

NON-STATIONARY TRANSMISSION OF HEAT AND HYGROSCOPIC MASS BETWEEN VENTILATION FLOW OF METRO AND SURROUNDING MINING MASSIF

Authors LANCHAVA O.A., ARUDASHVILI N.N., KHOKERASHVILI Z.Z.

Publication date 2018

Journal Mining Journal

Description According to modern technologies of construction and operation of transport tunnels, it is assumed in the present paper that drainage of water does not occur inside the membrane in the area of reinforced coating of the tunnel and here takes place a non-stationary process of transfer of hygroscopic mass (moisture) together with a similar process of heat transfer between the ventilation stream and the surrounding mining massif. Thus, we have to deal only with the sorption mass content in the pores of the massif and the water in the explicit form in the tunnels can only be in exceptional cases as local sources and therefore, their influence on the ventilation flow should be considered separately. The paper provides results of mathematical modeling of heat and mass transfer processes as well as graphs and monograms', which can be used to define non-stationary coefficients of the heat and mass transmission required for thermal physics calculation of underground ventilation. The additional flows initiated by the Soret and Dufour effects usually strengthen the main flows, but in practice one can find a case where it is not necessary to take into account the effect of additional flows. Based on the analysis of processes introduced a criterion that shows the case when accounting for additional flows of Soret and Dufour is mandatory. The marked effects can be ignored when $10^6 La = 1$.

Volume 40

Issue 1

Pages 34-42

Publishers: GEORGIAN MINING SOCIETY, GEORGIAN TECHNICAL UNIVERSITY, LEPL G. TSULUKIDZE MINING INSTITUTE

REFERENCES

1. Лыков А.В. Теплообмен. Энергия Москва, 1978. 480 с.
2. Кремнев О.А., Журавленко В.Я. Тепло- и массообмен в горном массиве и подземных сооружениях. Наукова Думка, Киев, 1980. 384 с.
3. Lanchava O.A., Ilias N. Some issues of thermal calculation of ventilation air for the metro. Journal of Engineering Sciences and Innovation. Volume 2, Issue 2, Bucharest, 2017, pp. 92-105.
4. Lanchava O.A. Separation and Evaluation of Simultaneous Heat-Mass Exchange in Binary Systems. *Bulletin of the Georgian National Academy of Sciences*, 172 (3), 2005, pp. 400-403.
5. Кутателадзе С.С. Анализ подобия в теплофизике. Наука, Новосибирск, 1982. 308 с.
6. Lanchava O.A. Heat and mass exchange in permanent mine workings. Journal of Mining Science 1 (6), pp. 87-92.
7. Lanchava O.A. Heat and mass exchange in newly driven mine workings. Journal of Mining Science 1 (5), pp. 99-104.
8. Единая методика прогнозирования температурных условий в угольных шахтах. ВА Кузин, АЕ Величко, НН Хохотва, ..., Ш.И. Ониани, О.А. Ланчава ...Макеевка–Донбасс: Издательство Мак НИИ, 1979. с. 196.

$$K_\tau = \alpha \bar{t}; \quad (29)$$

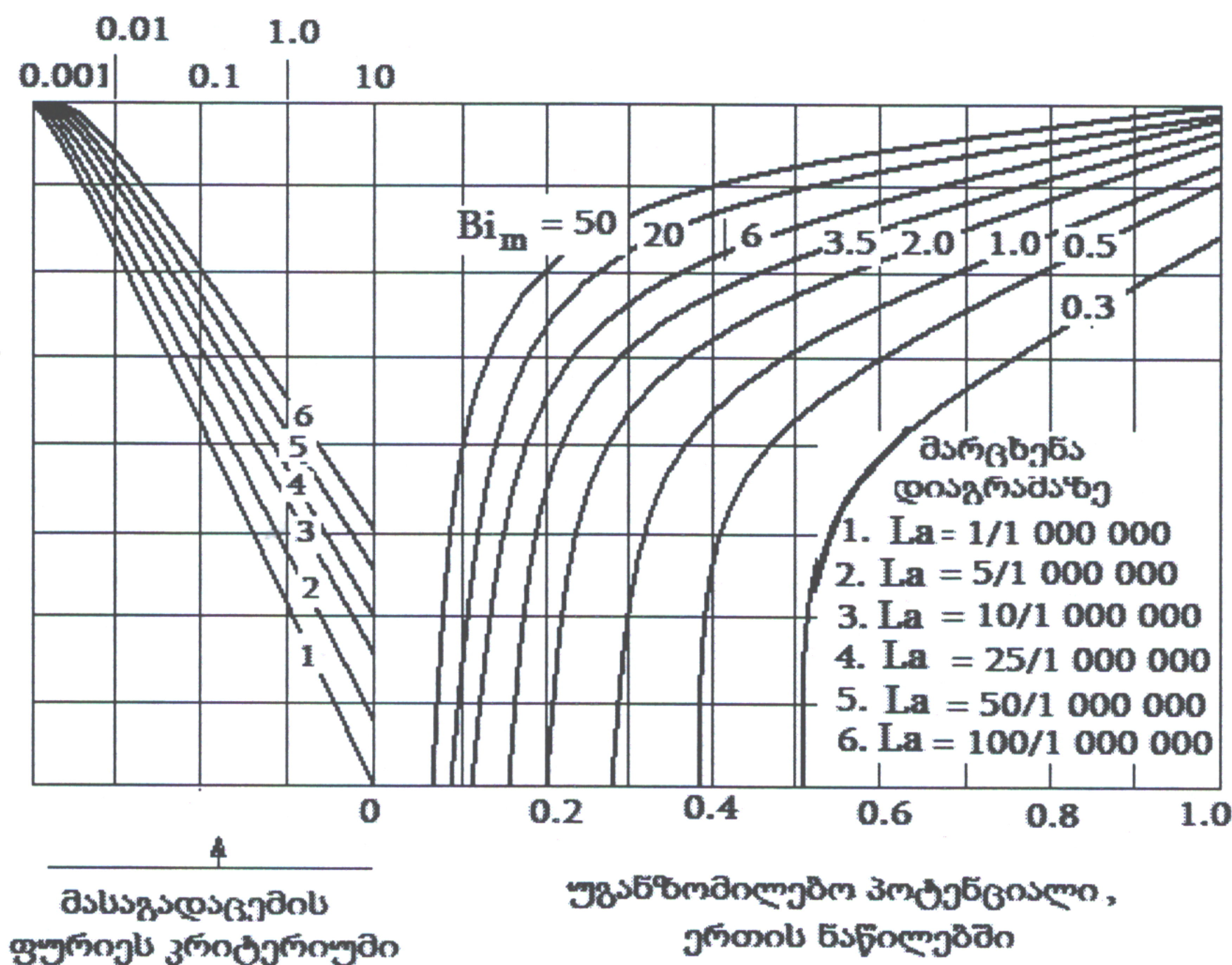
$$K_\tau = K_1 \bar{t}, \quad (30)$$

სადაც K_τ არის არასტაციონარული თბოგადაცემის კოეფიციენტი, ვტ/მ².გრად; $\bar{t} = t(\tau, R_0)$ - გვირგვინის ზედაპირის უგანზომილებო ტემპერატურა, ერთის ნაწილებში; K_1 - თბოგადაცემის კოეფიციენტი სამთო

მასივიდან სავენტილაციო ნაკადზე გვირგვინის გამაგრების გავლენის გათვალისწინებით, ვტ/მ².გრად, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$K_1 = (1/\alpha + \delta_1 / \lambda_1)^{-1}. \quad (31)$$

ამ ფორმულაში δ_1, λ_1 შესაბამისად არის სამაგრი სისქე, მ და სამაგრი მასალის თბოგამტარობის კოეფიციენტი, ვტ/მ.გრად. თბოგადაცემის კოეფიციენტი α იანგარიშება ცნობილი მეთოდით [8].



ნახ. 4. განზოგადებული დამოკიდებულება $\bar{\Theta} = \Theta(\tau, R_0)$ ორკომპონენტიანი სისტემისათვის “სამთო მასივი - სავენტილაციო ჭავლი”

არასტაციონარული მასაგადაცემის კოეფიციენტი გაუმავრებული და მონოლითური გამაგრების მქონე გვირგვინისათვის შესაბამისად განისაზღვრება ფორმულით

$$K_m = \alpha_m \bar{\Theta}; \quad (32)$$

$$K_m = K_2 \bar{\Theta}, \quad (33)$$

სადაც K_m არის არასტაციონარული მასაგადაცემის კოეფიციენტი, კგ.მოლი/ჯ.მ².წმ; $\bar{\Theta} = \Theta(\tau, R_0)$ - გვირგვინის ზედაპირის უგანზომილებო მასაგადატანის პოტენციალი, ერთის ნაწილებში; K_2 - მასაგადაცემის კოეფიციენტი სამთო მასივიდან სავენტილაციო ნაკადზე გვირგვინის გამაგრების გავლენის გათვალისწინებით, კგ.მოლი/ჯ.მ².წმ, რომელიც განისაზღვრება ფორმულით

$$K_2 = (1/\alpha_m + \delta_1 / \lambda_{m1})^{-1}, \quad (34)$$

სადაც λ_{m1} არის სამაგრი მასალის მასაგამტარობის კოეფიციენტი, კგ.კმოლი/კჯ.მ.წმ. მასაგადაცემის კოეფიციენტი α_m განისაზღვრება ცნობილი მეთოდით [8].

როგორც წარმოდგენილი ფორმულიდან ჩანს, არასტაციონარული თბო- და მასაგადაცემის კოეფიციენტების ანგარიშის გზით განსაზღვრის სირთულე დაყვანილია გვირგვინის ზედაპირის უგანზომილებო ტემპერატურისა და უგანზომილებო მასაგადატანის პოტენციალის განსაზღვრის სიზუსტეზე.

დასკვნები

- თბომასაგადაცემის ძირითადი აღმკვერელი ძალების, ტემპერატურისა და მასაგადატანის პოტენციალის გრადიენტების, ზედდებისას თერმული წინაღობა თბური სასაზღვრო შრის, ხოლო მასაგადაცემის ანალოგიური წინაღობა მასის სასაზღვრო შრის ფარგლებში განიცდიან ცვალებადობას და ურთიერთგავლენას, რის შედეგადაც აღიძვრება დამატებითი ნაკადები ძირითადი ნაკადების პარალელურად და მათი ინტენსიურობის გასაზღვრად. ახალი კრიტერიუმით ხდება ძირითადი ნაკადებზე დამატებითი ნაკადების აჯამვის საჭიროების შეფასება და საბოლოო სიდიდეების ადეკვატური განსაზღვრა.

- ახალი კრიტერიუმის რიცხვითი სიდიდე $10^6 La = 1$ მიანიშნებს იმ ზღვარს, რომლის ზემოთ ერთობლივი თბომასაგადაცემა სამთო მასივიდან უნდა შეფასდეს დიუფურისა და სორეს დამატებითი ეფექტების გათვალისწინებით და სითბოსა და მასის გადაცემის არასტაციონარული კოეფიციენტების გაანგარიშება უნდა

მოხდეს აღნიშნულის მხედველობაში მიღებით, ხოლო ქვემოთ ერთობლივი პროცესი განიხილება როგორც მარტივი და ერთმანეთისაგან დამოუკიდებელი თბო- და მასაგადაცემა, რომელთა დროსაც აღნიშნული კოეფიციენტების გაანგარიშება უნდა მოხდეს ტრადიციული მეთოდებით.

- არასტაციონარული თბო- და მასაგადაცემის კოეფიციენტები, რომლებიც გაყოფის ზედაპირის შესაბამისი უგანზომილებო ტემპერატურის ან მასაგადატანის პოტენციალის ფუნქციაა, ახალ კრიტერიუმთან პირდაპირი, ხოლო ფურეისა და ბიოს შესაბამის კრიტერიუმებთან უკუპროპორციული დამოკიდებულებებით ხასიათდება.

- გრაფიკული მეთოდით არასტაციონარული თბო- და მასაგადაცემის კოეფიციენტების განსაზღვრისას, უგანზომილებო ტემპერატურის ან მასაგადატანის უგანზომილებო პოტენციალის რიცხვითი სიდიდეების შერჩევის დროს, საჭიროების შემთხვევაში, კრიტერიუმებით პირდაპირ ხდება დიუფურისა და სორეს ეფექტების გათვალისწინება.

ლიტერატურა

1. Лыков А.В. Теплообмен. Энергия, Москва, 1978. 480 с.

2. Кремнев О. А., Журавленко В. Я. Тепло и массообмен в горном массиве и подземных сооружениях. Наукова думка, Киев, 1980. 384 с.

3. Lanchava O., Ilias N. Some issues of thermal calculation of ventilation air for the metro. Journal of Engineering Sciences and Innovation. Volume 2, Issue 2, Bucharest, Romania, 2017. pp. 92-105.

4. Lanchava O. Separation and Evaluation of Simultaneous Heat-Mass Exchange in Binary Systems.

LANCHAVA O., ARUDASHVILI N.,
KHOKERASHVILI Z.

NON-STATIONARY TRANSMISSION OF HEAT AND HYGROSCOPIC MASS BETWEEN VENTILATION FLOW OF METRO AND SURROUNDING MINING MASSIF

According to modern technologies of construction and operation of transport tunnels, it is assumed in the present work that drainage of water does not occur inside the membrane in the area of reinforced coating of the tunnel and here takes place a non-stationary process of transfer of hygroscopic mass (moisture) together with a similar process of heat transfer between the ventilation stream and the surrounding mining massif. Thus, we have to deal only with the sorption mass content in the pores of the massif and the water in the explicit form in the tunnels can only be in

2005, pp. 400-404, *Bull. Georg. Acad. Sci.* <http://science.org.ge/old/moambe/Summary-172-3.htm>

5. Кутателадзе С.С. Анализ подобия в теплофизике. Наука, Новосибирск, 1982. 308 с.

6. Ланчава О.А. О теплообмене в капитальных горных выработках. ФТПРПИ, №6, Наука, Новосибирск, 1982. с. 87-92.

7. Ланчава О. А. О теплообмене в свежeproиденных горных выработках. ФТПРПИ, №5, Наука, Новосибирск, 1985. с. 99-104.

8. Ониани Ш.И., Ланчава О.А. Единая методика прогнозирования температурных условий в угольных шахтах. Макеевка-Донбасс, 1979. 196 с.

exceptional cases as local sources and therefore, their influence on the ventilation flow should be considered separately. The paper provides results of mathematical modeling of heat and mass transfer processes as well as graphs and nomograms, which can be used to define non-stationary coefficients of the heat and mass transmission required for thermal physics calculation of underground ventilation. The additional flows initiated by the Soret and Dufour effects usually strengthen the main flows, but in practice one can find a case where it is not necessary to take into account the effect of additional flows. Based on the analysis of processes, the criteria that determine the numerical value of these show the case when accounting for additional flows of Soret and Dufour is mandatory. The marked effects can be ignored when $10^6 La = 1$.

ЛАНЧАВА О.А., АРУДАШВИЛИ Н.Н.,
ХОКЕРАШВИЛИ З.З.

НЕСТАЦИОНАРНАЯ ПЕРЕДАЧА ТЕПЛА И ГИГРОСКОПИЧЕСКОЙ МАССЫ МЕЖДУ ВЕНТИЛЯЦИОННЫМ ПОТОКОМ МЕТРО И ОКРУЖАЮЩИМ ГОРНЫМ МАССИВОМ

По современным технологиям строительства и эксплуатации транспортных туннелей в настоящей работе предполагается, что внутри мембраны, через туннельного крепления дренаж воды не происходит и здесь имеет место нестационарный процесс передачи гигроскопической массы (влаги) вместе с аналогичным процессом передачи тепла между окружающим горным массивом и потоком вентиляции. Таким образом, дело имеем только с сорбционным массосодержанием в порах горного массива, вода в явном виде в туннелях может быть только в исключительных случаях, в качестве

местных источников и их влияние на поток вентиляции следует рассматривать отдельно. Представлены результаты математического моделирования процессов тепломассопереноса, а также графики и номограммы, которые могут быть использованы для определения нестационарных коэффициентов передачи тепла и массы, необходимых для теплофизического расчета подземной вентиляции. Дополнительные потоки, инициированные эффектами Соре и Дюфура, обычно усиливают основные потоки, но на практике можно встретить случай, когда нет необходимости учитывать влияние дополнительных потоков. На основе анализа процессов предложен критерий, определяющий численное значение которого показывает случай, когда учет дополнительных потоков Соре и Дюфура является обязательным. Отмеченные эффекты можно игнорировать, когда $10^6 La = 1$

შპს 622. 7

**აკად. დოქტ. ვ. გამციხელიძე, აკად. დოქტ. რ. ენაგელი, ვ. თუთუაშვილი
გაუმჯობესებული კონსტრუქციის სამსხრევნი მოწყობილობა
მართვის ხერხით**

სტატიაში განხილულია მეტალურგიულ მრეწველობაში და, საერთოდ, სახალხო მეურნეობაში, მანგანუმის მადნის გამდიდრების შედეგად მიღებული მანგანუმის დაბალხარისხოვანი შუალედური პროდუქტის და ნარჩენების (კულების) წარმატებით გამოყენების საკითხი, რასაც უზრუნველყოფს შენაზარდიანი ნატეხების დანაწევრება, რაც ხელშეწყობს სხვადასხვა სიმკვრივის მინერალებს შორის კონტრასტულობის გაზრდის და, აქედან გამომდინარე, მათი ეფექტური გამდიდრებისა გრავიტაციული მეთოდით, მაღალხარისხოვანი კონდიციური კონცენტრატის მიღების თვალსაზრისით. ამ მიზნით დამუშავებულია გაუმჯობესებული კონსტრუქციის სამსხრევნი მოწყობილობა, რომლის სიახლე გამოიხატება იმით, რომ გაძლიერებულია ნატეხების ჭრის და ხეხვის პრინციპები. დამსხრევვის პროცესის შესასწავლად გამოყენებულია ალბათობითი მოდელი, რის საფუძველზეც განისაზღვრება მმართველ, მართულ და შემსწავლთებელ სიდიდეებს შორის როგორც წყვილი, ასევე მრავლობითი ოპტიმალური დამოკიდებულებები. დამსხრევვის პროცესის მარჯვენალების კრიტიკუმიის საფუძველზე აიგება პროცესის მათემატიკური მოდელი და დამუშავდება მართვის ხერხი.

მუშავება - გამდიდრება, რომლის პრობლემატურობა ტექსტურულ - სტრუქტურულ სირთულეებთან ერთად გამოიხატება იმითაც, რომ პროდუქტები უმეტესწილად წარმოდგენილია სასარგებლო და ფუჭი მინერალების შენაზარდიანი ნატეხებისაგან, რომელშიც სასარგებლო მინერალები ძირითადად ჩართულია წვრილი ზომის სახით. ასეთი სირთულის პროდუქტებიდან გამდიდრების შედეგად რომ მივიღოთ მანგანუმის მაღალხარისხოვანი კონცენტრატი, საჭიროა ძირითადი ოპერაციის წინ მათი წინდაწინ მომზადება, რომლის მიზანია შენაზარდიანი ნატეხების ისეთ ზომამდე დანაწევრება, რომელიც უზრუნველყოფს დანაწევრებულ პროდუქტში სასარგებლო მინერალების ნატეხების დიდი ალბათობით თავისუფალი სახით მიღებას, რაც თავის მხრივ ხელს შეუწყობს კუთრი წონის მიხედვით სხვადასხვა სიმკვრივის მინერალებს შორის კონტრასტულობის გაზრდას, რაც საწინდარი იქნება გამდიდრების გრავიტაციული მეთოდებით მათი წარმატებით გამდიდრების.

კვლევებით დადგენილი იქნა, რომ გასამდიდრებელი პროდუქტების შენაზარდიანი ნატეხებში მანგანუმის მინერალები ძირითადად ჩართულია 3 მმ-ის ზომის ფარგლებში. აქედან გამომდინარე, შენაზარდიანი ნატეხების 3 მმ-მდე დანაწევრება გარანტია იმისა, რომ დანაწევრებულ პროდუქტში მივიღებთ დიდი რაოდენობის სასარგებლო მინერალების ნატეხებს თავისუფალი სახით. ნატეხების დანაწევრებისათვის გამოყენებული იქნა ჩვენს მიერ მიღებული გაუმჯობესებული კონსტრუქციის სამსხრევნი მოწყობილობა, რომლის სიახლე გამოიხატება იმით, რომ სპირალურ დისკოზე ჰორიზონტალურ და ვერტიკალურ სიბრტყეში მორიგეობით განლაგებულია გარკვეული რაოდენობის კბილები. დისკოს ბრუნვის შედეგად იზრდება კონტაქტი მასზე

მანგანუმის მადნების გამდიდრების შედეგად მიღებული შუალედური, და განსაკუთრებით, კულების პროდუქტები გამოირჩევიან მანგანუმის დაბალი შემცველობით, რომელთა გამოყენება მეტალურგიულ მრეწველობაში მაღალხარისხოვანი თუჯის და ფოლადის მისაღებად არაეფექტურია. აღნიშნულ დარგში, და საერთოდ სახალხო მეურნეობაში, მათი წარმატებით გამოყენების, აგრეთვე ქვეყანაში მანგანუმის წიაღისეულის მარაგის გაზრდის თვალსაზრისით, საჭიროა ზემოთ მოცემული პროდუქტების ხელმეორედ გადა-

ტიძე. ვიცე. დოქტორი, პროფესორი **ო. ლანჩავა**,
 აკად. დოქტორი, ასისტენტ-პროფესორი **ნ. არუდაშვილი**,
 დოქტორანტი **ზ. ხოკარაშვილი**
სითბოსა და ჰიდროსკოპული მასის არასტაციონარული გადაცემა
მიტროს სავინტილაციო ჭავჭავაძის და გარემომცველ
სამთო მასივს შორის

სატრანსპორტო გვირაბების მშენებლობისა და ექსპლუატაციის თანამედროვე ტექნოლოგიებიდან გამომდინარე ნაშრომში მიღებულია, რომ მეტრანის შიგნით, გვირაბის გამაგრებისა და მოპირკეთების ფარგლებში, წყლის დრენაჟი აღარ ხდება და ადგილი აქვს ჰიდროსკოპული მასის (ტენის) გაცემის არასტაციონარულ პროცესს, სითბოს გადაცემის ანალოგიურ პროცესთან ერთად. ამრიგად, სამთო მასივში ადგილი აქვს მხოლოდ ფორებში სორბირებულ ტენს, ხოლო გვირაბებში ცხადი სახით წყალი შესაძლებელია იქნეს მხოლოდ გამონაკლის შემთხვევაში, ლოკალური წყაროების სახით, რომელთა გავლენა სავინტილაციო ჭავჭავაძის განცალკევებულად განიხილება. მოცემულია სითბოსა-და ტენის გადაცემის როგორც მარტივი პროცესების, ისე ერთობლივი პროცესების მათემატიკური მოდელირების შედეგები გრაფიკებისა და ნომოგრამების სახით, რომელთა გამოყენებითაც შესაძლებელია თბოფიზიკური გაანგარიშებისათვის აუცილებელი სითბოსა და ტენის გადაცემის არასტაციონარული კოეფიციენტების განსაზღვრა. სორესა და დიუფურის ეფექტებით აღძრული დამატებითი ნაკადები, როგორც წესი, აძლიერებენ ძირითად ნაკადებს, მაგრამ პრაქტიკაში შესაძლებელია შეგვხვდეს შემთხვევა, როცა დამატებითი ნაკადების გავლენის მხედველობაში მიღება საჭირო აღარ იყოს. პროცესების ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულია კრიტერიუმი, რომლის მსაზღვრელი რიცხვითი სიდიდის შემთხვევაში თბოფიზიკური გაანგარიშებისათვის აუცილებელია დიუფურისა და სორეს დამატებითი ეფექტების გათვალისწინება. აღნიშნული ეფექტების იგნორირება შესაძლებელია, თუ $10^6 La = 1$.

ნება, რომ შეიძლებოდა ტემპერატურაგამტარობისა და მასაგადატანის პოტენციალგამტარობის კოეფიციენტების ტოლობის $a = a_m$ გამოყენება [1], ხოლო ო. ა. კრემენი და ვ. ი. ჟურავლენკო სარგებლობდნენ ტოლობით $\sqrt{a/a_m} = 1$ [2]. ამ უკანასკნელი ფორმულით

შერბილებულია კოეფიციენტებს შორის განსხვავება იმ პირობით, თუ ორივე კოეფიციენტის რიცხვითი მნიშვნელობა ერთი რიგისაა.

ჩვენს კვლევებში გამოიკვეთა, რომ აღნიშნული კოეფიციენტები ქანებისათვის მინიმუმ ორი რიგით მაინც განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან [3] და ამდენად ბუნებრივად დადგა დიუფურისა და სორეს დამატებითი ეფექტების უფრო ზუსტად გათვალისწინების საკითხი.

წინამდებარე ნაშრომში არჩეულია ცნობილი ნაშრომებისაგან [1,2] განსხვავებული გზა. ჩვენ გამოვდივართ არა მითითებული ტოლობიდან $a = a_m$, არამედ სავინტილაციო ნაკადის აერომექანიკიდან. დამატებითი ნაკადების შესაფასებლად ვსარგებლობთ სითბოს გაცემის თერმული წინააღობის $1/\alpha$ ცნებით თბური სასაზღვრო შრის არეალში, ისევე როგორც მასის გაცემის ანალოგიური წინააღობის ცნებით $1/\alpha_m$ შესაბამისი სასაზღვრო შრის არეალში (α, α_m - გვირაბის ზედაპირიდან თბოგაცემისა და მასაგაცემის კოეფიციენტები, ვტ/მ².გრად, კგ.მოლი/ჯ.მ².წმ). ამასთანავე, ჩვენ არ ვგულისხმობთ ისეთ დამატებით შემზღვეველ პირობებს, არც აღნიშნულ წინააღობებისათვის, არც ნაკადებისათვის, რაც არ არის გათვალისწინებული ნიუტონ-რიხმანის, ფურიესა და ფიკის ძირითად კანონებში.

შესავალი

თერმოაეროდინამიკური მრავალპარამეტრიანი ამოცანების გადაწყვეტისას ორკომპონენტიანი სისტემისათვის “სამთო მასივი-სავინტილაციო ნაკადი” საჭირო ხდება არასტაციონარული სითბოსა და მასის გადაცემის კოეფიციენტების გაანგარიშება სორესა და დიუფურის დამატებითი ეფექტების გათვალისწინებით ან მათი გათვალისწინების გარეშე.

როგორც წესი, ამ კოეფიციენტების განსაზღვრა ხდება ერთობლივი თბომასაგადაცემის დიფერენციალური განტოლებების ამონახსნების გამოყენებით. პრობლემა ის არის, რომ განტოლებები ანალიზურად ამოიხსნება მხოლოდ არსებითი გამამარტივებელი დაშვებების მიღების შემდეგ, რაც საჭირო სიზუსტეს ვერ უზრუნველყოფს.

ამავე დროს სორესა და დიუფურის დამატებითი ეფექტების, ისე როგორც ძირითადი ნაკადების შესაფასებლად, ამოსავალი იყო სითბოსა და მასის გადატანის პროცესების დამახასიათებელი ფიზიკური თვისებების თანაფარდობა. კერძოდ, ა.ვ. ლიკოვი მიანიშ-

თეორიული ანალიზი

თუ უსასრულო სამთო მასივში გაყვანილ გვირაბს აქვს წრის ფორმა რადიუსით R_0 (იხ. ნახ. 1), გვირაბის გასწვრივ გარშემომცველ სამთო მასივში სითბოსა და მასის (ტენის) გადაცემას მხედველობაში არ მივიღებთ, ხოლო თვით მასივს მივიჩნევთ იზოტროპულად და ერთგვაროვნად, მაშინ მასივსა და ნაკადს შორის თბომასაგადაცემა აღიწერება შემდეგი დიფერენციალური განტოლებებით

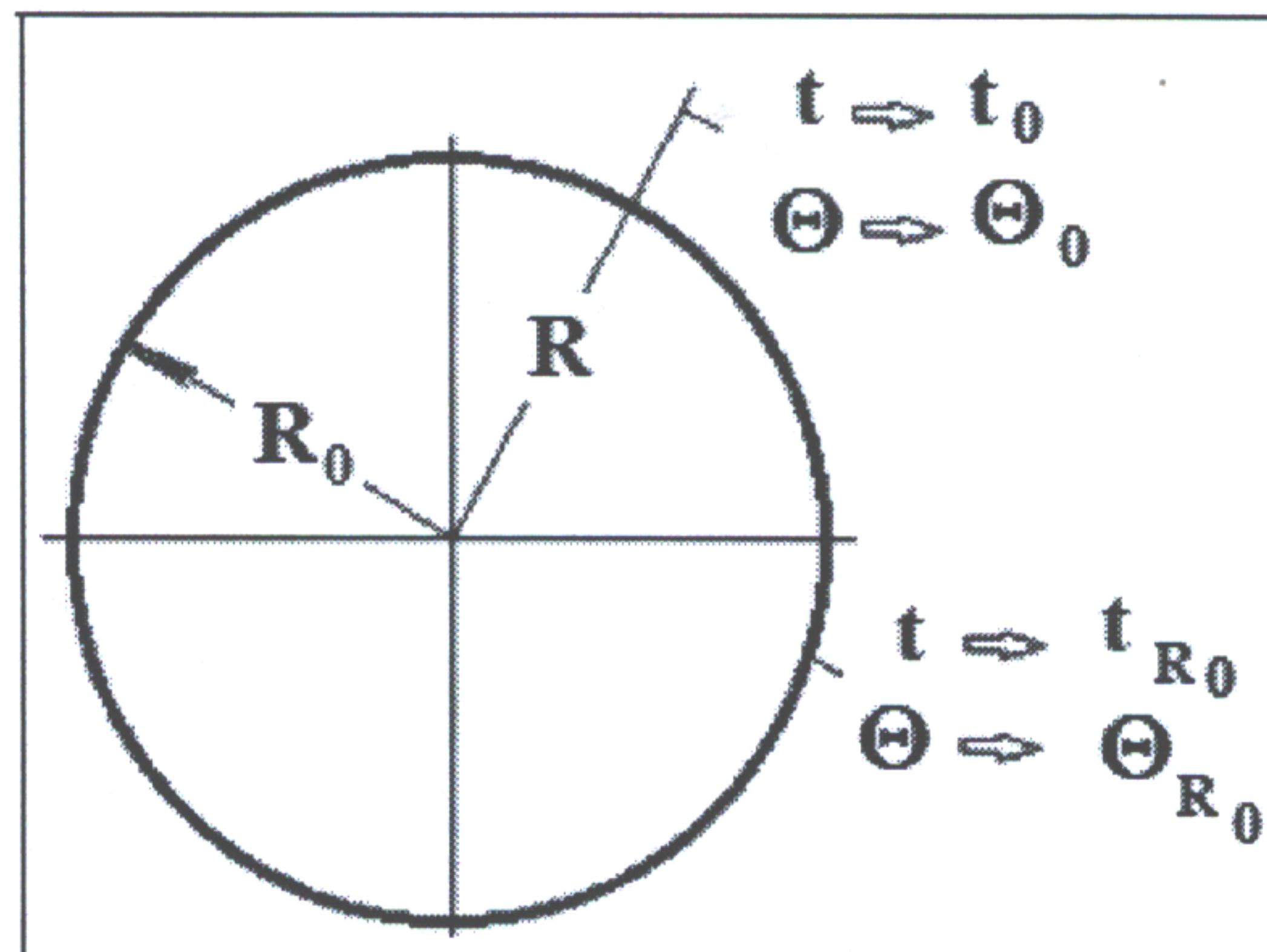
$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \Delta^2 t + \epsilon r \frac{c_m}{c} \frac{\partial \Theta}{\partial \tau}; \tag{1}$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = a_m \Delta^2 \Theta + a_m \delta_\theta \Delta^2 t, \tag{2}$$

სადაც t არის სამთო მასივის ტემპერატურა, °C; a - ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტი, მ²/წმ;

Δ^2 - ლაპლასის ოპერატორი; ε - ფაზური გარდაქმნის კრიტერიუმი სამთო მასივში; r - ფაზური გარდაქმნის კუთრი ენთალპია, კჯ/კგ; c_m, c - შესაბამისად იზოთერმული მასატევალობისა და კუთრი თბოტევალობის კოეფიციენტები, მოლი/ჯ, კჯ/კგ.გრად; τ - დრო, წმ;

Θ - სამთო მასივის მასაგადატანის პოტენციალი, ჯ/მოლი; a_m - მასაგადატანის პოტენციალგამტარობის კოეფიციენტი, მ²/წმ; δ_θ - თერმოგრადიენტული კოეფიციენტი, ჯ/მოლი.გრად.



ნახ. 1. ტემპერატურისა და მასაგადატანის პოტენციალის განაწილება გვირაბის კედლებსა და გარშემოცვეულ სამთო მასივში გვირაბის ღერძის მართობულ სიბრტყეზე: R - ცილინდრული კოორდინატი; R_0 - გვირაბის ეკვივალენტური რადიუსი; 0 და R_0 ინდექსები შესაბამისად უჩვენებენ ტემპერატურისა და მასაგადატანის პოტენციალის სიდიდეებს გარშემოცვეულ იზოტროპულ გარემოში და გამყოფ ზედაპირზე

ცალსახობის პირობებს აქვთ შემდეგი სახე

$$\tau = 0, R = R_0: t_{(R_0,0)} = t_0, \Theta_{(R_0,0)} = \Theta_0, \quad (3)$$

$$\tau > 0, R = \infty: t_{(R,\tau)} = t_0, \Theta_{(R,\tau)} = \Theta_0, \quad (4)$$

$$\tau > 0, R = \infty:$$

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial R} + \alpha(t_k - t_h) + \alpha_m r(\Theta_k - \Theta_h) = 0; \quad (5)$$

$$-\lambda_m \frac{\partial \Theta}{\partial R} - \lambda_m \delta_\theta \frac{\partial t}{\partial R} + \alpha_m (\Theta_k - \Theta_h) = 0, \quad (6)$$

სადაც განმარტებული სიდიდეების გარდა, R არის ცილინდრული კოორდინატი; λ, λ_m - შესაბამისად თბოგამტარობისა და მასაგამტარობის კოეფიციენტები ქანისათვის, ვტ/მ.გრად, კგ.მოლი/ჯ.მ.წმ; t_k, Θ_k - შესაბამისად გვირაბის ზედაპირის ტემპერატურა და

მასაგადატანის პოტენციალი, $^{\circ}C$, ჯ/მოლი; t_h, Θ_h - იგივე სავენტილაციო ნაკადისათვის.

თუ დიუფურისა და სორეს ეფექტებს მხედველობაში არ მივიღებთ, მაშინ (1) და (2) განტოლებები მიიღებენ ფურეისა და კირპოფის მიერ შემოთავაზებულ სახეს

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \Delta^2 t; \quad (7)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau} = a_m \Delta^2 \Theta, \quad (8)$$

ხოლო სასაზღვრო პირობებს ასეთ შემთხვევაში ექნებათ სახე:

$$\tau > 0, R = \infty:$$

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial R} + \alpha(t_k - t_h) = 0, \tag{9}$$

$$-\lambda_m \frac{\partial \Theta}{\partial R} + \alpha_m(\Theta_k - \Theta_h). \tag{10}$$

დიუფურისა და სორეს დამატებით ეფექტების მხედველობაში მიღება, როგორც წარმოდგენილი ფორმულებიდან ჩანს, ისეთი შემთხვევაა, როცა ტემპერატურის გრადიენტი აღძრავს დამატებით მამოდრავებელ ძალას მასის გადატანის პროცესისათვის, ხოლო მასაგადატანის პოტენციალის გრადიენტი თავის მხრივ აღძრავს დამატებით თბურ ნაკადს.

არსებითა, რომ პრაქტიკულად გვხვდება შემთხვევები, როცა აღიშნული ეფექტების მხედველობაში მიღების გარეშე და შესაბამისად, თბოფიზიკური ამოცანების შედარებით მარტივად გაანგარიშებით, მიიღება სარწმუნო შედეგები. ამისათვის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება სათანადო კრიტერიუმის დამუშავებას, რადგან გვირახის კედლის უგანზომილებო ტემპერატურა და უგანზომილებო მასაგადატანის პოტენციალი შეიძლება წარმოდგენილი იქნეს კრიტერიუმებზე ფუნქციური დამოკიდებულების სახით.

თუ ზემოაღნიშნულ ფორმულებში ლაპლასის

ოპერატორს აქვს სახე $\Delta^2 = \frac{\partial^2}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R}$, პირველი

რიგის წარმომავლები მუდმივებია დროსა და სივრცეში,

$$\frac{\Delta_\tau t}{\Delta_R t} = Fo + \epsilon Ko, \tag{11}$$

სადაც წარმოდგენილია ფურიესა და კოსოვიჩის კრიტერიუმები, რომლებსაც შესაბამისად აქვთ სახე

$$Fo = \frac{a\tau}{R_0^2}, \tag{12}$$

$$Ko = \frac{rc_m \Delta\Theta}{c \Delta t}. \tag{13}$$

მასაგადატანის პოტენციალის საანგარიშო ფორმულის გათვალისწინებით [5], ბოლო ფორმულა მიიღებს სახეს

$$Ko = \frac{rc_m}{c} \ln \varphi, \tag{14}$$

სადაც φ არის წონასწორული ფარდობითი ტენიანობა, ერთის ნაწილებში.

(11) ფორმულის ანალოგიურად (2) და (6) ფორმულებიდან მიიღება

ე.ი. $\frac{\partial \Theta}{\partial R_{R=R_0}} = Const, \quad \frac{\partial t}{\partial R_{R=R_0}} = Const,$

$\frac{\partial \Theta}{\partial \tau_{R=R_0}} = Const, \quad \frac{\partial t}{\partial \tau_{R=R_0}} = Const,$ შესაბამისად

$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial R^2} = 0$ და $\frac{\partial^2 t}{\partial R^2} = 0$ წარმოებულების ფარდობას

თუ შევცვლით მათი სასრული სიდიდეებით ლოპიტალის

წესის თანახმად $\frac{\partial^m Y}{\partial x^m} \rightarrow \frac{Y}{x^m}$ ფორმულის საფუძველზე,

მაშინ (1) განტოლება მიიღებს სახეს

$$\left| \frac{\Delta_\tau t}{\tau} \right|_{R=R_0} = a \left(0 + \left| \frac{\Delta_R t}{R^2} \right|_{R=R_0} \right) + \frac{\epsilon rc_m}{c} \left| \frac{\Delta_\tau \Theta}{\tau} \right|_{R=R_0}.$$

საიდანაც მარტივი გარდაქმნებით მიიღება

$$\frac{\Delta_{\tau} \Theta}{\Delta_R \Theta} = Fo_m (1 + Pn_m); \quad (15)$$

$$\frac{\Delta_{\tau} \Theta}{\Delta_R \Theta} = Bi_m (1 + Pn_m^{-1}), \quad (16)$$

სადაც წარმოდგენილია მასაგაცვლის ფურიეს, ბიოს და პოსნოვის კრიტერიუმები, რომლებსაც შესაბამისად აქვთ სახე

$$Fo_m = \frac{a_m \tau}{R_o^2}; \quad (17)$$

$$Bi_m = \frac{\alpha R_o}{\lambda}; \quad (18)$$

$$Pn_m = \delta_{\theta} \frac{\Delta t}{\Delta \Theta}. \quad (19)$$

ბიოს თბოგაცვლის კრიტერიუმს, როგორც ცნობილია, აქვს სახე [6]

$$Bi = \frac{\alpha R_o}{\lambda}. \quad (20)$$

როგორც აღინიშნა, დამატებითი ეფექტების გათვალისწინება თბოფიზიკური ამოცანების გადაწყვეტისას საზოგადოდ (a , a_m კოეფიციენტების ტოლობა) პრინციპულ სიძნელეებს ხვდება. მსგავსების კრიტერიუმების გამოყენებით კი, არანაკლები სიძნელეებია, რადგან პოსნოვისა და კოსოვიჩის კრიტერიუმები შეიცავენ საძიებო სიდიდეებს Δt და $\Delta \Theta$ სახით. ამდენად მათი გამოყენებით ცალსახა შედეგების მიღება თითქმის შეუძლებელია.

შესაბამიად, წინამდებარე ნაშრომში არჩეულია განსხვავებული მეთოდი. სასრული პროპორციული სიდიდეების შეტანით და ლოპიტალის წესის გამოყენებით (5) ფორმულა მიიღებს სახეს $\lambda \frac{\Delta_R t}{R} = \alpha \Delta_{\tau} t + \alpha_m r \Delta_{\tau} \Theta$.

რომლის გამრავლებით $\frac{R}{\lambda \Delta_{\tau} t}$ სიდიდეზე მიიღება

$$\frac{\Delta_R t}{\Delta_{\tau} t} = \frac{\alpha R}{\lambda} + \frac{\alpha_m r R}{\lambda} \frac{\Delta_{\tau} \Theta}{\Delta_{\tau} t}.$$

თუ $R = R_o$, მაშინ ზემოთ მოცემული ფორმულების გათვალისწინებით ბოლო ფორმულა მიიღებს სახეს

$$\frac{\Delta_{\tau} t}{\Delta_{R_o} t} = Bi + \frac{\delta_{\theta} \alpha_m r}{\alpha} Bi Pn_m^{-1}. \quad (21)$$

ამ ფორმულის მარჯვენა მხარეზე გამოსახული წილადი არის უგანზომილებო სიდიდე, რომელიც არის

ახალი კრიტერიუმი.

მაშასადამე

$$La = \frac{\delta_{\theta} \alpha_m r}{\alpha}. \quad (22)$$

ახალ კრიტერიუმს და განსაკუთრებით კი მის მსაზღვრელ სიდიდეს, ღრმა ფიზიკური აზრი აქვს. ის წარმოადგენს ლიუისის, კოსოვიჩისა და პოსნოვის კრიტერიუმების სინთეზს. აღნიშნულის დასამტკიცებლად აღვნიშნოთ, რომ ლიუისის კრიტერიუმი განისაზღვრება გამოსახულებით [5]

$$Le = \frac{a_m}{a}. \quad (23)$$

ხოლო სითბოსა და მასის ნაკადების სიმკვრივეებს გაყოფის ზედაპირზე "სამთო მასივი-სავენტილაციო ჭავლი" აქვთ სახე

$$\alpha \Delta_{\tau} t = \lambda \Delta_{R_o} t, \quad (24)$$

$$\alpha_m \Delta_{\tau} \Theta = \lambda_m \Delta_{R_o} \Theta. \quad (25)$$

ქანის ფიზიკურ თვისებებს შორის დამოკიდებულებების გათვალისწინებით და მარტივი გარდაქმნებით ბოლო ფორმულებიდან მიიღება [3]

$$\alpha = a c \gamma_0 \frac{\Delta_{\tau} t}{\Delta_{R_o} t}, \quad (26)$$

$$\alpha_m = a_m c_m \gamma_0 \frac{\Delta_{\tau} \Theta}{\Delta_{R_o} \Theta}. \quad (27)$$

უკანასკნელი ფორმულების ჩასმით (22) ფორმულაში, (14), (19), (23) ფორმულების გათვალისწინებით და მარტივი გარდაქმნებით მიიღება

$$La = Le K o P n_m. \quad (28)$$

პოსნოვის კრიტერიუმი ერთმანეთთან აკავშირებს მოცულობით სითბოსა და მასის ნაკადებს და აჩვენებს ტემპერატურული გრადიენტით მასაგადატანის პოტენციალის ცვალებადობას სამთო მასივში. კოსოვიჩის კრიტერიუმი სავენტილაციო ნაკადის ენერგეტიკული იმპულსის გავლენის მანიშნებელია, ხოლო ახალი კრიტერიუმი ერთმანეთთან აკავშირებს სითბოს გაცემის თერმულ წინაღობას $1/\alpha$ თბური სასაზღვრო შრის არეალში და მასის გაცემის ანალოგიურ წინაღობას $1/\alpha_m$ შესაბამისი სასაზღვრო შრის არეალში. მიზანშეწონილია აქვე ვაჩვენოთ განსხვავება ლიუისისა და ახალ კრიტერიუმს შორის. Le მასივის თვისებებიდან გამომდინარე, აჩვენებს თბური და მასის სასაზღვრო შრეების ურთიერთმიმართებას. ეკვივალენტური ჭავლებისათვის, თუ $a = a_m$, თბური და მასის სასაზღვრო შრეების სისქე ერთნაირია და თბო- და მასაგადაცემა სავენტილაციო ნაკადზე რიცხობრივად ერთმანეთის ტოლია.

თუმცა მითითებულ ტოლობას რეალურად ადგილი არ აქვს, რაც ჩანს ცხრილიდან 1. ახალი კრიტერიუმი იმავს აჩვენებს ათვლის სხვა სისტემიდან - ნაკადის აერომექანიკიდან, რომლისთვისაც ნაკადების ტოლობის დაცვის საჭიროება არაა.

აღინიშნა, რომ (1), (2) ფორმულებით ასახული განტოლებები, შესაბამისი ცალსახობის პირობებით, ახალი-ზურ ამოხსნას არ ექვემდებარება და საჭიროა მათემატიკური მოდელირების მეთოდის გამოყენება.

მათემატიკური მოდელები როგორც თბოგამტარობის, აგრეთვე მასაგამტარობის შემთხვევისათვის შედგენილია ცხრილში 1 მოცემული ერთნაირი ქანების ფიზიკური პარამეტრების მიხედვით. თბოგაცემისა და მასაგაცემის კოეფიციენტები მოდელებზე შესაბამისად იცვლებოდა ფარგლებში 3.0-50.0 ვტ/მ².გრად და (1.5-50.0)*10⁻¹⁰ კგ.მოლი/ჯ.მ².წმ.

ცხრილი 1

ქანების თბო- და მასაფიზიკური მახასიათებლები, რომელთა მიხედვითაც აიგო მათემატიკური ანალოგები

ქანის ფიზიკური თვისებები	1 ვარიანტი	2 ვარიანტი	3 ვარიანტი	4 ვარიანტი
სიმკვრივე γ_0 , კგ/მ ³	2800	2580	2600	3440
კუთრი თბოტევადობის კოეფიციენტი C , კჯ/კგ.გრად	0.904	0.883	0.900	0.804
თბოგამტარობა λ , ვტ/მ.გრად	2.020	2.050	2.850	3.860
ტემპერატურაგამტარობა a , 10 ⁻⁴ მ ² /წმ	7.98	9.29	12.18	13.96
ქანის ტენშემცველობა U , კგ/კგ	0.07	0.08	0.03	0.02
იზოთერმული მასატევადობა C_m , 10 ⁻⁵ მოლი/ჯ	20.0	6.8	0.9	4.5
მასაგამტარობა λ_m , 10 ⁻¹⁰ კგ.მოლი/ჯ.მ ² .წმ	12.32	4.08	1.36	6.81
მასაგადატანის პოტენციალგამტარობა a_m , 10 ⁻⁹ მ ² /წმ	2.2	2.4	5.8	4.4

ცხრილში 1 მოცემული ფიზიკური სიდიდეების ყოველი კონკრეტული მნიშვნელობისათვის ძალაშია ზოგადი კანონზომიერება, რომლის თანახმადაც გამყოფ ზედაპირზე და სამთო მასივში ტემპერატურის განაწილების ხასიათი დამოკიდებულია არა მხოლოდ და არა იმდენად α და λ კოეფიციენტების კონკრეტულ მნიშვნელობებზე, არამედ მათ თანაფარდობაზე ბიოს კრიტერიუმის სახით [6, 7]. იმის აღნიშვნა თითქმის ზედმეტიცაა, რომ თბოგაცემის კოეფიციენტი α ეკვივალენტური აეროდინამიკური ნაკადებისათვის მუდმივი სიდიდეა.

ზემოაღნიშნული გამოწვევის გარეშე ვრცელდება მასაგადაცემის პროცესებზეც, რადგან მასაგაცემის კოეფიციენტი α_m ეკვივალენტური აეროდინამიკური ნაკადებისათვის ამ შემთხვევაშიც უცვლელი სიდიდეა, ხოლო პროცესის სტაბილიზაციის ხარისხი დამოკიდებულია არა იმდენად რომელიმე ცალკეული კოეფიციენტის რიცხვით სიდიდეზე, არამედ მათ თანაფარდობაზე α_m/λ_m სახით [6, 7], რაც წარმოდგენილია ბიოს მასაგადატანის კრიტერიუმის სახით.

ანალოგიურად, თერმოგრადიენტული მასაგადატანა არ არის დამოკიდებული მხოლოდ თერმოგრადიენტული კოეფიციენტის რიცხვით სიდიდეზე, არამედ მის კომბინაციაზე სხვა სიდიდეებთან, რაც ასახულია პოსნოვის ან ახალი კრიტერიუმით.

აღნიშნული შეეხება ყველა მარტივ ცვლადებს, რომლებიც წარმოდგენილია ფიზიკური სიდიდეებით (α , λ , R_0 , λ_m და ა.შ.) და განზოგადებულ ცვლადებს, რომლებიც წარმოდგენილია უგანზომილებო სიმპლექსების ან კომპლექსების სახით Le, Bi, La, Fo, Bi_m ორივე ძირითადი მამომდრავებელი ძალის მიმართ.

საკვლევი ობიექტების პირობებისათვის დამახასიათებელი კრიტერიუმების ცვალებადობის ფარგლების განსაზღვრა დიდ სირთულეს არ წარმოადგენს, რის გამოც შესაძლებელია მოდელების საკმარისი რაოდენობის წინასწარი დაგეგმვა. გავაკეთოთ აღნიშნული ფურიეს კრიტერიუმის მაგალითზე. მსაზღვრელი დრო ამ კრიტერიუმიდან შეიძლება იცვლებოდეს ნულიდან ნაგებობის არსებობის ვადამდე ან რაიმე გონივრული წინასწარ დასახული ხანგრძლივი პერიოდისათვის. სხვადასხვა ქანებისათვის ტემპერატურაგამტარობის კოეფიციენტის სიდიდეებისა და მსაზღვრელი გეომეტრიული ზომების მიხედვით დგინდება, რომ ფურიეს კრიტერიუმი შესაძლებელია იცვლებოდეს 0-150-ის დიაპაზონში. ანალოგიურად დადგინდება ყველა კრიტერიუმის ცვალებადობის არე, რის შემდეგაც განისაზღვრება მოდელების ოპტიმალური რიცხვი ისეთნაირად, რომ მოდელებზე აისახოს კრიტერიუმების ცვალებადობის მთელი

დიაპაზონი ნატურულ პირობებში. ცხადია, რომ მარტივი ცვლადებით იგივეს განხორციელება უფრო რთული, ხოლო ზოგ შემთხვევაში, შეუძლებელიც არის. აქედან ირიბად დასტურდება კრიტერიუმების სარგებლიანობა.

ქვემოთ გამოჩნდება, რომ მოდელირებით მიღებული შედეგები განზოგადებული იქნა დამატებითი მამოძრავებელი ძალების გავლენის გათვალისწინებით და წარმოდგენილია ნომოგრამების სახით. მაშასადამე, სუფთა თბოგადაცემა და თბოგადაცემა დიუფურის ეფექტის თანხლებით ერთნაირად იანგარიშება. ამ შემთხვევაში ცვალებადია გამყოფი ზედაპირის უგანზომილებო ტემპერატურა, რადგან თბოგაცემის კოეფიციენტი α , როგორც აღინიშნა, ეკვივალენტური აეროდინამიკური ნაკადებისათვის მუდმივი სიდიდეა. თავის მხრივ უგანზომილებო ტემპერატურა ცალსახა ფუნქციური დამოკიდებულებით არის დაკავშირებული პროცესის დამახასიათებელ განზოგადებულ ცვლადებთან.

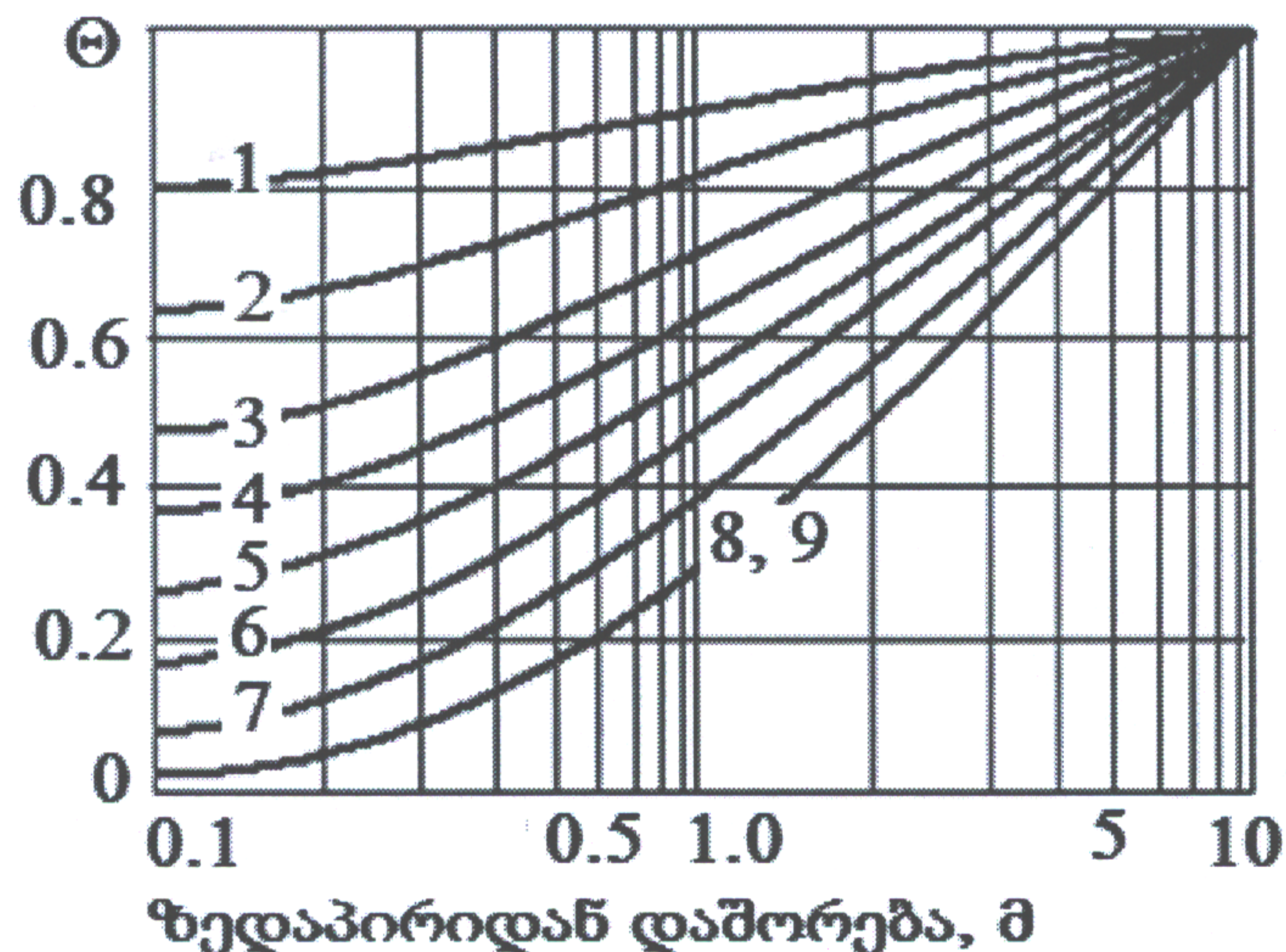
მასაგადაცემის დიფერენციალური განტოლება (2) და შესაბამისი ცალსახობის პირობები ცვლადი კოეფიციენტებით ხასიათდებიან დროსა და სივრცეში. ქანების ფიზიკური მახასიათებლები არსებითად არიან დამოკიდე-

ბული საძიებელი მასაგადაცემის პოტენციალის სიდიდეზე, რაც უნდა აისახოს მოდელზე. აღნიშნულიდან გამომდინარე, მასაგადაცემის პროცესების დამოდებლობა შედარებით რთულია.

არსებითი მნიშვნელობა ენიჭება იმ ფაქტს, რომ ბიოს ორივე კრიტერიუმის რიცხვითი სიდიდე 40-ის ფარგლებში, სამთო მასივისათვის შეიძლება მიჩნეული იქნეს ზღვრულად, რადგან მისი შემდგომი ზრდა გავლენას აღარ ახდენს არც თბოგადაცემისა და არც მასაგადაცემის პროცესების ინტენსიურობაზე.

მასაგადაცემის პროცესისათვის აღნიშნული კარგად ჩანს ნახაზიდან 2, სადაც უგანზომილები პოტენციალის წირები 8 და 9 ერთმანეთს ემთხვევიან მასივის არეალში, რომელიც გაყოფის ზედაპირიდან რადიალური მიმართულებით განლაგებულია 0.1-10 მ დიაპაზონში. აღნიშნულიდან გამომდინარე, მანძილი 50 მ რომლის მიხედვით შესრულდა მოდელირება, შეგვიძლია მივიჩნიოთ მასივის უსასრულობის კარგ იმიტაციად.

უშუალოდ გაყოფის ზედაპირზე იგივე თვისება ახასიათებს ბიოს მასაგადაცემის კრიტერიუმს რიცხვითი სიდიდის "50"-ის ზემოთ.

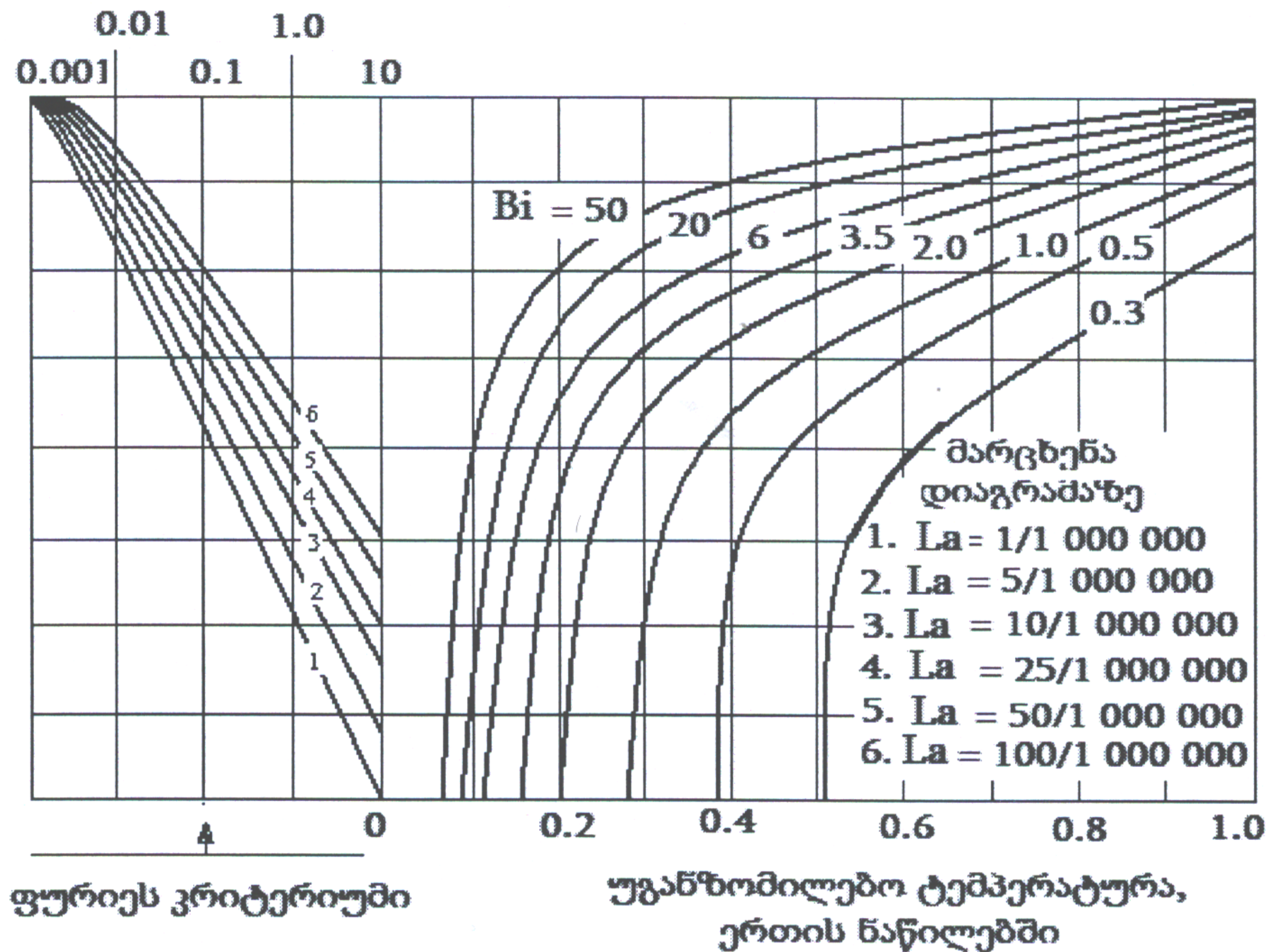


ნახ. 2. მასაგადაცემის უგანზომილები პოტენციალის განაწილება რადიალური მიმართულებით: $Fo_m = 1.12$; 1 - $Bi_m = 0.45$; 2 - 1.0; 3 - 2.3; 4 - 3.5; 5 - 6.0; 6 - 10.0; 7 - 24.0; 8 - 40.0; 9 - 75.0 (იზოთერმული მასაგადაცემა)

სავენტილაციო ნაკადის ტენშემცველობისა და ფარდობითი ტენიანობის ცვალებადობაზე გვირახის ფარგლებში, სამთო მასივიდან მასაგადაცემასთან ერთად, რომელიც ძირითადი ფაქტორია, აორთქლება წყლის თავისუფალი ზედაპირიდან მნიშვნელოვან გავლენას ახდენს და მისი გათვალისწინება აუცილებელია. ამასთანავე სითხის თავისუფალი ზედაპირიდან აორთქლება საკმაო სიზუსტითაა შესწავლილი და შეიძლება მისი ზუსტი გაანგარიშება. მთავარი კი ისაა, რომ აორთქლება სითხის თავისუფალი ზედაპირიდან და ჰიგროსკოპული მასაგადაცემა სამთო მასივიდან სხვადასხვა კანონზომიერებით ხასიათდებიან. ამის გამო ამ ნაშრომში გრუნტის წყლები განიხილება როგორც ტენის ადგილობრივი განაწილებული წყარო და გათვალისწინებაც საანგარიშო ფორმულებში დიფერენცირებულად ხდება, რის

შესახებ აღნიშნული იყო.

თბოგადაცემა დიუფურის ეფექტის გათვალისწინებით აღნიშნულ ორკომპონენტიან სისტემაში „სამთო მასივი - სავენტილაციო ნაკადი“ განზოგადდა ფურიეს, ბიოს და ამ ნაშრომში წარმოდგენილი ახალი კრიტერიუმების მიხედვით და წარმოდგენილია მე-3 ნახაზზე.



ნახ. 3. განზოგადებული დამოკიდებულება $\bar{t} = f(Fo, Bi, La)$ ორკომპონენტური სისტემისათვის “სამთო მასივი-სავენტილაციო ჭავლი”

ახალი კრიტერიუმის მსაზღვრელი რიცხვითი მნიშვნელობის $10^6 La = 1$ (წირი 1 ნახ. 3-ის მარცხენა დიაგრამაზე) შესაბამისი უგანზომილებო ტემპერატურა ფურიესა და ბიოს კრიტერიუმების სათანადო მნიშვნელობებისათვის ასახავს სუფთა თბოგადაცემის პროცესს.

ახალი კრიტერიუმის სხვა მნიშვნელობებისათვის განსაზღვრული გვირაბის კედლის უგანზომილებო ტემპერატურა ითვალისწინებს დამატებით თბოგადაცემას დიფუზიის ეფექტის სახით.

ნომოგრამით სარგებლობის წესი შემდეგია:

მარცხენა დიაგრამაზე აიღება ფურიეს კრიტერიუმის რიცხვითი სიდიდის შესაბამისი წერტილი (ფურიეს კრიტერიუმების რიცხვითი მნიშვნელობები აბსცისაზე განლაგებულია ლოგარითული წესით), საიდანაც დაეშვება ორდინატი ახალი კრიტერიუმის სიდიდის შესაბამისი წირის გადაკვეთამდე. გადაკვეთის წერტილიდან გაივლება აბსცისა მარჯვენა დიაგრამაზე ბიოს კრიტერიუმის რიცხვითი სიდიდის შესაბამისი წირის გადაკვეთამდე. გადაკვეთის ამ უკანასკნელი წერტილიდან დაეშვება ორდინატი და მარჯვენა დიაგრამის აბსცისაზე აიღება უგანზომილებო ტემპერატურის საძიებელი სიდიდე.

ნომოგრამით სარგებლობისას ფურიეს კრიტერიუმისათვის ლოგარითული კოორდინატის გამოყენება აუცილებელია.

გვირაბის კედლის უგანზომილებო ტემპერატურა ახალ კრიტერიუმთან პირდაპირ პროპორციული, ხოლო ფურიესა და ბიოს კრიტერიუმებთან უკუპროპორციული დამოკიდებულებით ხასიათდება.

როგორც აღინიშნა, მასაგადატანა კაპილარულ-ფო-

როვან სხეულებში პირდაპირი მამოძრავებელი ძალის – მასაგადატანის პოტენციალის გრადიენტის გარდა განპირობებულია დამატებითი მამოძრავებელი ძალით – სორეს ეფექტით, რომელიც გამოწვეულია ტემპერატურის გრადიენტით. ეს უკანასკნელი ეფექტი გათვალისწინებული უნდა იქნეს პოსნოვის ან ახალი კრიტერიუმით.

ქანების თერმოგრადიენტული კოეფიციენტის რიცხვითი სიდიდების მიხედვით განისაზღვრა პოსნოვის კრიტერიუმის მნიშვნელობები, რაც მათემატიკურ მოდელებზე ასახული იქნა სასაზღვრო პირობის მეშვეობით, ხოლო არაიზოთერმული მასაგადაცემა განზოგადდა მასაგაცვლის ფურიეს, ბიოსა და ახალი კრიტერიუმის მიხედვით, რომელიც წარმოდგენილია ნახაზზე 4.

ახალი კრიტერიუმის მსაზღვრელი მნიშვნელობის შესაბამისი უგანზომილებო მასაგადატანის პოტენციალი ამ ნახაზზე ასახავს იზოთერმული მასაგადაცემის შემთხვევას. ახალი კრიტერიუმის სხვა მნიშვნელობებისათვის განსაზღვრული იგივე სიდიდე ითვალისწინებს დამატებით მასაგადატანას სორეს ეფექტის ხარჯზე.

ნომოგრამით სარგებლობა ნახ. 3-ზე გამოსახული ნომოგრამის ანალოგიურად ხდება.

უგანზომილებო ტემპერატურის მსგავსად, უგანზომილებო მასაგადატანის პოტენციალი ახალ კრიტერიუმთან პირდაპირი, ხოლო ფურიესა და ბიოს მასაგაცვლის კრიტერიუმებთან უკუპროპორციული დამოკიდებულებით ხასიათდება.

არასტაციონარული თბოგადაცემის კოეფიციენტი გაუმარბელებელი და მონოლითური გამაგრების მქონე გვირაბებისათვის შესაბამისად განისაზღვრება ფორმულებით