

Преводи на резюмета на публикациите на доц. Олимпия Роева, в конкурса за заемане на академичната длъжност „Професор“

I. Публикации в показател B4

1. **Roeva O.**, M. Angelova, D. Zoteva, T. Pencheva, *Water Cycle Algorithm for Modelling of Fermentation Processes*, Processes, 2020, Vol. 8(8), 920; <https://doi.org/10.3390/pr8080920>.

Алгоритмът на водния кръговрат (water cycle algorithm, WCA) – метаввристичен метод, вдъхновен от движението на реките и потоците в природата, е адаптиран и приложен тук за пръв път за решаване на предизвикателен проблем като параметричната идентификация на модели на ферментационни процеси. Поради значението им за различни индустриални области, за обекти на параметрична идентификация са избрани моделите на ферментационните процеси на бактерии и дрожди. В допълнение, WCA е сравнен с генетичния алгоритъм (Genetic Algorithm, GA) – друга популационна техника, доказана като обещаваща алтернатива на конвенционалните методи за оптимизация. Получените резултати са анализирани подробно, за да се очертаят предимствата и недостатъците на всеки от алгоритмите при решаването на тази сложна реална задача. Дискусията и сравнителният анализ на двата метаввристични алгоритъма разкриват влиянието на WCA върху задачи за параметрична идентификация и показват, че новоприложеният алгоритъм WCA превъзхожда GA по отношение на точността на модела.

2. **Roeva O.**, D. Zoteva, O. Castillo, *Joint set-up of parameters in genetic algorithms and the artificial bee colony algorithm: an approach for cultivation process modelling*, Soft Computing, 2020, <https://doi.org/10.1007/s00500-020-05272-1>.

Една от най-често използваните бактерии за производство на лекарствени вещества във фармацевтичната индустрия е *E. coli*. Поради това създаването на ефективен модел на полупериодичен култивационен процес е от съществено значение. Процесите в един биореактор могат да бъдат описани чрез система от параметрични нелинейни диференциални уравнения. Проблемът е да се намерят оптимални стойности за параметрите според входните данни. Параметричната идентификация на модела е сложен оптимизационен проблем, който не може да бъде решен чрез прилагане на традиционни числени методи. По-подходящ подход е прилагането на метаввристични методи. За параметричната идентификация на модела на нелинейния полупериодичен култивационен процес на *E. coli*, основан на реални експериментални данни, в това проучване се прилага генетичен алгоритъм. Изследвано е влиянието на вероятностите за кръстосване и мутация върху производителността на алгоритъма. Целта е да се проучат връзките между двата параметъра и да се намерят най-добрите им стойности за избрания проблем. В допълнение, резултатите от изследването могат да допринесат за по-доброто разбиране на връзката между кръстосването и мутацията като цяло (като основни аспекти на генетичните алгоритми).

3. **Fidanova S., O. Roeva, Metaheuristic Techniques for Optimization of an *E. coli* Cultivation Model, Biotechnology and Biotechnological Equipment, Vol. 27(3), 2013, 3870-3876.**

В тази статия са сравнени две метаевристики: алгоритмът за оптимизация по метода на мравките (Ant Colony Optimization, ACO) и генетичните алгоритми (Genetic Algorithms, GA), приложени за параметрична идентификация на модел на полупериодичен култивационен процес на *E. coli*. За моделиране на нарастването на биомасата и усвояването на субстрата е използвана система от обикновени диференциални уравнения. За параметричната оптимизация е използван реален набор от експериментални данни от култивационен процес на *E. coli* MC4110. Настройването на параметрите на GA и ACO е извършено въз основа на няколко предварителни теста върху оптимизационния проблем, разглеждан тук. Двете техники са сравнени на базата на получените „най-добри“, „най-лоши“ и „средни“ стойности за оценките и целевата функция J. Резултатите показват, че „най-добрата“ стойност на целевата функция J се постига от ACO. В същото време, GA постигна по-добри резултати за „най-лоши“ и „средни“ стойности. Анализирайки резултатите, може да се заключи, че и двата алгоритъма: ACO и GA, изпълняват задоволително задачата за параметрична оптимизация на модел на полупериодичен култивационен процес на *E. coli*.

4. **Roeva O., S. Fidanova, Hybrid Bat Algorithm for Parameter Identification of an *E. coli* Cultivation Process Model, Biotechnology and Biotechnological Equipment, Vol. 27(6), 2013, 4323-4326.**

В тази статия се въвежда хибридна схема, използваща алгоритъма на прилепа (Bat Algorithm, BA) и метода на последователното квадратично програмиране (Sequential Quadratic Programming, SQP). Ролята на алгоритъма на прилепа в хибридният BA – SQP е да генерира възможни решения на даден проблем, а методът на последователното квадратично програмиране използва събраната от него информация. Този процес дава решение, което е поне толкова добро, а обикновено и по-добро от най-доброто решение, получено от алгоритъма на прилепа. За да се демонстрира ползата от представения подход, хибридната схема е приложена за параметрична идентификация на модел на култивационен процес на *E. coli* MC4110. Представено е сравнение както с конвенционалния алгоритъм на прилепа, така и с метода на последователно квадратично програмиране. Резултатите показват, че хибридният BA – SQP има предимствата както на глобалното търсене на алгоритъма на прилепа, така и на локалното търсене на метода на последователното квадратично програмиране, като по този начин се подобрява общата способност за търсене и изчислителната ефективност. За сравнение са показани допълнително и резултатите, получени при прилагане на алгоритъма за оптимизация по метода на мравките в условия, подобни на тези на алгоритъма на прилепа.

5. **Roeva O., V. Atanassova, Cuckoo Search Algorithm for Model Parameter Identification, Int J Bioautomation, Vol. 20(4), 2016, 483-492.**

В тази статия метаевристичният алгоритъм на кукувицата (Cuckoo Search, CS) е адаптиран и приложен за параметрична идентификация на модел на полупериодичен култивационен процес на *E. coli*. Динамиките на растежа на биомасата и усвояването на субстрата (глюкозата) са описани със система от обикновени нелинейни диференциални уравнения. Извършена е параметрична оптимизация на базата на набор от реални експериментални

данни от полупериодичен култивационен процес на *E. coli* MC4110. Резултатите от симулацията показват, че приложеният алгоритъм е ефективен и ефикасен. Прилагането на алгоритъма на кукувицата води до модел с висока степен на точност. Ефективността на алгоритъма на кукувицата при решаване на задачата за параметрична идентификация на модел на култивационен процес се потвърждава от резултатите от симулацията и сравнението с генетичния алгоритъм и алгоритъма за оптимизация по метода на мравките.

6. **Roeva O., Optimization of *E. coli* Cultivation Model Parameters Using Firefly Algorithm, Int. J. Bioautomation, Vol. 16(1), 2012, 23-32.**

В тази статия нов метаевристичен алгоритъм, а именно алгоритъмът на светулката (Firefly Algorithm, FA), е адаптиран и приложен за параметрична идентификация на модел на полупериодичен култивационен процес на *E. coli*. За моделиране на растежа на биомасата и усвояването на субстрата се използва система от обикновени нелинейни диференциални уравнения. Оптимизирането на параметрите се извършва, като се използва набор от реални експериментални данни от полупериодичен култивационен процес на *E. coli* MC4110. Настройването на параметрите на алгоритъма на светулката се извършва въз основа на няколко предварителни теста над разглеждания оптимизационен проблем. Резултатите от симулацията показват, че приложеният алгоритъм е ефективен и ефикасен. В резултат от прилагането на алгоритъма на светулката се получава модел с висока степен на точност.

7. **Roeva O., S. Fidanova, M. Paprzycki, Population Size Influence on the Genetic and Ant Algorithms Performance in Case of Cultivation Process Modeling, Recent Advances in Computational Optimization, Studies in Computational Intelligence, Vol. 580, 2015, 107-120.**

В тази статия се изследва влиянието на размера на популацията върху производителността на генетичния алгоритъм (Genetic Algorithm, GA) и алгоритъма за оптимизация по метода на мравките (Ant Colony Optimization, ACO). Изследван е математическият модел на полупериодичен култивационен процес на *E. coli*. Трите параметъра на модела - максималната специфична скорост на растеж ($\mu_{\max}$), константата на насищане (k_s) и коефициентът на добив ($Y_{S/X}$) се изчисляват, като се използват различни размери на популацията. Размерът на популацията се променя между 5 и 200 хромозоми за GA и 5 и 100 мравки за ACO, докато броят на поколенията остава постоянен. За да се получи съдържателна информация за влиянието на размера на популацията, се извършват значителен брой независими стартирания на алгоритмите. Наблюдаваните резултати показват, че оптималният размер на популацията за 200 поколения е 100 хромозоми за GA и 70 мравки за ACO. В този случай точните стойности на параметрите на модела се получават за приемливо изчислително време. По-нататъшното увеличаване на размера на популацията, надвишаващ 100 хромозоми и 70 мравки, не подобрява точността на решението, а изчислителното време се увеличава значително.

8. **Roeva O., A Hybrid Genetic Algorithm for Parameter Identification of Bioprocess Models, Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), Springer, Germany, Vol. 7116, 2012, 247-255.**

В статията се въвежда нова хибридна схема, използваща генеричния алгоритъм (Genetic Algorithm, GA) и метода на последователно квадратично програмиране (Sequential Quadratic

Programming, SQP). Полята на генетичния алгоритъм в хибрида GA-SQP е да изследва пространството за търсене с цел да се определи най-обещаващият район в него, докато методът на последователно квадратично програмиране използва събраната информация. За да се демонстрира приложимостта на представения подход, се разглеждат два случая на параметрична идентификация с различна сложност. Хибридна схема е приложена за моделиране на полупериодичен култивационен процес на *E. coli* MC4110. Резултатите показват, че GA-SQP наследява както предимствата на глобалното търсене на генетичния алгоритъм, така и тези на локалното търсене при метода на последователно квадратично програмиране, като по този начин подобрява цялостното търсене и изчислителната ефективност.

9. **Roeva O.**, Genetic Algorithm and Firefly Algorithm Hybrid Schemes for Cultivation Processes Modelling, In: Transactions on Computational Collective Intelligence XVII, R. Kowalczyk, A. Fred, F. Joaquim (Eds.), series Lecture Notes in Computer Science, Springer, Vol. 8790, 2014, 196-211.

В тази статия се въвеждат две хибридни схеми, използващи алгоритъма на светулката (Firefly Algorithm, FA) и генетичния алгоритъм (Genetic Algorithm, GA). Нововъведените хибридни метаверистични алгоритми са реализирани и приложени за параметрична идентификация на нелинеен математически модел на култивационен процес на *E. coli* – сложен комбинаторен оптимизационен проблем, за който точните алгоритми или традиционните числени методи не работят ефективно. За моделиране на растежа на бактерията, усвояването на субстрата и образуването на ацетат е предложена система от четири обикновени диференциални уравнения. Параметричната оптимизация се извършва като се използва набор от реални експериментални данни от полупериодичен култивационен процес на *E. coli* MC4110. В разглеждания нелинеен математически модел се оценяват пет параметъра, а именно максимална специфична скорост на растеж, две константи на насищане и два коефициента на добив. Въз основа на числените резултати и резултатите от симулацията е показано, че моделът, получен от предложените хибридни алгоритми, е силно конкурентен на стандартните FA и GA. Хибридните алгоритми получават сходни стойности на целевата функция в сравнение със стандартните GA и FA, но използвайки четири пъти по-малък размер на популацията и седем пъти по-малко изчислително време. Следователно, хибридите имат две предимства - отнемат много по-малко време за работа и изискват много по-малко памет в сравнение със стандартните GA и FA.

10. **Roeva O.**, S. Fidanova, V. Atanassova, Hybrid ACO-GA for Parameter Identification of an *E. coli* Cultivation Process Model, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 8353, 2014, 313-320.

Изследването предлага нов подход за параметрична идентификация на модел на култивационен процес на *E. coli*, използвайки хибрид от две метаверистики, а именно алгоритъма за оптимизация на метода на мравките (Ant Colony Optimization, ACO) и генетичните алгоритми (Genetic Algorithms, GA). Основната идея е първоначалните решения да бъдат генерирани по метода ACO, след което да послужат като начална популация на GA. По този начин GA ще стартира с популация, която не е генерирана на случаен принцип, както в общия случай, а е по-скоро близо до оптимално решение. Мотивацията зад тази хибридизация е да се комбинират предимствата на двата подхода, насочени към постигане на съизмерима изчислителна точност с по-малко изчислителни ресурси по отношение на

време и памет. Предложеният метод е валидиран при оценяване на параметрите на модела на полупериодичен култивационен процес на *E. coli*. Представените резултати са потвърждение на поставената цел, да се постигне по-добра производителност на хибридният алгоритъм: почти два пъти по-малко изчислително време и приблизително пет пъти по-малки популации, необходими в сравнение както с ACO, така и с GA, взети поотделно.

II. Публикации в показател Г7 и 8

11. **Roeva O., S. Fidanova**, Comparison of Different Metaheuristic Algorithms based on Inter-Criteria Analysis, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, Vol. 340, 2018, 615-628.

В тази статия интеркритериалният анализ (ICrA), базиран на апарата на индексирани матрици и интуиционистки размитите множества, е приложен над резултатите от параметрична идентификация, извършена с различни чисти и хибридни метавевристични техники. Изследването разглежда нелинеен модел на периодичен култивационен процес на *E. coli* MC4110. Извършват се серия от идентификационни процедури, използващи метавевристики като генетичните алгоритми (Generic Algorithms, GA), алгоритъма за оптимизация по метода на мравките (Ant Colony Optimization, ACO), алгоритъма на светулката (Firefly Algorithm, FA) и симулираното закаляване (Simulated Annealing, SA). Резултатите са сравнени с получените от приложените хибридни алгоритми ACO-GA, ACO-FA и GA-ACO. В допълнение, ICrA се използва за изследване на съществуващите връзки и зависимости между определени параметри на модела, а именно μ_{max} , k_S и коефициента $Y_{S/X}$, и резултати от разглежданите метавевристични алгоритми, например време за изчисление T и стойност на целевата функция J . Прилагайки ICrA върху получените средни резултати от оценките на параметрите на модела, T и J , се установяват някои връзки между дефинираните критерии. Представените резултати показват някои зависимости, свързани с физическото значение на разглежданите параметри на модела и със стохастичния характер на приложените в изследването метавевристични техники.

12. **Velikova V., C. Arena, L. G. Izzo, Ts. Tsonev, D. Koleva, M. Tattini, O. Roeva, A. De Maio, F. Loreto**, Functional and Structural Leaf Plasticity Determine Photosynthetic Performances during Drought Stress and Recovery in Two *Platanus orientalis* Populations from Contrasting Habitats, *International Journal of Molecular Science*, Vol. 21(11), 2020, 3912; <https://doi.org/10.3390/ijms21113912>.

В контекста на климатичните промени, по-тежките и дълготрайни суши ще променят устойчивостта на растенията, с потенциално по-лоши последици върху реликтовите дървета. Проучихме листната фенотипна (анатомична, физиологична и биохимична) пластичност в добре напоени, стресирани от суша и повторно напоени растения от две популации на *Platanus orientalis*, застрашен вид в западната част на Средиземноморието. Двете популации произхождат от контрастен климат (по-сух и по-топъл, популация в Италия (IT); по-влажна и по-студена, популация в България (BG)). Контролните ИТ растения имат по-дебели листа, което им позволява да поддържат по-високо съдържание на вода в листата в сухата среда и по-гъст паренхим. Това може да подобри проводимостта на водата на тези растения и да доведе до по-лесна дифузия на CO_2 , в сравнение с BG растенията. Контролните BG растения се характеризират с по-висока фотореспирация и листни антиоксиданти в сравнение с ИТ

растенията. ВГ растенията реагираха на суша с по-голямо свиване на дебелината на листата. Сушата също доведе до значително намаляване на фотосинтетичните параметри както на ИТ, така и на ВГ растенията. След повторно поливане фотосинтезата не се възстанови напълно в нито една от двете популации. Въпреки това, ИТ листата станаха по-дебели, докато фотодишането на ВГ растенията допълнително се увеличи, което може би показва продължително активиране на защитните механизми. Като цяло хипотезата, че растенията с фрагментиран хабитат (т.е. ИТ популацията) губят фенотипна пластичност, но придобиват черти, позволяващи по-добра устойчивост на климата, където са се адаптирали, се потвърждава*.

* В процеса на изследвания е използван и ИКА за потвърждаване на поставената хипотеза.

13. Lyubenova V., M. Ignatova, **O. Roeva**, S. Junne, P. Neubauer, Adaptive Monitoring of Biotechnological Processes Kinetics, Processes, 2020, 8(10), 1307. <https://doi.org/10.3390/pr8101307>.

В тази статия се предлага подход за мониторинг на кинетиката на биотехнологични процеси. Кинетиката на всяка променлива на състоянието на процеса е представена като функция на два променящи се във времето неизвестни параметъра. За тяхната оценка е изведен общ софтуерен сензор с входни данни от онлайн измервания, достъпни на практика. Анализът на стабилността с различен брой входни данни показва, че стабилността може да бъде гарантирана само за софтуерни сензори от четвърти и пети ред. Изследването включва мониторинг на кинетиката на процесите, извършвани в реактори с разбъркване. Изведена е нова процедура за настройка, която води до избор само на един параметър. Ефективността на предложената процедура се демонстрира с експериментални данни от полупериодични култивационни процеси на *Bacillus subtilis*.

14. **Roeva O.**, D. Zoteva, V. Atanassova, K. Atanassov, O. Castillo, Cuckoo search and firefly algorithms in terms of generalized net theory, Soft Computing, Vol. 24, 2020, 4877-4898, <https://doi.org/10.1007/s00500-019-04241-7>.

В представената статия функционирането и резултатите от работата на два метаверистични алгоритъма, а именно алгоритъма на кукувицата (Cuckoo Search algorithm, CS) и алгоритъма на светулката (Firefly Algorithm, FA), са описани с помощта на апарата на обобщените мрежи (ОМ) – ефективен инструмент, подходящ за описване същността на различни оптимизационни методи. Двата разработени ОМ-модела отразяват оптимизационните процеси, основани на природата на кукувиците и светулките. Предложените ОМ-модели изпълняват основните стъпки от двата метаверистични алгоритъма и осъществяват оптимално търсене. Въз основа на тези два ОМ-модела е изграден универсален ОМ-модел, който може да бъде използван за описване и симулиране както на алгоритъма на кукувицата, така и на алгоритъма на светулката, чрез задаване на различни характеристични функции на ядрата в ОМ-модел. Нещо повече, самият универсален ОМ-модел може да бъде трансформиран към всеки от представените тук ОМ-модели чрез прилагане на подходящи йерархични оператори. За да се валидира предложеният универсален ОМ-модел, се извършват числени експерименти с работата на универсалния ОМ-модел върху тестови математически функции. Получените резултати са сравнени с резултатите от

функционирането на ОМ-модел на алгоритъма на кукувицата, ОМ-модел на алгоритъма на светулката, както и резултатите от стандартните алгоритми на кукувицата и светулката.

15. Ilkova T., O. Roeva, M. Petrov, Multiple Objective Optimisation of Batch Cultivation of *Saccharomyces cerevisiae* in Mixing System, *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, Vol. 27(5), 2013, 4162-4166.

Многоцелева оптимизация е естествено продължение на традиционната оптимизация с една целева функция. От една страна, ако множеството целеви функции са съизмерими, минимизирайки единствена целева функция, е възможно да се минимизират всички критерии и проблемът да бъде решен с помощта на традиционните техники за оптимизация. От друга страна, ако целевите функции са несъизмерими или се конкурират, то минимизирането на една целева функция изисква компромис в друга. Съревнованието между множество целеви функции е ключова разлика между многоцелевата оптимизация и традиционната оптимизация с единствена целева функция. В изследването се разглеждат задачи за многоцелева оптимизация на периодичен култивационен процес на *Saccharomyces cerevisiae* в различни смесителни системи (импулсно и вибромиксиране), приложени за търсене на максималната скорост на въртене, началните условия и амплитудата. Задачите за многоцелева оптимизация се трансформират в една целева функция с теглови коефициенти. Приложената многоцелева оптимизация показва значително нарастване на производителността, съответно намаляване на остатъчната концентрация на субстрата. Този резултат води до по-висока икономическа ефективност при по-малки разходи.

16. Roeva O., T. Pencheva, Functional state modelling approach validation for yeast and bacteria cultivations, *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, Vol. 18(3), 2014, 207-214.

В тази статия подходът за моделиране на функционалните състояния е приложен за моделиране на култивирането на два различни микроорганизма: дрожди (*Saccharomyces cerevisiae*) и бактерии (*Escherichia coli*). Въз основа на наличните експериментални данни, за тези полупериодични култивационни процеси се различават три функционални състояния, а именно състояние на първичен синтез на продукта, смесено окислително състояние и състояние на синтез на вторичен продукт. Процедурите за параметрична идентификация над различните локални модели се извършват с помощта на генетични алгоритми. Резултатите от симулацията показват висока степен на адекватност на моделите, описващи тези функционални състояния както за култивиране на *S. cerevisiae*, така и на *E. coli*. По този начин са валидирани локалните модели за култивирането на двата микроорганизма. Този факт е силно потвърждение на структурните модели от теорията за моделиране на функционалните състояния, не само за култивационни процеси на дрожди, но и на бактерии. Като такива, получените резултати демонстрират ефективността и ефикасността на подхода за моделиране на функционалните състояния.

17. Ilkova T., M. Petrov, O. Roeva, Optimization of a whey bioprocess using neuro-dynamic programming strategy, *Biotechnology and Biotechnological Equipment*, Vol. 26(5), 2012, 3249-3253.

Разработен е метод за намиране на оптимален профил на подхранване за ферментация на суроватка от щам *Kluyveromyces lactic* MC 5 в полупериодичен биореактор. Оптималният

профил максимизира ефективността и минимизира продължителността на биопроцеса. Методът се основава на невро-динамично програмиране (NDP), при което решението за оптимално управление се параметризира под формата на cost-to-go (оценъчна) функция. Предложеният метод използва симулации на евристична стратегия за подхранване като начална точка за генериране на оценъчната функция. За получаване на оценъчната функция като функция на състоянието на системата се прилага невронна мрежа. За подобряване на целевата функция е използвано уравнението на Белман. По този начин полученият подход гарантира оптимален управление на биореактора, е случаен на смущения. Разработеният подход е сравнен с други методи - Pontryagin's Maximum Principle и теорията на размитите множества. Методът NDP води до по-добри резултати от другите методи.

18. Slavov Ts., **O. Roeva**, Multiple Non-Linear Model Adaptive Control of Cultivation Process: Hardware-in-the-Loop Simulation of Control System, Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, Vol. 67(4), 2014, 577-584.

Представени са резултатите от hardware-in-the-loop (HIL) симулация на алгоритъм за многомоделно адаптивно управление (multiple model adaptive control, MMAC) за feedback feedforward управление на нестационарен култивационен процес, реализиран в програмируем логически регулатор. Разработената софтуерна платформа позволява да се реализират лесно различни промени в параметрите на култивационния процес, различни локални регулатори и локални модели. Това прави възможно изследването на поведението на системата със затворен цикъл при наличие на различни нестационарности. Представените резултати показват, че регулаторът се адаптира към изменения в стойностите на параметрите, управлява точно скоростта на подхранване и поддържа желана концентрация на глюкоза при наличие на значителни параметрични смущения и измервателен шум. Резултатите, получени чрез HIL симулация, са близки до резултатите, получени чрез симулация в Simulink®.

19. Slavov Ts., **O. Roeva**, Multiple Non-linear Model Adaptive Control of Cultivation Process: Control Algorithm Design, Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, Vol. 67(3), 2014, 411-418.

Целта на статията е да представи разработения алгоритъм за многомоделно адаптивно управление за feedback feedforward управление на нестационарен полупериодичен култивационен процес на *E. coli*. В сравнение със съществуващите MMAC алгоритми, базирани на входно-изходните модели, настоящият използва набор от нелинейни модели и набор от feedforward feedback регулатори. В допълнение, алгоритъмът MMAC използва нова техника за изчисляване на тегловите коефициенти в реално време.

20. Georgieva V., N. Angelova, **O. Roeva**, T. Pencheva, Simulation of Parallel Processes in Wastewater Treatment Plant Using Generalized Net Integrated Development Environment, Comptes rendus de l'Académie bulgare des Sciences, Vol. 69(11), 2016, 1493-1502.

Тази статия представя първия обобщено-мрежови (OM) модел на стандартна пречиствателна станция за отпадъчни води, реализиран в GN IDE – интегрирана среда за разработване на обобщени мрежи. Разработеният OM-модел е симулиран допълнително в GN IDE, като за целта се използват реални експериментални данни. Извършената симулация

на сложните паралелни процеси, протичащи в пречиствателна станция за отпадни води, позволява наблюдение в реално време на различни значими параметри. Въз основа на проследяването на стойностите на основните параметри на процесите, като количество вода, рН, COD, бензин, различни механични добавки, PO₄P, NH₄N и др., могат да бъдат направени някои предложения относно оптималното им протичане. Представените резултати показват ефективността на разработения OM-модел, ползите от извършената паралелна симулация с реални експериментални данни и ефективността на GN IDE при такива предизвикателни задачи.

21. Roeva O., Ts. Slavov, PID Controller Tuning based on Metaheuristic Algorithms for Bioprocess Control, Biotechnology and Biotechnological Equipment, Vol. 26(5), 2012, 3267-3277.

Тази статия представя оптимално настройване на универсален цифров PID регулатор, използващ метаевристики като генетични алгоритми (Genetic Algorithms, GA), симулирано закаляване (Simulated Annealing, SA) и Tabu Search (TS). Регулаторите са използвани за управление на скоростта на подхранване и за поддържане на желана концентрация на глюкозата при полупериодичен култивационен процес на *E. coli* MC4110. Математическият модел на култивационния процес е представен с уравнения за динамичен баланс на масите за биомаса и субстрат. В алгоритъма за управление са взети предвид измерваните величини, шумът от процеса, както и закъснението на системата за измерване на глюкозата. За да се постигне добра производителност на системата със затворен цикъл, регулаторът е настроен с помощта на метаевристични алгоритми. Чрез настройване на константите (K_p , T_i , T_d , b , c и N) в алгоритъма на PID регулатора, регулаторът може да осигури управление, предназначено за специфичните изисквания на процеса. За да се оцени значимостта на процедурата за настройване на регулатора и работата му, са използвани различни критерии. Стойностите на целевата функция и времето на процесора са използвани като критерии за сравнение на производителността на трите метаевристични алгоритъма - GA, SA и TS. Извършени са поредица от процедури за настройване на PID регулатора, използвайки конкурентни техники и критерии. В резултат е получен набор от оптимални настройки на PID регулатора. За кратко регулаторът задава управляваната променлива и я поддържа на желаната стойност по време на процеса на култивиране на *E. coli* MC4110. Резултатите от симулацията показват, че предложените метаевристични алгоритми са ефективни, а приложените техники показват значително подобрене на производителността спрямо класическите методи за оптимизация.

22. Roeva O., P. Vassilev, S. Fidanova, M. Paprzycki, InterCriteria Analysis of Genetic Algorithms Performance, Studies of Computational Intelligence, Vol. 655, 2016, 235-260.

В това изследване е приложен интеркритериалният анализ (ICrA), базиран на апарата от индексирани матрици и интуиционистки размитите множества. Основната идея е с помощта на ICrA да се установят съществуващи връзки и зависимости между определени параметри в нелинеен модел на култивационен процес на *E. coli*. Извършени са редица идентификационни процедури, в които се прилагат генетични алгоритми (Genetic Algorithms, GA). Предложена е схема за ICrA анализ на резултати от ICrA, за да се изследват оценките, получени от параметричната идентификация на модела. Търсенето на съществуващи връзки и зависимости се осъществява съгласно критерии, дефинирани в термините на ICrA. В случая, като критерии в ICrA са разгледани параметрите на модела и резултатите от генетичните

алгоритми, от една страна, и 14 различно настроени генетични алгоритъма, от друга. Въз основа на резултатите се наблюдават взаимовръзки между параметрите на модела и резултатите от генетичните алгоритми, като изчислително време и стойност на целевата функция. В допълнение са направени някои изводи за подходящо настроени генетични алгоритми по отношение на постигната точност за дадено изчислително време, използвани в разглежданата задача за параметрична идентификация на модела.

23. **Roeva O., S. Fidanova, M. Paprzycki, InterCriteria Analysis of ACO and GA Hybrid Algorithms, Studies in Computational Intelligence, Vol. 610, 2016, 107-126.**

В тази статия е представен наскоро предложеният многокритериални подход за вземане на решения – интеркритериалният анализ (ICA). Подходът се основава на апарата на индексирани матрици и интуиционистки размитите множества. Интеркритериалният анализ се прилага за установяване на връзки и зависимости между разглеждани параметри въз основа на различни критерии, отнасящи се до различни метаевристични алгоритми. Хибридна схема, използваща генетичен алгоритъм (Genetic Algorithm, GA) и алгоритъма за оптимизация по метода на мравките (Ant Colony Optimization, ACO), се използва за параметрична идентификация на модела на култивационния процес на *E. coli* MC4110. В хибридният GA-ACO GA се използва за намиране на възможни решения на разглеждания оптимизационен проблем, а ACO използва информацията, събрана от GA. Този процес дава решение, което е поне толкова добро, а обикновено и по-добро от най-доброто решение, получено от GA. Представено е сравнение с резултатите от параметричната идентификация, извършена със стандартните GA и ACO. Резултатите от ICA са анализирани и са направени заключения за съществуващи връзки и зависимости между параметрите на модела на култивационния процес на *E. coli*, параметрите на алгоритмите и получените от тях резултати, като брой индивиди, брой поколения, стойност на целевата функция и изчислително време.

24. **Roeva O., Ts. Slavov, Fed-batch Cultivation Control based on Genetic Algorithm PID Controller Tuning, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 6046, 2011, 289-296.**

В това изследване е проектиран универсален дискретен PID регулатор за управление на полупериодични култивационни процеси на *E. coli*. Регулаторът се използва за управление на скоростта на подхранване и за поддържане на желана концентрация на глюкоза. За постигане на добра производителност на системата със затворен цикъл е предложена настройка на PID регулатора с помощта на генетични алгоритми. В резултат се получава оптимално настройване на PID регулатора. За кратко време регулаторът установява управляваната променлива и я поддържа на желаната стойност по време на процеса. Прилагането на проектирания регулатор осигурява поддържане на точността и ефективността на работата на системата.

25. **Roeva O., V. Atanassova, Universal Generalized Net Model for Description of Metaheuristic Algorithms: Verification with the Bat Algorithm, Advances in Intelligent Systems and Computing, Vol. 643, 2018, 244-255.**

В статията апаратът на обобщените мрежи (OM) е използван за описване на метаевристичната техника алгоритъм на прилепа (Bat algorithm). Обобщените мрежи се

считат за ефективен и подходящ инструмент за описание на логиката на различни оптимизационни техники. В резултат на това разработеният ОМ-модел изпълнява алгоритъма на прилепа, като извършва основни стъпки и осъществява оптимално търсене. Изследването стъпва върху предложения универсален ОМ-модел за описание на популационни метаевристични алгоритми, който вече е използван за моделиране на алгоритъма на кукувицата (Cuckoo search), алгоритъма на светулката (Firefly algorithm) и алгоритъма на изкуствените пчелни семейства (Artificial bee colony optimization), и е приложен тук за моделиране на алгоритъма на прилепа. Показано е, че алгоритъмът на прилепа може да бъде описан в термините на универсалния ОМ-модел само чрез промяна на характеристичните функции на ядрата. По този начин се осъществява верифициране на универсалния ОМ-модел.

26. **Roeva O., Ts. Slavov, A New Hybrid GA-FA Tuning of PID Controller for Glucose Concentration Control, In Recent Advances in Computational Optimization (Fidanova S., Ed.), Studies in Computational Intelligence, Vol. 470, 2013, 155-168.**

В тази статия се въвежда хибридна схема, използваща алгоритъма на светулката (Firefly Algorithm, FA) и генетичен алгоритъм (Genetic Algorithm, GA). Новият хибриден метаевристичен алгоритъм е реализиран и приложен за настройване на параметрите на PID регулатор в Smith Predictor за нелинейна система за управление. Регулаторът се използва за управление на скоростта на подхранване и за поддържане на желана концентрация на глюкоза за култивационен процес на *E. coli* MC4110. Настройването на хибридният FA-GA се извършва въз основа на няколко предварителни теста. Резултатите от симулацията показват, че приложеният хибриден алгоритъм е ефективен. Добрата производителност на системата със затворен цикъл се постига въз основа на разглежданите процедури за настройване на PID регулатори. В допълнение, наблюдаваните резултати се сравняват с тези, получени след прилагане на стандартните FA и GA. Сравнението показва, че предложеният хибриден алгоритъм е силно конкурентен на стандартните FA и GA за разглеждания тук оптимизационен проблем.

27. **Slavov Ts., O. Roeva, Application of Genetic Algorithm to Tuning a PID Controller for Glucose Concentration Control, WSEAS Transaction on Systems, Vol. 11(7), 2012, 223-233.**

Статията представя feedforward feedback регулатор (PID), предназначен за управление на концентрацията на глюкоза в култивационния процес на *E. coli*. Регулаторът се използва за управление на скоростта на подхранване и за поддържане на желана концентрация на глюкоза. Предвид особеностите на измервателната система се предлага модифициран модел на процеса. Предлага се уравнение за корекция на измерената глюкоза въз основа на оценките на Калман филтъра за концентрацията на биомасата и скоростта на растеж на бактериите. За постигане на добра производителност на системата със затворен цикъл PID регулаторът се настройва с помощта на генетичен алгоритъм. В резултат се получава оптимално настройване на PID регулатора. За кратко време регулаторът установява управляваната променлива и я поддържа на желаната стойност по време на процеса. Въз основа на предложената корекция на модела, оценките на параметрите на процеса се доближават до реалните стойности. Настройката на параметрите на регулатора на базата на генетичен алгоритъм води до по-високо ниво на точност и ефективност на работата на системата.

28. **Roeva O.**, Ts. Slavov, S. Fidanova, Chapter 7. Population-based vs. Single Point Search Meta-heuristics for a PID Controller Tuning, In: Handbook of Research on Novel Soft Computing Intelligent Algorithms: Theory and Practical Applications, P. Vasant (Ed.), (2 Volumes), IGI Global, 2014. pp. 200-230. Web. 8 May. 2013. doi: <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-4450-2>, ISBN13: 9781466644502, ISBN10: 1466644508, EISBN13: 9781466644519.

Тази глава представя сравнение на популационни метаевристични алгоритми и метаевристични алгоритми с единствена точка на търсене, приложени за оптимално настройване на универсален цифров PID регулатор. От групата на популационни метаевристични алгоритми са разгледани генетичните алгоритми (Genetic Algorithms, GA), алгоритъмът на светулката (Firefly Algorithm, FA) and алгоритъмът за оптимизация по метода на мравките (Ant Colony Optimization, ACO). От групата на метаевристичните алгоритми с единствена точка на търсене са разгледани Simulated Annealing (SA), Threshold Accepting (TA) и Tabu Search (TS). За управление на скоростта на хранване и за поддържане на концентрацията на глюкоза в полупериодичен култивационен процес на *E. coli* MC4110 са използвани PID регулатори. Математическият модел на култивационния процес е представен с динамични нелинейни уравнения за баланс на масите на биомасата и субстрата. В алгоритъма за управление са взети предвид проектното измерване и шумът от процеса, както и забавянето във времето на системата за измерване на глюкозата. За постигане на добра производителност на системата със затворен цикъл е извършено настройване на регулатора, базирано на метаевристика. Чрез настройване на константите (K_p , T_i , T_d , b , c и N) в алгоритъма на PID регулатора, регулаторът може да осигури управляващо действие, проектирано за специфичните изисквания на процеса. В резултат на това е получено оптимално настройване на PID регулатора. За кратко време регулаторите задават управляваната променлива и я поддържат с желаната стойност по време на култивационния процес на *E. coli* MC4110. Средните, най-добрите и най-лошите стойности на целевата функция и параметрите на PID регулатора са използвани като критерии за сравняване на ефективността на разглежданите метаевристични алгоритми. Резултатите от симулацията показват, че популационните метаевристични алгоритми се представят по-добре от разглежданите методи за търсене в една точка. Освен това GA и ACO имат по-добри показатели от FA. По отношение на приложените методи за едноточково търсене, трябва да се отбележи, че въпреки че TS е много по-опростен от популационните методи или SA и TA, получените от TS резултати са сравними с тези на FA. Резултатите показват, че в сравнение с другите четири метаевристични алгоритъма, SA и TA не успяват да разрешат разглежданата задача за настройване на PID регулатор.

29. **Roeva O.** Application of Artificial Bee Colony Algorithm for Model Parameter Identification. In: Zelinka I., Vasant P., Duy V., Dao T. (Eds.) Innovative Computing, Optimization and Its Applications. Studies in Computational Intelligence, Vol. 741. Springer, Cham, 285-303, 2018, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-66984-7_17, ISBN: 978-3-319-66983-0.

В тази глава алгоритъмът на изкуствените пчелни семейства (Artificial bee colony, ABC), който симулира на поведението на медоносните пчели при търсенето на храна, е приложен за числена оптимизационна задача. Алгоритъмът ABC е един от ефективните популационни алгоритми, вдъхновени от природата. За да се демонстрира ползата от представения подход, алгоритъмът ABC е приложен в параметрична идентификация на модел на

култивационен процес на *E. coli* MC4110. Математическият модел на култивационния процес на *E. coli* MC4110 е представен като система от три обикновени диференциални уравнения, описващи двете основни променливи на процеса, а именно динамиките на биомасата и субстрата, както и промяната на обема. Подобно изследване с прилагане на алгоритъма ABC не е разглеждано по-рано в литературата. За да се постигне по-добра производителност на алгоритъма ABC, т.е. висока точност на решението за приемливо време, е изследвано влиянието на параметрите на алгоритъма. Осем различно настроени ABC алгоритъма се прилагат за параметрична идентификация на модела на култивационния процес на *E. coli*. Резултатите са сравнени въз основа на получените оценки на параметрите на модела, стойността на целевата функция, времето за изчисление и някои статистически оценки. В резултат на това, като алгоритми с най-добра производителност са избрани два алгоритъма - ABC1 и ABC8, с характеристики 60×500 и 20×400 (размер на популацията×максимален брой итерации), съответно. В допълнение, най-добрите ABC алгоритми са сравнени с четири популационни метаверистични алгоритъма, а именно генетичния алгоритъм, алгоритъма за оптимизация по метода на мравките, алгоритъма на светулката и алгоритъма на кукувицата. Използвани са и публикувани в литературата резултати от приложението на метаверистики за разглежданата тук задача за параметрична идентификация. Резултатите ясно показват, че като се вземат предвид общата способност за търсене и изчислителната ефективност на разглежданите алгоритми, алгоритъмът ABC превъзхожда останалите.