სიჩქარისა და შენობის გარშემოღინების აეროდინამიკური რეჟიმის მუდმივობით.

ქარის დაწნევის აბსოლუტური მნიშვნელობა

$$P_e = \left| \frac{k_1 - k_2}{2} \right| \frac{v_0^2}{2g} \gamma_a, \quad (\text{VII-3})$$

სადაც  $k_1$  და  $k_2$  აეროდინამიკური კოეფიციენტებია ქარის მოქმედების მხარეს და იმ მხარეს, სადაც ქარი არ მოქმედებს.

$\frac{v_0^2}{2g} \gamma_a$  — შენობაზე მოქმედი ჰაერის ნაკადის დინამიკური წნევა.

აეროდინამიკური კოეფიციენტების სიდიდე დამოკიდებულია შენობის ფორმასა და ქარის მიმართულებაზე.

ჩვეულებრივი ფორმის შენობებს ვერტიკალური შემომზღუდი კონსტრუქციებისათვის  $k_1 = 0,8$ , ხოლო  $k_2 = 0,4$  (ჰაერის გაიშვიათება)

ზემოთ შეშავალ ფორმულაში  $v$  ქარის მოქმედების სიჩქარეა და გაანგარიშების დროს აიღება ყველაზე ცივი თვის საშუალო სიჩქარის ტოლი.

ქარის დაწნევა შეიძლება ბევრად აღემატებოდეს თბურ დაწნევას; მაგრამ ქარის მოქმედება, როგორც ცნობილია, მუდმივი არაა. თბურ დაწნევა კი მუდმივად მოქმედებს შენობაზე. გრავიტაციული ძალებისა და ქარის ერთდროული მოქმედების დროს ჰარბი წნევის სიდიდეს (წნევათა სხვაობის სიდიდე) გამოვთვლით მათი ცალკეული მნიშვნელობების შეჯამებით. ასეთი შეჯამების შედეგი, როდესაც  $v_0 > 0$ ; ხოლო  $t_2 > t_1$ , მოცემულია VII-1 გ, დ ნახაზზე.

ამ შემთხვევისათვის ჰარბი წნევების ეპიურების ორდინატების მნიშვნელობები

$$P = P_{თა} \pm |P_{ქარ}| = h (\gamma_a - \gamma_b) \pm \left( \frac{k_1 - k_2}{2} \right) \frac{v_0^2}{2g} \gamma_a, \quad (\text{VII-4})$$

## § VII-1. შემომზღუდი კონსტრუქციის ჰაერშეღწევა

სათავის საჰაერო რეჟიმი დამოკიდებულია გარე და შიგა შემომზღუდი კონსტრუქციების ჰაერშეღწევაობაზე. ტექნიკური მიზეზების გამო ხშირ შემთხვევებში შემომზღუდი კონსტრუქციების სრული ჰერმეტიზაცია შეუძლებელია. შემომზღუდი კონსტრუქცია წარმოადგენს კაპილარულფორებიან სხეულს, რომელშიც გადაადგილდება ჰაერი. შემომზღუდი კონსტრუქციაში ფილტრაციის ინტენსივობა დამოკიდებულია

შემომზღული კონსტრუქციის მხარეებზე წნევათა სხვაობის სიდიდესა და კონსტრუქციის უნარზე გაატაროს ჰაერი. შემომზღული კონსტრუქციის უნარი გაატაროს ჰაერი, ხასიათდება I ჰაერშელწვევადობის კოეფიციენტით. ჰაერშელწვევადობის კოეფიციენტი გვიჩვენებს ჰაერის რაოდენობას კგ-ობით, რომელიც შემომზღული კონსტრუქციის 1 მ<sup>2</sup>-ში ან პირაპირების 1 გრძ. მ ზვრელში გადაადგილდება 1 საათის განმავლობაში, როდესაც კონსტრუქციის მხარეებზე წნევათა სხვაობა 1 ნ/მ<sup>2</sup> ტოლია.

ჰაერშელწვევადობის კოეფიციენტის შებრუნებულ სიდიდეს ჰაერშელწვევადობისადმი წინაღობა ეწოდება, ე. ი.

$$R_{\text{ჰ.გ}} = \frac{1}{I} \quad (\text{VII-5})$$

ჰაერშელწვევადობისადმი წინაღობის განზომილებაა ნ.სთ/კგ და გვიჩვენებს იმ წნევათა სხვაობის სიდიდეს, როდესაც შემომზღული კონსტრუქციის 1 მ<sup>2</sup>-ში ან პირაპირის 1 გრძ. მეტრზე 1 საათის განმავლობაში აღწევს 1 კგ ჰაერი.

ჰაერშელწვევადობის კოეფიციენტისა და ჰაერშელწვევადობისადმი წინააღმდეგობის განმარტებების თანახმად, გადაადგილებულ ჰაერსა  $j$  (კგ/მ<sup>2</sup> სთ) და წნევათა სხვაობას  $\Delta P$ -ს შორის დამოკიდებულებას წრფივი ხასიათი აქვს. ფაქტიურად კი შენობათა უმეტესი კონსტრუქციული ელემენტებისათვის ჰაერშელწვევადობისა და წნევათა სხვაობას შორის დამოკიდებულება შემდეგი სახისაა:

$$j = S' \Delta P^{1/n} \quad (\text{VII-6})$$

სადაც  $n$  იცვლება 1-დან 2-მდე.

შენობებისათვის შესაძლო წნევათა სხვაობის შესაბამისი ჰაერშელწვევადობის ფაქტიური მნიშვნელობებისათვის იყენებენ ერთიან ფორმულას

$$j = S \Delta P^{1/2} \quad (\text{VII-7})$$

სადაც  $S$ —კონსტრუქციის ჰაერის გამტარებლობის კოეფიციენტი.

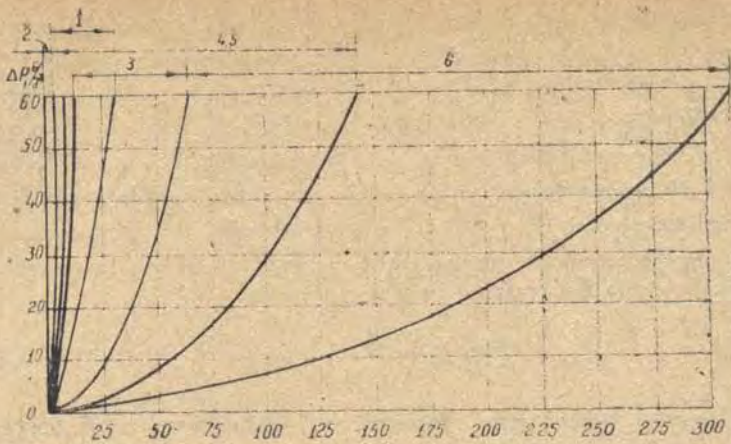
VII-2 ნახაზზე ნაჩვენებია ჰაერის ხარჯსა ( $j$ ) და წნევათა სხვაობას ( $\Delta P$ ) შორის დამოკიდებულება ზოგიერთი კოეფიციენტისათვის.

ჰაერშელწვევადობისა და ჰაერის გამტარებლობისადმი წინააღმდეგობის შორის ჰაერის ტოლი რაოდენობების შემთხვევაში არსებობს დამოკიდებულება

$$\frac{R_{\text{ჰ.გ}}}{1} = \Delta P^{1/2} \quad (\text{VII-8})$$

აღნიშნული ფორმულა გვიჩვენებს, რომ 1 ნ/მ<sup>2</sup> წნევათა სხვაობისა და ჰაერის ტოლი რაოდენობის დროს ჰაერშელწვევადობისადმი წინააღობა





ნახ. VII-2. შენობაში ცალკეული ელემენტების ჰაერშელწევადობა:  
 1—შემომზღული კონსტრუქციის მასივი; 2—პანელების პირაპირები; 3—ფან-  
 ჯრები; 4—გარე კარბუები; 5—შივა კარბები; 6—ჭერსადენები

ჰაერის გამტარებლობისადმი წინააღმდეგობის ტოლია. ამიტომ მცირე წნევა-  
 თა სხვაობის დროს ჰაერშელწევადობისადმი წინააღმდეგობის ნორმირებული  
 სიდიდე შეგვიძლია მივიღოთ ჰაერის გამტარებლობისადმი წინააღმდეგობის  
 სიდიდედ.

**§ VII-2. უმომზღული კონსტრუქციის თბოგადაცემა  
 ჰაერშელწევადობის დროს**

თანამედროვე, მსხვილგაბარიტიანი კონსტრუქციებით აშენებულ  
 მრავალსართულიან შენობებში სათავესში თბური რეჟიმის ფორმირებასა  
 და შემომზღული კონსტრუქციების თბოგადაცემაზე მნიშვნელოვან გავ-  
 ლენას ახდენს ჰაერშელწევადობის მოვლენა.

შემომზღული კონსტრუქციების სხვადასხვა ელემენტებისათვის თბო-  
 გადაცემის პროცესზე ჰაერშელწევადობის გავლენა სხვადასხვაგვარად  
 ვლინდება. მაგალითად, შემინული ზედაპირებისათვის, რომელთაც გააჩ-  
 ნიათ ფილტრაციისადმი დაბალი წინააღმდეგობა, ჰაერშელწევადობისას  
 ადგილი აქვს თბოდანაკარგების მკვეთრ გაზრდას, ხოლო მასიური კედ-  
 ლებისა და კონსტრუქციული ელემენტების შეერთების ადგილებისათვის  
 (პირაპირებისათვის) ჰაერის ინფილტრაციის დროს კედლის სისქეში ნე-  
 ბისმიერ გვერდზე ტემპერატურა მცირდება, ე. ი. ტემპერატურული ვე-  
 ლი კედლის სისქეში გადაადგილდება (ნახ. VII-3). აღნიშნული მოვლენა  
 კი იწვევს კედლის შივა ზედაპირის ტემპერატურის შემცირებას. ეს  
 მოვლენები განვიხილოთ ცალ-ცალკე.

**ჰაერშელწევადი კე<sup>2</sup>**

დელი. ჰაერის ფილტრაციის დროს შემომზღუდი კონსტრუქციის (კედლის) ზედაპირზე სითბოს გაცემის პროცესი და ტემპერატურული ველი ჰაერშელწევადი კედლის თბოგადაცემის პროცესისა და ტემპერატურული ველისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავდება. ამ დროს სითბოს გადატანა, გარდა კონვექციისა და თბოგამტარობისა, ჰაერიდან კედელზე ან პირიქით ხდება აგრეთვე ჰაერის იმ ნაკადის მეშვეობით, რომელიც კაპილარულფორებიან შემომზღულ კონსტრუქციაში განიცდის ფილტრაციას. შემომზღულ კონსტრუქციაში ფილტრირებული ჰაერის რაოდენობა უმნიშვნელოა. მისი სიდიდე 1 მ<sup>2</sup> ზედაპირისათვის დაახლოებით 10 მ<sup>3</sup>/სთ-ის ტოლია. ჰაერი მოძრაობს კაპილარებსა და ფორებში ნელა (ამ დროს რეინოლდსის რიცხვი დაახლოებით 0,05-ის ტოლია). ჰაერის ტემპერატურა კაპილარულფორებიან შემომზღულ კონსტრუქციის ყველა კვეთისათვის პრაქტიკულად მყარი მასალის ტემპერატურის ტოლია.

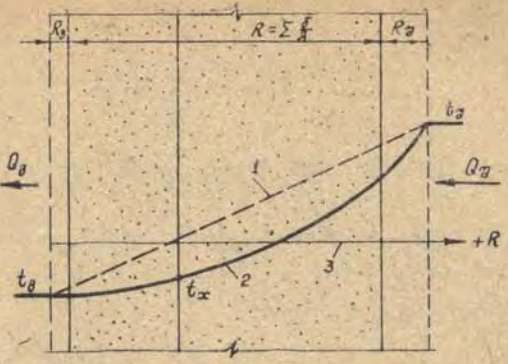
შემომზღულ კონსტრუქციაში გამოვყოთ უსასრულოდ მცირე სისქის შრე და შევადგინოთ მისთვის თბური ნაკადის განტოლება (ამ შემთხვევაში ფილტრაციას ადგილი არა აქვს)

$$\Theta = -\lambda \frac{dt}{dx} \tag{VII-9}$$

თუ შემომზღულ კონსტრუქციაში მიმდინარეობს ჰაერის ინფილტრაცია, მაშინ კონსტრუქციის ყოველი კვეთისათვის ტემპერატურა შემცირდება და სათანადოდ სითბოს რაოდენობის ცვლილება

$$\frac{dQ}{dx} = -\lambda \frac{d^2t}{dx^2} \tag{VII-10}$$

სითბოს რაოდენობის ცვლილებას ადგილი აქვს ინფილტრაციით



ნახ. VII.3. ფოროვანი მასალისაგან დამზადებული კედელში ცივი ჰაერის დამყარებული ფილტრაციის დროს ტემპერატურისა და თბური ნაკადების განაწილების სქემა:

- 1—ტემპერატურის განაწილება ფილტრაციის გარეშე;
- 2—ტემპერატურის განაწილება ფილტრაციის დროს;
- 3—საანგარიშო კოორდინატების მიმართულება

კონსტრუქციაში შეჭრილი ჰაერის გათბობაზე  $dt$  ტემპერატურით, მაშინ  
სადაც,

$$\frac{dQ}{dx} = WC \frac{dt}{dx}, \quad (\text{VII-11})$$

სადაც  $W$  არის შემომზღუდ კონსტრუქციაში გამავალი ჰაერის რაოდენობა, კგ/მ<sup>2</sup>. სთ.;

$C$  — ჰაერის კუთრი თბოტევადობა.

თუ (VII-10) და (VII-11) გამოსახულებათა მარჯვენა ნაწილებს გავუტოლებთ, მივიღებთ:

$$\lambda \frac{d^2t}{dx^2} - WC \frac{dt}{dx} = 0. \quad (\text{VII-12})$$

ეს გამოსახულება წარმოადგენს ბრტყელი კედლის ტემპერატურული ველის დიფერენციალურ განტოლებას ჰაერის ინფილტრაციის დროს.

მრავალშრიანი ბრტყელი კედლისათვის სტაციონარული ტემპერატურული ველის დიფერენციალური განტოლება ჰაერის ფილტრაციის შემთხვევაში, ამოხსნის დროს წარმოშობილი მათემატიკური სიძნელეების აღმოსაფხვრელად, მიზანშეწონილია ჩავწეროთ თერმული წინაღობების მასშტაბის გამოყენებით (ნახ. VII-4, ბ). ამისათვის საჭიროა (VII-12) განტოლების ორივე შესაკრები გავამრავლოთ  $\lambda$ -ზე, მივიღებთ:

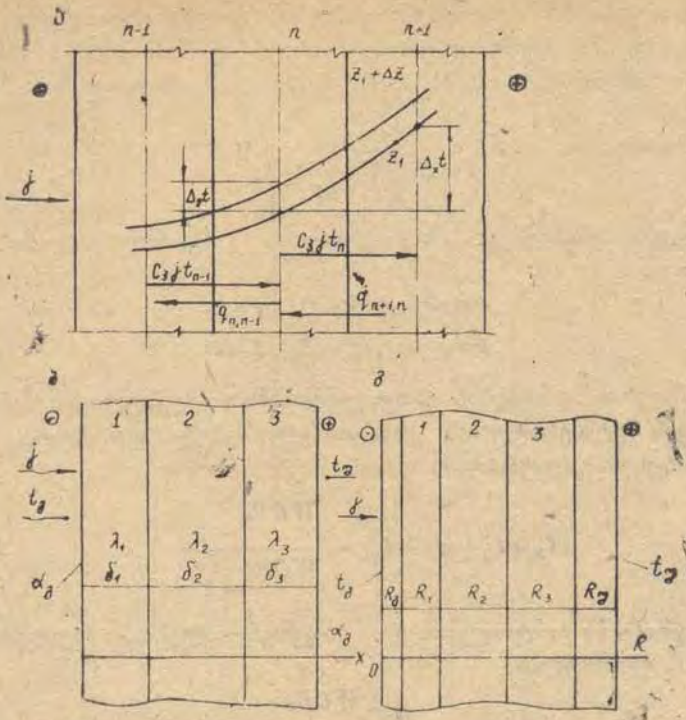
$$\lambda \frac{d}{dx} \left( \lambda \frac{dt}{dx} \right) - WC \lambda \frac{dt}{dx} = 0, \quad (\text{VII-13})$$

ანუ

$$\frac{d^2t}{dR^2} - WC \frac{dt}{dR} = 0. \quad (\text{VII-14})$$

ანალიზი გვიჩვენებს, რომ თბოგაცემის პირობები შემომზღუდ კონსტრუქციის ზედაპირებზე ფილტრაციის დროს შეიძლება შეიცვალოს ეკვივალენტური შრით ისევე, როგორც ფილტრაციის დროს. (VII-12) განტოლება პართებულია აგრეთვე სასაზღვრო შრისათვის იმ შემთხვევაში, როდესაც ადგილი აქვს სასაზღვრო შრიდან ჰაერის გაწოვას ზედაპირის მხრიდან ან პირიქით, ჰაერის შებერვას სასაზღვრო შრეში კაპილარულფორებიანი სხეულის ზედაპირიდან, რაც სავსებით შეესაბამება ჰაერის ექსფილტრაციისა და ინფილტრაციის მოვლენას შემომზღუდ კონსტრუქციაში.

ჰაერშელწევადი კედლის თბოგაცემის პროცესის შესწავლით როგორც ლამინარული, ასევე ტურბულენტური სასაზღვრო შრისათვის ბ. ბრდლიკმა დაადგინა, რომ სასაზღვრო შრეში ჰაერის შებერვა ან გა-



ნახ. VII-4. ჰაერის ფილტრაციის დროს შემომზღული კონსტრუქციის თბოგამტარობის განტოლების ამოსახსნელი სქემა (ა); ჭადასვლა გეომეტრიული მასშტაბიდან (ბ) თერბული წინააღობის მასშტაბზე (გ) ეკვივალენტური შრეების შემოტანით

წოვა ჰაერგამტარი კედლის მეშვეობით იწვევს თბოგაცემის კოეფიციენტის ცვლილებას. მაგალითად, სასაზღვრო შრეში ჰაერის შებერვისას, რაც შეესაბამება შემომზღულ კონსტრუქციაში ინფიოტრაციის მოვლენას, თბოგაცემის ინტენსივობა მცირდება, ხოლო ჰაერის გაწოვისას (ექსფილტრაცია) — თბოგაცემის ინტენსივობა იზრდება.

ჰაერშელწვევადი კედლის ზედაპირთან კონვექციით თბოგაცემის კოეფიციენტის სიდიდეს ჰაერის ფილტრაციის დროს გამოვთვლით ფორმულით

$$\alpha_{\text{ფილ}} = \alpha \pm \frac{CW}{2} \quad (\text{VII-15})$$

გარდა კონვექციით თბოგაცემის კოეფიციენტისა, ზედაპირთან უნდა გავითვალისწინოთ აგრეთვე გამოსხივებით თბოგაცემის კოეფიციენტის სიდიდე და გამოვიანგარიშოთ თბოგაცემის საერთო კოეფიციენტი.

იმისათვის, რომ დავადგინოთ ჰაერის ფილტრაციის დროს კედლის ნებისმიერ კვეთში ტემპერატურის სიდიდე, საჭიროა (VII-12) დიფერენციალური განტოლების ამოხსნა  $t$ -ს მიმართ. ამ განტოლების ამოხსნის ფუნქციაა

$$t = C_1 + C_2 \frac{1}{WC} e^{WCR} \quad (\text{VII-16})$$

ინტეგრირების  $C_1$  და  $C_2$  მუდმივები განვსაზღვროთ სასაზღვრო პირობებიდან:

$$\begin{aligned} \text{როდესაც } R=0, \quad t=t_0; \\ \text{როდესაც } R=R_0, \quad t=t_a. \end{aligned} \quad (\text{VII-17})$$

სასაზღვრო პირობების გათვალისწინებით ვღებულობთ ნებისმიერ კვეთისათვის ტემპერატურის გამოსაანგარიშებელ ფორმულას ჰაერის სტაციონარული ფილტრაციის დროს

$$t_x = t_0 + (t_a - t_0) \frac{e^{WCR_x} - 1}{e^{WCR_0} - 1} \quad (\text{VII-18})$$

თუ (VII-18) განტოლებას გავადიფერენციალებთ, მივიღებთ თბური ნაკადის ფორმულას

$$q_{\text{ინფ}} = \frac{WC e^{WCR_x}}{e^{WCR_0} - 1} (t_a - t_0) \quad (\text{VII-19})$$

ექსფილტრაციის დროს (VII-18) და (VII-19) ფორმულებში  $W$ -ს სიდიდე აიღება მინუს ნიშნით.

ჰაერზე ულწვევადი კედლის შემთხვევაში, ფილტრაციას აღვილი არა აქვს  $W=0$  და (VII-18) განტოლება ამ დროს იქცევა განუზღვრელობად.

თუ გამოვიყენებთ განუზღვრელობის გახსნის ლოპიტალის წესს, მივიღებთ:

$$\lim_{W \rightarrow 0} \frac{e^{WCR_x} - 1}{e^{WCR_0} - 1} = \lim \frac{d(WCR_x - 1)/dW}{d(WCR_0 - 1)/dW} = \frac{R}{R_0} \quad (\text{VII-20})$$

თუ (VII-20) განტოლებიდან (VII-18) ფორმულაში ჩავსვამთ მნიშვნელობებს, მივიღებთ სტაციონარული ტემპერატურული ველის ცნობილ განტოლებას.

(VII-19) განტოლების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ინფილტრაციის დროს კედლის შიგა ზედაპირზე თბური ნაკადის სიდიდე მაქსიმალურია, რომლის სიდიდეც კედელში თანდათან მცირდება და გარე ზედაპირთან აღწევს მინიმუმს. ეს გარემოება მდგომარეობს იმაში, რომ ინფილტრი-

რებული ჰაერი, რომელიც მოძრაობს თბური ნაკადის საწინააღმდეგოდ, ახორციელებს იმ სითბოს ნაწილობრივად დაბრუნებას, რომელიც დაიხარჯა ინფილტრირებული ჰაერის გასათბობად, ანუ შემომზღულ კონსტრუქციაში გამავალი სითბოს რაოდენობა (თბოდანაკარგები) იწვევს კაპილარულფორებიან სხეულში ინფილტრირებული ჰაერის ნაწილობრივ შეთბობას.

შემომზღულ კონსტრუქციაში ფილტრირებული ჰაერის ნაკადის გავლენა სითბოს ტრანსმისიულ გადატანაზე შემომზღულ კონსტრუქციაში მიზანშეწონილია დავახასიათოთ  $\varepsilon$  ფოროვანი გაცივების კოეფიციენტი, რომელიც შემომზღულ კონსტრუქციაში ჰაერის ფილტრაციის დროს შესული თბური ნაკადის ფარდობაა თბური ნაკადის სიდიდესთან ჰაერის ფილტრაციის გარეშე

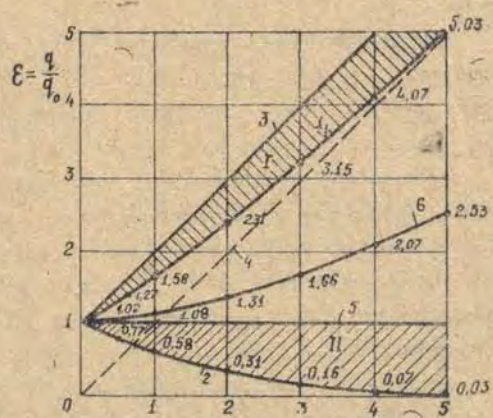
$$\varepsilon = \frac{q_B}{q_0} = \frac{C_B W e}{C_B W R_0} : \frac{1}{R_0} = \frac{\chi e^\chi}{e^\chi - 1}$$

სადაც  $\chi = C_B W R$  ფილტრაციული თბოგაცემის ფარდობითი კოეფიციენტი და ჰაერის ნაკადის თბური ტევადობის ( $C_B W$ ) ფარდობაა შემომზღული კონსტრუქციის თბოგადაცემის კოეფიციენტთან:

$$K = \frac{1}{R_0}$$

VII-5 ნახაზზე ნაჩვენებია ფოროვანი გაცივების  $\varepsilon$  კოეფიციენტის დამოკიდებულება  $\chi$ -საგან ჰაერის ინფილტრაციისა და ექსფილტრაციის დროს.

როგორც გრაფიკიდან ჩანს, ინფილტრაციის გადიდებით ფოროვანი გაცივების კოეფიციენტი იზრდება.  $\chi > 4$  მნიშვნელობისათვის თბოდანაკარგებს პრაქტიკუ-



$\varepsilon = \varepsilon_j R_0$

ნახ. VII-5. სითბოს ფარდობითი დანახარჯები სხვადასხვა ფილტრაციული რეჟიმების დროს (ფოროვანი გაცივების კოეფიციენტები):

- 1—ინფილტრაცია და 2—ექსფილტრაცია ფოროვანი კედლიდან; 3—სითბოს დანახარჯები ტრანსმისიულ თბოდანაკარგებსა და მისაწოდებელ სავენტილაციო ჰაერის შეთბობაზე; 4—სითბოს დანახარჯები მხოლოდ მისაწოდებელ სავენტილაციო ჰაერის შეთბობაზე; 5—ტრანსმისიული თბოდანაკარგები; 6—სითბოს დანაკარგები სათაფსის გამქოროვანიაგებისას.
- I—სითბოს საერთო დანახარჯების შემცირება ინფილტრაციისა და II—ექსფილტრაციის დროს

ლად განვსაზღვრავთ ჰაერის მიერ გადატანილი სითბოს რაოდენობით. ექსფილტრაციის დროს, როდესაც  $\chi < 4$ , ტრანსმისიულ თბოდანაკარგებს შემომზღულ კონსტრუქციაში გამოწვეულს გარე და შიგა ჰაერის ტემპერატურათა სხვაობით აღვილი არა აქვს. ეს მოვლენა იმას მოასწავებს, რომ ფოროვანი შემომზღულ კონსტრუქციაში ჰაერის დიდი რაოდენობით ინფილტრაციის დროს თბოდანაკარგები თითქმის არა გვაქვს, ტრანსმისიული სითბოს მთლიანი რაოდენობა იხარჯება ინფილტრირებული ჰაერის გათბობაზე. აღნიშნული მოვლენა იმას გვიჩვენებს, რომ ფოროვანი გაცივების ეფექტს იყენებენ სითბოს ხარჯის შესამცირებლად შენობათა ვენტილაციის მოწყობის დროს, სითბოს ხარჯი მნიშვნელოვნად შემცირდება, თუ ვენტილაციის მოწყობისას გარე ჰაერის შეთბობისა და შემდგომ სათავსში მიწოდების ნაცვლად გამოვიყენებთ კაპილარულფორებიან გარე შემომზღულ კონსტრუქციაში ჰაერის შებერვას.

ვენტილაციის ჩვეულებრივი სისტემის მოწყობის დროს სითბოს ხარჯი შემომზღული კონსტრუქციებიდან თბოდანაკარგებისა და მისაწოდებელი ჰაერის შესათბობად საჭირო სითბოს რაოდენობათა ჯამის ტოლია.

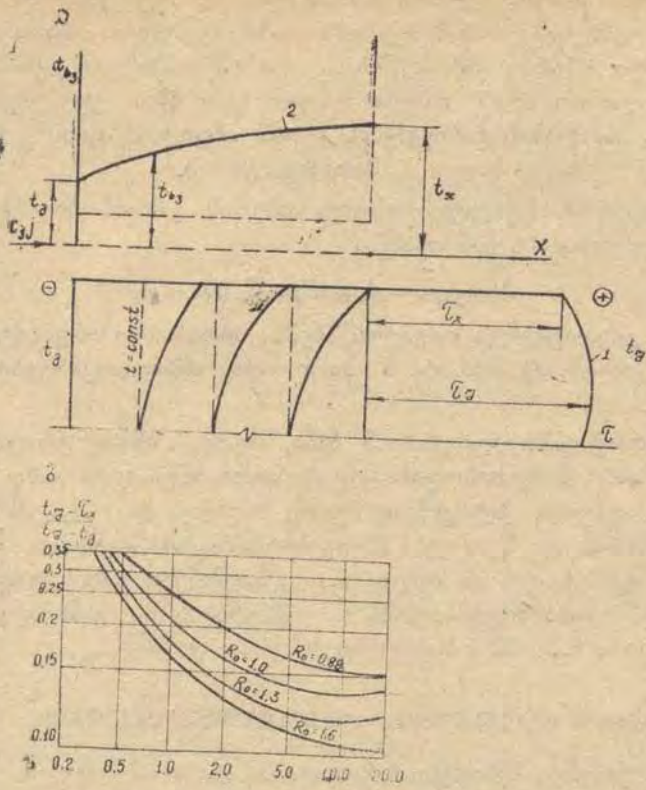
VII-5 ნახაზზე მოყვანილი წრფე 3 გვიჩვენებს სითბოს ხარჯის ცვლილებას. დაშტრიხული ფართობი გვიჩვენებს ფოროვანი განიავების თბურ ეფექტს, ანუ ფოროვანი განიავების დროს სითბოს ეკონომიის ჩვეულებრივ განიავებასთან შედარებით.

ზემოგანხილულიდან ჩანს, რომ ფოროვანი გაცივების ეფექტს შენობათა ვენტილაციის მოწყობის დროს სითბოს ეკონომიის მიზნით გააჩნია უპირატესობები. გათბობისა და ვენტილაციის სპეციალისტთა ამოცანაა შემდგომში მოინახოს შენობათა ვენტილაციის კონსტრუქციული სქემა, რომელიც მოგვცემს ფოროვანი გაცივების ეფექტის გამოყენების საშუალებას.

ფოროვანი გაცივების ეფექტი გამოიყენება სათავსის გამჭოლი განიავების მოწყობის დრო. ამასთან შემომზღულ კონსტრუქციებში ინფილტრირებული და ექსფილტრირებული ჰაერის რაოდენობები ტოლია და თბოდანაკარგების ფარდობითი გაზრდა გამოისახება ფოროვანი გაცივების კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობით  $\frac{\epsilon_{ინფ} + \epsilon_{ექს}}{2}$ , რომელიც ოდნავ იზრდება დაახლოებით  $\chi = 1,5$ , ხოლო შემდგომ იცვლება  $\chi$ -ის პროპორციულად.

### § VII-3. შვიდმოზღული კონსტრუქციის თბოგაცემა ჰაერშეღწევალი პირაპირის ზონაში

ჰაერშეღწევალი პირაპირის ზონაში თბოგაცემა ტემპერატურული ველის სახით მოცემულია VII-6 ნახაზზე. ჰაერი პირაპირის ხერეღში



ნახ. VII-6. ჰაერშედლწვევადი პირაპირის თბური რეჟიმი (ა) და ზედაპირზე პირაპირთან ფარდობითი ქარბი მინიმალური  $r_x$  ტემპერატურის ცვლილება (ბ). 1—შემომზღული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირზე პირაპირთან ტემპერატურის განაწილება; 2—პირაპირში ფილტრირებული ჰაერის ტემპერატურის ცვლილება

განიცდის ფილტრაციას. ფილტრირებული ჰაერი ხვრელში გავლისას თბება, მაგრამ მისი ტემპერატურა ხვრელიდან გამოსვლის ადგილში ყოველთვის ხვრელთან მდებარე შემომზღული კონსტრუქციის ზედაპირის ტემპერატურაზე ნაკლებია. პირაპირზე მიდგმული პანელი შეიძლება განვიხილოთ როგორც ნახევრად შემოსაზღვრული ფირფიტა. პანელის გვერდით ზედაპირზე ხდება თბოცვლა პანელსა და პირაპირის ხვრელში ფილტრირებულ ჰაერს შორის, რომელიც შეისწავლა ვ. ტიტოვმა. კვლევის შედეგები შემუშავებული უგანზომილებო სახით წარმოდგენილია ნახაზზე. ამ გრაფიკის თანახმად, შესაძლებელია განესაზღვროთ ჰაერშედ-



წევადი პირაპირის ხვრელთან მინიმალური  $\tau_x$  ტემპერატურა. შიგა-ზედაპირის ტემპერატურის შემცირება დამოკიდებულია პირაპირში ფილტრირებული ჰაერის რაოდენობასა და შემომზღული კონსტრუქციის თბოსაიზოლაციო შრის თბური დაცვის ხარისხზე. ეფექტური თბოსაიზოლაციო მასალების გამოყენების დროს ინფილტრაციის გავლენა იზრდება (რაც უფრო დაბალია  $\lambda$ , მით მცირეა  $\tau_x$ ).

პირაპირში ინფილტრირებული ჰაერის გასათბობად დამატებითი თბოდანაკარგები ასე გამოისახება

$$\Delta q_{\text{ინფ.პირ}} = A_{\text{პირ}} W_{\text{პირ}} C_p (t_{\text{ვ}} - t_{\text{გ}}), \quad (\text{VII-21})$$

სადაც  $A$  კოეფიციენტი ითვალისწინებს პირაპირში ინფილტრირებული ჰაერის ნაწილობრივ შეთბობას ძირითადი თბოდანაკარგების ხარჯზე  $A_{\text{პირ}} = 0,7$ .

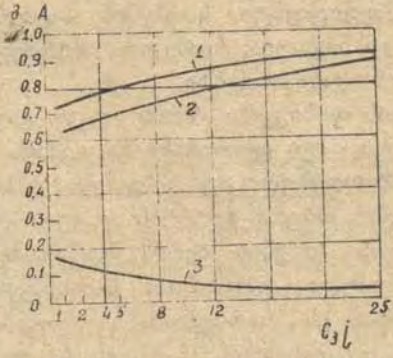
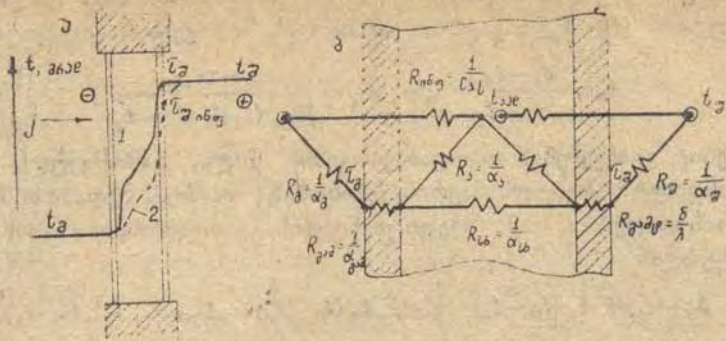
როგორც გამოკვლევებიდან ჩანს, ჰაერის ინფილტრაციით გამოწვეული დამატებითი თბოდანაკარგები პირაპირებსა და გარე შემომზღული კონსტრუქციის ბლოკებში მცირე სიდიდეა და საინჟინრო გაანგარიშების დროს იგი შეიძლება მხედველობაში არ მივიღოთ. ხშირ შემთხვევაში ტემპერატურის შემცირება  $\tau_x$  მნიშვნელოვანი სიდიდეა და ამიტომ გაანგარიშება მდგომარეობს  $\tau_x$  ტემპერატურის განსაზღვრაში, რომელიც აიღება ნახ. VI ნ ბ მოცემული გრაფიკიდან.

#### § VII-4. ფანჯრის თბოგადაცემა ჰაერუმღვავადობის დროს

თანამედროვე შენობები ხასიათდება დიდი შემინული ზედაპირებით, რაც გამოწვეულია იმით, რომ მისცენ სათავსს მეტი ბუნებრივი სინათლე, ზამთარში შენობები, რომელთაც გააჩნიათ დიდი შემინული ზედაპირები, უცივდება ძლიერ. ეს აიხსნება ფანჯრების თბური დაცვის დაბალი თვისებებით. მაგალითად, კედლის კონსტრუქციების თერმული წინაღობა 2—3-ჯერ მეტია ფანჯრის კონსტრუქციებისაზე. ფანჯრის კონსტრუქციები, როგორც წესი, მაღალი ჰაერუმღვავადობისაა. ჰაერუმღვავადობის წინააღმდეგ ბრძოლის ერთადერთი სახეა თანამედროვე მშენებლობაში პირაპირების ადგილას სპეციალური საფენების მოწყობა. ასეთ საფენებს წარმოება ამზადებს შედარებით ნაკლებს და ამიტომაც შენობათა უმეტეს ნაწილში სითბოს ძირითადი დანაკარგები მოდის შემინულ ზედაპირებზე.

ფანჯრის კონსტრუქციებიდან სითბოს დანაკარგების გაზრდა გამოწვეულია ინფილტრირებული ჰაერის გათბობით და შემინული ზედაპირის შიგა ტემპერატურის მკვეთრი დაცემით (ნახ. VII-7).

ამ პროცესის გაანგარიშება ჩატარებულია ელექტრომოდელზე (ნახ. VII-7, ბ), რომელიც წარმოადგენს წინააღმდეგობათა სისტემას. ამ სის-



ნახ. VII-7. თბოგადაცემა ჰაერშელწვეადი ფანჯრიდან:

ა—ტემპერატურის განაწილება ინფილტრაციის გარეშე (1) და ინფილტრაციის დროს (2). ბ—თბოცვლის სქემა; გ— $A_{ფანჯ.}$  (1),  $A_j$  (2) და  $A_c$  (3) კოეფიციენტების მნიშვნელობები

ტემაში თითოეულ ელექტრულ წინააღმდეგობას შეესაბამება სათანადო თერმული წინაღობა.

განგარიშების საფუძველზე მიღებულია ფორმულა, რომლის მეშვეობითაც გამოვთვლით ჰაერშელწვეადობით გამოწვეულ დამატებით თბოდანაკარგებს

$$\Delta q = \Delta q_c + \Delta q_w = \frac{\tau_w - \tau_{w.ინფ}}{R_{ვეთ}} + C_j W (t_w - t_{ფ.ა}), \quad (VII-22)$$

სადაც  $\tau_w - \tau_{w.ინფ}$  არის შემინული კონსტრუქციების ზედაპირების ჰაერის ინფილტრაციით გამოწვეული ტემპერატურული დაცემა;

$t_{ფ.ა}$  — ორმაგი შემინვის დროს მინებს შორის არსებული გარემოს ტემპერატურა.

თბური ნაკადის სიდიდე შეიძლება გამოვსახოთ შიგა და გარე ტემპერატურათა ( $t_3 - t_2$ ) სხვაობით. ამისათვის შემოგვყავს კოეფიციენტები:

$$A_w = \frac{t_3 - t_{\text{ფ.ა}}}{t_3 - t_2} \quad \text{და} \quad A_r = \frac{\tau_3 - \tau_{3.ინტ}}{R_{\text{ფეთ}} C_3 W (t_3 - t_2)}, \quad (\text{VII-23})$$

რომლებიც გვიჩვენებენ თბოდანაკარგების წილს, გამოწვეულს სათანადოდ ინფილტრირებული ჰაერის შეთბობაზე და შიგა ზედაპირის ტემპერატურის დაცემით. ამ კოეფიციენტების გათვალისწინებით (VII-22) ფორმულიდან

$$\Delta q = C_3 W A_r (t_3 - t_2) + C_3 W A_w (t_3 - t_2) = A_{\text{ფაფ}} C_3 W (t_3 - t_2),$$

სადაც  $A_{\text{ფაფ}}$  — კოეფიციენტი სათავისის ჰაერის გათბობაზე სითბოს მთლიანი ხარჯის ის ნაწილია, რომელიც ჰაერშელწვევადობის დროს მოდის დამატებით თბოდანაკარგებზე.

კოეფიციენტის ფიზიკური აზრის უკეთ გავების მიზნით მიზანშეწონილია შევუდაროთ იგი ფოროვანი გაცივების კოეფიციენტის სიდიდეს, რომლის დამოკიდებულებაც ნაჩვენებია გრაფიკზე (ნახ. VII-7, გ), ფოროვანი გაცივების თბური ეფექტის დასტრინხული ფართობის ორდინატები წარმოადგენს სათავისის ჰაერის შეთბობაზე სითბოს მთლიანი ხარჯის იმ ნაწილს, რომელიც ეკონომიის სახით გვრჩება ფოროვანი შეთბობის დროს. სითბოს ეს რაოდენობა ფოროვანი, ჰაერშელწვევადი შემომზღული კონსტრუქციისათვის  $1 - A_0$ -ის ტოლია, სადაც  $A_0$  შესაბამისად ( $A_{\text{ფაფ}}$  და  $A_{\text{არ}}$ ) კოეფიციენტია შემომზღული კონსტრუქციის მასივისათვის.  $A_{\text{ფაფ}}$ ,  $A_w$  და  $A_r$  კოეფიციენტების მნიშვნელობები ორმაგი ფანჯრებისათვის ნაჩვენებია გრაფიკზე (ნახ. VII-7, გ).

გარდა ზემოთ განხილული გამკოლი (განივი) ფილტრაციისა, კონსტრუქციებში მოსალოდნელია ჰაერის გრძივი ფილტრაციაც. ამ დროს თბოგადაცემის ანგარიში ვენტილირებულ საჰაერო შრის თბოგადაცემის ამოცანის ანალოგიურია.

#### § VII-5. სითბოს დამატებითი ხარჯი სათავისი შემომზღული კონსტრუქციების ჰაერშელწვევადობის დროს

შემომზღული კონსტრუქციების ჰაერშელწვევადობის დროს სითბოს დამატებით ხარჯს გამოვიანგარიშებთ ფორმულით

$$\Delta Q = (\sum AC_3 WF + \sum AC_3 Wl) (t_3 - t_2); \quad (\text{VII-24})$$

$$\Delta Q = \Delta Q_F + \Delta Q_e, \quad (\text{VII-25})$$

სადაც  $A$  არის კოეფიციენტი, რომლის მნიშვნელობა დამოკიდებულია შემომზღული კონსტრუქციის სახეზე და სხვადასხვა კონსტრუქციისათვის სხვადასხვა;



- W** — სათავსში შეღწეული ჰაერის კუთრი ხარჯი;
- F** — კედლების, ფანჯრების და ა. შ. ფართობი;
- e** — პირაპირების, ხვრელების და ა. შ. სიგრძე.

გაანგარიშების დროს **A** კოეფიციენტის მნიშვნელობები კედლის მასივისათვის  $A=0,5$ , პირაპირებისათვის  $A=0,7$  ორმაგი ფანჯრებისათვის  $A=0,8$ .

სითბოს დამატებითი ხარჯის გამოთვლის დროს ღია ფანჯრებიდან ან კარებებიდან **A** კოეფიციენტის მნიშვნელობა ერთის ტოლია.

სითბოს მაქსიმალური ხარჯი შენობაში გააჩნიათ ქარის მიმართულებით პირველი სართულის სათავსებს, რადგანაც ამ დროს სათავსში ადგილი აქვს გარე ჰაერის ინტენსიურ ინფილტრაციას შემომზღუდ კონსტრუქციებში; ექსფილტრაციის ზონაში კი თბოდანაკარგები ნაწილობრივ მცირდება, ხოლო ქარის საწინააღმდეგო მხარეზე მოთავსებულ ზემო სართულის სათავსებს გააჩნიათ სითბოს დამატებითი ხარჯის მინიმალური მნიშვნელობა.

სათავსთა თბოდანაკარგების გაანგარიშებისას მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის გარემოება, რომ თბოდანაკარგების გაზრდა ძირითადად გამოწვეულია ჰაერის ინფილტრაციით შემინული ზედაპირებიდან. ეს განსაკუთრებით დამახასიათებელია სამრეწველო საწარმოებისათვის, რომელთაც აქვთ დიდი შემინული ზედაპირები, ხოლო ჭუჭყრუტანებისა და ღრეჩოების ამოგოზვა ზამთარში რაიმე საფენებით, როგორც წესი, არ კეთდება. სამრეწველო შენობებისათვის სითბოს ხარჯი ინფილტრირებული ჰაერის გათბობაზე შეადგენს ტრანსმისიული თბოდანაკარგების 30—50%-ს. კედლის პირაპირებიდან ინფილტრაციაზე სითბოს ხარჯი უმნიშვნელოა და იგი შეადგენს ძირითადი თბოდანაკარგების 3—5%-ს. განსაკუთრებით უმნიშვნელოა სითბოს ხარჯი ინფილტრაციაზე შემომზღუდი კონსტრუქციების მასივიდან. ინფილტრაციის გათვალისწინება შემომზღუდი კონსტრუქციების თბოტექნიკური გაანგარიშების დროს აუცილებელია, რადგან ამ დროს კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა მცირდება.

**§ VII-6. უფროვის საჰაერო რეჟიმის გათვალისწინება  
გათვალისწინების სისტემების ძირითადი  
ხაზების შერჩევის დროს**

გათბობის, ვენტილაციისა და ჰაერის კონდიციონირების სისტემების მუშაობაზე გავლენას ახდენს შენობათა საჰაერო რეჟიმი, ამიტომ ამ სისტემების შერჩევისას ყურადღება უნდა მივაქციოთ შენობის საჰაერო რეჟიმის თავისებურებებს.

როგორც ცნობილია, ზამთარში მრავალსართულიანი შენობის ქვედა სართულებში ადგილი აქვს გარე ცივი ჰაერის ინფილტრაციას.

რაც ბუნებრივია იწვევს ამ სართულების გადაცივებას, ამიტომ გათბობის სისტემების მოწყობის დროს მრავალსართულიან შენობაში მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ გათბობის სისტემა თბომატარებლის მოძრაობით ქვემოდან ზემოთ (ე. წ. „გადმობრუნებული“ ცირკულაციით). შესაძლებელია აგრეთვე სიმაღლის მიხედვით შენობის დაყოფა ზონებად ე. წ. ზონური გათბობის მოწყობა. კიბის უჯრედებისა და ლიფტის შახტებისათვის გათბობა უნდა მოეწყოს ქვედა ნაწილში. აუცილებელია აგრეთვე ვესტიბულების გათბობა და თბური შესასვლელებისა და იატაკების მოწყობა ვესტიბულებში.

ქვეყნის ერთსა და იმავე მხარეზე მიმართული შემომზღუდი კონსტრუქციებიდან, ქარის მიმართულების ცვლილებასთან ერთად, ადვილი აქვს ინფილტრაციის ინტენსივობის ცვლილებას, ამიტომ მიზანშეწონილია გათბობის სისტემის დაყოფა ფასადების მიხედვით. გათბობის სისტემების ზონირება შენობათა სიმაღლისა და ფასადების მიხედვით საშუალებას გვაძლევს მოვახდინოთ სათავსოში დაყენებული სათბობი ხელსაწყოების თბოგაცემის რეგულირება ქარის მიმართულებისა და სიჩქარის და გარე ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების შესაბამისად.

გარე შემომზღუდი კონსტრუქციების შიგა ზედაპირების ტემპერატურა (განსაკუთრებით შემინული ზედაპირებისათვის) გაცილებით ნაკლებია სათავსის ჰაერის ტემპერატურაზე. ამ დროს გარე შემომზღუდი კონსტრუქციებთან ადვილი აქვს ჰაერის ქვემოთ მიმართულ კონვექციურ ნაკადს, რომლის ინტენსივობა ინფილტრაციის შედეგად ძლიერდება. ამიტომ გათბობის სისტემის მოწყობის დროს მიზანშეწონილია სათბობი ხელსაწყოები განვალაგოთ გარე შემომზღუდი კონსტრუქციების ქვედა ნაწილში. თბოტექნიკური თვალსაზრისით უმჯობესია სათბობი ხელსაწყოების დაყენება ფანჯრების ქვეშ. ამ დროს სათბობი ხელსაწყოებიდან წარმოქმნილი თბური ჰავლი, რადგან მიმართულია ვერტიკალურად ზემოთ, ჰაერის ქვემოთ მიმართულ კონვექციურ ნაკადს აიძულებს შეიცვალოს მიმართულება.

შენობათა ბუნებრივი ვენტილაციის მოწყობის დროს მხედველობაში უნდა მივიღოთ ის გარემოება, რომ ამ დროს ვენტილაციის მუშაობა ძირითადად განპირობებულია შენობის საჰაერო რეჟიმით; შენობაში ადვილი აქვს ქვედა სართულებიდან ჰაერის შედინებას ზედა სართულებში. ამიტომ საერთო ჰაერცვლასთან ერთად უნდა გავითვალისწინოთ ცალკეულ სათავსოში მისაწოდებელი გარე სუფთა ჰაერის რაოდენობა, რაც ბუნებრივი ვენტილაციის სისტემების მოწყობისას განსაკუთრებული სიძნელეა, რადგანაც ასეთი სისტემების რეგულირება პრაქტიკულად შეუძლებელია.

იძულებითი ვენტილაციის მოწყობის დროს მიზანშეწონილია მისი ზონირება შენობის ფასადის, სიმაღლისა და სათავსების დანიშნულე-

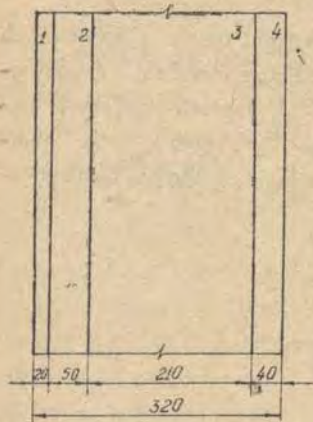
ბის მიხედვით, რაც სისტემის რეგულირების საუკეთესო საშუალებებს  
ქმნის.

იძულებითი ვენტილაციის სქემის შერჩევის დროს ჰაერის ინფილ-  
ტრაციის გავლენის გათვალისწინებით შეიძლება გვეჩვენოს ორი შემ-  
თხვევა. შეიძლება გამოვიყენოთ ინფილტრაციის ბუნებრივი მოვლენა  
ქვედა სართულებსა და ექსფილტრაციის ზედა სართულებში ან იძულე-  
ბითი ვენტილაციით ვიმოქმედოთ მათ საწინააღმდეგოდ. პირველ შემ-  
თხვევაში ინფილტრაციის ზონაში ხდება ჰაერის მიწოდება, ხოლო ზემო  
ნაწილში, ანუ ექსფილტრაციის ზონაში ეწყობა გაწოვა. ასეთი სქემის  
შერჩევა ხელს უწყობს შენობის მთელ მოცულობაში ფილტრაციული  
რეჟიმის გათანაბრებას. მეორე შემთხვევაში კი პირიქით, იქმნება ფილ-  
ტრირებული ჰაერის საწინააღმდეგოდ მიმართული ჰაერის ნაკადი. ამ  
დროს ჰაერის მიწოდება ხდება ზედა (ექსფილტრაციის) ზონაში, ქვედა  
ზონაში კი — გაწოვა.

იძულებითი ვენტილაციის მოწყობის ორივე სქემის განხილვისას  
მნიშვნელოვანი ყურადღება უნდა მივაქციოთ იმ გარემოებას, რომ აღ-  
გილი არ ჰქონდეს „დაბინძურებული“ სათავსიდან ჰაერის შეწოვას სუ-  
ფთა სათავსებში. ვენტილაციის სისტემის სქემის შერჩევის დროს შენო-  
ბის საჰაერო რეჟიმი გათვალისწინებული უნდა იქნეს აგრეთვე ზაფხული-  
სა და გარდამავალი პერიოდებისათვის.

## საკურსო სამუშაო

საკურსო სამუშაო სამშენებლო თბოფიზიკაში უნდა დამუშავდეს სამოქალაქო შენობის გათბობა-ვენტილაციის საკურსო პროექტთან ერთად კომპლექსში. სამუშაო მიზნად ისახავს ერთ-ერთი შემომზღული კონსტრუქციის (გარე კედელი, გადახურვა) სრულ თბოტექნიკურ გაანგარიშებას და სათავსის თბური რეჟიმის შესწავლას.



ნახ. 1.

სტუდენტს ეძლევა ინდივიდუალური დავალება, რომელშიც განსაზღვრულია მშენებლობის რაიონი, სათავსის ზომები, შემომზღული კონსტრუქციის ცალკეული შრეების მასალები და მათი სისქეები. იმავე მონაცემების საფუძველზე ხდება შემდგომში შენობის გათბობის პროექტის შედგენა.

მაგალითი. შევასრულოთ 1-ელ ნახაზზე წარმოდგენილი შემომზღული კონსტრუქციის თბოტექნიკური ანგარიში. დასაგეგმარებელი შენობის მშენებლობა გათვალისწინებულია ქ. სვერდლოვსკში. შენობა

პანელური ტიპისაა, რომელიც შედგება 4 შრისაგან: 1 — კირ-ქვიშოვანი ხსნარით შეღესვა  $\gamma = 1600$  კგ/მ<sup>3</sup>; 2 — რკინაბეტონი  $\gamma = 2500$  კგ/მ<sup>3</sup>; 3 — ქაფბეტონის მათბუნებელი შრე  $\gamma = 800$  კგ/მ<sup>3</sup>; 4 — რკინაბეტონი  $\gamma = 2500$  კგ/მ<sup>3</sup>.

### 1. შემომზღული კონსტრუქციის ფაქტიური თერმული წინაღობის გამოანგარიშება

შემომზღული კონსტრუქციის ფაქტიური თერმული წინაღობას გამოვთვლით ფორმულით

$$R_0 = R_{\text{შეთ}} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{1.3} + R_{3.5} \text{ მ}^2 \cdot \text{გრად/ვტ}, \quad (1)$$

სადაც  $R_{\text{შეთ}}$  და  $R_{3.5}$  სათანადოდ კედლის შიგა და გარე ზედაპირებზე თბოგაცემის თერმული წინაღობებია და გამოვთვლით შემდეგი ფორმულებით:

შიგა ზედაპირზე

$$R_a = \frac{1}{\alpha_a}; \quad (2)$$

გარე ზედაპირზე

$$R_b = \frac{1}{\alpha_{ბა}}; \quad (3)$$

$\alpha_a$  — კედლის შიგა ზედაპირზე თბოგაცემის კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა კონვექციითა და გამოსხივებით თბოგაცემის კოეფიციენტების ჯამის ტოლია:

$$\alpha_a = \alpha_{კონ} + \alpha_{გამ}, \quad (4)$$

სადაც  $\alpha_{კონ}$  არის სათავის ჰაერსა და გარე შემომზღული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირს შორის კონვექციით თბოგაცემის კოეფიციენტი;

$\alpha_{გამ}$  — სათავსში მოთავსებულ ზედაპირებსა და გარე კედლის შიგა ზედაპირს შორის რადიაციით (გამოსხივებით) თბოგაცემის კოეფიციენტი.

კონვექციით თბოგაცემის კოეფიციენტი დამოკიდებულია ზედაპირთან ჰაერის მოძრაობის რეჟიმზე. უმეტეს სათავსში გარე კედლის შიგა ზედაპირთან ჰაერის მოძრაობა განპირობებულია ბუნებრივი კონვექციით და მისი მნიშვნელობა განისაზღვრება გრასპოვის და პრანდტლის კრიტერიუმების საფუძველზე.

თუ  $Gr Pr \geq 10^9$ , მაშინ ჰაერის მოძრაობა ზედაპირთან ტურბულენტურია და  $\alpha_{კონ}$  გამოვთვლით ფორმულით

$$\alpha_{კონ} = 1,43 \sqrt[3]{t_a - \tau_a}. \quad (5)$$

როდესაც  $Gr Pr < 10^9$  — მოძრაობა ლამინარულია, ე. ი.

$$\alpha_{კონ} = 1,19 \sqrt[4]{\frac{t_a - \tau_a}{l}}. \quad (6)$$

სადაც  $l$  — მსაზღვრელი ზომაა და მისი მნიშვნელობა შეიძლება ავიღოთ კედლის სიმაღლის ტოლად.

რადიაციით (გამოსხივებით) თბოგაცემის კოეფიციენტს გამოვთვლით სტეფან-ბოლცმანის კანონის საფუძველზე

$$\alpha_{გამ} = \frac{C_{დაკ} \left[ \left( \frac{T_a}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{კედ.შ}}{100} \right)^4 \right]}{t_a - \tau_a} \varphi, \quad (7)$$

სადაც  $\varphi$  არის გამოსხივების უგანზომილებო კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობის სათავსებისათვის შეიძლება მივიღოთ 1-ის ტოლად;



$C_{\text{დავ}}$  — სხივურ თბოცვლაში მონაწილე ზედაპირების სხივფენის დაყვანილი მუდმივა და მის მნიშვნელობას გამოვთვლით ფორმულით

$$C_{\text{დავ}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_0}, \quad (8)$$

სადაც  $C_1$  და  $C_2$  — გარე შემომზღული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის და სათავსში მოთავსებული ზედაპირების სხივფენის კოეფიციენტებია;

$C_0$  — აბსოლუტურად შავი სხივულის სხივფენის კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა ტოლია 5,95.

(7) ფორმულაში  $T_a$  და  $T_{\text{კვლ.ა}}$  — სათავსის ჰაერისა და კედლის შიგა ზედაპირის აბსოლუტური ტემპერატურები.

შემომზღული კონსტრუქციის გარე ზედაპირზე ქარის ზემოქმედების გამო თბოცვლა იძულებითი კონვექციით მიმდინარეობს, ამიტომ თბოგაცემის კოეფიციენტს გამოვთვლით ფორმულით

$$\alpha_3 = 5,12 \omega^{0,8} l^{-0,2}, \quad (9)$$

სადაც  $\omega$  — ქარის მოძრაობის სიჩქარეა და მისი მნიშვნელობა მშენებლობის რაიონის მიხედვით აიღება მე-3 ცხრილიდან.

სამშენებლო თბოფიზიკაში ხშირად  $\alpha_3$  და  $\alpha_3$  გასაშუალოებულ მნიშვნელობები გამოიყენება, რომლებიც სათანადოდ ტოლია:

$$\alpha_3 = 8,7 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად};$$

$$\alpha_3 = 23,3 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად}.$$

(1) ფორმულაში  $R_1, R_2, \dots, R_n$  — სათანადო შრეთა თერმული წინაღობებია და მათ მნიშვნელობებს გამოვთვლით ფორმულით

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1}; \quad R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2}, \dots, R_n = \frac{\delta_n}{\lambda_n},$$

სადაც  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  არის სათანადო შრეების სისქეები;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  — შრის მასალის თბოგამტარობის კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობები აიღება სამშენებლო მასალების თბოტექნიკური მახასიათებლების 1-ელი ცხრილიდან.

1-ელ ცხრილში მოცემულია სამშენებლო მასალების თბოგამტარობის კოეფიციენტების ორი მნიშვნელობა A და B გრაფების მიხედვით, რომლებიც შეესაბამებიან მშენებლობის რაიონისა და სათავსის საექსპლუატაციო ტენიანობის პირობებს.

ექსპლუატაციის პირობებიდან გამომდინარე, საანგარიშო  $\lambda$ -ს შერჩევა ხდება მე-2 დანართის მეშვეობით.

აღნიშნული მაგალითისათვის (ქ. სვერდლოვსკი) ტენიანობის ზონა

შალია (ცხრ. 3), ხოლო სათავსის საექსპლუატაციო ტენიანობას ვიღებთ ნორმალურს (უმეტესი ადმინისტრაციული, საზოგადოებრივი და საცხოვრებელი შენობებისათვის). მაშინ მე-2 დანართის თანახმად, საანგარიშო თბოგამტარობის კოეფიციენტების მნიშვნელობებს ავიღებთ A რაფის მიხედვით.

სათანადო მნიშვნელობების (1) ფორმულაში ჩასმით მივიღებთ:

$$R_0 = \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,7} + \frac{0,05}{1,92} + \frac{0,21}{0,25} + \frac{0,04}{1,92} + \frac{1}{23,3} = 1,07 \text{ მ}^2 \cdot \text{გრად/ვტ.}$$

2. შებენი კონსტრუქციის საჭირო თერმული წინაღობის გამოთვლა

საჭირო თერმული წინაღობა შეესაბამება სანიტარული ნორმებით გათვალისწინებულ თბოგადაცემის მინიმალურ წინაღობას. მის სიდიდეს გამოვთვლით ფორმულით

$$R_0^{\text{წმ}} = R_0 \frac{t_a - t_b}{\Delta t_{\text{წორ}}} \quad (10)$$

სადაც  $R_0 = \frac{1}{\alpha_0}$  არის კედლის შიგა ზედაპირთან თბოგადაცემის თერმული წინაღობა.

$\Delta t_{\text{წორ}} = t_a - t_b$  — სანიტარული ნორმებით გათვალისწინებული აუცილებელი ტემპერატურული სხვაობა, რომელიც უნდა არსებობდეს სათავსის ჰაერსა და გარე კედლის შიგა ზედაპირს შორის, მისი მნიშვნელობა უმეტესი სათავსისათვის ტოლია 6;

$t_a$  — სათავსის ჰაერის ტემპერატურა და მისი მნიშვნელობა სათავსის დანიშნულების მიხედვით აიღება ცხრილებიდან. საცხოვრებელი სახლებისათვის  $t_a = 18^\circ\text{C}$ ;

$n$  — შესწორების კოეფიციენტი, რომელიც ითვალისწინებს გარე ჰაერისადმი გარე კედლის განლაგებას, როდესაც გარე კედელი უშუალოდ ეხება გარე ჰაერს, მაშინ  $n=1$ ;

$t_b$  — გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურა და მისი მნიშვნელობები მშენებლობის რაიონისა და კედლის მასიურობის მიხედვით აიღება მე-3 დანართიდან.

კედლის მასიურობის შეფასება ხორციელდება თბური ინერციის განზომილებო მაჩასიათებლის მიხედვით

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n \quad (11)$$

სადაც  $R_1, R_2, \dots, R_n$  — ცალკეული შრეების თერმული წინაღობები; მნიშვნელობებია, ხოლო  $S_1, S_2, \dots, S_n$  — სათანადო შრის მასალის თბოშეთვისების კოეფიციენტი და (24 სთ პერიოდისათვის) გამოთვლით ფორმულით

$$S = 0,51 \sqrt{\lambda C_w \gamma_w} \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად}, \quad (12)$$

სადაც  $\lambda$  არის მასალის თბოგამტარობის კოეფიციენტი;

$C_w$  — მასალის კუთრი თბოტევადობა;

$\gamma_w$  — მასალის მოცულობითი წონა.

S-ის მნიშვნელობები გამოთვლილი (12) ფორმულის საფუძველზე მოცემულია სამშენებლო მასალის თბოტექნიკური მაჩასიათებლების 1-ელ დანართში და მისი მნიშვნელობა აიღება ტენიანობის ზონისა და სათავსის საექსპლუატაციო ტენიანობისა A ან B გრაფის მიხედვით.

თუ ანგარიშით  $D > 7$ , ეს იმის მაჩვენებელია, რომ გვაქვს მასიური (მძიმე) კედელი და მისთვის  $t_8$  აიღება ყველაზე ცივი ხუთდღიურის საშუალო ტემპერატურის ტოლი. თუ  $D \leq 4$ , მაშინ კონსტრუქცია მსუბუქია და  $t_8$  აიღება ყველაზე ცივი დღე-ღამეების საშუალო ტემპერატურის ტოლი. როდესაც  $4 < D < 7$  კონსტრუქცია საშუალო მასიურობისა და  $t_8$  აიღება ზემო ორი ტემპერატურის (ხუთდღიურისა და ყველაზე ცივი დღე-ღამეების) საშუალო არითმეტიკული.

ამ მაგალითისათვის სათანადო მნიშვნელობების ჩასმით მივიღებთ:

$$D = \frac{0,02}{0,7} 8,21 + \frac{0,05}{1,92} 17,14 + \frac{0,21}{0,25} 3,50 + \frac{0,04}{1,92} 17,14 = 3,978.$$

რადგანაც  $D = 3,978 < 4$ , გვაქვს მსუბუქი კონსტრუქციის კედელი და  $t_8$  აიღება ყველაზე ცივი დღე-ღამეების საშუალო ტემპერატურის ტოლი, რომელიც ქ. სვერდლოვსკისათვის (დან. 3)

$$t_8 = -38.$$

საჭირო თერმული წინაღობის მნიშვნელობა იქნება

$$R_0^{\text{საჭ}} = \frac{1}{3,7} \cdot \frac{18 - (-38)}{6} 1 = 1,07 \text{ მ}^2 \cdot \text{გრად/ვტ}.$$

როდესაც ანგარიშით

$$R_0 \geq R_0^{\text{საჭ}}, \quad (13)$$

იგი აკმაყოფილებს თბოტექნიკური ანგარიშების აუცილებელ პირობას. იმ შემთხვევაში, როდესაც  $R_0 < R_0^{\text{საჭ}}$ , საჭიროა კედლის თერმული წინაღობის გაზრდა დამატებით თბოსაიზოლაციო შრის მოწყობით. ამ დროს თბოსაიზოლაციო მასალას შევარჩევთ დანართიდან, ხოლო მის სისქეს დავადგენთ (13) პირობის საფუძველზე.



ბიფიკატორული ველის განსაზღვრა შემოგულზე კონსტრუქციაში

ტემპერატურული ველის განსაზღვრის მიზანია გავიგოთ ტემპერატურები შემომზღული კონსტრუქციის შიგა და გარე ზედაპირებზე, აგრეთვე ცალკეული შრეების საზღვარზე. დამყარებული თბური რეჟიმის დროს (სტაციონარული თბოგადაცემა) კედლის შიგა ზედაპირის მიერ შეთვისებული, მის სისქეში გატარებული და კედლის გარე ზედაპირიდან გაცემული სითბოს რაოდენობები ტოლია

$$q = \frac{t_3 - \tau_3}{R_3} = \frac{\tau_3 - t_1}{R_1} = \frac{t_1 - t_2}{R_2} = \frac{t_2 - t_3}{R_3} = \frac{t_3 - \tau_3}{R_4} = \frac{\tau_3 - t_3}{R_{30}} = \frac{t_3 - t_3}{R_0} \quad (14)$$

ამ ტოლობის თითოეული მხარე გავუტოლოთ  $\frac{t_3 - t_3}{R_0}$ -ს, მივიღებთ ტემპერატურის მნიშვნელობებს კედლის ზედაპირებსა და მის ნებისმიერ დამახასიათებელ კვეთში.

კედლის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა სათანადოდ იქნება:

$$\tau_3 = t_3 - \frac{R_3}{R_0} (t_3 - t_3) = 18 - \frac{8,7}{1,07} (18 + 38) = 12^\circ\text{C}.$$

კედლის გარე ზედაპირის ტემპერატურა კი

$$\tau_3 = t_3 + \frac{R_{30}}{R_0} (t_3 - t_3) = 38 + \frac{23,3}{1,07} (18 + 38) = -35,75^\circ\text{C}.$$

და II შრეების საზღვარზე ტემპერატურა

$$t_1 = \tau_3 - \frac{R_1}{R_0} (t_3 - t_3) = 12 - \frac{0,02}{1,07} (18 + 38) = 10,5^\circ\text{C}.$$

I და III შრეების საზღვარზე ტემპერატურა

$$t_2 = t_1 - \frac{R_2}{R_0} (t_3 - t_3) = 10,5 - \frac{1,92}{1,07} (18 + 38) = 9,14^\circ\text{C}.$$

III და IV შრეების საზღვარზე ტემპერატურა

$$t_3 = t_2 - \frac{R_3}{R_0} (t_3 - t_3) = 9,14 - \frac{0,25}{1,07} (18 + 38) = -34,82^\circ\text{C}.$$

შემოწმების შედეგად შეგვიძლია გარე ზედაპირის ტემპერატურა გამოვთვალოთ IV შრის თერმული წინაღობის მეშვეობით, მივიღებთ:

$$\tau_a = t_a + \frac{R_4}{R_0} (t_a - t_b) = -34,82 - \frac{0,04}{1,07} (18 + 38) = -35,75^\circ\text{C};$$

ე. ი. მივიღეთ იგივე ტემპერატურა, რაც ადრე გამოვთვალეთ (ამით შეგვიძლია დავაწმენდეთ ჩვენი გამოთვლების სისწორეში).

მიღებული ტემპერატურების მიხედვით ვაგებთ გრაფიკს, რომლის აბსცისათა ღერძზე გადავზოაკეთ კედლის მთელ სისქეებს, ხოლო ორდინატთა ღერძზე დამახასიათებელ კვებებში ტემპერატურების მნიშვნელობებს.

მიღებული გრაფიკი გვიჩვენებს, რომ მრავალშრიან ბრტყელ კედელში დამყარებული თბური რეჟიმის დროს ტემპერატურულ ველს ტეხილო ხაზის სახე აქვს.

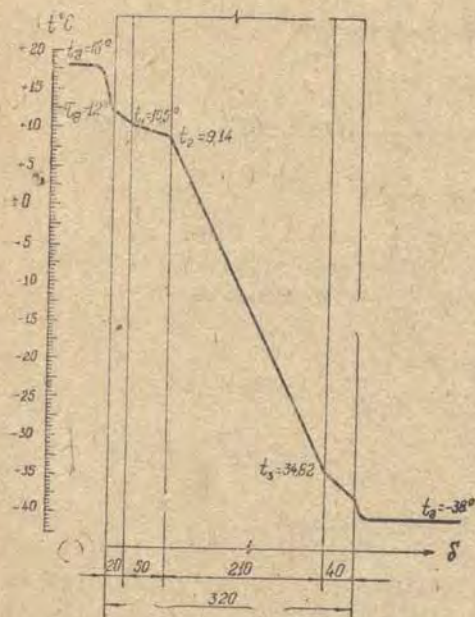
საჭიროა აგრეთვე განვსაზღვროთ გარე კუთხის შიგა ზედაპირის ტემპერატურა. ეს ტემპერატურა გამოვთვალოთ შემდეგი ემპირიული ფორმულით:

$$\frac{\tau_a - t_{კუთხ}}{t_a - t_b} = 0,18 - 0,036 R_{შპბ}, \quad (15)$$

აქედან კუთხის საძიებელი ტემპერატურა იქნება:

$$\begin{aligned} t_{კუთხ} &= \tau_a - (t_a - t_b) \times \\ &\times (0,18 - 0,036 R_{შპბ}) = \\ &= 12 - (18 + 38)(0,18 - \\ &- 0,036 \cdot 1,07) = 4,05^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

მაშასადამე, კუთხისათვის ტემპერატურული სხვაობა  $\Delta t = 18 - 4,05 = 13,95^\circ\text{C}$ , რაც, ამ შემთხვევაში, გაცილებით მეტია სანპიციენტური ნორმებით გათვალისწინებულ ტემპერატურულ სხვაობაზე ( $\Delta t_{ნორ} = 6$ ); კუთხის ტემპერატურა სათავესის ჰაერის ნამის წერტილზე დაბალია და მოსალოდნელია სათავესის ჰაერიდან კუთხის ზედაპირზე კონდენ-



ნახ. 2.

სატის გამოყოფა. კონდენსატის ასაცილებლად საჭიროა კუთხის ზედაპირების ტემპერატურის გაზრდა. ამის მიღწევა კი შეიძლება, თუ კუთხეში მთელი სიმაღლის მანძილზე გავიყვანთ გათბობის მილს. ამიტომ უნდა გვანსოვდეს, რომ გათბობის სისტემების დაგეგმარების დროს, როგორც წესი, შენობის გარე კუთხის შიგა ზედაპირებთან უნდა გავიყვანოთ დგარო.

#### 4. შემოკვლული კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმის დადგენა

ტენიანობის რეჟიმს შევისწავლით სტაციონარული რეჟიმის შემთხვევისათვის და ვითვალისწინებთ, რომ წყლის ორთქლი კედლის სისქეში ვრცელდება მხოლოდ დიფუზიით. ანგარიშის მიზანია გამოვირკვიოთ ხდება თუ არა წყლის ორთქლის კონდენსაცია შემოკვლული კონსტრუქციის სისქეში.

ტენიანობის რეჟიმის შესწავლისას სათავის რემპერატურა და ტენიანობა აიღება ისევე, როგორც ტემპერატურული ველის ანგარიშის დროს. გარე ჰაერის საანგარიშოდ კი მიიღება ყველაზე ცივი თვის საშუალო ტემპერატურა. ქ. სვერდლოვსკში იგი ტოლია  $t_{\text{ს.შ.შ.}} = -15,3$ . ტემპერატურის ასეთი მაღალი მნიშვნელობების აღება საანგარიშოდ განპირობებულია იმ გარემოებით, რომ წყლის ორთქლის დიფუზიის პროცესი შედარებით ნელა მიმდინარეობს, ვიდრე თბოგადაცემის პროცესი და დიფუზიის სტაციონარული რეჟიმის დასამყარებლად შედარებით ხანგრძლივი დროა საჭირო.

განვსაზღვროთ ორთქლშედწევადობის საერთო წინაღობა შემდეგი ფორმულით

$$R_{\text{ო.შ.შ.}} = R_{\text{ო.შ.შ.გარე}} + R_{1 \text{ ო.შ.}} + R_{2 \text{ ო.შ.}} + \dots + R_{n \text{ ო.შ.}} + R_{\text{ო.შ.გარე}}, \quad (16)$$

სადაც  $R_{\text{ო.შ.შ.გარე}}$  არის ტენცვლის წინაღობა შიგა ზედაპირზე;

$R_{\text{ო.შ.გარე}}$  — ტენცვლის წინაღობა გარე ზედაპირზე.

პრაქტიკული ანგარიშების დროს მათი მნიშვნელობები

$$R_{\text{ო.შ.შ.გარე}} = 0,96 \cdot 10^8 \text{ ნ.წმ/კგ}; \quad R_{\text{ო.შ.გარე}} = 0,48 \cdot 10^8 \text{ ნ.წმ/კგ}.$$

$R_{1 \text{ ო.შ.}}, R_{2 \text{ ო.შ.}}, \dots, R_{n \text{ ო.შ.}}$  — სათანადო შრეთა ორთქლშედწევადობის თერმული წინაღობებია და გამოვთვლით ფორმულით

$$R_{1 \text{ ო.შ.}} = \frac{\delta_1}{\mu_1}; \quad R_{2 \text{ ო.შ.}} = \frac{\delta_2}{\mu_2}; \quad R_{n \text{ ო.შ.}} = \frac{\delta_n}{\mu_n},$$

სადაც  $\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_n$  — სათანადო შრეთა სისქეებია, მ;

$\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$  — შრის მასალის ორთქლშედწევადობის კოეფიციენტები და მათი მნიშვნელობები აიღება სამშენებლო მასალების თბოტექნიკური მახასიათებლების ცხრილებიდან (დან. 1). განხილული შემო-

$$R_{1.0.3} = \frac{0,02}{0,033 \cdot 10^{-9}} = 0,6 \cdot 10^9; \quad R_{2.0.3} = \frac{0,05}{0,008 \cdot 10^{-9}} = 6,25 \cdot 10^9;$$

$$R_{3.0.3} = \frac{0,21}{0,037 \cdot 10^{-9}} = 5,68 \cdot 10^9; \quad R_{4.0.3} = \frac{0,04}{0,08 \cdot 10^{-9}} = 5 \cdot 10^9.$$

ორთქლშედწვეადობის საერთო წინაღობა (ზედაპირზე ტენცივის წინაღობების გათვალისწინებით) იქნება:

$$R_{0.3} = (0,096 + 0,6 + 6,25 + 5,68 + 5,0 + 0,048) \cdot 10^9 = 17,64 \cdot 10^9 \text{ ნ.წმ/კგ.}$$

თუ შემომზღულ კონსტრუქციაში მოთავსებულია ჰაერის შრე, მისი ორთქლშედწვეადობის კოეფიციენტის შრის სისქის მიხედვით აიღება

$$\mu = 0,125 - 0,2 \text{ კგმ/ნ.წმ.}$$

წყლის ორთქლის დიფუზია შემომზღულ კონსტრუქციაში მიმდინარეობს მის სხვადასხვა მხარეს პარციალურ წნევათა (წყლის ორთქლის სიმკვრივე) სხვაობის ხარჯზე.

საჭიროა გამოვთვალოთ პარციალური წნევების მნიშვნელობები როგორც შემომზღული კონსტრუქციის ზედაპირებზე, ასევე დამახასიათებელ კვთებში (შრეთა საზღვრებზე).

კედლის შიგა ზედაპირზე პარციალური წნევა

$$l_{\tau 3} = l_3 - \frac{l_3 - l_8}{R_{0.3}} \cdot R_{0.3.შიგა} \quad (17)$$

სადაც  $l_3$  არის სათავისის ჰაერში წყლის ორთქლის პარციალური წნევა;

$l_8$  — გარემო ჰაერში წყლის ორთქლის პარციალური წნევა.

მათ მნიშვნელობებს გამოვთვლით ფორმულებით:

$$l_3 = \frac{\varphi_3 \cdot E_3}{100} \quad \text{და} \quad l_8 = \frac{\varphi_8 \cdot E_8}{100},$$

სადაც  $\varphi_3$  არის სათავისის ჰაერის ფარდობითი ტენიანობა და აღნიშნული მაგალითისათვის მისი მნიშვნელობა 50%-ის ტოლია;

$\varphi_8$  — გარე ჰაერის საშუალო ფარდობითი ტენიანობა ყველაზე ცივი თვისათვის და მისი მნიშვნელობა ქ. სვერდლოვსკისათვის ტოლია  $\varphi_8 = 79\%$  (დან. 3);

$E_3$  და  $E_8$  — სათავისის ჰაერში წყლის ორთქლის პარციალური წნევების მნიშვნელობები და ჰაერის ტემპერატურების მიხედვით აიღება მე-4 დანართიდან

$$E_3 = 2063,79 \text{ ნ/მ}^2, \quad E_8 = 165,32 \text{ ნ/მ}^2;$$

შესაბამისად კი

$$e_0 = \frac{50 \cdot 2063,79}{100} = 1031,89 \text{ ნ/მ}^2;$$

$$e_8 = \frac{79 \cdot 165,32}{100} = 130,60 \text{ ნ/მ}^2.$$

(17) ფორმულის თანახმად, კედლის შიგა ზედაპირზე პარციალური წნევის მნიშვნელობა

$$e_{\Sigma} = 1031,89 - \frac{1031,89 - 130,60}{17,64 \cdot 10^9} \cdot 0,096 \cdot 10^9 = 1026,99 \text{ ნ/მ}^2.$$

ნებისმიერ კვეთში პარციალური წნევის მნიშვნელობებს გამოვ-  
თვლით ფორმულით

$$l_n = l_{\Sigma} - \frac{e_{\Sigma} - e_n}{R_{n, \Sigma}} (R_{n, \Sigma} - \sum_{i=1}^{n-1} R_{n, i}).$$

I და II შრეთა საზღვარზე პარციალური წნევა

$$e_1 = 1031,89 - \frac{1031,89 - 130,60}{17,64 \cdot 10^9} (0,096 + 0,6) \cdot 10^9 = 996,33 \text{ ნ/მ}^2.$$

II და III შრეების საზღვარზე

$$e_2 = 1031,89 - \frac{1031,89 - 130,60}{17,64 \cdot 10^9} (0,096 + 0,6 + 6,25) \cdot 10^9 = 677,02 \text{ ნ/მ}^2.$$

III და IV შრეების საზღვარზე

$$e_3 = 1031,89 - \frac{1031,89 - 130,60}{17,64 \cdot 10^9} (0,096 + 0,6 + 6,25 + 5,68) \cdot 10^9 =$$

$$= 386,83 \text{ ნ/მ}^2.$$

ვარე ზედაპირზე პარციალური წნევა

$$e_8 = 1031,89 - \frac{1031,89 - 130,60}{17,64 \cdot 10^9} (0,096 + 0,6 + 6,25 + 5,68 + 5,0) \cdot 10^9 =$$

$$= 131,38 \text{ ნ/მ}^2.$$

იმისათვის, რომ დავადგინოთ შესაძლებელია თუ არა შემომზღუდ კონსტრუქციაში მოხდეს ტენის კონდენსაცია, საჭიროა გამოვიანგარი-  
შოთ წყლის ორთქლის  $E$  მაქსიმალური წნევების მნიშვნელობები რო-  
გორც შემომზღუდი კონსტრუქციის ზედაპირებზე, ასევე მახასიათებელ  
კვეთებში.

$E$  მაქსიმალური პარციალური წნევის მნიშვნელობები მოცემული  
წნევის შემთხვევაში დამოკიდებულია ტემპერატურაზე. ამიტომ  $E$ -ს



მნიშვნელობების განსაზღვრამდე ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად გამოვთვალოთ ტემპერატურები კედლის ზედაპირებსა და შრეების საზღვარზე. აქ განსხვავება იმაში მდგომარეობს, რომ გარე ჰაერის საანგარიშო ტემპერატურად აღებული გვაქვს ყველაზე ცივი თვის (იანვრის) საშუალო ტემპერატურა  $t_a = -15,3$ .

კედლის შიგა ზედაპირზე ტემპერატურა

$$t_a = t_3 - \frac{R_3}{R_0} (t_3 - t_a) = 18 - \frac{8,7}{1,07} (18 + 15,3) = 14,42^\circ\text{C}.$$

I და II შრეების საზღვარზე ტემპერატურა

$$t_1 = t_3 - \frac{R_1}{R_0} (t_3 - t_a) = 14,42 - \frac{0,02}{1,07} (18 + 15,3) = 13,53^\circ\text{C}.$$

II და III შრეების საზღვარზე ტემპერატურა

$$t_2 = t_1 - \frac{R_2}{R_0} (t_3 - t_a) = 13,53 - \frac{0,05}{1,07} (18 + 15,3) = 12,71^\circ\text{C}.$$

III და IV შრეების საზღვარზე ტემპერატურა

$$t_3 = t_2 - \frac{R_4}{R_0} (t_3 - t_a) = 12,71 - \frac{0,21}{1,07} (18 + 15,3) = -13,43^\circ\text{C}.$$

კედლის გარე ზედაპირზე ტემპერატურა

$$t_3 = t_3 - \frac{R_4}{R_0} (t_3 - t_a) = -13,43 - \frac{0,04}{1,07} (18 + 15,3) = -14,5^\circ\text{C}.$$

მიღებული ტემპერატურების შესაბამისი მაქსიმალური პარციალური წნევების მნიშვნელობები (დან. 4) ტოლია:

$$E_{t_3} = 1639,84 \text{ ნ/მ}^2; \quad E_1 = 1546,51 \text{ ნ/მ}^2; \quad E_2 = 1467,85 \text{ ნ/მ}^2;$$

$$E_3 = 198,65 \text{ ნ/მ}^2; \quad E = 181,32 \text{ ნ/მ}^2.$$

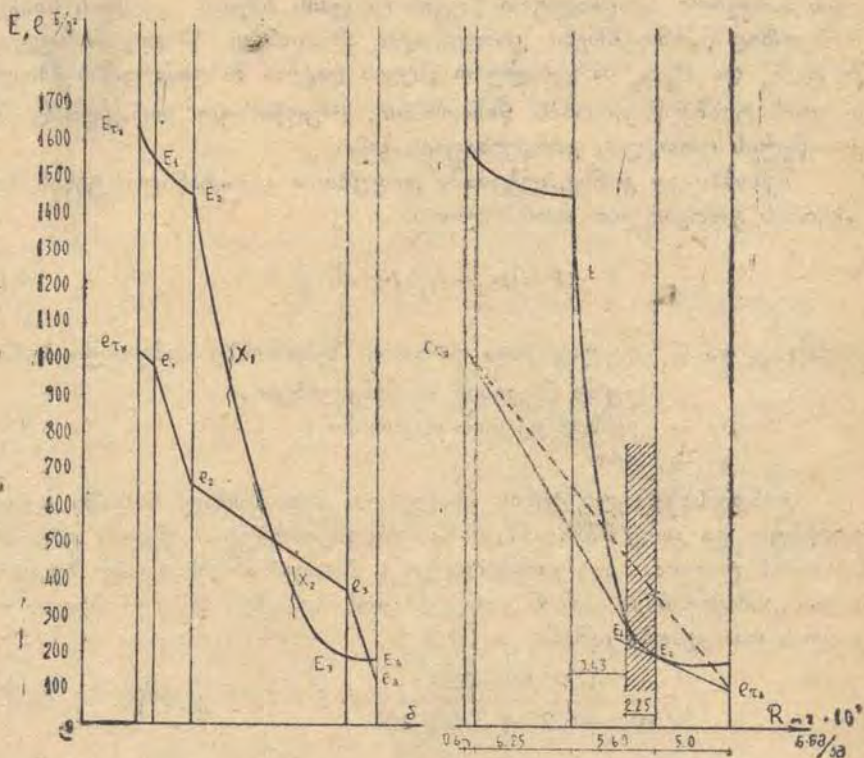
$e$  ნამდვილი და  $E$  მაქსიმალური პარციალური წნევების მიღებული მნიშვნელობების მიხედვით ავაგოთ გრაფიკი, რომლის აბსცისათა ღერძზე გადაზომილია სათანადო შრეთა სისქეები, ხოლო ორდინატთა ღერძზე — პარციალური წნევების მნიშვნელობები (დან. 2). გრაფიკის აგების

დროს საჭიროა რამდენიმე კვეთში ( $x_1, x_2, \dots$ ) დამატებით განვსაზღვროთ მაქსიმალური პარციალური წნევის მნიშვნელობები.

როგორც გრაფიკიდან ჩანს,  $e$  მრუდი კვეთს  $E$  მრუდს, რაც იმას მიუთითებს, რომ შემომზღულ კონსტრუქციაში მოსალოდნელია დიფუნდირებული წყლის ორთქლის კონდენსაცია.

შემომზღული კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმის ანგარიშის მიზანია დავადგინოთ კონდენსაციის ზონა, ანუ შემომზღული კონსტრუქციის ის კვეთი, რომელშიც მოსალოდნელია ტენის გამოყოფა.

კონდენსაციის ზონას დავადგენთ გრაფიკული მეთოდით (ნახ. 3). აბსცისათა ღერძზე გადავზომავთ სათანადო შრეთა ორთქლმედწევადო-



ნახ. 3.

ბის წინააღობებს, ხოლო ორდინატთა ღერძზე — მაქსიმალური პარციალური წნევის მნიშვნელობებს. გრაფიკის ზემო ნაწილში დატანილი გვაქვს ტემპერატურის ცვლილების გრაფიკი. შემდეგ კედლის შიგა და გარე ზედაპირებზე დავიტანთ ნამდვილ პარციალური  $e_{\text{კ}}$  და  $e_{\text{გ}}$  წნევის მნიშვნელობებს მათი შეერთებით ვღებულობთ წრფეს, რომელიც

წარმოადგენს ნამდვილი პარციალური წნევის ცვლილების მრუდს კედლის სისქეში. მას გამოვსახავთ სწორი ხაზით, რადგანაც აბსცისათა ღერძზე გადაზომილი გვაქვს ორთქლშედწევადობის წინალობები. რადგანაც შემომზღულ კონსტრუქციაში ტენი გამოიყოფა, ეს იმას ნიშნავს, რომ ნამდვილი პარციალური წნევის შემცირება მიმდინარეობს როგორც კედლის დიფუზიისადმი წინააღმდეგობით, ასევე წყლის ორთქლის კონდენსაციით კედელში.

კონდენსაციის ზონის დასადგენად  $e_{\tau_3}$  და  $e_{\tau_2}$  წერტილებიდან გავატაროთ მხებები  $E$  მრუდის გადაკვეთამდე ( $E_1$  და  $E_2$  წერტილები).

ამრიგად, ვლებულობთ  $e_{\tau_3} E_2 E_1 e_{\tau_2}$  მრუდს, რომელიც წარმოადგენს ნამდვილი პარციალური წნევის დაცემის მრუდს კედლის სისქეში, რომელშიც წარმოიქმნება კონდენსატი. ამასთანავე წრფე მონაკვეთებზე  $e_{\tau_3} E_1$  და  $E_2 e_{\tau_2}$  პარციალური წნევის დაცემა მიმდინარეობს მხოლოდ კედლის ტენშედწევადობის წინალობით, მრუდწირულ მონაკვეთზე  $E_1 E_2$  კი—წყლის ორთქლის კონდენსაციის გამო.

შემომზღულ კონსტრუქციაში დიფუზიით გადატანილი ტენის რაოდენობას გამოვთვლით ფორმულით

$$P = (e_{\tau_3} - e_{\tau_2}) F z \frac{\mu}{\delta} \text{ გ.} \quad (17)$$

სადაც  $e_{\tau_3}$  და  $e_{\tau_2}$  კედლის შიგა და გარე ზედაპირზე ნამდვილი პარციალური წნევების მნიშვნელობებია;

$F$  — კონსტრუქციის ფართობი;

$z$  — დრო.

კონდენსირებული ტენის რაოდენობა შიგა მშრალ ზონაში დიფუნდირებულ და გარე მშრალ ზონაში დიფუნდირებული წყლის ორთქლის სხვაობის ტოლია. თუ განვიხილავთ 1 მ<sup>2</sup> ფართობის მქონე ზედაპირს 1 სთ განმავლობაში, მაშინ კონდენსაციის ზონამდე მისული წყლის ორთქლის რაოდენობა იქნება:

$$P_1 = \frac{1026,99 - 320}{(0,6 + 6,25 + 3,43) \cdot 10^9} = 68,7 \cdot 10^{-9} \text{ კგ/მ}^2 \text{ წმ.}$$

კონდენსაციის ზონიდან გარე ზედაპირზე გატანილი ტენის რაოდენობა

$$P_2 = \frac{200 - 131,38}{5 \cdot 10^9} = 37,72 \cdot 10^{-9} \text{ კგ/მ}^2 \text{ წმ.}$$

კონდენსირებული ტენის რაოდენობა კი

$$P_3 = P_1 - P_2 = (68,7 - 37,72) \cdot 10^{-9} = 30,98 \cdot 10^{-9} \text{ კგ/მ}^2 \text{ წმ.}$$

ტენის ინტენსიური გამოყოფა შემომზღულ კონსტრუქციაში იწვევს მისი თბური დაცვის თვისებების დაქვეითებას, ამიტომ რეკომენდებულია შემომზღული კონსტრუქციის შიგა მხარეზე მოვაწყოთ ტენსაიზოლაციო შრე.

### 5. შერეულ ღული კონსტრუქციის ჰაერშელწვევადობის განაგარიშვა

მრავალშრიანი შემომზღული კონსტრუქციის ჰაერშელწვევადობის საერთო წინაღობა ცალკეული შრეების ჰაერშელწვევადობათა წინაღობის ჯამის ტოლია და გამოვთვლით ფორმულით

$$R_{\Sigma} = R_{1, \Sigma} + R_{2, \Sigma} + \dots + R_{n, \Sigma} \text{ ნ. წმ/კვ.} \quad (18)$$

ჰაერშელწვევადობის წინაღობათა მნიშვნელობები შრის მასალისა და სისქის მიხედვით აიღება მე-5 დანართიდან. ამ შემთხვევისათვის

$$R_{\Sigma} = 682,47 + 3530 + 1482 + 2820 = 6570 \text{ კნ. წმ/კვ.}$$

ჰაერისა და ფხვიერი მასალებისაგან (წიდა, კერამიტი, პეშა და სხვ.) შემდგარი შრეებისათვის ჰაერშელწვევადობის წინაღობა ნულის ტოლია.

ესეთი კონსტრუქციებისათვის, რომლებიც ჰაერშელწვევადობის თვალსაზრისით ყველაზე არახელსაყრელ მდგომარეობაშია (პირველი სართულის შემომზღული კონსტრუქციები მოთავსებული ქარის ზემოქმედების ქვეშ), საჭიროა გამოვთვალოთ კონსტრუქციაში ინფილტრაციით შემოსული ჰაერის რაოდენობა.

შემომზღულ კონსტრუქციაში ინფილტრაციით შემოსული ჰაერის რაოდენობას გამოვთვლით შემდეგი ფორმულით:

$$G = \frac{\Delta P}{R_{\Sigma}} F, \quad (19)$$

სადაც  $\Delta P$  — კონსტრუქციის სხვადასხვა მხარეს წნევათა სხვაობა და გამოვთვლით ფორმულით

$$\Delta P = 0,04v^2 + \frac{2}{3} H(\gamma_{\Sigma} - \gamma_{\Sigma}), \quad (20)$$

აქ  $v$  არის ქარის მოძრაობის სიჩქარე და იგი ქ. სვერდლოვსკისათვის ზამთრის პერიოდში ტოლია  $v = 5$  მ/წმ (დან. 3).

$\gamma_{\Sigma}$  და  $\gamma_{\Sigma}$  — სათანადოდ გარე და შიგა ჰაერის მოცულობითი წონები (სიმკვრივე). მათ მნიშვნელობას გამოვთვლით ფორმულით

$$\gamma = \frac{353}{273 + t} \text{ კგ/მ}^3.$$

გარე ჰაერისათვის  $\gamma_a = \frac{353}{273-38} = 1,5$ , შიგნისათვის  $\gamma_b = \frac{353}{273+18} = 1,21$ ;  $H$  — შენობის სიმაღლეა. თუ დავუშვებთ, რომ მოცემული შენობა 5-სართულიანია, რომლის სართულის სიმაღლე 3,2 მ-ის ტოლია, მაშინ

$$H = 5 \times 3,2 = 16,0 \text{ მ.}$$

სათანადო მნიშვნელობების ჩასმით, მივიღებთ წნევათა სხვაობის საანგარიშო მნიშვნელობას

$$\Delta P = 0,04 \cdot 5^2 + \frac{2}{3} 16 (15 - 1,21) = 2,28 \text{ მმ. წყ. სვ} = 22,34 \text{ ნ/მ}^2.$$

აღნიშნული შენობის გარე კედლების ფართობი

$$F = (4 + 6) \cdot 3,2 - 2 (1,6 \times 1,4) = 27,52 \text{ მ}^2.$$

გარე კედლიდან ინფილტრირებული ჰაერის რაოდენობა

$$G = \frac{22,34}{65705} - 27,52 = 9,35 \cdot 10^{-6} \text{ კგ/წმ.}$$

ფანჯრებიდან ინფილტრირებული ჰაერის რაოდენობა

$$G = \frac{22,34}{7,06 \cdot 10^3} 4,48 = 14,18 \cdot 10^{-3} \text{ კგ/წმ.}$$

სადაც  $7,06 \cdot 10^3$  ნ. წმ/კგ — ფანჯრის კონსტრუქციის ჰაერშელწევალობის წინალობაა.

დამატებით თბოდანაკარგებს, რომლებიც იხარჯება ინფილტრაციით შემოსული ჰაერის გათბობაზე, გამოვთვლით ფორმულით

$$Q_{\text{ინფ}} = c (A_{\text{კედ}} G_{\text{კედ}} + A_{\text{ფანჯ}} G_{\text{ფანჯ}}) \cdot (t_a - t_b), \quad (21)$$

სადაც  $c$  ჰაერის თბოტევადობაა და იგი ტოლია 1 კჯ/კგ;

$A_{\text{კედ}} = 0,6$ ;  $A_{\text{ფანჯ}} = 0,8$  კოეფიციენტები ითვალისწინებს ჰაერის შეთბობას კონსტრუქციაში.

აღნიშნული მაგალითისათვის

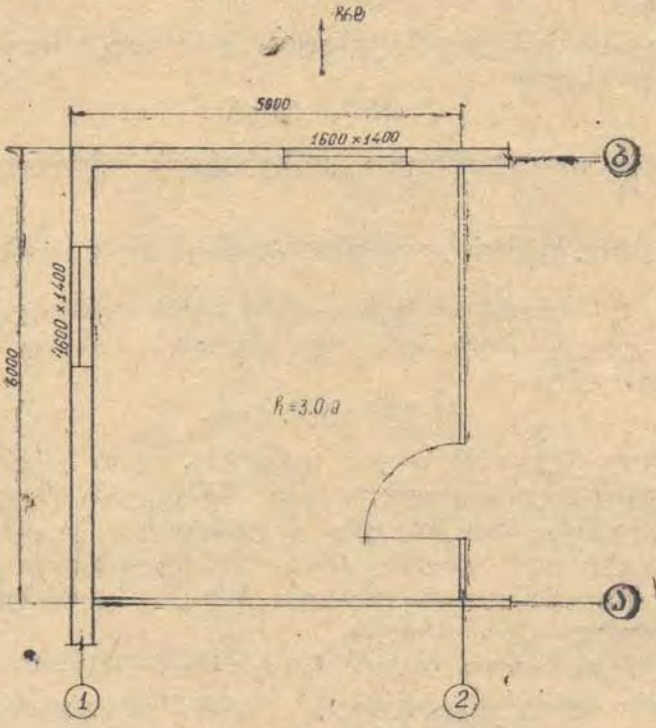
$$Q_{\text{ინფ}} = 1 (0,6 \cdot 9,35 \cdot 10^{-6} + 0,8 \cdot 14,18 \cdot 10^{-3}) (18 + 38) = 63818 \cdot 10^{-6} \text{ კ. ჯოული/წმ} = 6400 \text{ ვტ.}$$

### სათავსის თბური რეჟიმის გაანგარიშება

შენობათა გათბობისა და ჰაერის კონდიციონირების სისტემების და-ნიშნულებზე, გარემო ჰაერის ტემპერატურის ცვლილების მიუხედავად, სათავსის წინასწარ დასახული თბური მდგომარეობის უზრუნველყოფა,

ე. ი. სათავსში წინასწარ მოცემული უნდა იქნეს ჰაერის ტემპერატურა, რომლის რხევა ნორმებით გათვალისწინებულ დასაშვებ ფარგლებში უნდა იყოს.

შენობებში, რომლებიც მიერთებულია ცენტრალური თბომომარაგების სისტემას, გარე ჰაერის მაღალი ტემპერატურის დროს ( $t_g \approx 10^\circ$ ) გათბობის სისტემების თბოგაცემის რეგულირება ხდება მათი წყვეტილი მუშაობით, რაც იმის მაჩვენებელია, რომ სისტემაში  $m$  სთ-ის განმავლობაში ხორციელდება თბომატარებლის ცირკულაცია, ხოლო რაღაც  $n$  სთ-ის განმავლობაში თბომატარებლის მიწოდება სისტემაში წყდება.



ნახ. 4.

ანგარიშის მიზანია გამოვთვალოთ სათავსის ჰაერის რხევის ამპლიტუდა გათბობის სისტემის პერიოდული მუშაობის დროს.

სათავსის ჰაერის რხევის ამპლიტუდა გამოვთვალოთ ფორმულით

$$A_{t_2} = \frac{0,7MQ}{\Sigma BF}, \quad (22)$$

სადაც  $M$  არის გათბობის სისტემის მუშაობის უთანაბრობის კოეფიციენტი-

ტი და მისი მნიშვნელობა გათბობის სისტემის მიხედვით აღილება ცხრილებიდან.

ცენტრალური წყლით სათბობი სისტემებისათვის, გათბობის უწყვეტი მომსახურებით  $M=0,1$ .

$Q$  — სათბობი ხელსაწყოთა საშუალო საათური თბოგაცემა და მისი მნიშვნელობა სათავსის თბოდანაკარგების ტოლია.

თბურ რეჟიმს გამოვიანგარიშებთ სათავსისათვის ყველაზე არახელსაყრელ მდგომარეობაში მყოფი სათავსისათვის. ამ შემთხვევისათვის ზემო სართულის კუთხის სათავსი საჭიროა გამოვთვალოთ ამ სათავსის თბოდანაკარგები.

თბოდანაკარგებს გარე შემომზღული კონსტრუქციებიდან განვსაზღვრავთ ფორმულით

$$Q = kF(t_a - t_b) \text{ ვტ,} \quad (23)$$

სადაც  $k = \frac{1}{R_0}$  არის შემომზღული კონსტრუქციის თბოგადაცემის კოეფიციენტი;

$F$  — კონსტრუქციის ფართობი, საიდანაც ხდება სითბოს დანაკარგი;

$t_a$  და  $t_b$  — სათანადოდ შიგა და გარე ჰაერის ტემპერატურები.

გარე კედლებისათვის, აღნიშნული ანგარიშის თანახმად, თბოგადაცემის კოეფიციენტი

$$k = 0,93 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად.}$$

შემინული ზედაპირებისათვის (ფანჯრები, აივნის კარებები, შუქფანარები) თბოგადაცემის კოეფიციენტების მნიშვნელობა მიიღება საჭირო თერმული წინაღობის მიხედვით. ეს უკანასკნელი კი დამოკიდებულია ტემპერატურულ სხვაობაზე  $t_a - t_b$ . შემინული ზედაპირებისათვის საჭირო თერმულ წინაღობათა სიდიდეები სათავსის დანიშნულების მიხედვით მოცემულია მე-6 ცხრილში.

ამ შემთხვევისათვის, რადგან  $t_a - t_b = 18 - (-38) = 56^\circ$  და ფანჯრის საჭირო თერმული წინაღობა  $R_0^{საჭ} = 0,516 \text{ მ}^2 \cdot \text{გრად/ვტ}$ , სათანადოდ თბოგადაცემის კოეფიციენტი იქნება:

$$k = \frac{1}{R_0^{საჭ}} = \frac{1}{0,516} = 1,94 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად.}$$

მიღებული საჭირო თერმული წინაღობის მიხედვით მე-7 ცხრილით შევარჩევთ ფანჯრის კონსტრუქციას და რადგან  $R_0^{საჭ} = 0,516$ , საჭიროა გამოვიყენოთ სამმაგი შემინვა.

გადახურვის კონსტრუქციის თბოგადაცემის კოეფიციენტის გასაანგარიშებლად შევარჩიოთ კონსტრუქცია, რომელიც ნაჩვენებია მე-5 ნახაზზე, სადაც 1 — რკინაბეტონის ფილა  $\gamma = 2500 \text{ კგ/მ}^3$ ;  $\delta = 150 \text{ მმ}$ ;

2 — ჰაერის შრე  $\delta = 10$  მმ; 3 — ტენსაიზოლაციო შრე პერგამინის 2 შრი-საგან; 4 — მინერალური ბამბის ფილები სინთეზური მიერთებლებით

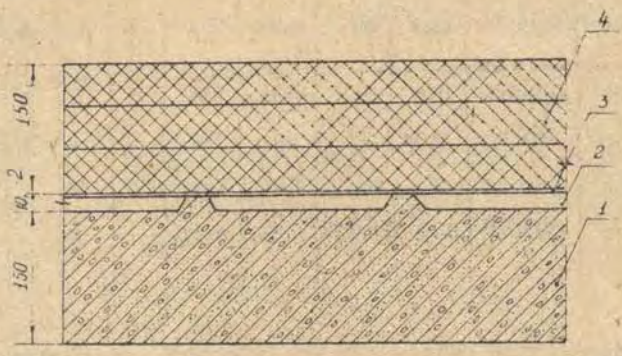
$$\gamma = 200 \text{ კგ/მ}^3; \delta = 150 \text{ მმ.}$$

სათანადოდ გადახურვის კონსტრუქციის თერმული წინაღობა

$$R_0 = R_3 + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_{\text{გაყ}} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,15}{1,92} + 0,15 + \frac{0,002}{0,17} + \frac{0,15}{0,06} + \frac{1}{11,6} = 2,9 \text{ მ}^2 \cdot \text{გრად/ვტ.}$$

სადაც  $R_{\text{აგეთ}} = \frac{1}{\alpha_{\text{აგეთ}}}$  და  $R_{\text{გაყ}} = \frac{1}{\alpha_{\text{გაყ}}}$  — არის თბოგაცემის თერმული წინა-  
 ლობები გადახურვის შიგა და გარე ზედაპირებთან. როდესაც გადახურ-



ნახ. 5.

ვის ზედაპირი გადის სხვენზე, მაშინ  $\alpha_{\text{გაყ}} = 11,6$ , ხოლო, როდესაც გადა-  
 ხურვის კონსტრუქცია უშუალოდ ეხება გარემო ჰაერს

$$\alpha_{\text{გაყ}} = 23,3 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად.}$$

სათანადოდ გადახურვის თბოგადაცემის კოეფიციენტი

$$k_{\text{გაყ}} = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{2,9} = 0,35 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად.}$$

(23) ფორმულით გამოთვლილ თბოდანაკარგებს ეწოდება ნორმა-  
 ლური, რეალური თბოდანაკარგები კი განსხვავდება ნორმალურისაგან.  
 ეს განსხვავება გამოწვეულია ქარის ზემოქმედებით, შენობათა ორიენ-  
 ტაციითა და სხვ. ამიტომ გაანგარიშების დროს ვითვალისწინებთ დანა-  
 მატებს ნორმალურ თბოდანაკარგებზე. დანამატები ნორმალურ თბოდანა-  
 კარგებზე აიღება გათბობის სახელმძღვანელოდან.

თბოდანაკარგების გაანგარიშების შედეგები მიზანშეწონილია წარ-  
 მოვადგინოთ ცხრილის სახით.



შემომზღული კონსტრუქციების თბოდანაკარგები

კონსტრუქციის დასახელება	ორიენტიაცია	შემომზღული ზომები $a \times b$	შემომზღული ფართობი $F$ , მ <sup>2</sup>	ტემპერატურული სხვაობა $\Delta t = t_{\text{ვ}} - t_{\text{გ}}$	თბოგადაცემის კოეფიციენტი $k$ მტ/მ <sup>2</sup> ·გრად	თბოდანაკარგები $Q = k F \Delta t$ ვტ	ქარზე	ორიენტიაციაზე	სხვადასხვა	საერთო დანამატი, ვტ	საერთო თბოდანაკარგები, ვტ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
გარე კედელი	ჩრდ	5,0×3,0	15,0	56	0,93	781	5	10	5	156	937
გარე კედელი	დას	6,0×3,0	18,0	56	0,93	938	5	5	5	141	1079
ფანჯარა	ჩრდ	1,6×1,4	2,24	56	1,94	244	5	10	5	49	293
ფანჯარა	დას	1,6×1,4	2,24	56	1,94	244	5	5	5	37	281
გადახურვა	—	6,0×5,0	30,0	56,0,75 -42	0,85	441	—	—	—		441
										$\Sigma Q = 3081$	

შენიშვნა. გადახურვიდან თბოდანაკარგების გამოთვლის დროს ვითვალისწინებთ იმ გარემოებას, რომ გარემო ჰაერი უშუალოდ არ ეხება კონსტრუქციას (გადახურვის კონსტრუქცია სასხვენოა), ამიტომ შემოგვაქვს შესწორების კოეფიციენტი 0,75.

(22) ფორმულაში დასადგენია  $B$  სიდიდე, რომელიც შემომზღული კონსტრუქციის ზედაპირის სითბოს შთანთქმის კოეფიციენტია და გამოვთვლით ფორმულით

$$B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{1}{\gamma_3}}, \quad (24)$$

სადაც  $\alpha_3$  არის ზედაპირთან თბოგაცემის კოეფიციენტი და მისი მნიშვნელობა ტოლია 8,7-ის;

$\gamma_3$  — შემომზღული კონსტრუქციის შიგა ზედაპირის თბოშეთვისების კოეფიციენტი. მისი განსაზღვრისათვის საჭიროა დავადგინოთ შემომზღულ კონსტრუქციაში ტემპერატურის მკვეთრი ცვლილების ზონა, სათანადოდ განსაზღვრა ხდება თბური ინერციის მახასიათებლის მიხედვით.

განვიხილოთ გარე კედელი:

$$D_1 = R_1 S_1 = \frac{0,02}{0,7} \cdot 8,21 = 0,235;$$

$$D_2 = R_2 S_2 = \frac{0,05}{1,92} \cdot 17,14 = 0,446;$$

$$D_3 = R_3 S_3 = \frac{0,21}{0,25} \cdot 3,5 = 2,94;$$

$$D_4 = R_4 S_4 = \frac{0,04}{1,92} \cdot 17,14 = 0,357.$$

---


$$D = 3,978$$

რადგან  $D_1 + D_2 + D_3 = 3,62 > 1$ ,

$$D_1 + D_4 = 0,681 < 1,$$

ტემპერატურის მკვეთრი ცვლილების ზონა მოთავსებულია რამდენიმე შრეში, სახელდობრ, იგი მოიცავს პირველ სამ შრეს. როდესაც ტემპერატურის მკვეთრი ცვლილების ზონა მოთავსებულია რამდენიმე შრეში, თბოშეთვისების კოეფიციენტს განვსაზღვრავთ ფორმულით

$$Y_{n-1} = \frac{R_{n-1} \cdot S_{n-1}^2 + S_n}{1 + R_{n-1} S_n}, \quad (25)$$

სადაც  $S_n$ -ის  $n$  შრის მასალის თბოშეთვისების კოეფიციენტი;

$R_{n-1}$  — სითანადოდ  $n-1$  შრის თერმული წინაღობა;

$Y_{n-1}$  —  $n-1$  შრის თბოშეთვისების კოეფიციენტი.

სითანადოდ II შრისათვის

$$Y_2 = \frac{R_2 S_2^2 + S_3}{1 + R_2 S_3} = \frac{\frac{0,05}{1,92} (17,14)^2 + 3,5}{1 + \frac{0,05}{1,92} \cdot 3,5} = 10,2 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად.}$$

შემდეგ გამოვთვლით I შრის თბოშეთვისების კოეფიციენტს, რომელიც აგრეთვე შიგა ზედაპირის სითბოს შეთვისების კოეფიციენტია

$$Y_1 = \frac{R_1 S_1^2 + Y_2}{1 + R_1 Y_2} = \frac{\frac{0,02}{0,7} (8,21)^2 + 10,2}{1 + \frac{0,02}{0,7} \cdot 10,2} = 9,4 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად.}$$

გამოვთვალთ თბოშეთვისების კოეფიციენტის მნიშვნელობას  
გადახურვის შიგა ზედაპირისათვის

$$D_1 = R_1 S_1 = \frac{0,15}{1,92} \cdot 17,14 = 1,3,$$

რადგან

$$D_1 = 1,3 > 1,$$

ეს იმის მაჩვენებელია, რომ მკვეთრი ცვლილების ზონა მოიცავს პირველი შრის ნაწილს.

თბოშეთვისების კოეფიციენტი I შრისათვის იქნება შიგა ზედაპირის თბოშეთვისების კოეფიციენტის ტოლი

$$Y_3 = S_1 = 17,14 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად.}$$

სათანადო ზედაპირების სითბოს შთანთქმის კოეფიციენტები: კედლისათვის

$$B_{\text{კედ}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{1}{9,4}} = 4,52 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად.}$$

გადახურვისათვის

$$B_{\text{გად}} = \frac{1}{\frac{1}{8,7} + \frac{1}{17,14}} = 5,9 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად.}$$

შემიწოდებ ზედაპირებისათვის სითბოს შთანთქმის კოეფიციენტის მნიშვნელობას გამოვთვლით ფორმულით

$$B_{\text{ფანჯ}} = \frac{0,925}{R_0} \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად.} \quad (26)$$

სადაც  $R_0$  — ფანჯრის თერმული წინაღობაა. აღნიშნული მაგალითისათვის

$$B_{\text{ფანჯ}} = \frac{0,925}{0,516} = 1,8 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად.}$$

სართულთშორისი გადახურვის იატაკისათვის  $B$  აიღება 2,3, შიგა კარებისათვის იგი დაახლოებით 3 ვტ/მ<sup>2</sup>. გრად-ია, შიგა ტიხრებისათვის კი —  $B = 4,33$ .

შიგა ზედაპირების მიერ სითბოს შთანთქმა წარმოდგენილი გვაქვს ცხრილის სახით.

ზედაპირის დასახელება	ზედაპირის ფართობი $F, \text{მ}^2$	ზედაპირის თბოწონის კოეფიციენტი $B, \text{ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად}$ გრად, რიფისა $\epsilon = 24$ სთ	ზედაპირის მიერ სითბოს შთანთქმა $BF, \text{ვტ/გრად}$
ფანჯრები	30,88	1,8	6,98
ასბეწო გადახურვა (ვერი)	30,0	5,9	177,0
სართულთშორისი გადახურვა (ოიტაკი)	30,0	2,3	69,0
ვარე კედლები	33,0	4,52	149,16
შიგა კედლები (ტისრები)	23,0	4,33	99,59
ავეჯის განლაგება	10,0	1,8	18,0
			$\Sigma BF = 519,73 \text{ ვტ/მ}^2 \cdot \text{გრად}$

სათანადო მნიშვნელობების ჩასმით (22) ფორმულაში მივიღებთ სათავსის ჰაერის ტემპერატურის რხევის ამპლიტუდას

$$A_{t_3} = \frac{0,7MQ}{\Sigma BF} = \frac{0,7 \cdot 0,1 \cdot 3031}{519,73} = 0,4^\circ\text{C},$$

რაც ნაკლებია სათავსის ჰაერის ტემპერატურის რხევის დასაშვებ ამპლიტუდაზე

$$A_{t_3}^{\text{დაშ}} = 1,5^\circ\text{C}.$$

მიღებულის შედეგად დავასკვნით, რომ გაანგარიშებულ სათავსის ზამთრის პირობებში აქვს ნორმებით გათვალისწინებული დასაშვები თბომდგრადობა.



დ. ნ. ა. რ. თ. ი.

**ხამშენებლო მახალებსა და კონსტრუქციების თბოტექნიკურა  
მახასიათებლები**

მახალები და ნაკეთობანი	სიმაკრივე, კმ/კმ	კოეფიციენტები				ორთულეულწვედლო- კმ/მ ხის, ნ/წმ
		თბოგამტარობის λ კმ/მ, გრად		თბოშეწვევის δ, γ=24 სთ პერიოდისათვის, კმ/მ <sup>2</sup> , გრად		
		ექსპლუატაციის პირობები				
1	2	3	4	5	6	7
<b>I. აზბესტოცემენტის</b>						
ნაწარმი 0,84 კვ/კმ. გრად						
აზბესტოცემენტის ფილები	1900	0,52	0,58	7,78	8,2	0,00728
ოგოვე	1800	0,46	0,52	7,12	7,57	—
<b>II. ასფალტისა და ბიტუმის</b>						
მახალები 1,67 კვ/კმ. გრად						
ასფალტბეტონი	2100	1,05	1,05	16,38	16,38	0,01208
ბიტუმი ნეთობის	1300	0,24	0,24	6,16	6,16	—
ოგოვე	1000	0,17	0,17	4,55	4,55	0,00208
<b>III. ბეტონები 0,84 კვ/კმ. გრად</b>						
ბეტონი	2500	1,92	2,04	17,14	17,67	—
ბეტონი ხრემის ან ბუნებრივი ქვის ღორ- ღზე	2400	1,74	1,86	15,99	16,53	0,00332
ბეტონი სილიკატური კვარცის ქვიშაზე	2200	1,39	1,51	13,68	14,26	—
ოგოვე	2000	1,23	1,39	12,52	13,04	—
"	1800	1,163	1,23	11,32	11,87	—
წიდაბეტონი სათბობის (საქვების) წიდასა და ბეტონი ავლოპორიტზე	1800	0,81	0,93	9,45	10,12	0,0208
	1600	0,7	0,76	8,23	8,62	0,0228
	1400	0,8	0,64	7,15	7,41	0,025
	1200	0,46	0,51	5,82	6,18	0,029
	1000	0,35	0,41	4,81	5,00	0,037
	800	0,29	0,35	3,77	4,14	—



1	2	3	4	5	6	7
წილაბეტონი ბრძმელის ვრანულირებულ წილაზე	1800	0,7	0,81	8,78	9,44	0,0238
	1600	0,58	0,64	7,3	7,9	0,025
	1200	0,46	0,52	5,80	6,18	0,029
	1000	0,35	0,41	4,6	5,01	—
	800	0,29	0,35	3,7	4,15	—
წილაბემზაბეტონი	1800	0,64	0,76	8,4	9,15	—
	1400	0,41	0,47	5,93	6,35	—
	1200	0,35	0,41	5,07	5,49	—
	1000	0,29	0,35	4,21	4,63	—
	800	0,23	0,29	3,36	3,76	—
წილაბემზაქაფ-ან წილაბემზააირბეტონი	1600	0,64	0,7	7,91	8,28	—
	1400	0,52	0,58	6,68	7,05	—
	1200	0,41	0,46	5,49	5,81	—
	1000	0,35	0,41	4,63	5,01	—
	800	0,29	0,35	3,77	4,14	—
600	0,23	0,29	2,91	3,26	—	
ქერამზიტბეტონი	1600	0,64	0,76	7,92	8,62	—
	1400	0,52	0,68	6,67	7,05	0,027
	1200	0,41	0,47	5,48	5,87	0,029
	1000	0,29	0,35	4,2	4,63	0,037
	800	0,23	0,29	3,35	3,77	0,052
600	0,2	0,23	2,71	2,91	0,073	
პერლიტბეტონი	1000	0,27	0,33	4,06	4,47	0,052
	800	0,21	0,26	3,20	3,57	0,073
	600	0,14	0,17	2,27	2,50	0,83
	400	0,11	0,15	1,64	1,91	—
უჯრედოვანი ბეტონები (აირბეტონი, ქაფ-ბეტონი, აირსილიკატი, ქაფსილიკატი)	1000	0,35	0,41	4,63	5,01	0,041
	800	0,25	0,29	3,50	3,77	0,037
	600	0,17	0,21	2,50	2,78	0,048
	400	0,13	0,14	1,78	1,85	0,062
	300	0,1	0,13	1,35	1,54	0,073
ბეტონები ფოროვან ბუნებრივი შემცხეზე 0,96 კგ/კმ	1600	0,7	0,81	8,85	9,52	—
	1400	0,52	0,58	7,14	7,54	—
	1200	0,41	0,47	5,87	6,28	—
პემზაბეტონი	1100	0,35	0,38	5,19	5,41	—
	900	0,25	0,29	3,97	4,27	—
	700	0,19	0,23	3,05	3,36	—

1	2	3	4	5	6	7
ბეტონი ვულკანურ წიდაზე	1200 1000 800	0,41 0,19 0,23	0,45 0,35 0,29	5,87 4,50 3,59	6,15 4,95 4,03	— — —
მინერალური და მიწის ბამბა და მათი ნაკეთობანი 0,75 კვ/კვ. გრად	150 100	0,051 0,046	0,055 0,049	0,65 0,5	0,67 0,52	0,135 0,135
მინერალური ბამბის ქეჩა	150 და ნაკე- ლები	0,046	0,064	0,69	0,72	0,135
მინერალური ბამბის ფილები ბიტუმოვანი მათრებლით	400 300	0,09 0,08	0,1163 0,09	1,43 1,15	1,59 1,23	0,094 0,114
მინერალური ბამბის ფილები სინთეზური მათრებლით	200	0,06	0,07	0,8	0,87	0,135
აირმინა, ქაფმინა, ქაფთიხა და მიწა 0,84 კვ/კვ. გრად						
აირმინა ან ქაფმინა	400 300	0,1163 0,1	0,14 0,1163	1,67 1,37	1,84 1,45	0,0063 0,0062
ქაფთიხოვანი ფილები	500 400	0,17 0,1163	0,2 0,14	2,29 1,67	2,44 1,84	0,042 0,052
ფანჯრის მინა	2500	0,76	0,76	10,7	10,7	—
თაბაშირის ნაკეთობანი და მასალები 0,84 კვ/კვ. გრად						
სუფთა თაბაშირის ფილები და ქუები	1100	0,35	0,41	4,81	5,17	0,029
თაბაშირის ფილები ორგანული შემავსებლით 1,05 კვ/კვ. გრად	700	0,21	0,23	2,98	3,49	0,052
თაბაშირბეტონი ბრძმედის გრანულირებულ წიდაზე	1000	0,33	0,37	4,44	4,65	0,042
იმავე სათბობის (საქვების) წიდაზე	1300	0,46	0,56	6,05	6,45	0,029
ქაფთაბაშირი და აირთაბაშირი	500	0,13	0,19	1,97	2,38	0,104
თაბაშირის ფილები (მშრალი შელესვა) 1 კვ/კვ. გრად	100	0,2	0,23	3,45	4,07	—
გრუნტის მასალები 0,84 კვ/კვ. გრად						
თიხატკეპნილი	2000	0,81	0,93	9,93	10,58	—
ბზის კედლები	1600	0,58	0,70	7,50	9,19	—
თიხა-ქვიშოვანი მოპოხვა	1800	0,58	0,70	7,95	8,72	—
თიხა-წილოვანი მოპოხვა	1300	0,47	0,52	6,05	6,28	—
მშრალი ქვიშის ჩანაყარი	1600	0,47	0,58	6,71	7,5	—



1	2	3	4	5	6	7
ზე და ხის ნაკეთობანი 2,51 კვ/კვ. გრად						
ფიქვი და ნაძვი ბოქვების სივანეზე	550	0,14	0,17	3,73	4,19	0,017
იმადე ბოქვების სივანეზე	550	0,29	0,35	5,4	5,81	0,089
მუხა ბოქვების სივანეზე	800	0,17	0,23	5,05	5,81	0,016
მუხა ბოქვების სივანეზე	800	0,35	0,41	7,14	7,67	0,083
ფანერა დაწებებული	600	0,15	0,17	4,05	4,36	0,006
ქსილოლიტი მოპირკეთებული 1,67 კვ/კვ. გრად	1800	0,76	0,81	15,7	16,23	0,025
ქსილოლიტი საფენად 2,09 კვ/კვ. გრად	1000	0,29	0,35	6,63	7,27	0,035
ხის ნახერხი	250	0,07	0,09	1,78	2,04	0,072
ცემენტის ფიბროლიტი 2,09 კვ/კვ. გრად	350	0,1163	0,15	2,67	3,02	0,073
	300	0,1	2,14	2,17	2,47	0,063
ხის ბოქვებიანი ფილები	1000	0,28	0,34	7,12	7,85	0,033
	600	0,13	0,16	3,73	4,19	0,031
	200	0,06	0,07	1,45	1,59	0,067
ხის ბოქვებიანი ფურცლები (მშრალი შე- ლესვა)	700	0,17	0,21	4,71	5,18	0,0208
არბოლიტი ხის ნარჩენებზე	700	0,21	0,27	4,94	5,29	—
	600	0,17	0,22	4,07	4,77	0,023
	500	0,14	0,17	3,02	3,60	—
თბოსაიზოლაციო ჩანაყრები 0,84 კვ/კვ. გრად						
წილა საბოთბის	1000	0,23	0,29	3,76	4,22	0,054
	700	0,17	0,22	2,72	3,02	0,06
წილმ. ბრძმედის გრანულირებული	900	0,21	0,26	3,37	3,72	0,056
	500	0,14	0,16	2,06	2,21	0,064
კერაზიტი	900	0,35	0,41	4,36	4,71	0,058
	500	0,17	0,21	2,29	2,51	0,083
პენზა ან ტუფი 1,26 კვ/კვ. გრად	300	0,13	0,15	1,52	1,65	0,104
	600	0,17	0,23	3,08	3,55	0,073
	400	0,14	0,17	2,26	2,50	0,094
პერლიტი ფხვიერი	250	0,06	0,09	0,94	1,19	—
ვერმიკულიტი, ფხვიერი	300	0,1	0,14	1,37	1,59	—
ბუნებრივი ქვები 0,92 კვ/კვ. გრად						
მარმარილო, გრინიტი, ბაზალტი	2800	3,25	3,49	24,65	25,47	0,0031
ქვიშაქვები და კვარცი	2400	1,74	2,04	16,69	18,02	0,0104
იორქვები	2000	1,05	1,163	11,8	12,56	0,0166
	1700	0,81	0,93	9,59	10,23	0,0208



1	2	3	4	5	6	7
ტუფი კირქვიანი	1300	0,46	0,52	6,34	6,75	0,0416
ტუფი არტიკის	1300	0,33	0,35	5,06	5,23	0,027
ტუფი ერგენის	1600	0,42	0,46	6,22	6,69	0,02238
ტუფი ფალზიტის	2000	0,98	1,03	10,87	11,11	0,0208
სწორი ფორმის ქვის წყობა რთულ ხსნარზე, როდესაც ქვის სიმკვრივეა						
2800	2680	2,97	3,2	22,97	23,96	0,0058
2000	1960	1,01	1,13	11,51	12,09	0,018
1200	1260	0,45	0,51	6,16	6,57	0,036
მრასწორი ფორმის ქვის წყობა რთულ ხსნარზე, როდესაც ქვის სიმკვრივეა						
2500	2420	2,38	2,56	19,54	20,35	0,0114
2000	1900	0,94	1,06	10,93	11,51	0,0204
1200	1380	0,53	0,6	7,01	7,44	0,0337
ა გ უ რ ი ს წ ყ ო ბ ა 0,88 კვ/კვ. გ რ ა ლ						
წყობა რთულ ხსნარზე:						
ჩვეულებრივი, თინის გამომწვარი აგურისაგან	1800	0,7	0,81	8,96	9,65	0,029
ფოროვანი აგურისაგან სიმკვრივით 1300 კვ/მ <sup>3</sup> , აგრეთვე 7-ხვერდლიანი კერამიკული ქვების, მოსაპირკეთებელი ქვებისა და ნახვრეტებიანი აგურისაგან						
31 ნახვრეტით	1400	0,52	0,64	6,82	7,56	0,037
ნახვრეტებიანი აგურისაგან 105 ნახვრეტით	1300	0,46	0,52	6,19	6,57	0,0416
იგივე, ნახვრეტით	1300	0,52	0,58	6,57	6,98	0,0416
წილის აგურისაგან სიმკვრივით 1400 კვ/მ <sup>3</sup>	1500	0,64	0,7	7,81	8,14	0,029
წყობა მსუბუქ ხსნარზე სიმკვრივით 1400 კვ/მ <sup>3</sup> ჩვეულებრივი თინის გამომწვარი აგურისაგან	1700	0,64	0,76	8,32	9,01	0,033
წყობა ნებისმიერ ხსნარზე სილიკატური აგურისაგან	1900	0,76	0,87	9,54	10,29	0,029
ლი თ ო ნ ე ბ ი 0,48 კვ/კვ. გ რ ა ლ						
ფოლადი სამშენებლო	7850	58,15	58,15	126,07	126,07	—
თუჯის დეტალები	7200	50,01	50,01	112,11	112,11	—
ალუმინი	2600	220,97	20,97	141,3	141,3	—
ორგანული ბოჭკოვანი თბოსაიზოლაციო მასალები და ნაკეთობანი 1,67 კვ/კვ. გ რ ა ლ						
სოლომიტი და სტრამიტის ფილები	250	0,08	0,1	1,72	1,95	0,125
სამშენებლო ქეჩა	150	0,05	0,06	0,92	1,02	0,094



1	2	3	4	5	6	7
ქენძი	150	0,05	0,07	0,92	1,13	0,135
ტორფსაინჰოლაციო ფილები	250	0,06	0,075	1,34	1,51	0,052
პლასტმასები და ფორვანი პოლიმერები 1,47 კგ/კგ გრად						
შიპორა	20	0,05	0,05	0,31	0,31	0,156
ჭაფულასტიკატი	190	0,06	0,06	1,08	1,08	—
"	70	0,05	0,05	0,58	0,58	—
სტიროპორი	50	0,05	0,05	0,38	0,38	0,0166
სამშენებლო დუღაბები და შელესვა 0,84 კგ/კგ გრად						
ცემენტ-ქვიშის ხსნარი ან მისგან შელესვა რთული ხსნარი (ქვიშა, კირი, ცემენტი) ან მისგან შელესვა	1800	0,76	0,98	9,07	10,06	0,025
კირ ქვიშოვანი ხსნარი ან მისგან შელესვა	1700	0,7	0,87	8,47	9,48	0,027
კირ ქვიშოვანი ხსნარი ან მისგან შელესვა	1600	0,7	0,81	8,21	8,9	0,033
კირ-ქვიშოვანი ხსნარი შელესვა ყავარზე	1400	0,52	0,64	6,66	7,38	0,033
ცემენტ-წილის ხსნარი	1400	0,52	0,64	6,66	7,38	0,031
	1200	0,46	0,52	5,81	6,16	0,037
რულონური მასალები 1,47 კგ/კგ გრად						
ლინოლეუმი	1800	0,38	0,38	8,55	8,55	0,00041
	1600	0,33	0,33	7,44	7,44	
	1350	0,23	0,23	5,91	5,81	
	1100	0,19	0,19	4,65	4,65	
შუყაო	1000	0,21	0,23	4,71	4,94	
	700	0,15	0,17	3,35	3,6	
რელინი	1200	0,22	0,22	5,35	5,35	0,00041
რუბერილი, პერგამინი, ტოლი	600	0,17	0,17	3,31	3,31	

ექსპლუატაციის პირობები ლ-ისა და მ-ის ხანგარიშო მნიშვნელობების  
შესარჩევად

სათავეების ტენიანობის რეჟიმი	სათავეების ფარდობითი ტენიანობა ფ, %	ტენიანობის ზონის მიხედვით ექსპლუა- ციის პირობების ჯგუფი		
		მშრალი	ნორმალური	ტენიანი
მშრალი	57-ზე ნაკლები	A	A	B
ნორმალური	50-60	A	B	B
ტენიანი	62-75	B	B	B
სველი	75-ზე მეტი	B	B	B

გარე შაერის საანგარიშო პარამეტრები ხაბჭოთა კავშირის ზოგერთი პუნქტისათვის

1	პუნქტი			5	ქარის საშუალო სიჩქარე, მ/წმ		საშუალო ფარდობითი ტენიანობა, %		10	11
	2	3	4		6	7	საშუალო ფარდობითი ტენიანობა, %			
							8	9		
პუნქტი	კვილაზე ციფრის	ხუთღღუ-კვილაზე ციფრების	დღე-ღამე	გაბობის პერიოდის ხანგრძლივობა, დღ.-ღ.	ზამთარში (იანვარში)	ზაფხულში (ივლისში)	კვილაზე ციფრის	კვილაზე ციფრის	ბარომეტრული წნევა, კმ.მმ	ტენიანობის ზონე
აბაკანი	-42	-40		226	6,5	2,5	78	70	99,325	შშრალი
აქტიუბინსკი	-31	-37		203	7,4	0	84	46	99,325	შშრალი
აღმა-ათა	-27	-28	-8,0	166	1,9	0	74	45	93,325	შშრალი
არხანგელსკი	-32	-36	-12,5	251	5,9	4,0	86	75	101,325	შშრალი
ასტრახანი	-22	-26	-6,8	172	4,8	3,6	82	54	97,325	შშრალი
აშხაბადი	-11	-14	-1,4	111	2,8	2,4	76	32	97,325	შშრალი
ბაქო	-4	-6	3,8	119	8,4	4,0	78	58	101,325	შშრალი
ბარნაული	-39	-43	-17,7	219	5,9	0	79	70	99,325	შშრალი
ბლაგოვეშჩენსკი	-34	-37	-24,3	212	3,4	0	72	77	99,325	ნორმალ.
ბრატსკი	-43	-46	-23,6	246	3,4	0	78	72	97,325	შშრალი
ტრესტი	-20	-24	-4,4	186	5,2	3,3	86	71	99,325	ნორმალ.
გორკი	-30	-33	-12,0	218	5,1	0	85	70	99,325	ნორმალ.
გროზნო	-16	-23	-3,6	164	3,5	0	90	66	99,325	შშრალი
გურიევი	-24	-30	-0,1	182	7,8	5,2	85	48	101,325	შშრალი
დერბენტი	-9	-12	1,4	145	5,2	0	85	67	101,325	შშრალი
დნეპროპეტროვსკი	-24	-26	-5,4	175	5,5	0	89	60	99,325	შშრალი
დუშანბე	-14	-17	0,8	112	2,8	0	70	44	91,325	ნორმალ.
ევპატორია	-16	-20	-0,1	149	7,1	4,1	84	67	—	შშრალი
ერევანი	-19	-20	-4,0	114	2,5	0	78	44	91,325	შშრალი
ევროზიანსკი	-60	-63	-48,6	272	2,1	0	74	61	99,325	შშრალი
ვილნუსი	-23	-25	-5,5	194	5,5	0	86	72	99,325	ნორმალ.
ვინცა	-21	-26	-6,0	189	3,6	2,8	86	70	97,325	ნორმალ.
ვიტებსკი	-26	-31	-7,8	205	5,9	3,6	86	74	99,325	ნორმალ.
ვლადივოსტოკი	-25	-26	-14,4	201	9,0	4,7	64	92	99,325	ტენიანი
ვლადიმირი	-27	-33	-11,4	217	4,5	2,9	86	72	99,325	ნორმალ.
ვოლოგდა	-31	-35	-11,8	228	6,0	3,7	85	76	99,325	შშრალი
ვოლოგოგრადი	-22	-29	-9,2	182	—	—	85	47	99,325	ნორმალ.
ვორონეჟი	-26	-31	-9,9	196	5,4	3,3	85	64	99,325	შშრალი

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ზაპოროჟიე	-23	-25	-5,2	175	5,4	3,5	89	57	101,325	შშრალი
ივანოვო	-28	-33	-11,8	217	4,9	2,8	86	72	99,325	ნორმალ.
იკუტსკი	-38	-40	-20,9	241	2,8	0	80	74	95,325	შშრალი
კალინინგრადი	-18	-22	-3,4	195	—	—	86	80	—	ნორმალ.
კალუგა	-26	-31	-10,0	214	5,0	3,0	86	76	99,325	ნორმალ.
კაუნასი	-20	-24	-4,9	192	4,8	3,0	87	75	99,325	ნორმალ.
კეშეროვო	-39	-42	-19,2	232	6,8	0	82	73	99,325	შშრალი
კიევი	-21	-26	-5,9	187	4,3	0	86	66	99,325	ნორმალ.
კიროვობადი	-8	-9	1,1	131	4,2	4,0	76	53	—	შშრალი
კიშინიოვი	-15	-20	-3,5	166	4,2	—	82	62	99,325	შშრალი
კლიპედა	-18	-22	-3,4	194	10,5	5,3	85	80	—	ნორმალ.
კოჰნეტაევი	-35	-39	-16,2	214	9,5	0	79	64	97,325	შშრალი
კრასნოდარი	-19	-24	-1,8	152	3,6	2,7	85	64	101,325	შშრალი
კრასნოიარსკი	-40	-44	-17,1	236	6,2	0	72	71	97,325	შშრალი
კუიბიშევი	-27	-36	-13,8	206	5,4	3,2	85	62	99,325	შშრალი
კურსკი	-24	-29	-8,6	198	5,4	3,5	88	68	97,325	ნორმალ.
კუსტანიანი	-35	-40	-17,7	213	5,8	4,7	80	62	99,325	შშრალი
ლენინობადი	-13	-16	-0,9	180	6,8	0	77	30	95,325	შშრალი
ლენინკანი	-23	-26	-10,5	163	—	—	83	59	83,993	ნორმალ.
ლენინგრადი	-25	-28	-7,7	219	4,2	0	86	71	101,325	ტენიანი
ლგოვი	-19	-23	-3,9	183	6,4	0	84	74	97,325	ნორმალ.
მაგდანი	-35	-37	-21	278	6,6	0	70	80	—	ნორმალ.
მაგნიტოგორსკი	-34	-37	-16,9	218	8,1	0	80	65	97,325	შშრალი
შახანყალა	-14	-19	-0,4	151	7,0	4,9	84	62	101,325	შშრალი
მინსკი	-25	-30	-6,9	203	5,4	3,8	87	72	99,325	ნორმალ.
მოსკოვი	-25	-32	-9,4	205	4,9	3,4	84	63	99,325	ნორმალ.
ნაოჩიკი	-17	-21	-4,8	170	2,5	0	86	68	—	ნორმალ.
ნოვგოროდი	-27	-31	-8,6	220	6,6	3,8	86	71	101,325	ნორმალ.
ნოვოკუზნეცკი	-38	-41	-17,8	227	5,6	1,4	81	74	99,325	შშრალი
ნოვოროსიისკი	-13	-19	-2,6	134	6,7	2,9	77	64	101,325	ტენიანი
ნოვოსიბირსკი	-39	-42	-19,0	227	5,7	0	80	72	99,325	შშრალი
ოდესა	-18	-22	-3,0	168	0,5	3,9	86	80	101,325	შშრალი
ოიზიაკონი	-61	-63	-50	275	1,6	0	75	66	—	შშრალი
ომსკი	-37	-41	-19,2	220	5,1	3,6	82	67	93,325	ნორმალ.
ორჯონიკიძე	-17	-19	-5,0	175	3,0	0	84	76	93,325	ნორმალ.
ორიოლი	-25	-30	-9,2	207	6,5	3,8	87	69	99,325	ნორმალ.
ორენბურგი	-29	-30	-14,8	201	6,1	3,0	81	56	99,325	შშრალი
პავლოდარი	-37	-40	-17,9	209	6,7	4,2	83	60	99,325	შშრალი
პენზა	-27	-33	-12,1	206	5,6	0	86	66	99,325	შშრალი
პერმი	-34	-38	-15,1	226	3,8	—	82	68	99,325	ნორმალ.
კამნატკის პეტრო-პავლოვსკი	-20	-22	-9,4	274	7,6	0	67	82	—	ტენიანი
პეტროპავლოვსკი (ცაზახეთში)	-35	-40	-13,7	221	6,9	4,5	82	69	99,325	შშრალი

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
პოლტოვი	-22	-27	-6,9	187	6,2	4,4	87	63	99,325	შპრალი
პიეტროგრადი	-18	-21	-4,1	175	7,4	0	81	63	101,325	ნორმალ
ჟდინოვი	-23	-28	-5,2	177	6,1	3,6	87	62	101,325	შპრალი
რივა	-20	-25	-5,0	206	4,5	0	85	76	101,325	ნორმალ
როსტოვი (დონის)	-22	-27	-5,7	175	6,5	3,6	87	56	99,325	შპრალი
რიახანი	-27	-33	-11,1	2,2	7,3	4,1	85	68	99,325	ნორმალ
სამარყანდი	-13	-17	-0,3	132	2,7	0	74	42	91,325	შპრალი
სარატოვი	-25	-34	-11,9	198	6,0	3,7	85	54	99,325	შპრალი
სვერდლოვსკი	-31	-38	-15,3	228	5,0	0	79	69	97,325	შპრალი
სევასტოპოლი	-11	-14	2,7	137	6,4	2,3	—	—	101,325	შპრალი
სიმფეროპოლი	-16	-20	-1,0	158	6,0	2,8	86	62	97,32	შპრალი
სოკი	-3	-5	4,9	103	6,5	1,8	74	78	101,325	ტენიანი
სტავროპოლი	-18	-23	3,7	169	7,4	0	82	59	—	ნორმალ
ტალინი	-21	-25	-4,7	221	7,7	4,9	86	80	99,325	ტენიანი
ტამბოვი	-27	-32	-10,8	202	4,7	2,8	85	65	99,325	ნორმალ
ტარტუ	-23	-29	-6,5	214	6,6	4,6	87	75	99,325	ტენიანი
ტაშკენტი	-15	-18	-0,9	130	1,7	1,2	73	40	95,325	შპრალი
ტუაფსე	-7	-9	4	113	9,7	3,3	72	74	—	ტენიანი
ტულა	-28	-31	-10,1	207	4,9	3,4	84	70	99,325	ნორმალ
ტიუმენი	-35	-41	-16,6	220	3,9	2,7	81	74	99,325	შპრალი
უჟგოროდი	-18	-22	-3,0	153	3,6	0	81	68	99,325	ნორმალ
ულან-უდე	-38	-42	-25,4	235	2,8	0	75	65	93,325	შპრალი
ულიანოვსკი	-31	-36	-13,8	213	—	—	82	66	99,325	შპრალი
ურალსკი	-30	-33	-14,2	109	6,8	0	84	54	101,325	შპრალი
უფა	-29	-36	-14,1	211	—	—	82	71	99,325	შპრალი
ფეოდოსია	-15	-19	-0,6	144	6,0	0	82	58	101,325	ტენიანი
ფერგანა	-15	-16	-3,2	134	2,0	0	82	45	93,325	შპრალი
ფრუნზე	-23	-27	-5,6	157	2,4	0	71	44	93,325	შპრალი
ქერჩი	-15	-19	-0,6	153	7,5	4,1	86	68	101,325	შპრალი
ყაზანი	-30	-35	-13,5	218	5,7	3,6	84	68	99,325	ნორმალ
ყირგანდი	-32	-35	-15,1	212	7,7	0	80	55	95,325	შპრალი
ჩელიაბინსკი	-29	-35	-15,5	216	4,5	3,2	80	69	99,325	შპრალი
ჩერნიგოვი	-22	-27	-6,7	191	4,2	3,5	87	68	99,325	ნორმალ
ჩიმკენტი	-17	-22	-3,0	147	2,8	2,8	76	34	—	შპრალი
ჩიტა	-38	-41	-26,6	240	3,9	0	75	68	93,325	შპრალი
ხაბაროვსკი	-32	-34	-22,3	205	5,9	0	75	78	99,325	ნორმალ
ხარკოვი	-23	-28	-7,3	189	5,0	0	86	62	99,325	შპრალი
ხერსონი	-18	-22	-3,2	167	6,2	0	88	59	101,325	შპრალი



გარე შიგნითი ხაზგარიშო პარამეტრები საქართველოს სსრ  
ზოგიერთი დახახლებული პუნქტისათვის

პუნქტი	პირის საშუალო ტემპერატურა t, გრად			გაბობის პერიოდის ხანგრძლივობა, დღ.-დ	ქარის საშუალო სიჩქარე v, მ/წმ		საშუალო ფარდობითი ტენიანობა φ, % 13 საათისათვის
	ყველაზე ცივი ხუთ-დღიურის	ყველაზე ცივი დღე-ღამეების	ყველაზე ცივი თვის		ზამთარში (იანვარში)	ზაფხულში (ვლისში)	
ახალქალაქი	-16	-22	-7,3	232	6,7	0	76
ახალციხე	-13	-17	-3,8	183	2,6	0	75
ბორჯომი	-11	-14	-2,1	189	3,1	0	78
ბათუმი	-1	-2	6,5	115	—	—	67
გაგრა	-2	-4	6,2	124	—	—	69
გორი	-12	-15	-1,2	167	4,5	0	82
ვუდაჭრი	-16	-20	-7,7	292	2,6	0	72
ვურჯანი	-8	-11	0,9	152	2,1	1,7	71
დმანისი	-12	-14	-2,7	202	4,2	0	68
დუშეთი	-9	-12	-1,4	181	5,3	0	72
ზუგდიდი	-3	-6	4,9	132	3,1	0	74
თბილისი	-7	-10	0,9	152	3,9	0	73
მახარაძე	-4	-6	4,3	135	—	—	—
ნაფარეული	-8	-10	0,5	153	—	—	79
ონი	-10	-13	-1,0	176	2,4	0	78
სოხუმი	-3	-5	5,2	122	—	—	66
სამტრედიო	-3	-5	4,7	121	5,1	0	76
თელ ვი	-8	-11	0,5	158	3,8	0	71
თიანეთი	-14	-18	-4,7	200	6,5	0	81
ჭუთაისი	-3	-4	5,2	121	8,0	0	68
ხაიში	-9	-12	-0,1	172	4,4	0	81
ხულა	-9	-11	0,9	168	—	—	69
კიათურა	-6	-9	2,4	144	—	—	—
ტყვარჩელი	-1	-9	2,1	163	—	—	—
შოვი	-15	-19	-5,6	235	2,7	0	80
ფოთი	-3	-5	5,7	120	5,6	0	72

წულის ორთქლის მაქსიმალური პარციალური წნევების  $E$ , ნ/მ<sup>2</sup> მნიშვნელობები სხვადასხვა ტემპერატურებზე,  
როდესაც  $P_{\text{საზრ}} = 100,66 \text{ კნ/მ}^2$  დანართი 4

ტემპერატურები 0-დან 40°C-მდე		ტემპერატურები 0-დან 40°C-მდე										
1	2	3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0	610,61	0	610,61	614,61	619,94	623,94	629,27	633,27	638,6	642,6	647,93	651,93
-1	582,61	1	657,27	661,27	666,6	670,60	675,93	681,27	685,26	690,59	695,93	701,26
-2	517,28	2	705,28	710,60	715,93	721,26	721,26	731,93	737,26	742,59	747,92	753,25
-3	475,95	3	758,59	763,91	769,26	774,59	774,59	785,25	790,59	795,92	802,58	807,91
-4	450,62	4	813,25	818,58	825,25	830,58	835,92	842,58	847,92	854,58	859,91	866,58
-5	401,29	5	871,91	877,59	885,24	890,58	897,24	903,91	909,24	915,90	922,57	929,24
-6	337,30	6	934,57	941,24	947,91	954,57	961,24	967,90	974,57	981,23	987,90	994,56
-7	321,30	7	1001,23	1009,23	1015,90	1022,56	1029,23	1037,23	1043,90	1050,56	1058,56	1065,22
-8	309,30	8	1073,23	1079,89	1087,90	1094,56	1102,56	1109,22	1117,22	1125,23	1131,58	1139,88
-9	283,97	9	1147,88	1155,88	1163,88	1171,88	1179,88	1187,88	1195,88	1203,87	1211,97	1219,87
-10	259,97	10	1227,88	1235,88	1243,88	1253,21	1261,21	1269,21	1278,54	1286,58	1294,53	1303,86
-11	297,31	11	1311,87	1321,20	1330,53	1338,53	1347,87	1357,20	1365,20	1374,52	1383,86	1393,19
-12	217,31	12	1402,53	1411,86	1421,19	1430,52	1439,86	1449,19	1458,52	1467,85	1478,51	1487,85
-13	198,95	13	1497,18	1507,18	1517,18	1526,51	1537,18	1546,51	1557,18	1567,84	1577,17	1587,84
-14	181,32	14	1598,51	1609,17	1618,50	1629,17	1639,84	1650,50	1661,17	1671,81	1682,49	1694,49
-15	165,32	15	1705,16	1715,81	1726,49	1738,49	1749,16	1761,16	1771,82	1783,82	1794,48	1806,48
-16	150,65	16	1817,15	1829,15	1841,15	1853,15	1865,15	1877,15	1889,14	1901,14	1939,14	1925,14
-17	137,32	17	1937,14	1949,14	1962,47	1974,47	1986,47	1999,8	2011,80	2025,13	2037,12	2050,46
-18	125,92	18	2063,79	2077,13	2089,12	2112,46	2115,79	2129,12	2142,45	2155,78	2169,11	2182,44

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
-19	113,82	19	2197,11	2210,45	2225,11	2238,44	2251,77	2266,44	2281,11	2294,43	2309,10	2323,76
-20	102,66	20	2338,43	2351,76	2366,43	2381,10	2395,76	2411,76	2426,42	2441,08	2455,75	2471,75
-21	93,32	21	2486,42	2502,42	2517,08	2533,08	2547,75	2563,74	2579,74	2595,74	2611,77	2627,73
-22	85,82	22	2643,74	2659,73	2675,73	2691,73	2709,06	2725,06	2742,99	2758,39	2775,72	2791,72
-23	77,33	23	2809,05	2826,33	2842,88	2859,71	2877,05	2894,88	2913,74	2930,37	2947,70	2965,03
-24	69,33	24	2983,7	3001,03	3019,70	3038,36	3055,69	3074,36	3093,02	3111,68	3130,35	3149,01
-25	62,66	25	3167,68	3186,35	3205,01	3223,68	3243,68	3262,34	3282,34	3301,00	3321,06	3340,99
-26	55,99	26	3361,00	3380,00	3400,99	3420,99	3440,99	3460,99	3482,52	3502,32	3522,65	3543,15
-27	50,66	27	3564,98	3586,31	3607,64	3627,64	3648,97	3671,63	3692,56	3714,90	3735,63	3758,29
-28	45,32	28	3779,62	3800,95	3823,62	3846,25	3868,95	3890,28	3912,94	3936,94	3959,60	3982,27
-29	41,32	29	4004,03	4028,93	4051,59	4075,59	4099,59	4022,25	4146,25	4170,25	4194,25	4218,24
-30	37,52	30	4242,24	4267,57	4291,57	4316,90	4340,90	4366,23	4390,23	4415,56	4440,89	4466,22
-31	33,33	31	4492,88	4518,21	4543,55	4570,21	4595,54	4622,20	4647,54	4674,20	4700,86	4727,53
-32	29,33	32	4754,19	4782,19	4808,85	4835,52	4863,51	4890,18	4918,17	4946,17	4974,17	5002,17
-33	26,66	33	5030,16	5058,16	5087,49	5115,49	5143,49	5172,82	5205,15	5231,48	5260,81	5290,14
-34	23,99	34	5313,47	5348,80	5378,13	5408,79	5439,46	5463,79	5499,45	5530,11	5560,78	5591,44
-35	21,33	35	5623,44	5654,1	5684,76	5716,76	5748,76	5780,76	5812,75	5844,75	5876,75	5908,74
-36	19,99	36	5940,74	5974,07	6006,07	6039,40	6072,73	6106,06	6139,39	6172,72	6207,98	6240,71
-37	15,99	37	6275,37	6308,70	6343,37	6378,03	6412,70	6447,36	6483,35	6518,01	6554,01	6589,67
-38	15,99	38	6224,71	6660,67	6696,66	6733,99	6768,66	6805,99	6801,98	6879,31	6919,31	6967,30
-39	13,33	39	6991,30	7029,96	7067,29	7104,62	7129,96	7151,95	7219,28	7259,27	7297,94	7336,60
-40	11,99	40	7375,25	7413,93	7453,92	7493,91	7533,91	7573,91	7613,91	7653,90	7695,23	7736,56



შემომზღული კონსტრუქციების ელემენტებისა და მასალების ჰაერშედწევადობათა წინაღობათა ხანგარიშო მნიშვნელობები

შემომზღული კონსტრუქციების მასალები, კონსტრუქციული ელემენტები (ან შრეები)	შრის სისქე, მმ	R <sub>კვრ</sub> , კნ. წმ/მ <sup>3</sup>
1	2	3
ბეტონი (მთლიანი, ნაკერების გარეშე)	100	70600
შპალერი ქალაქის	—	70,6
ნეიაროვანი კირქვა	500	21,18
კედლის მოპირკეთება კერამიკული ფილებით ან მცირე ზომის ბლოკებით	250-ზე ნაკლები	7,6
მუყაო, სამშენებლო (ნაკერების გარეშე)	1,3	229,45
აგურის მთლიანი კედელი მძიმე დუღაბზე სისქით 1 აგურზე მეტი	250-ზე ნაკლები	63,54
იგივე, სისქით 1 აგური და ნაკლები	250-ზე ნაკლები	7,06
აგურის მთლიანი კედელი მსუბუქ დუღაბზე სისქით 1 აგურზე მეტი	250-ზე მეტი	7,06
იგივე, სისქით 1 აგური და ნაკლები	250 და ნაკლები	0
კედელი, ღრუტანიანი კერამიკული ქვებისაგან მძიმე დუღაბზე, სისქით 1—1/2 ქვა	—	31,77
კედელი, წიდაბეტონის ქვებისაგან მძიმე დუღაბზე	400	45,89
იგივე, მსუბუქ დუღაბზე	400	3,53
შეფიცვრა ჩამოკრილი ფიცრებისაგან კირდაბირი შეერთების დროს	20—25	0,35
იგივე	20—25	5,29
ორმაგი შეფიცვრა, როდესაც ფიცრებს შორის მოთავსებულია სამშენებლო ქალაქი	50	35,3
შეფიცვრა ფიბროლიტისაგან, ხისბოჭკოვან უცემენტო მსუბუქი ფილებისა და ტორფის ფილებისაგან ნაკერების ამოგმანვით	15—70	8,82
იგივე, ნაკერების ამოგმანვის გარეშე	15—70	1,76
შეფიცვრა ხისბოჭკოვანი ხისტი ფურცლებისაგან (ნაკერების ამოვსებით)	10	120,02
შეფიცვრა თაბაშირის მოსაპირკეთებელ ფურცლებსაგან (მშრალი შელესვა ნაკერების ამოვსებით)	10	70,6
აირსილიკატი, მთლიანი (ნაკერების გარეშე)	140	74,13
ჭაფბეტონი, ავტოკლავური (ნაკერების გარეშე ან პათი ხსნარით ფაქიზად შევსების დროს)	100	7060
იგივე, არაავტოკლავური	100	706



დანართი 5, გაგრძელება

1	2	3
ქაფთაბაშირი	100	141,2
ქაფმინა, მთლიანი (ნაკერების გარეშე)	12	პაერშეულ- წიბ-
მინერალური ბამბის ხისტი ფილები	50	7,06
რუბეროიდი	1,5	პაერშეულ- წიბ-
თიხის მოპოხვა, ფაქიზად შესრულებული	5-7	24,71
კედელი ძელებისაგან ან მორებისაგან (პირაპირების ფაქიზად ამოგმანვის დროს)	—	141,20
სტრიპორი	50-100	282,40
ტოლი	1,5	1765
ფანერი დაწებებული (ნაკერების გარეშე)	3-4	590
წიდაბეტონი მთლიანი ნაკერების გარეშე	100	49,42
ქვის ან აგურის წყობის ცემენტით შელესვა	15	1341,40
იმავე კირით შელესვის დროს	15	511,85
კირ-თაბაშირით შელესვა ყავარზე	20	60,01

დანართი 6

შემიწული ზედაპირების საკირო თერმული წინაღობება

№ რიგ.	შენიშვნა და ნაგებობის დასახელება	$t_{\text{в}} - t_{\text{г}}$ , °C	$R_0^{\text{საშ}}$ , მ². გრად/ვტ	
			ფანჯრები და აივნის კარებები	შუქფან-რები
1	2	3	4	5
1	საავადმყოფოები, პოლიკლინიკები, საბავშვო ბავშვობები, საცხოვრებელი შენობები და სკოლები	25-ზე ნაკლები	0,17	0,344
		25-47	0,344	0,344
		48-55	0,38	0,344
		56 და მეტი	0,516	0,516
2	საზოგადოებრივი შენობები (გარდა 1 პუნქტში ჩამოთვლილისა)	30-ზე ნაკლები	0,17	0,344
		31-49	0,30	0,344
		50-65	0,344	0,344
		66 და მეტი	0,48	0,344
3	საწარმოო გამთბარი სათავსები მშრალი — (50%) და ნორმალური (50-60%) ტენიანობის რეჟიმებით	35-ზე ნაკლები	0,155, როდესაც სამუშაო ადგილები დაშორებულია ფახჯრიდან 3 მ მანძილზე	

1	2	3	4	5
		5-49	0,3, როდესაც სამუშაო ადგილები მოთავსებულია ფანჯრიდან 3 მ მანძილზე	0,155
			0,31 — იატაკიდან 2,4 მ სიმაღლემდე	0,155
			0,155 — იატაკიდან 2,4 მ მაღლა	0,155
		50 და მეტი	0,31 — იატაკიდან 2,4 მ ზიმილზე	0,26
			0,155 — იატაკიდან 2,4 მ-ზე მაღლა	
4	საწარმოო გამთბარ სათავსები ტენიანი (60-75%) და სველი (75%) რეჟიმებით	30 წაკლები 31 და მეტი	0,185 0,31	0,185 0,26
5	საწარმოო სათავსები უარბი აშკარა სითბოთი 23,3 გტ/მ <sup>2</sup>	ნებისმიერი	0,155	0,155

შემიწეული ზედამირების თერმულ წინაღობათა სიდიდეები

შემიწევის სახე	მინათა შორის მანძილი, მმ	$R_{sp}$ მ <sup>2</sup> . გრად/მტ
ერთმაგი ალათები (ერთმაგი შენიშვნა)	—	0,17
ორმაგი შეწყვილებული ალათები (ორმაგი შენიშვნა)	50—55	0,344
ორმაგი განცალკევებული ალათები (ორმაგი შენიშვნა)	100—110	0,58
სამმაგი ალათები (ერთმაგი შეწყვილებული, სამმაგი შენიშვნა)	160	0,526
ვერტიკალური შენიშვნა მინის დრუტანიანი ბლოკებით	—	0,43

შენიშვნა:  $R_{sp}$ -ის მნიშვნელობები მოცემულია ზის ალათებისათვის, ლითონის ალათების შემთხვევაში ცხრილის მონაცემები საჭიროა შემცირდეს 10%-ით.



ჰაერის შრეთა თერმული წინაღობები

$R_{ჰ.შრ.}$  მ<sup>2</sup>. გრად/ვატი

შრის სისქე, მმ

ჰორიზონტალური შრეებისათვის, როდესაც თბური ნაკადი მიმართულია ქვემოდან ზემოთ და ვერტიკალური შრეებისათვის

ჰორიზონტალური შრეებისათვის, როდესაც თბური ნაკადი მიმართულია ზემოდან ქვემოთ

ზაფხულში

ზამთარში

ზაფხულში

ზამთარში

10	0,13	0,15	0,13	0,16
20	0,14	0,16	0,16	0,19
30	0,14	0,16	0,16	0,21
50	0,14	0,17	0,17	0,22
100	0,15	0,18	0,18	0,23
150	0,16	0,18	0,19	0,24
200—300	0,16	0,19	0,19	0,24



შ ი ნ ა ა რ ს ი

თავი I. სათავსის თბური რეჟიმი	3
§ I—1. თბოგადაცემის ძირითადი ცნებები	4
§ I—2. სათავსში სითბოს კონვექციური გავრცელება	5
§ I—3. შემომზლულ კონსტრუქციაზე დაფენილი ბრტყელი ჰავლის მოძრაობის რეჟიმი და კონვექციური თბოგაცემა	14
§ I—4. შემომზლულ კონსტრუქციებთან ჰაერის ცივი ნაკადების ლოკალიზაცია თბური ჰავლის მეშვეობით	24
§ I—5. ზედაპირების მიერ თბური გამოსხივების თვისებები	26
§ I—6. სხივური სითბოს ურთიერთგადაცემა სათავსის ზედაპირებს შორის	30
§ I—7. სათავსის ტემპერატურული კომფორტის პირობები	39
§ I—8. სითბოს გაცემა შემომზლული კონსტრუქციის მიერ	47
თავი II. შემომზლული კონსტრუქციების თბოგამტარობა	51
§ II—1. თბოგამტარობის განტოლება	51
§ II—2. სამშენებლო მასალების თბოფიზიკური მახასიათებლები	56
§ II—3. თბოგადაცემა ჰაერის შემოსაზღვრულ სივრცეში	59
თავი III. თბოგადაცემა შემომზლული კონსტრუქციებით	64
§ III—1. თანამეტროვე შემომზლული კონსტრუქციების ერთგანზომილებიანი ტემპერატურული ველი	65
§ III—2. ორგანზომილებიანი ტემპერატურული ველი	70
§ III—3. ელექტროთბური ანალოგიის მეთოდი	77
§ III—4. თბოგადაცემა შემომზლულ კონსტრუქციებში თბოგამტარი ჩანართების დროს	80
§ III—5. თბოგადაცემა შემომზლული კონსტრუქციების გარე კუთხეებსა და პირაპირებში	85
§ III—6. რთული შემომზლული კონსტრუქციის დაყვანილი წინაღობა	89
თავი IV. არასტაციონარული თბოგადაცემა შემომზლული კონსტრუქციებით	91
§ IV—1. სასრულ სხვაობათა მეთოდი	92
§ IV—2. ჰიდრაულიკური ანალოგიის მეთოდი	101
თავი V. შემომზლული კონსტრუქციისა და სათავსის თბომდგრადობა	105
§ V—1. შემომზლულ კონსტრუქციაში ტემპერატურული ცვლილების ჩაქრობის ამოცანის ანალიზური ამოხსნა	105



§ V—2. შემომზღული კონსტრუქციის თბომდგრადობის საინჟინრო გაანგარიშების მეთოდი	115
<b>გი VI. შემომზღული კონსტრუქციების ტენიანობის რეჟიმი</b>	<b>123</b>
§ VI—1. ტენი შემომზღულ კონსტრუქციაში. სათავის ჰაერის ტენიანობა	123
§ VI—2. საშენებლო მასალასთან ტენის კავშირის სახეები	125
§ VI—3. სორბცია და დესორბცია	127
§ VI—4. წყლის ორთქლის გადაადგილება შემომზღულ კონსტრუქციაში	127
§ VI—5. შემომზღული კონსტრუქციის ტენიანობის რეჟიმი წყლის ორთქლას სტაციონარული დიფუზიის დროს	123
§ VI—6. ტენიანობის რეჟიმის გაანგარიშება წყლის ორთქლის არასტაციონარული დიფუზიის დროს	133
§ VI—7. შემომზღულ კონსტრუქციაში ტენის გადაადგილება თხევად მდგომარეობაში. ტენგამტარობა	140
§ VI—8. შემომზღულ კონსტრუქციაში წყლის ორთქლისა და ტენის თხევად მდგომარეობაში ერთდროული გადაადგილება. ტენის პოტენციალის ცნება	142
<b>გი VII. ჰაერშელწვევადობა და სათავის თბური რეჟიმი</b>	<b>149</b>
§ VII—1. შემომზღული კონსტრუქციის ჰაერშელწვევადობა	152
§ VII—2. შემომზღული კონსტრუქციის თბოგადაცემა ჰაერშელწვევადობის დროს	154
§ VII—3. შემომზღული კონსტრუქციის თბოგადაცემა ჰაერშელწვევადი პირების ზონაში	154
§ VII—4. ფანჯრის თბოგადაცემა ჰაერშელწვევადობის დროს	162
§ VII—5. სითბოს დამატებითი ხარჯი სათავსში შემომზღული კონსტრუქციების ჰაერშელწვევადობის დროს	164
§ VII—6. შენობის საჰაერო რეჟიმის გათვალისწინება გათბობა-ვენტილაციის სისტემების ძირითადი სქემების შერჩევის დროს	165
საკურსო სამუშაო	163
დანართები	190



СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕПЛОФИЗИКА

(на грузинском языке)

რეცენზენტები:

ტექნიკურ მეცნიერებათა კანდიდატი,  
დოცენტი რ. ხუნწარია  
„საქმუნსახპროექტის“ სპეცსამუშაოთა განყოფილების  
უფროსი ნ. უნგიაძე

ნაშრომი რეკომენდებულია ვ. ი. ლენინის სახელობის საქართველოს პოლიტექნიკური ინსტიტუტის პიდროტექნიკისა და სანტექნიკის ფაკულტეტის სამეცნიერო საბჭოს მიერ

ИБ № 746

რედაქტორი გ. დარჩია  
გამომც. რედაქტორი ე. გძეღიძე  
მხატვრული რედაქტორი ო. მესხი  
ტექრედაქტორი გ. ბრეჯუჩაია  
უფრ. კორექტორი მ. კეზულაძე  
კორექტორი ლ. გოგეშვილი  
გამომწვები ლ. გაბარაშვილი

გადაეცა წარმოებას 19/XII-78 წ. ხელმოწერილია დასაბეჭდად  
17/XII-79 წ. საბეჭდი ქაღალდი № 3. ქაღალდის ზომა 60X90 1/16.  
ნაბეჭდი, თაბახი 13. სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი 12,03.

უე 00512

ტირაჟი 2000

შეკვეთა № 1001

ფასი 60 კპპ.

გამომცემლობა „განათლება“, თბილისი, მარჯანიშვილის ქ., 5.  
Издательство «Ганатлеба», Тбилиси, ул. Марджанишвили, 5.

1979

ՀԱՅԿԵՐԱՆ 60 ՀԵՏ

