

სითბური ფაქტორის მიხედვით თბილისის მეტროს სავენტილაციო ჰაერის გაანგარიშებისათვის

ტექნ. მეცნ. დოქტორი, პროფ. ო. ლანჩავა, აკად. დოქტორი გ. ნოზაძე, აკად. დოქტორი ნ. არუდაშვილი, დოქტორანტი ზ. ხოკერაშვილი

ნაშრომში დადგენილია, რომ ნეიტრალური შრის ზემოთ განლაგებული ნაგებობებისათვის სამთო მასივის გეოტემპერატურულ ველს აქვს არასტაციონარული ხასიათი, რადგან განიცდის მზის რადიაციის გავლენას, ხოლო ჰიფსომეტრულად უფრო ღრმა ჰორიზონტებზე აღნიშნული ველები სტაციონარულია და ტემპერატურის სიდიდე მთლიანად განპირობებულია მიწისქვეშ მიმდინარე პროცესებით. აღნიშნული ველების დადგენა აუცილებელია ვენტილაციის თბოფიზიკური გაანგარიშებისა და მეტროს მიწისქვეშა ნაგებობებისათვის საჭირო სავენტილაციო ჰაერის ხარჯის დაზუსტებისათვის სითბური ფაქტორის მიხედვით. ნაშრომში მოცემულია ფორმულები, ცხრილები და გრაფიკები, რომელთა მეშვეობითაც შესაძლებელია სამთო მასივის გეოტემპერატურული ველების სარწმუნო განსაზღვრა.

საკვანძო სიტყვები: მეტროს ვენტილაცია, ჰაერცვლის ჯერადობა, თბოფიზიკური გაანგარიშება, სითბოსა და ტენის გაცვლის არასტაციონარული პროცესები.

მეტროს სავენტილაციო სისტემაში ჰაერის ხარჯის გაანგარიშება ხდება მიწისქვეშა ნაგებობების შემდეგი ძირითადი მაჩვენებლების მიხედვით: მგზავრების რიცხვი; მიწისქვეშ გამოყოფილი მავნე აირები, სითბო და ტენი; ჰაერცვლის ჯერადობა. საბოლოოდ აიღება რომელიმე ფაქტორის მიხედვით განსაზღვრული ჰაერის ის ხარჯი, რომელიც ყველაზე მეტი გამოვა.

სავენტილაციო პარამეტრების დადგენისა და სავენტილატორო დანადგარების შერჩევის მიზნით აღნიშნული გაანგარიშება პრაქტიკულად შემდეგნაირად ხორციელდება: ანგარიშობენ ჰაერის ხარჯს მგზავრების რაოდენობის მიხედვით – “პიკის საათის” პირობებში 1 ადამიანზე უნდა მოდიოდეს მინიმუმ 50 მ³/სთ ჰაერი. როგორც წესი, ჰაერის აღნიშნული რაოდენობა უზრუნველყოფს მგზავრების სუნთქვისა და სხეულიდან აორთქლების შედეგად მიწისქვეშა სივრცეში გამოყოფილი ტენის ასიმილაციას და ამ უკანასკნელი მაჩვენებლის მიხედვით, ჰაერის ხარჯის



გაკონტროლება, პრაქტიკულად საჭირო აღარ ხდება. ამის შემდეგ ანგარიშობენ სამთო მასივიდან გამოყოფილი მავნე აირების უსაფრთხო კონცენტრაციამდე დასაყვანი ჰაერის ხარჯს და შემდეგი გაანგარიშებისათვის ძალაში ტოვებენ მაქსიმალურ სიდიდეს.

აღნიშნული ფაქტორების მიხედვით დადგენილი ჰაერის მაქსიმალური ხარჯი აიღება საბაზოდ და მოწმდება ჰაერცვლის ჯერადობის მაჩვენებლის მიხედვით შემდეგი ფორმულით

$$k = \frac{L}{V}, \quad (1)$$

სადაც k არის ჰაერცვლის ჯერადობის მაჩვენებელი, სთ⁻¹; L - ჰაერის მოცულობითი საათური ხარჯი (მაქსიმალური საბაზო), მ³/სთ; V - მეტროს მიწისქვეშა ნაგებობების ჯამური მოცულობა, მ³.

იმ შემთხვევაში, თუ ჰაერცვლის ჯერადობა $k \geq 3$, მაშინ ძალაში ტოვებენ ანგარიშით მიღებულ ჰაერის ხარჯს, ხოლო თუ $k < 3$, მაშინ ჰაერის ხარჯის გადაანგარიშება ხდება პირობიდან $k = 3$, საბოლოოდ აიღება ამ გზით მიღებული სიდიდე და სავენტილატორო დანადგარებიც შესაბამისად შეირჩევა.

შედარებით რთულია გამოყოფილი სითბოს განეიტრალებისათვის საჭირო ჰაერის რაოდენობის დადგენა, რადგან მიწისქვეშ მიმდინარეობს თბოგადაცემის რთული არასტაციონარული პროცესი, რაც შედეგია სამთო მასივსა და სავენტილაციო ნაკადს შორის ენერჯის მიმოცვლისა. წინამდებარე ნაშრომი მიძღვნილია ამოსავალი სიდიდეების - სამთო მასივის ბუნებრივი ტემპერატურის განსაზღვრისადმი დედამიწის ზედაპირიდან ნებისმიერ სიღრმეზე განლაგებული სადგურების, გადასარბენებისა და სხვა მიწისქვეშა ნაგებობებისათვის. გამარტივებული სახით ამ შემთხვევაში გვირავი შესაძლებელია წარმოდგენილი იქნეს წრიული ფორმის გავრცობილი ღრუ ცილინდის სახით, რომელშიც მოძრაობს ჰაერი და თბომომოცვლას ახდენს გარშემომცველ უსასრულო სამთო მასივთან.

თბოფიზიკური გაანგარიშების სირთულეს აგრეთვე განაპირობებს სითბოს გამოყოფის მრავალი წყარო - მატარებლები, მგზავრები, ესკალატორები, ტრანსფორმატორები, დენის გამმართველი, გამანაწილებელი და მიმწოდებელი მოწყობილობები, მათი თბოფიზიკური გაანგარიშების მრავალფეროვნება, აგრეთვე

სამთო მასივზე სითბოს გადაცემის პროცესის რთულად შეფასების საკითხი გამაგრების შრეებისა და მათი თბოფიზიკური თ მახასიათებლების გავლენის მხედველობაში მიღების საჭიროების გამო.

აღსანიშნავია, რომ თანამედროვე პირობებში თბილისის მეტროში მოძრაობის სიხშირე არის მაღალი, დამახასიათებელია ინტენსიური მოძრაობა, ხოლო ანალოგიურ პირობებში აუცილებელია მეტროს გვირაბების ვენტილაციის თბოფიზიკური გაანგარიშება. “მოძრაობის პირობითი ინტენსიურობა” განისაზღვრება ფორმულით

$$n = n_1 n_2 \geq 120, \quad (2)$$

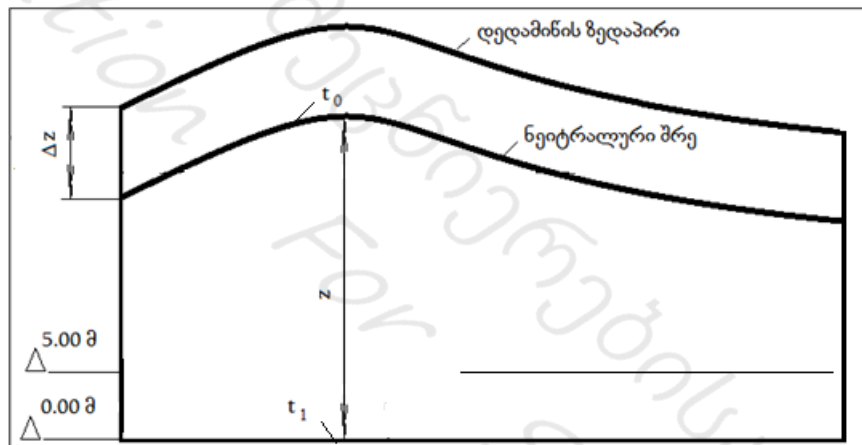
სადაც n არის “მოძრაობის პირობითი ინტენსიურობა”; n_1 - მგზავრების რიცხვი ერთ ვაგონში; n_2 - ვაგონების რიცხვი შემადგენლობაში.

როგორც ფორმულიდან ჩანს, მოძრაობის პირობითი ინტენსიურობის კრიტიკული მაჩვენებელი “120”, შესაძლებელია გვექნეს 3-ვაგონიანი მატარებლების შემთხვევაშიც, თუმცა მიღებულია, რომ შემადგენლობაში უნდა იყოს 5 ვაგონი და მოძრაობის სიხშირე “პიკის საათში” ორივე მიმართულებით უნდა იყოს მინიმუმ 24 წყვილი მატარებელი [1]. ასეთ პირობებში აუცილებელია ჰაერის ხარჯის თბოფიზიკური გაანგარიშებით დადგენა.

თბოფიზიკური გაანგარიშების მართებული შესრულებისათვის აუცილებელია ხელთ გვექონდეს სარწმუნო მონაცემები: გრუნტში მიმდინარე გეოთერმული პროცესების შესახებ, ქანების თბოფიზიკური მახასიათებლების შესახებ და ვიცოდეთ აგრეთვე თბოგაცემის ხასიათი ორკომპონენტური თერმოდინამიკური სისტემის “სამთო მასივი – სავენტილაციო ჰაერი” გამყოფ ზედაპირზე [2-5].

როგორც აღნიშნა, თბოგადაცემის პროცესები მიწისქვეშა ნაგებობებში ყოველთვის არასტაციონარულია, რომლისგანაც უნდა გავმიჯნოთ სამთო მასივის გეოტემპერატურული ველის მდგომარეობა, რომელსაც შესაძლებელია ექნეს როგორც სტაციონარული, ისე არასტაციონარული ხასიათი. გეოტემპერატურული ველი სტაციონარულია შედარებით დიდ სიღრმეზე, “ნეიტრალური შრის” ქვემოთ განლაგებული სადგურებისა და გადასარბენების შემთხვევაში, როცა გარშემომცველი სამთო მასივის ტემპერატურა აღარ არის დამოკიდებული მზის რადიაციაზე და განპირობებულია წიაღში მიმდინარე პროცესებით (ნახ. 1), რომლებიც სეზონური ცვალებადობით არ ხასიათდებიან.

ასეთ შემთხვევაში სამთო მასივის ბუნებრივი ტემპერატურის განსაზღვრა პირველი მიახლოებით შესაძლებელია გეოთერმული გრადიენტისა და ნეიტრალური შრის მახასიათებელი სიდიდეების მეშვეობით. ნეიტრალური შრე არის ის წარმოსახვითი შრე სამთო მასივში, რომლის ფარგლებშიც ტემპერატურა წლის განმავლობაში არ იცვლება. ნეიტრალური შრის ზემოთ განლაგებულ გრუნტში ტემპერატურა იცვლება მზის რადიაციაზე დამოკიდებულებით და განიცდის როგორც სეზონურ, ასევე დღე-ღამურ ცვალებადობას. ნეიტრალური შრის ქვემოთ განლაგებულ სამთო მასივში ტემპერატურა სიღრმის ზრდით განუხრელად მატულობს, რასაც დედამიწის სიღრმეში მიმდინარე გეოლოგიური პროცესები განაპირობებს. ნეიტრალური შრე ხასიათდება მისი ტემპერატურით და ზედაპირიდან განლაგების სიღრმით.



ნახ. 1. სამთო მასივის ბუნებრივი ტემპერატურის განსაზღვრის ილუსტრაცია სტაციონარული გეოტემპერატურული ველის პირობებში:

Δz - ნეიტრალური შრის დაშორება დედამიწის ზედაპირიდან (იგი იმეორებს დედამიწის რელიეფის ფორმას), მ; t_0 - ნეიტრალური შრის ტემპერატურა, °C; t_1 - გაუცივებელი ქანების ტემპერატურა გვირაბის გარშემომცველ სამთო მასივში, °C; 0.00, 5.00 – გვირაბის საგები გვერდისა და ჭერის პირობითი ნიშნული, მ

ნეიტრალური შრის ტემპერატურა თბილისის რაიონების მიხედვით გაანგარიშდა და მოცემულია ცხრილში N1, ხოლო ზედაპირიდან განლაგების სიღრმე – ცხრილში N2.

ცხრილი N1

ნეიტრალური შრის ტემპერატურა თბილისის რაიონების მიხედვით

რაიონი	ტემპერატურა, °C	რაიონი	ტემპერატურა, °C	რაიონი	ტემპერატურა, °C
ავჭალა	12,4	დიღომი	12,3	ობსერვატ.	12,7
აეროპორტი	12,3	დიდუბე	12,6	საბურთალო	12,2
ბოტ. ბაღი	12,8	ვარკეთილი	11,5	ფონიჭალა	12,7
გლდანის	12,0	ლილო	12,1	ღრმაღელე	11,9
დ/დიღომი	12,6	მთაწმინდა	10,8	-	-

ცხრილი N2

ნეიტრალური შრის ჩაწოლის სიღრმე (Δz) დედამიწის ზედაპირიდან

რაიონი	სიღრმე, მ	რაიონი	სიღრმე, მ	რაიონი	სიღრმე, მ
ავჭალა	28,4	დიღომი	28,0	ობსერვატ.	-
აეროპორტი	29,3	დიდუბე	28,0	საბურთალო	28,4
ბოტ. ბაღი	30,3	ვარკეთილი	28,4	ფონიჭალა	28,3
გლდანის	30,0	ლილო	30,0	ღრმაღელე	29,8
დ/დიღომი	28,7	მთაწმინდა	35,3	-	-

გვირაბის ირგვლივ განლაგებული სამთო მასივის ბუნებრივი ტემპერატურა შესაძლებელია განისაზღვროს ფორმულით

$$t_1 = t_0 + \beta z, \quad (3)$$

სადაც t_1 არის გაუცივებელი ქანების ტემპერატურა გვირაბის გარშემომცველ სამთო მასივში გვირაბის ზედაპირის მიხედვით, °C; t_0 - სამთო მასივის ნეიტრალური შრის ტემპერატურა, °C; β - მოცემული რაიონის გეოთერმული გრადიენტი (ქანების ტემპერატურის ნამატი 1 მ-ის ჩაღრმავებით ნეიტრალური შრის ქვემოთ), °C; z - გვირაბის განლაგების სიღრმე ნეიტრალური შრის ქვემოთ.

გვირაბის განლაგების სიღრმე ნეიტრალური შრის ქვემოთ z გამოითვლება შემდეგნაირად: ვთქვათ ცნობილია, რომ გვირაბი გადის დიდუბის მონაკვეთზე, გვირაბის საგები გვერდი დაშორებულია დედამიწის ზედაპირიდან 65 მ-ით. ცხრილი



N2-ის მიხედვით, ნეიტრალური შრის ჩაწოლის სიღრმე შეადგენს 28 მ, ხოლო $z = 65 - 28 = 37$ მ.

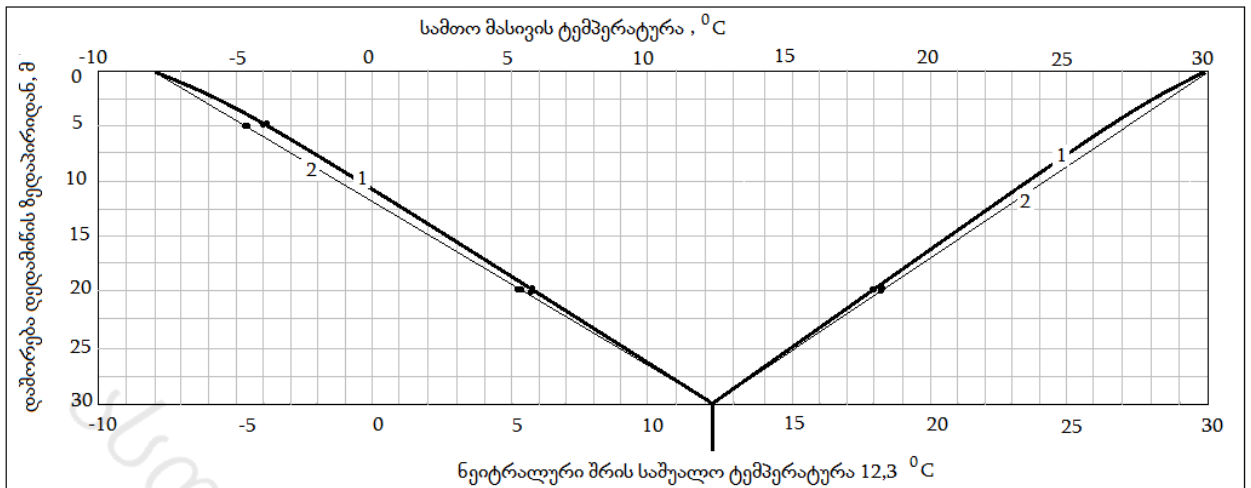
(3) ფორმულაში შემავალი დაყვანილი გეოთერმული გრადიენტის რიცხვითი სიდიდეები იცვლება როგორც გეოგრაფიული ადგილმდებარეობის, ასევე სიღრმის მიხედვით. მისი რიცხვითი სიდიდე იანგარიშება თბილისის ყველაზე დაბალი წერტილის (დიდუბე, 428 მ), მიხედვით შემდეგი ფორმულით

$$\beta = \beta_0 - 0,012\Delta h, \quad (4)$$

სადაც β არის დაყვანილი გეოთერმული გრადიენტის რიცხვითი სიდიდე, °C/მ; Δh - ადგილმდებარეობის სიმაღლის ნამატი დიდუბის ნიშნულთან შედარებით, მ; $\beta_0 = 0,0357$ - გეოთერმული გრადიენტის რიცხვითი სიდიდე დიდუბისათვის, °C/მ.

როგორც აღინიშნა, გეოტემპერატურული ველი არასტაციონარულია მცირე (20 მ-მდე) და საშუალო სიღრმეზე აგებული ნაგებობების შემთხვევაში, რომლებიც ჰიფსომეტრულად განლაგებული არიან “ნეიტრალური შრის” ზემოთ და განიცდიან ტემპერატურის სეზონურ ცვალებადობას მზის რადიაციის ცვალებადობასთან ერთად.

აღნიშნულ არეალში სამთო მასივის ტემპერატურული ველის შესაფასებლად გამოყენებულია შემდეგი საშუალო მაჩვენებლები ქ. თბილისისათვის: ნეიტრალური შრის საშუალო ტემპერატურა – 12,3 °C, ნეიტრალური შრის განლაგების საშუალო სიღრმე დედამიწის ზედაპირიდან – 30,0 მ, ჰაერის საშუალო ტემპერატურა მრავალწლიანი დაკვირვებების მიხედვით – 12,3 °C. ნიშანდობლივია, რომ ნეიტრალური შრისა და ჰაერის საშუალო ტემპერატურა ქ.თბილისისათვის ერთნაირია, რაც იმით აიხსნება, რომ ზამთარში თოვლის საფარი და ზაფხულში მწვანე საფარი შედარებით ნაკლებად არის წარმოდგენილი. შესაბამისად, დედამიწის ზედაპირი არ არის საკმარისად იზოლირებული მზის პირდაპირი რადიაციის გავლენისაგან.



ნახ. 2. სამთო მასივის ბუნებრივი ტემპერატურის განსაზღვრის ილუსტრაცია არასტაციონარული გეოტემპერატურული ველის პირობებში:

1 – ექსპერიმენტული გეოთერმოგრამა; 2 – გაწრფივებული გეოთერმოგრამა

როგორც ნახ. 2-დან ჩანს. ზამთრის პირობებში, როცა ყველაზე ცივი 5-დღიურის ტემპერატურა არის -8 გრადუსი, დედამიწის ზედაპირიდან 20 მ სიღრმეზე სამთო მასივის ტემპერატურა ექსპერიმენტული გეოთერმოგრამის მიხედვით არის 4,2 °C, ხოლო გაწრფივებული გეოთერმოგრამის მიხედვით – 4,8 °C. სიზუსტე 10-15% დიაპაზონში დასაშვებია საინჟინრო თბოფიზიკური გაანგარიშებებისათვის.

ამგვარად:

- სამთო მასივის გეოტემპერატურული ველი სტაციონარულია “ნეიტრალური შრის” ქვემოთ განლაგებული სადგურებისა და გადასარბენებისათვის, რაც განპირობებულია წიაღში მიმდინარე პროცესებით, ხოლო ჰიფსომეტრულად უფრო მაღალ ნიშნულზე არსებული ნაგებობებისათვის აღნიშნული ველი ხასიათით არასტაციონარულია და მასივის ტემპერატურა განიცდის სეზონურ ცვალებადობას მზის რადიაციის გავლენით.

- წარმოდგენილი მასალის მიხედვით შესაძლებელია განისაზღვროს მეტროს ვენტილაციის თბოფიზიკური გაანგარიშებებისათვის საჭირო ამოსავალი მონაცემები

- სამთო მასივის გეოტემპერატურული ველის მახასიათებელი ტემპერატურები წელიწადის ნებისმიერი პერიოდისათვის, როგორც ღრმა განლაგების, ისე შედარებით ნაკლებ სიღრმეზე განლაგებული მიწისქვეშა ნაგებობებისათვის.



ნაშრომი შესრულებულია შოთა რუსთაველის ეროვნული სამეცნიერო ფონდის N216968 გრანტის დაფინანსებით.

ლიტერატურა

1. СНиП II-44-78. Тоннели. Нормы проектирования. Москва, 1978. с. 22.
2. В.А. Кузин, А.Е. Величко, Н.Н. Хохотва и др. Единая методика прогнозирования температурных условий в угольных шахтах. Макеевка–Донбасс: Издательство Мак НИИ, с. 180.
3. O.A. Lanchava. Hygroscopic heat and mass transfer in underground structures, GTU, Tbilisi, 1998, p. 272.
4. O.A. Lanchava. Heat and mass exchange in permanent mine workings. Journal of Mining Science 1 (6), 1982, pp. 87-92.
5. O.A. Lanchava. Heat and mass exchange in newly driven mine workings. Journal of Mining Science 1 (5), 1985, pp. 99-104.
6. სამშენებლო კლიმატოლოგია (პნ 01.05-08), დამტკიცებულია საქართველოს ეკონომიკური განვითარების მინისტრის 2008 წლის 25 აგვისტოს N1-1/1743 ბრძანებით როგორც დაპროექტების ნორმა, თბილისი, გვ. 83.

LANCHAVA O., NOZADZE G., ARUDASHVILI N., KHOKERASHVILI Z.

TO DETERMINATION OF VENTILATION AIR OF THE METRO OF TBILISI BY THERMAL FACTOR

It is established that the geothermal field of a massif around underground structures located above the neutral layer is non-stationary because of the influence of solar radiation. Below the above marked layer, the formation of the geothermal field of the subsoil is due to the process of depths and is stationary. The definition of these fields is necessary for the performance of the thermal physical calculation of the ventilation and the specification of the air consumption of the underground facilities of the metro by the thermal factor. The paper gives formulas, tables and graphs with the help of which it is possible to reliably determine the sought-for geothermal fields.