

Modeliranje sile loma na zatezanje elemenata od masivnog drveta genetskim programiranjem

REDŽO R. HASANAGIĆ, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać,
Bosna i Hercegovina

Originalni naučni rad
UDC: 620.178.2
DOI: 10.5937/tehnika1805653H

U ovom radu izvršeno je modeliranje sile zatezanja kod masivnog drveta spojenog zupčastom vezom korišćenjem metode genetskog programiranja. Eksperimentalna ispitivanja provedena su nad bukovim i hrastovim testnim epruvetama. Eksperimentalno istraživanje sastojalo se u mjerenju sile za različite ulazne parametre, poput vrste drveta, širine, epruvete, debljine sloja i dr. Nakon eksperimentalnog dijela, podaci o mjerenju prikupljeni su u obliku pogodnom za matematičko modeliranje, pri kojem su definisani ulazni parametri (prediktori) eksperimenta koji čine geometrijski odnos zubaca l/p , odnos širine i debljine elemenata b/h , gustoća drveta ρ i vlažnost proba $W(\%)$. Kao izlazna varijabla definisana je srednja sila istezanja, F_{ist} . Tako dobijeni eksperimentalni podaci podjeljeni su na dva dijela: prvi dio eksperimentalnih rezultata koristio se za treniranje i dobijanje model sile zatezanja, dok se drugi dio podataka koristio za testiranje i validaciju modela. Nakon formiranja modela urađena je analiza rezultata, i evaluacija dobijenog modela. Analiza i diskusija rezultata je pokazala da se metoda genetskog programiranja uspješno može koristiti u modeliranju ovakvih eksperimentalnih istraživanja.

Ključne reči: modeliranje sile zatezanja, zupčasti vez, genetsko programiranje

1. UVOD

Ispitivanjem masivnog drveta spojenog zupcima na čvrstoću istezanja određuje se njegova čvrstoća, trajnost, kvalitet i ostale osobine za tačno određenu upotrebu. Širok je raspon korištenja produženog masivnog drveta bilo kao osnovnih konstrukcijskih elemenata ili pak gotovih proizvoda. Njihovi različiti radni uslovi usljed mehaničkih, toplotnih, hemijskih i drugih djelovanja zahtijevaju drvo takvih karakteristika, koje će imati potrebnu čvrstoću, trajnost, sigurnost i ekonomičnost. Danas je tehnika spajanja zupcima masovno prihvaćena u industrijskoj proizvodnji. Predviđa se da će dužinsko spajanje elemenata od masivnog drveta zauzimati sve značajnije mjesto u industriji drvnih proizvoda i to zbog sve složenijih zahtjeva za oblikovanjem savremenih konstrukcijskih rješenja koji pridonose većoj iskorištenosti drvene sirovine, njihovoj racionalnoj preradi i primjeni u izradi kvalitetnih proizvoda.

Čvrstoća lijepljenja zupčastih spojeva jedno je od najvažnijih tehničkih svojstava dužinski slijepljenih elemenata. Stoga posebnu pažnju treba posvetiti pravilnom izboru zupčastog sastava. U radu su prikazana istraživanja zatezne sile loma zupčastih spojeva spojeva izrađenih od bukovine i hrastovine, a za uticajne parametre su uzeti gustoća drveta (ρ), odnos širine i debljine drveta (b/h) i geometrijske veličine mini zupca izražene odnosom dužine i širine zupca (l/p). [1]. Zbog toga je sa teorijskog stanovišta istraživano nekoliko autora [2, 3, 4] sa različitim aspektima čvrstoće zupčastih spojeva, primjenom kroz eksperimentalno istraživanje i matematičko modeliranje do numeričke simulacije. To je uvijek bilo samo sa jednim ciljem - unapređivanje efikasnosti procesa i kontrolu procesa da bude predvidljiviji. Prvi put prilikom primjene zupčastih spojeva u konstrukcijskim rješenjima, korišteni uzorak čvrstoće je bio tipa s prolazom okrenutim prema dolje i spojem smještenim u centru dužine. [4, 5] Za proizvodnju ovakve vrste je bila potrebna specijalna oprema i stega. Testni uzorak je izradio Selbo [6, 7] a evaluaciju su izvršili Bohannan i Selbo [8]. U istraživačkom radu [9] bitni parametri, koji određuju čvrstoću spajanja masivnog drveta zupčastim vezom, su visina, dužina zuba, debljina vrha i nagiba. U ranijim istraživanjima kod ispitivanja zupčastog spoja autori u studiji [10, 11] su koristili metodu konačnih

Adresa autora: Redžo Hasanagić, Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet Bihać, Irfana Ljubijankića bb, Bihać, Bosna i Hercegovina

e-mail: rezo.hasanagic@unbi.ba

Rad primljen: 18.06.2018.

Rad prihvaćen: 06.07.2018.

elemenata, MKE za modeliranje krajnjeg pritiska, modul elastičnosti i čvrstoće savijanja drvenih spojeva napravljenih od bora. MKE primenjena na testovima za krajnji pritisak pokazala je uži opseg u poređenju sa rezultatima modeliranja. Također u istraživanju [12] su korišćene metode matematičkog modeliranja i optimizacije, gdje je osnovna svrha modeliranja procesa i sistema definiranje matematičkih modela i drugih prikaza koji će u odgovarajućem stepenu tačnosti adekvatno opisati proučavani proces/sistem u cilju.

2. PODRUČJE PROUČAVANJA I PROMATRANI PODACI

U ovom radu cilj je bio genetskim programiranjem odrediti numeričku silu loma kod masivnog drveta spojenog zupčastim vezom gdje su testirani bukovi i hrastovi elementi za ulazne parametre l/p (dužina i razmak između zubaca), b/h (odnos debljine i širine probe), ρ (gustoća drveta) te w (%) (vlažnost proba), slika 1.



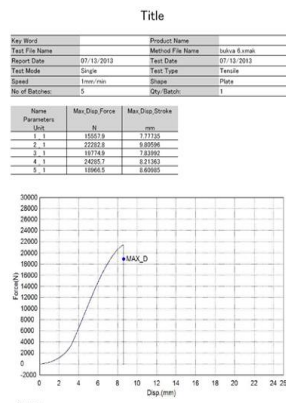
Slika 1 - Bukovi elementi produženi zupčastim vezom [3]

Produžavanje drveta je na liniji za produžavanje, njemačkog proizvođača opreme „Weinig“ korišćenjem jednokomponentnog vodootpornog ljepila Kleiberit 300.0, koje zadovoljava zahtjevne norme kvaliteta lijepljenja EN 204.

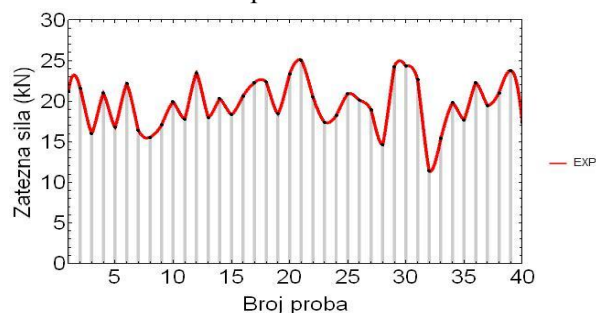
Ispitivanje čvrstoće na istezanje do kritične tačke loma proba vršeno je na Tehničkom fakultetu u Bihacu korištenjem kidalice tipa SIL - 50KNAG, proizvođača SHIMADZU, slika 2.



Slika 2 - Kidalica SHIMADZU tip SIL-50KNAG bukve i prikaz sile loma na probi [3]



Na slici 2., je prikazan rezultat mjerenja sile loma bukovih proba u šestom eksperimentu koji se ispisuje na računaru kidalice tipa SIL-50KNAG.



Slika 3 - Rezultati eksperimenta [3]

Iz dijagrama, slika 3, vidljivi su rezultati izmjerene sile istezanja masivnog drveta spojeno zupčastim vezom po eksperimentu.

3. PARAMETRI GENETSKOG PROGRAMIRANJA

Algoritam genetskog programiranja (GP) može se kontrolirati sa 19 parametara, od kojih su 2 osnovna parametra, 11 sekundarnih parametara, te 6 kvalitativnih varijabli koje se biraju različitim alternativnim načinima pri izvršavanju algoritma [13].

Dva glavna parametra čine:

- M - veličina populacije i
- G - maksimalni broj generacija izvršavanja algoritma.

Jedanaest sekundarnih parametara koji kontrolišu izvršavanje genetskog programiranja čine:

- p_c - vjerojatnost ukrštanja. Preporučena vrijednost treba da bude veća od 90%.
- p_r - vjerojatnost reprodukcije. Preporučena vrijednost između 10 i 20 % ukupne populacije.
- p_{ip} - vjerojatnost odabira unutrašnje tačke (funkcijskog čvora) ukrštanja. Preporuka je da se obezbijedi 90% vjerojatnost da se izabere unutrašnja tačka za ukrštanje, dok bi analogno tome 10% iznosila vjerojatnost odabira vanjske tačke (terminalskog čvora) u odnosu na ukupne tačke jednog hromosoma.
- d_c - maksimalna dubina S-izraza, formirana po osnovu genetske operacije ukrštanja
- hromosoma ili bilo koje druge sekundarne genetske operacije (mutacije, decimacije, enkapsulacije i sl.)
- d_i - maksimalna dubina S-izraza pri formiranju početne populacije.
- p_m - vjerojatnost mutacije u populaciji.
- p_p - vjerojatnost permutacije u populaciji.
- p_d - frekvencija primjene decimacije nad hromosomom u populaciji.

- P_e - vjerojatnost enkapsulacije u populaciji.
- c_d - uvjet aktiviranja decimacije na hromosomom.
- pp_d - postotak decimacije u populaciji.

Sekundarni parametri uključuju se u algoritam zavisno od načina implementacije GP, te se smatraju opcionim parametrima. Sljedećih šest kvalitativnih varijabli odabiru se različito od izvršavanja algoritma genetskog programiranja:

- Metoda formiranja početne populacije. Ova varijabla može poprimiti vrijednosti načina generiranja početne populacije shodno prethodnom izlaganju.
- Metoda selekcije najboljih hromosoma za reprodukciju i prenos u novu populaciju.
- Metoda selekcije drugog roditelja za ukrštanje. Ova vrijednost uglavnom je ista kao i kod izbora prvog roditelja.
- Optimalna postavka evaluacije fitness funkcije.
- Prethodna selekcija, ova varijabla se koristi kada populacija sadržava veći broj jedinki.
- Strategija elite. Ova varijabla označava da se najbolji hromosomi uvijek prenose u narednu populaciju, te jedino oni učestvuju pri genetskim operacijama.

Optimalni izbor kontrolnih parametara GP, odražava se kako na kvalitet dobijenih rezultata, tako i na performanse algoritma. Neće se uvijek dobiti kvalitetni rezultati ako uključimo sve parametre u algoritam. Isto tako, neće se dobiti brz i kvalitetan rezultat ako se postavi broj jedinki u populaciji velik, dok se rješava jednostavan problem. Optimalno korištenje parametara za kontrolu GP, predstavlja složen zadatak, a prvenstveno zavisi od iskustva istraživača. U fazi testiranja algoritma potrebno je empirijski uvidjeti s kojim vrijednostima GP parametara algoritam brže konvergira, i daje kvalitetnije rezultate.

4. GP DOTNET ALAT ZA MODELIRANJE METODOM GENETSKOG PROGRAMIRANJA

GPdotNET je kompjuterski program u kojem je implementiran algoritam genetskog programiranja [14]. Ovaj program je nastao kao rezultat višegodišnjeg istraživanja i usavršavanja, tako da je danas program u petoj verziji, koji pored genetskog programiranja sadrži i implementaciju algoritama baziranih na metodi vještačkih neuronskih mreža. Paralelno izvršavanje omogućuje veliko skraćivanje vremena izvršavanja, te omogućuje da se ograničenja u pogledu parametara algoritma povećaju a samim tim omogućuje da se rješavaju mnogo složeniji procesi.

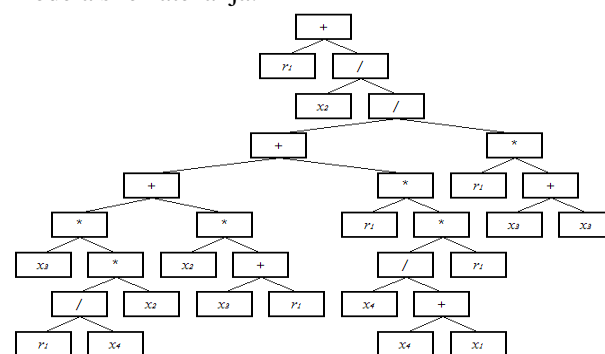
GPdotNET je program open source tipa, Cross-OS program koji je kompatibilan kako sa Windows OS, tako i Linux baziranom operativnom sisitemu, dok kao platformu koristi .NET odnosno Mono Framework.

Dobar pokazatelj vrijednosti GPdotNET-a je ta da je korišćen u mnogim naučnim radovima, doktorskim disertacijama, skriptama i sl. Osnovna osobina ovog progama jeste jednostavan i intuitivan način rada, pri kojem program mogu koristiti i korisnici koji manje poznaju metodu genetskog programiranja i modeliranja uopće. GPdotNET se sastoji od nekoliko korisničkih interfejsa pri kojem korisnik unosi podatke za modeliranje, podešava parametre genetskog programiranja, te pokreće algoritam, dok se u međuvremenu na ekranu vizualno prikazuju izlazni parametri poput trenutnog najboljeg rješenja, evaluaciju najboljeg rješenja, evaluaciju podataka za validaciju odnosno predikciju, grafički prikaz najboljeg rješenja u obliku strukture drveta i poljske notacije. [15] U većini slučajeva rješenje modeliranja predstavlja matematički model koji je višestruko nelinearan, a njegove vrijednosti dosta bliže u odnosu na klasične metode regresije. U mnogim radovima modeli koji su dobijeni metodom genetskog programiranja dosta tačnije modeliraju podatke u odnosu na klasične regresijske modele. [15]

5. REZULTATI I DISKUSIJA

Model sile istezanja implementiran je koristeći kompjuterski program GPdotNET [15]. Na slici 4 prikazan je model sile zatezanja u obliku stabla izraza.

U tabeli 1 prikazani su rezultati eksperimenta te rezultati koji su izračunati korištenjem dobijenog GP modela sile zatezanja.



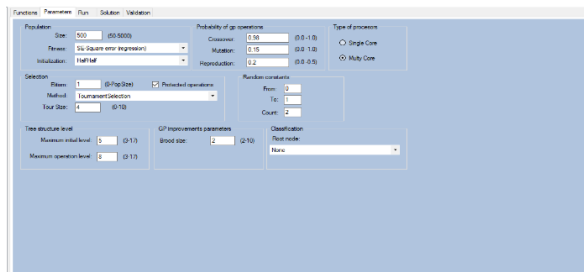
Slika 4 - Model evaluacije

Pored grafičkog prikaza modela, GPdotNET program nudi da se model može eksportovati u druge programe, ali kao i analitički izraz. Analitički izraz GP modela sile zatezanja prikazan je sa sljedećim analitičkim izrazom:

$$F_i = r_1 + \frac{2r_1 \cdot x_2 \cdot x_3}{x_2 \cdot x_3 + \frac{r_1^2 \cdot x_4}{x_1 + x_4} + \frac{r_1 \cdot x_2 \cdot (x_3 + x_4)}{x_4}} \quad (1)$$

GP model sile zatezanja dobijen za određenu konfiguraciju GP koja zavisi od sljedećih parametara: veličini populacije, vjerojatnosti mutacije, broju generacija i veličini prozora. Ti parametri mogu poprimiti

širok raspon vrijednosti, što može značajno utjecati na rad i kvalitetu rješenja GP. Utjecaj veličine prozora kao i ostalih parametara na rad GA može se pronaći u [16]. Na slici 5, prikazani su parametri GP pri kojim je dobijen model sile zatezanja:



Slika 5 - Parametri GP korišteni za dobijanje modela sile zatezanja [15]

GP s velikim selekcijskim pritiskom ranije pronalaze rješenje, što znači brže konvergiraju nauštrb kvalitete dobivenog rješenja, jer brža konvergencija uzrokuje veću vjerojatnost zaglavlivanja u lokalnom optimumu.

S druge strane, ako je selekcijski pritisak premali, vrijeme se troši na beskorisne iteracije jer je konvergencija u tom slučaju prespora [17]. Optimalne vrijednosti ostalih parametara utvrđene su eksperimentalno. Od veličine populacije očekuje se pozitivna korelacija s kvalitetom i brzinom konvergencije rješenja.

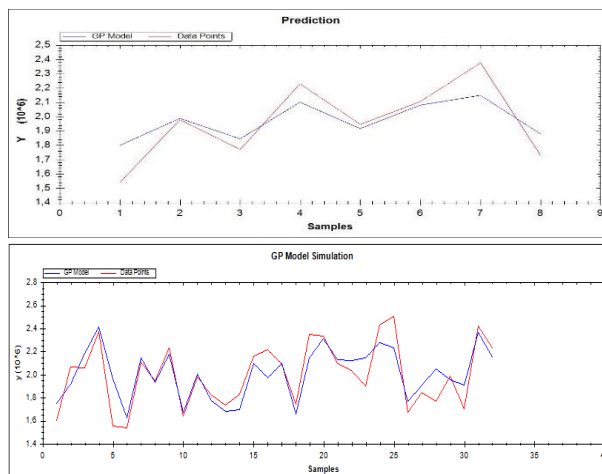
Vjerojatnost mutacije ključni je parametar koji omogućuje GP novi genetski materijal da se unese u populaciju, a stime i mogućnost dobijanja boljih rješenja. Prema tome, očekuje se značajan učinak mutacije na kvalitetu rješenja, no taj učinak je složen. Broj generacija trebao bi pozitivno korelirati s kvalitetom rješenja, a negativno s brzinom izvođenja programa.

Tabela 1. EXP i GP rezultati

Br .ex	b/h	l/p	ρ	W (%)	F_{EXP}	F_{GP}
			[kg/m ³]		[kN]	[kN]
1	1,00	2,25	764	10,10	21,2	18,608
2	1,09	2,25	765	13,00	21,6	21,134
...
38	2,00	3,25	537	8,70	21,0	21,008
39	1,91	3,25	493	8,90	23,7	20,975
40	1,97	3,25	477	8,80	17,3	18,608

Na temelju dobivenih rezultata (tabela 1), prikazana si rezultati eksperimenta i GP modela, slika 6. Na slici 6, prikazani su grafovi koji prikazuju razdiobu dobrote rješenja za četiri odabrana skupa parametara kod spajanja masivnog drveta zupcima.

Grafovi upućuju na zaključak da za te skupove parametara algoritam konzistentno pronalazi rješenja bliska optimalnom.



Slika 6 - Komparacija eksperimentalnih i rezultata dobivenih GP modeliranjem

Iz dijagrama, slika 6, je vidljivo da izmjerena sila istezanja po eksperimentu (dijagram plave boje) je približne vrijednosti izračunatim vrijednostima koje su računane prema GP modelu (1) za silu istezanja (dijagram crvene boje). Iz prethodno prikazanih rezultata, model sile izvlačenja dobro opisuje problem.

Na slici 6 prikazani su osnovni statistički indikatori modela, pri kojoj se može vidjeti da je model dobro opisuje problem što pokazuje koeficijent korelacije od 0.916. S druge strane možemo vidjeti da model nije pretreniran, jer je koeficijent korelacije za validacijski set iznosi 0.945 što predstavlja blisku vrijednost koeficijenta korelacije za podatke za tretiranje.

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvršeno je modeliranje sile zatezanja nad drvenim elementima spojenih zupčastim vezom. U eksperimentalnom dijelu rada urađeno je mjerenje zatezne sile za različite dimenzije epruvete i vrste ljepljenja, te dobijen skup podataka koji je predstavljao ulazne podatke za izradu modela sile korišćenjem metode genetskog programiranja. Rezultati dobijenog modela pokazuju bliske vrijednosti eksperimentalnim.

Korelacijski koeficijent između rezultata modela i skupa za treniranje iznosi 0.945, dok se korelacijski koeficijent između modela i skupa za validaciju iznosi 0.916. Ovo pokazuje da je model dobijen metodom genetskog programiranja pouzdan i da se može koristiti u narednim istraživanjima. Genetsko programiranje predstavlja vrlo efikasnu metodu izrade modela, te za razliku od klasične regresijske analize nema ograničenja u pogledu stepena polinoma. Baziran na konceptu kompjuterskih programa ova metoda predstavlja intuitivan i jednostavan način izgradnje modela nad experimentalnim podacima koji se onda mogu koristiti u narednim istraživanjima kao polazna osnova.

LITERATURA

- [1] Hasanagić R, Matematičko modeliranje zatezne sile loma elemenata od masivnog drveta produženog zupčastim vezom, Magistarski rad, Tehnički fakultet Bihać, Septembar 2014.
- [2] Serano E, Adhesive joints in timber engineering - modelling and testing of fracture properties, Doctoral Thesis, LUND University, October 2000.
- [3] Hamid N. H. A, Ahmad M, Suratman M. N, Abu F, Bending Strength of Finger Jointed Kelat Wood (*Syzygium* spp.) as Affected by Finger Length and Orientation, *Advanced Materials Research, Trans Tech Publications*, Switzerland 2016.
- [4] Selbo M. L, *Test for quality of glue bonds in end jointed lumber*, U.S. Forest Service Forest Product Laboratory Report 2258, 1962.
- [5] Dawe P. S, *Standard tests for finger joints*, *Wood* 29(12):45-47, 1964.
- [6] Finger jointed structural timber: „Performance requirements and minimum production requirements“, The European Standard EN 385:2001 has the status of a British Standard
- [7] Selbo M. L, „Test for quality of glue bonds in end-jointed lumber“, *Symposium on Timber*, American Society of Testing Material Specific Technology, Publication 353, 1964.
- [8] Bohannon B, Selbo M. L, Evaluation of commercially made and joints in lumber by three test, Forest Products Laboratory, 1965.
- [9] V. S. Kishan Kumar, N. K. Upreti, A. K. Khanduri, „Effect of finger tip area on the compression strength of finger jointed sections“, *J Indian Acad Wood Sci*, Vol. 7, No.1-2, pp. 25-29, 2010
- [10] Franke, B., Schusser, A., Müller, A, Analysis of finger joints from beech wood, *World Conference on Timber Engineering*, August 10-14, Canada 2014.
- [11] Tran V. D, Oudjene M, FE analysis and geometrical optimization of timber beech finger-joint under bending test, *International Journal of Adhesion & Adhesives*, Vol. 52, pp. 40-47, 2014.
- [12] Hodžić A, Hasanagić R, Matematičko modeliranje sile loma na zatezanje elemenata od masivnog drveta produženog sa zupčastim vezom, *Processing 14*, Beograd 2014.
- [13] Makić H, Hrnjica B, Dedić S, Agić Dž, Predviđanje koncentracije otoplenog kisika u rijeci Uni korištenjem metode genskog programiranja, Originalni naučni rad, *Naučna konferencija povodom 20 godina PMF Banja Luka*, Septembar 2016.
- [14] Banzhaf W, Nordin P, Keller R. E, Francone F. D, *Genetic Programming: An Introduction*, Morgan Kaufmann San Francisco Publishers, 1998.
- [15] B. Hrnjica and A. Danandeh Mehr, Optimized genetic programming applications: emerging research and opportunities, IGI Global, 2018.
- [16] Xie H, Zhang Z, *Tuning Selection Pressure in Tournament Selection*; Victoria University of Wellington, New Zealand, 2009.
- [17] Golub M, *Genetski algoritam*, Drugi dio; Skripta, Verzija 2.2.; Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb, 2010

SUMMARY

MODELING AND PREDICTION OF FRACTURE FORCE TO TIGHTEN SOLID WOOD ELEMENTS BY GENETIC PROGRAMMING

The paper presents the modeling of tension force on a solid wood, which is coupled with a toothed connection, using methods of genetic programming. Experimental tests were performed on beech and oak test tubes. The experimental research consisted force measuring for various input parameters, such as type of wood, width, tubes, thickness and others. After the experimental part, the measurement data were collected in a form suitable for mathematical modeling, which defined the input parameters (predictors) of the experiment which formed the geometric relationship of the teeth l/p , the ratio of the width and thickness of the b/h elements, the wood density ρ and the humidity of the test $W(\%)$. As the output variable, the medium stretch force is defined, F_{ist} . The obtained experimental data are divided into two parts: the first part of the experimental results was used to train and obtain a tensile force model, while the other part of the data was used to test and validate the model. After the model was formed, the analysis of the results and evaluation of the model were made. The analysis and discussion of the results showed that the method of genetic programming can be successfully used in the modeling of such experimental research.

Key words: modeling of tension force, toothed concoction, genetic programming