

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВИЯВЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РІШЕНЬ У СИСТЕМАХ БЕЗПЕКИ

© Биковий П.Є., 2008

**Виконано порівняльний аналіз алгоритму повного перебору з обмеженнями та генетичного алгоритму (ГА), що виявило область їх доцільного використання в системі проектування систем безпеки периметра території (PSCAD), показало переваги і недоліки ГА.**

**In this paper the comparative analysis of exhaustive search algorithm with limitations and genetic algorithm was made. That reveals the area of it's reliability usage in the perimeter security computer aided design system (PSCAD)**

**Вступ.** Важливою частиною різноманітних систем безпеки є системи захисту периметра території, які мають значення першої основної захисної лінії. Кожна система безпеки периметра території здебільшого є багатокутником, сторони якого є зонами системи безпеки, а вершини – місцем їх з'єднання. Кожна з зон має свою специфіку охорони щодо порушень, котрі потрібно виявляти на ній, та кількості наявних компонентів для її захисту [1]. При тому охорона кожної зони може бути реалізована на базі великої множини компонентів, що випускаються у промисловості. Ці компоненти характеризуються широким набором різноманітних параметрів [2, 3]. Тому варіантів реалізації охорони кожної з зон може бути дуже багато, а варіантів реалізації безпеки всієї системи ще більше. Зони об'єднуються в систему за допомогою центрального блока збору даних (центральної), яка може мати різне виконання.

Зазвичай фірми, які проектують і встановлюють системи безпеки периметра території, використовують вже готові шаблонні рішення, які не завжди можуть бути оптимальними з погляду функціонально-вартісних характеристик. Це пов'язано з тим, що оптимальне рішення повинно враховувати всі особливості кожної з зон периметра цієї території. А шаблонні рішення розраховані на деякий набір гіпотетичних усереднених територій, які не враховують всі особливості кожної з зон. Особливо яскраво зазначене вище проявляється у разі використання багатозарового захисту, де виникають багато питань взаємодії різних видів захисту і засобів, які їх реалізують.

В [4] створено автоматизовану систему проектування, яка дає змогу за короткий час розробляти індивідуальні проекти систем безпеки території. Ці індивідуальні проекти враховують всі особливості кожної зони безпеки та забезпечують оптимальний вибір засобів, призначених для реалізації захисту. Оптимальною вважається така структура системи безпеки, яка забезпечує високий рівень захисту від заданих видів загроз за мінімальних затрат на її реалізацію. Ця система використовує часткові обмеження під час проектування систем безпеки, оскільки неможливо розглянути усіх можливих варіантів систем, вибираючи оптимальні. Попередній аналіз показав, що це завдання успішно можна виконати за допомогою генетичного алгоритму, котрий також не виконує повного перебору, проте забезпечує цілеспрямованіший пошук оптимальних рішень. Тому метою статті є виконання порівняльного аналізу двох алгоритмів виявлення оптимальних рішень в системах безпеки – алгоритму повного перебору з обмеженнями та генетичного алгоритму.

**Система проектування оптимізованих систем безпеки території.** Розроблена система автоматизованого проектування PSCAD [4] забезпечує виконання таких функцій:

1. Завантаження зображення території, на якій необхідно виявляти порушення. Зображення території може бути завантажено у вигляді графічного файлу формату .jpg, .bmp, .tif;

2. Графічний ввід периметру території, яку потрібно захищати. При цьому спочатку за допомогою мишки на введеному зображенні території встановлюються вершини багатокутника периметра території. Потім відповідні вершини за допомогою мишки з'єднуються прямими (ці прямі стають зонами безпеки);

3. Встановлення типів загроз, які можуть діяти на кожній зоні. Для цього попередньо виділяють мишкою відповідну зону та вибирають тип загрози зі списку, наявного в базі даних загроз (розміщений поряд);

4. Вибір принципу дії компонентів, котрі можна буде використати під час проектування. Кожному типу загроз, встановленому в пункті 3, можуть відповідати багато принципів дії компонентів, які ці загрози виявляють. Тому, для зменшення обсягу обчислень під час оптимізації, можна виділити тільки ті принципи дії компонентів, які найадекватніші для використання в проектованій системі;

5. Автоматичне проектування варіантів реалізації систем безпеки території;

6. Виявлення оптимальних рішень серед спроектованих варіантів реалізації систем безпеки території за функціонально-вартісними критеріями;

7. Графічний вивід оптимізованих систем безпеки. Результати роботи системи виводяться у вигляді двох координатних площин (площини співвідношень якість/сумарна ціна компонентів, надійність/сумарна ціна компонентів). Кожний індивідуальний проект системи зображений на площині точкою великого розміру. За допомогою миші кожен з цих точок можна виділити і побачити відповідний їй перелік компонентів системи.

Перелічені вище функції реалізуються за допомогою бази даних, яка містить інформацію про параметри компонентів, що використовуються під час проектування. Для супроводження бази даних система проектування використовує стандартні функції обслуговування бази даних – ввід параметрів нових компонентів та редагування існуючих. Також передбачена попередня обробка введених даних для встановлення ключових показників якості, уніфікації параметрів компонентів, встановлення сумісності та взаємозамінності компонентів [5].

Процедура автоматизованого проектування альтернативних варіантів реалізації систем безпеки території передбачає створення морфологічної матриці, яка в рядках містить конкретні вузли систем безпеки периметра території (використані в цьому проекті сенсор безпеки, лінію зв'язку сенсор безпеки – централь безпеки, централь безпеки, лінію зв'язку централь безпеки – засіб реагування на загрозу, а також засіб реагування на загрозу). Кожний рядок морфологічної матриці є формалізованим описом окремого варіанта системи безпеки. Рядки створюються методом перебору всіх комбінацій всіх наявних в базі даних і дозволених під час виконання пункту 4 типів компонентів. При тому необхідною умовою є повне покриття зони безпеки зоною дії одного або декількох сенсорів.

Оптимізація полягає у відборі тих варіантів реалізації системи, які задовольняють вимоги на покриття зон та мають найкращі співвідношення критеріїв якості, надійності та ціни. Крім того, введено критерій обмеження, який виключає з розгляду компоненти, що не можуть працювати в заданих умовах експлуатації систем безпеки. Вимоги на покриття зон описуються системою лінійних алгебраїчних нерівностей:

$$\begin{cases} a_1 x_1 + a_2 x_2 + \mathbf{K} + a_n x_n \geq S^{(1)}, \\ a_1 x_{n+1} + a_2 x_{n+2} + \mathbf{K} + a_n x_{2n} \geq S^{(2)}, \\ \mathbf{M} \\ a_1 x_{(z-1)n+1} + a_2 x_{(z-1)n+1} + \mathbf{K} + a_n x_{(z-1)2n} \geq S^{(z)}, \end{cases} \quad (1)$$

де  $a_1 - a_n$  – радіуси дії наявних в базі даних компонентів;  $x_1 - x_n$  – кількість одиниць відповідного компоненту, 0- якщо компонент не використовується;  $S^{(1)} - S^{(n)}$  – протяжність зон периметра території.

Для порівняння компонентів між собою під час проектування варіантів систем безпеки використовуються ключові функціональні показники параметрів кожного з компонентів та розподіл їх за критеріями якості – Q, надійності – R, ціни – C, а також обмеження – L [6, 7]. Ці критерії обчислюють за формулами, наведеними в табл. 1.

Таблиця 1

**Формули обчислення критеріїв якості, надійності, ціни**

$Q_i^{sys} = \sum_{j=1}^m Q_{i,j}$	– показник якості системи безпеки
$Q_{i,j} = w_j \times F_{Ei}$	– зважений показник якості вибраного компонента
$R^{sys} = \prod_{j=1}^m (R_i + A) / 100$	– показник надійності системи безпеки, де A – емпіричний коефіцієнт
$C^{sys} = \sum_{j=1}^m C_{Ei}$	– показник еквівалентних затрат на побудову системи безпеки.

Отже, проектування системи безпеки можна описати у вигляді оптимізаційної задачі, яка мінімізує цільову функцію

$$f(\underline{X}) = (Q^{sys}, R^{sys}, C^{sys}) \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $\underline{X} = [x_1, x_2, \mathbf{K}, x_n]^T$  – вектор кількостей одиниць компонентів системи.

**Алгоритми виявлення оптимальних рішень.** Для оцінки можливості використання різних алгоритмів які дозволяють виявити оптимальні рішення, проаналізуємо властивості цільової функції (2). Ця цільова функція є:

- мультимодальною – містить локальні екстремуми, тобто спроектовані системи можуть мати велику кількість схожих за значеннями цільової функції комбінацій, які різко відрізняються набором компонентів;
- нелінійною – кожен додатковий компонент має складний вплив на кінцеву характеристику  $Q^{sys}, R^{sys}, C^{sys}$  системи, бо характеризується цілком індивідуальним набором показників Q, R, C;
- перервною на просторі пошуку – у зв'язку з тим, що деякі сенсори не покривають зони безпеки території загалом, виникає необхідність збільшення кількості сенсорів в межах цієї зони. Тому в цих місцях виникають стрибки цільової функції.

Отже, розв'язок оптимізаційної задачі за цільовою функцією (2) з використанням класичних градієнтних методів не дає очікуваних результатів [8 – 10]. Тому для розв'язання цієї задачі в розробленій системі PSCAD [4] використано повний перебір всіх можливих варіантів комбінацій компонентів зон, а також комбінацій зон між собою. Це дає змогу врахувати всі параметри компонентів та особливості кожної з зон. Однак такий шлях є доцільним для порівняно простих систем безпеки периметра території. У разі ускладнення систем безпеки (збільшенні кількості зон і їх розмірів, збільшення кількості компонентів, зокрема типів сенсорів) кількість варіантів, які необхідно проаналізувати різко зростає за експоненціальним законом. При тому час проектування системи безпеки неприйнятно зростає навіть у разі відповідного збільшення обчислювальних ресурсів. Для розв'язання цієї задачі було запропоновано ввести часткові обмеження під час роботи алгоритму повного перебору, що дало можливість системі працювати з ускладненими системами. Це обмеження застосовувалось для зменшення оптимальних варіантів безпеки окремо кожної з зон периметра. Проте часткові обмеження можуть відкинути ті варіанти безпеки зон, які в сумарній системі можуть виявитись кращими ніж в окремо взятій зоні. Тому доцільно передбачити можливість використання для виявлення оптимальних рішень під час проектуванні складних

систем алгоритм з поліноміальною обчислювальною складністю, який цілеспрямованіше шукає оптимальні рішення. Попередній аналіз показав [11], що найкраще для розв'язання такої задачі підходять генетичні алгоритми (ГА).

Першим етапом під час побудови ГА є кодування задачі у вигляді хромосом. Кожна хромосома містить набір різнотипних генів (у нашому випадку компонентів системи – сенсорів, ліній зв'язку тощо для покриття однієї зони). Згідно з термінологією ГА система безпеки, як набір окремих хромосом (в нашому випадку – зон), котрі з'єднані між собою, є генотипом. Генотип представляється вектором  $X$  в цільовій функції (2). Для кожного генотипу, який описує систему безпеки, обчислюється значення цільової функції (2). Обчислені значення цільових функцій використовують для оцінювання придатностей генотипів (варіантів проектованої системи безпеки). Для знаходження оптимального варіанта побудови системи безпеки в генетичному алгоритмі використано процедуру двійкового, двоточкового кросоверу (схрещування). У цій процедурі цілочислові значення кількостей компонентів батьківських хромосом перетворюються в двійкову форму, а потім комбінуються в чотирьох випадкових точках, утворюючи двох нащадків. Ймовірність кросоверу дорівнює 0.7, тобто з ймовірністю 0.3 нащадки одержують генотип своїх “батьків”. Для вибору батьківських хромосом використано традиційну процедуру селекції “колесо рулетки” [12].

На початку своєї роботи ГА створює початкову популяцію об'ємом 10 генотипів. На кожній новій генерації внаслідок кросоверу одержується 16 нових генотипів, три емігранти (випадково згенеровані генотипи) та три найкращі генотипи з попередньої генерації. Для покращання характеристик збіжності ГА використано процедуру мутації з ймовірністю 0.007.

Отже, кожна наступна популяція містить варіанти систем безпеки, які є кращими від попередніх, тобто відбувається процес поступової оптимізації. При цьому безперспективні варіанти не формуються, і їх програма оптимізації не розглядає. За рахунок цього ГА різко зменшує кількість варіантів систем, які формуються і розглядаються під час оптимізації. Однак формування кожного варіанта реалізується набагато складніше. Тому виникає питання доцільності умов використання ГА при оптимізації систем безпеки за допомогою розробленої системи PSCAD. Це питання було вирішено експериментальними дослідженнями.

**Результати експериментальних досліджень.** Для порівняльного аналізу роботи версій системи PSCAD, які виконують повний перебір варіантів і використовують ГА, було сформоване завдання проектування систем безпеки, що поступово ускладнюються. Для прикладу було використано вимоги до системи безпеки острова Ayers. Кількість зон в системі – чотири (перша зона – 256 м, друга – 334 м, третя – 680 м, четверта – 401 м).

Для проведення дослідження ускладнення системи безпеки здійснюють за рахунок збільшення кількості типів сенсорів, які PSCAD має право використовувати для побудови системи (з усіх типів сенсорів, які містяться в базі даних PSCAD), від 1 до 12 (див. табл. 2, колонка 2). У колонці 3 табл. 2 вказано кількість ітерацій повного перебору (тобто кількість розглянутих під час оптимізації варіантів побудови систем безпеки), який виконує перша версія системи під час оптимізації. У колонці 6 табл. 2 вказано час повного перебору під час оптимізації. Як зрозуміло, цей час різко зростає під час збільшення кількості сенсорів і стає цілковито неприйнятним при кількості сенсорів більше 9. Тому введено колонку 4, в якій вказано дійсну кількість ітерацій перебору. Ця кількість до 9-го сенсора збігається з кількістю ітерацій повного перебору, а потім задається обмеженою (перша версія системи PSCAD не гарантує знаходження всіх оптимальних варіантів побудови систем безпеки). У колонці 5 табл. 2 вказано кількість варіантів систем, які відповідають лівій нижній границі масиву проаналізованих варіантів (Паретова множина).

Велика кількість систем пояснюється тим, що вони мають найкраще співвідношення критеріїв якості, надійності і ціни. При тому, значення цих критеріїв можуть істотно відрізнятись. Як зрозуміло з табл.1 кількість оптимальних систем не обов'язково зростає під час зростання кількості доступних типів сенсорів, це означає, що дозвіл на використання нового типу сенсора може радикально міняти співвідношення критеріїв якості та надійності до ціни. Тому бажано

виконувати проектування систем безпеки використовуючи множину всіх компонентів, які входять в базу даних. Це підтверджує доцільність використання методів оптимізації, зокрема з використанням ГА, які мають меншу обчислювальну складність порівняно з повним перебором.

В колонці 7 табл. 2 вказано час виконання ГА. Цей час фактично задається кількістю наступних популяцій, якою обмежений процес оптимізації за допомогою ГА. Тому цей час є практично постійним. Під час побудови табл. 2 оптимальною вважається 20-та популяція, після її генерації процес оптимізації закінчується. Як зрозуміло з табл. 2, ГА не доцільно використовувати для проектування простих систем безпеки. ГА забезпечують різке зменшення кількості циклів обчислень, однак кожен цикл є значно складнішим порівняно з методом повного перебору. В нашому випадку тільки для систем, які використовують 7 і більше типів сенсорів, проявляється перевага ГА.

Таблиця 2

**Результати порівняльного аналізу роботи версій систем PSCAD,  
які використовують повний перебір і ГА**

№ експерименту	Кількість типів датчиків	Кількість ітерацій повного перебору	Кількість виконаних ітерацій	Загальна кількість оптимальних систем	Час повного перебору, с	Час виконання генетичного алгоритму, с	% Збігів оптимальних систем
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	0.016	82.2	100
2	2	24	24	4	0.021	78.6	100
3	3	336	336	29	0.063	58.1	100
4	4	2744	2744	156	0.625	65.3	100
5	5	30576	30576	3442	41.5	99.6	100
6	6	251680	251680	180	68.3	98.7	80.7
7	7	696696	696696	494	249.3	82.3	84.8
8	8	2534220	2534220	1617	1431.2	117.6	83.4
9	9	12020400	12020400	2521	9622.5	130.2	82.5
10	10	32333116	810000	968	318.5	130.6	86.7*
11	11	77939820	810000	722	307.3	138.0	87.9*
12	12	92901600	810000	701	320.8	119.5	100*

Очевидно, що повний перебір гарантовано забезпечує знаходження всіх оптимальних систем. У колонці 8 табл. 2 показано процент збігів оптимальних систем, знайдених за допомогою ГА порівняно з повним перебором. Як очевидно, при ускладненні системи безпеки ГА починають виявляти не всі оптимальні системи. Імовірно це пов'язано з обмеженнями на кількість наступних популяцій ГА (час виконання оптимізації за допомогою ГА). Тому наступним експериментом була перевірена можливість ГА щодо збільшення проценту виявлення оптимальних систем за рахунок збільшення кількості наступних популяцій. Результати цих досліджень наведені в табл. 3.

Як зрозуміло з табл. 3, час виконання оптимізації у разі збільшення кількості ітерацій різко (непропорційно) зростає, однак це зростання є цілком прийнятним для практичного застосування PSCAD. Одночасно зростає процент виявлених за допомогою ГА оптимальних систем. Варто відзначити, що це зростання відбувається доволі повільно, цілком непропорційно до затрат часу на оптимізацію. Тому при практичному використанні PSCAD доцільно розглянути питання необхідності виявлення всіх оптимальних варіантів побудови системи безпеки.

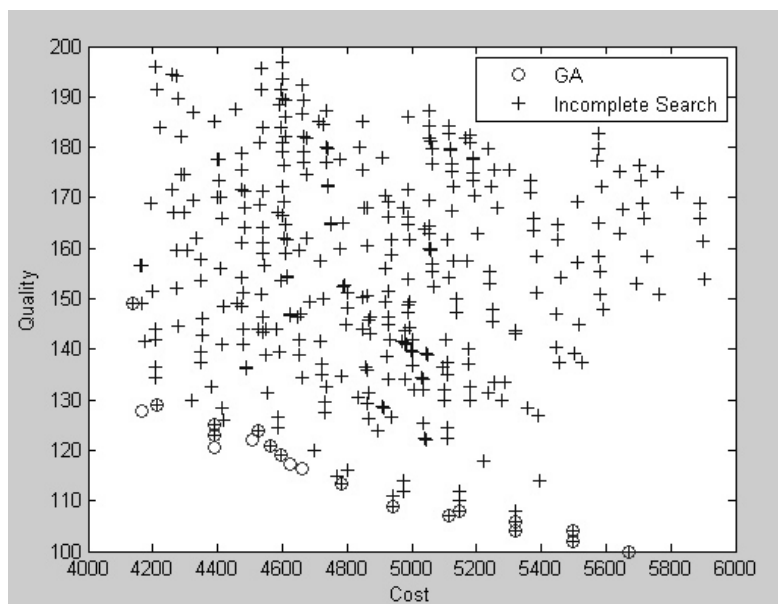
Особливо цікавими є результати порівняння обох версій PSCAD для варіантів систем безпеки, які використовують більше 9 типів сенсорів. У цьому випадку спадає кількість виявлених шляхом повного перебору варіантів оптимальних систем. Невисоким є теж збіг результатів оптимізації шляхом повного перебору і з використанням ГА. Однак тут проявляється головна перевага ГА. Вони виявляють варіанти систем безпеки, які є кращими за функціонально-вартісними

показниками від систем які виявлені шляхом неповного перебору. На рисунку показано результати оптимізації систем безпеки шляхом повного перебору з обмеженнями ( відзначено знаком +) і з використанням ГА (відзначено знаком о). Як зрозуміло з рисунку, ГА знайшов щонайменше 5 систем, якість яких, при однакових затратах, вища від якості систем, знайдених повним перебором з обмеженнями. Отже, для проектування складних систем доцільним є використання ГА в системі PSCAD.

Таблиця 3

**Результати порівняльного аналізу роботи системи PSCAD, яка використовує ГА**

№ експерименту	Кількість типів датчиків	Загальна кількість оптимальних систем	Для 10 популяцій		Для 20 популяцій		Для 40 популяцій	
			Час оптимізації, с	% Співпадінь оптимальних систем	Час оптимізації, с	% Співпадінь оптимальних систем	Час оптимізації, с	% Співпадінь оптимальних систем
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	20.6	100	82.2	100	279.9	100
2	2	4	20.5	100	78.6	100	250.2	100
3	3	29	24.0	100	58.1	100	275.8	100
4	4	156	27.2	100	65.3	100	278.7	100
5	5	3442	30.1	100	99.6	100	286.5	100
6	6	180	29.3	83.0	98.7	80.7	311.0	84.8
7	7	494	43.1	91.9	82.3	84.8	344.2	93.2
8	8	1617	43.4	83.0	117.6	83.4	356.9	87.3
9	9	2521	40.8	85.9	130.2	82.5	283.1	87.0



Результати оптимізації систем безпеки за допомогою алгоритму повного перебору з обмеженнями (+) і ГА (о)

**Подяки.** Робота виконується за підтримки Міністерства освіти і науки України в межах міжнародного українсько-турецького науково-технічного проекту №М/47-2008 “Розробка методів проектування та оптимізації систем виявлення порушників безпеки”.

**Висновки.** Виконане дослідження роботи двох алгоритмів виявлення оптимальних рішень для PSCAD показало, що обидва мають свої переваги і недоліки. Алгоритм повного перебору з обмеженнями, доцільно використовувати для оптимізації простих систем з обмеженою кількістю компонентів, оскільки в цьому випадку будуть розглядатись усі варіанти при виборі оптимальної системи, а обмеження на кількість систем не будуть застосовуватись. Така ситуація може виникнути у разі використання компонентів наперед визначеної фірми. При використанні великої кількості компонентів вступають у дію обмеження, що зменшить кількість систем котрі розглядаються під час для вибору оптимальних. Результати показали, що в цьому випадку доцільніше використовувати ГА для оптимізації складних систем. ГА забезпечує кращу оптимізацію – виявлення варіантів систем безпеки, які мають кращі параметри, при цьому досягається істотне скорочення часу роботи системи PSCAD. Таким чином для простих систем доцільним є використання алгоритму повного перебору з обмеженнями, а для складних – ГА.

1. Магауенов П.Г. Системы охранной сигнализации: основы теории и принципы построения // Учебное пособие. – М.: Горячая линия. 2004. – 367 с. 2. Fire & Security Products. Siemens Building Technologies, 2002 (URL [http://www.cerberus.spb.ru/ir80/Product\\_release\\_pack\\_09-2002.doc](http://www.cerberus.spb.ru/ir80/Product_release_pack_09-2002.doc)). 3. Perimeter Security Sensor Technologies Handbook. Electronic Security Systems Engineering Division, North Charleston, South Carolina, 1997, 107 p., (URL <http://www.nlectc.org/perimetr/Hb-Word.doc>). 4. P. Bykovyy, V. Kochan, A. Sachenko, G. Markowsky. A CAD System That Optimizes Distributed Sensor Networks for Perimeter Security. Proceedings of the Second IEEE International Conference on Technologies for Homeland Security and Safety, Istanbul, Turkey, October 9-13, 2006. pp. 271-276. 5. I. Turchenko, V. Turchenko, V. Kochan, P. Bykovyy, A. Sachenko. Database Design for CAD System Optimising Distributed Sensor Networks for Perimeter Security, Proceedings of the 8<sup>th</sup> IASTED International Conference Software Engineering and Applications, November 9-11, 2004, MIT, Cambridge, MA, USA, pp. 59-64. 6. Биковий П.Є., Кочан В.В., Саченко А.О., Турченко В.О. Вибір техніко-економічних показників компонентів дистрибутивних систем безпеки периметру територій. Вісник Технологічного університету Поділля №2'2004 / Ч.1, Т.2, 82-85с. 7. В. Турченко, В. Кочан, П. Биковий, А. Саченко, В.Коваль, Дж. Марковський. Підхід до оптимізації дистрибутивних сенсорних систем безпеки, Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2005р., Том 10, №3, 111-117с. 8. Carrillo-Ureta G.E., Roberts P.D., Becerra V.M. Genetic Algorithms for Optimal Control of Beer Fermentation. // Proceedings of the 2001 IEEE International Symposium on Intelligent Control, September 5-7, México City, México, 391-396, 2001. 9. Andrés-Toro B., Girón-Sierra J.M., López-Orozco J.A., Fernández-Conde C. Optimization and Batch Fermentation Process by Genetic Algorithms. IFAC ADCHEM, International Symposium on Advance Control of Chemical Processes. 183-188. June 1997. 10. Yu-Hong Dai, "Convergence properties of the BFGS algorithm", SIAM Journal on Optimization, Vol.13 Number 3, pp.693-701, 2002. 11. Daponte P., Grimaldi D. Artificial Neural Networks in Measurements // Measurement, – vol. 23, – 1998. – P. 93-115. 12. EVOCOM – Evolutionary Computation Matlab toolbox, <http://www.dacya.ucm.es/evocom/>