

## ბიოტექნოლოგიური სისტემების მოდელირების ზობიერთი პრობლემის აკრიოზული ფორმალიზაცია

თეიმურაზ კაპანაძე, ალექო ცინცაძე, ომარ გაბელაძე  
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

### რეზიუმე

სტატიაში განხილულია ბიოტექნოლოგიური სისტემების სტრუქტურა და ფუნქციონალურ დამოკიდებულებათა ფორმალიზებული აღწერა. დამუშავებულია სისტემის ფუნქციონირების მათემატიკური მოდელი, რომელიც მიეკუთვნება მართვის თეორიაში ცნობილ განაწილების ამოცანათა კლასს. მოცემულ შემთხვევაში მათემატიკა წარმოდგენილია არა როგორც რაოდენობრივი გათვლების მეთოდი, არამედ როგორც სისტემის „აზროვნების“ ხარისხობრივი მახასიათებელი.

**საკვანძო სიტყვები:** ბიოტექნოლოგია. ბიოპროცესი. მოდელირება. სიმრავლე. ფორმალიზებული აღწერა.

### 1. შესავალი

თანამედროვე ბიოტექნოლოგიური (და არა მარტო ბიოტექნოლოგიური) კომპლექსები, წარმოადგენს ტექნიკური საშუალებებისა და ადამიანების სიმრავლის კანონზომიერ გაერთიანებას, ამა თუ იმ ბიოპროცესის ტექნოლოგიური სქემის, რომლებიც ასრულებს გარკვეულ სამუშაოთა მიმდევრობებს, გარკვეული მიზნის მისაღწევად. როგორც წესი ბიოპროცესის ტექნოლოგიური სქემის აგება ანუ რაიმე ბიოტექნოლოგიის დამუშავება წარმოადგენს რთული ექსპერიმენტალური კვლევა-ძიების და სხვადასხვა აღმოჩენების მეცნიერულ დასკვნათა ორგანიზაციის შედეგს.

### 2. ძირითადი ნაწილი

მოცემულ შემთხვევაში ორგანიზაცია, როგორც ბუნებრივი მოვლენებისა და პროცესების უნივერსალური მახასიათებელი, წარმოადგენს ფუნდამენტურ გაგებას, რომელიც შესაძლებლობის ფარგლებში, გარკვეული კანონზომიერებით ათანხმებს მეცნიერების და ტექნიკის სხვადასხვა დარგებს. მიუხედავად იმისა, რომ დარგთა სპეციალიზაციის თანამედროვე ხარისხი ძალზე ძნელად იძლევა აღნიშნული შეთანხმების საშუალებას, მსოფლიო სამეცნიერო პრაქტიკიდან გამომდინარე დასაშვებად მიგვაჩნია „მონათესავე“ დარგთა სინთეზის შედეგად ჩამოყალიბდეს სრულიად ახალი მეცნიერული აზროვნება. ზემოაღნიშნული შეთანხმება გარკვეულწილად შესაძლებელია საყოველთაოდ ცნობილი სისტემების, როგორც აბსტრაქტული მოდელირების, თეორიაზე დაყრდნობით.

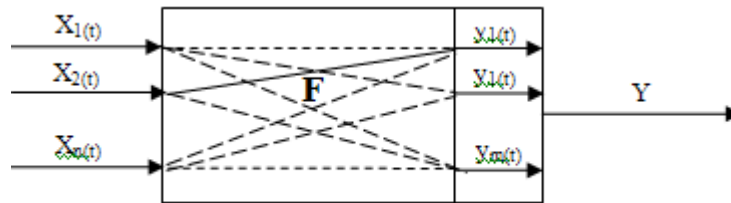
აქვე აღვნიშნოთ, რომ ზემოხსენებული ტერმინი „მონათესავე“ პირობითია და იგულისხმება დარგთა ისეთი მეცნიერული ორგანიზაცია, რომელთა კვლევის შედეგების თანაკვეთაზე დაყრდნობით შესაძლებელია ახალი მეცნიერული აზროვნების ფორმირება.

თუ გავითვალისწინებთ, რომ თვით სისტემა, ფართო გაგებით, წარმოადგენს ელემენტარულ სტრუქტურებისა და პროცესების ურთიერთქმედებათა სიმრავლეს, რომლებიც განსაზღვრული წესით გაერთიანებულია ერთი, საერთო მიზნის მისაღწევად და ეს მიზანი არ წარმოადგენს სიმრავლის რომელიმე კომპონენტის ფუნქციას, მაშინ ბუნებაში მიმდინარე პროცესების ტექნოლოგიები განიხილება როგორც რთული სისტემა, მისი ყველა მახასიათებლით.

ზოგადად ბიოსისტემები, მასი მიზნების შესაბამისად, შეიძლება ჩათვალოს უსასრულოდ, რომლებიც გარკვეულ დროში ფუნქციონირებენ უწყვეტად, გააჩნია ცვალებადი ხასიათი და დამოკიდებულია გარემო ფაქტორებზე. თუ ბიოპროცესებს განვიხილავთ ფიზიკური და ქიმიური მოვლენების ჭრილში, დავეყრდნობით ბიოფიზიკის და ბიოქიმიის დასკვნებს, ვნახავთ, რომ მათ ელემენტებს გააჩნია დისკრეტულ მდგომარეობათა სასრული სიმრავლე, სტრუქტურათა მდგრადობის გარკვეული რაოდენობები.

გარდა ამისა თუ გავითვალისწინებთ ბიოპროცესების ციკლურ ხასიათს, შეიძლება დავასკვნათ, რომ ისინი განეკუთვნება შერეული ხასიათის ტექნოლოგიურ პროცედურებს ანუ ბიოსისტემები უწყვეტ-დისკრეტული ტიპის რთული სისტემებია. აქვე აღვნიშნოთ, რომ ბიოსისტემის მიზანი რეალურად წარმოადგენს გარკვეულ ბიოპროდუქტს, რომელიც მიიღება გარკვეული ბიოტექნოლოგიური პროცესით.

წარმოვადგინოთ ბიოსისტემა აბსტრაქტულად და გამოვსახოთ განზოგადებული ბლოკ-სქემის სახის. (ნახ.1).



ნახ.1

სადაც  $X(x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t))$  - სისტემის შემავალი პარამეტრებია, ხოლო ბიოტექნოლოგიური თვალსაზრისით - მისაღები ბიოპროდუქტის ნედლეულის კომპონენტები და მასხასიათებლები

$Y(y_1(t), y_2(t), \dots, y_m(t))$  - სისტემის მიზანი, ბიოტექნოლოგიურ ჭრილში პროცესის შედეგი (ბიოპროდუქტი), ჩაწერილი ფორმალიზებული სახით;

$F(f_1, f_2, \dots, f_k)$  სისტემის შედეგის მისაღწევად მიზანდასახულ ქმედებათა წესები, ზოგადად ბიოტექნოლოგიური პროცესი.

თანამედროვე პირობებში გარემოს ეკოლოგიურმა დაძაბულობამ და სხვა ფაქტორებმა ძალზედ გაართულა სასურველი პროდუქტების მიღება, რამაც უპირველესად ასახვა ჰპოვა ბიოპროდუქტების წარმოებაში. გარემო პარამეტრების ცვლილებების ხარისხის ზრდამ თავისთავად დააყენა ბიოტექნოლოგიებზე სწრაფად რეაგირების და კორექტირების საკითხი, ეკოლოგიურად სუფთა პროდუქციის წარმოებისათვის. ყოველივე ზემოაღნიშნულმა კი ბიოპროდუქტების (და ზოგადად პროდუქტების) წარმოების პრობლემა შემდეგი სახით წარმოგვიჩინა:

ბიოპროდუქტის წარმოებისას, დროის მოცემულ განაკვეთში, მოხდეს ბიოტექნოლოგიური პროცესის ისეთი რეჟიმული გადაწყობა (კორექტირება), რომელიც ნედლეულის მოცემული პარამეტრების (მასხასიათებლების), გარემოფაქტორების მაქსიმალური გათვალისწინებით, მაქსიმალურად უზრუნველყოფს სასურველი ხარისხის პროდუქციის გამოშვებას.

ზოგადად ბიოპროდუქტის ხარისხი განიხილება, როგორც მისი ფიზიკური და ქიმიური ურთიერთქმედებათა შესაბამისობები (თავსებადობები), დამოკიდებულებები, გამოხატული რაოდენობრივი მაჩვენებლებით.

როგორც წესი, ბიოტექნოლოგიური პროცესის შედეგი, ბიოპროდუქტი, ხასიათდება ხარისხობრივი მაჩვენებლების სიმრავლის დიდი განზომილებით, რომლებიც საბოლოოდ განსაზღვრავს მის თვისებას. ამ მაჩვენებლების ერთი ნაწილი გარკვეულ ზღვრებშია მოქცეული, მეორე შემოსაზღვრულია ქვემოდან და რაც მეტია მისი მნიშვნელობა, მით ხარისხიანია პროდუქტი, ხოლო მესამე, პირიქით შემოსაზღვრულია ზემოდან და მიზანშეწონილია მათი მინიმალური რაოდენობის არსებობა პროდუქტის შემადგენლობაში. გარდა ამისა, ბიოპროდუქტის ხარისხობრივი მაჩვენებლის სიმრავლის თითოეული კომპონენტი (ელემენტი), რთულ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებაშია შემავალ პარამეტრებთან. ასევე ურთიერთ ფუნქციონალურ დამოკიდებულებაშია შემავალი პარამეტრების დიდი ნაწილი, რომელსაც პირობითად ვუწოდოთ რეჟიმული პარამეტრები და რომლებზედაც დიდად არის დამოკიდებული ბიოტექნოლოგიური პროცესის წარმართვა.

იტყვიან, რომ სისტემა მოცემულია, თუ გარკვეული კანონზომიერებით აღწერილია სისტემის სტრუქტურა და ის ელემენტები, რომლებიც განსაზღვრავს სისტემის ყოფაცქევას. თუ სისტემა აღწერილია მათემატიკურად, მაშინ საქმე გვაქვს სისტემის მათემატიკურ მოდელირებასთან, სისტემის ფუნქციონირების მათემატიკურ მოდელთან. მოცემულ შემთხვევაში მათემატიკა წარმოდგენილია არა როგორც რაოდენობრივი გათვლების მეთოდი, არამედ როგორც სისტემის „აზროვნების“ ხარისხობრივი მასხასიათებელი.

ყოველივე ზემოაღნიშნულიდან, თუ რაიმე წესით ცნობილია ბიოსისტემის ფუნქციონალურ დამოკიდებულებათა ფორმალიზებული აღწერა, ანუ ბიოტექნოლოგიური პროცესის მიმდინარეობის აზრობრივი არსი ჩაწერილია მათემატიკური ფორმულებისა და განტოლებების სახით, შეიძლება ითქვას, რომ აგებულია ბიოსისტემის მათემატიკური მოდელი.

სისტემური მიდგომის ჭრილში, ბიოტექნოლოგიური პროცესის განზოგადოებული მათემატიკური მოდელი შეიძლება ჩაიწეროს შემდეგი ფორმულირებით:

$$Y^{(r)} = F^{(r)}(X^{(r)}, U^{(r)}, \Psi^{(r)}) \quad \sim ! \cdot$$

სადაც  $r = (\overline{1, R})$  - წარმოადგენს ბიოტექნოლოგიური რეჟიმის ინდექსს;

$$Y^{(r)} = \{y_j^{(r)}\} \quad J = (\overline{1, m}) \quad \sim @ \cdot$$

პროდუქციის ხარისხობრივი მაჩვენებლების სიმრავლეა და აკმაყოფილებს პირობებს:

$$\alpha_{J1} \leq Y_{J1}^{(r)} \leq \beta_{J1} \quad J1 = (\overline{1, k}) \quad k, m \quad \sim \# \cdot$$

$$\begin{cases} Y_{J2}^{(r)} \geq \alpha_{J2} & J2 = (k+1, d) & d < m \\ Y_{J2}^{(r)} \rightarrow \max \end{cases} \quad \sim \$ \cdot$$

$$\begin{cases} Y_{J3}^{(r)} \leq \beta_{J3} & J3 = (d+1, m) \\ Y_{J3}^{(r)} \rightarrow \min \end{cases} \quad \sim \% \cdot$$

$X^{(r)}$  - პროდუქციის ნედლეულის კომპონენტების და ხარისხობრივი მახასიათებლების სიმრავლეა და

$$X^r = \{x_i^{(r)}\} \quad i = (\overline{1, n}) \mathbf{9}$$

$U^{(r)}$  -  $(r)$  ბიოტექნოლოგიური პროცესის რეჟიმული პარამეტრებია და

$$U^{(r)} = \{U_p^{(r)}\} \quad P = (\overline{1, L}) \mathbf{9}$$

$\Psi^{(r)}$  - გარემოფაქტორული ზემოქმედების პარამეტრების სიმრავლეა და

$$\Psi^r = \{\xi_q^{(r)}\} \quad q = (\overline{1, Q}) \mathbf{9}$$

$F^{(r)} = \{f_j^{(r)}\} (J = \overline{1, m})$  -  $(r)$  - ბიოსისტემის შედეგის, ბიოპროდუქტის მისაღწევად მიზანდასახულ ქმედებათა წესების მატრიცაა.

ზემოაღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება შემოვიტანოთ შემდეგი განსაზღვრებები:

**განსაზღვრა 1.** თუ მოცემულია:

**!** დასამზადებელი  $r$  - აპრიორული ბიოპროდუქტის  $\{Y_i^{(r)}\}$  ხარისხობრივი მაჩვენებლები (ბიოპროდუქტის შედეგენილობა) სასრული სიმრავლის სახით, შესაბამისი ზღვრული მნიშვნელობებით  $\mathbf{9}$

**@** ცნობილია ან რაიმე წესით განისაზღვრა  $i = (\overline{1, n_r})$  ნედლეულთა სასრული სიმრავლე, რომლებისაგანაც შესაძლებელია  $r$  ბიოპროდუქტის მიღება

მაშინ  $(1 \div 5)$  მათემატიკური მოდელის განსაზღვრული  $X^{(r)}$  და  $U^{(r)}$  რეჟიმული პარამეტრების მნიშვნელობებით შედგენილი  $\{f_r\}$  მიზანდასახულ ქმედებათა წესების მატრიცა უზრუნველყოფს  $r$  - ბიოპროდუქტის მიღებას, მოთხოვნილი პარამეტრებით.

მათემატიკური თვალსაზრისით ზემოგანხილული სისტემის ფუნქციონირების მათემატიკური მოდელი მიეკუთვნება მართვის თეორიაში ცნობილ განაწილების ამოცანათა კლასს. ბიოფიზიკის, ბიოქიმიის და ბიოკიბერნეტიკის ძირითად დასკვნებზე დაყრდნობით შეიძლება ითქვას, რომ უმეტესწილად ბიოსისტემები განაწილებადია. საკითხი ეხება ისეთ ბიოპროცესებს, რომელთათვისაც დამახასიათებელია ნივთიერებათა კონცენტრაცია და, შესაბამისად, ახალი კონცენტრატის მიღება, ნივთიერებათა მოლეკულების დიფუზია და სხვა. აღნიშნულიდან გამომდინარე, ვფიქრობთ, ზემოჩამოყალიბებული მათემატიკური მიდგომა გადაიკვეთება ბიოტექნოლოგიის იმ მიმართულებებთან, რომელთა პრობლემატიკა ახალი ბიოპროდუქტის მიღების ტექნოლოგიით დამუშავებაა, აღნიშნულიდან გამომდინარე შეიძლება ითქვას:

**განსაზღვრა 2.** თუ საჭიროა თეორიულად დამუშავებული ბიოპროდუქტის დამზადება, რომლის მიღების ტექნოლოგია უცნობია, მაგრამ ცნობილია (ან რაიმე წესით დადგინდა) იმ ნედლეულთა სასრული სიმრავლე, რომლებისგანაც ბიოპროდუქტი შეიძლება მივიღოთ, მაშინ ზემოგანხილული მათემატიკური მიდგომის (განსაზღვრა 1), არსებული ცოდნის ფარგლებში

შესაძლებელია განისაზღვროს მისი დამზადების ტექნოლოგიური სქემა, მონათესავე ტექნოლოგიების რეჟიმული გადაწყობით.

ზემომოხსენებულ თეორიულ ბიოპროდუქტში იგულისხმება ყველა ის ახალი ბიონაწარმი, რომელთა მოხმარება დღის წესრიგში დააყენა მოცემულმა გარემო პირობებმა და რომელთა სტრუქტურის (შედგენილობის) განსაზღვრა შესაძლებელია. ესენი შეიძლება იყოს სხვადასხვა სამკურნალო თუ პროფილაქტიკური კონცენტრატები, რომელთა მიღების აუცილებლობა განაპირობა ეკოლოგიურმა დაძაბულობამ, თუ ახლად აღმოცენებულმა დაავადებებმა, კონსუმტიკური თუ პარაფიქტური პროდუქტები, სხვადასხვა სახის ნიადაგის გამამდიდრებელი სასუქები და ა.შ.

აღნიშნული მიმართულების პრესპექტიულობის იმედს იძლევა ავტორთა მიერ ჩატარებული ექსპერიმენტები ქ. ჟიტომირის (უკრაინა) ქიმიური ბოჭკოს ქარხანაში, სადაც ერთიდაიგივე ნედლეულის, ერთიდაიმავე ტექნოლოგიურ ხაზზე, პროცესის რეჟიმული გადაწყობით მიღებულ იქნა ორი თვისობრივად განსხვავებული პროდუქტი, წინასწარმოთხოვნილი ხარისხობრივი მაჩვენებლებით. გარდა ამისა ბუნებაში მიმდინარე პროცესებიდან ცნობილია ისეთი ტექნოლოგიებიც, როცა ერთიდაიგივე ნივთიერებებისაგან მიიღება სხვადასხვა რადიკალურად განსხვავებული ბიოპროდუქტები.

### 3. დასკვნა

აპრიორული პროდუქტის ტექნოლოგიური პროცესის რეჟიმის მოდელის განსაზღვრამ შესაძლებელია განსაკუთრებული პრაქტიკული დატვირთვა შეიძინოს სხვადასხვა ბიოპროდუქტების ნარჩენების (მეორადი მატერიალური რესურსების) გადამუშავების პროცესში (უკუამოცანა), მათგან შესაძლებლობის ფარგლებში სასურველი, ეკოლოგიურად სუფთა პროდუქტების მიღების თავლსაზრისით. თანამედროვე კლასიკური ბიოლოგიის, ბიოტექნოლოგიის, ბიოფიზიკის, ბიოქიმიის, ბიოკომპიუტერული და სხვა მონათესავე დისციპლინების პროგრესული მეცნიერული დასკვნების თანაკვეთა, ვფიქრობთ თვისობრივად ახალ მიმართულებას მისცემს დასმულ პრობლემას და ჩამოაყალიბებს სრულიად ახალ მეცნიერულ აზროვნებას, პირობითად - კომპლექსური ბიოტექნოლოგიის სახით.

### ლიტერატურა

1. ცინცაძე ა., კაპანაძე თ., გაბედავა ო. დაპტური მოდელირება სრული იდენტიფიკაციის ამოცანაში. შრომები. მართვის ავტომატიზებული სისტემები №1. თბილისი. 2006.

## APRIORIAL FORMALIZATION OF SEVERAL PROBLEMS REGARDING THE BIOTECHNOLOGICAL SYSTEMS MODELLING

Kapanadze Teimuraz, Tsintsadze Aleko, Gabedava Omar  
Georgian Technical University

### Summary

The biotechnological system structure is considered and the functional correlation is formally developed. The mathematical model of the functional systems is formulated, including within the famous class of the delegated tasks within the management theory. In this case, mathematics is not presented as the qualitative calculation method, by the quantitative indicator of “thinker” system.

## АПРИОРНАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Капанадзе Т., Цинцадзе А., Габедава О.  
Грузинский Технический Университет

### Резюме

Рассмотрена структура биотехнологических систем и формализованное описание функциональных отношений. Разработана математический модель функционирования систем, которая относится к известному классу распределенных задач в теории управления. В данном

случае математика представлена не как метод количественного расчёта, а как качественный показатель «мышления» систем.