

ბიზნეს-ინჟინერინგი არქიტექტურაში

ფრაქტალური არქიტექტურა - ქვესნობიერი თუ ლოგიკური

ზურაბ კიკნაძე, პროფესორი
თამარ ტაბატაძე, დოქტორანტი

რეზიუმე

არქიტექტურა, როგორც შემოქმედებითი შრომის შედეგი, ბუნებრივად ეფუძვნება ადამიანის მიერ ინტუიციურად თუ შეგნებულად აღქმულ სამყაროს განვითარების კანონებს. გარემოს ზემოქმედების (არა აუცილებლად ენერგეტიკული) კვალი (ფორმალურად: წინასახე — ანასახე), როგორც წესი, გეომეტრიულია და საბოლოო ანგარიშში — ფრაქტალური. არქიტექტურაში ფრაქტალური გეომეტრიის გამოყენებამ შესაძლებელი გახადა რთული სტრუქტურების მოდელირება და არქიტექტურული ფორმების დეტალური ანალიზი. XXI საუკუნის დასაწყისის თანამედროვე არქიტექტურაში ფართოდ გამოიყენება „ასიმეტრიული“ ბიომორფული ხაზები, ზედაპირები, მცენარეული დეკორი, რომლებიც ასახავენ ბუნებრივი ფორმების არარეგულარობას. ფრაქტალების მსგავსი ფორმის წარმოქმნის პრინციპები არქიტექტურაში აღინიშნება ძველი დროიდან, თუმცა მშენებლობის ფრაქტალური წესების გამოყენება ყოველთვის არ აღმოჩნდებოდა ხოლმე ლოგიკურად დადასტურებული, მაგრამ მხატვრულად გამოსახული პროპორციების ძიებასა და ფორმათწარმოქმნაში არქიტექტორებს უძღვებოდა ინტუიცია და ტალანტი, ჰარმონიის გრძნობა და მაღალი პროფესიონალიზმი.

საკვანძო სიტყვები: ფრაქტალური არქიტექტურა, ფრაქტალური გეომეტრია, ბიონიკური არქიტექტურა, გეომეტრიული გარდაქმნები, გაუდი.

Summary

Architecture - a result of a human's creative endeavor is based on the laws of the development of universe perceived by humans on conscious or subconscious levels. Impact of the environment (not necessarily energy) is usually geometrical and is fractal in the final report. Using of fractal geometry in architecture made it possible to model complex structures and analysis of architectural forms. At the beginning of the XXI Century "asymmetric" biomorphic lines, surfaces, plant decor, were widely used in contemporary architecture. They illustrate the irregularity of the natural forms. So, the principals of creating fractals have been used in architecture since the ancient times. However, using fractal principles in construction works has not always been proven logically, but in creation of artistically expressed proportions, artist were led by the intuition, tal-

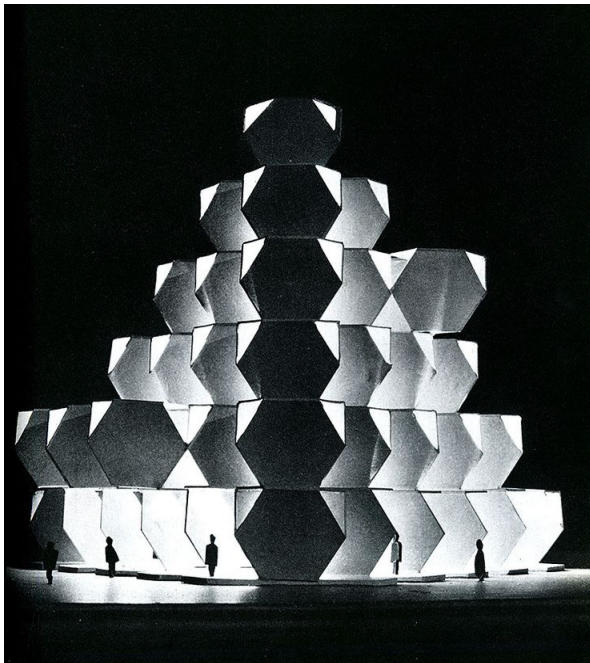
ent, sense of harmony and professionalism.

Keywords: Fractal architecture, Fractal geometry, Geometric transformations, Bionic architecture, Gaudi.



ბუნებრივი გარემოს თუ აბსტრაქციული გეომეტრიული ფიგურების სამყაროს ფრაქტალური მოწყობის პრინციპის გაგება დღეისათვის ღრმად იჭრება საქმიანობის მრავალ სფეროში, მათ შორის, როგორც არქიტექტურულ-სამშენებლო ობიექტების გარესახის ფორმირებაში ასევე მათ შინაგან სტრუქტურულ ორგანიზაციაში. საკმაოდ მოარულია გამოთქმა, რომ ფრაქტალები „მეტყველებენ“ ბუნების ენით. ბუნება კი თავისთავად ყოველთვის ითვლებოდა არქიტექტურულ ფორმათწარმოქმნის და კომპოზიციის შთაგონების პირველწყაროდ. სხვადასხვა ეპოქის ხუროთმოძღვართა მიერ აღიარებული და პრაქტიკაში გამოცდილი პროპორციულობის, კონტრასტის, ნიუანსის, ჰარმონიულობის, კომფორტულობის, სენსორიკის იდეები ყოველთვის გამომდინარეობდნენ გარემოს თუ ცოცხალი ბუნების ასახვის (გარდასახვის) შედეგად. ამდენად გასაკვირი არ უნდა იყოს, რომ ფრაქტალური არქიტექტურის მოტივები მსოფლიოს არქიტექტურის პრაქტიკაში შეიძლება არსებულიყო ფრაქტალური პრინციპის დეკლარირებამდე. ამის თვალსაჩინო ილუსტრირება გაუდის შესანიშნავი შემოქმედება (ნახ. 1). ბენუა მანდელბროტის მიერ მათემატიკურად მწყობრად და თვალ-

საჩინოდ ჩამოყალიბებული ფრაქტალური თეორიის („ბუნების ფრაქტალური გეომეტრია“) აღიარებას არ შეეძლო სტიმული არ მიეცა თანამედროვე არქიტექტურული პრაქტიკისა და დაპროექტების მეთოდოლოგიისთვის (მაგალითად, ცვი ჰაკერის შემოქმედება). ამ შემთხვევაში საუბარია ფრაქტალური არქიტექტურის გააზრებულ განვითარებაზე. რომლის პროდუქტი იოლად საცნობია, რამდენადაც ეყრდნობა ისეთ დებულებებს, როგორიცაა განზომილებათა „არაეკვილიდურობა“, ობიექტის სტრუქტურული ერთეულების თვითმსგავსება, ფორმათა გენერაციის დინამიკა, დისკრეტულობა, ფორმანარმოქმნის შედარებით მარტივი რეკურენტული (მომდევნო ბიჯის წინაზე დამოკიდებულება) ალგორითმის იტერაციულობა (პროცესის ციკლური ხასიათი). მნიშვნელოვნად უფრო ფართო შესაძლებლობები მოიაზრება მულტიფრაქტალებში, რაც ერთ ობიექტში რამდენიმე მაფორმირებელი ალგორითმის მონაცვლეობით არის განპირობებული. [1]



მანდელბროტის მიერ ცნება „ფრაქტალის“ სამეცნიერო მიმოქცევაში შეყვანამ (ლათინურიდან fractus — „დამსხვრეული, დამტვრეული, გატეხილი“) ხელი შეუწყო დისციპლინათაშორის მიდგომის განვითარებას, რც დაფუძნებულია წრფივი დინამიკის, ფრაქტალური გეომეტრიის, თვითორგანიზების თეორიის მეთოდებზე. ამან წარმოქმნა საშუალება არსებითად გაფართოებულიყო სამეცნიერო კვლევების ჩარჩოები. მაგალითად, ობიექტების დეტალური სტრუქტურის ტოპოლოგიის თავისებურებების გათვალისწინების მიმართულებაში, ქაოტური სისტემების დინამიკის ანალიზის დახვეწაში, რაც უზრუნველყოფს სხვადასხვა პროცესების (ბუნებრივი, ტექნიკური და სოციალური) სტრუქტურების, რეალური ობიექტების იერარქიული სივრცული ორგანიზაციის რაოდენობრივ აღწერას (ბუნებრივი ფორმების მორ-

ფოგენები), ე. ი. ადეკვატური მოდელების შექმნას. ციფრული ინფორმაციული ტექნოლოგიების საშუალებების განვითარებამ უზრუნველყო ფრაქტალური გეომეტრიის ობიექტების აგების რთული რეკურსიული პროცედურების ეფექტური რეალიზაციის და ამ ობიექტების შემდგომი კომპიუტერული ვიზუალიზაციის შესაძლებლობა (ნახ. 2).



თანამედროვე კვლევებმა მეცნიერების სხვადასხვა დარგში მოითხოვა სხვადასხვა ობიექტებისა და პროცესების უფრო ხარისხიანი წარმოდგენა (მოდელირება), მათი ფორმების, კონტურების, ზედაპირების „გაბრტყელების“, მათი სტრუქტურის გაუმართლებელი გამარტივების, საკვლევი ობიექტებისა და პროცესების ზოგიერთი თვისების (მათ შორის, არსებითი და დამახასიათებელი) იგნორირების გაწევა. ასეთებია: ფოროვანი მასალების რთული გეომეტრიული, არარეგულარული ზედაპირების სიმრუდის აღწერა; ბზარების ბადე მყარი სხეულების დეფორმაციისა და მსხვრევისას; ელვის გავრცელების ტრაექტორია; მცენარეთა და ცხოველთა სამყაროსთვის ჩვეული ბიოლოგიური კონფიგურაციები, კერძოდ, ადამიანის სისხლძარღვთა ქსელი და ნერვული სისტემა; ტურბულენტური პროცესები აირების ან ჰიდრომექანიკის დინამიკაში და სხვა მრავალი. ბუნებაში მსგავსი (განშტოებული, სპირალური, დანაწევრებული) სტრუქტურები ყველგან გვხვდება, სადაც აუცილებელია ნივთიერების (ენერგიის) ზედაპირიდან (წირიდან) შეგროვება ერთ ან წერტილთა სიმრავლეში, სტრუქტურის მინიმალურ მოცულობაში (ფართობში), ან პირიქით - მაქსიმალურ არეალში (თანაბრად განაწილების შემთხვევაში - სტრუქტურის ლაკუნარობა).

ფრაქტალური არქიტექტურა პირობითად შეიძლება დაიყოს ორ ტიპად: ხელოვნურად შექმნილი და ბუნებრივად გამოვლენილი. ხელოვნურად შექმნილი ფრაქტალური არქიტექტურა შეიძლება დახასიათდეს, როგორც ინტუიტიური ან გაცნობიერებული. ინტუიტიურ ფრაქტალებად იგულისხმება წარსულში მსოფლიო არქიტექტურის მრავალი შედეგის სტრუქტურა, რომლებშიც არქიტექტორმა ან მშენებლებმა გაუცნობიერებლად გამოიყენეს ფრაქტალური პრინციპები. აღსანიშნავია, რომ ფრაქტალების მსგავსი ფორმები წარმოდგენილია სხვადასხვა ეპო-

ქისა და ხალხების შენობა-ნაგებობებში, და ასახავენ ფორმის წარმოქმნის სხვადასხვა ალგორითმების რეალიზაციას.

მანდელბორტმა პირველმა შემოიტანა ცნება არქიტექტურის ფრაქტალურობის შესახებ. იკვლევდა რა თვითნარმოქმნელ არარეგულარულ სტრუქტურებს, მანდელბორტმა დაახასიათა თეორია, როგორც უფორმო სხეულთა მორფოლოგია. მისი განმარტებით, ფრაქტალი — არის სამყაროს სივრცული ორგანიზაციის ერთ—ერთი ფუნდამენტური პრინციპი, რომელიც აკავშირებს ქაოსის თეორიას, ბუნების გეომეტრიას, უსასრულობის და ევოლუციის კატეგორიებს. არქიტექტურაში ფრაქტალური ფორმების ძირითადი მახასიათებელი ფორმათა თვითმსგავსებაა. მაგალითად: ინდური ტაძრები (კომპლექსი კაჯურახოში, პრამბანანას ტაძარი ინდონეზიაში. ნახ 3). ამ მოვლენასთან ასოცირდება საფეხურიანი პირამიდები, სამრეკლოები, გოთიკური შენობების ფასადები. ქრესტომატიულად შეიძლება ჩაითვალოს ციხესიმაგრე კასტელ-დელ-მონტე, (იტალია. აშენებულია წმინდა რომის იმპერიის იმპერატორის ფრიდრიხ II პროექტით) გეგმაში მართკუთხედი, წვეროებზე მიშენებულია რვა კოშკით, რომლებსაც აგრეთვე გეგმაში გააჩნიათ მართკუთხედის ფორმები. ნიშანდობლივია მათემატიკური მეტაფორა ვეიერშტრასის ფუნქციის გრაფიკის სახით, რომელიც წარმოადგენს ტაძრების სილუეტების პროტოტიპს, ვერტიკალური განმეორებითი ელემენტებით (მილანის ტაძრის სილუეტის კონტური). მრავალგუმბათიან ეკლესიების გუმბათების განლაგება და ზომები ერთ სიბრტყეში ღერძული სიმეტრიით, ასოცირდება ცნობილ ფრაქტალურ ფორმასთან — სერპინსკის რგოლებთან სამკუთხედთა. სპირალური ფორმები, რომლებიც ასახავენ ერთ—ერთ გავრცელებულ ფრაქტალურ ალგორითმს ბუნებაში, გამოიყენება ხელოვნურ გარემოშიც, არქიტექტურისა და დიზაინის ჩათვლით: „ნეტარი ვასილის“ სპირალური დეკორი (მოსკოვი), გალავნების და ლითონის გისოსების დეტალები, დეკორატიულ—რენვის ხელოვნების ნიმუშები.

ამგვარად, ფრაქტალების მსგავსი ფორმის წარმოქმნის პრინციპები არქიტექტურაში გამოიყენება ძველი დროიდან დღევანდლობამდე, თუმცა მშენებლობის ფრაქტალური წესების გამოყენება ყოველთვის არ აღმოჩნდებოდაა ლოგიკურად დადასტურებული, მაგრამ მხატვრულად გამოხატული პროპორციების ძიებასა და ფორმათწარმოქმნაში არქიტექტორებს უძღვებოდა მათი ინტუიცია და ტალანტი, ჰარმონიის გრძნობა და მაღალი პროფესიონალიზმი.

მანდელბორტის ნაშრომის — „ბუნების ფრაქტალური გეომეტრია“ — გამოქვეყნების შემდეგ, ფრაქტალური ალგორითმების გამოყენება არქიტექტურულ მორფოგენეზში გაცნობიერებული ხდება. არქიტექტურაში ფრაქტალური გეომეტრიის გამოყენებამ შესაძლებელი გახადა რთული სტრუქტურების მოდელირება და არქიტექტურული ფორმების ანალიზი. სხვადასხვა ტიპის არქიტექტურული ნაგებობებისთვის შეიძლება მოიძებნოს ფრაქტალური

ანალოგი, ორგანოზომილებიანი ან სამგანზომილებიანი და ამით გამოვლინდეს მათი ფრაქტალური ალგორითმი. გრაფიკული ფრაქტალური სახეების ხარისხიანი ანალიზი, რომლებიც თვალსაჩინოს ხდის ფასადების, გეგმებისა და სამგანზომილებიანი არქიტექტურული ფორმების ზოგიერთ არქეტიპებს, ეფექტურია იმიტაციური კომპიუტერული მოდელირების დახმარებით. შეიძლება ზოგიერთი გრაფიკული ფრაქტალების მოდელირება არქიტექტურული ფასადებისა და გეგმების ციფრული პროტოტიპების სახით. სავარაუდოა გამოვლინდეს მორფოგენეზის მრავალი მიმართულება და გადაწყვეტა, ფორმის წარმოქმნის ადრე აუხსნელი ასპექტების ჩათვლით და პოტენციურად ახალი არქიტექტურული ფორმების შესაქმნელად.

უნდა აღინიშნოს, რომ არქიტექტურაში გამოიყენება ფრაქტალური იტერაციები განმეორებების შეზღუდული რიცხვის გამოყენებით, აგრეთვე მათი აგების ალგორითმების ცვლით, მკაცრი მსგავსების დარღვევით, სხვადასხვა ვარიაციების შეტანით, ე.ი. გამოიყენება კვაზიფრაქტალები, მულტიფრაქტალური სტრუქტურები. მხედველობაშია არაერთგვაროვანი ფრაქტალური ობიექტები, რომელთა სრული აღწერისთვის საკმარისი არ არის მხოლოდ ერთი პარამეტრის შეყვანა მისი ფრაქტალური ზომით, არამედ აუცილებელია სიდიდეების მთელი სპექტრი. მულტიფრაქტალები შეიძლება განისაზღვროს არა აგების ერთადერთი ალგორითმით, არამედ რამდენიმე თანმიმდევრობით ერთი მეორის შემცვლელი ალგორითმებით (ნახ. 4).

ამგვარად, ფრაქტალური მიდგომა - ეს არქიტექტურული ფორმების ანალიზისა და პროექტირების პოტენციალურად საკმაოდ ეფექტური მეთოდია, რომელსაც შეუძლია არსებითად გაამდიდროს არქიტექტურული თეორიისა და პრაქტიკის არსენალი. აუცილებელია გავითვალისწინოთ ფრაქტალი უნარიც გახდეს სენსიტიური, სინთეზური რაციონალური სანყისით, ამ უნარის გამოყენების ასპექტში არქიტექტორების, ურბანისტების, არქიტექტურის თეორიის დარგის სპეციალისტების საქმიანობის სფეროში. საუბარია არქიტექტურაში ახალ პარადიგმაზე გადასვლის შესახებ, მეცნიერულად რთული სისტემების გავლენის ქვეშ, რომლებიც მოიცავენ ფრაქტალურ გეომეტრიას და არანრფივ დინამიკას.



აღსანიშნავია ნაგებობების ორგანული ჩაშენების ტენდენციები ბუნებრივ გარემოცვაში, რომელიც განსაზღვრავს ბუნებრივი და ანტროპოგენური ლანდშაფტის ინტეგრაციას (ფორმების მსგავსება არქიტექტურაში, დიზაინში ბუნებრივ ფორმებთან). ეს ტენდენცია მკვეთრად არის გამოხატული მოდერნის სტილში და „ორგანულ“ არქიტექტურაში. მკვლევარების მიერ აღნიშნულია, რომ „XX საუკუნის დასაწყისის მოდერნის არქიტექტურაში ფართოდ გამოყენებული პლასტიური, „მიმდინარე“, „ასიმეტრიული“, ბიომორფული ხაზები, ზედაპირები, „ნაკადოვანი“ მცენარეული დეკორი, ფიგურების რელიეფური გამოსახულებები შენობებს ამსგავსებს ცოცხალ განვითარებად ორგანიზმს, იმიტირებენ ბუნებრივი ფორმების არარეგულარობას.[2, 3].

არქიტექტურული პროცესის სტრატეგიისა და შესაძლო მიმართულებების განსაზღვრა უნდა განიხილებოდეს იერარქიული ფორმულის შესაბამისად: მასალები ტექნოლოგიები ფორმები. სამეცნიერო-ტექნიკური ბაზის თანამედროვე მდგომარეობა არსებითად აფართოებს არქიტექტურის შესაძლებლობებს, განსაკუთრებით ფრაქტალური ფორმების რეალიზაციის ასპექტში. შეიძლება მოვიყვანოთ ნაგებობათა თანამედროვე მაგალითები, რომლებიც აერთიანებენ ფუნქციონალურობას, ტექნოლოგიურობას, ეკოლოგიურობასა და წარმოსახვით გადაწყვეტას, რომლებიც ასახავენ ფრაქტალურ ფორმებს, თანაც შეგნებულად და მიზანმიმართულად.

გამოყენებული ლიტერატურა:

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – Москва: Институт компьютерных исследований, 2002,
2. Лебедев Ю.С., Архитектурная Бионика, Стройиздат, Москва, 1990.
3. Кикнадзе З., Лагидзе В. «Имитационное моделирование архитектурно-бионических форм на ЭВМ». Труды ТБИЛЗНИИЭП, 1984.
4. Fractals: Form, Chance and Dimension, by Benoit Mandelbrot; W H Freeman and Co, 1977;ISBN 0-7167-0473-0
5. Ivry, Benjamin. “Benoit Mandelbrot Influenced Art and Mathematics”, Forward, 17 November 2012
6. Devaney, Robert L. (2004). “Mandelbrot’s Vision for Mathematics” in Proceedings of Symposia in Pure Mathematics. Volume 72.1” (PDF). American Mathematical Society. Retrieved 5 January 2007.[dead link]
7. Jersey, Bill (24 April 2005). «A Radical Mind». Hunting the Hidden Dimension. NOVA/ PBS. Retrieved 20 August 2009.
8. Galaxy Map Hints at Fractal Universe, by Amanda Geffer; New Scientist; 25 June 2008
9. «PNNL press release: Mandelbrot joins Pacific Northwest National Laboratory». Pnl.gov. 16 February 2006. Retrieved 17 October 2010.
10. «Légion d’honneur» announcement of promotion of Mandelbrot to «officier» (in French). Legifrance. gouv.fr. Retrieved 17 October 2010.