

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

მზია ქიტოშვილი

სალექი მანქანის ავტომატური მართვის სისტემის დამუშავება
პროცესის ოპტიმიზაციის მიზნით

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილია დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი
2011წელი.

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სამთო – გეოლოგიური ფაკულტეტის
სამთო ტექნოლოგიების დეპარტამენტის
სამთო წარმოების კომპლექსური ავტომატიზაციის მიმართულებაზე

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: სრ. პროფესორი რ. ენაგელი.

რეცენზენტები: 1. სრ. პროფესორი ა. ედიბერიძე,
2. ტ.მ.კ. მ. გამცემლიძე

დაცვა შედგება 2011 წლის 6 აპრილს, 12 საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის

სამთო – გეოლოგიური ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს

კოლეგიის სხდომაზე №11,

კორპუსი III, აუდიტორია 209

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 77.

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ – ს

ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის

სტუ – ს ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი
ასოც. პროფესორი

/დ. თევზაძე/

შესავალი

საქართველოს სასარგებლო წიაღისეულთა შორის ჭიათურის აუზის მანგანუმის საბადოს განსაკუთრებული ადგილი უკავია. აქ მოპოვებული მადანი თავისი ფიზიკო-ქიმიური თვისებებისა და მინერალური შემცველობის გამო მსოფლიოში გამორჩეულია როგორც ერთ-ერთი საუკეთესო.

მანგანუმის მამდიდრებელ ფაბრიკებში სხვადასხვა მაღაროდან მოწოდებული მადანი ძირითადად მდიდრდება კომბინირებული სქემით, რომელიც ითვალისწინებს მის დამსხვრევას, დაქუცმაცებას, კლასიფიკაციას და დალექვას. მათგან დალექვა წარმოადგენს პროცესს, რომელიც იძლევა მამდიდრებელი ფაბრიკის საბოლოო პროდუქტს- გარკვეული ხარისხის მანგანუმის კონცენტრატს.

დალექვა არის გრავიტაციული მეთოდით მადნის გამდიდრების ყველაზე გავრცელებული მეთოდი, რომელიც გულისხმობს გასამდიდრებელი მასალის დაყოფას სიმკვრივის მიხედვით წყლის აღმავალი და დაღმავალი ნაკადების ზემოქმედებით მინერალების შეზღუდული ვარდნის პირობებში. აქ საკაერო განყოფილებაში პერიოდულად მიწოდებული ჰაერი ახდენს საგების პულსაციას და გასამდიდრებელი მასალის განშრევებას.

დისერტაციაში განხილულია მანგანუმის მადნის სალექ მანქანაში გამდიდრების პროცესის ოპტიმალური მართვის სისტემის აგების საკითხები.

თემის აქტუალურობა. სასარგებლო წიაღისეულის გადამუშავების ეფექტურობის ზრდა ხელს უწყობს მრეწველობის მომიჯნავე დარგების განვითარებას. გამდიდრების შედეგად მიღებული პროდუქტის თვითღირებულების შემცირება, ხარისხიანი პროდუქციის მიღება, მადნიდან სასარგებლო კომპონენტების კომპლექსური და სრული ამოკრეფა, კონცენტრატის კონდიციურობის უზრუნველყოფა და მამდიდრებელი პროცესების ინტენსიფიკაცია აქტუალურს ხდის გამდიდრების ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმალურ მართვას, მამდიდრებელ ფაბრიკებზე ტექნოლოგიური პროცესების მართვის ავტომატიზებული სისტემების დამუშავებას და დანერგვას.

ზემოაღნიშნული განსაზღვრავს წარმოდგენილი სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალურობას, რამდენადაც იგი ეძღვნება დალექვის, როგორც მანგანუმის მადნის გამდიდრების ძირითადი ტექნოლოგიური პროცესის, ოპტიმიზაციის ხერხის შემუშავებას და შესაბამისი ავტომატური მართვის სისტემის ფუნქციური სტრუქტურის აგებას.

სამუშაოს მიზანი. დალექვის პროცესის საოპტიმიზაციო მათემატიკური მოდელის აგება; პროცესის ოპტიმიზაციის ხერხის შემუშავება; მმართველი სიდიდეების ოპტიმალური დამოკიდებულებების პოვნა შემაშფოთებელი ზემოქმედებებისაგან, რომელებიც უზრუნველყოფენ დავალებული ხარისხის კონცენტრატის მაქსიმალურ გამოსავალს; მართვის სისტემის კომპიუტერული მოდელის აგება და კვლევა; პროცესის ოპტიმალური მართვის სისტემის ფუნქციური სტრუქტურის შედგენა.

კვლევის ობიექტი და მეთოდები. კვლევის ობიექტია ჭიათურის ცენტრალური დამყვანი ფაბრიკის პირობებში მანგანუმის მადნის უდგუშო (პნევმატურ) სალექ მანქანაში გამდიდრების პროცესი. დალექვის პროცესი ხორციელდება მანქანაში, რომლის ოთხი კამერის ცხრილსქვედა პროდუქტი ქმნის კონდიციურ კონცენტრატს.

ტექნოლოგიური პროცესის მათემატიკური განზოგადებული მოდელი დამუშავდა ალბათობის თეორიისა და მათემატიკური სტატისტიკის, აგრეთვე ავტომატური მართვისა და ოპტიმიზაციის თეორიის საფუძველზე; ექსპერიმენტული მონაცემები დამუშავდა უმცირეს კვადრატთა მეთოდით; კვლევები ჩატარდა კომპიუტერული პროგრამების Matlab და Simulink-ის გამოყენებით; ოპტიმიზაციის ხერხი დამუშავდა წრფივი დაპროგრამების მეთოდის გრაფიკული ვარიანტის ბაზაზე.

ნაშრომის ძირითადი შედეგები და მეცნიერული სიახლე.

– განხილულია დალექვის პროცესი, როგორც ავტომატური მართვის ობიექტი. შერჩეულია ოპტიმიზაციის კრიტერიუმი. მიზნის და შეზღუდვის ფუნქციაში შემავალი კოეფიციენტები განსაზღვრულია უმცირეს კვადრატთა მეთოდით. მონაცემები აღებულია ჭიათურის ცენტრალურ დამყვან ფაბრიკაზე ჩატარებული ექსპერიმენტის შედეგად;

– მრავალკამერიანი სალექი მანქანის ავტომატური მართვისათვის მიზანშეწონილია გამოვიყენოთ მართვის ხერხი, რომელიც უზრუნველყოფს საერთო კონცენტრატის მაქსიმალურ გამოსავალს თითოეულ კამერაში მიწოდებული ჰაერის რაოდენობის რეგულირებით;

– დასმულია ოპტიმიზაციის ამოცანა და მის გადასაჭრელად გამოყენებულია წრფივი დაპროგრამების მეთოდის გრაფიკული ვარიანტის მოდიფიკაცია;

– ჩამოყალიბებულია პროცესის მართვის ალგორითმი;

– ნახვენებია რეჟიმული სიდიდით შემაშვოთებელი სიდიდის შეცვლის შესაძლებლობა;

– მოცემულია ავტომატური მართვის სისტემის ფუნქციური სტრუქტურა, რომელიც უზრუნველყოფს მიღებული ოპტიმალური დამოკიდებულებების რეალიზაციას.

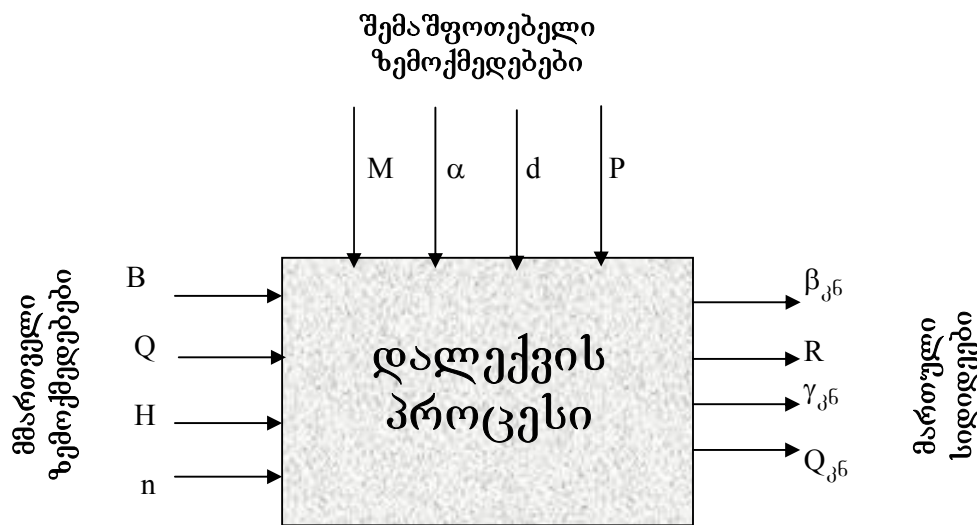
შედეგების გამოყენების სფერო. სადისერტაციო ნაშრომის შედეგები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს სასარგებლო წიაღისეულის დაღეჭვის პროცესით გამდიდრების ავტომატური მართვის სისტემის დაპროექტების, გამართვის და ექსპლუატაციის დროს.

დისერტაციის სტრუქტურა და მოცულობა. დისერტაცია შეიცავს შესავალს, ექვს თავს, საერთო დასკვნებს, გამოყენებული ლიტერატურის ნუსხას (55 დასახელება) და დანართს. სადისერტაციო ნაშრომის საერთო მოცულობა შეადგენს 159 გვერდს, მათ შორის 55 ნახაზს, 11 ცხრილს. დანართები წარმოდგენილია 9 გვერდზე.

დისერტაციის შინაარსი

I თავი. დაღეჭვის პროცესის ალბათობითი მოდელი

დაღეჭვის პროცესი მრავალ ფაქტორზეა დამოკიდებული, რის გამოც ის მართვის თვალსაზრისით წარმოადგენს რთულ ობიექტს. როგორც მართვის ობიექტი, ის შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:



ნახ.1. დაღეჭვის პროცესი -ავტომატიზაციის ობიექტი

ნახ.1-დან ჩანს, რომ პროცესის მმართველ ზემოქმედებებად შეიძლება მივიღოთ მიწოდებული გასამდირებელი მადნის Q, წყლის H და ჰაერის B რაოდენობა; ასევე პულსატორის სიშირე n. პროცესზე დიდ გავლენას ასევე ახდენენ შემაშფოთებელი ზემოქმედებები: მადნის მინერალოგიური შედგენილობა M, სასარგებლო კომპონენტის შემცველობა გასამდირებელ მადანში α, მადნის საშუალო სიმსხო d და ჰაერის წნევა მანქანის რესივერში P.

პროცესზე მოქმედი ზემოქმედებებით განისაზღვრება საგები-მადნის სისტემის გაფხვიერება R, რომლიც განსაზღვრავს პროცესის ხარისხობრივ მაჩვენებლებს - β_{კნ} და γ_{კნ}-ს.

გამდირების ტექნოლოგიური პროცესის მართვის ამოცანა დაიყვანება მმართველი სიდიდეების რეგულირებაზე შემაშფოთებელი სიდიდეების მიხედვით. მართვის მიზანია ისეთი შედეგების მიღწევა, რომლებიც აკმაყოფილებენ ოპტიმალურობის განსაზღვრულ, შერჩეულ კრიტერიუმს.

მიუხედავად გადასატრედი ამოცანის ხასიათისა და სირთულისა, კრიტერიუმის არჩევა ყოველთვის ემსახურება ერთ საერთო მიზანს – მიღწეული იქნეს ოპტიმალური ეკონომიკური და ტექნოლოგიური მაჩვენებლები.

მამდირებელი პროცესების მართვის თვალსაზრისით უპირატესობა უნდა მიენიჭოს ეკონომიკურ კრიტერიუმებს. მაგრამ მამდირებელი ფაბრიკების ტექნოლოგიური პროცესების ოპტიმიზაციისათვის ასეთი კრიტერიუმის გამოყენება ყოველთვის არ ხერხდება, მაგალითად, მონაცემთა უკმარისობის გამო. გარდა ამისა, ეკონომიკური მიდგომა სხვებისაგან იმით განსხვავდება, რომ მიზნობრივი ფუნქცია მთლიანობაში უნდა ითვალისწინებდეს როგორც პროდუქციის მიწოდებლის (ამ შემთხვევაში, მამდირებელი ფაბრიკის), ასევე მომხმარებლის მოთხოვნებს. ამასთან, მომხმარებლის მოთხოვნების გათვალისწინების უნივერსალურ მეთოდს წარმოადგენს შეზღუდვების დადება პროდუქციის (კონცენტრატის) ხარისხზე. თუ ჩავთვლით, რომ ფასები გამომდინარეობს ბაზრის მოთხოვნებიდან, აღნიშნული შეზღუდვებისას შეიძლება ჩამოვაყალიბოთ ეკონომიკური კრიტერიუმი მხოლოდ მამდირებელი ფაბრიკის მოთხოვნების ბაზაზე. ასეთ კრიტერიუმებში საექსტრემიზაციო მაჩვენებელი შეიძლება იყოს პროდუქციის თვითღირებულება ან მისგან გამომდინარე სხვა სიდიდეები, მაგალითად სასარგებლო მინერალის ამოკრეფა, კონცენტრატის გამოსავალი.

მოყვანილის გამო, ჭიათურის ცენტრალური დამყვანი ფაბრიკის დალექვის პროცესის ლოკალური მართვის სისტემის აგების დროს მიღებულია ტექნოლოგიური კრიტერიუმი, რომელის მიხედვით კონცენტრატის გამოსავალი γ მიღებულია სამაქსიმიზაციო მაჩვენებლად და კონცენტრატის ხარისხი β კი მაჩვენებლად, რომელიც სტაბილიზებული უნდა იქნეს დავალეზულ (მოცემულ) დონეზე. მაშინ ოპტიმიზაციის კრიტერიუმი შემდეგნაირად ჩამოყალიბდება:

$$\gamma \rightarrow \text{extr}; \quad (1)$$

$$\beta = \text{const}. \quad (2)$$

დალექვის ტექნოლოგიური პროცესისათვის γ და β მაჩვენებლები შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც B_i თითოეული კამერის მმართველი სიდიდისა და α, Q, P შემაშფოთებელი სიდიდეების ფუნქციები:

$$\gamma = F_1(B_i, \alpha, Q, P), \quad (3)$$

$$\beta = F_2(B_i, \alpha, Q, P). \quad (4)$$

(1)-(4) გამოსახულებების გათვალისწინებით ოპტიმიზაციის ზემოაღნიშნული ამოცანა შემდეგი სახით შეიძლება ჩამოყალიბდეს:

$$\gamma = F_1(B_i, \alpha, Q, P) \rightarrow \max, \quad (5)$$

$$\beta = F_2(B_i, \alpha, Q, P) = \beta_{\text{ვ}}, \quad (6)$$

სადაც $\beta_{\text{ვ}}$ არის β მაჩვენებლის დავალეზული (მოცემული) მნიშვნელობა.

(5) მიზნობრივი ფუნქციის ექსტრემიზაციის დროს (6) შეზღუდვის ტოლობის გარდა გათვალისწინებული უნდა იქნეს შეზღუდვები მმართველი სიდიდისათვის:

$$B_{i \min} \leq B_i \leq B_{i \max}. \quad (7)$$

ოპტიმიზაციის ამოცანის გადაწყვეტის შედეგად მიღებული უნდა იქნეს ოპტიმალური დამოკიდებულებები მმართველ და შემაშფოთებელ სიდიდეებს შორის:

$$B_i = f(\alpha, Q, P). \quad (8)$$

პროცესის მათემატიკური მოდელი აგებულ იქნა გამდიდრების ტექნოლოგიური პროცესის მაოპტიმიზებელი მეთოდის მიხედვით, რომელიც პროცესს განიხილავს როგორც გასამდიდრებელი მადნის საწისი მდგომარეობიდან (ხარისხით α)

ბოლო მდგომარეობაში (ხარისხით β) ალბათობით თანამიმდევრული გადასვლების ერთობლიობას. გადასვლა ყოველი მდგომარეობიდან შემდეგში ხდება გარკვეული ალბათობით და საწყისი მდგომარეობიდან ბოლო მდგომარეობამდე საჭირო „პირობითი“ გადასვლების რიცხვი მაქსიმალური ალბათობით ხორციელდება მმართველი სიდიდის შესაბამისი მნიშვნელობის დროს. საკითხის ასეთი წარმოდგენის საფუძველზე ჩამოყალიბებულია მამდიდრებელი ფაბრიკების ტექნოლოგიური პროცესების ალბათობითი მოდელი, რომელიც გამოსადეგია შემაშფოთებელ და მმართველ სიდიდეებს შორის ოპტიმალური (8) დამოკიდებულებების მისაღებად.

ზემოაღნიშნულის საფუძველზე მიღებულია კონცენტრატის გამოსავლის და ხარისხის ფორმულები

$$\gamma_i(B_i) = a B_i^{k_i} e^{-c_i B_i}, \quad \beta(B_i) = \alpha + b B_i^{\psi_i}, \quad \beta(z) = \alpha + b_0 z^{\theta_i}, \quad (9)$$

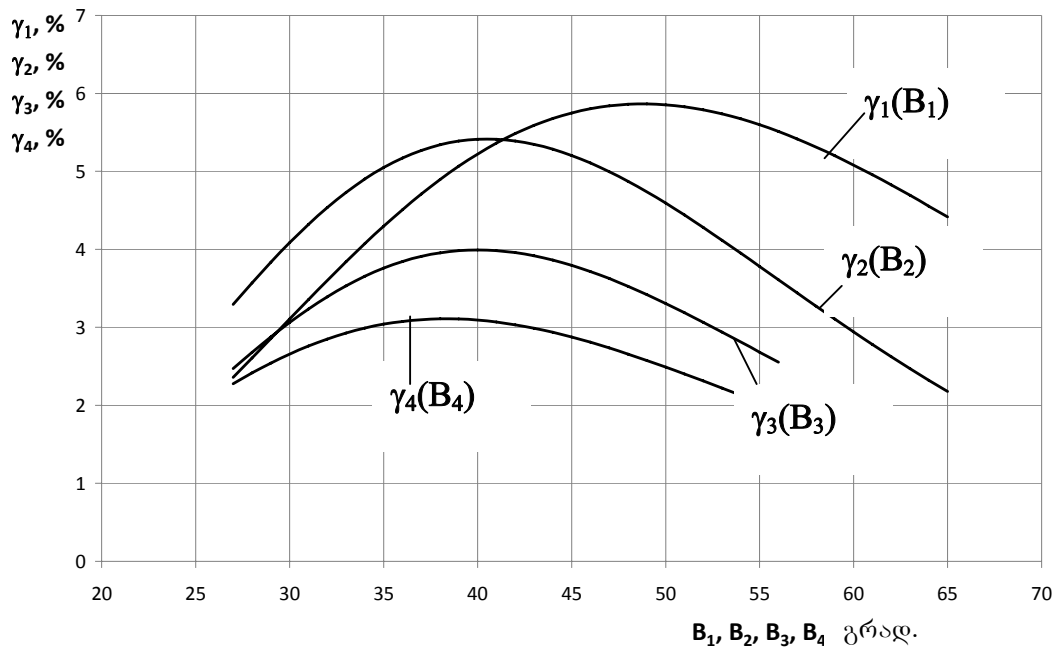
რომლებიც ასახავენ კონცენტრატის გამოსავლის და ხარისხის დამოკიდებულებას სალექი მანქანის კამერის საჰაერო განყოფილებაში მიწოდებული ჰაერის რაოდენობისაგან (მმართველი სიდიდისაგან) B_i და შემაშფოთებელი Z ზემოქმედებებისაგან. აქ i არის მანქანის კამერის რიგითი ნომერი, ხოლო $a, b, b_0, k_i, c_i, \psi_i, \theta_i$ კოეფიციენტები განისაზღვრება ექსპერიმენტულად.

II თავი. მიზნის ფუნქცია

გამოსავლის ფორმულა (9) მმართველი სიდიდისაგან კონცენტრატის გამოსავლის წყვილი კორელაციური დამოკიდებულების მოდელია. იგულისხმება, რომ პროცესის სხვა შესავალი სიდიდეები იცვლება ისევე, როგორც იცვლებოდა ექსპერიმენტის დროს და გამოსახულება (9) განსაზღვრავს გამოსავლის საშუალო მნიშვნელობას მოდელში შეყვანილი მმართველი სიდიდის მოცემული მნიშვნელობის დროს. ექსპერიმენტული მონაცემების საფუძველზე გამოსავლის ფორმულას სალექი მანქანის ცალკეული კამერისათვის აქვს სახე:

$$\begin{aligned} \gamma_1(B_1) &= 8.01 \cdot 10^{-8} B_1^{6.271} e^{-0.1285 B_1}; & \gamma_3(B_3) &= 2.43 \cdot 10^{-8} B_3^{7.036} e^{-0.1759 B_3}; \\ \gamma_2(B_2) &= 4.41 \cdot 10^{-8} B_2^{6.896} e^{-0.1703 B_2}; & \gamma_4(B_4) &= 8.72 \cdot 10^{-7} B_4^{5.703} e^{-0.1489 B_4}. \end{aligned} \quad (10)$$

შესაბამისი გრაფიკები მოყვანილია ნახ. 2-ზე. (ექსპერიმენტის დროს ჰაერის ხარჯი იზომებოდა ჰაერის მიმწოდებელი ფარსაკეტის შემობრუნების კუთხით - B, გრად). როგორც ვხედავთ, ჰაერის მომატებით თითოეული კამერის საჰაერო განყოფილებაში იზრდება კონცენტრატის გამოსავალი γ (რადგან უმჯობესდება განშრეების პირობები). ამასთან ოთხივე დამოკიდებულება ატარებს ექსტრემალურ ხასიათს, რადგან ჰაერის ხარჯის მატება გარკვეული მნიშვნელობის შემდეგ იწვევს კონცენტრატის გამოსავლის γ შემცირებას (ჭარბი რაოდენობის ჰაერის გამო გასამდიდრებელი მასალა სულ შეწონილ მდგომარეობაშია და ვერ ასწრებს განშრეებას).



ნახ. 2. სალექი მანქანის მიზნის ფუნქციები

ზემომოყვანილი ალბათური მოდელის საფუძველზე ასევე აიგო კონცენტრატის გამოსავლის მრავლობითი დამოკიდებულება მმართველი სიდიდეებისაგან ანუ მიზნის ფუნქცია

$$\gamma(B_1, B_2, B_3, B_4) = 9.72 \cdot 10^{-9} B_1^{3.0898} B_2^{2.3205} B_3^{0.5174} B_4^{2.0475} \cdot e^{-0.075B_1 - 0.0517B_2 - 0.0183B_3 - 0.059B_4} \quad (11)$$

ჩატარდა (10) წყვილი და (11) მრავლობითი დამოკიდებულებების ანალიზი, რომელმაც აჩვენა: სალექი მანქანის თითოეული კამერის საჰაერო

განყოფილებაში ჰაერის ხარჯის მნიშვნელობების სათანადო შერჩევით შესაძლებელია მივაღწიოთ, რომ კონცენტრატის გამოსავალმა მნიშვნელოვნად გადააჭარბოს ექსპერიმენტის დროს მიღებულ $\bar{\gamma}$ საშუალო მნიშვნელობას.

III თავი. შეზღუდვის ფუნქცია

აგებულ იქნა კონცენტრატის ხარისხის მრავლობითი დამოკიდებულება მმართველი და შემაშფოთებელი ზემოქმედებებისაგან, ანუ შეზღუდვის ფუნქცია

$$\beta(B_1, B_2, B_3, B_4, \alpha, Q, P) = \alpha + 64.4609B_1^{-0.4298} B_2^{0.0019} B_3^{-0.2245} B_4^{0.0123} \alpha^{-0.2031} Q^{0.2262} P^{-0.5394}. \quad (12)$$

(12) ფუნქციის ანალიზის მიზნით განისაზღვრა ცალკეული კამერის საჰაერო განყოფილებაში მიწოდებული ჰაერის რაოდენობისაგან კონცენტრატის ხარისხის დამოკიდებულება, როცა სხვა სამ კამერაში მიწოდებულ ჰაერს და შემაშფოთებელ ზემოქმედებებს აქვთ საშუალო მნიშვნელობა $B_{1s}, B_{2s}, B_{3s}, B_{4s}, \alpha_s, Q_s, P_s$. შევიტანოთ (12) -ში მოყვანილი სიდიდეების ექსპერიმენტის მონაცემებით განსაზღვრული საშუალო მნიშვნელობები:

$$B_{1s}=41.93, B_{2s}=33.53, B_{3s}=34.51, B_{4s}=35.86, \alpha_s=24.78, Q_s=32.48, P_s=0.25. \quad (13)$$

სათანადო გარდაქმნებით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \beta(B_1, B_{2s}, B_{3s}, B_{4s}, \alpha_s, Q_s, P_s) &= 24.78 + 73.738B_1^{-0.4298}, \\ \beta(B_{1s}, B_2, B_{3s}, B_{4s}, \alpha_s, Q_s, P_s) &= 24.78 + 14.689B_2^{-0.00199}, \\ \beta(B_{1s}, B_{2s}, B_3, B_{4s}, \alpha_s, Q_s, P_s) &= 24.78 + 32.775B_3^{-0.2245}, \\ \beta(B_{1s}, B_{2s}, B_{3s}, B_4, \alpha_s, Q_s, P_s) &= 24.78 + 14.159B_4^{-0.0123}. \end{aligned} \quad (14)$$

როგორც მიღებული გამოსახულებებიდან ჩანს, კონცენტრატის ხარისხი ძირითადად დამოკიდებულია პირველ და მესამე კამერაში მიწოდებული ჰაერის რაოდენობაზე. ამაზე მიუთითებენ შესაბამისი ხარისხის მაჩვენებლები: B_4 -ის ხარისხის მაჩვენებელი (12) და (14)-ში ერთი რიგით, ხოლო B_2 -ის ხარისხის მაჩვენებელი კი ორი რიგით ნაკლებია B_1 და B_3 -ის ხარისხის მაჩვენებლებზე. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ B_2 და B_4 -ს გავლენა დაღეჟვის ხარისხობრივ მაჩვენებლებზე უმნიშვნელოა და მიზანშეწონილია პროცესის მართვის დროს მათი სიდიდის დაფიქსირება შესაბამისი წყვილი დამოკიდებულებით განსაზღვრულ ექსტრემალურ მნიშვნელობაზე.

ამავე დროს უნდა გავითვალისწინოთ რომ დალექვის პროცესი, როგორც ყველა რეალური ტექნოლოგიური პროცესი, ხასიათდება შემაშფოთებელი ზემოქმედებების ცვალებადობით. მაშასადამე, ყველა ჩამოთვლილი დამოკიდებულება ატარებს არა ფუნქციონალურ, არამედ კორელაციურ ხასიათს. მაგრამ B მმართველი სიდიდის დალექვის პროცესის γ და β მაჩვენებლებზე ზემოქმედების ხარისხის შეფასების დროს ვგულისხმობთ, რომ შემაშფოთებელი ზემოქმედებების ცვალებადობა ემორჩილება განაწილების კანონს, რომელიც ახლოსაა ნორმალურთან. ამგვარად $\gamma = f(B)$ და $\beta = f(B)$ დამოკიდებულებები ატარებენ ალბათურ ხასიათს.

შემაშფოთებელი ზემოქმედებების კონცენტრატის ხარისხზე ზეგავლენის ხასიათის დასადგენად შეზღუდვის ფუნქციაში (12) კვლავ შევიტანოთ ოთხივე კამერის მმართველი და შემაშფოთებელი ზემოქმედებების საშუალო მნიშვნელობები (13)-დან და მოვახდინოთ გარდაქმნები. შედეგად მივიღებთ:

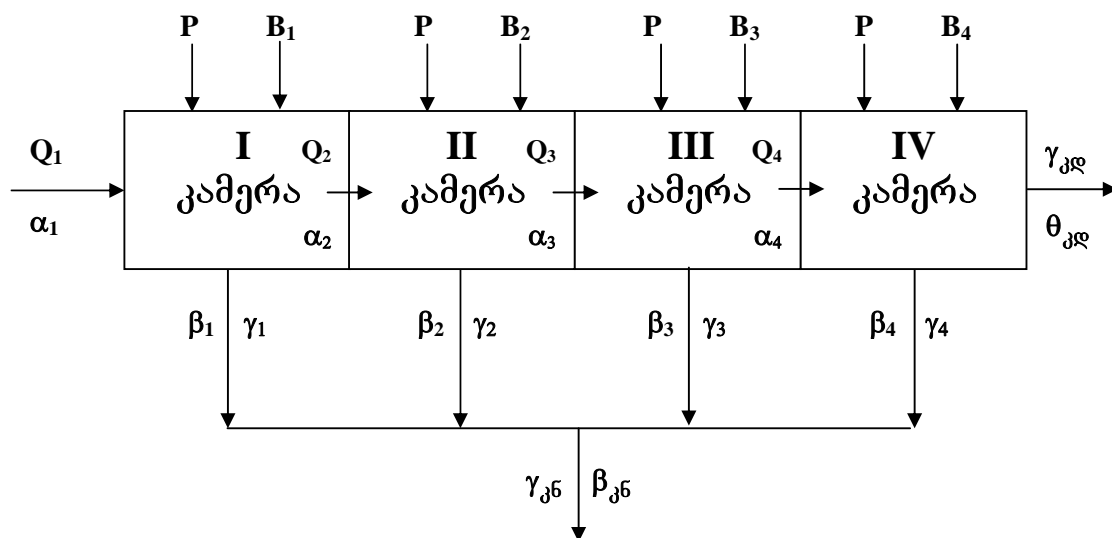
$$\beta(B_{1b}, B_{2b}, B_{3b}, B_{4b}, \alpha, Q_b, P_b) = \alpha + 28.407\alpha^{-0.2031}, \quad (15)$$

$$\beta(B_{1b}, B_{2b}, B_{3b}, B_{4b}, \alpha_b, Q, P_b) = 24.78 + 6.7359Q^{0.2261}. \quad (16)$$

$$\beta(B_{1b}, B_{2b}, B_{3b}, B_{4b}, \alpha_b, Q_b, P) = 24.78 + 7.03877P^{-0.53944}. \quad (17)$$

IV თავი. მართვის ხერხის შერჩევა

დალექვის პროცესის მართვის ხერხის შერჩევისათვის იგი წარმოვადგინოთ ნახ.3-ზე მოყვანილი სახით



ნახ. 3. ოთხკამერიანი სალექი მანქანა – ავტომატური მართვის ობიექტი

როგორც ვხედავთ, სალექი მანქანა შედგება ოთხი იდენტური კამერისაგან თავისი დამოუკიდებელი შესავალი და გამოსავალი სიდიდებით. ამ მიზეზით, ტრადიციულად, დალექის პროცესის ავტომატიზაციის დროს მოყვანილი კრიტერიუმის რეალიზაცია ხდება თითოეული კამერისათვის ცალკე-ცალკე მიღებული შედეგები იკრიბება და ვლებულობთ სრულ სურათს.

ნახ. 3 -დან ასევე ჩანს, რომ ოთხივე კამერის მზა პროდუქტი (კონცენტრატი) იკრიბება და წარმოქმნის სალექი მანქანის საერთო, ჯამურ კონცენტრატს. ამის გამო, განვიხილოთ საკითხისადმი მეორე, განსხვავებული მიდგომა. მივიღოთ, რომ ავტომატიზაციის თვალსაზრისით სალექი მანქანა არის არა ოთხი დამოუკიდებელი მართვის ობიექტი ოთხი შესავალი B_1, B_2, B_3, B_4 და ოთხი გამოსავალი $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ სიდიდით, არამედ ერთი ობიექტი ოთხი მმართველი ზემოქმედებით B_1, B_2, B_3, B_4 და ერთი მართული სიდიდით γ . ამ შემთხვევაში, მათემატიკურ მოდელში კონცენტრატის გამოსავლის ფუნქცია (10) შეიცვლება მმართველ B_1, B_2, B_3, B_4 ზემოქმედებებსა და კონცენტრატის საერთო გამოსავალს შორის მრავლობითი დამოკიდებულებით (11).

(11) და (12) ფუნქციების ანალიზი მიუთითებს დალექის პროცესზე სამივე შემაშფოთებელი ზემოქმედების მნიშვნელოვან გავლენაზე:

1. გასამდიდრებელ მადანში მანგანუმის შემცველობა α არის ძირითადი შემაშფოთებელი ზემოქმედება, რომლის ცვალებადობაზეა დამოკიდებული როგორც კონცენტრატის ხარისხი, ისე მისი გამოსავალი. კერძოდ, α -ს გაზრდით ორივე იზრდება და პირიქით. ამის გამო პროცესის მმართველი ზემოქმედებების რეგულირება უნდა განხორციელდეს ამ პარამეტრის, როგორც ძირითადი შემაშფოთებელი ზემოქმედების, ცვალებადობის მიხედვით.

2. ჰაერისა წნევა საჰაერო განყოფილებაში P არის ზემოქმედება, რომლის ცვალებადობა ახდენს მნიშვნელოვან გავლენას γ -ს და β -ს სიდიდეზე. იმის გამო, რომ მანქანის საჰაერო განყოფილებაში მიწოდებული ჰაერის წნევა და ხარჯი ურთიერთდამოკიდებული პარამეტრია, ჰაერის რაოდენობის რეგულირების დროს აუცილებელია გავითვალისწინოთ მისი წნევის ცვალებადობა.

3. Q არის შემაშფოთებელი ზემოქმედება, რომლის ცვალებადობა $\gamma = f(Q)$ ფუნქციას აძლევს ექსტრემალურ ხასიათს. მისი მაქსიმუმი იმყოფება ექსპერიმენტის მონაცემებით დაფიქსირებულ საშუალო მწარმოებლურობის

სიახლოვეს. ეს მიუთითებს იმაზე, რომ მიზანშეწონილია მოვახდინოთ მისი სტაბილიზაცია ექსპერიმენტის დროს დაფიქსირებული $\bar{Q}_{\text{ექ}}=30,5\text{ტ/სთ}$ დონეზე.

ზემოთმოყვანილი ანალიზის საფუძველზე შეგვიძლია მივიღოთ სადექი მანქანის ავტომატური მართვის ხერხი. ამისათვის გამოსახულებებში (11) და (12) შევიტანოთ B_2, B_4 და Q -ს ექსტრემალური მნიშვნელობები:

$$B_2=45,28 \text{ გრად.}, \quad B_4=34,73\text{გრად} \quad \text{და} \quad Q=30,5\text{ტ/სთ}. \quad (18)$$

სათანადო გარდაქმნებით მივიღებთ მიზნის და შეზღუდვის ფუნქციების საბოლოო გამოსახულებებს:

$$\gamma(B_1, B_3,) = 1.29 \cdot 10^{-3} B_1^{3.0898} B_3^{0.5174} \cdot e^{-0.075 \cdot B_1 - 0.0183 \cdot B_3} \rightarrow \max, \quad (19)$$

$$\beta(B_1, B_3, \alpha, P) = \alpha + 149 \cdot B_1^{-0.4298} B_3^{-0.2245} \cdot \alpha^{-0.2031} P^{-0.5394} = \beta_{\text{დ}}. \quad (20)$$

დარჩა ოპტიმიზაციის კრიტერიუმის მესამე წევრის - მმართველი ზემოქმედების ცვალებადობის ზღვრების დადგენა.

პირველ და მესამე კამერაში მიწოდებული ჰაერის რაოდენობის ცვალებადობის ზღვრები დავადგინოთ (19) და (20) დამოკიდებულებებიდან. ამისათვის ვისარგებლოთ ამ ფორმულებში შემავალი მმართველი, მართული და შემაშფოთებელი ზემოქმედებების ექსპერიმენტის მონაცემებით განსაზღვრული საშუალო მნიშვნელობებით (13). ამ სიდიდეებიდან $\bar{B}_3 = 34.5$ შევიტანოთ (19) ფორმულაში. გადაანგარიშებით მივიღებთ

$$\gamma(B_1,) = 4.29 \cdot 10^{-3} B_1^{3.0898} \cdot e^{-0.075 \cdot B_1}. \quad (21)$$

იგივე (19) ფორმულაში თუ შევიტანთ $\bar{B}_1 = 41,9$ -ს, მივიღებთ

$$\gamma(B_3) = 5.734 \cdot B_3^{0.5174} \cdot e^{-0.0183 \cdot B_3}. \quad (22)$$

(21) და (22) ფორმულებით აგებული გრაფიკები მოყვანილია ნახ. 4-ზე.

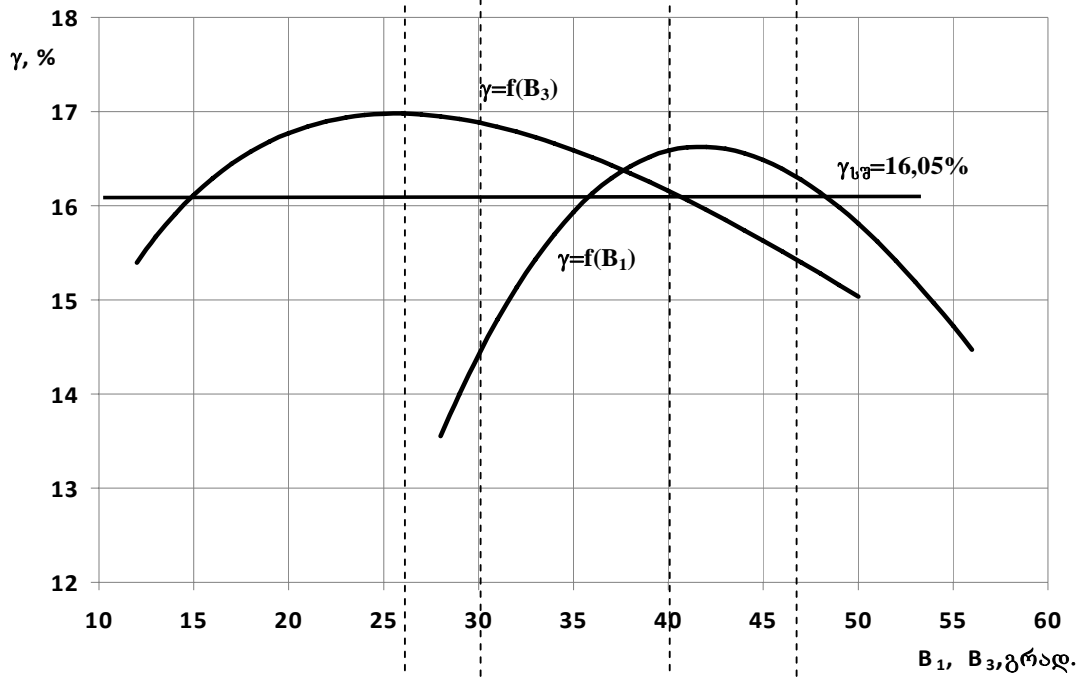
(4)-დან $\bar{B}_3 = 34.5$, $\bar{\alpha} = 24,78\%$ და $\bar{P} = 0.25$ შევიტანოთ (20)-ში. მივიღებთ:

$$\beta(B_1) = 24.78 + 73.7 \cdot B_1^{-0.4298} \quad (23)$$

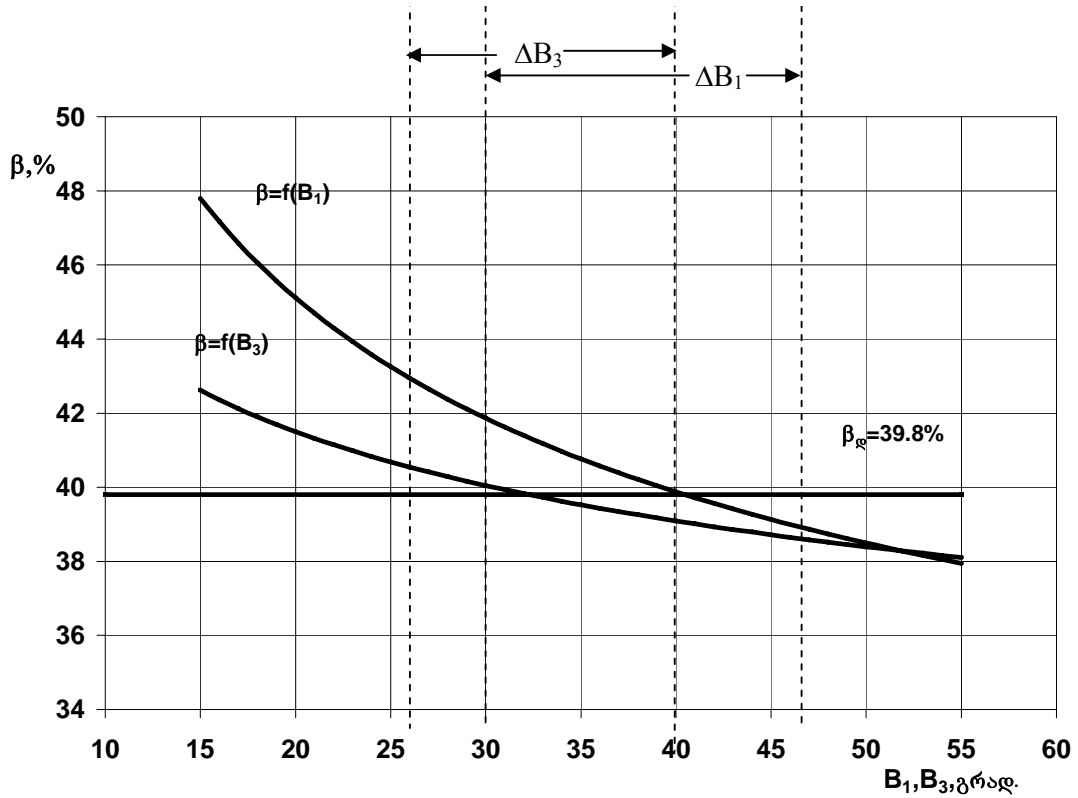
(13)-დან $\bar{B}_1 = 41,9$, $\bar{\alpha} = 24,78\%$ და $\bar{P} = 0.25$ შევიტანოთ (20)-ში.

გადაანგარიშებით მივიღებთ:

$$\beta(B_3) = 24.78 + 32.76 \cdot B_3^{-0.2245} \quad (24)$$



ნახ. 4. დამოკიდებულებები $\gamma = f(B_1)$ და $\gamma = f(B_3)$



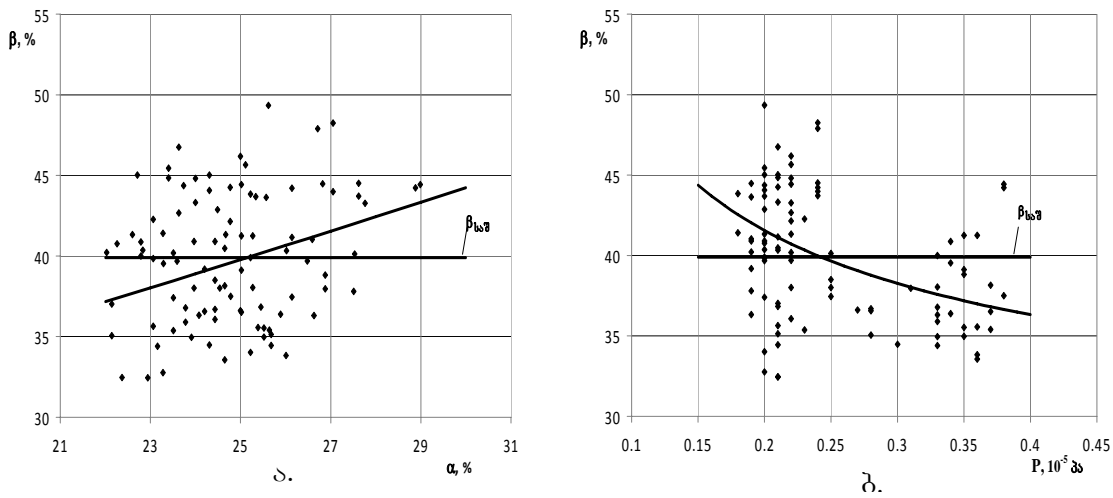
ნახ. 5. დამოკიდებულებები $\beta = f(B_1)$ და $\beta = f(B_3)$

ნახ. 5-ზე მოყვანილია (23) და (24) გამოსახულებებით აგებული გრაფიკები. ასევე დატანილია კონცენტრატში მანგანუმის შემცველობის საშუალო მნიშვნელობის $\bar{\beta} = 39.8\%$ შესაბამისი კორიზონტალური წრფე.

თუ დაგაკვირდებით მოყვანილ გრაფიკებს, შეგვიძლია მივიღოთ B_1 -ის ცვალებადობის დიაპაზონი, რომელიც უზრუნველყოფს $\gamma_1 = f(B_1)$ ფუნქციის ცვალებადობას მინიმუმიდან მაქსიმუმამდე. ეს დიაპაზონი მოთავსებულია $B_1=30-47$ გრად. შუალედში. დიაპაზონის ცენტრია $B_1=38$ გრად. ანალოგიურად განვსაზღვრავთ B_3 -ის ცვალებადობის დიაპაზონის მდებარეობს $B_3=26-40$ გრად. შუალედში ცენტრით $B_3=33$ გრად..

B_1 და B_3 -ის ცვალებადობის დიაპაზონები ΔB_1 და ΔB_3 წყვეტილი წრფეებით დატანილია ნახ. 4 და ნახ. 5-ზე.

α და P შემაშფოთებელი ზემოქმედებების ცვალებადობის ზღვრები შეგვიძლია დავადგინოთ ნახ. 6-ზე მოყვანილი $\beta = f(\alpha)$ და $\beta = f(P)$ დამოკიდებულებების და შესაბამისი კორელაციური ველის საშუალებით. წერტილების განლაგებით ჩანს, რომ ექსპერიმენტის დროს მანგანუმის შემცველობა გასამდიდრებელ მასალაში იცვლებოდა დიაპაზონში $\alpha=22\ldots 28\%$, ხოლო ჰაერის წნევა სალექი მანქანის რესივერში კი $P=0.18\ldots 0.38 \times 10^{-5}$ პა შუალედში. პროცესის ავტომატური მართვის დროს მიზანშეწონილია შეიზღუდოს ჰაერის წნევის ზედა ღონე 0.28×10^{-5} პა სიდიდეზე, რადგან მეტი მნიშვნელობის დროს ხდება კონცენტრატის ხარისხის შემცირება. თუ შემაშფოთებელი ზემოქმედება α არის დამოუკიდებელი ცვლადი



ნახ.6. კონცენტრატის β ხარისხის დამოკიდებულება-ა. მანგანუმის შემცველობისაგან α ., ბ. ჰაერის წნევისაგან P .

და მისი ხელოვნურად შეცვლა შეუძლებელია, ჰაერის წნევის შეზღუდვა აღნიშნულ დონეზე ტექნიკურად არ წარმოადგენს სირთულეს.

ზემომოყვანილი ანალიზის საფუძველზე საბოლოო სახით მივიღეთ დაღეჭვის პროცესის ოპტიმიზაციის კრიტერიუმი:

$$\gamma(B_1, B_3, \alpha) = 1.29 \cdot 10^{-3} B_1^{3.0898} B_3^{0.5174} \cdot e^{-0.075 \cdot B_1 - 0.0183 \cdot B_3} \rightarrow \max, \quad (25)$$

$$\beta(B_1, B_3, \alpha, P) = \alpha + 149 \cdot B_1^{-0.4298} B_3^{-0.2245} \cdot \alpha^{-0.2031} P^{-0.5394} = \beta_{\text{ღ}}, \quad (26)$$

$$30 \leq B_1 \leq 47; \quad 26 \leq B_3 \leq 40; \quad (27)$$

ამ დროს შემაშფოთებელი ზემოქმედებები იცვლება ზღვრებში

$$22 \leq \alpha \leq 28; \quad 0.18 \leq P \leq 0.28. \quad (28)$$

საღეჭი მანქანის ოპტიმალური მართვის ხერხი საბოლოო სახით დებულობს სახეს: მმართველი ზემოქმედებები B_1 და B_3 ვცვალოთ შემაშფოთებელი ზემოქმედებების - α და P -ს ცვალებადობის გათვალისწინებით ისე, რომ მივიღოთ დაგალებული $\beta_{\text{ღ}}$ ხარისხის კონცენტრატის მაქსიმალური გამოსავალი $\gamma_{\text{მაქს}}$.

V თავი. დაღეჭვის პროცესის ოპტიმიზაცია

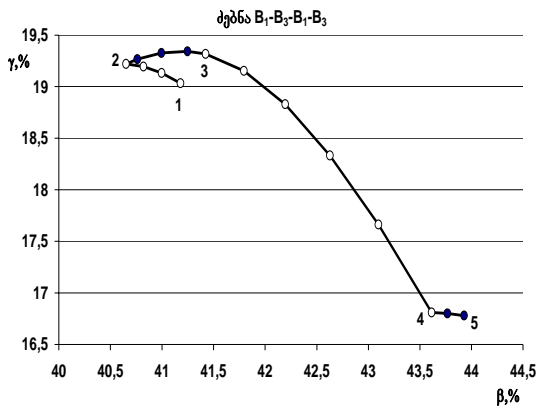
ოპტიმიზაციის კრიტერიუმის საბოლოო სახით მიღების შემდეგ შეგვიძლია ვიპოვოთ პირველი და მესამე კამერის საჰაერო განყოფილებაში მიწოდებული B_1, B_3 ჰაერის ხარჯების ოპტიმალური დამოკიდებულებები გასამდიდრებელი მადნის α ხარისხისა და საჰაერო განყოფილებაში ჰაერის წნევისაგან P , რომლებიც უზრუნველყოფენ დაგალებული $\beta_{\text{ღ}}$ ხარისხის კონცენტრატის მაქსიმალურ γ გამოსავალს (25) და (26) გამოსახულებების შესაბამისად (27) შეზღუდვების პირობებში.

(25) გამოსახულებაში ჰაერის ხარჯები B_1, B_3 , რომლებიც γ კონცენტრატის გამოსავალს მაქსიმუმს ანიჭებენ, იმყოფებიან მათი შესაძლო ცვალებადობის ზღვრებში და წარმოადგენენ მონოტონურ ფუნქციებს. ამიტომ ოპტიმიზაციისათვის გამოყენებულია წრფივი დაპროგრამების მეთოდის გრაფიკული ვარიანტი.

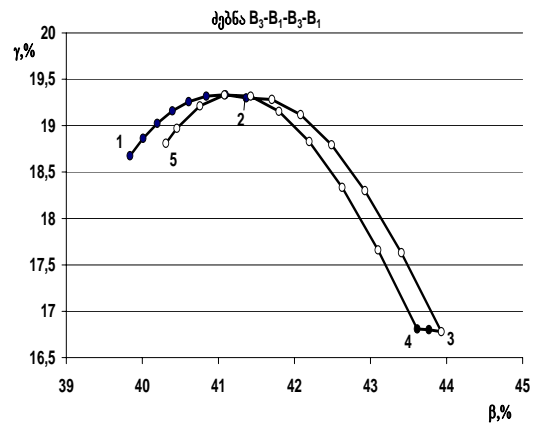
ძებნის გრაფიკის ასაგებად კოორდინატთა სისტემაში აბსცისათა ღერძზე გადავზომოთ β , ხოლო ორდინატთა ღერძზე კი γ (ნახ. 7ა). გრაფიკის საწყისი წერტილის განსაზღვრისათვის (25) გამოსახულებაში შევიტანოთ მმართველი სიდიდეების ცვალებადობის დასაშვები (27) დიაპაზონის ცენტრების მნიშვნელობები: $B_{10} = 38; B_{30} = 33$, ასევე ექსპერიმენტის დროს დაფიქსირებული შემაშვოთებელი ზემოქმედებების α და P -ს საშუალო მნიშვნელობები: $\alpha_b = 24.78$ და $P_b = 0.23$.

ოპტიუმის მოსაძებნად მორიგეობით უნდა ვცვალოთ მმართველი სიდიდეები ნებისმიერი რიგით საზღვრებამდე იმ მიმართულებით, საითაც იზრდება γ . ჯერ ვცვალოთ B_1 $30 \leq B_1 \leq 47$ ზღვრებში, ხოლო B_3 დავაფიქსიროთ $B_{30} = 33$ მნიშვნელობაზე. γ და β -ს მიღებული მნიშვნელობებით აგებულია გრაფიკის უბანი 1-2. B_1 -ის იზრდებოდა $B_1 = 30$ -დან $B_{1max} = 47$ -კენ. B_1 -ს ზრდა შეწყდა $B_1 = 41$ მნიშვნელობაზე, რადგან როდესაც $B_1 = 42$ -ს, γ იწყებს კლებას. შედეგად სვლა შეწყდა წერტილში 2, როდესაც $\beta = 40.65\%$ და $\gamma = 19.22\%$. ამის შემდეგ B_1 დავაფიქსიროთ სიდიდეზე $B_1 = 41$ და ვცვალოთ B_3 $B_{30} = 33$ -დან $B_{3min} = 26$ -მდე. ძებნა B_3 -ის შემცირებით გამოიწვია იმან, რომ ამ მიმართულებით ცვალებადობით მიიღწევა γ -ს ზრდა. ძებნა შეწყდა $B_{3min} = 26$ -ზე. საზღვარზე მივიღებთ წერტილს 3 კოორდინატებით $\beta = 41.52\%$ და $\gamma = 19.31\%$. როგორც ჩანს, უბანზე 2-3 მდებარეობს γ -ს მაქსიმუმის წერტილი კოორდინატებით $\beta = 41.25\%$ და $\gamma = 19.34\%$, რომელსაც შეესაბამება $B_3 = 28$. როცა $\alpha = \bar{\alpha}$ და $P = \bar{P}$, ეს არის γ -ს მაქსიმუმი (18) შეზღუდვების პირობებში. სამაგიეროდ მცირეა β . ბუნებრივია, როცა $\alpha < \bar{\alpha}$, მაჩვენებლები უარესია, ხოლო, როცა $\alpha > \bar{\alpha}$ - უკეთესი. უბანზე 2-3 ორივე მაჩვენებელი იზრდება. ამიტომ β -ს გასაზრდელად B_3 სტაბილიზებული უნდა იქნეს $B_3 = 26$ მნიშვნელობაზე, ხოლო B_1 სიდიდის ცვლა უნდა ვაწარმოოთ უკუმიმართულებით. ასეთი სვლა უზრუნველყოფს საოპტიმიზაციო გრაფიკის დადამავალი შტოს განლაგებას ადამავალი შტოს ზემოდან, რაც თავის მხრივ β -ს

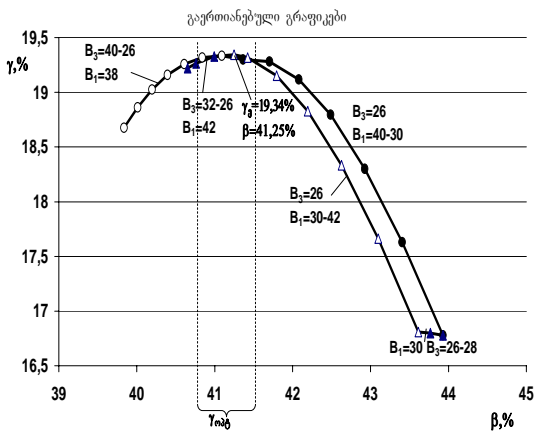
მოცემული მნიშვნელობების დროს γ -ს უფრო მაღალ მნიშვნელობებს განაპირობებს. შედეგად მივიღებთ უბანს 3-4, რომელიც შეესაბამება B_1 -ს შემცირებას 41-დან 30-მდე (წერტილში 4 $\beta = 43.61\%$ და $\gamma = 16.81\%$). დავაფიქსირებთ რა B_1 -ს $B_1 = 30$ სიდიდეზე, ვიწვევთ B_3 -ს შემცირებას. ძებნას ვწყვეტთ $B_3 = 26$ ზღვრულ მნიშვნელობაზე. მივიღებთ წერტილს 5 კოორდინატებით $\beta = 43.93\%$ და $\gamma = 16.78\%$. აღწერილი ალგორითმით ძებნის შედეგად ვღებულობთ γ -ს ექსტრემუმის წერტილს - $\gamma_{\beta} = 19.34\%$, $\beta = 41.25\%$. ამ დროს მმართველი ზემოქმედებები შეადგენენ: $B_1 = 42$; $B_3 = 28$.



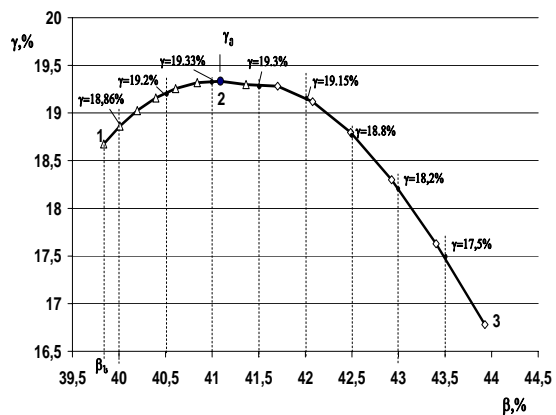
ა.



ბ.



გ.



დ.

ნახ. 7 დალექვის პროცესის ოპტიმიზაციის გრაფიკები

ოპტიმუმის ძებნის მოყვანილი ალგორითმი გულისხმობდა ძებნის დაწყებას B_1 მმართველი ზემოქმედების ცვალებადობით $B_1 - B_3 - B_1 - B_3$. ახლა მოვახდინოთ

ძებნა შეტრუნებული ალგორითმით $B_3 - B_1 - B_3 - B_1$. ამ ალგორითმით ძებნა გულისხმობს ოპტიუმისკენ სვლის დაწყებას B_3 -ის ცვალებადობით, როდესაც B_1 დაფიქსირებულია $B_{10} = 38$ მნიშვნელობაზე. ნახ. 7ბ-ზე. მოყვანილ გრაფიკზე უბანი 1-2 შეესაბამება B_3 -ის შემცირებას $B_3 = 33$ -დან $B_{3min} = 26$ -კენ. B_3 -ს შემცირება შეწყდა $B_3 = 26$ მნიშვნელობაზე, რადგან, იგი წარმოადგენს ამ სიდიდის ცვალებადობის ქვედა ზღვარს. ამ წერტილში $\beta = 41.36\%$ და $\gamma = 19.3\%$. B_3 ფიქსირდება $B_3 = 26$ სიდიდეზე და იწყება B_1 -ს შემცირება $B_1 = 40$ -დან $B_1 = 30$ -მდე (ქვედა ზღვარი). შედეგად მივაღწიეთ წერტილში 3 კოორდინატებით $\beta = 43.93\%$ და $\gamma = 16.78\%$. წერტილიდან 3 იწყება B_3 -ის ზრდა (როდესაც B_1 უცვლელია და შეადგენს $B_1 = 30$ -ს). სრულდება სულ ორი ბიჯი $B_3 = 27$ და $B_3 = 28$, რადგან B_3 -ის შემდეგი ზრდით მცირდება როგორც β , ასევე γ . შედეგად მივაღწიეთ წერტილში 4 კოორდინატებით $\beta = 43.61\%$ და $\gamma = 16.81\%$. ამ წერტილიდან მოქმედებაში შედის კვლავ B_1 , კერძოდ იგი დაიწყებს მატებას $B_1 = 30$ -დან $B_1 = 47$ -მდე (ცვალებადობის სრული დიაპაზონი). ზედა ზღვარზე მივაღწიეთ წერტილში 5 კოორდინატებით $\beta = 40.31\%$ და $\gamma = 18.81\%$. აღწერილი ალგორითმით ძებნის შედეგად ვღებულობთ γ -ს ექსტრემუმის წერტილს - $\gamma_j = 19.33\%$, $\beta = 41.1\%$. ამ დროს მმართველი ზემოქმედებები შეადგენენ: $B_1 = 42$; $B_3 = 28$.

როგორც 7ა. და 7ბ. ნახაზების შედარებით ჩანს, ექსტრემუმის ძებნის ორივე გზა გვაძლევს პრაქტიკულად ერთი და იგივე შედეგს- ექსტრემუმი იმყოფება - $\gamma_j = 19.34\%$, $\beta = 41.25\%$ წერტილში, როდესაც მმართველი ზემოქმედებები შეადგენენ: $B_1 = 42$ და $B_3 = 28$ -ს. თვალსაჩინოებისათვის აგებული გრაფიკები დავიტანოთ ერთ ნახაზზე. ამისათვის ავიღოთ გრაფიკების მხოლოდ ის უბნები, რომელზეც ვღებულობთ მაქსიმალურ შედეგს: ნახ.7ა-ზე მოყვანილი გრაფიკიდან უბანი 2-3-4-5 და ნახ. 7ბ-ზე მოყვანილი გრაფიკიდან უბანი 1-2-3. შედეგად მივიღებთ გრაფიკს, რომელიც მოყვანილია ნახ. 7გ-ზე. გრაფიკის ქვედა, I შტო არის ნახ. 7ა -ზე მოყვანილი გრაფიკის 2-3-4-5 უბნებისგან

შემდგარი. ზედა, II შტო არის ნახ. 7ბ-ზე მოყვანილი გრაფიკის 1-2-3 უბნებისგან შემდგარი. როგორც ვხედავთ, ორივე შტოს ოპტიუმის უბანი პრაქტიკულად ერთმანეთს ემთხვევა. ამ უბანზე γ იცვლება 19,3-19,34%-ის ფარგლებში, ხოლო β კი 40,8-41,7% ფარგლებში. γ -ს ექსტრემალური მნიშვნელობაა $\gamma_{\beta} = 19,34\%$ როდესაც $\beta = 41.25\%$. γ_{opt} უბნის მარცხნივ ორივე, γ და β სიდიდე იკლებს. γ_{opt} უბნის მარჯვნივ γ მართალია იკლებს, მაგრამ სამაგიეროდ β იმატებს. γ_{opt} უბნის გარეთ გრაფიკის II შტო გადის I შტოს ზევით, რაც უზრუნველყოფს ერთი და იგივე β -ს დროს γ -ს გაცილებით დიდი მნიშვნელობის მიღებას (0.5%-ის ფარგლებში). ამიტომ პროცესის მართვა უნდა ვაწარმოთ გრაფიკის II შტოს მიხედვით. გავიხსენოთ, რომ იგი მიღებულია γ -ს ექსტრემუმის ძეხვის ალგორითმით $B_3 - B_1 - B_3 - B_1$ (ნახ. 7ბ).

ზემოთქმულიდან გამომდინარე, შეგვიძლია შედარების გრაფიკიდან მოვხსნათ ქვედა შტო, რომელიც შეესაბამება პროცესის მართვას $B_1 - B_3 - B_1 - B_3$ ხერხით და მართვის ალგორითმის მისაღებად გამოვიყენოთ მხოლოდ II, ზედა შტო. შესაბამისი გრაფიკი მოტანილია ნახ. 7დ-ზე. გრაფიკზე დატანილია კონცენტრატის დავალებული მნიშვნელობის დროს გამოსავლის მოსალოდნელი სიდიდეები. ეს პროგნოზული მონაცემები მმართველი ზემოქმედებების შესაბამის მნიშვნელობებთან ერთად მოტანილია ცხრილში 1

ცხრილი 1.

	$\beta=40\%$	$\beta=40,5\%$	$\beta=41\%$	$\beta=41,5\%$	$\beta=42\%$	$\beta=42,5\%$	$\beta=43\%$	$\beta=43,5\%$
B_3	36,76	31,83	27,68	26	26	26	26	26
B_1	38	38	38	36,59	34,16	31,96	29,95	28,13
γ	18,86	19,29	19,33	19,3	19,2	18,8	18,29	17,5

უნდა აღინიშნოს, რომ კონცენტრატის ხარისხის გასაზრდელად მმართველი სიდიდეების (ჰაერის ხარჯების) მორიგეობითმა ცვლამ უკუსვლის მიმართულებით განაპირობა საოპტიმიზაციო გრაფიკის დადმავალი შტოს განლაგება აღმავალი შტოს ზემოდან, რამაც თავის მხრივ β -ს მოცემული მნიშვნელობების დროს γ -ს უფრო მაღალი მნიშვნელობები განაპირობა,

ზემომოყვანილის საფუძველზე, შეგვიძლია შევადგინოთ პროცესის მართვის კანონები, რომელთა მიხედვითაც მოხდება მმართველი ზემოქმედებების - B_1 და B_3 - ცვალებადობა შემაშფოთებელი ზემოქმედებების ცვალებადობის მიხედვით. უბნისათვის 1-2 გამოსახულებაში (20) ჩავსვათ მნიშვნელობა $B_1 = 38$ და განვსაზღვროთ B_3 :

$$B_3 = 4.514 \cdot 10^6 (\beta_{\text{გ}} - \alpha)^{-4.454} \alpha^{-0.905} P^{-2.403} \quad (29)$$

ჩავსვათ რა (11)-ში მნიშვნელობას $B_3 = 26$, მივიღებთ მართვის კანონს უბნისათვის 2-3:

$$B_1 = 2.0727 \cdot 10^4 (\beta_{\text{გ}} - \alpha)^{-2.3264} \alpha^{-0.4725} P^{-1.2549} \quad (30)$$

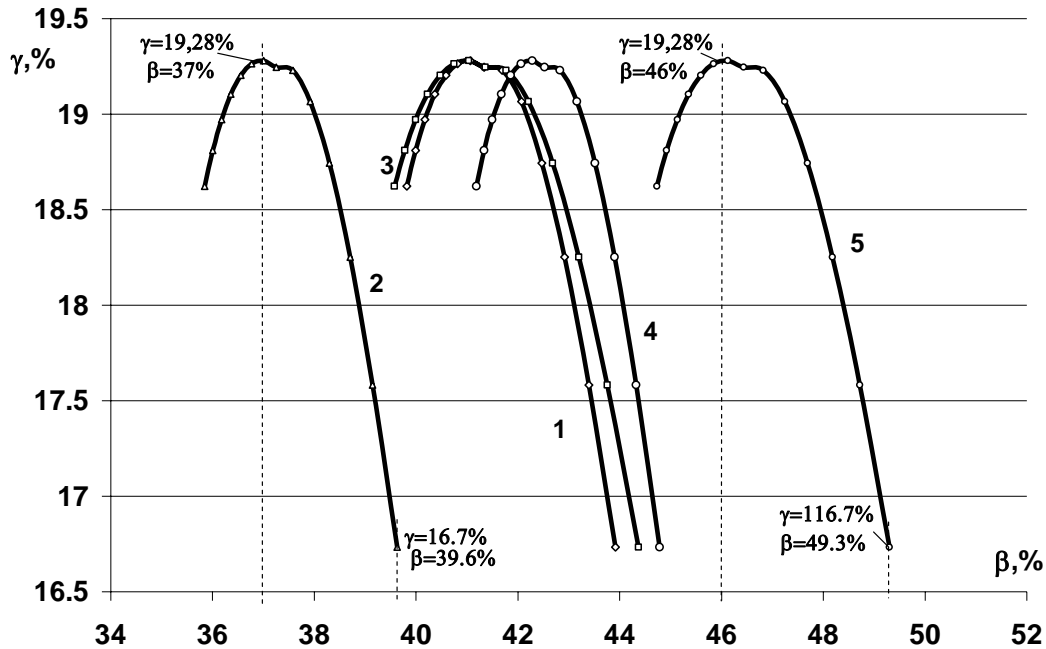
საბოლოოდ მართვის ალგორითმი შემდეგნაირად ჩამოყალიბდება: 1-2 უბანზე მუშაობის დროს B_1 სტაბილიზდება მისი ცვალებადობის ზღვრების ცენტრში, ხოლო B_3 რეგულირდება (29) კანონით მისთვის დასაშვებ საზღვრებში (27) შეზღუდვების გათვალისწინებით. თუ α -ს ან P -ს ცვლილება (ან $\beta_{\text{გ}}$ -ის შეცვლა) მოითხოვს B_3 -ს გასვლას ქვედა საზღვრიდან, B_3 სტაბილიზდება ქვედა საზღვარზე ($B_3 = 26$) და იწვევს B_1 -ს რეგულირება (30) კანონით მისთვის დასაშვებ საზღვრებში (27).

პროცესის ოპტიმიზაციის დროს არ იყო გათვალისწინებული, რომ პროცესის შემაშფოთებელი ზემოქმედებები- გასამდიდრებელი მადნის ხარისხი α და ჰაერის პნევა რესივერში P ცვალებადია და გავლენას ახდენს გამდიდრების პროცესის მაჩვენებლებზე. მაგალითად, ერთი და იგივე $\beta_{\text{გ}}$ -ის დროს α -ს შემცირება იწვევს γ -ს შემცირებას და პირიქით. თუ ავაგებთ ოპტიმიზაციის გრაფიკებს α -ს სხვადასხვა მნიშვნელობის დროს, დავრწმუნდებით, რომ ზემომოყვანილი დასკვნა მმართველი სიდიდეების საზღვრებზე დაფიქსირებისა და საზღვრებს შორის რეგულირების შესახებ სამართლიანია ყველა შემთხვევაში.

7დ ნახაზზე მოყვანილი ძეხვის საბოლოო გრაფიკი აგებულია α -ს და P -ს საშუალო მნიშვნელობებისათვის. ოპტიმუმის ძეხნაზე შემაშფოთებელი ზემოქმედებების ცვალებადობის გავლენის დასადგენად ეს გრაფიკი ავაგოთ სხვადასხვა შემთხვევისათვის: 1. $\alpha=24,78$, $P=0,23$; 2. $\alpha=22$, $P=0,28$; 3. $\alpha=22$,

$P=0.18$; 4. $\alpha=28$, $P=0.28$; 5. $\alpha=28$, $P=0.18$. ძეხნის შედგად აგებულია ნახ.8-ზე ნახვენები გრაფიკები.

ობტიმიზაციის გრაფიკი 2, რომელიც აგებულია α -ს მინიმალური ($\alpha=22\%$) და P -ს მაქსიმალური ($P=0.28$) მნიშვნელობისათვის, მიუთითებს ასეთ პირობებში მუშაობით მოსალოდნელია დაბალი ხარისხის, არაკონდიციური კონცენტრატის მიღება (საშუალოდ $\beta=37\%$, როდესაც $\gamma=19.28\%$ მაქსიმალურია). ეს გამოწვეულია ჯერ ერთი იმით, რომ α მინიმალურია და, მეორეც, გაზრდილი წნევის გამო სალექი მანქანის საგები იმ დონეზეა აშლილ და შეწონილ მდგომარეობაში, რომ მანგანუმის მინერალები ვერ ასწრებენ დალექვას და გადადიან გადანადენში.



ნახ.8. ობტიმიზაციის გრაფიკები როცა: 1. $\alpha=24.78$, $P=0.23$; 2. $\alpha=22$, $P=0.28$; 3. $\alpha=22$, $P=0.18$; 4. $\alpha=28$, $P=0.28$; 5. $\alpha=28$, $P=0.18$.

საპირისპირო მდგომარეობაა იმ შემთხვევაში, როცა $\alpha=28$ და $P=0.18$. დაბალი წნევის გამო გაზრდილია დალექვის ხანგრძლიობა და მაქსიმალური α -ს პირობებში მნიშვნელოვნად გაზრდილია კონცენტრატის ხარისხი - $\beta=46\%$ როცა გამოსავალი მაქსიმალურია $\gamma=19.3\%$ და აღწევს $\beta=49.3\%$ -ს როცა $\alpha=16.7\%$.

როდესაც ორივე შემოთქმება მაქსიმალურია, ვლემულობთ გრაფიკს 4, რომლის განლაგება აჩვენებს, რომ მიღებული შედეგები საშუალოზე მაღალია. 2 და 5 გრაფიკებს შუა განლაგებულია ორი გრაფიკი- 1, როდესაც α და P -ს აქვთ საშუალო მნიშვნელობა და 3, როდესაც $\alpha=22$, $P=0.18$ - ორივე მინიმალურია. 3 გრაფიკით ნაჩვენებია შედეგი იმით აიხსნება, რომ α -ს სიმცირე კომპენსირდება P -ს სიმცირით. შედეგად ვლემულობთ 1 გრაფიკთან მიახლოებულ შედეგს. ორივე ეს გრაფიკი ფაქტიურად ემთხვევა ნახ. 7დ-ზე მოყვანილ ოპტიმიზაციის გრაფიკს.

უნდა აღინიშნოს შემდეგი: α და P -შემაშფოთებელ ზემოქმედებებს აქვთ პროცესზე საპირისპირო მიმართულების გავლენა- α -ს მატება თუ იწვევს კონცენტრატის ხარისხის მატებას, P -ს მატება პირიქით, იწვევს β -ს შემცირებას. ასეთი გავლენის შედეგი კარგად ჩანს ნახ.8-ზე 4 გრაფიკის მაგალითზე. აქ ორივე მაქსიმალურია ($\alpha=28$, $P=0,28$), მაგრამ გრაფიკი იმყოფება საშუალო მნიშვნელობის მქონე ზემოქმედებების დროს მიღებული 1 გრაფიკის სიახლოვეს. ამავე დროს მაქსიმალურ შედეგს ვლემულობთ 5 გრაფიკის სახით, როდესაც $\alpha=28$, $P=0,18$. ეს გარემოება გათვალისწინებული უნდა იყოს ავტომატური მართვის სისტემის დაპროექტების დროს.

მოყვანილი ანალიზის საფუძველზე მართვის სისტემის ფუნქციონირების ალგორითმში შემაშფოთებელი ზემოქმედებების ცვალებადობას ვითვალისწინებთ შემდეგნაირად: α -ს და P -ს ვაკონტროლებთ უწყვეტად, მაგრამ თუ α -ს შეცვლას მოჰყვება მიწოდებული ჰაერის ხარჯის უწყვეტი შეცვლა, P -ს შეცვლაზე რეაგირება მოჰყვება მაშინ, როცა მისი სიდიდე გასცდება გარკვეულ უბანს. ამ მიზნით წნევის ცვალებადობის დიაპაზონი (0,18 - 0,28) 10^{-5} პა დაიყო სამ უბნად

$$P = 0,18-0,21; \quad P = 0,21-0,25 \text{ და } P = 0,25-0,28. \quad (31)$$

თითოეული ინტერვალის ცენტრი არის:

$$P_1=0.195; \quad P_2=0.23; \quad P_3=0.265 \quad (32)$$

ამ სიდიდეების მორიგეობით ჩასმით გამოსახულებაში (29), მივიღებთ სამ მართვის კანონს ოპტიმიზაციის გრაფიკის (ნახ. 7დ) 1-2 უბნისათვის

$$B_{31} = 2.2926 \cdot 10^8 (\beta_g - \alpha)^{-4.4539} \alpha^{-0.9046} \quad (33)$$

$$B_{32} = 1.5419 \cdot 10^8 (\beta_{\text{გ}} - \alpha)^{-4.4539} \alpha^{-0.9046} \quad (34)$$

$$B_{33} = 1.0972 \cdot 10^8 (\beta_{\text{გ}} - \alpha)^{-4.4539} \alpha^{-0.9046} \quad (35)$$

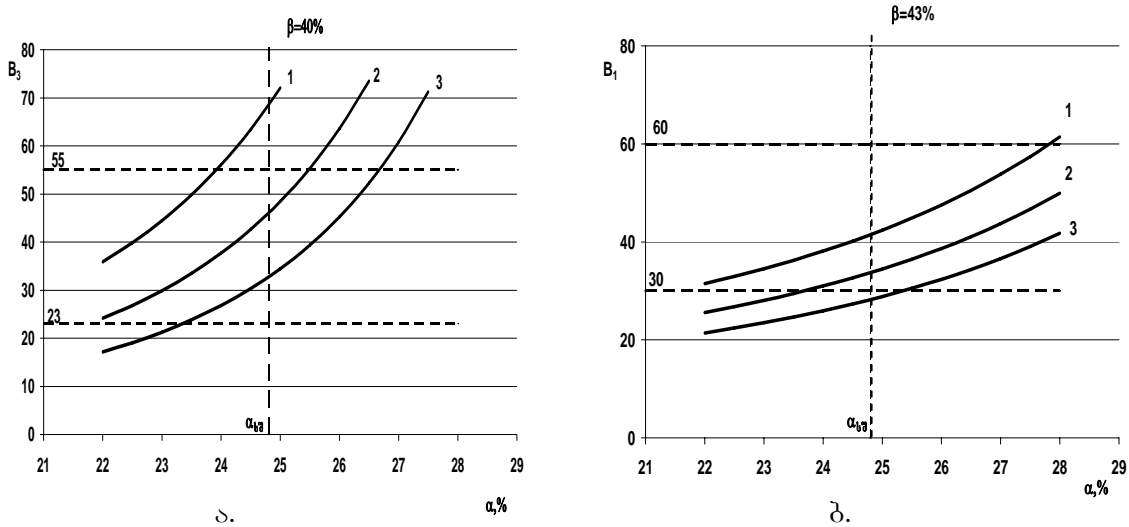
თუ ჰაერის წნევა რესივერში იმყოფება (31) დიაპაზონებიდან პირველში ($P=0,18-0,21$), პროცესის მართვა ხორციელდება (33) კანონის შესაბამისად. როცა P არის $P=0,21-0,25$ შუალედში, მოქმედებაშია მართვის კანონი (34), ხოლო როცა $P=0,25-0,28$, პროცესი იმართება (35) კანონის მიხედვით.

თუ (32) სიდიდებს შევიტანთ გამოსახულებაში (30), მივიღებთ მართვის კანონებს ოპტიმიზაციის გრაფიკის 2-3 უბნისათვის:

$$B_{11} = 1.613 \cdot 10^5 (\beta_{\text{გ}} - \alpha)^{-2.326} \alpha^{-0.473} \quad (36)$$

$$B_{12} = 1.31 \cdot 10^5 (\beta_{\text{გ}} - \alpha)^{-2.326} \alpha^{-0.473} \quad (37)$$

$$B_{13} = 1.097 \cdot 10^5 (\beta_{\text{გ}} - \alpha)^{-2.326} \alpha^{-0.473} \quad (38)$$



ნახ. 9. მმართველი ზემოქმედების გასამდიდრებელი მადნის ხარისხისაგან დამოკიდებულების გრაფიკები

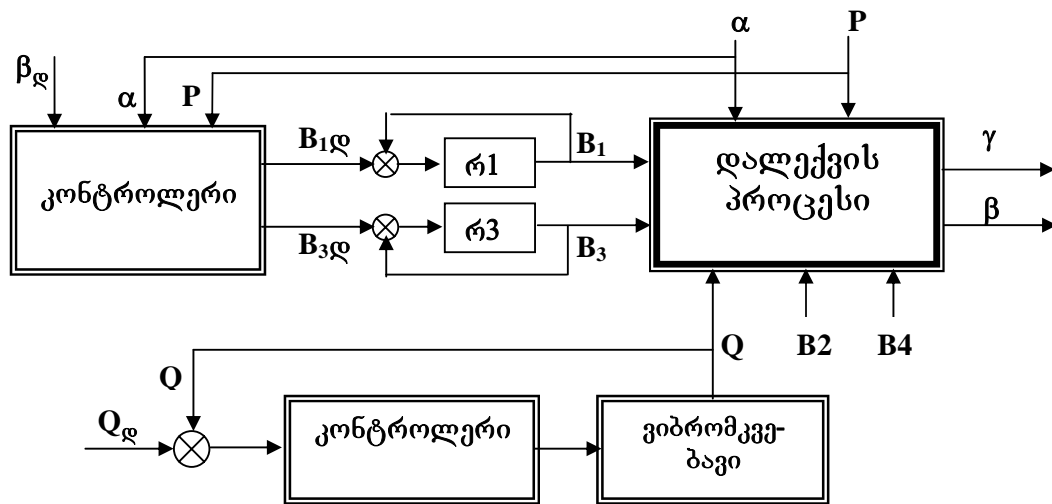
შევიტანოთ 1-2 უბნის შესაბამისი კონცენტრატის ხარისხის დაგალებული მნიშვნელობა, დაუშვათ $\beta_{\text{გ}}=40\%$, ფორმულებში (33), (34), (35). მივიღებთ B_3 მმართველი ზემოქმედების α და P შემაშფოთებელი ზემოქმედებებისაგან ცვალებადობის მრუდებს (ნახ. 9ა). მრუდი 1 შეესაბამება წნევის ცვალებადობას

$P = 0,18-0,21$ შუალედში, მრუდი 2 შეესაბამება $P = 0,21-0,25$ შუალედს, ხოლო მრუდი 3- $P = 0,25-0,28$ შუალედს.

ანალოგიურად ავადობ B_1 სიდიდის ცვალებადობის მრუდები ოპტიმიზაციის გრაფიკის 2-3 უბნისთვის (ნახ. 7დ). ამისათვის შევიტანოთ (36), (37) და (38)-ში დაუშვათ $\beta_{დ} = 43\%$, მივიღებთ ნახ. 9ბ-ზე მოყვანილ გრაფიკებს. ორივე ნახაზზე დატანილია α -ს საშუალო მნიშვნელობა და მმართველი ზემოქმედებების ცვალებადობის ზღვრები $B_1 = 30...60$ და $B_3 = 23...55$.

VI თავი. დაღეჭვის პროცესის მართვის სისტემა და მისი კვლევა

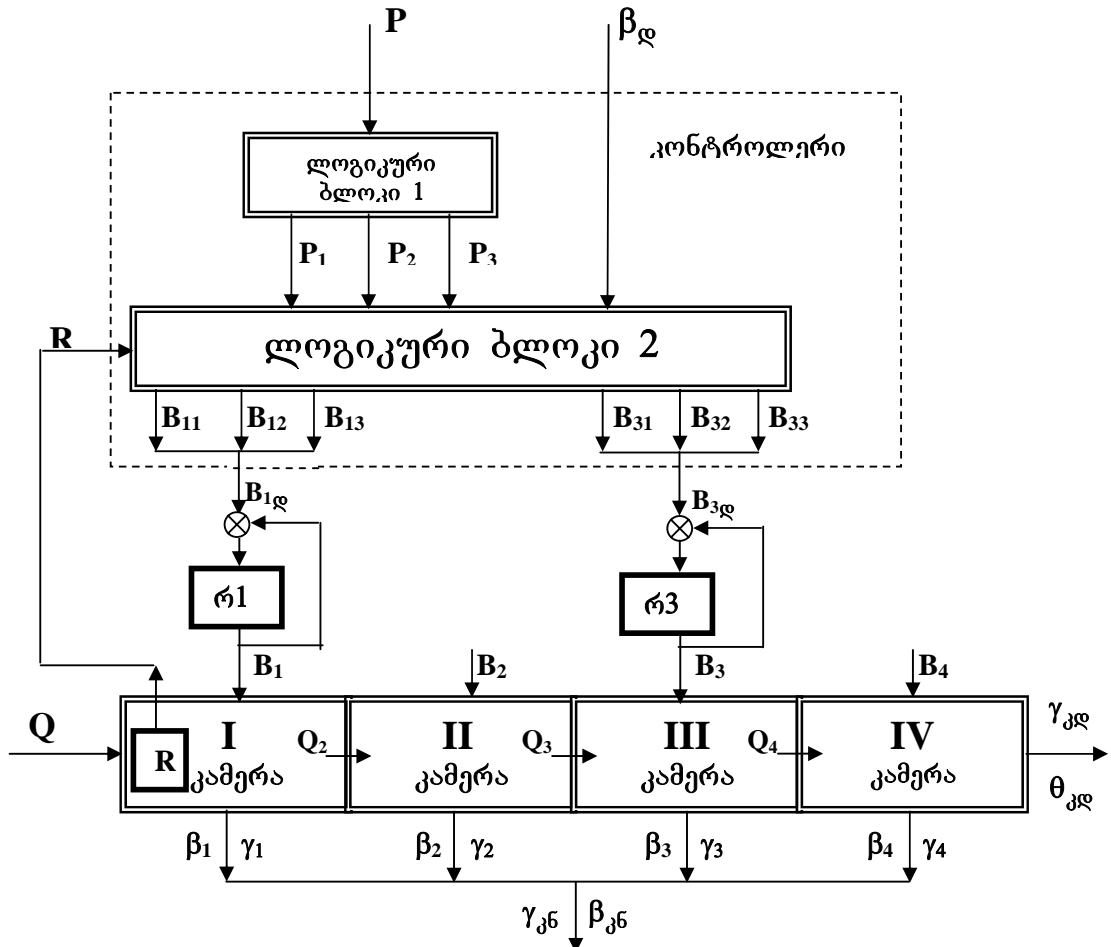
ზემომოყვანილის საფუძველზე მივიღეთ მართვის ხერხი, რომლიც ითვალისწინებს დაღეჭვის პროცესის ოპტიმალურ მართვას რეგულირების ორი კონტურით: პირველი ახდენს საღეჭი მანქანის გასამდიდრებელი მასალის მიხედვით მწარმოებლურობის სტაბილიზაციას, მეორე კი მოახდენს პირველ და მესამე კამერის საპაერო განყოფილებაში მოწოდებული ჰაერის რაოდენობის რეგულირებას მადნის ხარისხის და ჰაერის წნევის მიხედვით. ასეთი სისტემის სტრუქტურა მოყვანილია ნახ. 10-ზე.



ნახ. 10. მართვის სისტემის სტრუქტურა

მართვის პირველი კონტურის კონტროლერისთვის დავალებას $Q_{დ}$ წარმოადგენს მისი ექსტრემალური მნიშვნელობა $Q = 30,5$ ტ/სთ. მეორე კონტურის ფუნქციური სტრუქტურა მოყვანილია ნახ. 11-ზე. იგი ახდენს საღეჭი მანქანის პირველ და მესამე კამერაში ჰაერის რეგულირებას (33)-(38) ოპტიმალური მართვის კანონების მიხედვით.

კონტროლერის პირველი ლოგიკურ ბლოკში ხდება განსაზღვრა, თუ (31)-დან რომელ უბანში იმყოფება რესივერში ჰაერის წნევის სიდიდე. ამ სიგნალის და კონცენტრატის ხარისხის დავალებული მნიშვნელობის მიხედვით ლოგიკური ბლოკი 2 განსაზღვრავს თუ (33)...(38) ოპტიმალური მართვის კანონებიდან რომლის მიხედვით და რომელ კამერაში მოხდება ჰაერის რეგულირება.



ნახ. 11. საღეჭი მანქანის ოპტიმალური მართვის სისტემის ფუნქციური სტრუქტურა

შესაბამისი დავალება β_{1g} და β_{3g} მიეწოდება რ1 და რ3 რეგულატორებს. ამ დროს მეორე და მეთხე კამერებში ჰაერის რეგულირება არ ხდება- ის აყენია (9)-ში მოყვანილ ექსტრემალურ სიდიდეზე $B_2=45,28$ გრად. და $B_4=34,73$ გრად.

განვიხილოთ ორი შესაძლო შემთხვევა:

$$1. \alpha = 20\%, \quad \beta_g = 40,5\%, \quad P = 0,23 \cdot 10^{-5} \text{ კა.} \quad (39)$$

$$2. \alpha = 26\%, \quad \beta_g = 42,5\%, \quad P = 0,265 \cdot 10^{-5} \text{ კა.} \quad (40)$$

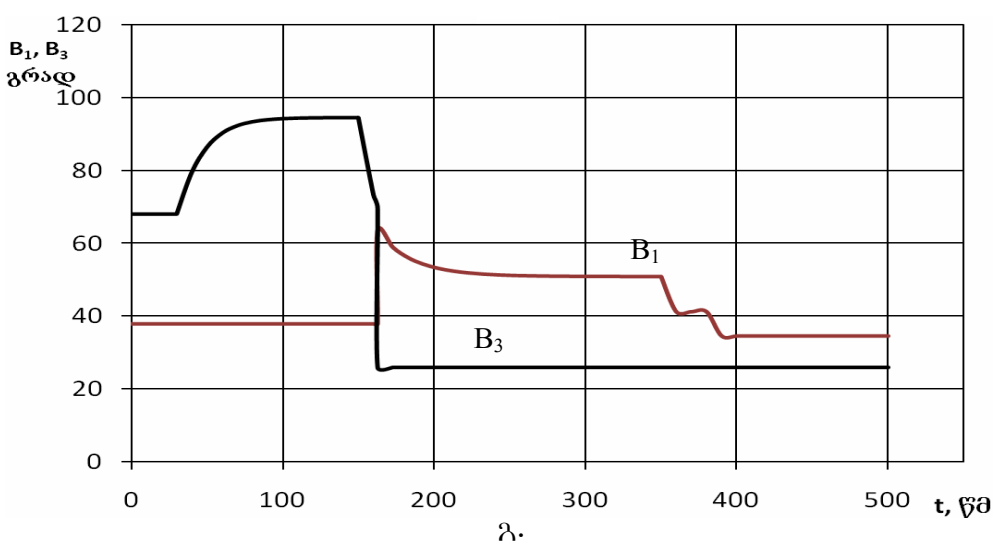
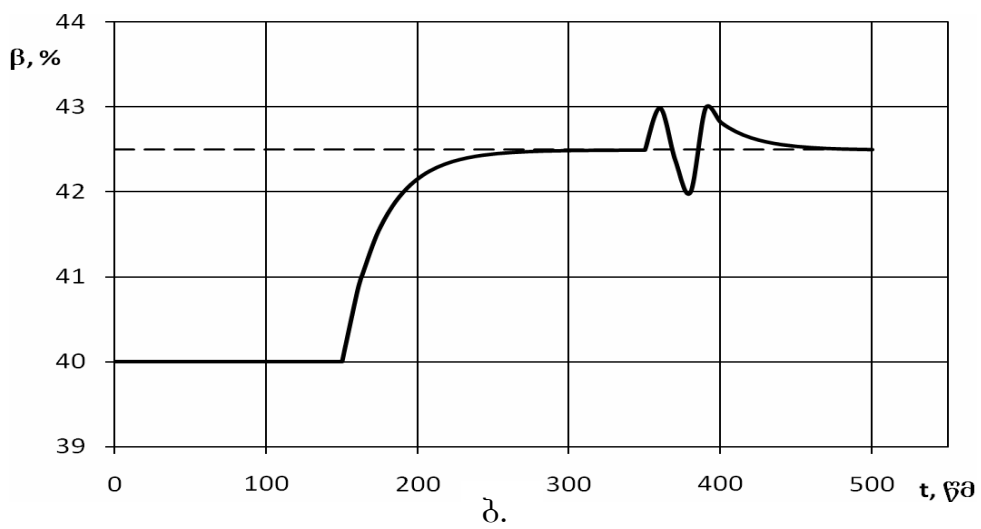
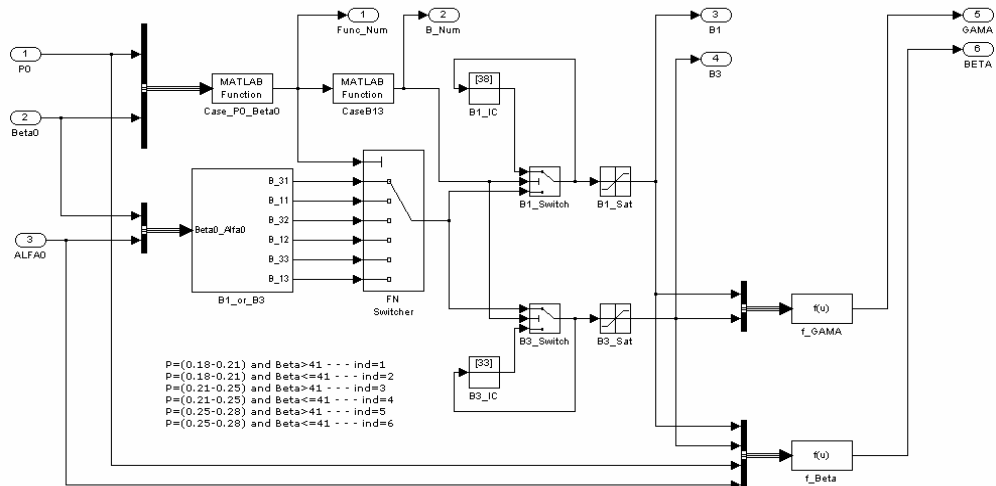
პირველი შემთხვევის დროს $\beta_{\text{დ}}$ დავალებული სიდიდის გამო პროცესის მართვა წარიმართება ნახ.7დ-ზე მოყვანილი ოპტიმიზაციის გრაფიკის 1–2 უბანზე. შესაბამისად B_1 დაფიქსირდება, ხოლო B_3 დაიწყებს ცვალებადობას მანამ, სანამ კონცენტრატის ხარისხი არ გახდება პროგრამულის ტოლი. კონტროლერი (33)-(35) მართვის კანონებიდან შეირჩევს (34)-ს, რადგან ის შეესაბამება წნევის ცვალებადობის შუა უბანს.

მეორე შემთხვევის დროს მართვა წარიმართება ოპტიმიზაციის გრაფიკის 2–3 უბანზე. შესაბამისად B_3 დაფიქსირდება, ხოლო B_1 დაიწყებს ცვალებადობას მანამ, სანამ კონცენტრატის ხარისხი არ გახდება პროგრამულის ტოლი. კონტროლერი (35)...(38) მართვის კანონებიდან შეირჩევს (38)-ს, რადგან ის შეესაბამება წნევის ცვალებადობის ზედა უბანს.

პროცესის მართვის ეფექტურობა (ოპტიმიზაციის კრიტერიუმის მოთხოვნათა შესაბამისად პროცესის მართვა) დიდადაა დამოკიდებული ძირითადი შემაშფოთებელი ზემოქმედების α -ს ზუსტ და უწყვეტ გაზომვაზე. ამჟამად მანგანუმის შემცველობის ასეთი გადამწოდი არაა. ხდება მისი შეფასება მადნის ფიზიკური თვისებების ან პროცესის რეჟიმული პარამეტრის მიხედვით. ჩვენს შემთხვევაში გამოყენებულია სალექი მანქანის საგების გაფხვიერების ჩაძირულ ტივტივიანი გადამწოდი, რომელმაც წარმატებით გაიარა ლაბორატორიული და საწარმოო გამოცდები. გამოცდებით დადგინდა, რომ მისი სიგნალი პროცესის მმართველი და შემაშფოთებელი ზემოქმედებების პროპორციულია. სხვა პარამეტრების B, P, Q კონტროლის შემთხვევაში გადამწოდის სიგნალიდან შეიძლება გამოვეყოთ α -ს ცვალებადობა.

მართვის სისტემის კვლევის მიზნით აგებულ იქნა ნახ.11-ზე მოყვანილი ფუნქციური სტრუქტურის შესაბამისი კომპიუტერული მოდელი პროგრამა Simulink-ის საშუალებით (ნახ.12ა). ის გვაძლევს საშუალებას დავაკვირდეთ სალექი მანქანის მმართველი (B_1, B_3) და გამოსავალი (γ და β) სიდიდეების ცვალებადობას (გარდამავალ პროცესს) დალექვის პროცესის შემაშფოთებელი და პროგრამული $\beta_{\text{დ}}$ სიდიდეების ცვალებადობის შემთხვევაში.

გარდამავალი პროცესის მოდელირებისათვის საწყის მდგომარეობად მიღებულ იქნა ექსპერიმენტის დროს დაფიქსირებული ცვალებადი სიდიდეების საშუალო



ნახ.12. ა. მართვის სისტემის კომპიუტერული მოდელი;
 ბ., გ.-გარდამავალი პროცესის მახასიათებლები.

მნიშვნელობები $\beta = 40\%$, $\alpha = 24.78\%$, $P = 0,195 \cdot 10^{-5}$ პა. ამ შემთხვევაში ვიმყოფებით ოპტიმიზაციის გრაფიკის 1-2 უბანზე). დამყარებულ რეჟიმში მოხდა ამ სიდიდეების შეცვლა (40) სიდიდეებით. მმართველი და გამოსავალი პარამეტრების დროში ცვალებადობა (გარდამავალი პროცესი) მოყვანილია ნახ. 12ბ,გ-ზე. თვალსაჩინოებისათვის ჯერ მოხდა α -ს შეცვლა, რასაც მოჰყვა B_3 -ის შეცვლა, მაგრამ $\beta_{\text{გ}}$ დარჩა პროგრამულის დონეზე. შემდეგ, დამყარებულ რეჟიმში, დავალება კონცენტრატის ხარისხზე გახდა $\beta_{\text{გ}} = 42,5\%$ (ამ შემთხვევაში ოპტიმიზაციის გრაფიკის 1-2 უბნიდან გადავდივართ 2-3 უბანზე). მას შემდეგ, რაც მართვის სისტემამ შეასრულა დავალება, ჰაერის წნევა გახდა $P = 0,265 \cdot 10^{-5}$ პა-ის ტოლი. გარდამავალი პროცესის დამყარების შემდეგ კონცენტრატის ხარისხი დაუბრუნდა პროგრამულ სიდიდეს, ხოლო მმართველმა ზემოქმედებებმა მიიღეს მართვის კანონებით განსაზღვრული მნიშვნელობები.

დასკვნები

1. შემუშავებულია დალექვის ტექნოლოგიური პროცესის მათემატიკური მოდელი, რომელიც გამდიდრების მაჩვენებლებს აკავშირებს მმართველ და შემაშფოთებელ სიდიდეებთან, ითვალისწინებს რა ამ პროცესის კანონზომიერებებს;
2. განხილულია ტექნოლოგიური კრიტერიუმი წიაღისეულის გამდიდრების პროცესების ოპტიმიზაციისათვის. მოცემულია მიზნისა და შეზღუდვის ფუნქციების მოდელები;
3. აგებულ იქნა მრავალკამერიანი სალექი მანქანის მათემატიკური მოდელი, რომელიც აღწერს კონცენტრატის ხარისხის და გამოსავალის მრავლობით დამოკიდებულებას საჰაერო განყოფილებაში მიწოდებული ჰაერის რაოდენობაზე (მმართველი ზემოქმედება) და შემაშფოთებელ ზემოქმედებებზე – გასამდიდრებელი მადნის ხარისხზე, მის რაოდენობაზე და ჰაერის წნევაზე;
4. დალექვის პროცესი განხილულ იქნა არა როგორც ოთხი დამოუკიდებელი მართვის ობიექტი ოთხი შესავალი და ოთხი გამოსავალი

სიდიდით, არამედ როგორც ერთი ობიექტი ოთხი შესავალი და ერთი გამოსავალი სიდიდით;

5. შემუშავებულ იქნა მართვის ხერხი, რომელიც ითვალისწინებს სალექი მანქანის მწარმოებლურობის სტაბილიზაციას და მიწოდებული ჰაერის რაოდენობის რეგულირებას პირველი და მესამე კამერის საჰაერო განყოფილებაში;

6. დასმულია ოპტიმიზაციის ამოცანა და მის გადასაჭრელად გამოყენებულია წრფივი დაპროგრამების მეთოდის გრაფიკული ვარიანტი. ჩამოყალიბებულია პროცესის ოპტიმალური მართვის ალგორითმი;

7. დადგინდა პირველ და მესამე კამერაში მიწოდებული ჰაერის ოპტიმალური მართვის კანონები, რომლებიც ითვალისწინებენ შემაწვოთებელი ზემოქმედებების ცვალებადობას;

8. აგებულ იქნა პროცესის მართვის სისტემის ფუნქციური სტრუქტურა, რომელიც ახდენს პროცესის მართვას შემუშავებული მართვის კანონების მიხედვით;

9. აგებულ იქნა პროცესის მართვის სისტემის კომპიუტერული მოდელი, გამოკვლეულ იქნა მმართველი და მართული სიდიდეების ცვალებადობის ხასიათი გარდამავალი პროცესის დროს.

ნაშრომის აპრობაცია. სადისერტაციო ნაშრომის აპრობაცია ხდებოდა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სამთო-გეოლოგიურ ფაკულტეტზე, სამეცნიერო კონფერენციაზე და ორ თემატურ სემინარზე. სადისერტაციო ნაშრომის ძირითადი შედეგები ასახულია ოთხ გამოქვეყნებულ სტატიაში.

გამოქვეყნებული პუბლიკაციები

1. რ. ენაგელი, მ. ქიტოშვილი. მანგანუმის მადნის დალექვის პროცესის ალბათობითი მოდელი. სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“, 3(55)/2010, გვ.65-70.;

2. რ. ენაგელი, გ.ჯავახიშვილი, მ. ქიტოშვილი. მანგანუმის მადნის დალექვის პროცესის მართვის ხერხის შერჩევა. საქართველოს ნავთობი და გაზი №26, თბილისი, 2010, გვ.63-68;

3. ვ.ზვიადაური, რ. ენაგელი, მ. ქიტოშვილი მადნის დალექვის პროცესის მართვა მისი ავტომატური ვიბრაციული მიწოდებით, სამეცნიერო-ტექნიკური ჟურნალი „ენერჯია“ 2(50) ნაწ.1/2009;

4. რ. ენაგელი, მ. ქიტოშვილი. მანგანუმის მადნის დალექვის პროცესის ოპტიმიზაციის კრიტერიუმი. სამთო ჟურნალი №1(26), თბილისი, 2011;

5. მ. ქიტოშვილი. დალექვის პროცესის ავტომატური მართვის სისტემის ფუნქციური სტრუქტურის შერჩევა. საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის 77-ე სამეცნიერო-ტექნიკური კონფერენცია. თბილისი, 2009წ.

Abstract

Elaboration of automatic control system of a jigging machine for process optimization

In the dissertation the issues of design of an optimal control system for Chiatura manganese ore beneficiation process on a jigging machine is considered.

The rise in the efficiency of mineral processing promotes development of related industries. Reduction of the cost of beneficiation products, preparation of quality production, the complex and full recovery of valuable components from the ore, concentrate quality maintenance and intensification of beneficiation processes makes actual an optimum control of beneficiation technological processes, development and installation of the automated control system of technological processes at beneficiation plant.

In order to optimize the process, technological criteria have been selected, on the basis of which mathematical model of jigging technological process has been developed. As far as relates beneficiation indices with controlling and disturbing values, it provides process regularities.

The models of cause and constrain functions have been given and the mathematical model of a multicompartment jigging machine, which will describe multiple dependence of concentrate quality and output on the amount of air fed to the air compartment (control action) and disturbing actions - concentrating ore quality and quantity and air pressure, has been built.

Due to analysis of double and multiple relationships, the jigging process has been considered not as four independent control objects with four input and one output variables, but as one control object with four input and one output variables. As a result the control method, which provides stabilization of jigging machine productivity and control of air amount fed to the first and third chambers of air compartment according variation of disturbing action, has been developed.

In the work the optimization problem has been set and the graphical modification of linear programming method has been used for its solution. Optimum search has been carried out by two ways, which foresee different series of control action variations - air flow in the first and third chambers. As a result of search it has been established, that if program value of concentrate quality is less than 40%, the process is carried out by air control in the third chamber (at this time air flow fed to the first chamber has been fixed at an average level of range). If the program is more than 41%, the air flow has been controlled in the first chamber, and in the third chamber the air flow has been fixed at an average level of range. In consequence of the optimization process the process optimum control algorithm and laws of optimal control of air fed to the first and third chambers, which provides variation of disturbing actions, have been developed. In particular, continuous control of manganese content in concentrating ore and air pressure in receiver is carried out. Considering that simultaneous variation of both parameters will provoke instability of a control system, the air pressure range in receiver has been divided on three areas. Subject to in which area an air pressure is, we can receive three control laws, if concentrate quality is less than 41%, and three ones, if concentrate quality is more than 41%. Therefore we have received six control laws from two ones.

The functional structure of a control system has been developed, which basic element is a controller. According to a signal received from the pressure transmitter, in its first logic unit is determined, which area an actual value of pressure is placed to. After specification of the area according pressure, the second logic unit of the controller chooses corresponding control law according concentrate program quality. In this law a signal proportional to concentrating ore quality is emitted by a transmitter of jigg machine bed loosening.

The computer model of a process control system has been built using Simulink software; the control and controlled variable behaviors, in case of disturbing actions and concentrate program quality variations, have been studied. Obtained results confirm results of executed investigations.