



УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“ – ШТИП

ФАКУЛТЕТ ЗА ПРИРОДНИ И ТЕХНИЧКИ НАУКИ

Минерална технологија

Штип

Александар Борис Крстев

**„ПРОГРАМИРАЊЕ И ОПТИМАЛНА ЕВОЛУТИВНА
ОПЕРАТИВНОСТ НА ПРОЦЕСИ ВО РЕАЛНИ УСЛОВИ“**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Штип, декември, 2012

**Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на
процеси во реални услови**

Александар Борис Крстев

**Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на
процеси во реални услови**

Универзитет „Гоце Делчев“ – Штип

Комисија за оценка и одбрана:

Претседател: Проф. д-р Мирјана Голомеова, редовен професор, УГД-Штип

Член: Проф. д-р Владо Трајковиќ, вонреден професор, УКИМ-Скопје

Член: Проф. д-р Благој Голомеов, редовен професор, УГД-Штип

Член: Проф. д-р Слободан Вујиќ, редовен професор, РГФ-Белград, Србија

Член: Проф. д-р Јордан Живановиќ, редовен професор, УГД-Штип

За докторската дисертација:

Интерен ментор: Проф. д-р Благој Голомеов, редовен професор, УГД-Штип

Екстерен ментор: Проф. д-р Владо Трајковиќ, вонреден професор, УКИМ-Скопје

Членови на комисија за оценка и одбрана:

Претседател: Проф. д-р Мирјана Голомеова, редовен професор, УГД-Штип

Член: Проф. д-р Владо Трајковиќ, вонреден професор, УКИМ-Скопје

Член: Проф. д-р Благој Голомеов, редовен професор, УГД-Штип

Член: Проф. д-р Слободан Вујиќ, редовен професор, РГФ-Белград, Србија

Член: Проф. д-р Јордан Живановиќ, редовен професор, УГД-Штип

Научно поле:

Научна област:

Датум на одбрана: _____

Датум на промоција: _____

Лектор: проф. Весна Ристова

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

СОДРЖИНА:

АБСТРАКТ	5
ВОВЕД.....	9
1.0 РАЗВОЈ НА СОФТВЕР	14
1.1 Системско инженерство	14
1.2 Дефиниција на системските барања	15
1.3 Дизајн на системот	15
1.4 Интегрирање на системот	16
1.5 Организација, луѓе и компјутерски системи	17
1.6 Софтверски процеси и цели	17
1.6.1 Модели на софтверски процеси	18
1.6.2 Водопаден модел.....	19
1.6.3 Еволутивен развој	20
1.6.4 Активности на процесот.....	23
2.0 ОПШТО ЗА ДОНЕСУВАЊЕ НА ОДЛУКА И ОПТИМИЗАЦИЈА	24
2.1 Во врска со донесување на одлука.....	24
2.2 Вовед во оптимизација.....	26
2.3 Организација на проблемот на оптимизација.....	29
2.4 Математички модели на оптимизација	35
3.0 ПРЕГЛЕД НА ОПТИМИЗАЦИОНИ ТЕХНИКИ.....	37
3.1 Аналитичка оптимизација	37
3.2 Нумеричка оптимизација	38
3.3 Нумерички методи на оптимизација	40
3.3.1 Локален и глобален оптимум	42
3.3.2 Претходно планирање или секвенционално движење	42
3.3.3 Основни принципи на секвенционалното нумеричко пребарување.....	43
3.3.4 Смер на пребарување.....	44

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

3.4 Нумерички методи на оптимирање на функции со една променлива	46
3.5 Нумерички методи на оптимирање на функцијата на целта без ограничувања	51
3.6 Методи на директно пребарување (неградиентни метода)	51
3.6.1 Едноваријантно пребарување паралелно со координатните оски	52
3.6.2 Пребарување со помош на шаблон (Секвенционална симплекс метода)	54
3.7 Градиентна метода на Бокс и Вилсон	61
3.7.1 Геометриска интерпретација на методата	62
3.7.2 Избор на матрицата на планирање на експериментите	65
3.7.3. Пресметнување на коефициентите на моделот.....	68
3.7.4 Оценка на моделот	69
3.7.5 Проверка на значајноста на коефициентите на моделот и подобрување на моделот	71
3.7.6 Проверка на адекватноста на моделот	72
4.0 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ УСЛОВНИ ФАКТОРИ - МЕТОДИ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН ПЛАН ИЛИ ДИЗАЈН	Error! Bookmark not defined.
4.1 Експериментален дизајн со два нивоа (2к план)	Error! Bookmark not defined.
4.2 Две нивоа план на експерименти со количник одговор	Error! Bookmark not defined.
4.3 Истражувањето на големо закривување - Доменот на одговор Површина: Секвенцијално експериментално планирање.....	Error! Bookmark not defined.
4.4 Втор ред на ортогонален план	Error! Bookmark not defined.
4.5 Втор ред на комплетен план	Error! Bookmark not defined.
5.0 ДОСЕГАШНИ ИСПИТУВАЊА.....	74
5.1 Досегашни испитувања (MINTEN - 4, 5, 6 и 7)	74
5.2 Испитувања со софтверски пакети - (MINTEN 3, MINTEN 2 и MINTEN 1)	76
5.3 Коментар и дискусија за MINTEN испитувањата направени во лабораториски услови	78
5.4 Оптимирање и моделирање во реални услови – хидроциклони во зависност од независно променливи.....	80
5.5 Оптимирање и моделирање во реални услови на флотациска концентрација во зависност од независно променливи	84

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

6.0 СПЕЦИЈАЛЕН ДЕЛ.....	89
6.1 Објаснување на методата EVOP	89
6.2 Evolutionary Operation - EVOP	91
6.3 On - line процесна анализа со EVOP Метода	92
6.4 Примена на софтверската апликација Multisimplex® 2.1.....	95
6.5 Преработка на бакарни, никлови, и оловни минерали со разни постапки на минерална технологија и лужење	102
6.5.1 Појава на бакар во сулфидни и оксидно - силикатни руди	102
6.5.2 Појава на никел во оксидно - силикатни руди	105
6.5.3 Појава на олово во сулфидни-галенитни руди	108
6.6 Општи видувања за постапките за лужење и бактериолошко лужење	110
6.7 Реални услови на флотација - индустриски на халкопиритна руда во период 2010/2011/2012	120
6.7.1 Лабораториски испитувања за бакар и злато (Cu/Au) во рудник Бучим со план на експерименти	126
6.7.2 Лабораториски испитувања за бакар и злато (Cu/Au) во рудник Бучим.....	128
6.8 Оптимирање на реагентски режим во фаза на Флотација на бакар во Рудник Бучим.....	134
6.8.1 Полн факторски план на експерименти за три фактори – Рудник Бучим	139
6.8.2 Одредување на градиентот на добиениот линеарен модел за реагентскиот режим во Флотација во Рудникот Бучим	141
6.8.3 Истражување на линеарниот модел при изменет реагентски режим.....	143
6.9 Кинетика на флотирање	144
6.9.1 Споредба на кинетичките модели (Classical, Klimpel и Fully mixed model) за даден коефициент k и време на флотирање	149
6.10 Анализа на испитувањата на халкопиритна и галенитно – сфалеритна руда и користење на Microsoft Excel 2010.....	153
ЗАКЛУЧОК.....	163
ЛИТЕРАТУРА.....	169

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

АБСТРАКТ

Современата индустријализација и пробивот на современите индустриски процеси е резултат на имплементација и искористувањето на информатичката технологија, напредокот на програмирањето и софтверското инженерство и сите можни алатки кои ја потпомагаат оптимизацијата и автоматизацијата на сите реални процеси. Применетите компјутерски програми за пресметка на технолошките показатели во минералната технологија, економската и техничката ефикасност, покажуваат прикладни резултати во оптимизацијата на сите процеси.

Потребата од оптимизација произлегува од аспектот на стопанските и економските движења, стопанисување, индустриски и други процеси, т.е. потребата од *постојано подобрување* е најважно обележје во стопанисувањето; било да се работи за зголемување на производството на сировини или пак за зголемување на профитот при инвестирање во определен зафат. Бидејќи не постои само еден одговор за проблемот, потребно е да се избере „*најдоброто*“ решение (од повеќето можни решенија за проблемот) . Значи *прво* да се утврди целта на проблемот: **економска** или **техничка**.

Економската цел може да биде: максимална добивка, минимални трошоци и слично. Техничката цел може да биде: поголемо годишно производство, минимални губитоци при работата на некоја машина, поголема продуктивност итн. Нормално е дека во индустриската оптимизација преовладува економската форма на целта. Ако претходно не се определи целта, тогаш не може да се изврши подобрување, бидејќи нема основа за споредување на повеќе решенија. Проблемот мора да биде дефиниран така што сите негови информации да бидат во квантитативна форма а таа е **функцијата на целта** која се користи за селекција на решенијата во променливите на системот.

Информациите за повеќето циклуси во реалната средина, а воедно и во минералната технологија, како што се технолошките, односно големините на параметрите во модели од процесните единици во циклусот, бараат информации за влезните или излезните параметри во затворениот циклус. Големините на преостанатите параметри се пресметуваат или изведуваат од другите измерени карактеристики. Целосната пресметка на податоците всушност е комплексна и е потребно целосно проучување на техниките кои можат да се применат, вклучувајќи ги нивните предности или недостатоци, што ќе биде предмет на понатамошно изучување или елаборирање.

Системски инженеринг може да се дефинира како концепција, планирање, проектирање и инженеринг на влијателни елементи на секој систем, кој во моментот на обработката се уште не постои. Системски анализи се научни методи за донесување на одлука, која е заснована на квантитативни и други евалуации на целта на сите алтернативи кои постојат во системите, а кои во моментот на обработката постојат, па се врши нивно усовршување. Операционите истражувања се дефинираат како апликација на математичките модели во проблемот на оптимизацијата на целта на секој систем, кој претходно се дефинира. Трите дисциплини се многу слични во настојувањата, но единствено операционите истражувања по природа и форма се повеќе математички, па оттука е важен и многу често задолжителен дел на другите две дисциплини.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

За таа цел во оваа **Докторска дисертација** се прави обид да се програмираат, поедноставни или посложени циклуси на реална средина со цел да се избегнат макотрпните пресметки и решавања на проблемите кои се бараат од поставените проблеми.

Секогаш оптималното решение не претставува оптимум, опремата и постројките со години се менуваат, составот на компонентите се менуваат повремено, а и многу други фактори чинат мали промени кои влијаат на променливиот одговор или решение. Еден од најпопуларните методи на ЕВОП е **секвенцијалната симплекс оптимизација**. Simplex **EVOP** беше предложен како една алтернатива за оригиналната Box **EVOP** – Еволутивна Оперативност. **Симплексот бара многу помалку експериментирање и постига оптимум на процесот многу побрзо**. Наместо факториелно експериментирање, Simplex **EVOP** користи нижење на експериментални дизајни во форма на регуларен Simplex.

Програмите за едноставни затворени циклуси на мелење-класирање **MINTEN – 3, MINTEN – 2 и MINTEN - 1** се направени во Visualstudio 2008 и овозможуваат брзо и ефикасно решавање на проблемите, при што операторот во програмите внесува соодветни влезни податоци или ги променува истите, програмите отчитуваат резултати на апликативните прозорци, со реални избори на влезни податоци кои ќе придонесат за оптимални и подобрени резултати.

Програмата **MULTISIMPLEX®** се користи за приказ за оптимална оперативност на процеси од реалната средина, користејќи разни алатки, симулатори и графичко-табеларни прикази за оптимизација. Ефикасноста на примената на оваа програма овозможува брза и ефикасна оптимизација на постојните индустриски процеси преку современ приод и прикажување. Оваа техника може да се користи при автоматска оптимизација во скоро сите процеси, каде што постојат контролни променливи и мерливи цели, одговор-варијабилни.

Програмата **Microsoft Excel 2010** дава можности за реално прикажување на технолошки и индустриски процеси во реална средина или економски изведби и споредбени анализи во реална средина, преку дискриптивната статистика и останатите можности. Табеларните прикази на сликите кои се прикажани ги покажуваат **технолошките индикатори на концентрацијата, техничката ефикасност и економската ефикасност** за рудите кои се преработуваат во рудниците во Република Македонија и тоа: *бакарна-халкопиритна руда* (рудник Бучим), *галенитна и сфалеритна руда* (рудник Саса).

Клучни зборови: оптимизација, програмирање, симплекс, мултисимплекс, Microsoft Excel, анализа, оптимална оперативност, хидроциклон, мелење, класирање, ЕВОП, системски инженеринг, функција на цел, економска ефикасност, техничка ефикасност.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

ABSTRACT

Modern industrialization and the breakthrough of modern industrial processes comes as a result of implementation and utilization of information technology, advances in programming and software engineering, and all available tools that support the optimization and automation of all processes. Applied computer programs for calculation of technological indicators in mineral technology, economic and technical efficiency – show modest results in the process of optimization of all processes.

The need for optimization comes from the aspect of business and economic trends, management, industrial and other processes. The need for continuous improvement is a key aspect in management; whether there is a need for increase in production of raw materials, or increasing profits when investing in particular endeavor. Since there is only one answer to the problem, we need to choose the “best” solution (or more possible solutions to the problem). So, first the purpose of the problem has to be determined: is it **economic** or **technical**.

Economic purposes can include: maximizing profit, minimizing costs etc. Technical purposes can include the following: higher annual production, minimal losses during the operation of a certain machine, greater productivity etc. It's understandable that in industrial optimization prevails the economic form of the goal. If the goal isn't previously determined, an improvement cannot be executed, because there is no basis for comparison of multiple solutions. The problem must be defined so that all its information can be in a quantitative form, and that is the **function of the goal**, which is used to select decisions in the system's **changeables**.

Information on most cycles in the real environment, as well as in mineral technology, such as technological, ie the size of parameters in models from processing units in the cycle - require information on input or output parameters in the closed cycle. The size of the remaining parameters are calculated or derived from other measured characteristics. The full calculation of the data actually is far more complex and requires full study of the techniques that can be applied, including their advantages or disadvantages, which would be a subject of further study or elaboration.

Systems engineering can be defined as a conception, planning, designing and engineering of influential elements of each system which still exists in the moment of processing. System analyzes represent a scientific method for bringing decisions which are based on quantitative and other objective evaluations of all alternatives that exist in systems and which are upgraded during their processing. Operational research is defined as an application of mathematical models in the problem of optimization of the goal of every system that is previously defined. These three disciplines are very similar in their aims, but only operational research by nature and form are more mathematical, hence an important and often obligatory part of the other two disciplines.

For this purpose, an attempt is made in this doctoral dissertation to program simple or complex cycles of a real environment, in order to avoid arduous calculations and to solve problems, defined by the given tasks.

The optimal solution does not always represent the best solution; equipment and facilities have been changing, the components are changed periodically, and many other factors make small changes that affect the variable solution. One of the most popular EVOP methods is sequence simplex optimization. Simplex EVOP was proposed as the alternative to the original Box EVOP – evolutionary operation.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Simplex requires less experimentation and achieves the optimum in the process much faster. Instead of factorial experiments, Simplex EVOP uses threading of experimental designs in the form of a regular Simplex.

Programs for simple closed grinding-classification cycles - MINTEH - 3, MINTEH - 2 and MINTEH - 1 are created in Visual Studio 2008 and provide quick and efficient resolution of problems, where the operator enters the appropriate program input or modifies it, programs show results on application windows, with real choices of input data that will contribute to the optimal and improved results.

MULTISIMPLEX ® is used to display optimal operation of process from the real environment, using various tools, simulators and graphic-display spreadsheet for optimization. The effectiveness from the implementation of this program provides fast and efficient optimization of existing industrial processes through a modern approach. This technique can be used for automatic optimization of almost all processes where control variables and measurable goals exist.

Microsoft Excel 2010 provides an opportunity for a genuine and real display of technological and industrial processes in a real environment or economic and comparative analyzes in the same kind of environment, through descriptive statistic and other features.

Tabular presentation of images that are presented display the technological indicators of concentration, technical efficiency and economic efficiency of processed ores in Macedonia's mines, such as: *cooper – chalcopryrite ore (Buchim mine), galenite and sphalerite ores (Sasa mine)*.

Keywords: optimization, programming, simplex, multisimplex, MicrosoftExcel, analysis, optimal efficiency, hydro cyclone, grinding, classification, EVOP, system engineering, target function, economic efficiency, technical efficiency.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

ВОВЕД

Современата индустријализација и пробивот на современите индустриски процеси дојде како резултат на имплементација и искористувањето на информатичката технологија, напредокот на програмирањето и софтверското инженерство и сите можни алатки кои ја потпомагаат оптимизацијата и автоматизацијата на сите реални процеси. Економијата и профитабилноста го проследи развојот на Е-стопанисувањето, Е-општеството и сите компјутерски потпомогнати модели и процеси кои резултираа повисоки производни и оперативни резултати и побогати економии во светски размери.

Рударството како индустриска гранка содржи две производни дејности: *Експлоатација на минералните сировини и Минерална технологија*.

Првата дејност, користејќи го високостручното рударење, од геолошки откриените билансни или вонбилансни ресурси врши експлоатација на корисната минерална маса, а втората, Минералната технологија (во поранешната терминологија *„Подготовка на минералните сировини“*), ја преработува масата, отстранувајќи ги некорисните минерални компоненти, во краен и комерцијален производ за кој се заинтересирани металургијата, неорганска технологија и други технологии и корисници на минерални сировини.

Минералната технологија има физички карактер, бидејќи во процесите што таа ги применува, не се менува хемискиот состав на минералите и не се разградуваат нивните кристални решетки, каков што е случајот кај металургијата, хемиската технологија или пак хидрометалургијата, иако последнава како комбиниран процес или самостоен процес често се применува во Минералната технологија.

Минералната технологија во основа се остварува преку следните три основни операции: *механичко ситнење* (дробење и мелење), *класирање и физички методи на концентрација* на разнородни минерални компоненти во соодветни производи: **концентрати** (комерцијални производи) и **отпадок** (јаловина). Во современата минерална технологија сè почесто се оди кон примена на програмирање, програмски софтверски пакети и соодветна

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

оптимизација на постојните процеси со цел да се овозможи прв чекор кон евентуална автоматизација на технолошките процеси.

Применетите компјутерски програми за пресметка на технолошките показатели во минералната технологија, компјутерските програми за пресметки на искористување, ефикасност на раздвојување на мономинерални или полиминерални сировини, како и компјутерските програми за целосно прикажување на часовни, дневни, месечни и годишни извештаи при концентрација на минералните сировини, економската и техничката ефикасност, покажуваат соодветни резултати во оптимизацијата на сите процеси.

Потребата од оптимизација произлегува од аспектот на стопанските и економските движења, стопанисување, индустриски и други процеси т.е. потребата од *постојаното подобрување* е најважно обележје во стопанисувањето; било да се работи за зголемување на производството на сировини или пак за зголемување на профитот при инвестирање во определен зафат. Подобрувањето е од две различни гледишта: **економско и техничко**.

Бидејќи не постои само еден одговор за проблемот, потребно е да се избере „*најдоброто*“ решение (од повеќето можни решенија за проблемот) . Значи *прво* да се утврди целта на проблемот: **економска** или **техничка**.

Економската цел може да биде: максимална добивка (профит), минимални трошоци и слично. Техничката цел може да биде: поголемо годишно производство на некој производ, минимални губитоци при работата на некоја машина, поголема продуктивност итн. Нормално е дека во индустриската оптимизација преовладува економската форма на целта. Ако претходно не се определи целта, тогаш не може да се изврши подобрување, бидејќи нема основа за споредување на повеќе решенија. Битно е дека, не е можно да се врши квантитативна анализа на сите проблеми и покрај тоа што имаат општо поставена цел и остварливо множество решенија за изнаоѓање на најдобар резултат. Треба да постои квантитативна мерка за споредување на резултатите. проблемот мора да биде дефиниран така што сите негови информации да бидат во квантитативна форма, а таа е *функцијата на целта* која се користи за селекција на решенијата во променливите на системот.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Информациите за повеќето циклуси во реалната средина, а воедно и во минералната технологија, како што се технолошките, односно големините на параметрите во модели од процесните единици во циклусот, бараат информации за влезните или излезните параметри во затворениот циклус. Во повеќето циклуси мерењата се извршуваат на влезот во процесот или циклусот, односно на излезот на произведените продукти или пак од случај во случај во меѓуинтервалните продукти. Големините на преостанатите параметри се пресметуваат или изведуваат од другите измерени карактеристики, такви како што се распределбата по содржини или крупност на пробите собрани или земени во соодветни точки на циклусот. Целосната пресметка на податоците всушност е комплексна и е потребно целосно проучување на техниките кои можат да се применат, вклучувајќи ги нивните предности или недостатоци, што ќе биде предмет на понатамошно изучување или елаборирање.

Системски инженеринг може да се дефинира како концепција, планирање, проектирање и инженеринг на влијателни елементи на секој систем, кој во моментот на обработката сè уште не постои. Системски анализи се научни методи за донесување на одлука, која е заснована на квантитативни и други евалуации на целта на сите алтернативи кои постојат во системите, а кои во моментот на обработката постојат па се врши нивно усовршување. Операционите истражувања се дефинираат како апликација на математичките модели во проблемот на оптимизацијата на целта на секој систем, кој претходно се дефинира. Трите дисциплини се многу слични во настојувањата, но единствено операционите истражувања по природа и форма се повеќе математички, па оттука е и важен и многу често задолжителен дел на другите две дисциплини.

За таа цел во оваа докторска дисертација се прави обид да се програмираат, поедноставни или посложени циклуси на реална средина (како на пример, хемиска или неорганска технологија, фармација, како и мелење и класирање итн.) со цел да се избегнат макотрпните пресметки и решавања на проблемите кои се бараат од поставените проблеми. Програмите користат поддршка на програмски јазици за да можат едноставно да се трансформираат во посовремен и соодветен програмски или софтверски пакет.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Програмите се направени во *Visual Basic*, *VisualStudio 2008®*, *Multisimplex®*, *Microsoft Excel 2010* и други, овозможувајќи брзо и ефикасно пресметување на повеќе големини поврзани со проектната задача и даваат можности за имплементирање и програмирање на слични или посложени проблеми кои се појавуваат во индустриската пракса или индустриските процеси во реалната средина.

Multisimplex® е нова техника со најдобра сопствена софтверска програма, која ги подобрува и унапредува оперативните и оптимизациските методи. Тоа е софтверска компонента која континуирано и постојано on-line го комплетира квалитетот на постојните реални процеси во средината. Развиена е толку добра оптимизациска метода, која е толку добра, но истовремено и вистинска. Со примена на Multisimplex® ќе се зголеми економичноста, ефикасноста и очекуваниот профит. **Како ќе се постигне целта?** Тоа се прави преку максимизација на ефикасноста, зголемување на производноста и елиминација на „тесните грла“. Исто така, се постигнува поконзистентен квалитет, со истовремени подобри резултати. Впрочем, се заштедуваат пари, време и средства, избегнувајќи ги непотребните трошоци или појавата на штетните гасовити емисии. Секако дека најдобро од сè е процесот да го зголеми или подобри профитот, а во исто време да создаде попријатна и здрава животна средина. Најчесто, проблемот на целите се контрадикторни и невозможно е да се постигнат. Меѓутоа, тука се создава и нуди решението. Multisimplex® нуди комплетно директно системско решение, постојана и автоматска оптимизација на процесите. Научно докажаната техника овозможува процес кој постојано се стреми кон најдобрите оперативни и оптимални услови, со адекватни и најдобри оптимални резултати или одговор-варијабилни (**response variables**). Multisimplex® проценува различни поставки, обработува неколку влезни контролирани променливи (**control variables**) во поставениот процес и работи оперативно, постепено кон поставените цели што сакаме да ги добиеме – **оптимизација на процесот**. Брилјантноста на Multisimplex® концептот овозможува оптимизација за неколку истовремени цели.

При тоа, оптимизацијата мора да биде профитабилна и да овозможува погодност и бенифит. Современите и модерни компании мора да вложуваат во

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

флексибилноста и континуирано оптимизираниите процеси кои ќе бидат автоматски и мерно контролирани. Тоа е прв исчекор кон **оптимална економија и ефикасност**. Секое подобрување во процесот генерира финансиски бенифит, а резултатите веднаш стануваат подобри, со гарантиран квалитет. Производните трошоци, исто така, се пониски или намалени, ограничувачките административни еколошки и строги законски легислативи преку такси и давачки, се намалуваат преку редукцијата на отфрлените ефлуенти, раствори или гасовити емисии во амбиенталниот воздух.

1.0 РАЗВОЈ НА СОФТВЕР

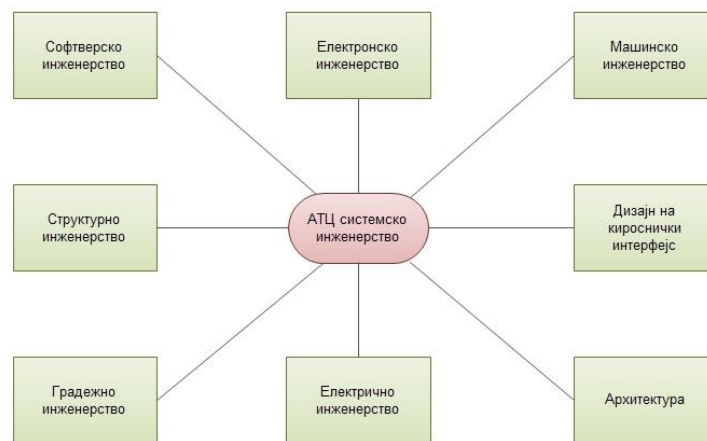
Со создавање на софтверското инженерство (според Самервил 2009), како дисциплина, процесот на развој за повеќето системи бил процес на пишување на програм базиран на спецификација на дизајнот. Денес постојат многу различни начини на развој на софтвер. Тие вклучуваат оригинални програмски јазици како C++ или Java, скриптирање, програмирање со бази на податоци, генерирање на програми од CASE алатките, софтверски инженеринг базиран на повторна употреба.

1.1 Системско инженерство

Ова е активност на специфицирање, дизајнирање, имплементирање, валидација, поставување и управување на социо-технички системи. Системските инженери не се заинтересирани само за софтверот, туку и за хардверот и системските интеракции со корисниците и неговата средина. Тие мора да мислат на сервисите што ги овозможува системот, на ограничувањата под кои системот мора да биде изграден и под кои треба да се извршува, како и начините на кои системот ги исполнува своите цели. Постојат разлики меѓу процесите на системското инженерство и на развој на софтвер:

1. *Ограничена можност за преработка при системското развивање* — Кога се спроведени решенијата на системското инженерство, како што се положбата на базните станици во мобилен систем, многу е скапо тие да се сменат. Преработувањето на системскиот дизајн за решавање проблеми ретко е можно.
2. *Интердисциплинарни проблеми* - Многу инженерски дисциплини може да се вклучени во системското инженерство.

Системското инженерство е интердисциплинарна дејност и вклучува тимови од различни области. Овие тимови се битни поради потребата за широки знаења, потребни при донесувањето решенија за системскиот дизајн.



Слика 1. АТЦ системско инженерство

Figure 1. ATC system engineering

1.2 Дефиниција на системските барања

Дефиницијата на системските барања специфицира што треба да прави системот (неговите функции) и неговите важни и посакувани системски својства. Како и кај анализите на софтверските барања, дефинирањето системски барања вклучува консултации со купувачите на системот и крајните корисници. Три типа барања:

1. **Апстрактни функционални барања** - Основните функции што системот мора да ги обезбеди се дефинирани на апстрактно ниво.
2. **Својства на системот** - Овие се нефункционални својства на системите во развој, како што се достапност, перформанси и сигурност, како што напоменавме погоре. Овие нефункционални системски својства имаат ефект врз барањата на потсистемите.
3. **Карактеристики што системот не смее да ги има**-Многу е важно да се специфицира што не смее да прави системот, а што треба да прави.

1.3 Дизајн на системот

Дизајнот на системот се занимава со тоа како неговите делови ќе ја обезбедат неговата функционалност:

1. **Поделба на барања** - Се анализираат барањата и се организираат во поврзани групи и обично постојат повеќе начини на поделба.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

2. *Идентификување на потсистемите* - Се идентификуваат потсистемите што можат одделно или заедно да ги задоволат барањата.
3. *Доделување на барањата на потсистемите* - Се доделуваат барањата на потсистемите.
4. *Специфицирање на функционалноста на потсистемот* - Треба да се специфицира секоја функција овозможена од секој потсистем. Ова може да биде сфатено како дел од фазата на дизајн или ако потсистемот е софтверски систем, како дел од активноста на специфицирање на потребите за тој систем.
5. *Дефинирање на меѓусебните врски на потсистемите* - Се дефинираат меѓусебните врски што се овозможени и барани од секој потсистем. Кога еднаш овие меѓусебни врски ќе се одобрат, може напоредно да се развиваат потсистемите.

1.4 Интегрирање на системот

Интегрирање на системот овозможува независно развиените потсистеми да се соединуваат во еден целосен систем. Ако многу потсистеми се интегрирани симултано, може да се појави грешка при тестирањето во кој било од потсистемите. Кога единствен потсистем е интегриран со веќе постоен систем кој работи, грешките што се појавуваат, најверојатно, се во новоинтегрираниот потсистем или во заемните дејства меѓу постојните потсистеми и новиот потсистем. Кога ќе се интегрираат компонентите се применуваат широк спектар на програми за тестирање. Овие тестирања се стремат кон тоа да се тестираат интерфејсите меѓу компонентите и однесувањето на системот како целина.

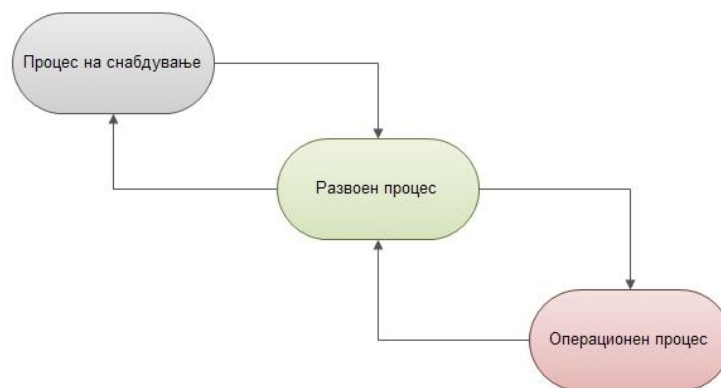
Грешките на потсистемите што се последица од невалидни претпоставки во врска со другите потсистеми често се покажуваат при интегрирањето на системот. Тие можат да доведат до спорови меѓу различните договарачи одговорни за различните потсистеми. Кога ќе се откријат проблеми во заемното дејствување на потсистемите, договарачите можат да спорат за тоа кој

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

потсистем е грешен. Преговорите за тоа како да се решат проблемите може да траат повеќе недели или месеци.

1.5 Организација, луѓе и компјутерски системи

Социо-техничките системи се бизнис системи чија цел е да помогне при достигнување некоја организациона или бизнис цел. Такви цели може да бидат зголемување на продажбата, намалување на потрошениот материјал што се користи при производството, наплата на даноци, одржување безбеден воздушен простор итн. Бидејќи се вметнати во организационата средина, снабдувањето, развивањето и користењето на ваквите системи е под влијание на организационите политики и процедури и од работните навики. Корисниците на системот се луѓе кои се под влијание на начинот на менаџирање на организацијата и од нивните односи со други луѓе надвор и внатре во организацијата.



Слика 2. Организација на компјутерски системи

Figure 2. Organization of computer systems

1.6 Софтверски процеси и цели

Целта е да се осознае поимот за **софтверски процес**, како низа од активности поврзани со производството на софтвер. Осознавање со:

- концептот за софтверски процеси и модели на софтверски процеси;
- три генерички модели на софтверски процеси и кога тие може да се применат;

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

- во кратки црти и со активностите поврзани со инженерингот на софтверски барања, развој на софтверот, тестирање и усовршување;
- како Rational Unified Process ги интегрира добрите карактеристики на софтверските процеси при креирањето нов, современ, процесен модел;
- CASE (Компјутерски потпомогнато софтверско инженерство) технологијата, што се користи како поддршка во активностите на софтверските процеси.

Софтверски процес претставува множество активности што водат до изработката на софтверски производ, а овие активности можат да е вклучат и развој од почеток на софтвер во некој програмски јазик, како што се Java или C. Сепак, во практиката сè почесто новосоздадениот софтвер се добива со проширување и измена на веќе постојни системи и со конфигурирање и интегрирање на готов софтвер или системски компоненти. Суштински активности што се заеднички за сите процеси:

1. *Спецификација на софтверот* – Дефинирање на функционалноста на софтверот и ограничувањата на операциите што ги извршува;
2. *Дизајн и имплементација на софтверот* - Произведен софтвер што ќе биде во сообразност со спецификацијата;
3. *Валидација на софтверот* - Софтверот мора да се докаже за тоа што корисникот го сака;
4. *Надградба на софтверот* - Софтверот мора да се надградува за задоволување на нови барања на корисникот.

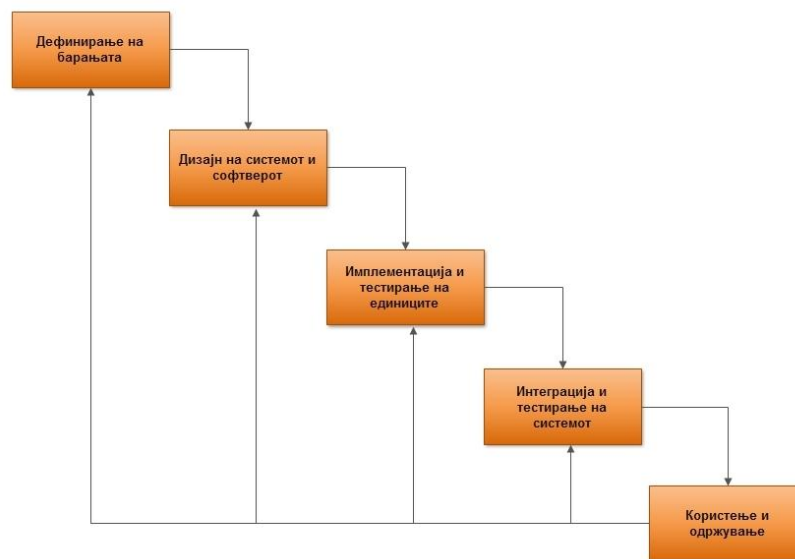
1.6.1 Модели на софтверски процеси

Тоа се апстракции на процесот што може да се искористат при појаснувањето на различните приоди кон развојот на софтверот. Тоа се рамки на процесот што може да се прошират и приспособат за создавање поспецифични процеси за софтверски инженеринг. Модели на процеси се:

1. *Водопадниот модел* - Опфаќа суштинските процесни активности - спецификација, развој, валидација и надградба - и ги прикажува како одделни фази на процесот, како што се: спецификација на барањата, дизајн на софтверот, имплементација, тестирање итн.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

2. *Еволутивен развој* - Преклопува активности на спецификација, развој и валидација. Од апстрактните спецификации брзо се развива првичен систем, кој подоцна се моделира според потребите на корисникот.
3. *Софтверски инженеринг базиран на компоненти* –Базирање врз постоење голем број повторно употребливи компоненти. Процесот на системски развој се поистоветува на интегрирањето на овие компоненти во еден систем (наместо тој да се развива од почеток).



Слика 3. Софтверски процес

Figure 3. Software process

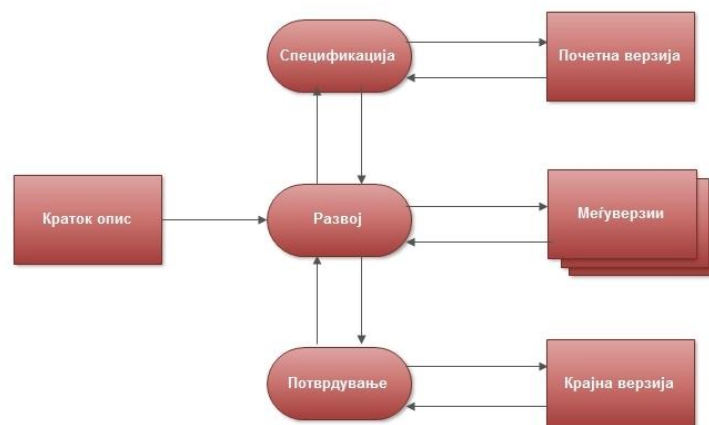
1.6.2 Водопаден модел

Овој модел на процес за развој на софтвер бил изведен од поопшти процеси за системски инженеринг. Најважни фази на развојните активности се:

1. *Анализа и дефиниција на барањата* - Системските сервиси, ограничувањата и целите се утврдуваат во консултации со неговите корисници.
2. *Дизајн на системот и софтверот* - Процесот на системски дизајн ги разделува барањата на хардверски или софтверски системи. Тој ја поставува целокупната архитектура на системот. Во софтверскиот дизајн се вклучени идентификацијата и описот на суштинските апстракции на софтверскиот систем и нивните врски.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

3. *Имплементација и тестирање на единиците* - Софтверот се реализира како множество од програми или програмски единици. Тестирањето на единиците подразбира потврдување дека секоја единица е во согласност со својата спецификација.
4. *Интеграција и тестирање на системот* - Одделните програмски единици или програми се интегрираат и тестираат како целосен систем за сигурност дека одговараат на софтверските барања на корисникот.
5. *Користење и одржување* - Ова е најдолгата фаза од работниот циклус на софтверот кога системот се инсталира и се почнува неговото користење. Одржувањето подразбира преправки на грешките што не биле забележани во претходните фази, подобрување на имплементацијата на системските единици и надградба на сервисите на системот врз основа на можни нови барања.



Слика 4. Приказ на спецификација и валидација на систем

Figure 4. View the specification and validation of system

1.6.3 Еволутивен развој

Овој се заснова врз идејата за развивање првична имплементација што ќе подлежи на забелешки од корисникот, за натаму преку повеќе верзии да се развие најсоодветната (Слика 5.). Активностите на спецификација, развој и валидација се преклопени и постои брзо пренесување на информациите меѓу активностите. Постојат два основни типа еволутивен развој:

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

1. *Истражувачки развој* - Целта на процесот е соработка со корисникот за откривање на барањата и испорачување на крајниот систем. Развојот почнува со деловите од системот што се добро разбрани и системот се надградува со додавање нови карактеристики, предложени од корисникот.
2. *Прототип Исфрли* - Целта на процесот на еволутивен развој е да се разберат барањата на корисникот и да се направи подобра дефиниција на барањата за системот. Прототипот е насочен кон експериментирање со барањата на корисникот што не се добро разбрани.

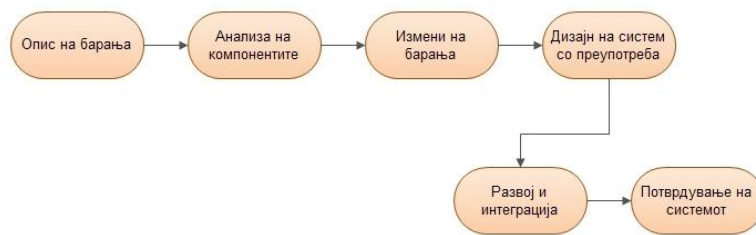
Еволутивниот пристап кон развојот на софтверот често е поефикасен од водопадниот пристап при производството на системи што ги задоволуваат моментните потреби на корисникот.

Предноста на софтверскиот процес што е заснован врз еволутивниот пристап е во тоа што спецификацијата може да се развива инкрементирачки. Со зголемување на свеста на корисниците за нивните потреби, така може да се одрази и во софтверскиот систем. Сепак, овој пристап има два проблеми:

1. *Процесот не е видлив* - Раководителите имаат потреба од редовна испорака за да го проценат напредокот. Ако системите се развиваат брзо, не е исплатливо да се создаваат документации што се однесуваат на секоја верзија на системот.
2. *Често системите се лошо структурирани* - Постојаните измени водат кон лоша софтверска структура и поставувањето промени во софтверот станува сè потешко и поскапо.

Често, повторната примена се практикува без оглед на тоа кој развоен процес се користи. Меѓутоа, дојде до појави за развој на софтвер наречен софтверски инженеринг заснован врз компоненти (CBSE), чија примена е во пораст и кој се заснова врз повторната употреба.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови



Слика 5. Еволутивен развој

Figure 5. Evolutionary development

Пристапот со повторна примена е заснован врз голема база на постојни софтверски компоненти и интеграциска рамка за тие компоненти. Овие компоненти претставуваат системи сами по себе (анг. COTS -commercial off-the-shelf systems) и овозможуваат одредени функционалности, како што се уредување текст или нумерички пресметки.

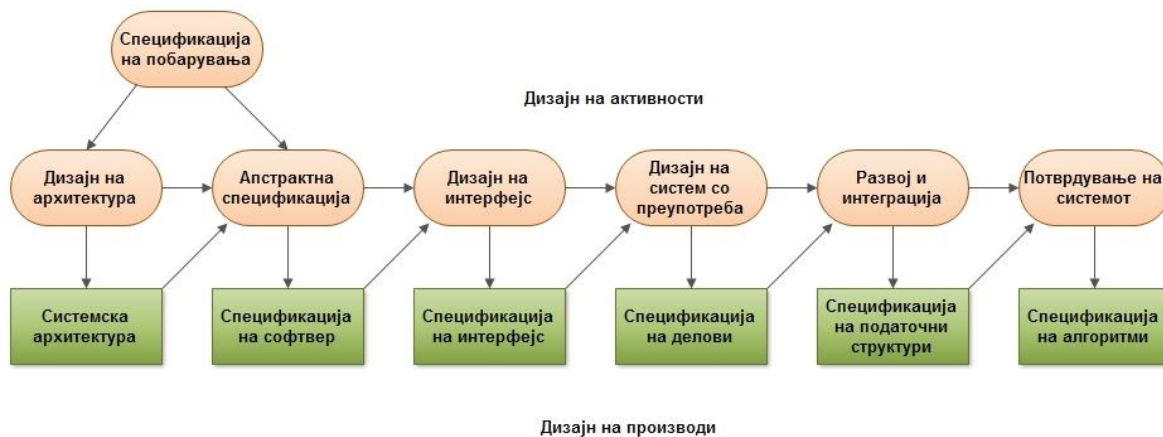
Штом фазите на примарно опишување на барањата и фазата на валидација може да се споредат со други процеси, така не може да се каже за меѓуфазите во процесот заснован врз повторна примена, зашто тие се различни. Овие фази се:

1. *Анализа на компонентите* - Преку опис на барањата се бараат компоненти што би ги исполниле барањата и тие компоненти не одговараат во целост и овозможуваат само дел од потребните функционалности.
2. *Измена на барањата* - Барањата се анализираат со користење на информациите за компонентите што се пронајдени и се модифицираат за да ги рефлектираат достапните компоненти. Ако не се возможни промени, повторно ќе се изведе анализа во потрага по алтернативни решенија.
3. *Дизајн на систем со повторна употреба* –Дизајнирање на рамката на системот или повторно се употребува некоја постојна рамка. Се користат компонентите што се повторно употребени и се организира рамката за таа цел. Ако не се пронајдат повторно употребливи компоненти, тогаш е потребно да се дизајнира нов софтвер.
4. *Развој и интеграција* –Развој на софтвер што не можел да се набави однадвор и се интегрираат компонентите и COTS системите за да се создаде новиот систем.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

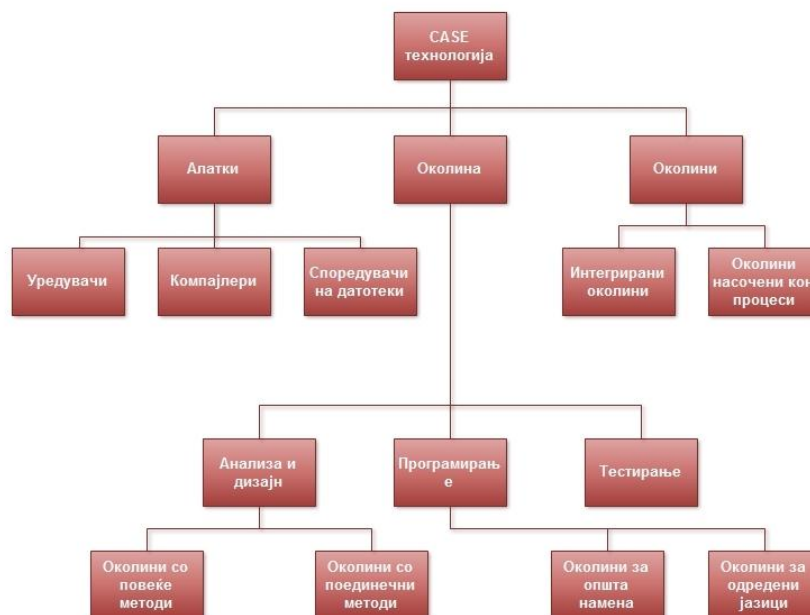
1.6.4 Активности на процесот

Основни активности на процесот: *спецификација, развој, валидација и еволуција*, различно се организирани во различни развојни процеси. Во водопадниот модел се организирани во низа, а во еволутивниот развој се преклопени. Спроведувањето на овие активности зависи од типот на софтверот, луѓето и вклучените организациони структури. Не постои правилен или погрешен начин на организирање на овие активности.



Слика 6. Приказ на дизајни на активности и производи

Figure 6.The design of activities and products



Слика 7. Приказ на организација и CASE технологии

Figure 7.Display organization and CASE technologies

2.0 ОПШТО ЗА ДОНЕСУВАЊЕ НА ОДЛУКА И ОПТИМИЗАЦИЈА

2.1 Во врска со донесување на одлука

Во секојдневната работа постојано е присутен проблемот за донесување на одлука за следниот чекор во постапката. Донесувањето на одлука во минатото била почесто врз основа на „*искusstвото*“ и „*здравият разум*“, отколку на научни основи. Останува и понатаму можноста одлуката да се донесува интуитивно (поедноставни случаи или сложени проблеми), потпирајќи се на искуство и здрав разум, но мала е веројатноста дека таквата одлука ќе биде најдобра. Имајќи го сето тоа во предвид произлегува дека во сложените зафати, како и во оние кои ангажираат големи финансиски и материјални средства, не може да се дозволи без штетни последици таква слобода при донесување на одлука. Тогаш е потребно најнапред да се извршат пресметки и врз основа на тоа да се донесе најдобра т.е. оптимална одлука. Научната дисциплина која се занимава со научната заснованост на одлуката во организацијата и обезбедувањето на производни операции е наречена **операциони истражувања** според (Chapra Steven C. and Canale Raymond P., 2006).

Некогаш претпријатијата биле мали, па едно лице донесувало одлука за се: од планирање, преку набавка, па до вработување и инвестирање. Проширувањето на индустриските претпријатија и децентрализацијата на работите и операциите, услугите, како последица на тоа, далеку поголема поделба на функциите на раководење. Со зголемената разновидност на тие функции растел и интересот на стручните кадри за проблематиката во работењето, кое бараше освен стручна ангажираност во непосредното производство и потреба од примена на научните дејности: индустриско инженерство, примена на статистиката во разни дејности, испитување на пазарот, индустриска економија, економетрија, индустриска социологија и слично. Овој домен на дејност е збогатен, покрај останатото и со операционите истражувања.

Во врска со разновидноста на функциите во областа на планирањето и во оперативата се јавува нова група на проблеми кои се нарекуваат „**проблем**

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

на *извршување*", а се појавуваат при конфликт на интересите на функционалните единици. При решавање на вакви проблеми потребно е да се користат извесни мерки или систем на акции кои предвидуваат и се засновани на јасни принципи и имаат определена цел. **Операција** ја нарекуваме секоја од мерките или систем од акции, кои се обединети во една идеја, а се насочени кон постигнување на определена цел. Операциите се всушност мерки на управување, а тие се дело на човечкиот ум. Изборот на параметрите кои го карактеризираат начинот на спроведување и организацијата на операцијата зависи од стручното лице. Поимот **организација** опфаќа избор на субјективни и технички средства кои стапуваат во акција.

Прифатениот избор на параметрите, кој зависи од човекот, се вика **решение**. Тие можат да бидат: позитивни, негативни, разумни, неразумни и слично. Решението кое има предност над останатите, се вика **оптимално решение**. Одлуката, која е најдобра за целата организација како целина се нарекува **оптимална одлука**. Таа која е најдобра во однос на функцијата на еден дел од организацијата се наречува **субоптимална одлука**.

Во основните поими спаѓа и поимот **„систем“**. Даден систем содржи заемно поврзани комплекси на функционално поврзани компоненти. Така на пример, работна организација е еден социјален систем: *машина-човек*. Двата система (машина и човек) содржат конфликтни интереси на деловите и проблемот ја опфаќа оптимизацијата за множеството од неколку конфликтни цели. Ергономијата како поим го дефинира аспектот на поделба на работата на сложените процеси на системот *машина-човек*, од аспект на нивното вклопување во организацијата на целината, со примена на математички методи, со кои најлесно може да се оптимира решението, а со цел на научен пристап кон донесување на одлуката. Исто така и операционите истражувања користат свои методи, техники и средства во оптимирањето на целта во системот и при тоа, поради комплексноста, секогаш се користи тимска работа.

Се применуваат многу синоними за поимот операциони истражувања, а најчесто се наидува на термините: *„системски инженеринг“*, *„системски анализи“* и *„операциони истражувања“*, кои поради сличноста на значењето лесно се заменуваат. Системски инженеринг може да се дефинира како концепција, планирање, проектирање и инженеринг на влијателни елементи на

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

секој систем, кој во моментот на обработката сè уште не постои. Системски анализи се научни методи за донесување на одлука, која е заснована на квантитативни и други евалуации на целта на сите алтернативи кои постојат во системите, а кои во моментот на обработката постојат па се врши нивно усовршување. Операционите истражувања се дефинираат како апликација на математичките модели во проблемот на оптимизацијата на целта на секој систем, кој претходно се дефинира. Трите дисциплини се многу слични во настојувањата, но единствено операционите истражувања по природа и форма се повеќе математички, па оттука и важен и многу често задолжителен дел на другите две дисциплини.

2.2 Вовед во оптимизација

Проблемите, процесите, операциите и активностите кои се појавуваат при проектирањето, реализацијата на производството или при анализите во: фабриките, рудниците, услужните дејности, транспортот и воопшто во индустрискиот процес; како и проблемите кои се поврзани со планирање на производството и слично, можат да се редуцираат на форма која е функција од повеќе променливи. Методата на оптимизација е процес кој треба да обезбеди услови за добивање на најдобар резултат во одредена ситуација, (Голомеов Б., Милева А. 2008).

Целта на проучување е многу комплексен и комплициран. Затоа треба да се владее со компонентите и целта на проучувањето во оптимизацијата.

Потребата од оптимизација произлегува од аспектот на стопанските и економските движења, стопанисување, индустриски и други процеси т.е. потребата од *постојаното подобрување* е најважно обележје во стопанисувањето; било да се работи за зголемување на производството на сировини или пак за зголемување на профитот при инвестирање во определен зафат. Подобрувањето е од две различни гледишта: **економско и техничко**. Економското подобрување е костур во сите ситуации, бидејќи при решавање на секој проблем е вградена и финансиската структура. Сепак, некои проблеми не се непосредно врзани со финансии. Во таквите случаи основата во оптимизацијата не е финансиска, туку техничка.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Постојат три битни обележја при секоја оптимизација: **целите, конфликтните влијанија и ограничувањата.**

Целите во секој проблем на оптимизација е *подобрување на системот*. Затоа е потребно да постои барем едно решение за системот кој е предмет на разгледување. Тоа значи дека не можат да се оптимираат системи кои за дефинираните влезни податоци не резултираат никакви излезни податоци. Тогаш не сме во состојба да го проектираме, водиме или контролираме системот. Ако на специфицираните влезни податоци одговараат само фиксирани излезни податоци, тогаш системот е потполно дефиниран. Системот не е потполно дефиниран ако на специфицираните влезни податоци како резултат може да се добие ограничен број решенија. Во таков случај велиме дека системот е неопределен (недефиниран).

Бидејќи не постои само еден одговор за проблемот, потребно е да се избере „*најдоброто*“ решение (од повеќето можни решенија за проблемот). Значи *прво* да се утврди целта на проблемот: **економска** или **техничка**. (Крстев Б., Голомеов Б. 1994).

Економската цел може да биде: максимална добивка (профит), минимални трошоци и слично. Техничката цел може да биде: поголемо годишно производство на некој производ, минимални губитоци при работата на некоја машина, поголема продуктивност итн. Нормално е дека во индустриската оптимизација преовладува економската форма на целта. Ако претходно не се определи целта, тогаш не може да се изврши подобрување, бидејќи нема основа за споредување на повеќе решенија. Битно е дека, не е можно да се врши квантитативна анализа на сите проблеми и покрај тоа што имаат општо поставена цел и остварливо множество решенија за изнаоѓање на најдобар резултат. Треба да постои квантитативна мерка за споредување на резултатите. проблемот мора да биде дефиниран така што сите негови информации да бидат во квантитативна форма, а таа е *функцијата на целта* која се користи за селекција на решенијата во променливите на системот.

Конфликтните влијанија се карактеристични својства на многу проблеми (постројките кои се во фаза на проектирање или производство) или вовед на автоматизација поради намалување на трошоците на работата и отпадот. Со автоматизацијата опаѓаат издатоците за работната сила во

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

производството, но растат трошоците за одржување на машините. Соодветните две криви на трошоци зависат од степенот на автоматизацијата и се во заемна спротивност (конфликт), поради тоа нивната сума има најниска точка во оптималниот степен на автоматизација.



Слика 8. Конфликтните влијанија

Figure 8. Conflicting influences

Ограничувања подразбира најдобро решение при оптимизацијата и не може секогаш успешно да се постигне, поради ограничувањата. За определен услов, се добива релативно најдобра вредност, која не мора да биде еднаква со онаа која се добива кога нема ограничување.

Најголемо значење за оптимизацијата има **нивото** на оптимизација. Проектот може да има различни нивоа од аспект на комплексноста. Може да биде: комбинација од компании или комплекс компании, претпријатија или погони во една компанија, комбинации во единствен процес разгледувајќи ги производите во зависност од сировините, комбинации од компоненти на процесот со задача на реализирање на оптималниот технолошки процес, комбинации на ниво на специфична компонента во процесот и сл. Без оглед на нивото на комплексност во зафатот на проблемот, проектот може да се анализира од аспект на: **проектирање, планирање, оперативно производство** или **контрола**. На секој од тие аспекти треба да се решаваат повеќе „точки“ на кои се дели проблемот.

Воопшто, ниту во едноставните ниту во сложените зафати, одлуките не можат да се донесуваат искуствено или интуитивно, туку нивното донесување мора да е засновано на научни постапки. Со тоа се занимаваат методите на операциони истражувања, применета статистика, геостатистика, економетрија и други. Развојот на електронските сметачи и информационите системи придонесе за брзиот развој на научната мисла на планот на одлучувањето.

2.3 Организација на проблемот на оптимизација

Приодот кон оптимизација на даден проблем, во било која област, секој стручњак користи исти математички проблеми за различна апликација. Како резултат на тоа е дека поголем број на проблеми при оптимизацијата се многу слични, без оглед на тоа во која област се применети. Оттука произлегува дека првенствена задача е да се определат принципите со помош на кои може да се организира оптимизација на даден систем, било да е едноставен или комплициран.

Ако се постави задачата, тогаш треба да се изработи соодветен модел со кој може да се прикаже системот, а потоа со помош на моделот: да се оствари решение, да се избере погоден критериум за процена на сите одлуки и да се изнајде метода на оптимизација.

Постојат два типа на модели: математички кој е заснован на **аналитички** односи (**аналитички модел**), со ограничувања со кои се дефинира одговор на проблемот во процесот и наспроти тоа, ако процесот веќе постои, тогаш со помош на експеримент може да се даде одговор на различните влезни податоци, т.е. модел кој е заснован на информациите од експериментите и е наречен **модел на црна кутија (black-box model)**, (Хамди А. Таха. 2007). Во некои случаи е можно да се разгледува математички модел со помош на постапките на *black-box* модел, при што решенијата како што е профит или производство се дефинирани нумерички, како резултат на множеството од влезни вредности.

Аналитичките методи се користат како техники за оптимизација на проблеми чии функции на целта се симулирани од аналитички модел. Овие методи не можат да бидат применети поради неопходноста од комплексни математички пресметки или поради дисконтинуитетот во функционалните односи, односно емпирискиот *black-box* модел (технички термин за уред, систем или објект кој се проучува врз основа на неговиот влез, излез и трансферни карактеристики, без да се има увид во неговите внатрешни процеси не може да се користи на тој начин, туку во тие n – димензионални проблеми се применуваат нумерички техники на пребарување. Општиот принцип на кој се засновани сите тие техники може да се сведе на изразот „да

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

се усмери во”. Пребарувањето се состои во тоа да се утврдат вредностите на функцијата на целта, а понекогаш на нејзиниот градиент, во сукцесивни локации, без разлика дали тие вредности се добиваат директно од аналитички израз или со експериментирање во постоечкиот систем.



Слика 9. Приказ на Црна кутија

Figure 9. View Black Box

Најважен фактор, во оптимизацијата, е моделот да биде реален. Ако моделот не ја претставува вистинската состојба на системот, тогаш не може да се очекува дека со помош на него ќе се оствари некое подобрување на резултатите. Во случај кога треба да се прикажат комплексни проблеми, ако не се поедностават таквите модели, тоа може да доведе до големи тешкотии во фазата на изработката и на оптимизацијата.

Кога моделот е дефиниран и кога постои можност да се добие решение, е потребно да се избере оптимизациона техника; поаѓајќи од тоа дека таа, во основа, има соодветен критериум за одбирање на најдоброто решение и со помош на таа техника да може да се изврши симулација. Со соодветен критериум се избираат информациите кои се потребни за оптимизација.

Соодветната оптимизација се врши на **функција на цел** (*objective function*) во дадениот проблем, која е изложена на ограничувања изразени со равенки или неравенки, чиј облик може да биде аналитички израз - математичка функција или форма кои го определуваат нумеричките податоци. Формата на оптимизацијата може да биде различна, од споредување на две решенија до примена на елегантни математички техники, при што основно својство е да се оствари подобро решение.

Значи оптимизацијата е всушност чисто математички проблем, па мора да се води сметка во моделот да се вградат вистинските физички својства на системот. При тоа битни се следните својства: примена на критериум за разликување на вредностите; потребата тој критериум со аналитички односи

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

да се поврзе со променливите на системот (моделот); потребата некои од променливите на системот да се контролираат (**контролирани независни променливи**); постоење на ограничувања со кои се ограничува областа на промена на сите или на некои променливи; и можност да се пресмета конечното решение.

Битно за оптимизацијата е да се избере множество од вредности на независните променливи кои се изложени на разни ограничувања кои ќе го остварат саканиот оптимален одговор за проблемот кој се проучува.

Има мноштво критериуми чија природа зависи првенствено: од проектот кој се обработува, од достигнатиот степен во истражувањето и од фазата на развојот. Затоа можат да се постават повеќе критериуми, се добиваат и различни оптимални решенија. Во праксата најчесто се користи општ економски критериум, наспроти техничкиот критериум. Понекогаш можат да се појават и два критериуми.

Понекогаш економскиот критериум се сведува на технички, како на пример: искористување на метал од руда или било кој параметар од проектот, количина на производи, ниво на нечистотија и сл. Овие критериуми се изведуваат од економските; а за да се заштитиме од нелогичностите, еквивалентните економски мерки можат да се појават како ограничување. Такви се на пример, функциите од критериумите за контрола на квалитетот и слично. Бројот на техничките критериуми е доста мал. Нив ги има нешто повеќе во математичката примена, како на пример прилагодување на „површината“ со податоците, со минимална грешка. Искуството покажува дека при организација на проблемот на оптимизација треба да се почитува општата постапка на оптимизација:

- Проблемот мора да биде прецизиран, а тоа претпоставува истиот да биде истражен и идентификуван.
- Мора да се избере критериум или цел за донесување на одлука или за селекција.
- Потребно е да се приберат информации за проблемот, системот (или повеќе системи) мора да се дефинира. Мора да се специфицираат: параметрите, независните променливи и ограничувањата во тој

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

систем и да се утврди модел, пред да се пристапи кон формулирањето на функцијата на целта.

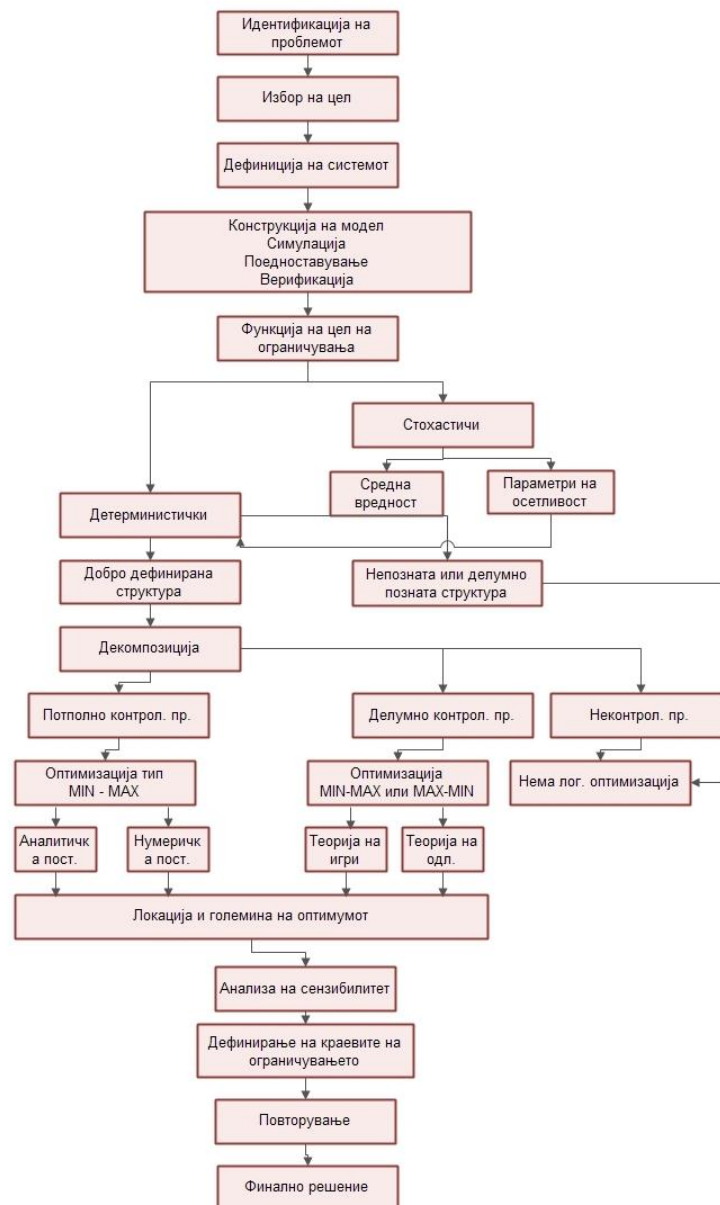
- Потребно е да се формулира (дефинира) функцијата на целта. Таа треба да биде изразена со помош на променливите на системот, а треба да ја одразува и дефинираната цел.
- Добиениот систем треба да биде подобрен и затоа се бараат услови за оптимизација на промените на променливите на системот кои се изложени на рестрикции. Споредувајќи ги најдобрите меѓу добиените резултати на системот, кој е специфициран на почетокот, се комплетира оптимум, а на тој начин се утврдува и глобален оптимум.
- Вредноста на така добиениот резултат треба да се спореди со експерименталните податоци заради утврдување на употребливоста, а потоа можат да се вршат и промени на почетниот систем, ако е тоа потребно.

Од графичкиот приказ на општата постапка на оптимизација можат да се дадат најважните критички согледувања. Вистината на некое решение зависи од подобниот избор на целта. Ако таа не е добро дефинирана, тогаш е мала можноста дека ќе се добие оптимално решение, бидејќи добиеното решение не мора да биде оптимално и во однос на некој друг критериум.

Исправноста на резултатите на оптимизацијата влијание и на изборот на системот кој е предмет на истражување; па како постапката за идентификација на системот е вообичаена, може да се случи таа да не се открие и оптималниот систем да не биде вклучен во студијата.

Другата најважна задача во секоја оптимизација е потребата системот да биде претставен со соодветна структура на математички модел. Ако моделот е несоодветен, било поради недоволните податоци или лошо дефинираните структури на системот, тогаш секоја симулација која ќе уследи, како и студијата на оптимизацијата, не е во можност да произведе решение кое ќе биде оптимално во актуелната апликација. И во случај кога е избран соодветен критериум на целта и кога моделот одговара, можат да настанат тешкотии во постапката на оптимизацијата.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови



Слика 10.Процес на оптимизација

Figure 10. Optimization process

Структурата на системот може да влијае на оптимизацијата така што, да бара примена на детерминистички или стохастички облик на функцијата на целта. Во случаите кога можат да бидат користени средни вредности или најверојатни вредности на функцијата на целта, стохастичкиот пристап не бара потполно различна постапка и во тој случај понатамошната постапка во техниката на оптимизација е иста како кај детерминистичката функција. (Џејмс Г. 2009).

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Ако поради недостаток на податоци системот е недоволно дефиниран, тогаш тоа мора да се корегира, но ако познавањето на системот е недоволно поради недостаток на податоци или ако неможе да се воспостави контакт (контрола) над променливите, тогаш не постои можност да се оствари логичка оптимизациона техника. Во суштина, ако не се познати податоци или структурата на системот и ако неможат да се контролираат променливите, тоа значи дека не може да се оствари оптимизација, па таквиот проблем не треба понатаму да се проучува.

Кога се познати структурата на системот и параметрите, а функцијата на целта може јасно да се изрази со помош на независните променливи, кои можат да бидат избрани под контрола на лице кое врши оптимизација, тогаш може да се примени една од повеќето методи кои ни стојат на располагање.

Многу реални системи не припаѓаат на таа класификација, бидејќи постојат некои екстерни променливи, чии вредности се надвор од контролата на лицето кое оптимира. Тоа се таканаречени неконтролирани променливи. Несигурноста внесува понатаму тешкотии, кои можат да бидат решени со посебна постапка. Всушност, постапката на максимизација или минимизација во тој случај не може да се примени, но можат да се применат различни постапки со кои се редуцираат *најлошите* решенија во процесот на работата. Тоа води кон посебна филозофија на оптимизацијата во која се користи $\max$ - $\min$ или $\min$ - $\max$ критериуми.

Кога структурата е добро дефинирана и кога е избрана оптимизациона техника, често како проблем се појавува големината на практичниот систем и големиот број на променливи. Во тој случај се врши поедноставување така што системот се дели на подсистеми кои имаат помали димензии, а можат одвоено да се оптимираат. Тоа доста го олеснува аспектот на оптимизацијата, а притоа најголема важност има изборот на постапката за разделување во подсистеми.

Последниот чекор во истражувањето е повторувањето, со кое се проверува дали добиеното решение одговара на оригиналниот проблем и дали може да се постигне подобрување со повторно поставување на проблемот. Откако оптимизацијата е комплетирана, се воведува контрола на оптималните услови и се проверува сензибилноста на решението поради промената во податоците и вредностите на параметрите.

2.4 Математички модели на оптимизација

Во основа на оптимизацијата е формирање на математички модел за секоја единица во системот и за целиот структурен проблем на системот. (Kawatra S. K. et all, 2005). Функцијата на целта, која претставува најважен дел на секоја оптимизација, мора да биде изразена со помош на променливите на системот и затоа изработката на модел на системот е најважен чекор во постапката на оптимизацијата. Тоа е општа формула, која е изведена од *трансформационите равенки* има форма:

$$E = F(x_1, x_2, \dots, x_i, y_1, y_2, \dots, y_j, a, b)$$

[1]

F - мера на ефикасност на операцијата на системот,

x_i, y_j - контролирани променливи на системот,

a, b - параметри (неконтролирани променливи на системот).

Задачата е да се определат оние вредности на x_i и y_j - кои даваат *најдобра* (најмала или најголема) вредност за E ; а тоа значи дека пред почетокот на оптимизацијата е потребно да се постави функција на целта која всушност е една од променливите y_j -(која постанува „зависно променлива“ и која зависи од останатите контролирани $x_1, x_2, \dots, x_i, y_1, y_2, \dots, y_j, a, b$ така што таа да може да даде одговор со кој може да се вреднува промената на контролираните променливи (површината на одзив). Освен функцијата на целта, математичкиот модел многу често го сочинуваат и ограничувањата (со равенки или неравенки по однос на контролираните променливи).

Постојат три основни типа на математички модели и тоа: **аналитички** или **математички** форми на модел кој во потполност е заснован на претходното познавање на „*правило-закон на однесување*“ кој е изразен во математички термини. Собраните податоци се користат за да се утврдат непознатите параметри на моделот и да се потврди веродостојноста на хипотетичните поставки во моделот.

Пристапот на аналитичкиот модел е определен механизам во кој се користат прифатените закони за зачувување на: материјата, енергијата, моментот и слично. Оттука се изведува оригинално множество равенки, кои можат да се користат само во конкретниот случај за дефинирање на **излези** за

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

специфицирани **влезови**. Со помош на физички или математички поедноставувања се намалуваат равенките на погодни форми, за да можат да се користат во постапката на оптимизација со аналитички методи на оптимизација.

Емпириски или **црна кутија (Black-Box)** моделот не поаѓа од хипотетична поставка, бидејќи не се користи директно „правило-закон на однесување“, туку до конструкција на моделот се доаѓа дури по собирањето на податоци во текот на работата на системот. Во тој тип на модел одговорот за поединечни влезни податоци се утврдува со помош на погоден експеримент и со нумерички пресметки. Формата на моделот ја диктира методата на собирање информации. *Емпирискиот модел*, за разлика од аналитичкиот модел, вообичаено е неадекватен на вистинската состојба, поради тоа што не е верен и потполн опис на состојбата и поседува грешки кои можат да бидат и поголеми од вистинската *варијабилност* во експериментите. (Mular A. L., 1980).

Полумеханистички модел е комбинација од спомнатите два типа на модели. Голем дел од моделите припаѓаат на тој тип, затоа што е многу тешко да се направи јасна граница меѓу емпирискиот и аналитичкиот модел. Има низа на проверени постапки за тоа како аналитичкиот модел во обработката може да се третира како емпириски и обратно.

3.0 ПРЕГЛЕД НА ОПТИМИЗАЦИОНИ ТЕХНИКИ

3.1 Аналитичка оптимизација

Аналитичката оптимизација содржи аналитички израз за функцијата на целта која е диференцијабилна:

1. Ако *функцијата на целта и нејзините изводи* (кои се користат) се *непрекинати и ако нема ограничувања*, тогаш оптималното решение се наоѓа во стационарна точка чие определување се сведува на наоѓање корени на една равенка или на решавање систем од равенки. Изводите на функцијата се користат и за определување на доволните услови за оптимум, како и за природата на оптимумот.
2. Ако *функцијата на цел или нејзините изводи се прекинати* во некои точки, тогаш се воведуваат „вештачки“ ограничувања на функцијата во тие точки и задачата се сведува на разгледување на неколку функции кои се ограничени со неравенки.

3. Ако *функцијата на цел е ограничена*:

а) **со неравенки**, тогаш функцијата се разгледува како неограничена, а потоа се проверува дали добиената оптимална точка ги задоволува ограничувањата.

б) **со равенки**, тогаш се користи една од овие методи:

- *замена*, се добива проблем во кој се намалува бројот на независните променливи на функцијата на целта;
- *ограничени варијации*, ако функцијата на цел е со n независни променливи и има m ограничувања, тогаш се добива нова функција со $n-m$ независни променливи;
- *Лагранжов мултипликатор*, функција со повеќе независни променливи.

в) **со линеарни равенки или линеарни неравенки** и ако и функцијата на цел е *линеарна*, тогаш се користи *линеарно програмирање* (пребарувањето се врши долж границата, движејќи се од една до друга пресечна точка).

4. Принцип на **дуален систем** се состои во променет приод на оптимизацијата, на тој начин што се менуваат улогите на променливите

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

(функцијата се смета за независно-променлива, а независно-променливата за функција). (Gruic M. 1990-91).

3.2 Нумеричка оптимизација

Нумеричката оптимизација овозможува вредностите на функцијата $Y = Y(x)$, каде е $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ да се „најдат“ за секоја вредност на променливата x .

Во пракса, најчесто се користат две групи на методи при нумеричката оптимизација (Голомеова М., 2001), а тоа се:

-директна (методи на директно пребарување) и
-градиентни (метода на пребарување со помош на градиент). При тоа е битно: проблемот е без ограничувања или со ограничувања.

Кога функцијата на целта е без ограничување, тогаш се користи една од следните методи на директно пребарување: *Редна симплекс* метода (секвенционален симплекс) или *едноваријантна техника* на пребарување, кои се со фиксирани должина на чекор и насока.

- *Секвенционалната симплекс техника* е многу практична поради едноставните правила што се користат за приближување кон оптимумот.
- *Едноваријантната техника* станува несигурна во случај кога треба да се совладаат *"тесни и остри долини"*.

Фиксниот чекор и насока, што се користат во овие две техники, во некои случаи може да биде недостаток. Тогаш се користат поефективни, така наречени *форми на забрзување (accelerated)*, при кои се врши забрзување по должината на чекорот или по правецот и се користат најчесто при *едноваријантните методи*. Такви се: методата на *Powell (коњуугирани насоки)*, методата на *Rosenbrock* и други. Посебен успех при користење на овие методи се постигнува со *Powell*-овата метода.

Кога функцијата на цел е со ограничувања, тогаш:

- Ако ограничувањето е со равенки, во тој случај се врши трансформација, така што ќе се добие проблем без ограничувања, па потоа се користи некоја од методите на директно пребарување. При трансформација на проблемот, во таквите случаи, најчесто се

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

користи Лагранжов мултипликатор. Ако таква трансформација не се направи, тогаш методите на директно пребарување не гарантираат успех.

- Ако ограничувањето е со неравенки, тогаш во методите на директно пребарување се користи некоја од следните техники:
- 1. Проблемот да се третира како проблем без ограничувања, а потоа да се изврши проверка на границите кои ги определуваат ограничувањата. Ова „не е препорачливо“, особено во случаите кога оптимумот се наоѓа на границата или во нејзина близина.
- 2. Функцијата на цел или ограничените променливи да се трансформираат, за да се добие проблем без ограничување, а потоа да се работи како на проблем без ограничувања.
- 3. Да се примени *комплексната метода на Вох*, која претставува продолжување на идејата на р едната симплекс метода. Оваа метода е едноставна и е применлива скоро во сите случаи.

Во групата методи на **директно пребарување** спаѓа и *Ritz*-овата метода. Таа се користи кога променливите се непрекинати, а притоа за апроксимација на бараното решение се користат и разни функционални облици.

Во групата методи на **Градиентните методи**, кои се користат наместо неградиентните, во случај кога можат да се користат изводите на функцијата на целта.

Кога проблемот е без ограничувања, тогаш се користи една од следните градиентни методи:

- *Метода на најстрмен успон*, подобро да се следи градиентот на функцијата (во пребарувањето), дури и во случаите кога тој има локална карактеристика.
- *Метода на коњуигирани насоки (градиенти)*; каде градиентот на функцијата се користи за водење на пребарувањето.

Постојат и други ефикасни техники на пребарување, кои се користат во ваквите случаи.

Кога проблемот е со ограничувања, тогаш истиот се трансформира во проблем без ограничувања (со модификација на променливите или со

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

модификација на функцијата). Но ова не е едноставно да се направи успешно, затоа што модификацијата на некои фактори може да предизвика модификација на функцијата на целта, така што можат да се појават „*остри сртови*“ и сл., кои не постоеле во почетната состојба. Во таквите случаи методата на *Caroll* има предност на користење, пред другите методи.

Ако немодифицираниот проблем е со ограничување со неравенки и равенки, тогаш најчесто се користи методата на *градиентна проекција*, која во основа се потпира на методата на најстрмен успон во дозволената област. При тоа ограничувањата се линеаризираат (се определуваат со линеарни равенки или неравенки) кога пребарувањето се приближува кон границата и за време на поместувањето долж линијата која го определува ограничувањето, а потоа се применува постапката на *линеарно програмирање*. Но, бидејќи со линеаризацијата се прави определена грешка, произлегува дека најтежок проблем во ваквите случаи е настојувањето во текот на пребарувањето да се остане внатре во дозволената област.

Важно е да се нагласи дека не постојат општи ефективни и прифатливи нумерички методи на пребарување и дека изборот на методата е индивидуална работа на лицето кое го обработува проблемот и проблем на лицето кое го користи моделот.

При барање оптимум секогаш се добива локален оптимум и затоа од првенствената важност при нумеричките методи е проблемот на *конвергенција кон локалниот оптимум* на техниката која се користи во пребарувањето.

3.3 Нумерички методи на оптимизација

Слично на аналитичките методи и кај нумеричките, проблемот станува покомплексен кога се преминува од една на повеќе променливи. Кај функциите на целта со една променлива, бројот на експерименти е од најголема важност во поглед на ефикасноста на методата. За n – димензионалните техники на пребарување не може да се утврди најдобрата техника, бидејќи ниту една техника не може да се издвои како најефикасна, поради тоа што не постои соодветен критериум, (Хамди А. Таха 2007).

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Всушност, организацијата на пребарувањето во крајна линија е секвенционална постапка со која се остварува нова вредност која се споредува со најголемата дотогаш постигната вредност. Токму во таа итеративна постапка постои разлика помеѓу пооделните методи т.е. разликата е во постапката на изборот на следната локација на функцијата на целта. Тој процес може да биде произволен, може да биде случаен (randomly) и по можност може да биде воден од интуиција. Ако постапката (методата) е лошо одбрана тогаш бројот на експерименти (пресметувања) ќе биде поголем од колку што е нужно потребно за да се достигне оптималната (стационарна) област.

Кај логичката постапка од најголема важност е изборот на новата локација. Воопштено, кога е позната основната точка, тогаш околу неа се поставува множество на истржувачки експерименти со цел преку нив да се утврди однесувањето на функцијата на целта во таа област. На тој начин се добиваат неопходните податоци за тоа во кој правец да се движиме за да се постигне подобар резултат во наредниот чекор (локација). Податоците од таа постапка можат да бидат дадени во оригинал, квантитативни или квалитативни, или можат да се прикажат како приближна површина на локалната област околу основната точка. (Lynch A. J. 1975-1977).

Прво битна карактеристика на секоја метода е изборот на *правецот на движење*. При решавање проблем кај кој се присутни ограничувања, најчесто изборот на правецот нема да биде во правец на најголемото подобрување туку, поради ограниченоста во изборот, во правец на најголемото можно подобрување. Од друга страна, ако изборот не ни е со ништо ограничен, како правец на движење може да се избере најстрмниот градиент (steepest gradient). Во други случаи правецот на движење може да се избере врз основа на податоците од претходните придвижувања за да го забрза пребарувањето.

Друга битна карактеристика е *должината на поместувањето (чекорот)* по избраниот правец. Движењето по избраниот правец може да биде еден чекор или серија чекори, при што, по секој направен чекор, се проверува вредноста на функцијата на целта. Движењето ќе се одвива толку долго додека дава подобрување на функцијата. Конечната локација на претходното

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

движење, станува основна локација за нови истражувачки испитувања, избор на смер и должина на движење т.е. на нов циклус во итеративниот процес на барање на натамошно подобрување на функцијата на целта. Во секој циклус треба да се дојде до подобрување на вредноста на функцијата на целта, но може да има ситуации кога имаме задржување на истата вредност.

Тогаш треба да се направи обид, да се добие подобрување на функцијата, со смалување на должината на чекорот при пребарувањето. Може да се смета дека пребарувањето по оптималната вредност на функцијата на целта е завршено кога оптималната вредност е лоцирана со некој прифатлив степен на точност или ако промените на вредноста на функцијата се во границите на однапред утврдена големина. (Крстев А. 2008).

3.3.1 Локален и глобален оптимум

Во случаите кога постои само една оптимална вредност, непосредно може да се добие глобалниот оптимум. Кога аналитички не ни е позната функцијата на целта, секоја избрана основна (појдовна) точка може да доведе до нов локален оптимум. Само во случај кога од сите основни точки е остварен ист оптимум, можеме, со одредена доза на веројатност да кажеме дека тоа е глобалниот оптимум. Кога постојат повеќе локални оптимуми, најдобриот помеѓу нив можеме да го сметаме за глобален оптимум. Сето ова е парцијално решение и овој проблем на постоење на повеќе локални оптимуми е предмет на постоејано истражување. Едноставно не постои ригорозна метода за решавање на глобален оптимум. Тоа е можно само кај минимизирањето на конвексна област или функција, кога гарантирано се доаѓа до оптимумот.

3.3.2 Претходно планирање или секвенционално движење

Во пракса е можно експериментите да се планираат претходно или да се избираат непосредно. Генерално, планирањето на експериментите треба да се избегнува, освен во случаите кога е неминовно така да се работи, како што е случајот кај експериментално-статистичките методи. Ова е така затоа што, таквиот пристап може да не доведе во ситуација да ја занемариме одредената подобласт која содржи екстремна вредност. Нужно е во подобластите да се

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

изврши секвенционално пребарување во склад со особините на функцијата на целта. Друг пристап е да се изврши покривање односно интерпретирање на стационарната област, во која лежи оптималното решение, со помош на полином од повисок ред и на тој начин да се определи глобалниот оптимум. Кај секвенционалната постапка, во локалната област, се изведуваат мал број на експерименти кои се анализираат пред наредниот чекор. Со корективна постапка на одредување на смерот и должината на чекорот, оптималното решение може да се реализира со минимален број на експерименти.

3.3.3 Основни принципи на секвенционалното нумеричко пребарување

Секвенционалното нумеричко пребарување за еднодимензионални и n – димензионални модел може да се сведе на шест чекори:

Чекор 1. Избор на вредности на променливите кои ги исполнуваат условите на сите ограничувања. Тоа е почетната основна точка на циклусот (i).

Чекор 2. Се пресметува вредноста на функцијата на целта во таа точка.

Чекор 3. Преку нумеричките методи се избираат следните можни вредности на променливите (кои ги исполнуваат условите на ограничувањата).

Чекор 4. Се пресметува вредноста на функцијата на целта во таа точка.

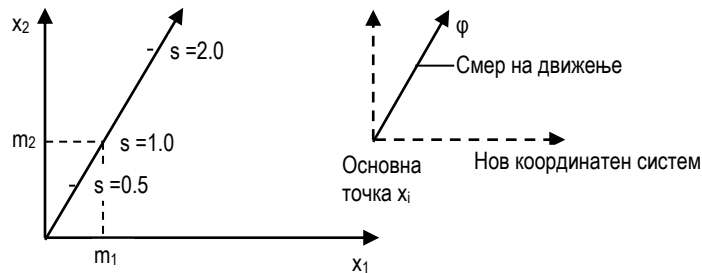
Чекор 5. Се споредува вредноста на функцијата на целта во новата локација со таа во основната точка.

Чекор 6. Ако е вредноста во новата точка подобра, се поместуваме во таа точка и неа ја прогласуваме за основна точка на циклусот ($i+1$). Ако вредноста на функцијата во новата точка е помала, пребарувањето треба да се врши во друг правец,

Очигледно, разликата помеѓу методите е чекорот 3. Во методата на случаен избор (Case study methods), изборот на правецот и должината на чекорот е помалку или повеќе случајна или во најдобар случај зависи строго од интуицијата на операторот. Логичката метода може да биде без ограничувања, да биде ограничена со равенки или ограничена со неравенки. При тоа оптималната вредност може да лежи во стационарната точка, во дисконтинуирана појава или на границата. (Голомеов Б, Милева А. 2008).

3.3.4 Смер на пребарување

Смерот на пребарување е многу важна карактеристика на секоја метода. Смерот на движење може да се прикаже како вектор ϕ кој е означен со n броеви $\{m_1, m_2, \dots, m_n\}$.



Слика 11. Смер на пребарување

Figure 11. Direction of search

На пример во дводимензионален систем векторот $\{1,0\}$ претставува смер паралелен со позитивната x_1 оска, додека векторот $\{0,-1\}$ е смер паралелен со x_2 оската во негативна насока. Векторот $\{\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}\}$ претставува смер паралелен со права под агол од 45° во однос на x_1 оската. Според тоа векторот ϕ во дводимензионалниот простор има ознаки $\{m_1, m_2\}$. Сите алгоритми на нумеричките постапки предвидуваат поместување на основната точка за должина s во правец ϕ , така да се добива нова точка со координати x_{j+1} :

$$x_{j+1} = x_j + s \phi$$

[2]

при што x_j се координати на основната точка. Друг облик на оваа формула е:

$$x_{i,j+1} = x_{i,j} + s m_i \quad \text{за } i = 1, 2, \dots, n$$

[3]

За да се разбере овој израз потребно е да повлечеме права низ координатниот почеток и точката $(m_1, m_2, \dots, m_n)$, а секоја точка на таа линија потоа се добива ако е познат параметарот s со помош на равенката:

$$x_i = s m_i \quad \text{за } i = 1, 2, \dots, n$$

[4]

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Ова е параметарско прикажување на правата која проаѓа низ координатниот почеток. Ако е $s = 0$ тогаш тоа е самиот координатен почеток. Ако е $s \neq 0$, тогаш тоа е точката $(m_1, m_2, \dots, m_n)$. На слика 11. е прикажано во дводимензионален простор основната точка x_j и правецот паралелен со векторот φ . Секоја точка која ја задоволува равенката (3) лежи по должината на линијата која проаѓа низ координатниот почеток и низ точката $\{m_1, m_2\}$, а има исти наклон. Според тоа, наклонот на линијата која поминува низ координатниот почеток во дводимензионален простор е: x_1/x_2 . Значи, за сите точки вреди односот:

$$\frac{x_1}{x_2} = \frac{s \cdot m_2}{s \cdot m_1} = \frac{m_2}{m_1} \quad [5]$$

и е независен од s . Покрај тоа s детерминира одалеченоста од координатниот почеток:

$$\sqrt{x_1^2 + x_2^2} = \sqrt{s^2 m_1^2 + s^2 m_2^2} = s \quad [6]$$

бидејќи е $\sqrt{x_1^2 + x_2^2} = 1$ равенката (3) е параметарско претставување на некоја права чиј смер е дефиниран со броевите m_i . Поради тоа равенката (2) може да се напише во облик:

$$s \cdot \varphi_i = x_{i,j+1} - x_{i,j} = s \cdot m_i \quad [7]$$

па за дефинирање на новата точка во новиот координатен систем x_j имаме:

$$x_{i,j+1} = x_{i,j} + s \cdot m_i \quad [8]$$

Тоа е доказ дека двете прави се паралелни, но поместени за почетокот на новиот координатен систем $x_{i,j}$.

Крајот на пребарувањето го претставува конечниот резултат кој ни гарантира, со одреден степен на точност, дека е достигнат оптимумот. Ова може да се смета за дефиниција без разлика дали е во прашање директно пребарување, претходно планирана или секвенционална техника (метода) и тогаш може да застанеме со пребарувањето. Без разлика на смалувањето на чекорот, после одреден степен на точност, во сите методи понатамошното

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

пребарување е осудено на неуспех, поради недефинираност на линеарните членови на градиентот. Поради тоа е препорачливо да се изврши фитување на функцијата на целта од квадратен облик за да се одреди оптимумот со поголема точност.

3.4 Нумерички методи на оптимирање на функции со една променлива

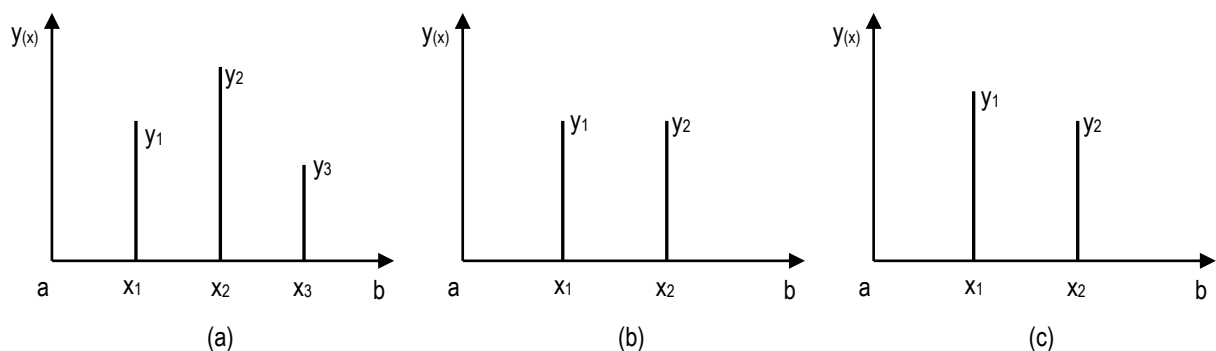
Поради важноста, ќе биде потенцирана само логичката метода на пребарување, при што треба да се нагласи дека доаѓаат во предвид само едномодулните функции. Повеќемодулните функции треба да се раздвојат на едномодулни и секој одвоен дел посебно да се разгледува. Максимумот на едномодулната функција е изразен со равенките:

$$y(x_1) < y(x_2) < y(x^*) \text{ ако е } x_1 < x_2 < x^* \text{ и } y(x^*) > y(x_3) > y(x_4) \text{ ако е } x^* < x_3 < x_4$$

[9]

тогаш x^* е оптимална вредност. Ова значи дека вредноста на едномодулната функција опаѓа и за помали и за поголеми вредности на променливата, во однос на нејзината вредност во оптималната точка. Според тоа, оптималната вредност се наоѓа во интервалот $a \leq x \leq b$, а оптималната вредност на y е во точката $x = x^*$

Директното пребарување предвидува две мерења во интервалот (a,b) така да е $a \leq x_1 \leq x_2 \leq b$ и можни се три резултати прикажани на Слика 12.



Слика 12. Директно пребарување

Figure 12. Direct search

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Во првиот случај (а) имаме $y(x_2) > y(x_1)$ со што утврдуваме дека за $x > x_1$ имаме дека $y(x) > y(x_1)$, па според тоа максималната вредност не може да се добие за вредност на променливата $x \leq x_1$, па констатираме дека максималната вредност лежи во интервалот $x_1 < x^* \leq b$.

Важно е да се нагласи дека може да се исклучи само областа во која не лежи максималната вредност. Случајот (б) може да се припои или на случајот (а) или на случајот (с). Во случајот (с), слично како и кај случајот (а) максималната вредност не може да се добие за вредност на променливата $x \geq x_2$, т.е. максималната вредност се наоѓа во областа: $a < x^* \leq x_2$.

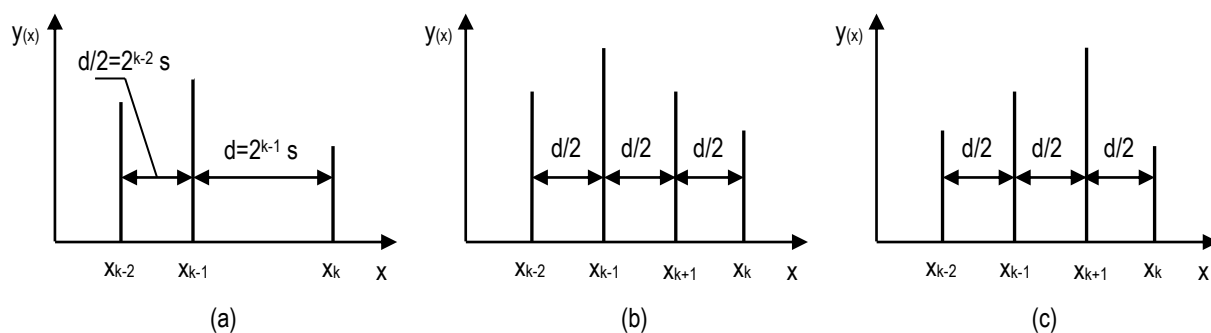
Кога се работи за неограничени функции јасно е дека оптимумот може да лежи во интервалот односно областа $-\infty < x < +\infty$. Ако x^* има на пример вредност $x^* = 10^6$ тогаш, ќе биде потребно 1000001 експеримент за да тоа се реши (ако вредноста на променливата ја менуваме со чекор 1), а тоа е долготрајно. Поради тоа, најчесто се практикува во почетното пребарување, должината на чекорот да биде поголема, а во понатамошните да се смалува. Ако ни е целта максимум и ако за вредности на променливата $x_1 > x_0$ добиеме $y(x_1) > y(x_0)$ можеме слободно да кажеме дека оптимумот не лежи во делот од дефиниционата област $x < x_0$. Можеме да заклучиме дека оптималното решение лежи во интервалите x_0 до x_1 и x_1 до ∞ . На тој начин можеме да преминеме на нов експеримент: избираме x_2 , ги споредуваме $y(x_2)$ и $y(x_1)$ и врз основа на тоа повторно елиминираме дел од областа. На Слика 13. (а) имаме $y(x_1) < y(x_2)$, а $y(x_2) > y(x_3)$ поради што можеме да тврдиме дека оптимумот не лежи во деловите од областа за кои важи $x < x_1$ и $x > x_3$. На тој начин, со оваа должина на чекорот, го ограничуваме просторот $x_1 - x_3$, во кој лежи оптималното решение, но не сме го утврдиле истото. Ако претпоставиме дека поаѓајќи од основната точка x_0 , должината на чекорот е s . Според тоа имаме $x_1 = x_0 + s$. Ако е $y(x_0) = y(x_1)$ тогаш максимумот е помеѓу $x_0 < x < x_1$. Ако е $y(x_0) < y(x_1)$ тогаш максимумот е кај $x > x_0$ (бидејќи не е кај $x < x_0$). По предлог на Svann функцијата на целта се решава во точките:

$$x_0, x_1 = x_0 + s, x_2 = x_1 + 2s, x_3 = x_2 + 4s \dots x_k = x_{k-1} + 2^{k-1} s$$

$$y_1 < y_2 < y_3 \dots < y_{k-1} \text{ но } y_{k-1} \geq y_k$$

[10]

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови



Слика 13. Пребарување со елиминација

Figure 13. Search by eliminating

Се гледа дека имаме постојан пораст на x со чекор кој, во секој нареден експеримент, е два пати подолг. Тоа е еден облик на забрзување или:

$$d/2 = x_{k-1} - x_{k-2} = 2^{k-2} s \quad [11]$$

додека растојанието во наредниот чекор (помеѓу x_{k-2} и x_k) е два пати поголемо (слика 13 а). Бидејќи максимумот лежи помеѓу $x_{k-2} < x < x_k$ тогаш за должината на интервалот имаме:

$$d/2 + 2(d/2) = 3d/2 = 3(2^{k-2} s) \quad [12]$$

Изборот на големината на почетниот чекор се изведува од вкупното придвижување кое се прави за да се достигне k , и кое е сума од членовите: $\sum_{i=0}^{k-1} 2^i \cdot s$, ако целта е постигната кај k -тото придвижување (оттогаш понатаму функцијата опаѓа).

$$x^* - x_0 < x_k - x_0 = \left(\sum_{i=1}^{k-1} 2^i \right) \cdot s = (2^k - 1) \cdot s$$

$$k = \frac{\ln \left[1 + \frac{(x^* - x_0)}{s} \right]}{\ln 2}$$

[13]

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Вклучувајќи го и x_0 , во правец на поголема вредност на x имаме $N=k+1$ придвижување. Тоа значи дека со N експерименти се добива конечната област со должина $3/2 d$ во кој се наоѓа оптимумот. Таа должина е:

$$3/2 d(k) = 3 (2^{k-2} s)$$

[14]

Ако претпоставиме за $x^* - x_0 = 10^6$ (како екстремна вредност) тогаш за должината на чекорот s имаме:

Табела 1. Должината на чекорот
Table 1. The length of the step

s	$N=k+1$	$3/2 d(k)$
1	21	786432
10	18	983040
10^2	15	1228800
10^3	11	768000
10^4	8	960000
10^5	5	1200000
$0.9 \cdot 10^6$	3	2700000

N е минимална вредност која се добива ако x^* лежи во вториот дел од финалниот дупли интервал. Ако е x^* на друго место N расте за 1, со соодветен пораст во интервалот на недоверба со фактор 2. Од равенката [13] следи дека најмала вредност за k се добива за $s = x^* - x_0$. Одредувајќи го $S = x^* - x_0$ како мерка на проблемот можно е преку односот S/s да се добие соодветната вредност за k . По одредувањето на должината на чекорот и по ограничувањето на областа на оптимумот, во наредниот чекор мора да се пристапи кон поблиско одредување на оптималната вредност. За таа намена постојат следните постапки:

1. **Фитување на функцијата на целта** – Бидејќи експериментално се определени x_{k-2} , x_{k-1} , и x_k можно е да се апроксимира полином од втор ред:

$$y = \beta_0 + \beta_1(x - x_{k-2}) + \beta_2(x - x_{k-2})(x - x_{k-1})$$

[15]

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

при што:

$$\beta_0 = y_{k-2} = y(x_{k-2})$$

[16]

$$\beta_1 = \frac{y_{k-1} - y_{k-2}}{x_{k-1} - x_{k-2}}$$

[17]

$$\beta_2 = \frac{\frac{y_k - y_{k-2}}{x_k - x_{k-2}} - \frac{y_{k-1} - y_{k-2}}{x_{k-1} - x_{k-2}}}{x_k - x_{k-1}}$$

[18]

тогаш оптималната вредност е:

$$x^* = \frac{1}{2} \left(x_{k-2} + x_{k-1} - \frac{\beta_1}{\beta_2} \right)$$

[19]

Кога е изведен и експериментот во $k+1$, т.е.

$$x_{k+1} = x_{k-1} + \frac{d}{2}$$

[20]

тогаш оптимумот е:

случај (b) – кога е $y(x_{k-1}) > y(x_{k+1})$

$$x^* = x_{k-1} - \frac{d}{4} \frac{y_{k+1} - y_{k-2}}{y_{k+1} - 2y_{k-1} + y_{k-2}}$$

[21]

случај (c) – кога е $y(x_{k-1}) < y(x_{k+1})$

$$x^* = x_{k+1} - \frac{d}{4} \frac{y_k - y_{k-1}}{y_k - 2y_{k+1} + y_{k-1}}$$

[22]

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

2. **Пребарување во ограничената област** со смалување на чекорот s и со повторно ограничување на областа при помал чекор. Таа постапка се повторува.

3. **Нов вид на експерименти** продолжувајќи како да се работи за функција без ограничувања. **Smith** предлага помала иницијална должина на чекорот, но тоа повлекува непотребни пресметки на функцијата. Тоа се повторува се додека со одреден степен на доверба не се лоцира оптимумот.

3.5 Нумерички методи на оптимирање на функцијата на целта без ограничувања

Задачата е да се одреди локацијата на оптимумот на функцијата $y(x)$, за случај, кога функцијата и варијабилите на системот не се ограничени. За решавање на вакви проблеми постојат два типа на методи: првиот тип кој при пресметките ја користи само функцијата (директна или неградиентна метода) и вториот тип, кај кој се врши пресметка и на функцијата и на нејзиниот градиент (градиентна метода).

3.6 Методи на директно пребарување (неградиентни метода)

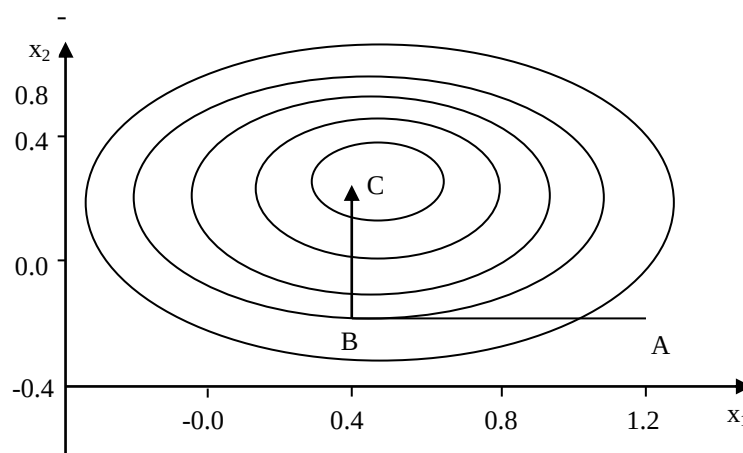
Кај директното пребарување се пресметува функцијата на целта во секоја одредена локација, додека кај градиентното пребарување се бара пресметка и на функцијата на целта и на нејзиниот градиент во одредена точка. При тоа вредноста на градиентот не мора да се пресметува само со аналитичка постапка туку, може да се пресмета и со помош на податоци од повеќе локални пребарувања (експерименти). Поради ова, може да се заклучи дека пребарувањата во кои се работи без пресметување на градиентот т.е. директните пребарувања се многу поефикасни, бидејќи имаат помал обем на пресметки. Меѓутоа, мора да се има предвид фактот дека, од една страна, кај директните пребарувања не мора во сите случаи да се изврши придвижување кон оптимумот по „најдобриот“ правец, а од друга страна, кај градиентната метода не мораат да се изведуваат посебни испитувања за да се дефинира правецот на движење, нешто што е неопходно кај директните пребарувања.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Кај методите на директно пребарување постојат два основни типа кои се карактеризираат според начинот на избор на правецот на придвижување: првиот е кога правците се паралелни со координатните оски и вториот тип за кој постои шаблон (pattern) изразен преку регуларна геометриска фигура, со помош на кој се утврдува правецот на движење при пребарувањето.

3.6.1 Едноваријантно пребарување паралелно со координатните оски

Наједноставно директно пребарување е она, кај кое, наизменично се врши активно пребарување само на една променлива - (one at a time). Тоа значи, додека $n-1$ променливи се држат на исто ниво т.е. на ниво на основната точка, само една активно се менува, што одговара на едноваријантно пребарување. Кога со промената на таа независна променлива, со одреден степен на доверба (зависно од должината на чекорот), ќе се постигне најголема (најмала) вредност на функцијата на целта, при нејзиното максимизирање (минимизирање), тогаш се добива локацијата на новата основна точка. Потоа пребарувањето продолжува во нов правец т.е. со следната од $n-1$ променлива. Кога пребарувањето ќе заврши во сите n – правци (променливи), завршува и првата фаза на пребарување потоа се преминува на втора фаза. Пребарувањето престанува оној момент кога констатираме дека не е можно да се постигне понатамошно подобрување на функцијата на целта.



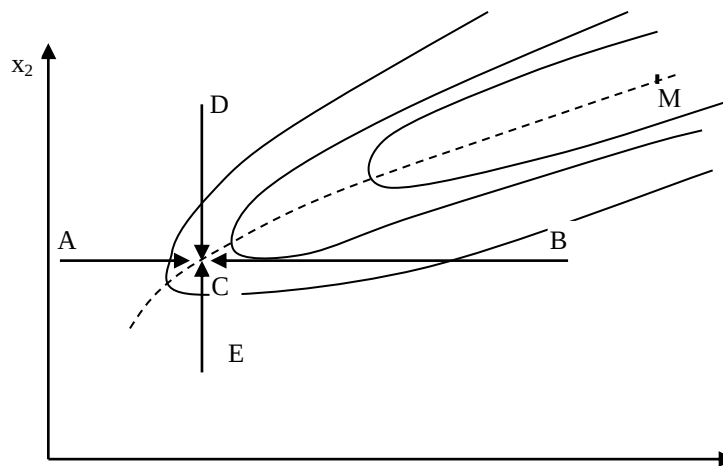
Слика 14. Директно пребарување

Figure 14. Direct search

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Кај директното пребарување, правецот на пребарувањето φ_j е паралелен со една од координатните оски, а чекорот s се нанесува сè додека не се постигне оптималната вредност. Пожелно е, но не е нужно, во еднодимензионалното фазно пребарување да се најде локалниот оптимум. Далеку е подобро да се најдат, но многу брзо, апроксимациите на локалниот оптимум и тогаш да се премине на следната фаза. Недостатокот поради ненаоѓањето на стварниот оптимум се надоместува со брзината на пребарувањето.

Методата не може да се смета за брза во поглед на конвергенцијата кон решението. Методата го има тој недостаток што тежнее кон осцилирање со непроменето смалување во напредувањето кон оптимумот. Поради тоа е оправдано да се запре со пресметките во непосредна близина на оптимумот. Посебно кај остриите „гребени“, оваа метода може да не конвергира кон оптимумот, како што е прикажано на слика 15.



Слика 15. Едноваријантна метода

Figure 15. One method variants

Како што може да се види од Слика 15, со едноваријантната метода во правецот А–В оптималното решение ќе се добие во точката С. Исто така и во правецот D–E оптималното решение ќе се добие во точката С и покрај тоа што оптимумот не лежи во таа точка (тоа не е конечен оптимум). Правиот оптимум се наоѓа во точката М. Ова е најдобар пример за случај, кога оваа техника

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

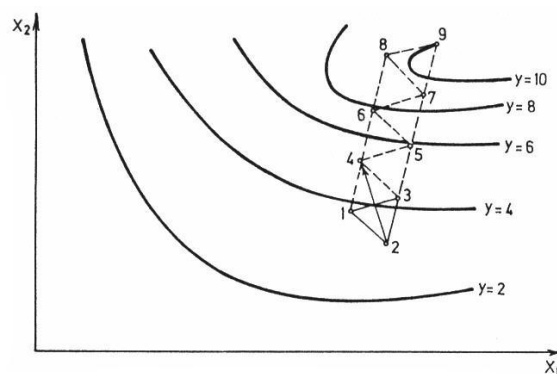
потполно ќе откаже, т.е. кога се работи за остри гребени или некои долини, посебно ако не се паралелни со координатните оски, туку со нив заклопуваат одреден агол. Во вакви случаи пребарувањата не можат да дадат резултат или истите многу споро напредуваат. Поради сето ова, оваа метода не е препорачлива во сите случаи. Иако треба да се напомене дека имајќи ги предвид овие недостатоци кај едноваријантната метода, од страна на некои автори извршени се одредени модификации за подобрувања на нејзината ефикасност.

3.6.2 Пребарување со помош на шаблон (Секвенционална симплекс метода)

Симплекс методата која била предложена од Spendley, Next и Himsworth во 1962 година во која се наоѓа регуларна геометриска фигура наречена *симплекс*. Во дводимензионалниот простор (систем) таа е претставена со рамностран триаголник, во тридимензионалниот простор со правилен тетраедар итн. што значи, ако имаме "n" променливи, поставуваме "n+1" опит. За подобро објаснување на методата ќе се задржиме на случајот кога имаме две променливи, односно кога е во прашање дводимензионален систем. Опитите ги поставуваме така што се наоѓаат на врвовите на симплексот (триаголникот) и функцијата на целта се пресметнува за тие точки. Еден од овие врвови има помала вредност на функцијата на целта во однос на останатите. Општиот правец на движење е од тој врв со најлоша вредност на функцијата на целта на спротивната страна преку средишната точка (симетрала на аголот на врвот кој се напушта) на кракот кој ги спојува преостанатите две точки, а на иста оддалеченост од тој крак, како и напуштената точка, само на спротивната страна. Новата точка која се добива на ваков начин со преостанатите две точки ја образува истата геометриска фигура, така што во новата фаза, е потребно да се пресмета вредноста на функцијата само за новата точка (односно е потребно да се изведе опит само во новата точка). Овој процес се повторува сè додека геометриската фигура на крајот го заседне оптимумот, па понатаму не може да се добие никакво подобрување на вредноста на функцијата на целта и доаѓа до изразито повторување на геометриската фигура.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Визуелно овој процес е претставен на Слика 16. На почетокот се бираат точките 1, 2 и 3 кои меѓусебно сочинуваат рамностран триаголник. Вредноста на функцијата $y(x_1, x_2)$ во сите точки не е еднаква, најмала е во точка 2. Поради тоа, споменатата точка, како лик во огледало, се пренесува на спротивната страна и се добива точката 4. На тој начин се добива нов симплекс (рамностран триаголник): 1, 3 и 4. Овој начин на пренесување на точката со најмала вредност (за случај кога се бара максимумот на функцијата на целта, во спротивно кога се бара минимумот ќе се пренесува точката со најголема вредност) симетрално (како лик во огледало) го означуваме како *правило 1*. Вака добиениот нов триаголник (симплекс) ја претставува следната основа. На овој начин ја повторуваме целата постапка барајќи го најлошиот резултат, така се врши насочување во правец на максималната вредност на функцијата на целта (точките: 4, 5, 6, 7 и т.н.) Ова се прави сè додека површината на функцијата е под одреден наклон и доволно рамна во делот на површината на триаголникот. Секој нов симплекс ќе го насочува пребарувањето кон подобрата вредност на y . Така се добива низа на точки прикажани на наредната слика: 2, 1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 кои всушност претставуваат движење во „цик-цак“ облик, осцилирајќи околу правецот на најстрмниот подем.



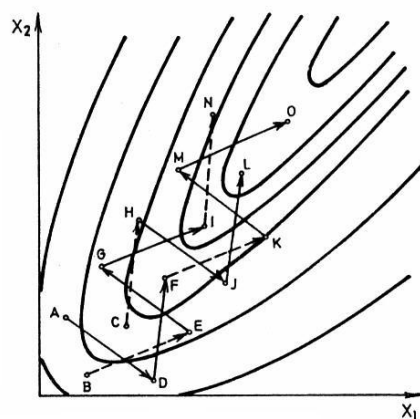
Слика 16. Симплекс метода

Figure 16. Simplex method

Можат да се појават некои потешкотии при примената на оваа метода. Првата потешкотија се појавува кога триаголникот го зајавне билото прикажано на наредната слика со точките A, B, C и D. Триаголникот A, B, C е така поставен да најниската вредност е A, а нејзината огледална вредност е D, а тоа значи дека новиот триаголник е B, C и D. Со повторување на постапката

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

повторно се враќаме на триаголникот A, B, C. Според тоа во ваква ситуација со повторување на експериментите постојано ќе се осцилира помеѓу точките A и D. Од овде произлегува второто правило (*правило 2*) кое гласи: никогаш не треба да се враќаме во точка која е еднаш напуштена (во претходниот пример тоа е точката A). За да се избегне ваквата ситуација, во симплексот, не се бира точката со најмала вредност (во симплексот B, C и D точката D), туку следната точка која има најмала вредност (на Слика 16 - точката B наместо точката D), па таа точка се напушта и се проектира точката E како лик во огледало. На наредната слика е прикажано како со примена на ова правило се овозможува движење по билото.



Слика 17. Симплекс метода

Figure 17. Simplex method

Користејќи ги овие две правила можно е да се приближиме до областа која е блиска до оптималната. Во таа област, симплексот (триаголникот) ќе го зајавне врвот, но точките на триаголникот ќе отстапуваат од точката на врвот. Не постои можност со една од точките на триаголникот да се погоди врвот или веројатноста за тоа е минимална. Поради ова ќе се случи триаголникот да се врти околу врвот, а често ќе доаѓа и до негово повторување. Оној врв од симплексот (триаголникот) кој подолго време останува непроменет може да се смета за најблизок до оптимумот. Тоа не воведува во *правило 3* кое одредува колку пати еден од врвовите на симплексот треба да остане непроменет при цикличното вртење околу оптимумот, за да се смета за најблизок до оптималната вредност. Тој број се одредува од следната формула:

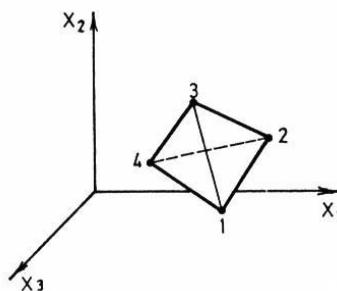
$$M = 1.65 \cdot n + 0.05 \cdot n^2$$

[23]

при што n е бројот на независни променливи. Оптималната вредност добиена на овој начин има свој степен на точност, а кој се одредува врз основа на големината на страната на симплексот. Колку е помала страната на триаголникот толку е поголем степенот на точноста. Ако сакаме уште попрецизно да ја добиеме формата на површината во близината на оптимумот, тогаш можеме да извршиме фитување на квадратна површина која ќе одговара на стварната површина на функцијата, со користење на точките од последниот циклус.

Секвенционалната симплекс метода има голема предност во однос на другите нумерички методи поради нејзината едноставност (Крстев А. 2008). Таа не се заснова на тоа да остварува сигурност на правецот на движење при истражувањата (како што е случајот со градиентната метода), но има предност во брзината на изборот на насоката на движење во саканиот правец, при што како барање се поставува преиспитувањето на само една нова точка (нов експеримент) во новиот циклус на истражувањето. Недостатокот кој се манифестира преку тоа што при истражувањата не се движиме по директниот пат кон оптимумот, се компензира со големата брзина на пресметка и движење. Сериозен недостаток на оваа метода е неможноста да се определи степенот на значење на пооделните фактори и нивното заемо дејствие.

На крајот може да се даде општото правило за формулирање на симплекс фигурата за " n " димензионален простор. За случај кога го испитуваме влијанието на три фактори (функција од три променливи) се добива правилен тетраедар прикажан на Слика 18.



Слика 18. Симплекс фигура – тетраедар

Figure 18. Simplex figure – tetrahedron

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Растојанието помеѓу точките е еднакво. Со математички израз се добиваат следните изрази за координатните точки (Слика 18):

$$\begin{aligned}x_1 &= \{x_{1.1}, x_{2.1}\} \text{ и } x_2 = \{x_{1.2}, x_{2.2}\} \\(x_1 - x_2)^2 &= (x_{1.1} - x_{1.2})^2 + (x_{2.1} - x_{2.2})^2 = a^2\end{aligned}\quad [24]$$

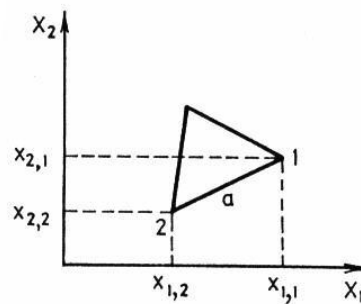
или општо за должината помеѓу точките j и k:

$$(x_{1,j} - x_{1,k})^2 + (x_{2,j} - x_{2,k})^2 = \sum_{i=1}^2 (x_{i,j} - x_{i,k})^2 = a^2 \text{ за } j \neq k\quad [25]$$

Ова може да се примени за сите комбинации (j, k) т.е. (1, 2), (2, 3) и (3,1), така што ќе се добијат три равенки за дефинирање на фигурата, една за секој избор од два врва од множеството од три, така што бројот на комбинации е:

$$C_a^b = \frac{b(b-1)\dots(2) \cdot (1)}{a(a-1)\dots(2) \cdot (1) \cdot (b-a) \cdot (b-a-1)\dots(2) \cdot (1)} = \frac{b!}{a!(b-a)!}\quad [26]$$

$$C_2^3 = \frac{3!}{2! \cdot 1!} = 3\quad [27]$$



Слика 19. Триаголник во 2-димензионален простор

Figure 19. Triangle in 2-dimensional space

Ова е опис на пресметките за фигура во дводимензионален простор. Во тродимензионален простор општата формула гласи:

$$\sum_{i=1}^3 (x_{i,j} - x_{i,k})^2 = a^2\quad [28]$$

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Бидејќи фигурата има шест рабови, потребни се шест равенки за дефинирање на симплексот. Бројот на патишта за дефинирање на два различни врва од множество од четири е:

$$C_2^4 = \frac{4!}{2! \cdot 2!} = 6$$

[29]

Во "n" - димензионален простор имаме n+1 врвови, па изразот за дефинирање на растојанието "a" меѓу две точки j и k е:

$$\sum_{i=1}^n (x_{i,j} - x_{i,k})^2 = a^2 \qquad C_2^{n+1} = \frac{(n+1)!}{2! \cdot (n-1)!} = \frac{(n+1) \cdot n}{2}$$

[30]

равенка за дефинирање на n+1 точка на симплексот во "n"- димензионален простор.

Кога се дефинирани почетните големини на симплексот, нужно е да се одреди почетната фигура (*starting simplex*) т.е. онаа фигура од која го започнува пребарувањето. Прашањето на почетната точка во фигурата нема никакво посебно значење во симплекс методата. Може како почеток да се избере било кое множество на точки со тоа што однапред да одговара на одредениот тип на фигура. Се предлага избор на n+1 точка за почетниот симплекс според табела 1. При што вредностите за p и q се пресметуваат според следните формули:

$$p = \frac{a}{n\sqrt{2}} \cdot (\sqrt{n+1} + n - 1)$$

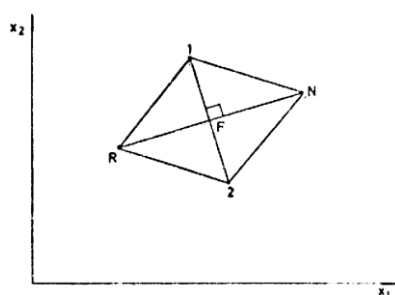
[31]

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 2. Почетен симплекс

Table 2. Initial simplex

точка j	n - координати за секоја точка						
	$\varphi_{1,j}$	$\varphi_{2,j}$	$\varphi_{3,j}$	$\varphi_{4,j}$	...	$\varphi_{n-1,j}$	$\varphi_{n,j}$
1	0	0	0	0	...	0	0
2	p	q	q	q	...	q	q
3	q	p	q	q	...	q	q
...	...	...	...	...	...	...	...
N	q	q	q	q	...	p	q
n+1	q	q	q	q	...	q	p



Слика 20. Формирање нова точка во симплекс

Figure 20. Forming a new point in simplex

За почетна точка се зема почетокот на координатниот систем (0,0). Во трансформацијата на координатите, последната основна точка може да се третира како почеток на координатниот систем во новиот циклус. Освен тоа, постои дефиниран однос помеѓу почетната точка x_1 и некоја точка на врвот на симплексот, кој може да се напише:

$$x_j = x_1 + \varphi_j \quad \text{за } j = 1, 2, \dots, n+1$$

[32]

Координатите на сите точки се дадени во горната табела.

Понатамошна задача е да се одреди математичкиот израз за пресметка на новиот симплекс при напуштањето на врвот во кој функцијата има најлоша вредност. Како што е понапред опишано, новиот врв во новиот симплекс претставува лик во огледало на отфрлениот врв во однос на двете преостанати точки. На Слика 20. е прикажано формирањето на новата точка N

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

ако се отфрли точката R. Точката F е средна точка на должината 1 до 2, според тоа за $x_{1,F}$ и $x_{2,F}$ постојат изразите:

$$x_{1,F} = \frac{1}{2} (x_{1,1} + x_{1,2}) \quad x_{2,F} = \frac{1}{2} (x_{2,1} + x_{2,2})$$

[33]

Исто така точката F е средна точка и на должината R – N според тоа:

$$x_{1,F} = \frac{1}{2} (x_{1,R} + x_{1,N}) \quad x_{2,F} = \frac{1}{2} (x_{2,R} + x_{2,N})$$

[34]

Од овде произлегува:

$$x_{i,N} = x_{i,1} - x_{i,2} - x_{i,R}$$

[35]

Општата формула за n – димензионален простор се изведува од:

$$\frac{x_{i,R} + x_{i,N}}{2} = x_{i,F} = \frac{\sum_{j=1}^{n+1} x_{i,j} - x_{i,R}}{n}$$

[36]

и конечниот облик за пресметка на новите координати во новата точка N:

$$x_{i,N} = \frac{2}{n} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq R}}^{n+1} x_{i,j} - x_{i,R} \quad \text{за } i = 1, 2, \dots, n$$

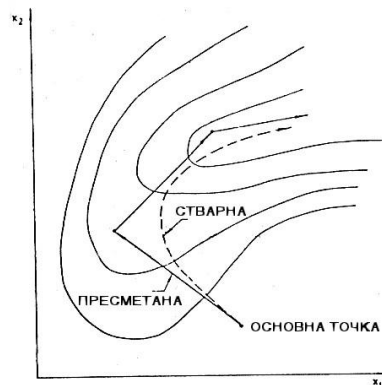
[37]

3.7 Градиентна метода на Бокс и Вилсон

Градиентната метода (Хамди А. Таха, 2007) се базира на фактот дека најголем степен на подобрување на една функција се постигнува ако се напредува по должината на нејзиниот градиент. Затоа овој правец се нарекува правец на најстрмен подем, ако зборуваме за максимум, односно правец на најстрмен пад ако зборуваме за минимум. Во суштина градиентот претставува вектор во една точка од n-димензионалниот простор. Тој се определува преку одредувањето на првите изводи на *функцијата на целта* во однос на секоја од нејзините n променливи. Треба да се одбележи дека правецот на градиентот односно правецот на најстрмиот подем или пад е локална, а не глобална особина. Тоа значи дека ако се стартува од една точка во правецот на

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

најстрмниот подем, после одредено придвижување, се доаѓа во нова точка која има поинаков правец на најстрмен подем, Слика 21.



Слика 21. Градиентна метода

Figure 21. Gradient method

3.7.1 Геометриска интерпретација на методата

Во пример во кој треба да се определи оптималната вредност на некоја функција "y" (оваа функција може да претставува било кој параметар за одредување на ефикасноста на процесот). При тоа го проучуваме влијанието на два фактора x_1 и x_2 на функцијата "y". Едновременото менување на вредноста на факторите x_1 и x_2 води кон тоа што резултатите од експериментот се распоредуваат по одредена површина која во тридимензионалниот простор претставува своевиден „брег“. Ако го исечеме тој „брег“ со хоризонтални површини, кои претставуваат одредени вредности на функцијата "y", ќе добиеме тополошка карта на „брегот“. Тоа е прикажано на претходната слика.

Во општ случај оваа површина на одзивот може да се опише со функционалната зависност $y = f(x_1, x_2)$. Целта на истражувањето е во тоа да се пронајдат оние координатни вредности за x_1 и x_2 кои одговараат, односно ја одредуваат точката која се наоѓа на врвот од „брегот“. Геометриски, методата на *Box* и *Wilson* може да се толкува како преместување на некои точки, кои се наоѓаат на површината на "брегот", во областа на неговиот врв (стационарна област) по најкраток пат (градиент). На тополошката карта (Слика 22) тоа е претставено со најкраткото растојание кое точката A_0 треба да го помине за да се најде во областа на точката M.

[38]

Figure 22. Geometric representation of the method of Box and Uilson

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

$y = b_0 + b_1x_1' + b_2x_2'$. При тоа регресионите коефициенти ги одредуваме со формулите:

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i; \quad b_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta x_{1i} y_i; \quad b_2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta x_{2i} y_i$$

[39]

каде е: N - број на точки (експерименти).

Ако со y_1, y_2, y_3 и y_4 ги означиме вредностите на функцијата y во поделните точки (експерименти) A_1, A_2, A_3 и A_4 , тогаш имаме:

$$b_0 = 1/4(y_1 + y_2 + y_3 + y_4); \quad b_1 = 1/4(-y_1 + y_2 - y_3 + y_4);$$
$$b_2 = 1/4(-y_1 - y_2 + y_3 + y_4);$$

[40]

Ако сега се движиме по направената проекција на градиентот (по должината на лакот A_0B), функцијата на одзивот ќе ја зголемува својата вредност додека не се најде во зоната на врвот (точка B'), потоа почнува да опаѓа кога лакот A_0B ќе излезе од таа зона.

Разгледаниот пример покажува дека со оваа метода се доаѓа во околината на врвот „гребенот“, но не и до самиот врв. За достигнување на таа точка неопходно е да се знае равенката која ја опишува површината на „гребенот“. Затоа во околината на точката M можеме да планираме нова серија од експерименти со помош на која ја одредуваме таа равенка, а потоа ја анализираме.

Оваа метода е предложена од страна на *Box* и *Uilson* во 1951 година.

Техниката на применување на оваа метода се состои во следното:

- 1) Анализа на вредностите на променливите фактори, кои на прв поглед се близу до оптималните, односно се врши избор на нултите (основните) вредности на променливите фактори (се бира точката A_0) и големината на нивното варирање.
- 2) Се составува серија од опити, која условно се определува со помош на матрица на планирање на експерименти.
- 3) Врз основа на добиените резултати од изведените опити, за секој променлив фактор се определува коефициентот на регресија b_j . Знакот

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

пред коефициентот покажува дали треба да се зголемува или намалува вредноста на дадениот фактор во однос на неговата почетна (нулта) вредност. Додека вредноста на коефициентот покажува за колку единици треба да се варира вредноста на факторот.

- 4) На овој начин изведуваме неколку чекори до добивањето на $y_{\max}$.
- 5) Во достигнатата стационарна област, кога е неопходно може да се изведе нова серија од опити. За нулта (основна) вредност на променливите фактори се земаат вредностите од најдобриот опит на претходната серија. Потоа се пресметуваат нови коефициенти b_j и се определува понатамошното движење.

Оваа метода е прилично ефикасна, но треба да се води сметка за следното:

- Да се определат факторите кои влијаат на процесот и кои од нив треба да бидат анализирани. Сите фактори кои се анализираат треба да имаат бројна вредност (карактеристика).
- Интервалот на варирање на факторите треба да се избере така што да се постигне значајна промена во одзивната функција.
- Неопходна е строга оценка на веродостојноста на добиените резултати.
- Ако равенката на регресија во суштина е нелинеарна, методата е неефикасна.

3.7.2 Избор на матрицата на планирање на експериментите

Поаѓајќи од тоа дека факторите x_j се менуваат на две нивоа $x_{j \min}$ и $x_{j \max}$, имаме:

$$x_{j \min.} = x_{j0} - \Delta x_j$$

$$x_{j \max.} = x_{j0} + \Delta x_j$$

[41]

каде е: x_{j0} - нулта вредност на j -тиот фактор.

При пресметките и планирањето условно ќе сметаме дека е:

$$x_{j0} = 0; \quad x_{j \max.} = +1; \quad x_{j \min.} = -1$$

[42]

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Да ги составиме сите можни комбинации за два фактора на два нивоа +1 и -1:

Табела 3. Полн факторски план на експерименти за два фактора

Table 3. Full factor plan of experiments for two factors

Број на опит	x_0	x_1	x_2
1	+1	+1	+1
2	+1	-1	+1
3	+1	+1	-1
4	+1	-1	-1

Табела 4. Полн факторски план за два фактора

Table 4. Full map factor of two factors

Број на опит	x_1	x_2
1	+	+
2	-	+
3	+	-
4	-	-

Во табелата 3, x_0 ги означува постојаните услови под кои се изведува опитот. Податоците од колоната x_0 се користат за пресметување на слободниот член од равенката на моделот. Најчесто, оваа колона се изоставува од планот, бидејќи податоците во неа се постојани и неменливи. Единиците после знаците, обично, исто така не се пишуваат, така што полниот факторскиот план на експерименти за два фактора, го има обликот даден во Табелата 4. За било кој број на фактори "n", бројот на опити "N" се пресметнува по формулата $N = 2^n$.

При составувањето на полниот факторски план на експерименти се препорачува следниот поредок: Првата променлива ја варираме во секој опит (темпо на варирање 2^0), втората променлива ја варираме после секои два опити (темпо на варирање 2^1), третата променлива - после секои четири опити

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

(темпо на варирање 2^2), четвртата променлива-после секои осум опити (темпо на варирање 2^3) итн. Полниот факторски план поседува три главни својства:

Табела 5. Полн факторски план на експерименти за три фактора ($n = 3$)

Table 5. Full factor plan of experiments for three factors ($n = 3$)

Опит	x_1	x_2	x_3	Y
1	+	+	+	Y_1
2	-	+	+	Y_2
3	+	-	+	Y_3
4	-	-	+	Y_4
5	+	+	-	Y_5
6	-	+	-	Y_6
7	+	-	-	Y_7
8	-	-	-	Y_8

1. **Симетричност** $\sum_{i=1}^N x_{ij} = 0$

[43]

каде е: i - број на опити (1, 2, ..., N), j - број на фактори (1, 2, ..., n)

Со други зборови, сумата од сите плусеви (+1) и минуси (-1) во било која колона, еднаква е на нула.

2. Ортогоналност

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} x_{i(j \pm c)} = 0$$

[44]

каде е: c - број различен од нула кој со j образува број, кој одговара на било кој број од факторите $1 \leq (j \pm c) \leq n$; $c \neq 0$

3. Нормираност

$$\sum_{i=1}^N x_{ij}^2 = 0$$

[45]

Ова е всушност, дополнение на особината на ортогоналност за случај да е $c = 0$. Овие три својства овозможуваат да се добијат прости формули за

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

пресметка на коефициентите на линеарниот модел. Плановите служат како програма за изведување на опитите, а резултатите исто така се впишуваат во табела.

Табела 6. Табела на полн факторски план на експерименти за три фактора

Table 6. Table full factor plan of experiments for three factors

Број на Опитот	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	$x_1x_2x_3$	Y
1	+	+	+	+	+	+	+	Y_1
2	-	+	+	-	-	+	-	Y_2
3	+	-	+	-	+	-	-	Y_3
4	-	-	+	+	-	-	+	Y_4
5	+	+	-	+	-	-	-	Y_5
6	-	+	-	-	+	-	+	Y_6
7	+	-	-	-	-	+	+	Y_7
8	-	-	-	+	+	+	-	Y_8

Резултатите од овие осум опити овозможуваат да се постави модел на процесот (равенка), од форма:

$$\bar{Y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 = \sum_{j=0}^n b_jx_j$$

[46]

Цртата над Y означува дека моделот не го опишува процесот апсолутно точно, туку усреднето, па x_0 е секогаш еднакво на 1.

3.7.3. Пресметнување на коефициентите на моделот

Коефициентите b_j се пресметнуваат по формулата:

$$b_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji} Y_i$$

[47]

Оваа формула важи само за планови кои ги исполнуваат трите напред споменати главни својства (симетричност, ортогоналност и нормираност).

Полниот факторски план овозможува да се пресметаат коефициентите при сите заемни дејства на факторите (x_1x_2 , x_1x_3 , x_2x_3 и $x_1x_2x_3$, Табела 6).

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Помошните колони за x_1x_2 , x_1x_3 , x_2x_3 и $x_1x_2x_3$ ги поседуваат сите три својства: симетричност, ортогоналност и нормираност. Затоа формулата за пресметка на коефициентите $b_{j(j+c)}$ е аналогна на формулата за пресметка на b_j :

$$b_{j(j+c)} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_{ji} x_{(j+c)i} Y_i \quad [48]$$

Бидејќи квадратот на било кој фактор x_{ji}^2 е еднаков на единица, произлегува дека сумата на квадратите е еднаква на N . Од ова произлегува дека колоните за квадратите се идентични со колоната за x_0 . Поради тоа, со помош на полн факторски план, не можат да се пресметаат коефициентите пред факторите со степен 2. Од овде произлегува дека со помош на оваа метода може да се добие модел на процесот во областа на експериментирање $(-1 \leq x_j \leq +1)$, кој содржи само линеарни членови.

3.7.4 Оценка на моделот

Пред да пристапиме кон користење на моделот, треба да се провери значајноста на неговите коефициенти и адекватноста на моделот.

Табела 7. Полн факторски план на експерименти 2^2 со повторени опити
Table 7. Full map factor experiments with 2^2 repeated trials

Број на опитот	x_1	x_2	x_1x_2	Y_1	Y_2	Y_3	$\bar{Y}$
1	+	+	+	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	$\bar{Y}_1$
2	–	+	–	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	$\bar{Y}_2$
3	+	–	–	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	$\bar{Y}_3$
4	–	–	–	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	$\bar{Y}_4$

За овие проверки, неопходно е да се знае грешката на репродуктивност. Најдобра и најчеста метода за утврдување на грешката на репродуктивност е повторувањето на опитите. Во тој случај полниот факторски план на експерименти се реализира два или повеќе пати (Табела 7). Тогаш, моделот на процесот како и грешката на репродуктивност се добиваат врз основа на средните вредности.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Се пресметнува грешката на репродуктивност на секој опит:

$$S_{ry_i}^2 = \left[\sum_{l=1}^p (Y_{il} - \bar{Y}_i)^2 \right] / (p-1) \quad [49]$$

каде е: p - број на повторени опити.

Со помош на критериумот на Кохрен се проверува еднаквоста на дисперзијата на секој опит:

$$G_r = S_{ry_i \max}^2 / \sum_{i=1}^N S_{ry_i}^2 < G_t \quad [50]$$

каде е: G_t - таблична вредност на Кохрен.

Се пресметнува средната грешка на репродуктивност за секој резултат од експериментот:

$$\bar{S}_{ry_i}^2 = \sum_{i=1}^N S_{ry_i}^2 / N \quad [51]$$

Бидејќи моделот се добива врз основа на средни вредности $\bar{Y}_i$, затоа мораме да ја најдеме и грешката на репродуктивност:

$$\bar{S}_{ry_i}^2 = \bar{S}_{ry_i}^2 / p \quad \text{при } f_r = N(p-1) \quad [52]$$

каде е: f_r - претставува број на степени на слобода при паралелни опити

Одвоено треба да се разгледува случајот со дуплирање на опитите (т.е. кога се изведуваат по два идентични опита: $p = 2$).

Ако означиме $\Delta Y_i = Y_{i1} - Y_{i2}$, тогаш средната грешка на репродуктивност на средните резултати се пресметува по формулата:

$$\bar{S}_{ry_i}^2 = \sum_{i=1}^N \Delta Y_i^2 / 4N \quad \text{при } f_r = N(2-1)=N \quad [53]$$

3.7.5 Проверка на значајноста на коефициентите на моделот и подобрување на моделот

Ја наоѓаме грешката на репродуктивност на коефициентите на моделот, а потоа, ги наоѓаме интервалите на доверливост за апсолутните вредности на коефициентите (вредностите на коефициентите кои претставуваат граница во поглед на нивната значајност):

$$|b_j|_g = t_T \cdot S_{b_j} \quad [54]$$

каде се: t_T - коефициент на Студент при број на степени на слобода f_r и

Ниво на доверливост $p(\%)$;

Бројот на степени на слобода при паралелни опити е : $f_r = N(p-1)$;

После одредувањето на $|b_j|_g$ сите коефициенти кои се по апсолутна вредност поголеми од $|b_j|_g$ се сметаат за значајни. Во спротивно, коефициентите се сметаат за безначајни и се поставува прашањето што со нив.

Ако е коефициентот (или коефициентите) по апсолутна вредност близок до $|b_j|_g$, но помал од него, тогаш тој значајно ја намалува веројатноста на доверливост на моделот и со таа веројатност моделот ќе се користи. Меѓутоа, ако барањата тоа не го дозволуваат, треба да се повторат опитите. При тоа грешката на репродуктивност на средните резултати се намалува:

$$\bar{S}_{ry_i}^2 = \bar{S}_{ry_i}^2 / p \quad [55]$$

и при некое p станува таква, и со усвоената веројатност на доверливост коефициентот станува значаен. Ако е коефициентот многу помал од $|b_j|_g$, тогаш треба да се претпостави дека е избран многу мал интервал на варијација. Во тој случај треба да се зголеми интервалот на варијација и сите експерименти да се повторат. Ако нема услови за повторување на експериментите, сите безначајни коефициенти треба да се сметаат за еднакви на нула.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

3.7.6 Проверка на адекватноста на моделот

Под адекватност на моделот се подразбира согласноста на пресметаниот модел со експерименталните податоци. Прво ја одредуваме дисперзијата на адекватноста, врз основа на пресметаните вредности на параметрите по моделот за секој опит.

Дисперзијата на адекватноста се пресметнува по формулата:

$$S_b^2 = \frac{1}{f_b} \sum_{i=1}^N \Delta Y_i^2 \quad [56]$$

Табела 8. Полн факторски план на експерименти 2^2
Table 8. Full map factor experiments 2^2

Опитот	x_1	x_2	Y_1	Y_2	Y_3	$\bar{Y}$	$\bar{Y}_r$	ΔY
1	+	+	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_{1r}$	ΔY_1
2	–	+	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	$\bar{Y}_2$	$\bar{Y}_{2r}$	ΔY_2
3	+	–	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	$\bar{Y}_3$	$\bar{Y}_{3r}$	ΔY_3
4	–	–	Y_{41}	Y_{42}	Y_{43}	$\bar{Y}_4$	$\bar{Y}_{4r}$	ΔY_4

$$f_b = N - k - 1; \quad \Delta Y_i = \bar{Y}_i - \bar{Y}_r \quad [57]$$

каде се: k - број на значајни коефициенти на равенката на моделот, не земајќи го во предвид b_0 , $\bar{Y}_r$ - пресметана вредност по моделот.

Можен е случајот $f_b = 0$, во тој случај проверката на адекватноста не е можна.

Ако е $S_b^2 \leq S_r^2$ - моделот е адекватен;

Ако е $S_b^2 > S_r^2$ - тогаш вршме проверка по критериумот на Фишер:

$$F_p = S_b^2 / S_r^2 \quad [58]$$

При степен на слобода f_b и f_r и усвоена веројатност на доверливост $p(\%)$ ја наоѓаме табличната вредност на критериумот на Фишер $F_T (f_a; f_r; p)$. Ако е $F_p < F_T$ тогаш моделот е адекватен. Во спротивно ако $F_p \approx F_T$ тогаш и по овој

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

критериум моделот е неадекватен па сите експерименти треба да се повторат. При тоа е неопходно да се намали интервалот на варијација или да се премине на посложени нелинеарни планови.

После одредувањето на линеарниот модел (ако се покаже дека истиот е адекватен), за да се дојде до оптималните вредности на променливите фактори $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$, се изведува уште една серија од неколку опити. При тоа, знаците пред коефициентите на променливите фактори $b_1, b_2, \dots, b_j$ покажуваат дали вредноста на соодветните фактори во тие опити треба да се зголеми (знак "+") или намали (знак "-"). Вредноста на променливите фактори се зголеми или намали пропорционално на големината на нивните коефициенти. На овој начин опитите се изведуваат се додека за функцијата Y добиваме подобра вредност во однос на претходниот опит. Оној момент кога ќе се добие полоша вредност за функцијата Y , се престанува со опитите, а вредностите на променливите фактори од претходниот опит ги усвојуваме како оптимални.

4.0 ДОСЕГАШНИ ИСПИТУВАЊА

4.1 Досегашни испитувања (MINTEN - 4, 5, 6 и 7)

Во современите индустриски процеси сè почесто се оди кон примена на програмски пакети на постојните процеси со цел да се овозможи прв чекор кон евентуална автоматизација на технолошките процеси. Истото е случај за реалната средина каква што е минералната.

За таа цел во оваа проектна задача се прави обид да се програмираат, поедноставни или посложени циклуси на мелење и класирање со цел да се избегнат макотрпните пресметки и решавања на проблемите кои се барат од поставената задача. Програмите користат **Basic** поддршка која едноставно може да се трансформира во посовремен пакет.

Всушност ова е разработка на повеќе програми кои помагаат наместо макотрпни пресметки и добивање на голем број на податоци, со помош на математички операции во програмските пакети да се распределат или подесат (корегираат) грешките, така што наједноставно е подесувањето да се претстави како метод дека измерените грешки се пропорционални на компонентните вредности во секоја мерна точка. Методот на најмали квадрати исто така може да се користи да ги распредели грешките, за да ја минимизираат сумата на квадратите на подесувања од измерените вредности на најдобро подесените податоци.

Во случајот биле разработени компјутерски програми **LAGRAN**, **WEGHTRE**, **WILMAN**, кои користат Basic поддршка, која едноставно може да се трансформира во посовремен пакет на програмски јазик. Овие програмски јазици се разработени и адаптирани за примена во истражувањата, можат да се сретнат во повеќе варијанти или разни дизајни, но всушност сите се однесуваат за подесување и корекција на преголемиот број на податоци кои се добиваат при експерименталните истражувања, а истите со математички операции со примена на компјутерските програми се дотеруваат или корегираат. Всушност, **LAGRAN** (Reconciliation of excass data by non-weighted least squares), **WEGHTRE** (Reconciliation of excass data by weighted least squares) или **WILMAN** (Reconciliation of excass data by variances in mass equation) се програми кој потпомагаат во макотрпните пресметки кога се работи

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

за процеси кои продуцираат два производи, а подесувањето на податоците од тие производи е цел на математичките операции за минимизација на направените грешки кои се појавуваат при мерење на преголем број на испитувања. (Wills B. A. 1988), (Крстев А. 2008, 2009, 2011), (Napier – Munn T. J. 1996).

Примената на компјутерскиот програм **CYCLONE** придонесува кон ефикасна презентација на одредување на одделни битни карактеристики на хидроциклоните, како што се ефикасното одредување на дијаметарот на граничното зрно, дијаметар на хидроциклонот или друг податок за кој сме заинтересирани да го програмираме. (Conway T. M. 1985), (Evgun L. et all 2004), (Herbst J. A. 1982), (Plitt L. R. 1976), (Povarov A. I. 1978).



Слика 23. Приказ на користени компјутерски програми

Figure 23. Display of used computer programs

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

4.2 Испитувања со софтверски пакети - (MINTEN 3, MINTEN 2 и MINTEN 1)

Програмот за едноставен затворен циклус на мелење-класирање **MINTEN-3** (мелница – хидроциклон) направен во Visualstudio 2008 овозможува брзо и ефикасно решавање на проблемот.

Програмот за затворен циклус на едностадијално мелење – двостадијално мелење **MINTEN-2** во спирални класификатори направен во Visualstudio 2008 овозможува брзо и ефикасно решавање на проблемот.

Програмите за двостадијално мелење со комбинирано класирање на механички класификатор и хидроциклон **MINTEN - 1** направен во Visualstudio 2008 овозможува брзо и ефикасно решавање на проблемот поставен со проектната задача и дава можности за имплементирање и програмирање на слични или посложени проблеми кои се појавуваат во индустриски процеси.

Всушност, се работи за седум компјутерски програми кои биле изработени во разни програмски јазици: **Basic®**, **VisualBasic 6.0®**, **VisualStudio 2008®** итн. Биле разработени три различни програми означени како: **MINTEN – 3**, **MINTEN – 2** и **MINTEN – 1**. За сите нив се разработени постапките, алгоритмите и кодовите, а истите можат да се користат за сите податоци кои се достапни на истражувачите, лабораториски или индустриски испитувања итн. (Крстев Б. 2002, Крстев А. et all 2010-2012), (Wills B. A. 1988).



Слика 24. Приказ на користени компјутерски програми VISUAL STUDIO 2008

Figure 24. Display of used computer programs Visual Studio 2008

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

- **MINTEN – 3**

Програмот за едноставен затворен циклус на мелење-класирање **MINTEN – 3** (мелница – хидроциклон) овозможува брзо и ефикасно решавање на проблемот, при што операторот на програмот ефикасно задава соодветни влезни податоци или ги променува истите, а програмата отчитува резултати на апликативните прозорци, така се можни реални избори на влезни податоци кои ќе придонесат за оптимални резултати. Во конкретното испитување параметри на оптимирање и испитување се:

- Количина на пулпа;
- Производност на хидроциклон;
- Ефикасност на класирање на хидроциклон.

- **MINTEN – 2**

Програмот за затворен циклус на едностадијално мелење – двостадијално мелење **MINTEN – 2** во спирални класификатори овозможува брзо и ефикасно решавање на проблемот, со истата гореспомната можност за варијација на влезни и излезни параметри. Во конкретното испитување параметри на оптимирање и испитување е:

- Циркулациски товар на мелницата.

- **MINTEN – 1**

Програмот за двостадијално мелење со комбинирано класирање на механички класификатор и хидроциклон **MINTEN – 1** овозможува брзо и ефикасно решавање на проблемот поставен со проектната задача и дава можности за имплементирање и програмирање на слични или посложени проблеми кои се појавуваат во индустриската пракса на Минералната технологија. Во ова испитување параметри кои се испитувани се:

- Количина на пулпа;
- Количина на вода;
- Количина на вода во песок во мк;
- Состав на CF пред SM;
- Состав на CF во пулпата од преливот.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

4.3 Коментар и дискусија за MINTEN испитувањата направени во лабораториски услови

Се работи за примена и разработка на повеќе програми кои помагаат наместо макотрпни пресметки и добивање на голем број на податоци, со помош на математички операции во програмските пакети да се распределат или подесат (корегираат) грешките, така што е наједноставно подесувањето да се претстави како метод, дека измерените грешки се пропорционални на компонентните вредности во секоја мерна точка. (Krstev A. 2008-2012), (Renner V. G. et all 1978), (Rowland C. A. 1986), (Svarovsky L. 1984), (Џејмс Г. 2009), (Avison D. et all 2006).

Програмот за едноставен затворен циклус на мелење-класирање **MINTEN – 3** (мелница – хидроциклон) е направен во Visualstudio 2008 и овозможува брзо и ефикасно решавање на проблемот, при што операторот на програмот ефикасно задава соодветни влезни податоци или ги променува истите, а програмата отчитува резултати на апликативните прозорци, така се можни реални избори на влезни податоци кои ќе придонесат за оптимални резултати.

Очигледно е дека со оваа програма се докажува позитивноста во пребарувањето и оптимирањето на процесот при што:

- Со зголемување на циркулацискиот товар на мелницата од 225% -> 250% -> 275% се зголемува производноста на мелницата од 227,5 t/h -> 245 t/h -> 262,5 t/h.
- Со зголемување на процентуалниот состав на класата во излезот од мелницата од 20% на 25%, како и намалувањето на процентуалниот состав на класата на преливот од хидроциклонот од 60% - 55% - 50% се намалуваат потребната количина на вода на цврста фаза при мелењето од 86,44% - 83,78% - 81,13%, како и производноста на хидроциклонот од 280,39 m³/h – 261,70 m³/h – 243 m³/h и ефикасноста на класирањето на хидроциклонот од 66,67% на 45,71%.

Програмот за затворен циклус на едностадијално мелење – двостадијално мелење **MINTEN – 2** во спирални класификатори е направен во Visualstudio 2008 и овозможува брзо и ефикасно решавање на проблемот, со истата гореспомната можност за варијација на влезни и излезни параметри.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

- Со намалување на процентуалниот состав ($a=\%$) во сомелениот производ од мелницата од 40% - 35% - 30% се зголемува циркулацискиот товар од 190,48% - 240,74% - 311,11%.

Програмите за двостадиијално мелење со комбинирано класирање на механички класификатор и хидроциклон **MINTEN – 1** е направен во Visualstudio 2008 и овозможува брзо и ефикасно решавање на проблемот поставен со проектната задача и дава можности за имплементирање и програмирање на слични или посложени проблеми кои се појавуваат во индустриската пракса на Минералната технологија.

- Со намалување на циркулацискиот товар на мелницата од 275% - 250% - 225%, како и промената на процентуалниот состав ($a=\%$) од 30% - 40% - 45% при промени на процентуалниот состав на ($b=\%$) и ($c=\%$) од 20% - 30% - 35% и 20% - 55% - 65%, пребарувањето покажува на следното:
- Промена во количината на пулпата 166 – 125 – 111 t/h,
- Количина на водата од 136 – 85 – 66,1 m³/h,
- Состав на цврстата фаза пред секундарната мелница од 20% - 55% - 64,9%, и
- Составот на цврстата фаза во пулпата од преливот од 19,23% - 25,64% - 28,65%.

Сите овие резултати од пребарувањата и оптимирањето на различните процеси во минералната технологија за затворени циклуси во реална средина и услови се прикажани во **MINTEN – 3**, **MINTEN – 2** и **MINTEN – 1**.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

4.4 Оптимирање и моделирање во реални услови – хидроциклони во зависност од независно променливи

Според извршените опити на класирање во лабораториски и индустриски услови на хидрауличен класификатор – хидроциклон (Голомеова М., 2002) може да се види дека резултатите од прелиминарните испитувања укажуваат дека порастот на густината на влезната пулпа од 20, 30 и 40%, доведува до промена на ефикасноста на класирање, така што највисоки вредности за ефикасноста на класирање се добиени при опитите кај кои густината на влезната пулпа изнесуваше 30% цврсто. Промената на притисокот на влезот во хидроциклонот од 0.5, 0.75 и 1 bar, ја намалува ефикасноста со порастот на притисокот, т.е најдобри резултати се добиени при класирање со притисок 0.5 bar. Големината на притисокот ја регулира големината на центрифугалната сила, а со самото тоа и траекторијата на зрната. Зголемениот притисок, покрај крупните зрна, кон бочните сидови ги збива и ситните зрна, така што само најситните зрна се наоѓаат во доменот на дејството на внатрешната вртложна струја и поминуваат во преливот. Порастот на дијаметарот на отворот за песок од 12, 14 и 16 mm, при различна густина на влезна пулпа предизвикува различни промени на ефикасноста на класирање. Така, при густина на влезна пулпа 20%, највисоки вредности за ефикасноста на класирање се добиени при работа со отвор за песок 12 mm. Ефикасноста на класирање при густина на пулпа 30% цврсто, највисока е кога дијаметарот на отворот за песок е 14 mm, а при густина на пулпа 40% цврсто при отвор 16 mm. Највисока ефикасност е постигната при опитот вршен при следните услови: густина на пулпа 40% цврсто, дијаметар на отвор за празнење на песокот $d_p=16\text{mm}$ и притисок на влезот во хидроциклонот $p=0.5\text{ bar}$. Со класирањето при овие услови постигната е ефикасност на класирање од 54.93%.

Добиените резултати за ефикасноста на класирање биле искористини за моделирање на зависноста на ефикасноста на класирање во функција на независно променливите на влезот во хидроциклонот, во вид на линеарен модел, за определување на интензитетот на влијанието на променливите фактори врз целната функција, како и определување градиент на движење за да се дојде до нивните оптимални вредности.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Ефикасноста на класирање, во зависност од густината на влезната пулпа (x_1), дијаметарот на отвораот за песок (x_2), и притисокот на влезот во хидроциклонот (x_3), математички може да се моделира со помош на следниот полином од прв ред:

$$E = 45.42 + 3.28x_1 + 1.02x_2 - 0.3x_3 + 4.13x_{12} + 0.28x_{13} - 0.67x_{23} - 0.39x_{123} \quad [59]$$

Според апсолутните вредности на коефициентот b_1 , b_2 и b_3 ($b_1=3.28$; $b_2=1.02$ и $b_3=-0.3$), може да се заклучи дека влијанието на густината на влезната пулпа е најголемо. Тоа е три пати поголемо од влијанието на дијаметарот на отвораот за песок и десет пати поголемо од влијанието на притисокот. Апсолутните вредности на коефициентите b_{12} , b_{13} , b_{23} и b_{123} ($b_{12}=4.13$; $b_{13}=0.28$; $b_{23}=-0.67$ и $b_{123}=-0.39$), укажуваат на интеракциската врска помеѓу испитуваните фактори, и може да се заклучи дека најизразена е интеракцијата помеѓу густината на влезната пулпа и дијаметарот на отвораот за песок. Ниските вредности за коефициентите b_{13} , b_{23} и b_{123} покажуваат дека постои слаба интеракциска врска помеѓу тие променливи. Позитивниот предзнак пред вредноста на коефициентот b_1 укажува дека треба да се зголеми густината (содржината на цврсто) на влезната пулпа, позитивниот предзнак пред коефициентот b_2 да се зголеми дијаметарот на отвораот за песок, а негативниот предзнак на коефициентот b_3 , дека треба да се намали притисокот на влезот во хидроциклонот.

Ако се вклучи четврт фактор според класичниот метод на испитувања вкупниот број на опити за четири фактори на три нивоа изнесува 81, се пристапило кон примена на дисперзната анализа, која овозможува значително скратување на бројот на опитите, едновремена оценка на сите испитувани фактори и приближна оптимизација на процесот. Планирањето на експериментите е според **грко-латинскиот квадрат**.

Врз основа на анализираните резултати се заклучило следново: Влијанието на сите групи фактори, е значително врз масената распределбата на преливот. Најголемо е влијанието на дијаметарот на отвораот за празнење на песочната фракција. Поработот на притисокот и дијаметарот на отвораот за песок предизвикува намалување на распределбата на преливот, додека пак

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

спротивно од нив, порастот на густината на влезната пулпа и порастот на дијаметарот на отворот за прелив доведуваат до нејзин пораст.

Добиениот линеарен модел за масената распределба на преливот е:

$$M_{pr} = 45.026 + a_j + b_i + c_l + d_r \pm 2.187$$

[60]

Моделот за учеството на класата -0.074mm во преливот е:

$$Pr_{-0.074} = 64.808 + a_j + b_i + c_l + d_r \pm 4.5$$

[61]

Добиениот модел за учеството на класата -0.074mm во песокот е:

$$P_{-0.074} = 15.683 + a_j + b_i + c_l + d_r \pm 1.534$$

[62]

Моделот за распределбата класата -0.074mm во преливот е:

$$P_{pr} = 75.662 + a_j + b_u + c_l + d_p \pm 2.32$$

[63]

Моделот за коригираната гранична крупност на класирање е:

$$d_{50c} = 137.833 + a_j + b_i + c_l + d_r \pm 8.15$$

[64]

Според извршените пресметки линеарниот модел за ефикасноста на класирање гласи:

$$E_{-0.074} = 48.526 + a_j + b_i + c_l + d_r \pm 3.53$$

[65]

Врз основа на добиените резултати од индустриските испитувања кои биле извршени и добиениот математичкиот модел може да се заклучи следново:

Ефикасноста на класирање, во зависност од густината на влезната пулпа (x_1) и дијаметарот на отворот за песок (x_2), математички може да се моделира со помош на следниот полином од прв ред:

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

$$E = 49.3 - 5.43x_1 + 1.60x_2 + 5.48x_{12}$$

[66]

Вредностите на коефициентите пред споменатите фактори во математичкиот модел, укажуваат на влијанието на испитуваните фактори врз ефикасноста на класирање. Апсолутната вредност на коефициентот b_1 , која изнесува 5.43 е три пати поголема од апсолутната вредност на коефициентот b_2 која изнесува 1.60. Тоа укажува дека влијанието на густината на влезната пулпа е три пати поголемо од влијанието на дијаметарот на отворот за песок. Вредноста на коефициентот b_{12} укажува на фактот дека постои изразена интеракциска врска помеѓу двата испитувани фактори, што беше воочено и при прелиминарните испитувања. Поради тоа истражувањата треба да се вршат со истовремено следење на испитуваните променливи фактори и изнаоѓање на нивните оптимални вредности за дадениот процес. Негативниот предзнак пред вредноста на коефициентот b_1 укажува дека е работено со густа пулпа, т.е. треба да се намали густината на влезната пулпа, а позитивниот предзнак пред коефициентот b_2 да се зголеми дијаметарот на отворот за песок. За постигнување на оптимална ефикасност на класирање, потребно е понатамошно намалување на густината на влезната пулпа и истовремено зголемување на дијаметарот на отворот за празнење на песок, од опит до опит, при што темпото на намалување на густината треба да биде трипати поголемо од темпото на зголемување на дијаметарот на песочната диза.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

4.5 Оптимирање и моделирање во реални услови на флотациска концентрација во зависност од независно променливи

Во рамките на научните истражувања (Голомеов Б., 1997) беше поставена задача, со еден современ пристап, користејќи ги најновите сознанија во областа на флотациската концентрација и нејзината кинетика и користејќи ги можностите што ги овозможува широката имплементација на компјутерската техника и технологија, било извршено оптимирање и математичко моделирање на кинетиката на процесот на флотациска концентрација, на рудата од рудниците Злетово и Саса во лабораториски услови. Истовремено, покажувајќи како постоечките математичко - статистички методи и се поразвиената сметачка техника, овозможуваат еден поквалитетен и поефикасен приод при водењето на технолошките процеси. Без тоа, не е можно ниту постигнување на оптимални резултати, ниту пристапување кон потполно автоматизирање на технолошките процеси, како основен предуслов за фаќање приклучок со најновата техничко - технолошка револуција. Во овие експериментални истражувања биле користени:

- градиентната метода на Box и Uilson (полн факторски план на експерименти), која спаѓа во групата на експериментално - статистички методи на планирање на експериментите со помош на кои може да се изврши оптимирање на било кој фактор, кој влијае на ефикасноста на технолошкиот процес на флотациска концентрација.
- Агар-овата равенка за кинетиката на флотирање, која е модифициран облик на најраспространетата равенка за кинетиката на флотирање, позната како равенка на Белоглазов.

1) Оптимирање на фазата на грубо Pb-Zn флотирање

- Ефективноста на процесот на грубо флотирање на оловото во флотација “Злетово” - Пробиштип, изразен преку ефикасноста на сепарација (раздвојување) на оловните и цинковите минерали, во зависност од факторите x_1 (потрошувачка на колектор KEX) и x_2 (потрошувачка на деприматор $ZnSO_4/NaCN$), во условни единици, може успешно математички да се моделира со помош на полином од прв ред:

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

$$E = 49.70 - 9.55 x_1 + 4.05 x_2$$

[67]

- Ефективноста на процесот на грубо флотирање на оловото од рудникот “Саса” - М. Каменица, изразен преку ефикасноста на сепарација (раздвојување) на оловните и цинковите минерали, во зависност од факторите x_1 (потрошувачка на колектор KIBX), x_2 (потрошувачка на деприматор $ZnSO_4$), x_3 (потрошувачка на деприматор NaCN) и x_4 (густина на пулпата), во условни единици, математички се моделира со помош на полином од прв ред:

$$E = 21.95 - 9.48x_1 + 3.81x_2 + 5.29x_3 + 3.92x_1x_2 - 2.4x_1x_3 - 2.29x_2x_3 + 4.62x_1x_2x_3$$

[68]

- Оптималната потрошувачка на колекторот KEX, во грубата оловна флотација “Злетово” - Пробиштип е 18 g/t, а оптималната потрошувачка на деприматор $ZnSO_4/NaCN$, 135 g/t : 31 g/t.
- Оптималната потрошувачка на колекторот KIBX, во грубата оловна флотација “Саса” - М. Каменица е 16 g/t, оптималната потрошувачка на деприматор $ZnSO_4$ е 140 g/t а оптималната потрошувачка на деприматор NaCN, 23 g/t.
- Максималното можно искористување на оловото во грубата оловна флотација “Злетово” изнесува 93.40%, додека во грубата оловна флотација “Саса” 80.75%. Тоа е искористување кое може да се добие во времето во кое процесот врши реална концентрација на корисната компонента. Максималната распределба на цинкот во грубиот оловен концентрат кај рудата од “Злетово” изнесува 26.20%, додека кај рудата од “Саса” 21.40% . Во суштина, тоа е процент на цинк кој во дадените услови на депримирање на неговите минерали, лесно преоѓа во грубиот оловен концентрат. Максималната распределба на останатите минерали заедно со цинкот, во грубиот оловен концентрат, во дадените услови, кај рудата од “Злетово” изнесува 7.1%, додека кај рудата од “Саса” 13.15%.
- Равенките кои одговараат на кинетиката на флотирање на оловото го имаат следниот облик:

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

$$I_{pb} = 93.40 \cdot \left[1 - e^{-0.0219795 \cdot (t - 6.59)} \right] \text{ – за рудата од “Злетово”};$$

$$I_{pb} = 80.75 \cdot \left[1 - e^{-0.0205468 \cdot (t + 4.50)} \right] \text{ – за рудата од “Саса”};$$

[69]

- Равенките кои одговараат на кинетиката на флотирање на минералите на цинкот во оваа фаза од процесот го имаат следниот облик:

$$I_{zn} = 26.20 \cdot \left[1 - e^{-0.0097035 \cdot (t - 11.94)} \right] \text{ – за рудата од “Злетово”};$$

$$I_{zn} = 21.40 \cdot \left[1 - e^{-0.0120235 \cdot (t - 9.98)} \right] \text{ – за рудата од “Саса”};$$

[70]

- Равенките кои одговараат на кинетиката на флотирање на останатите минерали заедно со цинкот го имаат следниот облик:

$$I_{zn+om} = 7.1 \cdot \left[1 - e^{-0.0098886 \cdot (t - 6.94)} \right] \text{ – за рудата од “Злетово”};$$

$$I_{zn+om} = 13.15 \cdot \left[1 - e^{-0.0092439 \cdot (t - 13.77)} \right] \text{ – за рудата од “Саса”};$$

[71]

- Времето во кое концентрацијата на минералите на оловото завршува, односно, времето после кое флотацискиот процес не врши концентрација на оловните минерали, кај рудата од “Злетово”, изнесува 285.48 с., додека кај рудата од “Саса” 211.79 с. После ова време, квалитетот на концентратот кој прелива преку ивицата на флотациската ќелија, во однос на содржината на оловото во него, еднаков е на квалитетот на флотацискиот доток. Тоа е време после кое останатите минерали почнуваат побрзо да флотираат од минералите на оловото.
- Времето во кое доаѓа до максимално раздвојување (сепарација) на оловните и цинковите минерали, изнесува, кај рудата од “Злетово” 172.5 с., додека кај рудата од “Саса” 193.73 с. Ова е време после кое минералите на цинкот почнуваат побрзо да флотираат од оловните минерали.
- Оптималното време на траење на процесот на грубо флотирање на олово, за полиметаличната Pb-Zn руда “Злетово”, се движи во границите

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

од 3 - 5 min. Кое време ќе се усвои како оптимално зависи, пред се, од тоа дали сакаме поголемо искористување на оловото, или пак, што помала распределба на цинкот во грубиот оловен концентрат. Во секој случај, времетраењето на процесот на груба оловна флотација не смее да биде помало од 3 min., ниту поголемо од 5 min. Што се однесува до рудата од “Саса”, времето во кое престанува концентрацијата на корисната компонента (оловото), скоро е идентично со времето во кое доаѓа до максимална сепарација (раздвојување) на оловните и цинковите минерали и тоа изнесува околу 3.5 min.

2) Одредување на најсоодветната равенка за математичка интерпретација на кинетиката на процесот на флотирање

Најдобрата математичка зависност за опишување на кинетиката на процесот на флотациска концентрација, како за суровината од рудникот “Злетово”, така и за суровината од рудникот “Саса”, е дадена преку Агар - овата кинетичка равенка која гласи:

$$I = I_{\max.} \cdot (1 - e^{[-k \cdot (t+b)]})$$

[72]

Претходно изнесената констатација јасно се огледа од дадените табеларните прикази на средните квадратни отстапувања (стандардна девијација), добиени при моделирањето на кинетиката на флотирање со помош на поделните кинетички равенки:

Табела 9. Стандардна девијација - Злетово

Table 9. Standard deviation - Zletovo

Равенка	Стандардна девијација – σ		
	Pb	Zn	Zn + OM
Агар - ова	0.2698542	0.083477	0.044997
Климпел - ова	4.6495581	0.730547	0.171494
Белоглазов - а	2.8695202	2.816090	1.066214
Равенка со две конст.	1.8179074	0.685009	0.152971

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 10. Стандардна девијација - CACA
Table 10. Standard deviation - SASA

Равенка	Стандардна девијација – σ		
	Pb	Zn	Zn + OM
Агар - ова	0.8617945	0.535763	0.385723
Климпел - ова	1.3150696	0.621559	0.497405
Белоглазов - а	9.4618914	3.347781	1.407810
Равенка со две конст.	1.1826891	0.553120	0.481581

5.0 СПЕЦИЈАЛЕН ДЕЛ

5.1 Објаснување на методата EVOP

EVOP (evolutionary operation) е метода за оптимизација на индустриски или технолошки процеси во текот на производството. Методата *EVOP* претставува поедноставување на постапката на дво-факториелен и тро-факториелен експеримент. (Голомеов Б. 1997), (Крстев А. 2010, 2011, 2012)

Оваа метода ги користи оперативните податоци од процесот на производството со цел да се подобрат условите за работата на процесот, така што да се остварува постојано подобрување на вредностите на функцијата на цел во однос i -ја претходно остварените. Во текот на работата се разгледуваат две или три независни променливи (влијателни фактори).

Со помош на *EVOP* можат да се анализираат ефектите на независните променливи (влијателните фактори) и нивните интеракции, со задача на операторот да му се доставуваат податоци за да може систематски да го унапредува процесот на производството кој е во тек т.е. да може непосредно да делува и управува со производството. Со оваа метода неколку пати се забрзува постигнувањето на целта, а при тоа не е потребно да се сопира нормалното производство, ниту да се прекинува процесот. Методата е заснована на статистички концепции и е можно да се следи ризикот од грешка. *EVOP* се потпира на концептот: да може да се забрза еволуцијата на природниот процес (технолошкиот) ако се креираат промени, а потоа тие се селектираат така што да водат кон оптималното решение. Тие промени во индустрискиот процес се всушност различните услови во производството (вредности на влијателните фактори), но така ограничени што при таквите промени не можат да се остварат, за пазарот, неприфатливи производи или ефекти во недозволените граници.

Влијанието на тие промени на површината на одзив т.е. на анализираната зависна променлива се мери и се споредува со границите на доверба на граничната грешка, пресметани врз основа на податоците. Врз основа на тоа може да се процени дали со предизвиканите промени (на факторите), се добиени видливи ефекти. Ако се покаже дека новите услови

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

имаат предност, од шансата која се појавува во множеството на до тогаш реализираните податоци (услови), тогаш се поминува на нова состојба, т.е. нови вредности на влијателните фактори (*стандарди*). Развивајќи ја постапката на *EVOP* во некоја *точка* (услови) како центар на нова состојба, на тој начин се поместува позицијата на условите од еден центар кон друг, а тоа поместување претставува поместување кон оптималното решение (оптималните услови на операцијата).

Важно е да се нагласи дека оптималното решение во некој процес не е определена вредност (добиеана во лабораторија или предвидена со проектот), туку „*точка која се поместува*“ кон површината на одзив под влијание на разни фактори кои не може да се утврдат во фазата на изборот и во фазата на проектирањето на процесот. Всушност, **оптималната точка** постојано се поместува и водењето на процесот значи **„постојано барање и приближување“** кон оптималното решение.

Параметрите на технолошкиот процес секогаш се утврдуваат лабораториски или на полуиндустриски постројки, бидејќи истите се менуваат во текот на работата. Раководителот на погонот прави посебен напор да го оствари "*оптимумот*" предвиден со проектотот. Но често за таквата работа е потребно многу време и губитоци во материјалот и готовите производи, а тоа повлекува и зголемување на вкупните трошоци. Не ретко и се отстапува од тие настојувања, бидејќи со други познати методи не е можно да се оцени вистинската оптимална состојба на процесот. Затоа методата *EVOP* може да се смета за успешна замена на класичниот пристап кон оптимизацијата на даден процес.

Методата *EVOP*, како и кај сите други техники, не дава конечен одговор, затоа што методата не може да донесува одлуки. Тоа останува во делокругот на раководителот на процесот кој го користи *EVOP* како средство со кое настојува по најбрз пат да ги достигне оптималните услови на технолошкиот процес, користејќи при тоа и логика. Предности на оваа метода се следните:

- Методата не е скапа и сите трошоци се сведуваат на времето кое е потребно да се приберат податоците (вносување на податоците во формулари) и истите да се внесат во компјутер. За трошок може да се смета и консултацијата на стручњак во интерпретирање на податоците и

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

изведување на заклучоци, но до услови на перманентна контрола на процесот, за разлика од случајно донесени одлуки, па макар тие да се донесени и од стручњак со големо искуство (*hit - and miss method*). Не постои ниту ризик од губиток во производството, со оглед на малите (незначителни) промени кои се вршат на променливите кои се анализираат.

- Методата дава и попатни податоци за ефектите на влијателните фактори, кои често можат да бидат и покорисни од поставената цел. Тоа е доста важно и од посебна корист за оперативата, бидејќи дава податоци и ги открива влијателните елементи побргу отколку други познати методи.
- Методата не треба да се смета како постапка со која се решава само еден моментален проблем (*crash program*), туку како постојано средство за приближување кон оптималните услови и давање одговор на сите прашања кои се појавуваат во следењето на процесот (дури и по постигнување на оптимални услови). И во тој поглед оваа метода има предност над останатите познати нумерички методи.

5.2 Evolutionary Operation - EVOP

Вох G.E.P ја предложи Еволутивната оперативност како една техника за подобрување на индустриската продуктивност. Нејзината основна филозофија е таа што скоро секогаш е нефикасно да се води било кој индустриски процес самостојно без процесот или производот да биде управуван така што создава или генерира нов производ и нова информација како да се подобри истиот.

Еволутивната оперативност користи еден усогласен, внимателно планиран циклус на минимум варијанти во стандардниот работен процес, а рутинската постапка е водењето на секоја од варијантите во турнус, како и повторување на циклусот. Вообичаено е ефектите од овие промени на променливите да се скриени со големи грешки поврзани во уреди со голем производствен капацитет. Меѓутоа, како што производството продолжува понатаму, било кој циклус од варијантите кој навистина нема ефект во значајно производство може да се управува иако неодредено бидејќи постојаното

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

повторување на ефектите и од малите промени може да биде детектиран.

Како Box прв ја предложи Еволутивната оперативност ЕВОП за искуствена употреба при производство на хемикалии или индустриски процеси, подоцна биле сугерирани разни модификации на техниките.

- Box Evolutionary Operation-BEVOP
- Rotating Square Evolutionary Operation-ROVOP
- Random Evolutionary Operation-REVOP
- Simplex Evolutionary Operation-SEVOP
- Quick Start EVOP-QSEVOP

5.3 On - line процесна анализа со EVOP Метода

On-line истражувачките методи за статистичка анализа се користат кога перформансите на континуираниот процес се изведуваат во пилот единица или во апарат и мора да бидат подобрени. Во еволутивниот оперативен процес (EVOP) методата е најпозната метода за On-line процесни анализи. Името на овој метод потекнува од нејзината аналогија со биолошката еволуција. Оваа аналогија се базира на набљудувањето на процесот во природната селекција во кој една мала варијација во самостојните животни фактори се одговорни за генетски мутации и на тој начин и за еволуцијата на видовите. Целта на методот EVOP е да се добијат промени во факторите на процесот со цел да се добие поповолна состојба на процесот и резултатите од процесот со помош на on-line процесно истражување. Ова истражување е составено од мали измени и се програмира чекор-по-чекор. Поради малите промени на влијателните фактори, можно е да има ситуации во кои ефектите врз излезот на процесните променливи може тешко да се открие, бидејќи тие се покриени од страна на случајни ефекти.

За да се компензира оваа потешкотија во методот EVOP, процесната анализа се врши од една состојба (фаза) во друга под услов кој наметнува повеќе итеративни циклуси за секоја фаза. За секој циклус, еден променлив број на експерименти со непроменети вредности за факторите е важно за

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

контролирање на грешки. Во секоја фаза, сите експерименти произведуваат одговор на априори избрани CFE или FFE план.

По завршувањето на експериментите што се бара во една фаза, ние ги процесуираме нивните статистички податоци и ја правиме потребната одлука во врска со позицијата и со почетните условите за следната фаза на процесот кој се анализира. Бројот на циклуси за секоја фаза мора да бидат темелно избрани, затоа што тогаш интерес е да се почитуваат малите промени кои се случуваат истовремено со постојаните случајни флуктуации во излезот од процесот. Податоците од циклусот се пренесени во следниот циклус за да се заврши новата фаза, со пресметка на средна вредност и разликите или варијансите. Познато е дека грешките во средната вредност на n независни набљудувања се $n^{1/2}$ помали од грешката на едно изолирано мерење. Затоа, овој факт го одржува трансферот на податоци од еден циклус на следниот циклус. Сликата 25. дава графичко воведувањето на методот EVOP за пример на еден процес со два фактори; важно е да се забележи дека, во реален случај, преместувања на фактори треба да се помали од оние предложени во Слика 48. И покрај очигледната слобода, методот EVOP наметнува некои строги правила, некои од нив се опишани подолу:

1. За секоја фаза, бројот на циклуси не е наметнат со правило или од страна на математички однос;
2. На почетокот на вториот циклус, пресметката на вкупните ефекти на анализата е задолжително; вкупните ефекти се пресметуваат со следнава релација:

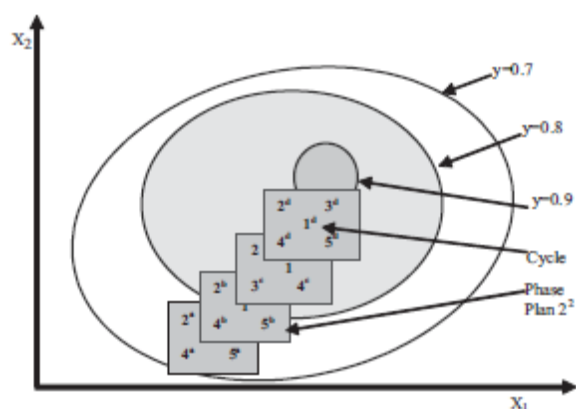
$$ET^a = \frac{1}{5}(\bar{y}_2^a + \bar{y}_3^a + \bar{y}_4^a + \bar{y}_5^a - 4\bar{y}_1^a)$$

[73]

Тука, секоја y_i^a вредност е средна вредност за сите циклуси изведени во однос на реална фаза на анализа;

3. На почетокот на вториот циклус на секоја фаза, секоја средна вредност y_i^a ќе биде завршена до неговите доверливи интервали;
4. Циклуси запираат кога доверливите интервали за сите y_i^a , остануваат непроменети;

5. Анализа на синџирот на ET^a вредностите завршуваат со поделен вкупен ефект и може да помогне во изборот на следната фаза.



Слика 25. Графичко воведување на ЕВОП

Figure 25. Graphic introducing EVOP

Овој истражувачки метод може да биде подобро илустриран со конкретен пример. Испитаниот процес на опишаниот пример во следниот дел е органската синтеза, која се одвива во совршено измешан реактор.

5.4 Примена на софтверската апликација Multisimplex® 2.1

Multisimplex® е нова техника со најдобра сопствена софтверска програма, која ги подобрува и унапредува оперативните и оптимизациските методи. Тоа е софтверска компонента која континуирано и постојано on-line го комплетира квалитетот на постојните реални процеси во средината. Развиена е толку добра оптимизациска метода, која е истовремено и вистинска. Со примена на Multisimplex® ќе се зголеми економичноста, ефикасноста и очекуваниот профит. **Како ќе се постигне целта?** Тоа се прави преку максимизација на ефикасноста, зголемување на производноста и елиминација на “тесните грла”. Исто така, се постигнува поконзистентен квалитет, со истовремени подобри резултати. Впрочем, се заштедуваат пари, време и средства, избегнувајќи ги непотребните трошоци или појавата на штетните гасовити емисии. Секако дека најдобро од сè е процесот да го зголеми или подобри профитот, а во исто време да создаде попријатна и здрава животна средина. Најчесто, проблемот на целите се контрадикторни и е невозможно да се постигнат. Меѓутоа, тука се создава и нуди решението. Multisimplex® нуди комплетно директно системско решение, постојана и автоматска оптимизација на процесите. Научно докажаната техника овозможува процес кој постојано се стреми кон најдобрите оперативни и оптимални услови, со адекватни и најдобри оптимални резултати или одговор-варијабили (**response variables**). Multisimplex® проценува различни поставки, обработува неколку влезни контролирани променливи (**control variables**) во поставениот процес и работи оперативно, постепено кон поставените цели што сакаме да ги добиеме – **оптимизација на** процесот. Брилјантноста на Multisimplex® концептот овозможува оптимизација за неколку истовремени цели. (Ramani R. V. 1994), (Rosenquist T. 1986), (Pacovic N. 1986).

При тоа, оптимизацијата мора да биде профитабилна и да овозможува погодност и бенифит. Современите и модерни компании мора да вложуваат во флексибилноста и континуирано оптимизирањето процеси кои ќе бидат автоматски и мерно контролирани. Тоа е прв исчекор кон **оптимална економија и ефикасност**. Секое подобрување во процесот генерира финансиски бенифит, а резултатите веднаш стануваат подобри, со гарантиран

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

квалитет. Производните трошоци, исто така, се пониски или намалени, ограничувачките административни еколошки и строги законски легислативи преку такси и давачки, се намалуваат преку редукцијата на отфрлените ефлуенти, раствори или гасовити емисии во амбиенталниот воздух.

Втемелениот Multisimplex® изграден на темелите на симплекс техниката работи со логични и директно резултатски ориентирани опити: софтверот едноставно овозможува приказ на процесот чија поставка генерира најдобар резултат за време на постојните оперативни услови. Лесно се разбира еволутивноста и е едноставен за користење. Оптимизацијата значи пребарување или подесување, така што резултатот е можно најдобар. Така, Multisimplex® станува прогресивна можност за континуирана оптимизација и постигнување на бараните цели.

Оваа техника може да се користи при автоматска оптимизација во скоро сите процеси, каде што постојат контролни променливи и мерливи цели, одговор-варијабилни. Примери можат да се најдат при: **рафинација (солвент екстракција или јонска измена), сеење и класирање – screening (хидроциклони), процеси со пулпа, разни хемиски производства (машини за хартија, аналитичка хемија, фармација), рафинерии за нафта и енергетски производни постројки, согорување во инцелератори и автоклави), разлагање на експлозиви (нитроглицерин, нитроглицол, тротил) со создавање на NO_x и друго.**

Покрај очигледната постојаност или константност на производниот процес, преку автоматизацијата и сигурноста, битно се појавуваат позитивните резултати и постигнатите цели преку (Примери: **1. SCA Graphic, Ortviken, Sverige; 2. Söder Energy CHP Plant, Sverige**):

- 50% редукција на промени во својствата на влакна во текстил,
- 10% зголемување на производност,
- 5% намалување на потрошувачка на енергија,
- Минимизација или максимизација на текстилни влакна,
- Вградување на релативен ред помеѓу трочкови, квалитет и производност,
- Содржи адаптивен систем за сегментна промена,
- 50% намалување на емисија на CO₂,

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

- 30% намалување на емисија на NO_x ,
 - 30% намалување на потрошувачка на уреа за селективна некаталитичка редукција SNCR.
-
- **Симулирана оптимизација на проблеми**

За да добиете максимална корист од вежбите и опитите, прво треба да се прочитаат описите на методите. Испитувањата тогаш ќе дадат брз Вовед во интерфејсот на MultiSimplex ® и ќе покаже како да се користи за оптимизација на методите во пракса.

Испитувањата се фокусираат на користење на менито од команди, но можете да ги користите тастатурните кратенки или копчињата од алатникот. Кратенки на тастатурата се наведени лево од секое мени команда и команди поврзани со алатникот копче се прикажуваат кога курсорот е позициониран над неа. Овие испитувања се засновани и симулираат некои проблеми од реалната средина на оптимизација.

Поради пореметувања, одговор на специфичната контрола на променливи вредности никогаш нема да бидат точни исти кога се повторува работењето. Грешката е, сепак, секогаш дел од оптимизација, па наместо да се обидува од MultiSimplex ® преку оптимизирање на софистицирана математичка функција без случајни варијации, овие примери функционираат пореално.

Ова поглавје содржи:

1. Упатство А - Оптимизација на смеша
2. Почетен курс Б - Оптимизација на аналитички хемиски метода.
3. Почетен курс С - Намалување на NO_x -емисии од котел-реактор.

1.) Упатство А - Оптимизирање на смеша (а)

Упатство илустрира оптимизација на смеша – хетерогена или хомогена.

Основната операција во оваа секвенца на оптимизација е:

1. Дефиниција на проектот, контрола на променливи и одговор на променливи.
2. Пресметка на првиот симплекс испитувања.
3. Внесување одговор на вредностите.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

4. Пресметка на нови испитувања.
5. Приказ на листите.
6. Заштеда на енергија и отворање на проект датотека.

Ова упатство - туториал е врз основа на заедничка оптимизација на проблемите во фармацијата за оптимизација на растворливост на реагенсите со таблетите-лекарствата – хетерогена смеша. Проблемот во фармацевтските студии често се однесува на неопходноста да поларната таблета во смеша со вода и една или повеќе консолвенти-cosolvents, да овозможи зголемување на растворливоста. Оптимизацијата се врши со таа цел за да се пронајде дали постои оптимална големина и каде таа е локализирана.

Впрочем, сега е задача да се оптимизира растворливоста на фенобарбитол во смеша на глицерол, пропилен гликол и вода.

Оптимизацијата започнува од референтна точка со следниве контролно променливи нивоа: глицерол 10%, пропилен гликол 20% и вода 70%. Целта за оптимизација на проектот е да се добие растворливост (Solubility) на околу или над 10 mg/ml.

Упатство А – МОЖНА ПРИМЕНА = Оптимизирање на смеша (б) – Лужење (Растворање) на сулфидни, оксидни минерали на метали – хетерогена.

Упатство А - МОЖНА ПРИМЕНА = Оптимизирање на смеша (в) – Бактериолошко лужење – хетерогена.

Упатство - Почетен курс Б - Оптимизирање на аналитички хемиски метод (а)

Упатството Б илустрира оптимизација на низа од две одговор променливи.

Основни операции во оваа оптимизациона секвенца се:

1. Дефиниција на проектот, контрола на променливи и одговор променливи.
2. Пресметка на првиот симплекс испитувања.
3. Внесување одговор - вредности.
4. Пресметка на нови испитувања.
5. Приказ на топ - листите.
6. Заштеда на енергија и отворање на проект датотека.

Ова упатство - туториал е врз основа на заеднички оптимизационен проблем во аналитичката хемија, за оптимизација на колориметриски метод. Проблемот е ако зрак на светлината со одредена бранова должина/боја поминува низ стакло исполнето со соодветна течност, па одреденото зрачење

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

се апсорбира. Апсорбираната радијација е карактеристика на материјалот внатре во стаклената ќелија. Соединението кое е со бледа боја или одредена боја може да се утврди со додавање на реагенси што го претвора соединението во соодветна боја. Апсорпцијата на зрачење, мерено како апсорпцијата, е уште повеќе директно поврзано со концентрацијата на апсорпција на комплексот.

Притоа, едноставно може да се утврди соодветната големина на концентрацијата на соединението. Задачата сега е да се оптимизира овој колориметриски метод за да се добие максимална осетливост. Во овој случај ние ја користиме апсорпцијата за дадена концентрација како индикатор или показател. Формираното обоено соединението се разградува со текот на времето, па стабилноста исто така е многу битна. Оптимизација почнува од референтна точка со следниве контролно променливи нивоа: **реагенс А 0,15 ml/примерок и реагенс Б 1.5 ml/примерок.**

Целта за оптимизација на испитувањето е да се добие апсорпциона осетливост од 0,2 апсорпциони единици (а.е.) единица на концентрација, и стапка на распаѓање, изразени како апсорпциони промени, на 0,03 A.U./h. На апсорпциона чувствителност од 0,05 A.U. на концентрација единица или подолу е јасно неприфатливо.

Упатство - Почетен курс Б - МОЖНА ПРИМЕНА = Оптимизирање на аналитички хемиски метод (б) – СОЛВЕНТ ЕКСТРАКЦИЈА

Упатство - Почетен курс Б - МОЖНА ПРИМЕНА = Оптимизирање на аналитички хемиски метод (в) – ЈОНСКА ИЗМЕНА

3.) Упатство - Почетен курс С - Намалување на NOx-емисии од котли-реактори (а)

Почетениот курс С илустрира подобрување на процесот на согорување, на малку повеќе комплицирана оптимизациона ситуацијата од претходните курсеви и тоа со следниве чекори:

1. Дефиниција на проектот, контрола на променливи и одговор променливи.
2. Пресметка на првиот симплекс испитувања.
3. Внесување одговор вредности.
4. Пресметка на нови испитувања.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

5. Приказ на топ - листите.
6. Промена на оптимизација алгоритам.
7. Заштеда на проектот датотека.

Во овој туториал на оптимизација целите се изразени како минимизирање на Селективна не-каталитичка редукција – Selective Non-Catalytic Reaction (SNCR) систем инсталиран во индустриски котел. Решението е во уреа ($\text{NH}_2 - \text{CO} - \text{NH}_2$) која се вбригува во печка за намалување на штетните емисии на азотни оксиди (NO_x). Задачата е да се оптимизира овој уреа систем за вбригување за да работат со ниски NO_x -емисии, а во исто време за контрола на износот на NH_3 - амонијак во гасниот сад.

Упатство - Почетен курс C - МОЖНА ПРИМЕНА = Создавање на NO_x -емисии од реакции и разложување на експлозиви (б).

Упатство - Почетен курс C - МОЖНА ПРИМЕНА = Прересметки на карактеристики на хидроциклон при разни влезни параметри (в).

- **Дефинирање на проектот**

Редоследот на Проектот е основна единица во MultiSimplex ®. Проектот е собирање на сите тековни податоци, прилагодувања и пребарување на резултатите за оптимизација. Проектите може да се дефинирани, зачувани и реставрирани со помош на менито File и различните применети дијалози. Дефиницијата на контрола и одговор променливи е од клучно значење за исходот на оптимизација на проектот. Потребно е да се има во предвид дека само еден проект во исто време може да биде отворен во MultiSimplex ®.

Избор на командата New од менито File започнува со дефинирање на нов проект. Оваа команда, исто така, може да биде избрана со притискање на Ctrl+N. Дијалогот ќе се појави, каде што основните проектни информации се внесуваат. Еден постоечки проект се отвора со избирање на командата Open од менито File, или со притискање на Ctrl + O. Во дијалог прозорецот за Windows отворање / Open зачуваните датотеки, потоа се отвораат, и ќе ја одберете датотека што ја сакате. Проектот е зачуван со користење на командата Help од менито File, или со притискање на Ctrl+S. Save - зачувај како

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

команда е исто така достапна. Печатење команди и на Exit команда се исто така достапни од менито File.

Предметите на екранот за да се определат основните информации се: 1. Наслов на проектот, 2. Проект / Датум, 3. Супервизор на проектот, 4. Проект / Забелешки.

Во рамките на контролните променливи на екранот ќе се определи бројот на контролни променливи и за секоја контролна променлива: 1. Име, 2. Единица, 3. Чекор / Големина, 4. Референтна вредност, 5. Децимали, 6. Ако тоа е мешавина променлива или не.

Во презентацијата на апликативниот софтвер MultiSimplex ®. ќе бидат опфатени основните примери и тоа: 1.) Упатство А - Оптимизација на смеша, 2.) Почетен курс Б - Оптимизација аналитички хемиски метод, 3.) Почетен курс С - Намалување на NOx-емисии од котел.

Другите примери се лесно прилагодливи на апликативниот софтвер MultiSimplex ® и ги содржат спомнатите примери: 1.) Упатство А – МОЖНА ПРИМЕНА = Оптимизирање на смеша (б) – Лужење на сулфидни, оксидни минерали на метали, 1.) Упатство А - МОЖНА ПРИМЕНА = Оптимизирање на смеша (в) – Бактериолишко лужење, 2.) Упатство - Почетен курс Б - МОЖНА ПРИМЕНА = Оптимизирање на аналитички хемиски метод (б) – СОЛВЕНТ ЕКСТРАКЦИЈА, 2.) Упатство - Почетен курс Б - МОЖНА ПРИМЕНА = Оптимизирање на аналитички хемиски метод (в) – ЈОНСКА ИЗМЕНА и 3.) Упатство - Почетен курс С - МОЖНА ПРИМЕНА = Создавање на NOx-емисии од реакции и разложување на експлозиви (б), 3.) Упатство - Почетен курс С - МОЖНА ПРИМЕНА = Прересметки на карактеристики на хидроциклон при разни влезни параметри (в).

5.5 Преработка на бакарни, никлови, и оловни минерали со разни постапки на минерална технологија и лужење

5.5.1 Појава на бакар во сулфидни и оксидно - силикатни руди

Халкопиритот се раствора во раствор на ферихлорид ($FeCl_3$) со реакции кои зависат од концентрацијата на растворот. Елементарниот сулфур кој е доминантен цврст производ од реакциите, може да изнесува повеќе од 50% од масата на излужениот остаток. Ако хидрометалуршкиот сулфур е пазарно корисен, тогаш селенот и телурот можат да се извлечат. Инаку, сулфурот може да се смета пред сè како индустриски отпад, отколку нус-производ. Извлекувањето на селен и телур е релативно скапо, па затоа мора да се стреми кон економичност. (Крстев А. 2011).

Експерименталните испитувања за лужење и бактериолошко лужење се прикажани во табели: лужење со *HPAL process* – лужење со киселина под висок притисок со извлекување на бакар од $R_{Cu}\%$ (80-95%) и бактериолошко лужење со *thiobacillus ferrooxidans microorganisms* со извлекување на бакар од $R_{Cu}\%$ (80-95%). Халкопиритните нископроцентни бакарни руди не се подготвени за учество за примарна оксидација со *thiobacillus ferrooxidans* бактерија бидејќи ниту содржи фери-јон ниту постоечка количина на редуциран сулфур. Меѓутоа, извлекувањето е дозволено преку примарната оксидација на пиритот или слични Fe / S минерали кои обезбедуваат раствор на (H_2SO_4) сулфурна киселина. Многу е важно да се знае улогата на киселината. Резултатите кои се прикажани покажуваат дека киселината изведува подобро извлекување на бакарот $R_{Cu}\%$, отколку фери-сулфат со иста почетна концентрација.

Користејќи соодветна оптимизациска стратегија или методологија, теориски оптималните услови за $\max R_{Cu}\%$ (повеќе 85-90%) во интервал на операциони услови во присуство на спомнати бактерии или алги при $pH = 2,0$ и крупност на пробите помали од $63 \mu m$, густина на пулпа од 2,5%. Бактериолошкото лижување е со искористувања од $R_{Cu}\%$ (83,50-95%).

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

- Растворливост на халкопирит (Cu, Au) – со $H_2SO_4/FeCl_3$

		REAGENT A				(0,1 – 0,6)/(200-225)				
		REAGENT B				(1,0 – 2,5)/(0.24-0.40)				
K ₅	0.1	0.1	0.6	0.6	0.560	0.560	0.6	0.6	0.573	0.573
K ₆	1.0	2.5	1.0	2.5	2.00	1.75	2.00	1.75	2.5	1.0

Табела 11. Испитувања со HPAL процес

Table 11. Investigations with HPAL process

Опит	A	B	R _{Cu} %
1	200	0,24	80,00
2	200	0,40	92,10
3	225	0,24	84,35
4	225	0,40	95,00
5	210	0,32	90,85
6	210	0,28	90,85
7	225	0,32	93,00
8	225	0,28	92,50
9	215	0,40	85,00
10	215	0,24	83,80

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

		REAGENT A				(0,1 – 0,6)/(1-1.5)				
		REAGENT B				(1,0 – 2,5)/(30-60)				
K ₇	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.1	0.1	0.5	0.5
K ₈	1.0	1.5	1.0	1.5	1	1.5	1	1.5	2	2

Табела 12. Испитувања со биолужење

Table 12. Tests with bioleaching

Опит	Дод.	Дни	R _{Cu} %
1	1,5%	30	83,50
2	1,5%	45	93,20
3	1,5%	30	90,00
4	1,5%	45	95,00
5	1,25%	30	85,30
6	1,25%	45	92,00
7	1,0%	30	82,50
8	1,0%	45	85,80
9	1,25%	60	93,00
10	1,50%	60	95,80

5.5.2 Појава на никел во оксидно - силикатни руди

За металуршки пресметки на никел во оксидно-силикатни минерали може да се прикаже со помош на општа формула: $NiSiO_3 \cdot m MgSiO_3 \cdot n H_2O$ или преку можна трансформација: $(Si_2O_5)^{2-} \rightarrow (SiO_4)^{2-} \rightarrow (SiO_3)^{2-}$; $NiO \cdot 2SiO_2 \rightarrow 2NiO \cdot SiO_2 \rightarrow NiO \cdot SiO_2$; *Olivine* $\rightarrow$ *Piroxen*

Аморфната кристална структура се претвара во стабилна кристална структура. Железото во Ni- носните минерали и руди се појавува како $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ и како нонтронит - nontronite $(Fe, Al)_2(Si_4O_{10})(OH)_2 \cdot nH_2O$. Оксидно-латеритните руди се со Ni-содржина. Генерално, никелот и железото се како Ni-Fe- лимонит $(Fe, Ni)O(OH) \cdot nH_2O$, гарниерит или во облик на талк $(Mg, Ni, Fe)_3Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$.

Согласно на теоријата, факт е дека хидрометалуршките процеси се поприменливи за лимонитните латерити. Иако сапролитните латерити се побогати со никел отколку лимонитните руди, високата содржина на Mg резултира со повисока потрошувачка на киселина. Теоријата потврдува дека примарни хидрометалуршки процеси се Caron process, HPAL (high-pressure acid leaching) или процес за лужење со киселина при атмосферски притисок (atmospheric-pressure acid leaching process). (Крстев А. 2011).

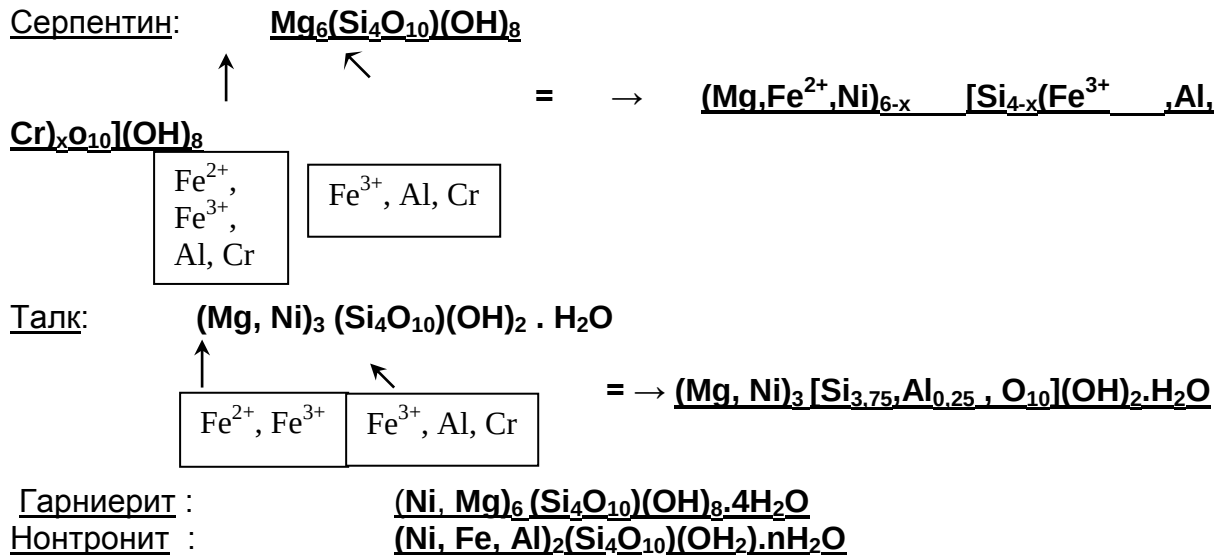
При испитуваниот HPAL, лимонитно мешаните руди се лужат при висок притисок (33-35 bar) и температура од (240-270°C) во автоклавни апарати со брзината на мешање од 450-1500 rpm, со густини на пулпа од 20%, и потрошувачка на киселина или однос на киселина/руда од 200-500 kg/t руди.

Температурите од 250-270 °C како интеракциско влијание на еден фактор, како одговор на друг фактор, А (температура 250 °C) со В (или киселина или киселина/руда 200-500 kg/t руди) влијае за А кон В од – кон + големини (план на експериманти 2^2 или 2^3 или 2^4). Биохидрометалургијата или особено биолужењето, лужењето со бактерии или микробиолошките технологии се ветувачки и просперитетни нови технологии за извлекување на никел од никлоносни латерити (рефракторни руди) користејќи бактерии *chemolithotrophic microorganisms*.

Наспроти горните процесни етапи, постојат многу обиди да се развијат процеси познати како алтернативни процеси кои вклучуваат: Лужење со азотна

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

киселина (Nitric Acid Leaching), Лужење со хлорирачки реагенси (Chlorine Leaching), итн. Експерименталните испитувања помеѓу лужењето и бактериалното лужење се прикажани преку следните резултати: Лужење со *HPAL* process и извлекување од $R_{Ni}\%$ (78,5-94,55%) и бактериално лужење со *chemolithotrophic microorganisms* и извлекувања од $R_{Ni}\%$ (83,5-96%)



Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

• Растворливост на латерит (Ni) – со $\text{NH}_4\text{OH}/\text{H}_2\text{SO}_4$

		REAGENT A				(0,1 – 0,6)/(250-270)				
		REAGENT B				(1,0 – 2,5)/(0.24-0.40)				
K ₁	0.1	0.1	0.6	0.6	0.55	0.55	0.6	0.6	0.58	0.58
K ₂	1.0	2.5	1.0	2.5	2.00	1.75	2.00	1.75	2.5	1.0

Табела 13. Испитувања со HPAL процес

Table 13. Tests with HPAL process

Опит	A	B	R _{Ni} %
1	250	0,24	78,50
2	250	0,40	91,10
3	270	0,24	82,35
4	270	0,40	94,55
5	250	0,32	90,35
6	250	0,28	90,10
7	270	0,32	93,22
8	270	0,28	92,50
9	260	0,40	85,30
10	260	0,24	82,40

		REAGENT A				(0,1 – 0,6)/(1-1.5)				
		REAGENT B				(1,0 – 2,5)/(30-60)				
K ₃	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.1	0.11	0.5	0.6
K ₄	1.0	1.5	1.0	1.5	1.25	1.5	1.25	1.5	2.5	2.5

Табела 14. Испитувања со биолужење

Table 14. Tests with bioleaching

Опит	Дод.	Дни	R _{Ni} %
1	1,5%	30	83,50
2	1,5%	45	92,90
3	1,5%	30	90,35
4	1,5%	45	95,55
5	1,25%	30	82,70
6	1,25%	45	92,00
7	1,0%	30	80,50
8	1,0%	45	85,55
9	1,25%	60	93,85
10	1,50%	60	96,80

5.5.3 Појава на олово во сулфидни-галенитни руди

Главен трошковен фактор во процесите за синтерување и топење при производство на олово Pb е потребата за контрола со која се среќаваме поради постојните строги стандарди за ЗЖС при емисии на сулфурни гасови. Друг битен фактор предизвикан од претходното е појавата на кисели дождови, кои ќе се веројатен резултат при евентуална неконтролира постапка и овозможување на појавата на емисија на гасови. Развиена е постапка за производство на олово метал и елементарен сулфур од галенитни концентрати преку ефикасна метода за ниско-температурно лужење и последователна електролиза. Методата овозможува редукција на оловни емисии и целосна елиминација за создавање на сулфурни гасови. Произведениот елементарен сулфур поекономично се издвојува и складира, отколку производството на сулфурна киселина (H_2SO_4) која се произведува при конвенционални високо-температурни процеси на топење.

Овој хидрометалуршки метод се состои во лужење на галенитни концентрати во флуоросиликатна киселина (H_2SiF_6) со оксиданс водороден пероксид (H_2O_2) и олово диоксид (PbO_2) како оксиданси на температура од $95^{\circ}T$, електролиза на растворот од ($PbSiF_6$) на $35^{\circ}T$ и производство на 99,99%Pb метал, и солвент екстракција за извлекување на сулфур S, оставајќи го одстатокот кој содржи Cu, Ag, и други метали. Сличен е процесот на лужење со флуороборна киселина (HBF_4) и сродна серија, во присуство на оксиданси – тетрафлуор борат ($KB F_4$). Овој метод на лужење со фери/ферит тетрафлуор борат го заменува процесот на топење на галенитни концентрати (*Doe Run Company* – производство на олово, бакар, никел и други метали) (Крстев А. 2011). Биле истражувани и други процеси и методи за лужење користејќи $FeCl_3$, $Fe_2(SO_4)_3$, HNO_3 или *раствори на NH_4 - ацетат*. Растворениот $PbCl_2$, $PbSiF_6$, $PbSO_4$ или $Pb(BF_4)_2$ солите поседуваат многу ограничена растворливост во водени раствори. Реакцијата [3] покажува дека оксидациското лужење на галенит ќе создаде $PbCl_2$, $PbSiF_6$, $PbSO_4$ или $Pb(BF_4)_2$ соли и елементарен сулфур. Како параметри за лужење се користат галенитни концентрати со над 70% Pb со крупност од $-400\ mesh$ или 96% оксиданси H_2O_2 и PbO_2 (можни

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

оксиданси можат да бидат кислород, озон, KBF_4 , HNO_3 или MnO_2); температура на лужење 50-95°; и време на лужење 35-335 min.

- Растворливост на галенит (PbS) – со H_2SiF_6/HBF_4

		REAGENT A						REAGENT B		
K ₉	0.100	0.100	0.100	0.100	0.16	0.235	0.31	0.39	0.455	0.600
K ₁₀	1.000	1.150	1.250	1.300	1.325	1.350	1.500	1.800	2.500	2.500

Табела 15. Влијание на различни количини на оксиданси

Table 15. Influence of different amounts of oxidants

Опит	H_2O_2 ml	PbO_2 gr.	Pb%
1	0.1	18,0	90,0
2	2.6	15,0	91,5
3	5.1	12,0	93,0
4	7.6	9,0	94,5
5	10.1	6,0	96,0
6	12.6	3,0	95,0
7	15.1	1,0	95,0
8	17.6	0,5	96,0

5.6 Општи видувања за постапките за лужење и бактериолошко лужење

Идниот одржлив развој бара мерки за намалување од зависноста од необновливи сировини и за потреби од примарни ресурси. Новите ресурси за метали мора да се развиваат со помош на нови технологии, а покрај тоа, подобрување на веќе постојните рударски технологии кои можат да го подобрат извлекувањето на корисниот метал од лежиштата кои до денес не беа од некој економски интерес. Процесите за добивање на метали базирани на активноста на микроорганизми нудат можност да се добијат метали од минерални ресурси неприфатливи за конвенционалните класични методи. Микроорганизми какви што се бактериите и алгите - fungi ги претвараат металните состојки во нивни водорастворливи облици и претставуваат биокатализатори во овие процеси на лужење. Дополнително, користејќи процеси за микробиолошко растворање, можно е да се извлече метал од индустриските отпади кои можат да послужат како секундарни сировини.

Впрочем, биолужењето е процес опишан како **„растворање на метали од нивните минерали со одредени природни микроорганизми“** или **„користење на микроорганизми да ги трансформираат елементите така што тие можат да се извлечат од сировината или материјалот кога водата се филтрира низ нив“**. Светските резерви на високо-процентни руди исчезнуваат со алармантна брзина согласно со брзата и неверојатна потреба од метали. Сепак, постојат огамни количини на нископроцентни и сиромашни вонбилансни руди кои можат да се експлоатираат. Проблемот е во тоа што извлекувањето на металите од овие руди со примена на класичните процеси и технологии е многу скапа поради високите потреби од скапа енергија и капитални инпути. Втор битен проблем се трошковите од строгите стандарди на ЗЖС поради високиот ниво на загадување од овие технологии. Биотехнологијата е прифатлива како една од најпосакуваното и ветувачко решение за овие проблеми, во споредба со пиromеталургијата, минералната технологија или хемиската металургија. Таа ветува и овозможува драматично намалување на капиталните трошоци. Исто така, нуди прилика да се намали загадувањето на ЖС. Биолошките процеси се изведуваат при лесни и умерени реални услови, обично без додатоци на токсични хемикалии. Производите од

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

овие биолошки процеси завршуваат во водени раствори што е повеќе подложно за прифаќање и третирање отколку гасовитите емисии. Таа е револуционарна технологија која се користи за извлекување на разни метали од нивните руди. Традиционалните методи за екстракција какви што се пржењето и топењето се енергетски и интензивно зависни и бараат висока концентрација на елементите во рудите. Процесот е еколошки прифатлив, создавајќи можност за искористување или излужување од 85-95%.

- Лужење на бакарни минерали (халкопирит)

The screenshot shows a software window titled "Simulator for Tutorial B". It contains two main sections: "Control Variables" and "Response Variables".

Control Variables:

- Reagent A, 0.1-0.6: 0.5 ml
- Reagent B, 1-2.5: 1.95 ml

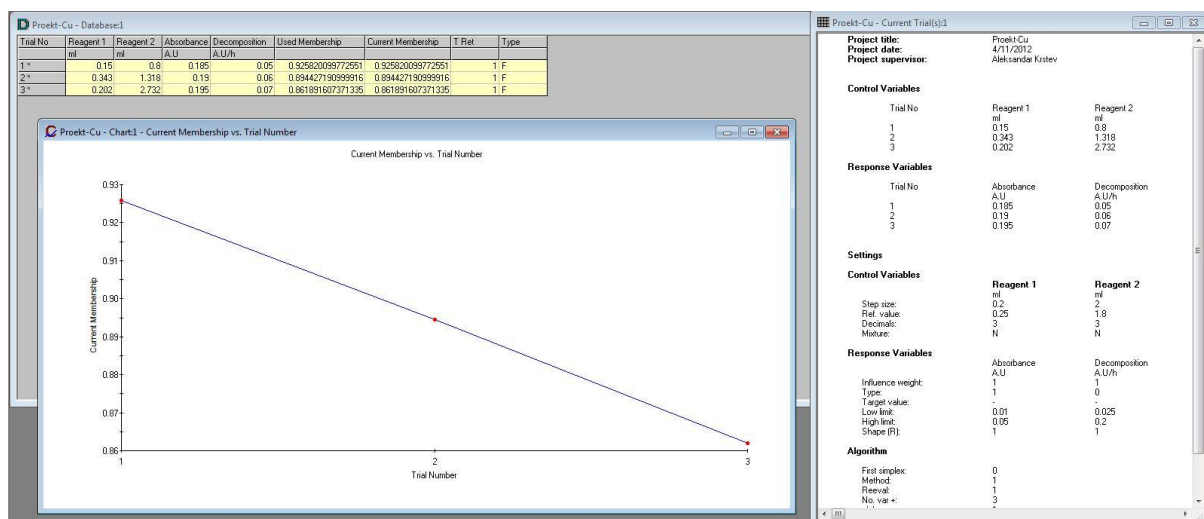
Response Variables:

- Absorbance: 0.185 A.U.
- Decomposition: 0.052 A.U./h

Buttons on the right include "Calc.", "Set", "Close", and "Help".

Слика 26. Внесување на параметри

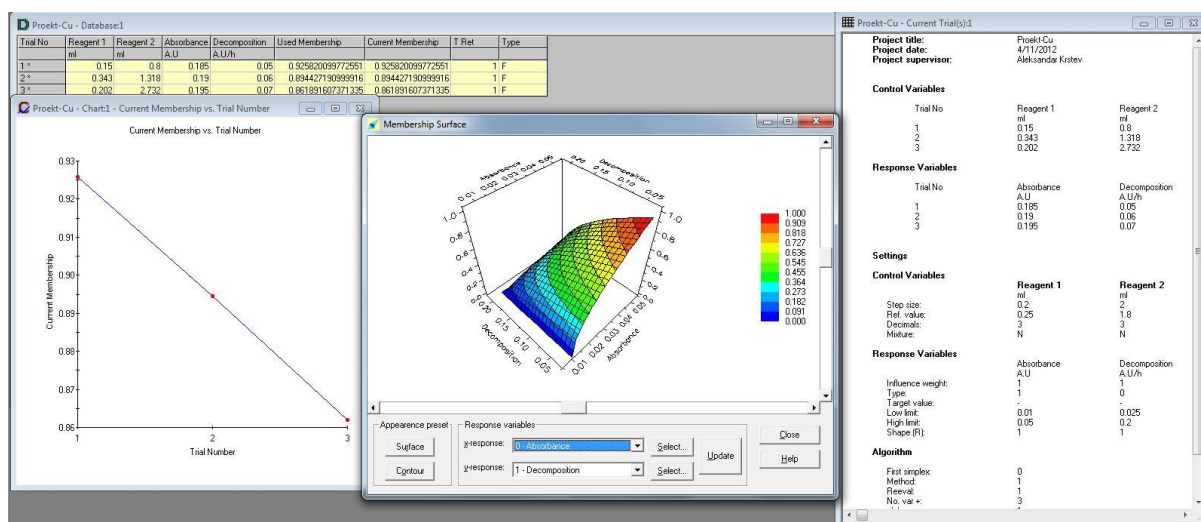
Figure 26. Input parameters



Слика 27. Графички приказ

Figure 27. Graphic display

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови



Слика 28. Графички приказ

Figure 28. Graphic display

- Лужење на бакарни минерали (халкопирит) – бактериолошко

The 'Simulator for Tutorial B' window contains input fields for control and response variables. Control variables include Reagent A (0.5 ml) and Reagent B (1.5 ml). Response variables include Absorbance (0.139 A.U.) and Decomposition (0.045 A.U./h). Buttons for 'Calc.', 'Set', 'Close', and 'Help' are on the right.

Control Variables

Reagent A, 0.1-0.6: ml

Reagent B, 1-2.5: ml

Response Variables

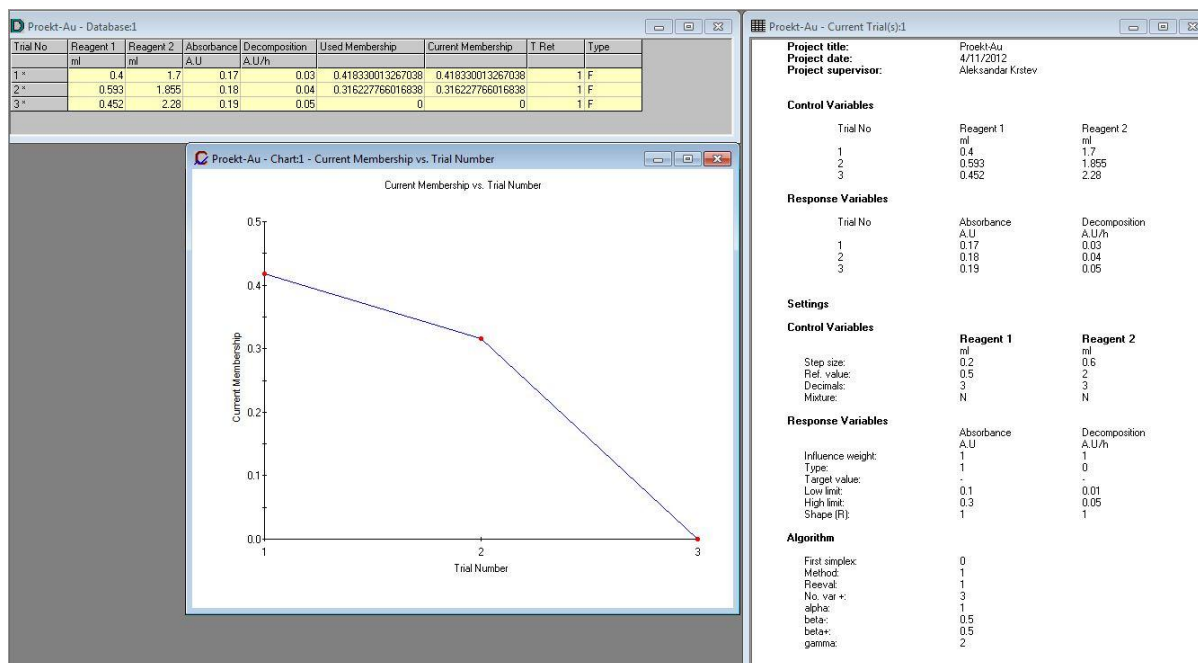
Absorbance: A.U.

Decomposition: A.U./h

Слика 29. Внесување на параметри

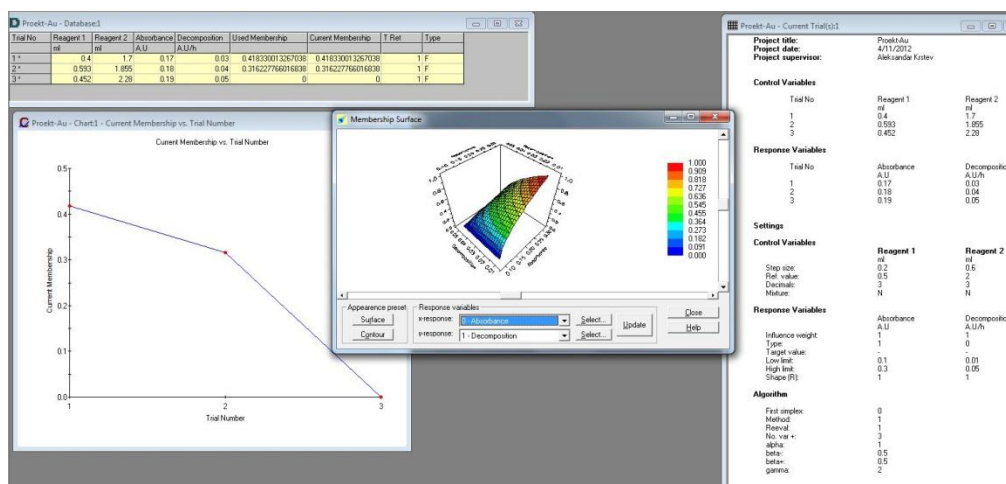
Figure 29. Input parameters

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови



Слика 30. Графички приказ

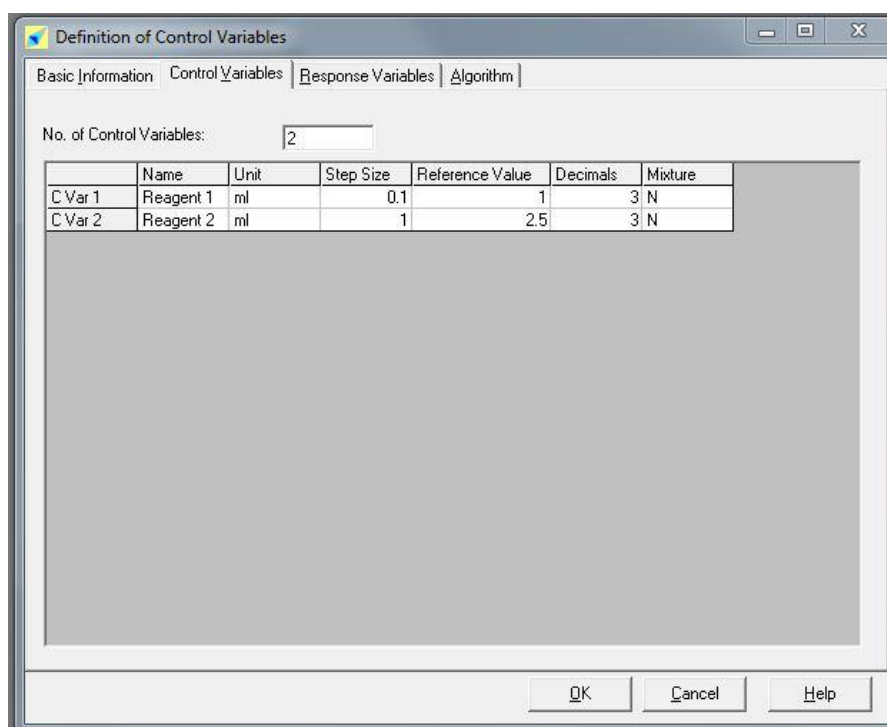
Figure 30. Graphic display



Слика 31. Графички приказ

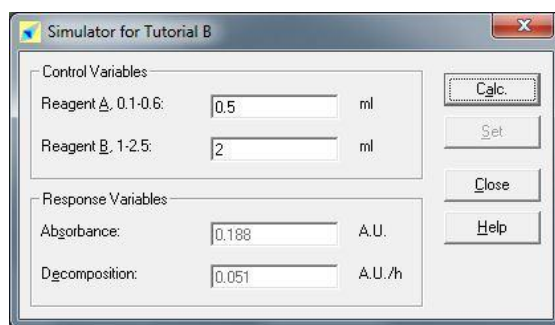
Figure 31. Graphic display

- Лужење на никлови минерали



Слика 32. Внесување на параметри

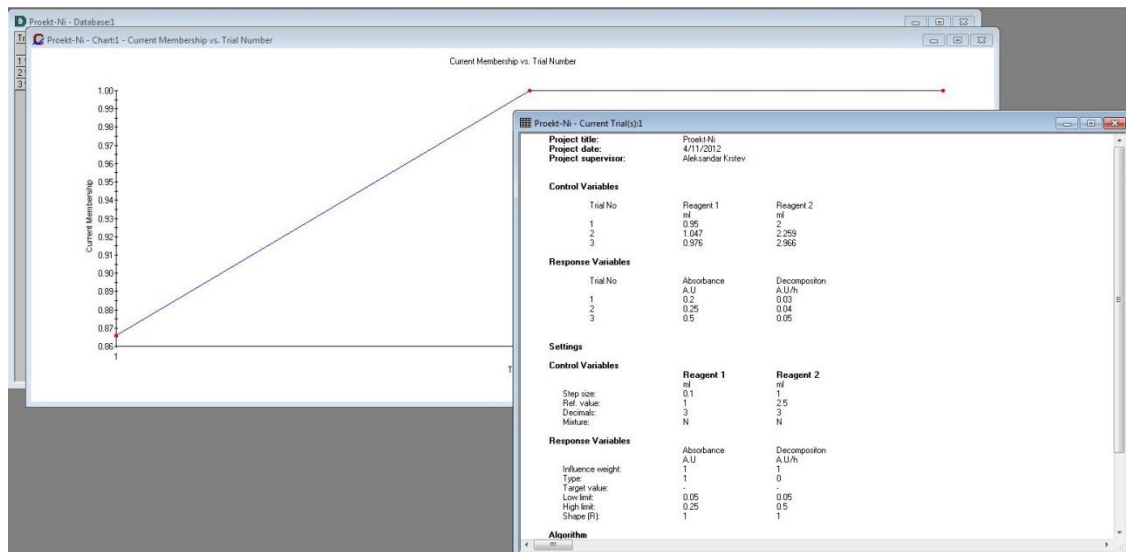
Figure 32. Input parameters



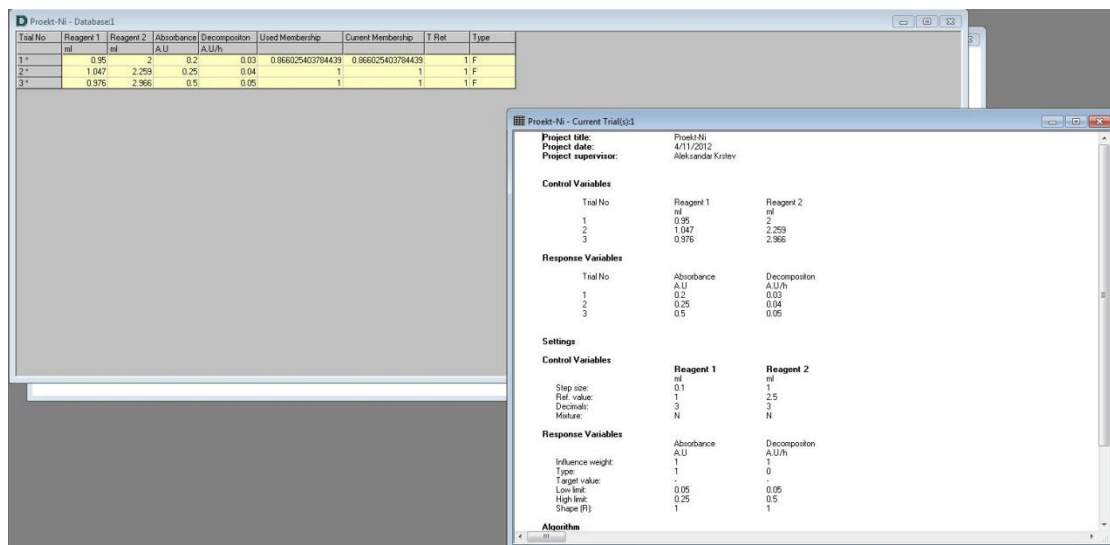
Слика 33. Внесување на параметри

Figure 33. Input parameters

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

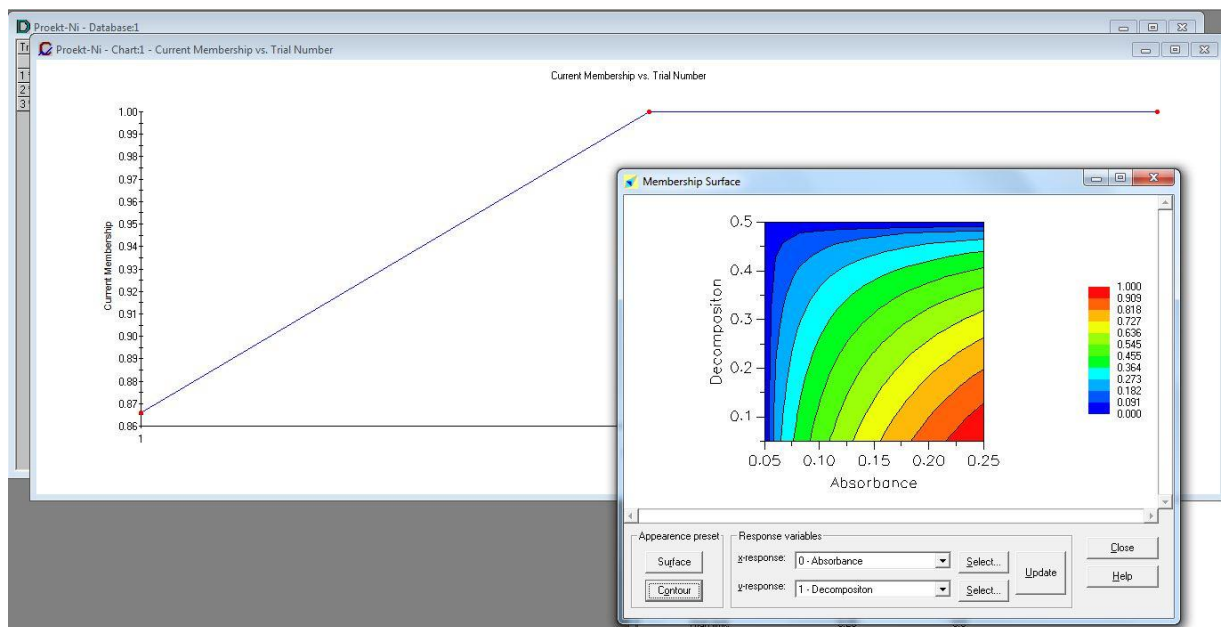


Слика 34. Графички приказ
Figure 34. Graphic display



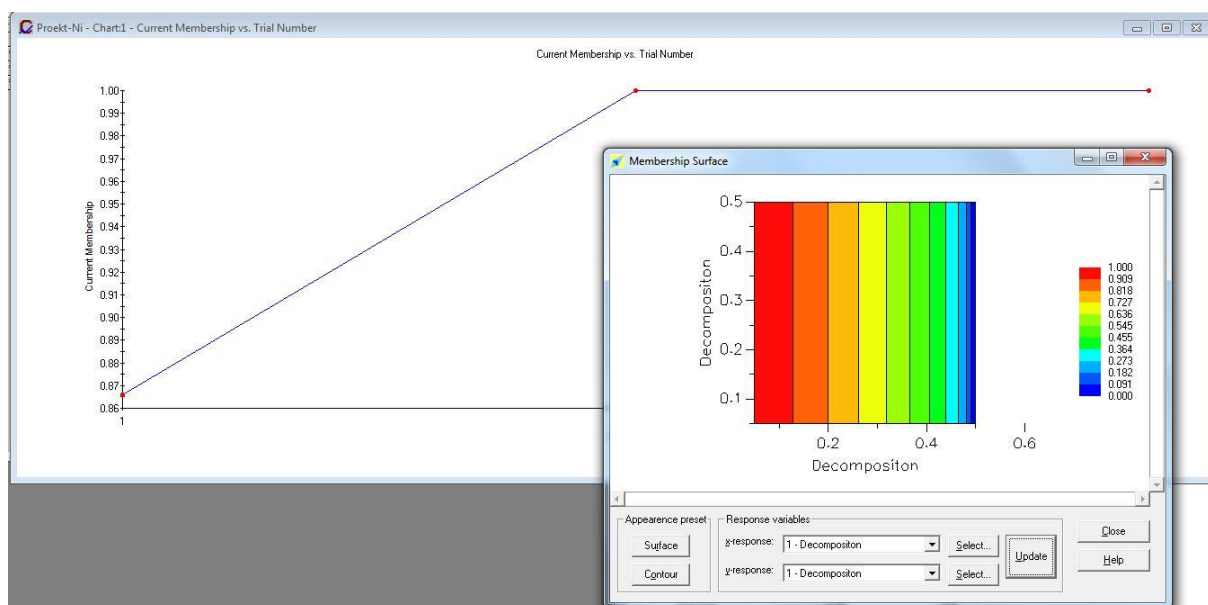
Слика 35. Преглед на податоци
Figure 35. Review of data

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови



Слика 36. Графички приказ

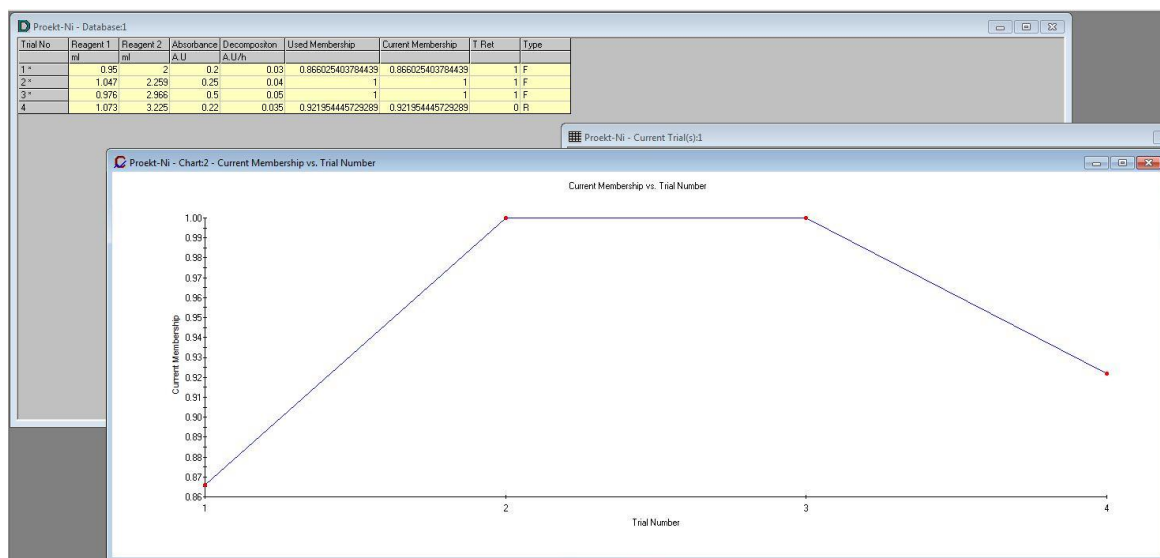
Figure 36. Graphic display



Слика 37. Графички приказ

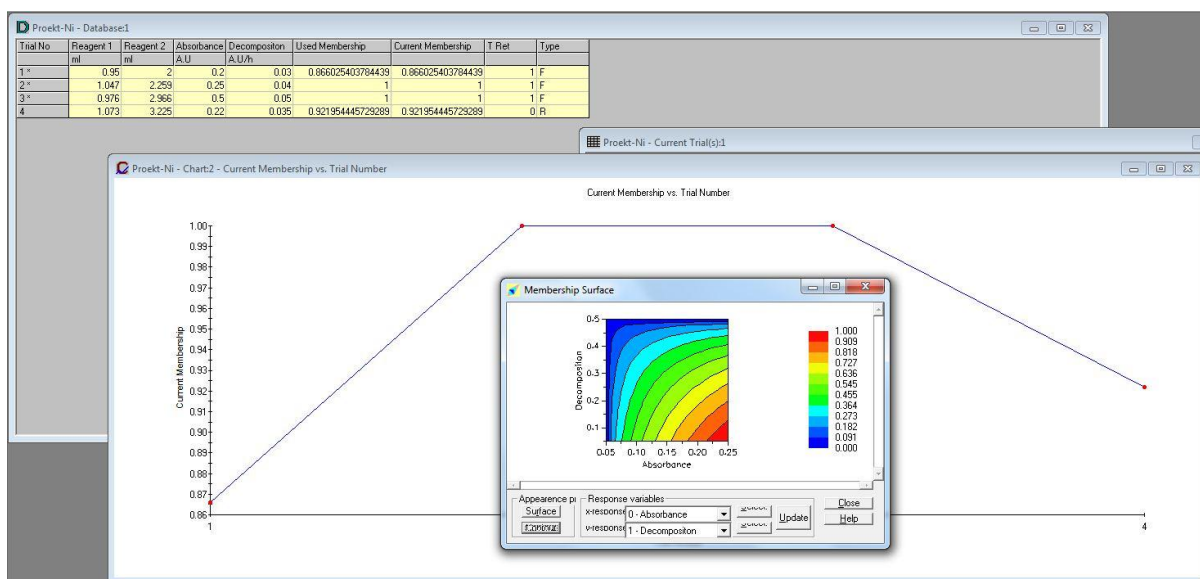
Figure 37. Graphic display

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови



Слика 38. Графички приказ

Figure 38. Graphic display

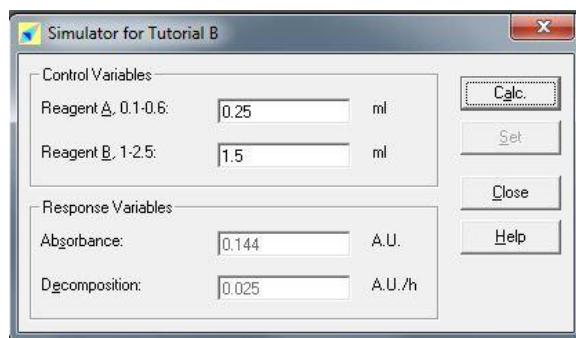


Слика 39. Графички приказ

Figure 39. Graphic display

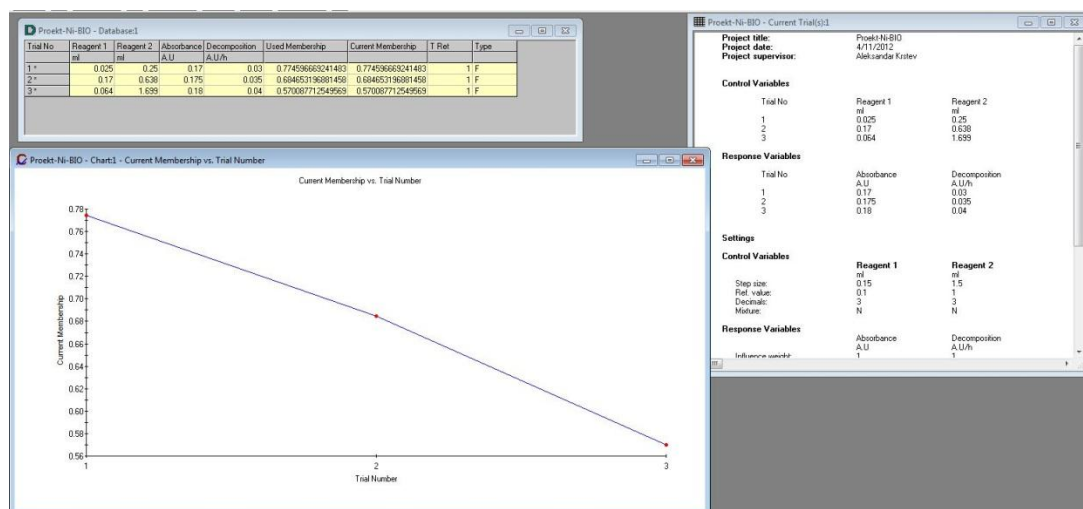
Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

- Лужење на никелови минерали – бактериолошко



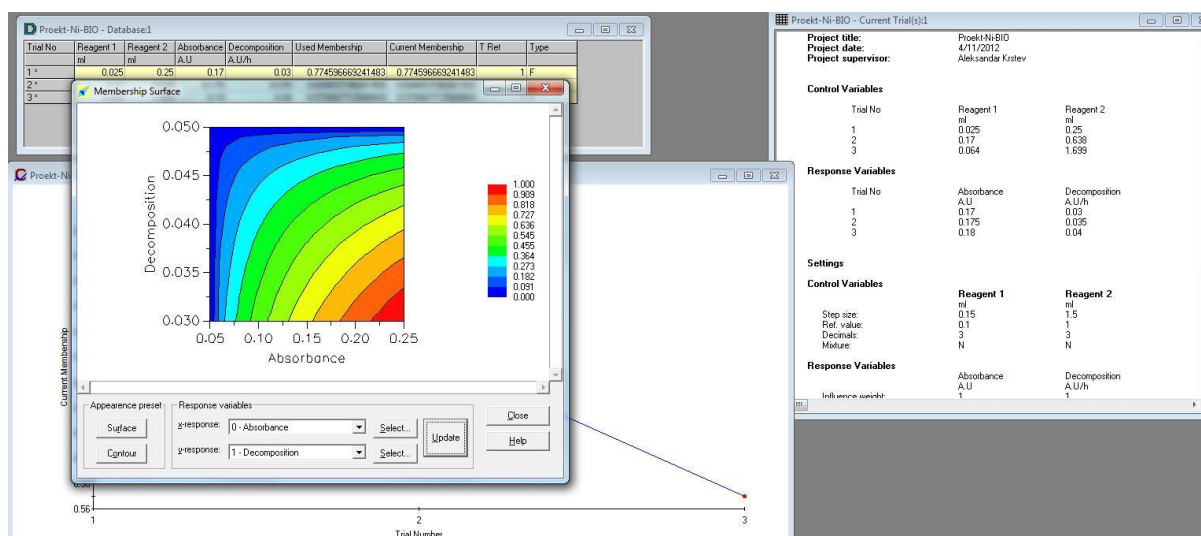
Слика 40. Внесување на параметри

Figure 40. Input parameters



Слика 41. Графички приказ

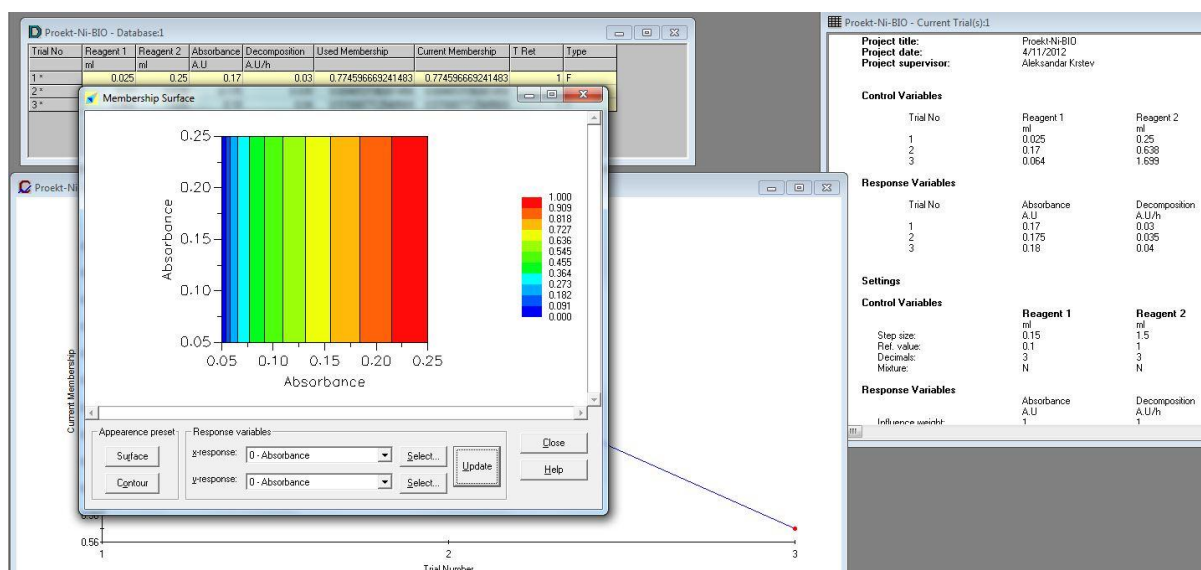
Figure 41. Graphic display



Слика 42. Графички приказ

Figure 42. Graphic display

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови



Слика 43. Графички приказ

Figure 43. Graphic display

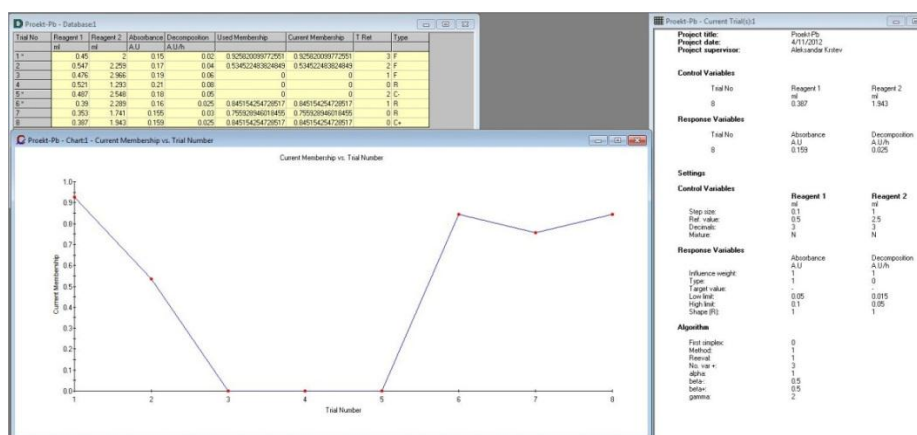
- Лужење на оловни минерали

The screenshot shows the 'Simulator for Tutorial B' window. It contains input fields for Control Variables (Reagent A, Reagent B), Response Variables (Absorbance, Decomposition), and buttons for 'Calc.', 'Set', 'Close', and 'Help'.

Control Variables	Response Variables
Reagent A, 0.1-0.6:	Absorbance:
Reagent B, 1-2.5:	Decomposition:

Слика 44. Внесување на параметри

Figure 44. Input parameters



Слика 45. Графички приказ

Figure 45. Graphic display

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

5.7 Реални услови на флотација - индустриски на халкопиритна руда во период 2010/2011/2012

Предходно изведените лабораториски испитувања со колекторите CYTES и пенливци покажале дека постои можност на значително зголемување на искористувањето на злато во погонот со одржување на постојниот квалитет на концентратот и намалување на потрошувачката на вар CaO. Испитувањата со реагенсите Aerophine 3404, Aero XD 5002 и пенливец OP-F49 во претходните години (2010) траеле пократко поради ниската влезна содржина на бакар во рудата која во тоа време се преработувала. Поради тоа последователните испитувања се терминирани поради големата промена и варијација на содржината на Cu во влезот (опаѓање од 0,22% на 0,15%), како и нестабилноста во реалните услови за дозирање на вар и ниската ефикасност при домелување. И покрај проблемите и краткото време во кое се изведени испитувањата, било можно да се постигнат технолошките показатели во резултатите на бакар, најмалку еднакви на дотогаш стандардните резултати, но резултатите за Au во некои периоди биле одлични. Иако тогаш бил испитуван само колекторот Aerophine 3404, сега се оди кон испитување на комбинација на реагенси кои биле препорачани или одредени преку претходните лабораториски услови (комбинација Aerophine 3404, KEX:KBX= 1:1, NaIPX, SKIK Bz 2000), во различни места од процесот на флотација. (слика – шема флотација). Препорачливи се изведувања за подолги периоди во реални услови во индустриска средина кога целосно ќе се стабилизираат реалните услови и работните параметри. Иако е продолжено со предложена шема во реални услови, поради нестабилност и варијација на влезната содржина на бакар, процесите се продолжени со изменета шема и намалување на pH вредноста со додаток на CaO во основната флотација на 10-10,5 (наспроти стандардната 11,8), а местото на додавање било насочено 70% во преливот од хидроциклонот и 30% во продолженото флотирање. Било многу тешко да се донесе краен заклучок дали во текот на изведувањето на испитувањето биле полоши или подобри резултатите поради нестабилноста на влезните параметри на рудата во реалните услови, не можело да се воочат полоши резултати за бакар и злато Cu/Au.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Содржината на златото во подолг период на испитување се движел од 0,19-0,29 gr/t, а во концентратот од 8-12,3 gr/t, искористување на злато од 45-55% (појава во неколку наврати над 60%), а бакарот во стандардните големини. На база на сите испитувања (лабораториски и индустриски реални услови) се заклучува дека:

- И покрај нестабилноста и релативно кратките периоди на испитувања во реални услови, се постигнале технолошки параметри за бакар најмалку еднакви на стандардните резултати,
- Поради недоволното уситнување при домелувањето, тешко е да се прочисти основниот концентрат кога биле флотирани пиритни срастоци на Cu/Au,
- При повисоки pH, како што се стандардните, во грубото флотирање се флотирало помалку пирит со примена на Aerophine 3404, отколку при стандардниот реагентски режим, па било можно да се очекуваат повисоки содржини и квалитет при слични искористувања на Cu/Au,
- При сегашни стандардни и реални услови, најпогодни услови на работење се при pH 11,0-11,6 и количина на Aerophine 3404 (AP3404) од 18-22 gr/t, како и изменети и прилагодливи на променлив реагентски режим со различни колектори (комбинација Aerophine 3404, KEX:KBX, NaIPX), (слика – шема флотација).
- Продолжени се повремени промени на реагентскиот режим со времени додавања на нови реагенси ($Bz\ 2000 = 4-8\ gr/t + KEX:KBX=1:1 = 8-4\ gr/t$, вкупно 12 gr/t) во мелницата, како и NaIPX во кондиционер 8-10 gr/t, и во процес на флотирање (основно и контролно) 2-4 gr/t, или вкупно околу 14 gr/t NaIPX (кондиционер+ основно и контролно флотирање).
- Резултатите на технолошките показатели на процесот во реалните услови не претрпел позначајни подобрувања од стандардните услови.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 16. Резултати од реални услови во Флотација Бучим 2010

Table 16. Results from real conditions in flotation in Bucim mine 2010

2010 г.	Cu% (r)	Cu% (k)	Cu% (j)	Au gr/t (РУДА)-r	Au gr/t (КОНЦЕНТРАТ)-k
2010/I	0.227	20.90	0.0272	0.193	9.650
2010/II	0.227	21.16	0.0271	0.167	8.321
2010/III	0.224	20.72	0.0268	0.197	10.033
2010/IV	0.225	21.25	0.0268	0.217	10.958
2010/V	0.223	21.26	0.0270	0.152	7.334
2010/VI	0.224	21.33	0.0270	0.188	9.660
2010/VII	0.198	21.21	0.0236	0.187	9.200
2010/VIII	0.229	21.47	0.0274	0.297	14.803
2010/IX	0.222	20.74	0.0270	0.298	14.609
2010/X	0.219	20.05	0.0262	0.268	13.658
2010/XI	0.210	20.68	0.0254	0.252	12.717
2010/XII	0.213	20.59	0.0256	0.194	9.120

Табела 17. Резултати од реални услови во Флотација Бучим 2011

Table 17. Results from real conditions in flotation in Bucim mine 2011

2011 г.	Cu% (r)	Cu% (k)	Cu% (j)	Au gr/t (РУДА)-r	Au gr/t (КОНЦЕНТРАТ)-k
2011/I	0.212	20.54	0.0255	0.183	8.751
2011/II	0.205	20.68	0.0258	0.228	11.247
2011/III	0.188	20.85	0.0247	0.243	11.979
2011/IV	0.207	20.98	0.0252	0.197	9.692
2011/V	0.221	20.77	0.0259	0.205	9.534
2011/VI	0.215	20.90	0.0239	0.217	9.660
2011/VII	0.198	21.21	0.0236	0.187	10.246
2011/VIII	0.227	21.44	0.0261	0.209	9.797
2011/IX	0.238	21.10	0.0270	0.195	9.501
2011/X	0.223	20.46	0.0270	0.176	8.585
2011/XI	0.214	20.95	0.0259	0.172	8.345
2011/XII	0.226	21.08	0.0271	0.185	9.067

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 18. Резултати од реални услови во Флотација Бучим 2010

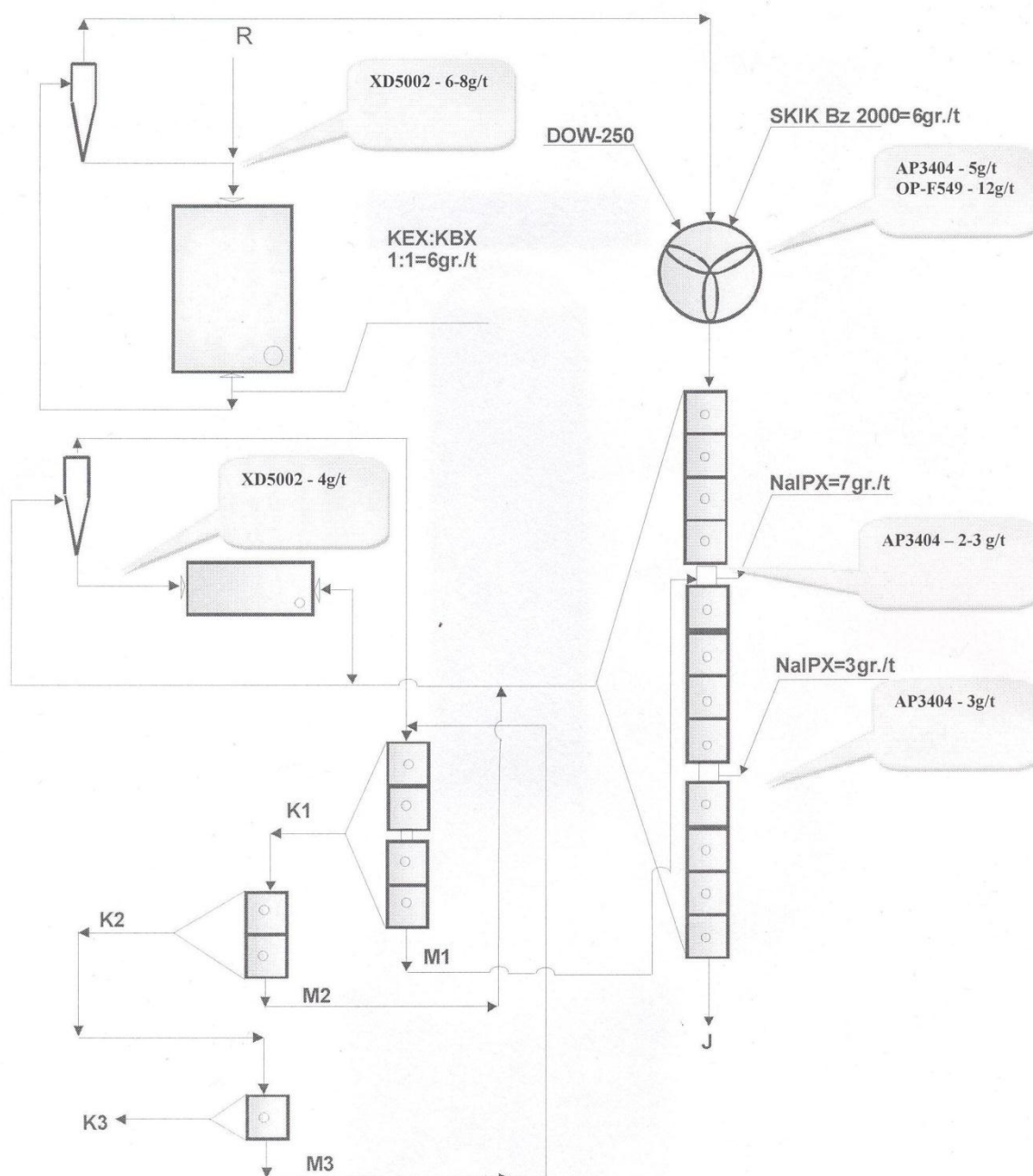
Table 18. Results from real conditions in flotation in Bucim mine 2010

2010 г.	I _{Cu} (%)	k/r	I _{Au} (%)	k/r
2010/I	88.11	92.07	43.50	50.00
2010/II	88.19	93.22	34.57	49.82
2010/III	88.15	92.50	44.46	50.93
2010/IV	89.15	94.44	49.79	50.50
2010/V	87.99	95.33	37.68	48.25
2010/VI	88.08	95.22	41.19	51.38
2010/VII	88.05	107.12	47.03	49.20
2010/VIII	88.12	93.75	61.30	49.84
2010/IX	87.90	93.42	59.09	49.00
2010/X	88.16	91.55	61.15	50.96
2010/XI	88.03	98.47	52.83	50.46
2010/XII	88.26	96.67	43.86	47.01

Табела 19. Резултати од реални услови во Флотација Бучим 2011

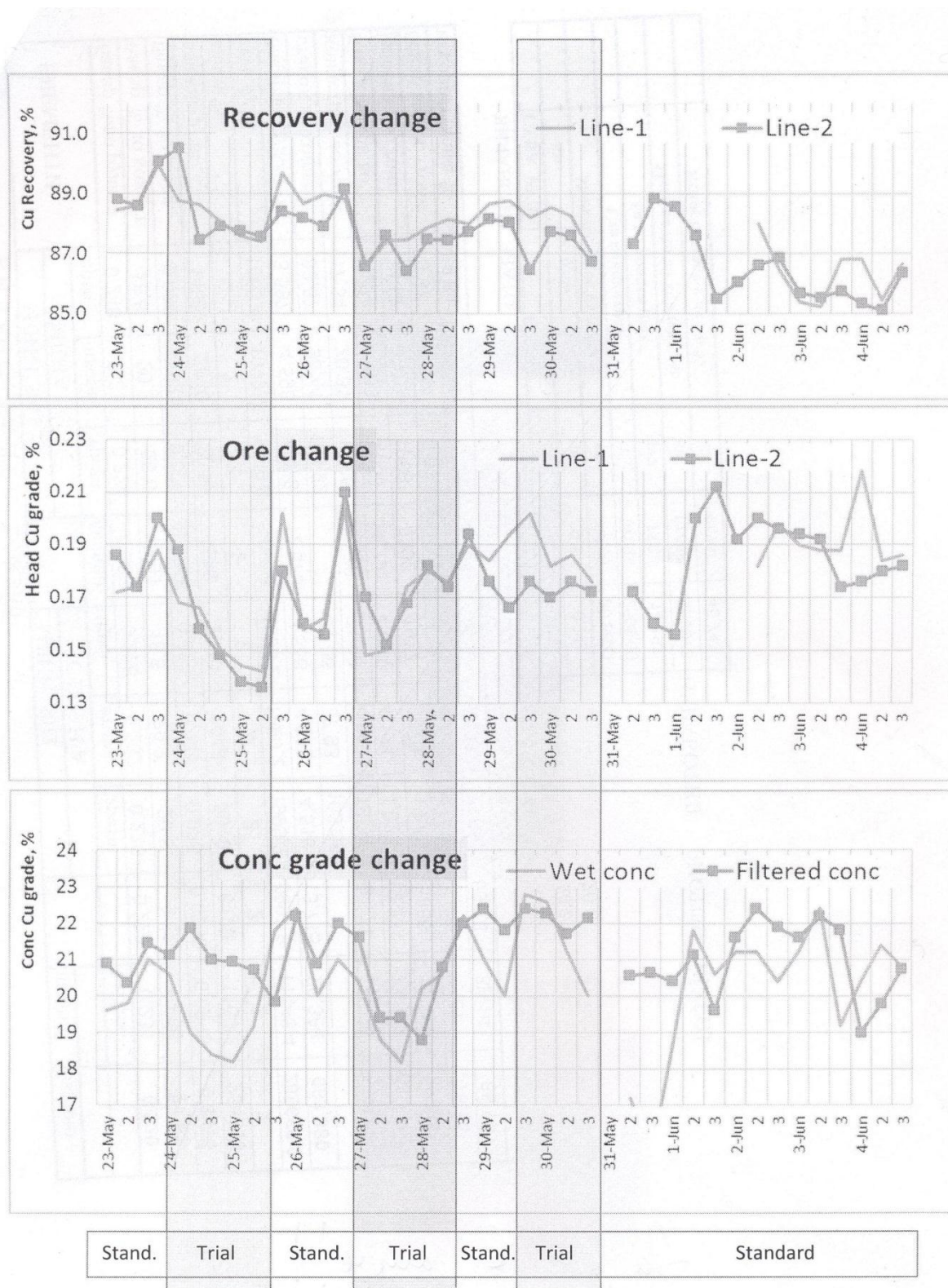
Table 19. Results from real conditions in flotation in Bucim mine 2011

2010 г.	I _{Cu} (%)	k/r	I _{Au} (%)	k/r
2010/I	88.07	96.89	44.42	47.82
2010/II	87.46	100.88	47.90	49.33
2010/III	86.95	110.90	58.86	49.30
2010/IV	87.87	101.35	47.62	49.20
2010/V	88.34	93.98	43.25	46.51
2010/VI	88.95	97.21	45.26	44.52
2010/VII	88.16	107.12	47.23	54.80
2010/VIII	87.84	94.45	43.07	46.87
2010/IX	88.74	88.65	44.04	48.72
2010/X	87.99	91.75	43.70	48.78
2010/XI	87.62	97.90	42.99	48.52
2010/XII	88.14	93.27	40.82	49.01



Слика 46. Реагентски режим на флотација Бучим
Figure 46. Reagent mode flotation in Bucim mine

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови



Слика 47. Добиени резултати во реални услови
 Figure 47. Obtained results in real terms

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

5.7.1 Лабораториски испитувања за бакар и злато (Cu/Au) во рудник Бучим со план на експерименти

Во периодот од 2010-2012 во флотацијата на Рудникот Бучим се вршени испитувања со промена на реагентскиот режим, меливоста на рудата и други параметри, кои влијаат на искористувањето и квалитет на бакарот и златото во концентратот.

Табела 20. Стандардни услови за флотација во Бучим
Table 20. Standard conditions for flotation in Bucim mine

Опит	Колектори, тип	Колектори, gr/t	pH	Пенливци, тип	Пенливци, gr/t
T – 1	BZ+KEX+KBX+NaIPX	22	11.8	DowF	20
T - 2	BZ+KEX+KBX+NaIPX	22	11.8	OP 549	20

Табела 21. Испитувани услови за флотација–план експерименти (DOE)
Table 21. Investigated conditions for flotation - plan experiments (DOE)

Опит	Колектори, тип	Колектори,gr/t	pH	Пенливци,тип	Пенливци,gr/t
T – 1	BZ+KEX+KBX+NaIPX	22	11.8	DowF	20
T - 2	BZ+KEX+KBX+NaIPX	22	11.8	OP 549	20
R-1	Aero MX-950	16	10.5	OP 549	20
R-2	AP-3418A	16	9.5		
R-3	Aero MX-5127	16	10.5		
R-4	AP-3418A	16	10.5		
R-5	5002	22	9.5		
R-6	5002	16	10.5		
R-7	AP-3418A	22	10.5		
R-8	Aero MX-950	22	9.5		
R-9	3404	16	9.5		
R-10	AP-3418A	22	9.5		
R-11	Aero MX-950	22	10.5		
R-12	Aero MX-5127	22	9.5		
R-13	3404	22	10.5		
R-14	5002	16	9.5		
R-15	5002	22	10.5		
R-16	Aero MX-5127	16	10.5		
R-17	Aero MX-950	16	9.5		
R-18	3404	16	9.5		
R-19	3404	22	10.5		
R-20	Aero MX-5127	22	9.5		
R-21(R-17)'	Aero MX-950	16	9.5		
R-22(R-11)'	Aero MX-950	22	10.5		
R-23(R-7)'	AP-3418A	22	10.5		

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 22. Испитувања со план експерименти за бакар
Table 22. Tests with a plan experiments on copper

Опит	Квалитет, Cu%			Искористување, Cu%	
	r	k	j	K	J
T – 1	0.29	2.3	0.053	83.4	16.6
T - 2	0.31	2.8	0.050	85.6	14.4
R-1	0.28	2.4	0.038	87.9	13.1
R-2	0.29	2.5	0.031	90.5	9.5
R-3	0.27	2.4	0.049	83.7	16.3
R-4	0.32	3.0	0.034	90.5	9.5
R-5	0.26	2.4	0.034	88.5	11.5
R-6	0.31	2.7	0.044	87.3	12.7
R-7	0.29	3.2	0.036	88.8	11.2
R-8	0.30	3.0	0.035	89.4	10.6
R-9	0.30	3.2	0.045	86.5	13.5
R-10	0.27	1.7	0.035	89.1	10.9
R-11	0.27	2.3	0.028	90.7	9.3
R-12	0.25	2.8	0.031	88.5	11.5
R-13	0.27	3.6	0.031	89.4	10.6
R-14	0.27	3.0	0.028	90.5	9.5
R-15	0.26	2.2	0.025	91.6	8.4
R-16	0.25	2.1	0.031	89.2	10.8
R-17	0.27	3.0	0.030	89.8	10.2
R-18	0.27	2.6	0.029	90.1	9.9
R-19	0.26	3.0	0.027	90.4	9.6
R-20	0.24	1.9	0.028	89.5	10.5
R-21(R-17)'	0.25	3.1	0.027	90.2	9.8
R-22(R-11)'	0.25	2.2	0.029	89.8	10.2
R-23(R-7)'	0.25	2.9	0.024	91.1	8.9

Испитувањата на пробите од R-1 ÷ R-23 покажуваат дека новите понудени колектори при намалени pH вредности покажуваат задоволителни резултати за искористување на бакар и злато (Табела 20. И Табела 21.) и се реалативно повисоки од индустриски добиените резултати за 2010 година (Табела 22). Сепак потребните испитувања при различни услови изведени при адекватни услови, донекаде ги потврдуваат индустриските резултати во 2011/2012 година.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 23. Испитувања со план експерименти за злато
Table 23. Tests with a plan experiments on gold

Опит	Квалитет, (k ,r), Au (ppm)		Извлекување (K,J), Au (%)	
T – 1	1.40	0.26	56.1	43.9
T - 2	1.49	0.29	49.8	50.2
R-1	1.05	0.25	43.4	56.6
R-2	1.58	0.27	63.1	36.9
R-3	1.52	0.31	47.2	52.8
R-4	1.55	0.26	58.2	41.8
R-5	1.51	0.28	51.9	48.1
R-6	1.59	0.30	52.6	47.4
R-7	1.81	0.27	55.1	44.9
R-8	2.16	0.27	69.7	30.3
R-9	2.36	0.28	70.0	30.0
R-10	1.24	0.28	63.5	36.5
R-11	1.50	0.26	61.5	38.5
R-12	2.47	0.28	72.7	27.3
R-13	2.84	0.31	61.2	38.8
R-14	2.10	0.27	63.2	36.8
R-15	1.44	0.28	58.5	41.5
R-16	1.32	0.27	53.2	46.8
R-17	1.98	0.29	55.4	44.6
R-18	2.06	0.26	72.6	27.4
R-19	2.48	0.27	72.9	27.1
R-20	1.38	0.27	56.9	43.1
R-21(R-17)'	1.91	0.26	54.0	46.0
R-22(R-11)'	1.61	0.26	65.2	34.8
R-23(R-7)'	1.96	0.25	62.5	37.5

5.7.2 Лабораториски испитувања за бакар и злато (Cu/Au) во рудник Бучим

Опитите од R1-R6 се однесуваат на меливост на рудата, во присуство на BZ2000 (7 gr/t), кондиционирање (6 минути) со BZ2000 (5 gr/t) + DowF (10 gr/t) по 4 минути, основно флотирање (4 минути), и контролно флотирање (4+4 минути) (NaIPX 6+4 gr/t + DowF 5+5 gr/t).

Опитите R7-R10 се однесуваат на мелење на рудата, во присуство на KEX:KBX= 8 gr/t, кондиционирање (6 минути) со BZ2000 (4 gr/t) + DowF (10 gr/t) по 4 минути, основно флотирање (4 минути), и контролно флотирање (4+4 минути) (NaIPX 8+4 gr/t + DowF 5+5 gr/t).

Опитите R11-R18 се однесуваат на мелење на рудата, во присуство на KEX:KBX= 6 gr/t, кондиционирање (6 минути) со KEX:KBX (4 gr/t) + DowF (10

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

gr/t) по 4 минути, основно флотирање (4 минути), и контролно флотирање (4+4 минути) (NaIPX 8+4 gr/t + DowF 5+5 gr/t), како и варијанти со кондиционирање (6 минути) со BZ2000 (4 gr/t) + диспергатор (50 gr/t), односно варијанта со BZ2000 во сите фази: кондиционирање, основно и контролно флотирање.

Опитите R19-R26 се однесуваат на мелење на рудата, во присуство на BZ2000 = 7 gr/t, кондиционирање (6 минути) со BZ2000 (5 gr/t) + DowF (10 gr/t) по 4 минути, основно флотирање (4 минути), и контролно флотирање (4+4 минути) (NaIPX 6+6 gr/t + DowF 5+5 gr/t), како и варијанти со кондиционирање (6 минути) со BZ2000 (4 gr/t) + диспергатор (100 и 150 gr/t), односно варијанта со BZ2000 во сите фази: кондиционирање, основно и контролно флотирање.

Табела 24. Испитувани услови за бакар флотација–план експерименти (DOE)
Table 24. Investigated conditions for flotation for copper - plan experiments (DOE)

Опит	Колектори, тип	Колектори, gr/t	pH	-200#, %	Време, минути
R-1	BZ 2000+BZ2000+NaIPX	22	11.75	42.90	15
R-2	BZ 2000+BZ2000+NaIPX	22	11.75	44.90	15
R-3	BZ 2000+BZ2000+NaIPX	22	11.75	48.10	18
R-4	BZ 2000+BZ2000+NaIPX	22	11.75	49.10	18
R-5	BZ 2000+BZ2000+NaIPX	22	11.75	54.30	21
R-6	BZ 2000+BZ2000+NaIPX	22	11.75	55.60	21
R-7	KEX:KBX + BZ2025+NaIPX	24	11.80	50.00	
R-8	KEX:KBX + BZ2025+NaIPX	24	11.80	50.00	
R-9	KEX:KBX + BZ2025+NaIPX	24	11.80	50.00	
R-10	KEX:KBX + BZ2025+NaIPX	24	11.80	50.00	
R-11	KEX:KBX +KEX:KBX+NaIPX	22	11.80		
R-12	KEX:KBX +KEX:KBX+NaIPX	22	11.80		
R-13	KEX:KBX +KEX:KBX+NaIPX	22	11.80		
R-14	KEX:KBX +KEX:KBX+NaIPX	22	11.80		
R-15	BZ 2000+BZ2000+NaIPX	22	11.80		
R-16	BZ 2000+BZ2000+NaIPX	22	11.80		
R-17	BZ 2000+BZ2000+BZ2000	22	11.80		
R-18	BZ 2000+BZ2000+BZ2000	22	11.80		
R-19	BZ 2000+BZ2000+NaIPX	24	11.75		
R-20	BZ 2000+BZ2000+NaIPX	24	11.75		
R-21	BZ 2000+BZ2000+NaIPX+d	24	11.75		
R-22	BZ 2000+BZ2000+NaIPX+d	24	11.75		
R-23	BZ 2000+BZ2000+NaIPX	20	11.75		
R-24	BZ 2000+BZ2000+NaIPX	20	11.75		
R-25	BZ 2000+BZ2000+NaIPX+d	20	11.75		
R-26	BZ 2000+BZ2000+NaIPX+d	20	11.75		

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 25. Испитувања со план експерименти за бакар
Table 25. Tests with a plan experiments on copper

Опит	Квалитет, Cu%			Искористување, Cu%	
	r	k	j	K	J
R-1	0.190	2.40	0.038	81.29	18.71
R-2	0.175	3.42	0.043	76.42	23.58
R-3	0.186	2.16	0.034	83.34	16.66
R-4	0.194	2.22	0.027	87.12	12.88
R-5	0.211	3.38	0.022	90.14	9.86
R-6	0.237	3.82	0.024	90.45	9.55
R-7	0.249	4.00	0.031	88.25	11.75
R-8	0.251	6.40	0.031	88.06	11.94
R-9	0.250	4.60	0.031	88.21	11.79
R-10	0.247	4.82	0.029	88.79	11.21
R-11	0.282	8.60	0.077	73.31	26.69
R-12	0.308	8.40	0.075	76.34	23.66
R-13	0.292	8.00	0.070	76.70	23.30
R-14	0.290	8.40	0.069	76.82	23.18
R-15	0.297	7.60	0.075	75.49	24.51
R-16	0.301	8.40	0.072	76.74	23.26
R-17	0.301	5.40	0.083	73.56	26.44
R-18	0.297	8.20	0.082	73.13	26.87
R-19	0.180	3.40	0.025	86.77	13.23
R-20	0.178	3.46	0.023	87.67	12.33
R-21	0.187	4.88	0.023	88.14	11.86
R-22	0.187	4.22	0.025	87.14	12.86
R-23	0.184	2.10	0.031	84.41	15.59
R-24	0.196	3.30	0.030	85.44	14.56
R-25	0.194	3.52	0.032	84.27	15.73
R-26	0.203	3.64	0.033	84.54	15.46

Групата на опити (R1÷R-6), (R7÷R-10), (R11÷R-18) и (R19÷R-26) изведени во лабораториски услови покажале задоволителни резулти со зголемување на времето на мелење, додека останатите резултати се на нивото на индустриски добиените при примена на разни колекторски комбинации под реагенти при стандардна pH вредност (Табела 25.)

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 26. Испитувани услови за флотација (злато)–план експерименти
Table 26. Investigated conditions for flotation for gold - plan experiments

Опит	Колектори, тип	Колектори, gr/t	pH
A-1	BZ 2000+Naskol+NaIPX	22	11.75
A-2	BZ 2000+Naskol+NaIPX	22	11.75
A-3	KEX:KBX +NaIPX	18	11.75
A-4	KEX:KBX + NaIPX	18	11.75
A-5	KEX:KBX +NaIPX	22	11.80
A-6	KEX:KBX + NaIPX	22	11.80
A-7	KEX:KBX+BZ 2000 +NaIPX	22	11.80
A-8	KEX:KBX+BZ 2000 + NaIPX	22	11.80
A-9	Naskol+NaIPX	22	10.60
A-10	Naskol+NaIPX	22	10.60
A-11	KEX:KBX + Naskol	22	11.80
A-12	KEX:KBX + Naskol	22	11.80
A-13	KEX:KBX + NaIPX	16	11.80
A-14	KEX:KBX + NaIPX	16	11.80
A-15	KAX + NaIPX	22	11.80
A-16	KAX + + Naskol + NaIPX	22	11.80

Табела 27. Испитувања со план експерименти за злато
Table 27. Tests with a plan experiments on gold

Опит	Квалитет, (k ,r, j), Au (gr/t)			Извлекување (K,J), Au (gr/t)	
A-1	5.700	0.281	0.170	40.63	59.37
A-2	4.200	0.279	0.170	40.67	59.33
A-3	4.800	0.278	0.160	43.98	56.02
A-4	5.200	0.264	0.150	44.38	55.62
A-5	5.500	0.320	0.110	66.99	33.01
A-6	5.800	0.390	0.120	70.68	29.32
A-7	4.300	0.308	0.100	69.13	30.87
A-8	4.200	0.261	0.090	66.89	33.11
A-9	4.000	0.303	0.100	68.69	31.31
A-10	4.000	0.339	0.120	66.62	33.38
A-11	3.600	0.269	0.110	60.94	39.06
A-12	4.200	0.272	0.110	61.09	38.91
A-13	4.900	0.335	0.120	65.80	34.20
A-14	5.100	0.391	0.130	68.49	31.51
A-15	3.400	0.165	0.025	85.48	14.52
A-16	3.700	0.242	0.050	80.39	19.61

Опитите од A1-A16 се изведени при разни услови на колектори, кондиционирање, основно и контролно флотирање, со реагентски режим прикажан во горните табели.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 28. Стандардни услови за флотација во Бучим

Table 28. Standard conditions for flotation in Bucim mine

Опит	Колектори, тип	Колектори, gr/t	pH	Пенливци, тип	Пенливци, gr/t
T – 1	BZ+KEX+KBX+NaIPX	22	11.8	DowF	20
T - 2	BZ+KEX+KBX+NaIPX	22	11.8	OP 549	20

Табела 29. Испитувани услови за флотација–план експерименти (DOE) 2011/12

Table 29. Investigated conditions for flotation - plan experiments (DOE) 2011/12

Опит	Колектори, тип	Колектори, gr/t	pH	Пенливци, тип	Пенливци, gr/t
T – 1	BZ+KEX+KBX+NaIPX	22	11.8	DowF	20
T - 2	BZ+KEX+KBX+NaIPX	22	11.8	OP 549	20
O-1	Aerophine 3404 (70%)	16	10.5	DowF	20
O-2	Aerophine 3404 (70%)	16	9.5		
O-3	Aerophine 3404 (70%)	18	10.5		
O-4	Aerophine 3404 (70%)	18	9.5		
O-5	Aerophine 3404 (70%)	20	10.5		
O-6	Aerophine 3404 (70%)	20	9.5		
O-7	Aerophine 3404 (70%)	22	10.5		
O-8	Aerophine 3404 (70%)	22	9.5		
O-9	Aerophine 3404 (70%)	20	11.5		
O-10	Aerophine 3404 (70%)	22	11.5		

Табела 30. Испитувани услови за флотација – план експерименти (DOE) 2011/12

Table 30. Investigated conditions for flotation - plan experiments (DOE) 2011/12

Опит	Колектори, тип	Колектори, gr/t	pH	Пенливци, тип	Пенливци, gr/t
T – 1	BZ+KEX+KBX+NaIPX	22	11.8	DowF	20
T - 2	BZ+KEX+KBX+NaIPX	22	11.8	OP 549	20
O'-1	Aerophine (3404+5002) (1:1) 50%	16	11.0	DowF	20
O'-2	Aerophine (3404+5002) (1:1) 50%	16	10.0		
O'-3	Aerophine (3404+5002) (1:1) 50%	18	11.0		
O'-4	Aerophine (3404+5002) (1:1) 50%	18	10.0		
O'-5	Aerophine (3404+5002) (1:1) 50%	20	11.0		
O'-6	Aerophine (3404+5002) (1:1) 50%	20	10.0		
O'-7	Aerophine (3404+5002) (1:1) 50%	22	11.0		
O'-8	Aerophine (3404+5002) (1:1) 50%	22	10.0		
O'-9	Aerophine (3404+5002) (1:1) 50%	16	10.5		
O'-10	Aerophine (3404+5002) (1:1) 50%	22	10.5		

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 31. Испитувања со план експерименти за бакар 2011/12

Table 31. Tests with a plan experiments on copper 2011/12

Опит	Квалитет, Cu%			Искористување, Cu%	
	r	k	j	K	J
T – 1	0.29	2.3	0.053	83.4	16.6
T - 2	0.31	2.8	0.050	85.6	14.4
O-1	0.21	20.54	0.025	88.20	11.80
O-2	0.20	20.68	0.025	87.60	12.40
O-3	0.19	20.85	0.024	87.46	12.54
O-4	0.20	20.98	0.022	89.09	10.91
O-5	0.22	20.77	0.019	91.45	8.55
O-6	0.21	20.90	0.020	90.56	9.44
O-7	0.20	21.21	0.020	90.08	9.92
O-8	0.22	21.44	0.017	92.34	7.66
O-9	0.23	21.10	0.017	92.68	7.32
O-10	0.22	20.46	0.017	92.39	7.61

Табела 32. Испитувања со план експерименти за злато 2011/12

Table 32. Tests with a plan experiments on gold 2011/12

Опит	Квалитет, (k ,r), Au (ppm)		Извлекување (K,J), Au (%)	
T – 1	1.40	0.26	56.1	43.9
T - 2	1.49	0.29	49.8	50.2
O-1	2.20	0.22	38.83	61.17
O-2	2.45	0.24	44.20	55.80
O-3	1.95	0.23	46.60	53.40
O-4	2.50	0.19	33.46	66.54
O-5	2.80	0.18	40.07	59.93
O-6	2.25	0.20	34.60	65.40
O-7	1.90	0.23	51.05	48.95
O-8	2.45	0.20	42.06	57.94
O-9	1.95	0.19	36.54	63.46
O-10	2.75	0.21	35.11	64.89

Испитувањата при зададени услови од Табела 29. И Табела 30., резултираат со добивање на податоци кои и покрај очекуваните повисоки резултати, особено за искористувањето на злато со нови комбинации на колектори не вродија со плод, освен за резултатите за бакар (Табела 31., Табела 33.)

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 33. Испитувања со план експерименти за бакар 2011/12
Table 33. Tests with a plan experiments on copper 2011/12

Опит	Квалитет, Cu%			Искористување, Cu%	
	r	k	j	K	J
T – 1	0.29	2.3	0.053	83.4	16.6
T - 2	0.31	2.8	0.050	85.6	14.4
O'-1	0.22	20.55	0.021	90.55	9.45
O'-2	0.22	21.25	0.020	89.72	10.28
O'-3	0.23	20.70	0.018	92.25	7.75
O'-4	0.22	21.30	0.020	90.99	9.01
O'-5	0.20	21.70	0.023	88.59	11.41
O'-6	0.23	20.40	0.024	89.66	10.34
O'-7	0.22	20.75	0.018	91.90	8.10
O'-8	0.22	20.55	0.021	90.54	9.46
O'-9	0.21	22.80	0.020	90.55	9.45
O'-10	0.21	22.50	0.018	91.73	8.27

Табела 34. Испитувања со план експерименти за злато 2011/12
Table 34. Tests with a plan experiments on gold 2011/12

Опит	Квалитет, (k ,r), Au (ppm)		Извлекување (K,J), Au (%)	
T – 1	1.40	0.26	56.1	43.9
T - 2	1.49	0.29	49.8	50.2
O'-1	1.56	0.19	39.91	60.09
O'-2	1.49	0.25	58.52	41.48
O'-3	1.47	0.22	48.58	51.42
O'-4	1.49	0.23	52.03	47.97
O'-5	1.55	0.24	52.13	47.87
O'-6	1.78	0.20	40.33	59.67
O'-7	2.55	0.17	30.86	69.14
O'-8	2.15	0.19	39.01	60.99
O'-9	2.15	0.20	31.77	68.23
O'-10	1.95	0.19	33.82	66.18

Со оглед на досегашните испитувања и резултати дадени во досегашните испитувања за конкретниот пример на рудникот „Бучим“ извршени се само делумни испитувања со помош на план на експерименти, лабораториски испитувања и статистички податоци од индустриските испитувања/резултати. Врз основа на сите овие испитувања во оваа Докторска дисертација се заокружуваат досегашните испитувања со еден напреден пристап во која се врши оптимирање на процесот на флотирање на корисната суровина (халкопирит) со помош на градиентната метода, како соодветен

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

модел за оптимирање и постигнување на оптимални резултати. Во следното поглавје е извршено оптимирање на реагентскиот режим во фазата на Флотација на бакар во Рудник Бучим врз основа на индустриските – лабораториските нулти појдовни вредности на колекторите во фази на флотација.

5.8 Оптимирање на реагентски режим во фаза на Флотација на бакар во Рудник Бучим

На база на испитувањата вршени во лабораториски и индустриски услови во Флотација на бакар во Рудник Бучим се дојде до заклучок дека идните испитувања треба да одат во правец на оптимирање со оптимизациски методи со кои ќе се дојде до оптимирање на реагентскиот режим. Па затоа врз основа на индустриските – лабораториските нулти појдовни вредности на колекторите во фази на флотација извршена е анализа со помош на оптимизациона техника.

Нулти појдовни вредности на колекторите во фази на флотација:

X_1 – потрошувачка на колектор NaIPX = 12 gr/t

X_2 – потрошувачка на колектор KBX:KEX=1:1 = 8 gr/t

X_3 – потрошувачка на колектор SKIK 2025 = 4 gr/t

Променливи вредности на колекторите во разни фази на флотација:

ΔX_1 – потрошувачка на колектор NaIPX ± 3 gr/t

ΔX_2 – потрошувачка на колектор KBX:KEX=1:1 ± 2 gr/t

ΔX_3 – потрошувачка на колектор SKIK 2025 ± 1 gr/t

Табела 35. Испитувања со план експерименти

Table 35. Tests with a plan experiments

Опит	X_1	X_2	X_3	$I_{Cu}\%$
1	+	+	+	
2	+	-	+	
3	-	+	+	
4	-	-	+	
5	+	+	-	
6	+	-	-	
7	-	+	-	
8	-	-	-	

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 36. Испитувања со план експерименти - Рудникот Бучим
Table 36. Tests with a plan experiments – Bucim Mine

Опит	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	I ₁	I ₂	I _{Cu} % _{sr}
1	+	15	10	5	90,13	89,05	89.59
2	+	15	6	5	90,52	87,90	89.21
3	+	9	10	5	89,18	88,80	88.99
4	+	9	6	5	86,66	87,22	86.94
5	+	15	10	3	89,10	87,22	88.16
6	+	15	6	3	88,60	90,48	89.54
7	+	9	10	3	88,90	89,62	89.26
8	+	9	6	3	88,00	87,08	87.54

Останатите работни параметри (pH=11.72, 55-60% - 0,074 мм, време на флотирање (12 min) и кондиционирање (6 min)) стандарни како во индустриски услови. Изведени две паралелни испитувања.

Коефициентите на линеарниот модел за вредностите за искористување на бакар во концентрат I_{Cu}%_{sr} изнесуваат:

$$b_0 = 1/n [89.59+89.21+88.99+86.94+88.16+89.54+89.26+87.54] = 88.65$$

$$b_1 = 1/n [89.59-89.21+88.99-86.94+88.16-89.54+89.26-87.54] = 0.346$$

$$b_2 = 1/n [89.59+89.21-88.99-86.94+88.16+89.54-89.26-87.54] = 0.47$$

$$b_3 = 1/n [89.59+89.21+88.99+86.94-88.16-89.54-89.26-87.54] = 0.03$$

$$b_{12} = 1/n [89.59-89.21-88.99+86.94+88.16-89.54-89.26+87.54] = - 0.596$$

$$b_{13} = 1/n [89.59-89.21+88.99-86.94-88.16+89.54-89.26+87.54] = 0.26$$

$$b_{23} = 1/n [89.59+89.21-88.99-86.94-88.16-89.54+89.26+87.54] = 0.24$$

$$b_{123} = 1/n [89.59-89.21-88.99+86.94-88.16+89.54+89.26-87.54] = 0.18$$

[74]

Согласно на горните табели и резултати (n=1/8), математичкиот модел на процесот на халкопиритно флотирање изразен преку искористување на бакар во концентрат I_{Cu}%, а во зависност од x₁ (потрошувачка на колектор NaIPX), x₂ (потрошувачка на колектор KBX:KEX=1:1) и x₃ (потрошувачка на колектор SKIK 2025), во условни единици го има следниот изглед (полином од прв ред):

$$I_{Cu}\% = 88.65+0.346x_1+0.47x_2+0.03x_3-0.596x_1x_2+0.26x_1x_3+0.24x_2x_3+0.18x_1x_2x_3$$

[75]

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

- Проверка на значајноста на коефициентите на моделот

Грешката на репродуктивност на коефициентите на моделот изнесува:

$$S_{bj} = \frac{S_{rIsr.}}{\sqrt{n}} \frac{0,514}{\sqrt{8}} = \frac{0,514}{2,8284} = 0,18$$

[76]

Граничната значајна вредност на коефициентите изнесува:

$$|b_j|_g = t \cdot S_{bj} = 2,306 \cdot 0,18 = 0,41$$

[77]

каде е:

t - критериум на Student p=95%; t=2,306

Земајќи ја во предвид граничната вредност на коефициентите (0.41), линеарниот модел би ја имал долеприкажаната формула [78], со коефициентите b_0 , b_2 и b_{12} . Меѓутоа ако се има во предвид процес во реални услови ($b_1 = 0.346$ или 84,4% од апсолутната гранична вредност од 0.41), би требало да се земе и овој коефициент како значаен во [79] равенка.

$$I_{Cu}\% = 88.65 + 0.47x_2 - 0.596x_1x_2$$

[78]

Со оглед на добиениот линеарен модел (равенка 75.) и значајноста на x_1 и x_2 параметрите за одвивањето на самиот процес на флотирање како влијателни фактори коефициентот пред x_1 кој што е под гранична вредност од 0.41 (равенка 77.) се зема како значаен фактор и поради тоа дефинитивниот изглед на математичкиот модел, на процесот на грубо флотирање на бакарот, изразен преку искористувањето на минералите на бакарот, во условни единици, е следниот:

$$I_{Cu}\% = 88.65 + 0.346x_1 + 0.47x_2 - 0.596x_1x_2$$

[79]

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

- **Истражување на адекватност на линеарниот модел**

Под адекватност на моделот се подразбира согласноста на пресметаниот модел со експерименталните податоци. Прво ја одредуваме дисперзијата на адекватноста, врз основа на пресметаните вредности на параметрите по моделот за секој опит.

Дисперзијата на адекватноста се пресметнува по формулата:

$$S_b^2 = \frac{1}{f_b} \sum_{i=1}^N \Delta Y_i^2 \quad f_b = N - k - 1; \quad \Delta Y_i = \bar{Y}_i - \bar{Y}_r \quad [80]$$

каде е: k - број на значајни коефициенти на равенката на моделот, не земајќи го во предвид b_0 .

$\bar{Y}_r$ - пресметана вредност по моделот.

Можен е случајот $f_b = 0$, во тој случај проверката на адекватноста не е можна.

Ако е $S_b^2 \leq S_r^2$ - моделот е адекватен;

Ако е $S_b^2 > S_r^2$ - тогаш вршине проверка по критериумот на Фишер:

$$F_p = S_b^2 / S_r^2 \quad [81]$$

При степен на слобода f_b и f_r и усвоена веројатност на доверливост $p(\%)$ ја наоѓаме табличната вредност на критериумот на Фишер $F_T (f_a; f_r; p)$. Ако е $F_p < F_T$ тогаш моделот е адекватен. Во спротивно ако $F_p \approx F_T$ тогаш и по овој критериум моделот е неадекватен па сите експерименти треба да се повторат. При тоа е неопходно да се намали интервалот на варијација или да се премине на посложени нелинеарни планови.

После одредувањето на линеарниот модел (ако се покаже дека истиот е адекватен), за да се дојде до оптималните вредности на променливите фактори $x_1, x_2, x_3, \dots, x_j$, се изведува уште една серија од неколку опити. При тоа, знаците пред коефициентите на променливите фактори $b_1, b_2, \dots, b_j$ покажуваат дали вредноста на соодветните фактори во тие опити треба да се зголемува (знак "+") или намалува (знак "-"). Вредноста на променливите

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

фактори се зголемува или намалува пропорционално на големината на нивните коефициенти. На овој начин опитите се изведуваат се додека за функцијата Y добиваме подобра вредност во однос на претходниот опит. Оној момент кога ќе се добие полоша вредност за функцијата Y , се престанува со опитите, а вредностите на променливите фактори од претходниот опит ги усвојуваме како оптимални.

- **Полн факторски план на експерименти за три фактори – Рудник Бучим**

Нашиот план на експерименти изработени при даден реагентски режим во делот за Флотирање при Рудникот Бучим е даден во следната табела:

Табела 37. Испитувања со план експерименти

Table 37. Tests with a plan experiments

Опит	X_0	X_1	X_2	X_3	I_1	I_2	$I_{Cu\%sr}$	I_{pres}	ΔI
1	+	15	10	5	90,13	89,05	89.59	88,87	0,72
2	+	15	6	5	90,52	87,90	89.21	87,93	1,28
3	+	9	10	5	89,18	88,80	88.99	88,18	0,81
4	+	9	6	5	86,66	87,22	86.94	87,24	-0,30
5	+	15	10	3	89,10	87,22	88.16	90,06	-1,90
6	+	15	6	3	88,60	90,48	89.54	89,12	0,42
7	+	9	10	3	88,90	89,62	89.26	89,37	-0,11
8	+	9	6	3	88,00	87,08	87.54	88,43	-0,89

Во понатамошниот текст ќе извршиме анализа на добиениот линеарен модел за да ја утврдиме неговата адекватност.

Бидејќи моделот е добиен врз основа на средните вредности за I , тогаш грешката на репродуктивност за средните вредности I_{sr} изнесува:

$$\bar{S}_{rIsr.}^2 = \frac{\left[(90,13 - 89,05)^2 + (90,52 - 87,90)^2 + (89,18 - 88,80)^2 + (86,66 - 87,22)^2 + (89,10 - 87,22)^2 + (88,60 - 90,48)^2 + (88,90 - 89,62)^2 + (88,00 - 87,08)^2 \right]}{64}$$

$$\bar{S}_{rIsr.}^2 = 0,264; \text{ односно } \bar{S}_{rIsr.} = \sqrt{0,264} = 0,514$$

[82]

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

- Проверка на адекватноста на моделот

По моделот го пресметнуваме средниот резултат на секој опит, така што наместо x_j во моделот ги уврстуваме соодветните условни единици од опитот (± 1):

$$I_{\text{pres.1}} = 88,65 + 0,346 (+1) + 0,47 (+1) - 0,596 (+1) = 88,87$$

$$I_{\text{pres.2}} = 88,65 + 0,346 (+1) + 0,47 (-1) - 0,596 (+1) = 87,93$$

$$I_{\text{pres.3}} = 88,65 + 0,346 (-1) + 0,47 (+1) - 0,596 (+1) = 88,18$$

$$I_{\text{pres.4}} = 88,65 + 0,346 (-1) + 0,47 (-1) - 0,596 (+1) = 87,24$$

$$I_{\text{pres.5}} = 88,65 + 0,346 (+1) + 0,47 (+1) - 0,596 (-1) = 90,06$$

$$I_{\text{pres.6}} = 88,65 + 0,346 (+1) + 0,47 (-1) - 0,596 (-1) = 89,12$$

$$I_{\text{pres.7}} = 88,65 + 0,346 (-1) + 0,47 (+1) - 0,596 (-1) = 89,37$$

$$I_{\text{pres.8}} = 88,65 + 0,346 (-1) + 0,47 (-1) - 0,596 (-1) = 88,43$$

[83]

Во претходната табелата дадени се грешките $\Delta I = I_{\text{sr.}} - I_{\text{pres.}}$

Адекватноста на моделот може да се провери преку критериумот на Fischer:

$$F = \frac{\left[\sum_{i=1}^N I_{\text{sr.}i}^2 - N \cdot \sum_{i=0}^k b_i^2 \right]}{(N - k - 1) \cdot S_{\text{rIsr.}}}$$

[84]

каде е: k - број на линеарни членови во моделот.

Во нашиот случај имаме:

$$F = [89,59^2 + 89,21^2 + 88,99^2 + 86,94^2 + 88,16^2 + 89,54^2 + 89,26^2 + 87,54^2] - 8[88,65^2 + (0,346)^2 + 0,47^2 + (0,03)^2 + (-0,596)^2 + 0,26^2 + 0,24^2 + 0,18^2] / 5 \cdot 0,514 ;$$
$$F = 2,157$$

За $f_b = 8 - 2 - 1 = 5$ и $f_r = 8(2 - 1) = 8$, за ниво на доверливост $p = 95\% = 3,69$, и Student = 2,306, критериумот на Fischer има вредност:

$$F^* = f_r + p + t = 8 + 3,69 + 2,306 = 13,996.$$

Бидејќи е $F \ll F^*$ моделот е адекватен. Ова значи дека посматраниот процес е коректно опишан со помош на полином од прв ред и разликата која се појавува помеѓу експерименталните и пресметаните резултати е случајна.

**5.8.1 Одредување на градиентот на добиениот линеарен модел за
реагентскиот режим во Флотација во Рудникот Бучим**

Градиентната метода се базира на фактот дека најголем степен на подобрување на една функција се постигнува ако се напредува по должината на нејзиниот градиент. Затоа овој правец се нарекува правец на најстрмен успон, ако зборуваме за максимум, односно правец на најстрмен пад ако зборуваме за минимум. Во суштина градиентот претставува вектор во една точка од n -димензионалниот простор. Тој се определува преку одредувањето на првите изводи на *функцијата на целта* во однос на секоја од нејзините n променливи. Треба да се одбележи дека правецот на градиентот, односно правецот на најстрмниот успон или пад, е локална а не глобална особина. Тоа значи дека, ако на пример, се стартува од една точка во правецот на најстрмниот успон, после одредено придвижување, се доаѓа во нова точка која има поинаков правец на најстрмен успон.

Да претпоставиме дека постои функцијата $y(x_1, x_2)$ која има континуирани парцијални изводи. Тогаш постои дефинирана точка (x_1, x_2) , околу која, за мала промена во било кој правец се добиваат долните пресметки.

$$\frac{df}{dx_1}(x_1, x_2) = \frac{df(88.65 + 0.346x_1 + 0.47x_2 - 0.596x_1x_2)}{dx_1} = 0,346$$

$$\frac{df}{dx_2}(x_1, x_2) = \frac{df(88.65 + 0.346x_1 + 0.47x_2 - 0.596x_1x_2)}{dx_2} = 0,470$$

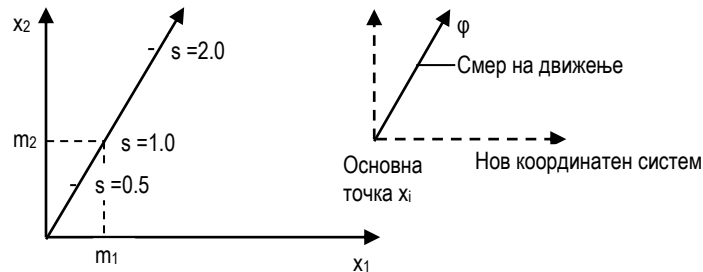
$$m_1 = \frac{\frac{df}{dx_1}(x_1,)}{\sqrt{\left(\frac{df(x)}{dx_1}\right)^2 + \left(\frac{df(x)}{dx_2}\right)^2}} = \frac{0,346}{0,583} = 0,593$$

$$m_2 = \frac{\frac{df}{dx_2}(x_2,)}{\sqrt{\left(\frac{df(x)}{dx_1}\right)^2 + \left(\frac{df(x)}{dx_2}\right)^2}} = \frac{0,470}{0,583} = 0,806$$

[85]

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Смерот на движење може да се прикаже како вектор ϕ кој е означен со n броеви ($m_1, m_2 \dots m_n$). (Слика 48.)



Слика 48. Смер на пребарување
Figure 48. Direction of search

На пример во дводимензионален систем векторот $\{1,0\}$ претставува смер паралелен со позитивната x_1 оската, додека векторот $\{0,-1\}$ е смер паралелен со x_2 оската во негативна насока. Векторот $\left\{\frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{1}{\sqrt{2}}\right\}$ претставува смер паралелен со права под агол од 45° во однос на x_1 оската. Според тоа векторот ϕ во дводимензионалниот простор има ознаки $\{m_1, m_2\}$. Сите алгоритми на нумеричките постапки предвидуваат поместување на основната точка за должина s во правец ϕ , така да се добива нова точка со координати x_{j+1} .

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{0,593}{0,806} = 0,736$$

[86]

$$m_1 \cdot \Delta x_1 = 0,593 \cdot 3 = 1,779$$

$$m_2 \cdot \Delta x_2 = 0,806 \cdot 2 = 1,612$$

[87]

Очигледно, сме во правецот на градиентот, па променливите x_1 и x_2 треба умерено да се подесат еден спрема друг, бидејќи коефициентот на интеракцијата b_{12} со својот знак покажува за тоа.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

5.8.2 Истражување на линеарниот модел при изменет реагентски режим

Анализирајќи го линеарниот модел на полиномот од прв ред за искористување на бакар од халкопиритна руда, извршени се испитувања со зголемување на независно променливата (x_1 –колектор NaIPX) и зголемување на независно променливата (x_2 –колектор KEX:KBX=1:1). Добиените резултати од испитувањата се дадени во Табела 38.

Табела 38. Испитувања со план експерименти

Table 38. Tests with a plan experiments

Опит	X_1	X_2	I_1	I_2	$I_{Cu}\%_{sr}$
1	15	10	90.0	89.2	89.6
2	16	11	90.4	90.0	90.2
3	17	12	90.1	89.3	89.7
4	18	13	89.7	89.3	89.5

Останатите работни параметри ($pH=11.72$, $55\div 60\%$ - $0,074$ мм, време на флотирање (12 min) и кондиционирање (6 min), $X_3 = 4\div 6$ gr/t) стандарни како во индустриски услови. Изведени се две паралелни испитувања.

Искористувањето на бакар во концентрат $I_{Cu}\%_{sr}$ е оптимално, или пак бара минимално незначително зголемување на потрошувачка на колектор NaIPX = 15-16 gr/t, и зголемување на KBX:KEX=1:1 = $10\div 11$ gr/t, секако во зависност на квалитетот на рудата во влезот, поголема содржина на бакар во влезот, поголема потрошувачка на колектори и обратно.

По одредувањето на линеарниот модел и адекватноста, за да се дојде до оптималните вредности на променливите фактори x_1 и x_2 , се изведува уште една серија од неколку опити. При тоа, знаците пред коефициентите на променливите фактори b_1 , b_2 , покажуваат дали вредноста на соодветните фактори во тие опити треба да се зголеми (знак "+") или намалува (знак "-") пропорционално на големината на нивните коефициенти. На овој начин опитите се изведуваат се додека за функцијата Y добиваме подобра вредност во однос на претходниот опит.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

5.9 Кинетика на флотирање

Во можните и постоечки равенства за кинетика или брзини за флотирање, претпоставка е дека коефициентот на брзината за секој вид на сулфиден минерал (халкопирит) е константа **k**. Повеќето истражувачи А. Gupta, D.S. Juan го пресметале бројот на моделите на групната (*групен тест на флотација*) или кумулативната флотација од прв ред, при тоа земајќи ги во предвид следните модели:

- Класичен кинетички модел од прв ред, $I = I_o[1 - e^{-kt}]$
- Кинетички модел на Климпел, $I = I_o[1 - \frac{1}{kt}(1 - e^{-kt})]$
- Кинетички модел на Келсал, $I = (i_o - \phi)(1 - e^{-kft}) + (1 - e^{-kst})$
- Кинетички модел за Модифициран Келсал – Гама модел на Ловедеи, Иноу, $I = I_o(1 - (\frac{k}{k+t})^P)$
- Кинетички модел – Гама модел, $I = I_o(1 - (\frac{1}{1 + \frac{t}{k}}))$

Табела 39. Кинетика на флотирање – експериментални резултати

Table 39. Flotation kinetic – experimental results

ПРОИЗВОД	T gr	T %	Cu %	T% x Cu%	I Cu %
ВЛЕЗ	2000	100,00	0,20	20,1	100,00
K1	31	1,55	7,40		57,06
K2	13	0,65	6,20		20,05
K3	9	0,45	3,00		6,72
K4	6	0,30	1,60		2,40
K5	8	0,40	0,85		1,70
K6	9	0,45	0,30		0,67
K7	6	0,30	0,20		0,30
K8	7	0,35	0,04		0,07
K9	13	0,65	0,02		0,06
K10	16	0,80	0,06		0,22
K₁₋₁₀-вкупно	118	5,90	3,04	17,94	89,25
j	1882	94,10	0,023	2,16	10,75

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

РУДА = 2000g

МЕЛЕЊЕ T=15 min =55% -
0.074mm

Ph =11.7

колектор BZ 2025MB = 6g/t

Кондиционирање T= 6min

КЕХ:КВХ =1:1 =6g/t

DOW-250 = 10g/t

Грубо флотирање T= 4min

I Контролно флотирање Флотација. T = 4min

NaIPH 6g/t

DOW-250 = 10g/t

II Контролно флотирање Флотација. T = 4min

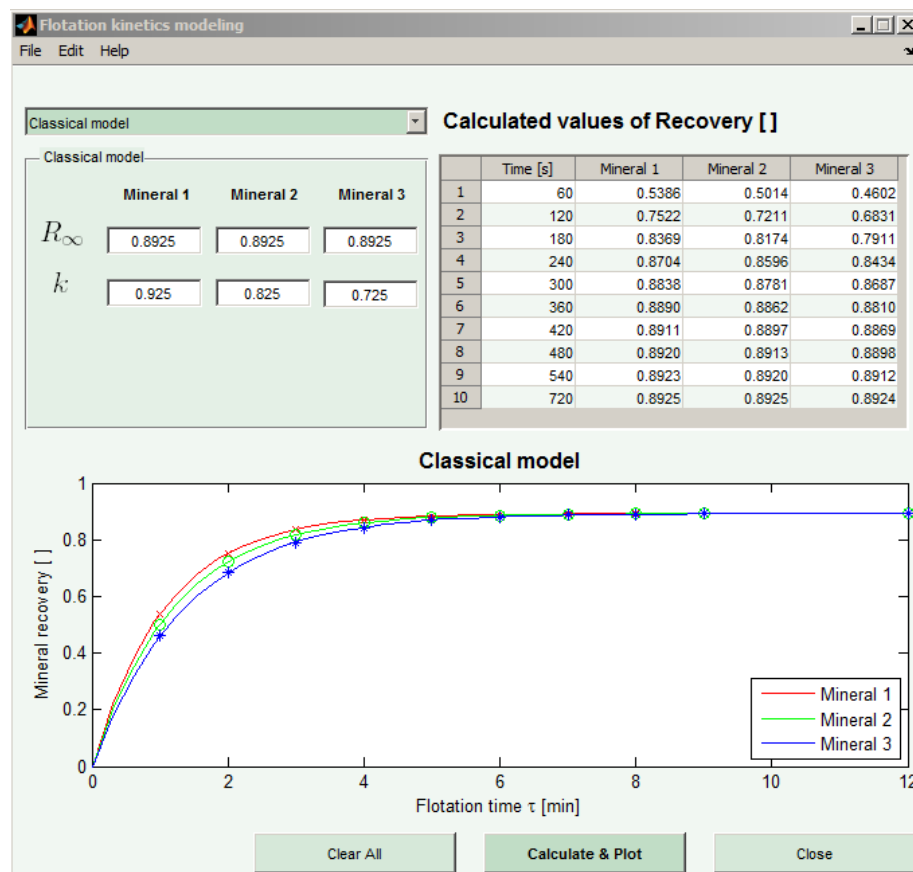
NaIPH 4g/t

DOW-250 = 5g/t

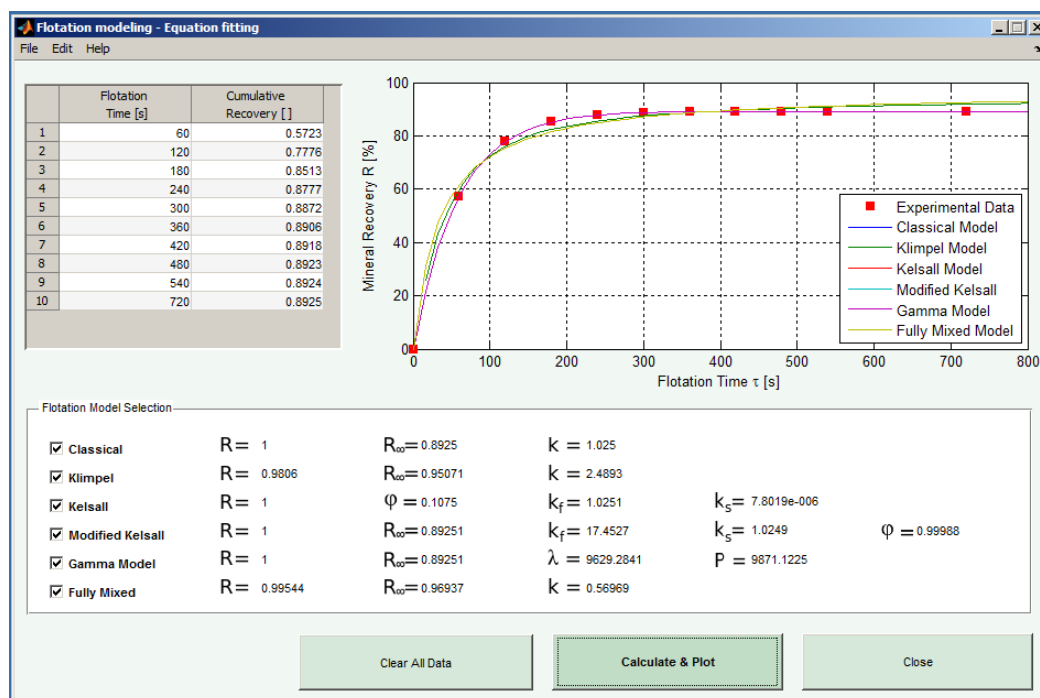
Софтверскиот пакет за **моделирање на кинетиката за флотирање** во **MATLAB®(R) GUI**, прикажан на конкретните примери за флотирање на бакарни руди (халкопиритни, оксидно-сулфидни), овозможува соодветно табеларно и графичко прикажување на Класичен кинетички модел (I. Brezani, F. Zelenek, 2010) е во функција на константата **k** во одредена временска зачестеност за додавање на користените реагенси.

Имено, за кинетика на флотирање на халкопирит при различни константи **k (1.025, 0.925, 0.825 и 0.725)** може да се заклучи дека до истата вредност за искористување на бакарот од **89.25%** може да се дојде при различна **зачестеност** на додавање на колекторите и флотациските реагенси во различни временски периоди во грубо или контролно флотирање, а при тоа вкупното време на грубото и контролното флотирање остане исто. Тоа е прикажано на следните графички прикази подолу.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

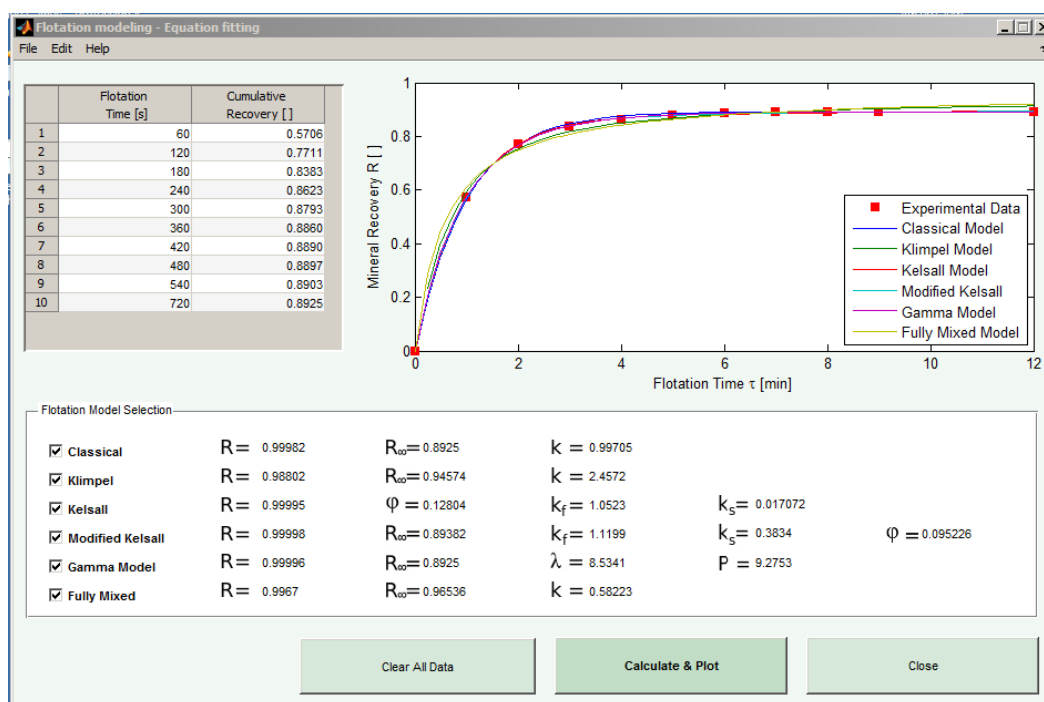


Слика 49. Внесување на параметри (исто R – различно k)
Figure 49. Input parameters (same R – different k)

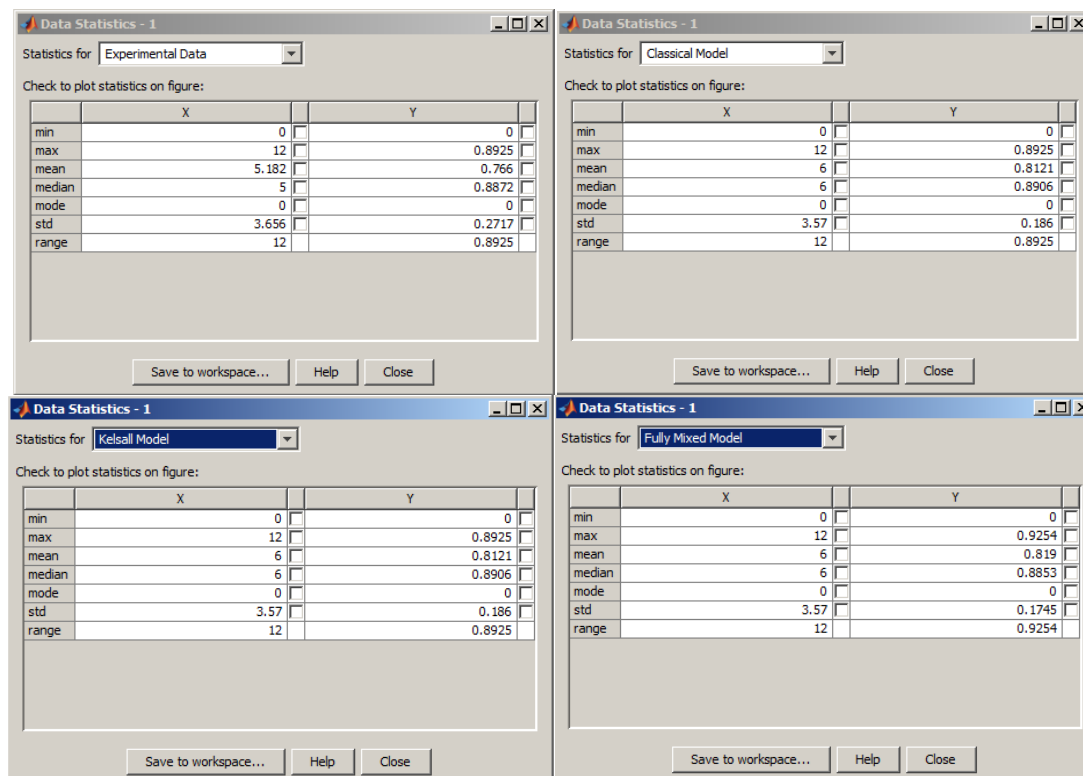


Слика 50. Внесување на параметри (коефициенти за различни модели)
Figure 50. Input parameters (coefficients for different models)

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови



Слика 51. Преглед на експериментални резултати
Figure 51. Overview of experimental results



Слика 52. Преглед на резултати за време на флотирање
Figure 52. Overview of results of flotation time

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Во можните и постоечки равенства за кинетика или брзини за флотирање, претпоставка е дека коефициентот на брзината за секој вид на сулфиден минерал (халкопирит) е константа **k** ($tga=k$, правецот во координантна мрежа $\frac{\ln(\frac{I_{max}-I}{I_{max}})}{t}$). Повеќето истражувачи A. Gupta, D.S. Juan го пресметале бројот на моделите на групната (*групен тест на флотација*) или збирната флотација од прв ред, при тоа земајќи ги во предвид следните модели:

- Класичен кинетички модел од прв ред, $I=I_0[1-e^{-kt}]$
- Кинетички модел – Гама модел, $I=I_0(1-(\frac{1}{1+\frac{t}{k}}))$

Софтверскиот пакет за **моделирање на кинетиката за флотирање** во **MATLAB®(R) GUI**, прикажан на конкретните примери за флотирање на бакарни сулфидни руди (халкопиритни), овозможува соодветно табеларно и графичко прикажување на Класичен кинетички модел, Кинетички модел на Климпел и Кинетички модел – Гама модел (I. Brezani, F. Zelenek) е во функција на константата **k** во одредена временска зачестеност за додавање на користените реагенси.

Оптималното време на флотирање на халкопирит при констант **k= 1.025**, за искористување на бакарот од **89.25%** може да се дојде при различна **зачестеност** на додавање на колекторите и флотациските реагенси во различни временски периоди во грубо или контролно флотирање, а при тоа вкупното време на грубото и контролното флотирање остане исто. Тоа е прикажано на следните графички прикази. При тоа оптималното време на флотирање за Класичен кинетички модел и Кинетички модел – Гама модел го имаат следниот израз за пресметка, што сосема се совпаѓа со резултатот од табелите на компјутерскиот софтвер во **MATLAB®(R) GUI** (I. Brezani, F. Zelenek). И врз основа на математичките изрази и делот од софтверската апликација одредено е оптималното време на флотирање:

за Класичен кинетички модел:

$$t = \frac{\ln\left(\frac{I_{max}-I}{I_{max}}\right)}{-k} = \frac{\ln\left(\frac{89.25-88.77}{89.25}\right)}{-1.025} = 5,10 \text{ min}$$

[88]

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

и за Кинетички модел – Гама модел:

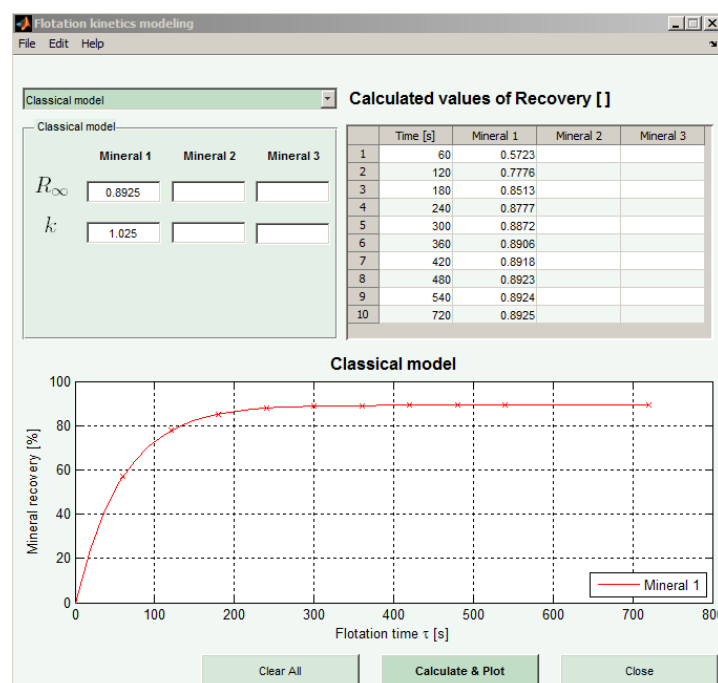
$$t = k \left(\frac{I}{I_{max} - I} \right) = 1.025 \left(\frac{75.30}{89.25 - 75.30} \right) = 5.85 \text{ min}$$

[89]

Прегледот на резултатите од Слика 52. за оптималното време на флотирање, како и графичките прикази, потврдуваат дека истото е во рамките од 5.10 - 6.0 минути.

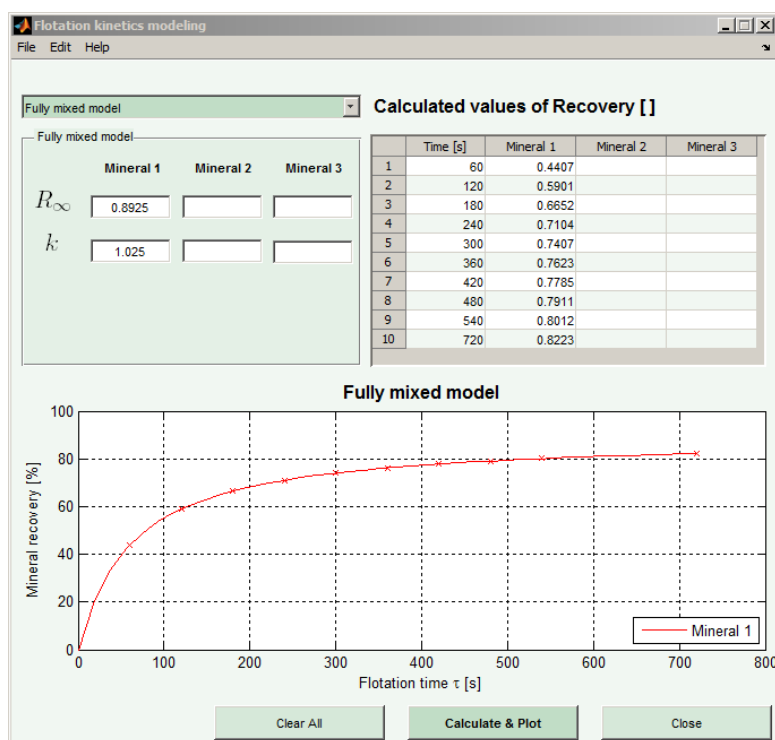
5.9.1 Споредба на кинетичките модели (Classical, Klimpel и Fully mixed model) за даден коефициент k и време на флотирање

Со помош на Софтверскиот пакет за **моделирање на кинетиката за флотирање** во **MATLAB®(R) GUI**, прикажан на конкретните примери за флотирање на бакарни руди (халкопиритни), овозможува соодветно табеларно и графичко прикажување на Classical, Klimpel и Fully mixed model кои се во функција на константата k во одредена временска зачестеност за додавање на користените реагенси, и воедно е извршена споредба на самите модели во конкретниот испитуван режим на флотирање.

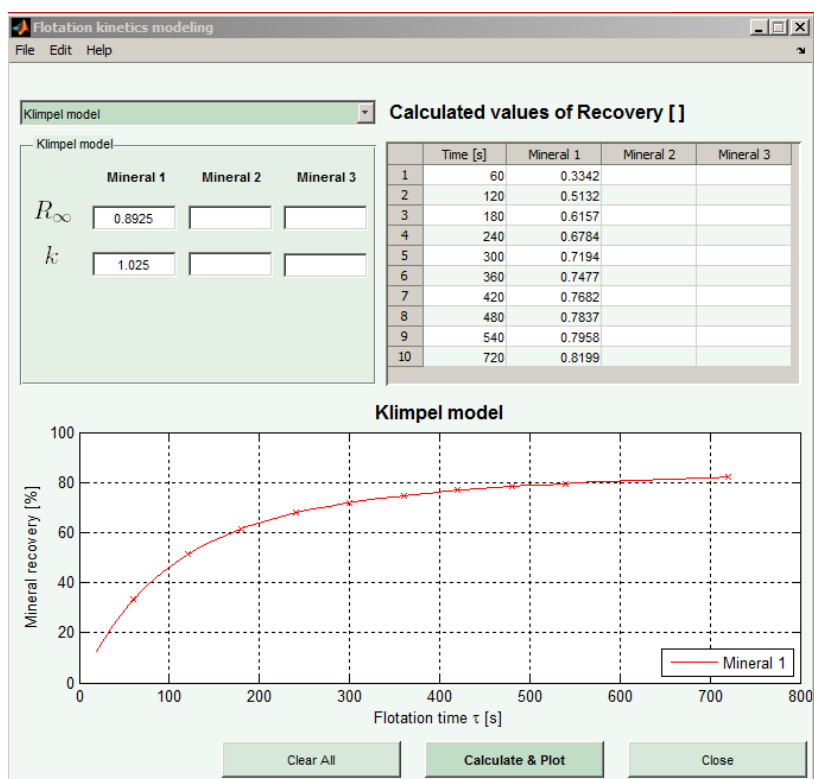


Слика 53. Внесување на параметри
Figure 53. Input parameters

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови



Слика 54. Внесување на параметри
Figure 54. Input parameters



Слика 55. Внесување на параметри
Figure 55. Input parameters

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 40. Споредба на моделите
Table 40. Comparison of models

(l)	<i>Classical model</i>	<i>Klimpel model</i>	<i>Fully mixed model</i>	Експериментални резултати (Бучим)
<i>Time (s)</i>	<i>Mineral</i>	<i>Mineral</i>	<i>Mineral</i>	<i>Минерал</i>
60	0.5723	0.3342	0.4407	0.5706
120	0.7776	0.5132	0.5901	0.7711
180	0.8513	0.6157	0.6652	0.8383
240	0.8777	0.6784	0.7104	0.8623
300	0.8872	0.7194	0.7407	0.8793
360	0.8906	0.7477	0.7623	0.8860
420	0.8918	0.7682	0.7785	0.8890
480	0.8923	0.7837	0.7911	0.8897
540	0.8924	0.7958	0.8012	0.8903
720	0.8925	0.8199	0.8223	0.8925

Табела 41. Споредба на стандардна девијација за *Classical model* и *Fully mixed model*

Table 41. Comparison of standard deviation for *Classical model* and *Fully mixed model*

<i>Classical model</i>	<i>Fully mixed model</i>	Δl	Δl^2	$\Delta l^2 / 9$
57.23	44.07	13.16	173.18	
77.76	59.01	18.75	351.56	
85.13	66.52	18.61	346.33	
87.77	71.04	16.73	279.89	
88.72	74.07	14.65	214.62	
89.06	76.23	12.83	164.60	
89.18	77.85	11.33	128.39	
89.23	79.11	10.12	102.41	
89.24	80.12	9.12	83.17	
89.25	82.23	7.02	49.28	

$$\Sigma \Delta l^2 = 1.893.43$$

$$\sqrt{\frac{\Sigma \Delta l^2}{9}} = 14.50$$

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 42. Споредба на стандардна девијација за *Classical model* и *Експериментални резултати*

Table 42. Comparison of standard deviation for *Classical model* and *Experimental results*

Classical model	Experimental results	ΔI	ΔI^2	$\Delta I^2 / 9$
57.23	57.06	0.17	0.0289	
77.76	77.11	0.65	0.4225	
85.13	83.83	1.30	1.6900	
87.77	86.23	1.54	2.3716	
88.72	87.93	0.79	0.6241	
89.06	88.60	0.46	0.2116	
89.18	88.90	0.28	0.0784	
89.23	88.97	0.26	0.0676	
89.24	89.03	0.21	0.0441	
89.25	89.25	0.00	0.0000	

$$\Sigma \Delta I^2 = 5.5388$$

$$\sqrt{\frac{\Sigma \Delta I^2}{9}} = 0.784$$

По извршената споредба на моделите Classical, Klimpel и Fully mixed model со нашите експериментални резултати се дојде до заклучок дека за искористувањето (%) на бакарот во концентратот, најсоодветен модел за режимот на флотирање за Рудникот Бучим е Класичниот модел - ***Classical model***.

5.10 Анализа на испитувањата на халкопиритна и галенитно – сфалеритна руда и користење на Microsoft Excel 2010

Испитувањата на **Microsoft Excel 2010** се изведени на реална средина, користејќи податоци за методи на концентрација на бакарна руда (Бучим) и оловно-цинкова руда од Саса. Технолошките податоци се обработувани со план на експерименти преку равенката за искористување $I = \frac{k}{r} \times \frac{(r-j)}{(k-j)} \times 100$ каде што r е содржина на корисен метал (бакар, олово или цинк) во руда, k е содржина на корисен метал во концентрат и j е содржина на корисен метал во јаловина.

Технолошките и економските податоци за ТЕ или ЕЕ (технолошка и економска ефикасност) се обработувани во план на експерименти преку равенките за ЕЕ или ТЕ : $EE = I[1 - \frac{k_n}{k}]$ или $TE = I \times \frac{(k-r)}{[k(100-r)]} \times 100$, каде што k , r , се содржини на корисен метал (бакар, олово или цинк) во концентрат, руда, додека k_n е однос на топилничките трошоци и цената на добиениот корисен метал во $\$/тон метал$. Оптималните резултати за технолошка ефикасност се добиваат при минимизација на именителот во равенката за технолошка ефикасност и максимизација на искористувањето на металот на добиениот концентрат кој се упатува на топење, како што впрочем покажуваат табеларните прикази.

Оптималните резултати за економска ефикасност се добиваат при минимизација на k_n/k (однос на топилничките трошоци и цената на добиениот корисен метал и содржината на корисниот метал во преработениот концентрат и максимизација на искористувањето на металот на добиениот концентрат кој се упатува на топење, како што впрочем покажуваат табеларните прикази.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 43. Приказ на резултати од бакарна концентрација

Table 43. Results show of copper concentration

	Cu	x1 (k)	x2 (r)	x3 (j)	I
1	1	20	0.2	0.02	90.09009
	2	18	0.2	0.02	90.10011
	3	20	0.18	0.02	88.97787
	4	18	0.18	0.02	88.98776
	5	20	0.2	0.015	92.56943
	6	18	0.2	0.015	92.57715
	7	20	0.18	0.015	91.73547
	8	18	0.18	0.015	91.74312
	9	18	0.2	0.015	92.57715
	10	18	0.2	0.014	93.07239
2	11	18	0.2	0.013	93.56758
	12	18	0.2	0.012	94.06271
	13	18	0.2	0.011	94.55779
	14	18	0.2	0.01	95.05281
	15	20	0.18	0.015	91.73547
	16	20	0.2	0.014	93.06515
	17	20	0.18	0.013	92.83812
	18	20	0.2	0.012	94.05643
	19	20	0.18	0.011	93.94056
	20	20	0.2	0.01	95.04752

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 44. Приказ на резултати за ТЕ за бакарна руда

Table 44. Results show of TE for copper ores

Cu	x1 (k)	x2 (r)	x3 (l)	TE
1	22	0.2	95	94.32
2	22	0.16	95	94.26
3	20	0.2	90	89.28
4	20	0.18	80	79.94
5	18	0.18	90	89.26
6	20	0.16	95	94.89
7	18	0.22	90	89.10
8	22	0.22	95	94.45
9	20	0.22	90	89.21
10	20	0.22	95	94.16

Табела 45. Приказ на резултати за ЕЕ за бакарна руда

Table 45. Results show of TE for copper ores

Cu	x1 (k)	x2 (k _n)	x3 (l)	EE
1	20	0.5	90	87.75
2	20	0.4	90	88.20
3	20	0.3	95	93.57
4	20	0.25	95	93.81
5	20	0.25	92.5	91.34
6	20	0.2	90	89.10
7	22	0.25	95	93.92
8	22	0.10	95	94.56
9	22	0.20	95	94.17
10	22	0.15	95	94.35

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 46. Приказ на резултати од оловна концентрација
Table 46. Results show of lead concentration

Pb	x1 (k)	x2 (r)	x3 (j)	I
1	75	4	0.5	88.08725
2	75	3.8	0.5	87.42494
3	80	4.2	0.7	84.06894
4	70	4.2	0.7	84.17508
5	80	3.8	0.7	82.29906
6	70	3.8	0.7	82.40298
7	80	4.2	0.3	93.20667
8	70	4.2	0.3	93.25681
9	80	3.8	0.3	92.45196
10	70	3.8	0.3	92.5017
11	70	4.2	0.25	94.38471
12	70	4.2	0.2	95.51098
13	70	4.2	0.15	96.63565
14	70	4.2	0.1	97.7587
15	70	4.2	0.05	98.88015
16	75	4.2	0.15	96.62182
17	75	4.2	0.1	97.74938
18	75	4.2	0.05	98.87544
19	80	3.8	0.1	97.49028
20	80	3.8	0.05	98.74593
max	min			
98.88015	82.29906			

Оптималните резултати се добиваат при минимизација на j , како што впрочем покажуваат табеларните прикази. Што помалку губиток на корисен метал (да се движи кон нула) во добиените производи (јаловината, поголемо искористување или извлекување на корисниот метал во корисната и пазарна компонента.

Испитувањата на концентрацијата на селективни концентрати во рудникот за олово и цинк Саса се прикажани во Табела 46., Табела 47.

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 47. Приказ на резултати од цинкова концентрација
Table 47. Results show of zinc concentration

	Zn	x1 (k)	x2 (r)	x3 (j)	I
	1	50	4	0.5	88.38384
	2	47.5	4	0.5	88.43085
	3	50	3.8	0.5	87.7193
	4	47.5	3.8	0.5	87.76596
	5	50	4	0.3	93.05835
1	6	47.5	4	0.3	93.08792
	7	50	3.8	0.3	92.66123
	8	47.5	3.8	0.3	92.69068
	9	47.5	3.8	0.4	90.23355
	10	47.5	3.8	0.35	91.46341
	11	47.5	3.8	0.37	90.97178
	12	47.5	3.8	0.3	92.69068
	13	47.5	3.8	0.25	93.91534
2	14	47.5	3.8	0.2	95.13742
	15	50	3.8	0.2	95.11731
	16	50	3.8	0.25	93.89051
	17	50	3.8	0.3	92.66123
	18	50	3.8	0.37	90.93608
	19	50	3.8	0.35	91.42948
	20	50	3.8	0.4	90.19525

Табела 48. Приказ на резултати од Саса концентрација
Table 48. Results show of Sasa concentration

Месеци	Галенит Концентрат		Сфалерит Концентрат	
	Pb%	Zn%	Pb%	Zn%
Јануари	76,2	2,7	1,3	50,1
Февруари	77,5	2,8	1,5	51,2
Март	76,5	3,0	1,3	50,8
Април	76,5	3,2	1,0	50,0
Мај	74,5	3,0	1,1	49,5
Јуни	72,5	2,8	0,8	51,0
Јули	74,0	2,6	0,8	50,8
Август	73,5	2,8	1,0	51,0
Септември	74,5	3,0	1,1	51,5
Октомври	75,5	2,9	1,3	51,2
Ноември	75,0	2,6	1,1	50,7
Декември	75,5	2,3	1,0	51,0

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Табела 49. Приказ на резултати од Саса концентрација- %влез

Table 49. Results show of Sasa concentration- % feed

Месеци 2010	ВЛЕЗ 1		ВЛЕЗ 2	
	Pb%	Zn%	Pb%	Zn%
Јануари	4,8	4,5	5,0	4,8
Февруари	3,8	3,8	4,5	3,8
Март	4,6	5,0	4,5	4,5
Април	4,5	4,5	4,3	4,5
Мај	3,9	3,1	3,6	3,0
Јуни	4,3	4,3	4,1	4,2
Јули	4,3	3,5	4,0	3,9
Август	4,6	4,8	3,6	3,5
Септември	3,7	3,6	3,7	3,3
Октомври	4,3	4,1	4,3	4,1
Ноември	4,0	3,8	3,7	3,2
Декември	4,2	4,1	4,3	3,9

Месеци 2010	Галенит Концентрат Pb%	Галенит Концентрат Zn%	Сфалерит Концентрат Pb%	Сфалерит Концентрат Zn%
Јануари	76.2	2.7	1.3	50.1
Февруари	77.5	2.8	1.5	51.2
Март	76.5	3	1.3	50.8
Април	76.5	3.2	1	50
Мај	74.5	3	1.1	49.5
Јуни	72.5	2.8	0.8	51
Јули	74	2.6	0.8	50.8
Август	73.5	2.8	1	51
Септември	74.5	3	1.1	51.5
Октомври	75.5	2.9	1.3	51.2
Ноември	75	2.6	1.1	50.7
Декември	75.5	2.3	1	51

	Галенит Zn%	Сфалерит Pb%
Галенит Pb%	1	
Сфалерит Zn%	0.196779	1

Слика 56. Приказ на корелација во Microsoft Excel

Figure 56. Show correlated in Microsoft Excel

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Врз основа на статистичките анализи кои се вршени во производните процеси (CACA и Бучим) и обработка на податоците од годишните извештаи изработен е Excel програм кој и изработен врз основа математичка обработка (нумеричка анализа) и проценка на реален процес кој што врши споредба на техничко – економската ефикасност на реалните процеси.

При тоа, споредбената анализа, како и табеларните прикази на сликите кои следуваат ќе ги покажат **технолошките индикатори на концентрацијата, техничката ефикасност и економската ефикасност** за рудите кои се преработуваат во рудниците во Република Македонија и тоа бакарна-халкопиритна руда (рудник Бучим), галенитна и сфалеритна руда (рудник Caca).

Влез	Параметри	Резултати	Единици
Руда	R	100.0000	(t)
Концентрат	K	3.0000	(t)
Јаловина	J	97.0000	(t)
Корисна минерална компонента			
Руда	r	0.2000	(%)
Концентрат	k	36.0000	(%)
Јаловина	j	0.0300	(%)
Зависно од рудата	m	33.3000	(%)
Масено искористување			
Концентрат	Mk	0.4726	
Јаловина	Mj	99.5274	
Искористување			
Концентрат	Ik	85.0709	
Јаловина	Ij	14.5500	
Коефициент на скратување	kc	33.3333	
Коефициент на концентрација	ko	180.0000	
Ефикасност на концентрација	E	85.1094	
Техничка ефикасност	TE	84.7678	
Економска ефикасност	EE	84.5983	
Трошоци	kn	60.0000	S/t
Трошоци за топење	S	6000.0000	S/t
Цена на металот	P	10000.0000	S/t
Искористување	I	85.0709	
Идеално масено искористување	Mo	0.6006	

Слика 57. Споредба на техничко – економската ефикасност

Figure 57. The comparision of techno-economical effidency

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Влез	Параметри	Резултати	Единици	Влез	Параметри	Резултати	Единици
Руда	R	4000000.0000	(t)	Руда	R	4000000.0000	(t)
Концентрат	K	600000.0000	(t)	Концентрат	K	600000.0000	(t)
Јаловина	J	3400000.0000	(t)	Јаловина	J	3400000.0000	(t)
Корисна минерална компонента				Корисна минерална компонента			
Руда	r	0.2000	(%)	Руда	r	0.2200	(%)
Концентрат	k	18.0000	(%)	Концентрат	k	20.0000	(%)
Јаловина	j	0.0100	(%)	Јаловина	j	0.0150	(%)
Зависно од рудата	m	33.3300	(%)	Зависно од рудата	m	33.3300	(%)
Масено искористување				Масено искористување			
Концентрат	Mk	1.0561		Концентрат	Mk	1.0258	
Јаловина	Mj	98.9439		Јаловина	Mj	98.9742	
Искористување				Искористување			
Концентрат	Ik	95.0528		Концентрат	Ik	93.2518	
Јаловина	Ij	4.2500		Јаловина	Ij	5.7955	
Коефициент на скратување	kc	6.6667		Коефициент на скратување	kc	6.6667	
Коефициент на концентрација	ko	90.0000		Коефициент на концентрација	ko	90.9091	
Ефикасност на концентрација	E	94.5641		Ефикасност на концентрација	E	92.8388	
Техничка ефикасност	TE	94.1850		Техничка ефикасност	TE	92.4293	
Економска ефикасност	EE	93.9967		Економска ефикасност	EE	92.3192	
Трошоци	kn	0.2000	\$/t	Трошоци	kn	0.2000	\$/t
Трошоци за топење	S	1000.0000	\$/t	Трошоци за топење	S	1000.0000	\$/t
Цена на металот	P	5000.0000	\$/t	Цена на металот	P	5000.0000	\$/t
Искористување	I	95.0528		Искористување	I	93.2518	
Идеално масено искористување	Mo	0.6001		Идеално масено искористување	Mo	0.6601	

Влез	Параметри	Резултати	Единици
Руда	R	4000000.0000	(t)
Концентрат	K	600000.0000	(t)
Јаловина	J	3400000.0000	(t)
Корисна минерална компонента			
Руда	r	0.2000	(%)
Концентрат	k	20.0000	(%)
Јаловина	j	0.0100	(%)
Зависно од рудата	m	33.3300	(%)
Масено искористување			
Концентрат	Mk	0.9505	
Јаловина	Mj	99.0495	
Искористување			
Концентрат	Ik	95.0475	
Јаловина	Ij	4.2500	
Коефициент на скратување	kc	6.6667	
Коефициент на концентрација	ko	100.0000	
Ефикасност на концентрација	E	94.6651	
Техничка ефикасност	TE	94.2856	
Економска ефикасност	EE	93.1466	
Трошоци	kn	0.4000	\$/t
Трошоци за топење	S	2000.0000	\$/t
Цена на металот	P	5000.0000	\$/t
Искористување	I	95.0475	
Идеално масено искористување	Mo	0.6001	

Слика 58. Споредба на технолошки показатели и техничко - економската ефикасност
 Cu руда

Figure 58. The comparison of techno-economical efficiency for Cu ore

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Влез	Параметри	Резултати	Единици	Влез	Параметри	Резултати	Единици
Руда	R	750000.0000	(t)	Руда	R	750000.0000	(t)
Концентрат	K	35000.0000	(t)	Концентрат	K	35000.0000	(t)
Јаловина	J	715000.0000	(t)	Јаловина	J	715000.0000	(t)
Корисна минерална компонента				Корисна минерална компонента			
Руда	r	4.2000	(%)	Руда	r	4.2000	(%)
Концентрат	k	70.0000	(%)	Концентрат	k	75.0000	(%)
Јаловина	j	0.0500	(%)	Јаловина	j	0.0100	(%)
Зависно од рудата	m	86.6000	(%)	Зависно од рудата	m	86.6000	(%)
Масено искористување				Масено искористување			
Концентрат	Mk	5.9328		Концентрат	Mk	5.5874	
Јаловина	Mj	94.0672		Јаловина	Mj	94.4126	
Искористување				Искористување			
Концентрат	Ik	98.8802		Концентрат	Ik	99.7752	
Јаловина	Ij	1.1349		Јаловина	Ij	0.2270	
Коефициент на скратување	kc	21.4286		Коефициент на скратување	kc	21.4286	
Коефициент на концентрација	ko	16.6667		Коефициент на концентрација	ko	17.8571	
Ефикасност на концентрација	E	97.6850		Ефикасност на концентрација	E	98.9886	
Техничка ефикасност	TE	97.0223		Техничка ефикасност	TE	98.3171	
Економска ефикасност	EE	98.3151		Економска ефикасност	EE	99.2431	
Трошоци	kn	0.4000	\$/t	Трошоци	kn	0.4000	\$/t
Трошоци за топење	S	600.0000	\$/t	Трошоци за топење	S	600.0000	\$/t
Цена на металот	P	1500.0000	\$/t	Цена на металот	P	1500.0000	\$/t
Искористување	I	98.8802		Искористување	I	99.7752	
Идеално масено искористување	Mo	4.8499		Идеално масено искористување	Mo	4.8499	

Влез	Параметри	Резултати	Единици
Руда	R	750000.0000	(t)
Концентрат	K	35000.0000	(t)
Јаловина	J	715000.0000	(t)
Корисна минерална компонента			
Руда	r	3.8000	(%)
Концентрат	k	80.0000	(%)
Јаловина	j	0.1000	(%)
Зависно од рудата	m	86.6000	(%)
Масено искористување			
Концентрат	Mk	4.6308	
Јаловина	Mj	95.3692	
Искористување			
Концентрат	Ik	97.4903	
Јаловина	Ij	2.5088	
Коефициент на скратување	kc	21.4286	
Коефициент на концентрација	ko	21.0526	
Ефикасност на концентрација	E	97.1212	
Техничка ефикасност	TE	96.5275	
Економска ефикасност	EE	96.6779	
Трошоци	kn	0.6667	\$/t
Трошоци за топење	S	1000.0000	\$/t
Цена на металот	P	1500.0000	\$/t
Искористување	I	97.4903	
Идеално масено искористување	Mo	4.3880	

Слика 59. Споредба на технолошки показатели и техничко - економската ефикасност Pb руда

Figure 59. The comparison of techno-economical efficiency for Pb ore

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Влез	Параметри	Резултати	Единици	Влез	Параметри	Резултати	Единици
Руда	R	750000.0000	(t)	Руда	R	750000.0000	(t)
Концентрат	K	35000.0000	(t)	Концентрат	K	35000.0000	(t)
Јаловина	J	715000.0000	(t)	Јаловина	J	715000.0000	(t)
Корисна минерална компонента				Корисна минерална компонента			
Руда	r	3.8000	(%)	Руда	r	4.0000	(%)
Концентрат	k	50.0000	(%)	Концентрат	k	48.5000	(%)
Јаловина	j	0.1500	(%)	Јаловина	j	0.2000	(%)
Зависно од рудата	m	67.1400	(%)	Зависно од рудата	m	67.1400	(%)
Масено искористување				Масено искористување			
Концентрат	Mk	7.3220		Концентрат	Mk	7.8675	
Јаловина	Mj	92.6780		Јаловина	Mj	92.1325	
Искористување				Искористување			
Концентрат	Ik	96.3417		Концентрат	Ik	95.3934	
Јаловина	Ij	3.7632		Јаловина	Ij	4.7667	
Коефициент на скратување	kc	21.4286		Коефициент на скратување	kc	21.4286	
Коефициент на концентрација	ko	13.1579		Коефициент на концентрација	ko	12.1250	
Ефикасност на концентрација	E	94.3603		Ефикасност на концентрација	E	93.0708	
Техничка ефикасност	TE	92.5361		Техничка ефикасност	TE	91.1728	
Економска ефикасност	EE	95.0571		Економска ефикасност	EE	94.4099	
Трошоци	kn	0.6667	\$/t	Трошоци	kn	0.5000	\$/t
Трошоци за топење	S	1000.0000	\$/t	Трошоци за топење	S	1000.0000	\$/t
Цена на металот	P	1500.0000	\$/t	Цена на металот	P	2000.0000	\$/t
Искористување	I	96.3417		Искористување	I	95.3934	
Идеално масено искористување	Mo	5.6598		Идеално масено искористување	Mo	5.9577	

Влез	Параметри	Резултати	Единици
Руда	R	750000.0000	(t)
Концентрат	K	35000.0000	(t)
Јаловина	J	715000.0000	(t)
Корисна минерална компонента			
Руда	r	3.9500	(%)
Концентрат	k	51.5000	(%)
Јаловина	j	0.1200	(%)
Зависно од рудата	m	67.1400	(%)
Масено искористување			
Концентрат	Mk	7.4543	
Јаловина	Mj	92.5457	
Искористување			
Концентрат	Ik	97.1885	
Јаловина	Ij	2.8962	
Коефициент на скратување	kc	21.4286	
Коефициент на концентрација	ko	13.0380	
Ефикасност на концентрација	E	95.3435	
Техничка ефикасност	TE	93.4245	
Економска ефикасност	EE	96.2449	
Трошоци	kn	0.5000	\$/t
Трошоци за топење	S	1000.0000	\$/t
Цена на металот	P	2000.0000	\$/t
Искористување	I	97.1885	
Идеално масено искористување	Mo	5.8832	

Слика 60. Споредба на технолошки показатели и техничко - економската ефикасност Zn руда

Figure 60. The comparison of techno-economical efficiency for Zn ore

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

ЗАКЛУЧОК

Во современата индустриска пракса (минерална технологија, неорганска и органска технологија и други процеси) сè почесто се оди кон примена на комбинација на програмски пакети, софтверско инженерство или развој на софтвери и оптимизациско програмирање на постојните процеси, со цел да се овозможи прв чекор кон соодветна оптимизација, како и евентуална автоматизација на технолошките процеси.

Информациите за повеќето циклуси во реалната средина или индустриските процеси изискуваат информации за големините или содржините за влезните или излезните параметри во затворениот циклус. Во повеќето циклуси, мерењата се извршуваат на влезот во процесот или циклусот, односно на излезот на произведените продукти или пак од прилика во прилика во меѓуинтервалните продукти. Големините на преостанатите параметри се пресметуваат или изведуваат од другите измерени карактеристики, такви како што се распределбата по содржини или крупност на пробите собрани или земени во соодветни точки на циклусот, емисија на гасови, оптимална содржина на раствори или друго. Истражувањето на ефикасноста на циклусот со примена на математичка симулација и оптимизација вклучува:

- Пресметка на целосниот материјален биланс на циклусот од некомплетните податоци во постројката;
- Пресметка на моделните параметри од комплетната мрежа на податоци во постројката;
- Оптимизација преку симулација на циклусот на персонален компјутер проследен со оптимирачки алатки;
- Искористување на персонален компјутер за готови изработени, разработени или адаптирани компјутерски програми за пресметки, како и искористување на разни програмски јазици за нивна имплементација, како што се Basic, Excel, Video Studio и слично;
- При пресметката на моделните параметри се користат општите методи на најмали квадрати, линеарна регресија, матрична алгебра, пресметка на точноста, корекција или подесување со Lagrange множители, Методот на најмали квадрати се користи да ги распредели грешките, за да ја

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

минимизираат сумата на квадратите на подесувања од измерените вредности на најдобро подесените податоци или слично.

Се работи за примена и разработка на повеќе програми кои помагаат наместо макотрпни пресметки и добивање на голем број на податоци, со помош на математички операции во програмските пакети да се распределат или подесат (корегираат) грешките, така што наједноставно е подесувањето да се претстави како метод, дека измерените грешки се пропорционални на компонентните вредности во секоја мерна точка.

Секогаш оптималното решение не претставува оптимум, опремата и постројките со години се менуваат, составот на компонентите се менуваат повремено, а и многу други фактори чинат мали промени кои влијаат на променливиот одговор или решение. ЕВОП-от е метод кој се повикува на постојани мали промени во процесот во обид да се одржува едно оптимално ниво. Еден од најпопуларните методи на ЕВОП е **секвенцијалната симплекс оптимизација**.

Еволутивната оперативност користи еден усогласен, внимателно планиран циклус на минимум варијанти во стандардниот работен процес, а рутинската постапка е водењето на секоја од варијантите во турнус, како и повторувањето на циклусот. Вообичаено е ефектите од овие промени на променливите да се скриени со големи грешки поврзани во уреди со голем производствен капацитет. Нејзината основна филозофија е таа што скоро секогаш е неефикасно да се води било кој индустриски процес самостојно без процесот или производот да биде управуван така што да создава или генерира нов производ и нова информација како да се подобри истиот.

Simplex **EVOP** беше предложен како една алтернатива за оригиналната Box **EVOP** – Еволутивна Оперативност. **Симплексот изискува многу помалку експериментирање и постига оптимум на процесот многу побрзо**. Наместо факториелно експериментирање, Simplex **EVOP** користи нижење на експериментални дизајни во форма на регуларен Simplex.

Во многу процеси оптимумот се стреми да се движи со времето. Одговорите можат да покажат движење на оптимумот иако оптимум навистина не се менува. Тоа е нереално и може да биде некорисно, да направи процесни

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

промени на база на out-of-date и ирелевантни информации, иако ќе се користат само најновите обсервации. Примената на таков еден прецизен опит на експерименти ќе ја елиминира потребата за статистичка анализа на податоците. Вклучената аритметика е тривијална и не е потребна никаква положба за да се пресмета правецот на најстрмниот пад или подигање. Иако оваа процедура е идеална за контрола со помош на дигитални компјутери, супервизорите во постројките го оптимизираат процесот со Simplex **EVOP (Multisimplex 2.1)** без да има недостатоци со некористење на компјутер, така што еден соодветен работен лист може да биде направен.

Во конкретниот случај биле искористени компјутерски програми, а програмите користат **Basic, Visual Basic, Visualstudio 2008** поддршка која едноставно може да се трансформира во посовремен пакет на програмски јазик. Овие програмски разработени и адаптирани за примена можат да се сретнат во повеќе варијанти или разни дизајни, но всушност сите се однесуваат за подесување и корекција на преголемиот број на податоци кои се добиваат при експерименталните истражувања, а истите со математички операции со примена на компјутерските програми се дотеруваат или корегираат.

Програмот за едноставен затворен циклус на мелење-класирање **MINTEN - 3** (мелница – хидроциклон) е направен во Visualstudio 2008 и овозможува брзо и ефикасно решавање на проблемот, при што операторот на програмот ефикасно задава соодветни влезни податоци или ги променува истите, а програмата отчитува резултати на апликативните прозорци, така се можни реални избори на влезни податоци кои ќе придонесат за оптимални и подобрени резултати.

Програмот за затворен циклус на едностадијално мелење – двостадијално мелење **MINTEN - 2** во спирални класификатори е направен во Visualstudio 2008 и овозможува брзо и ефикасно решавање на проблемот, со истата гореспомната можност за варијација на влезни и излезни параметри.

Програмите за двостадијално мелење со комбинирано класирање на механички класификатор и хидроциклон **MINTEN - 1** е направен во Visualstudio 2008 и овозможува брзо и ефикасно решавање на проблемот поставен со проектната задача и дава можности за имплементирање и програмирање на

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

слични или посложени проблеми кои се појавуваат во индустриската пракса на Минералната технологија.

Промените кои можат да се направат во влезните параметри во претходните три програми, сведувајќи ги на 2^2 , 2^3 , 2^4 или сличен број во планот на експерименти, може едноставно да не доведе до оптималната оперативност, а тоа може едноставно да се прикаже преку дисплејите на персоналниот компјутер.

Програмата **MULTISIMPLEX®** се користи за приказ за оптимална оперативност на процеси од реалната средина, користејќи разни алатки, симулатори и графичко-табеларни прикази за оптимизација. Ефикасноста на примената на оваа програма овозможува брза и ефикасна оптимизација на постојните индустриски процеси преку современ приод и прикажување.

Втемелениот Multisimplex® изграден на темелите на симплекс техниката работи со логични и директно резултатски ориентирани опити: софтверот едноставно овозможува приказ на процесот чија поставка генерира најдобар резултат за време на постојните оперативни услови. Лесно се разбира еволутивноста и е едноставен за користење. Оптимизацијата значи пребарување или подесување, така што се добива најдобриот резултат. Така, Multisimplex® постанува прогресивна можност за континуирана оптимизација и постигнување на бараните цели?!

Оваа техника може да се користи при автоматска оптимизација во скоро сите процеси, каде што постојат контролни променливи и мерливи цели, одговор-варијабили. Примери можат да се најдат при: **рафинација (солвент екстракција или јонска измена), сеење и класирање – screening (хидроциклони), процеси со пулпа, разни хемиски производства (машини за хартија, аналитичка хемија, фармацевтија), рафинерии за нафта и енергетски производни постројки, согорување во инценератори и автоклави), разлагање на експлозиви (нитроглицерин, нитроглицерол, тротил) со создавање на NO_x и друго.**

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Покрај очигледната постојаност или константност на производниот процес, преку автоматизацијата и сигурноста, битно се појавуваат позитивните резултати и постигнатите цели преку (*Примери: 1. SCA Graphic, Ortviken, Sverige; 2. Söder Energy CHP Plant, Sverige*):

- 50% редукција на промени во својствата на влакна во текстил,
- 10% зголемување на производност,
- 5% намалување на потрошувачка на енергија,
- Минимизација или максимизација на текстилни влакна,
- Вградување на релативен ред помеѓу трошкови, квалитет и производност,
- Содржи адаптивен систем за сегментна промена,
- 50% намалување на емисија на CO,
- 30% намалување на емисија на NO_x,
- 30% намалување на потрошувачка на уреа за селективна некаталитичка редукција SNCR.

Изведените индустриски и лабораториски испитувања на халкопиритна руда при различни реагентски режими во однос на стандардните, особено при воведување на нови колектори за зголемување на искористување на златото (примарно) и бакар (секундарно), сеуште не дадоа некои впечатливи резултати, пред дсе поради варијациите на квалитетот во влезната руда.

Согласно на математичкиот модел на процесот на халкопиритно флотирање изразен преку искористување на бакар во концентрат I_{Cu}%, а во зависност од x₁ (потрошувачка на колектор NaIPX), x₂ (потрошувачка на колектор KBX:KEH=1:1) и x₃ (потрошувачка на колектор SKIK 2025), во условни единици го има следниот изглед (полином од прв ред):

$$I_{Cu}\% = 88.65 + 0.346x_1 + 0.47x_2 + 0.03x_3 - 0.596x_1x_2 + 0.26x_1x_3 + 0.24x_2x_3 + 0.18x_1x_2x_3$$

Програмирање и оптимална еволутивна оперативност на процеси во реални услови

Согласно на извршената анализа за добиениот линеарен модел за втемелување на значајноста и влијанието на поедини коефициенти, како и адекватноста за евентуална зависност $I_{Cu}\% = f(x_1, x_2, x_3)$, се добива следниот краен изглед:

$$I_{Cu}\% = 88.65 + 0.346x_1 + 0.47x_2 - 0.596x_1x_2$$

Последниот линеарен модел недвосмислено покажува дека искористување на бакар во концентрат $I_{Cu}\%$ изискува намалување на потрошувачка на колектор NaIPX (од појдовни 12 gr/t), намалување на потрошувачка на колектор SKIK 2025 (во појдовни 4 gr/t), или минимално зголемување потрошувачка на колектор KBX:KEX=1:1 = 9.5÷10.5 gr/t (повеќе 2.5 gr/t од појдовните), секако во зависност на квалитетот на рудата во влезот.

Искористување на бакар во концентрат $I_{Cu}\%$ е оптимално (**90,2%**), или пак бара минимално намалување на потрошувачка на колектор NaIPX и зголемување на KBX:KEX=1:1.

Софтверскиот пакет за **моделирање на кинетиката за флотирање** во **MATLAB®(R) GUI**, прикажан на конкретните примери за флотирање на бакарни руди (халкопиритни, оксидно-сулфидни), овозможува соодветно табеларно и графичко прикажување на **Класичен кинетички модел** (I. Brezani, F. Zelenek) е во функција на константата **k** во одредена временска зачестеност за додавање на користените реагенси.

Програмата **Microsoft Excel 2010** дава можности за прикладно прикажување на технолошки или индустриски процеси во реална средина или економски изведби во реална средина, преку дискриптивната статистика и останатите можности кои ги пружа примената на оваа програма.

При тоа, споредбената анализа со програмата **Microsoft Excel 2010**, како и табеларните прикази на сликите кои се прикажани ги покажуваат **технолошките индикатори на концентрацијата, техничката ефикасност и економската ефикасност** за рудите кои се преработуваат во рудниците во Република Македонија и тоа: *бакарна-халкопиритна руда* (рудник Бучим), од аспект на бакар и злато, *галенитна и сфалеритна руда* (рудник Саса), од аспект на полово и цинк. (Krstev A. et all 2008 - 2012).

ЛИТЕРАТУРА

1. Conway, T. M., (1985). "A computer program for the prediction of hydrocyclone performance, parameters, and product-size distributions", *Mintek Report N^o. M233*, Randburg, South Africa, December.
2. Brezani, I. Zelenak, F., (2010). MATLAB® tool for determining first order flotation kinetic constants., Institute of Montananeous Sciences and Environmental Protection. Technical University of Kosice, BERG Faculty,
3. Brezani, I. Zelenak, F., (2010). Matlab® tool for modeling first order flotation kinetics., Institute of Montananeous Sciences and Environmental Protection. Technical University of Kosice, BERG Faculty,
4. Evgun L., Ekmekci Z., Gülsoy Ö., Benzur H., (2004). "Modelling and Simulation of Grinding Circuit in Magneuli Copper Concentrator", *Physicochemical Problems in Mineral Processing*, 38(2004), 231-240, USA.
5. Голомеова, М. (2002). "Оптимизација на класирањето на бакарната руда од рудникот „Бучим“ во услови на повеќе факторска зависност", Докторска дисертација, UKIM, RGF, Штип.
6. Grujic, M. (1991). "Optimizacija I Matematicko Modeliranje Procesa Usitnjavanja I Flotacijske Koncentracije", Bor, Serbia.
7. Grujic, M. et al. (1990). "Optimisation of Grinding Media Kinetics In the Ball Mill", AIME Meeting 1990, Salt Lake City, Utah, USA.
8. Herbst, J. A. (1982). "The Application of Modern Control Theory to Mineral Processing Operations", *Proceedings 12th CMMI Congress*. H. W. Glen, Editor, South Africa Inst. Min. Metall., Johannesburg, 779-823.
9. Kawatra S. K. et al. (2005). "Optimization of Comminution Circuit Through put and Product Size Distribution by Simulation and Control", MTU, Michigan, USA.
10. Крстев, Б. (2002). "Минерално Инженерство" –Штип.
11. Крстев, Б. (2002). "Минерална Технологија 1" –Штип.
12. Крстев, Б. Голомеов, Б. (1994). "Примена на компјутерски програми за одредување на технолошки показатели во ПМС", Зборник на Трудови, RGF-Штип.

13. Lynch, A. J. (1977). "Mineral Crushing and Grinding Circuits" (Their Simulation, Optimisation, Design and Control).
14. Lynch, A. J., et all. (March 1975). "The influence of design and operating variables on the capacities of hydrocyclone classifiers", *Int. J. Proc.* 2, 29.
15. Magdalinovic, N. (1999). "Usitnjavanje I Klasiranje", Beograd, Serbia.
16. Magdalinovic, N., (1991). "Usitnjavanje I klasiranje mineralnih sirovina", Naucna knjiga, Beograd, Serbia.
17. Magdalinovic, N., et all. (1994). "The Optimization of the Ball Grain Size Distribution in Ball Mill", 4th IC Kosice, 66;
18. Mular, A. L., (1980). "Empirical modeling and aptinuation of mineral processes", *Mineral Science and Engineering*, 4, No 3. Pp 30-42.
19. Napier-Munn, T. J., Morrell, S., Morrison, R. D., and Kojovic, T., (1996). "Mineral comminution circuits: their operation and optimization". JKMRС., pp. 413.
20. Plitt, L. R., (December, 1976). "A mathematical model of the hydrocyclone classifier", *CIM Bull.* 69, 114.
21. Povarov A. I., (1978). "Gridrocikloni na obogatitel'nyh fabrikah", "Nedra". Moskva, Russia.
22. Renner, V. G., and Cohen, H. E., (June, 1978). "Measurement and interpretation of size distribution of particles within a hydrocyclone", *Trans. IMM.*, Sec. C, 87,139.
23. Rowland C. A., (1986). "Ball Mill Scale-up-Diameter Factors., *Advances in Mineral Processing*", P. Somasundaran Editor Society of Mining Engineers/AIME, 34, 605.
24. Svarovsky, L., (1984). "Hydrocyclones", Holt, Rinehart & Winston Ltd, Eastbourne.
25. Wiegel R. L., and Li K. A., (1986). "Random Model for Mineral Liberation by Size Reduction", *Trans. AIME*, 238, 179.
26. Wills, B. A. (1988). "Mineral Processing Technology", 4th edition.
27. Голомеов Б. (1997). Докторска дисертација, УКИМ- РГФ – Штип, РМ
28. Голомеов, Б., Милева А., (2008). "Нумерички методи во рударството",
29. Laudon, K. C., Laudon Jane P., (2010). "Management Information Systems", 11th edition.

30. Chapra Steven C., Canale Raymond P., (2006). "Numerical Methods for Engineers", 5th edition.
31. Avison D., Fitzgerald G., (2006). "Information Systems development (methods, techniques & tools)", 4th edition.
32. Самарвил И., (2009). "Софтверско инженерство", 8th Edition.
33. Џејмс Г., (2009). "Математика на модерен инженеринг".
34. Хамди А. Таха, (2007). "Операциони истражувања".
35. Ramani R.V., (1994). Mozumdar B.K., Samaddar A.B., "Computers in Mineral industry" .
36. Rosenquist T., (1986). "Principles of Extractive Metallurgy", McGraw BookCompany, Second Edition.
37. Pacovic N., (1986). "Hidrometalurgija", Stampa, Radio I Film, Bor, Serbia.
38. Walters F. et all. (1999). "Sequential simplex optimization" , CRC Press LLC, 2000, Florida, USA.
39. Крстев А. (2008). "Математичко моделирање, програмирање на затворени циклуси на минералната технологија " , УГД-ФРГП-Штип, Магистерски труд.
40. Krstev B., Golomoev, B., Golomeova, M., Krstev A. (2009). "Processing methods for producing lead and elemental sulphur of synthetic mixures", BMPC, Bucharest, Romania.
41. Krstev A., Krstev B., Golomoev, B., Golomeova, M., (2009). "Computer presentation of the closed circuits in mineral processing by software computer packets", BMPC, Bucharest, Romania.
42. Krstev A., Koceski, S., Koceska, N. (2009). "Hand gesture-based control of mobile robot's freight ramp", Охрид конференција за Информатички технологии, Springer.
43. Krstev B., Golomoev, B., Golomeova, M., Krstev A. (2009). "Mathematical model of classifying cut point by laboratory hydrocyclone", BMPC, Bucharest, Romania.
44. Krstev B., Golomoev, B., Golomeova, M., Krstev A. (October, 2009). "New processing methods for producing lead and elemental sulphur from ores", Natural resources and technology UGD – Shtip, FPTN N^o.3 Volume 3.
45. Krstev A. (October 2009). "Mine project evaluation techniques", Natural resources and technology UGD – Shtip, FPTN, N^o.3, Volume 3.
46. Krstev B., Golomoev, B., Golomeova, M., Krstev A. (October 2009). "Application of dispersiom analysis for determining classifying separation size", Natural resources and technology UGD – Shtip, FPTN N^o.3 Volume 3.

47. Krstev A., Krstev B., Golomoev, B., Golomeova, M., (October 2009). "Computer presentation in mineral processing by software computer packets", Natural resources and technology, UGD – Shtip, FPTN N^o.3, Volume 3.
48. Krstev A. (2009) "The results of scientific research, conclusions and recommendations reported, discussed and received approval for international scientific conference", "Economic problems of adaptation and development of engineering sector in Bulgaria and Ukraine in the circumstances", Sofia, Bulgaria.
49. Krstev A. (2009) "Problems of becoming global way of information", IV International Scientific Conference, Gabrovo, Bulgaria.
50. Krstev A. (2009) "The economic problems of the sustainable development of the enterprise in a market economy", Ukrainian scientific-practical conference with international participation, Odessa, Ukraina.
51. Krstev A. (2010). "Improvement of the Operative Information Providing of Activity of Industrial Enterprises of Bulgaria and Ukraine", Kiev, Ukraine, PhD Thesis.
52. Krstev A., Krstev B., Krstev, D., (2011). "Appropriate logistics and business informatics in local educational environment", Trans&MOTAUTO Journal, Varna, Bulgaria.
53. Krstev A., Krstev B., Krstev, D., (2011). "Appropriate information systems in different processes", Trans&MOTAUTO Journal, Varna, Bulgaria.
54. Krstev A., Krstev B., Golomoev, B., Golomeova, M., (2011). "Computer presentation of equipment and devices by mathematical and software programmes methods", Trans&MOTAUTO Journal, Varna, Bulgaria.
55. Golomoev, B., Golomeova, M., Krstev B., Krstev A. (19-21.09.2011). "The choice between prodiction of lead selective concentrate or recovery of lead and elemental sulphur from galenite domestic ores", Conference Varna, Bulgaria.
56. Krstev B., Golomoev, B., Golomeova, M., Krstev A. (2011). "The investigations and possibility of leaching or bioleaching from nickel bearing laterite ores", EuroBioTech Simposium, Istanbul, Turkey.
57. Krstev B., Golomoev, B., Golomeova, M., Krstev A. (2011). "The choice between flotation, leaching or bioleaching from low grade copper bearing domestic ores", EuroBioTech Simposium, Istanbul, Turkey.
58. Krstev A. (2011/2012). "Business informatics and appropriate logistics as a challenge for education or economy globalization in Macedonia", Natural resources and technology, UGD – Shtip.
59. Krstev A. (2011/2012). "Information technology in logistics: Advantages, challenges and opportunity for efficiency from problem decision in different activities", Natural resources and technology, UGD – Shtip.

- 60. Krstev A. (2011/2012). "The role and perspective of national applied information systems in production processes or academy and accounting firms", Natural resources and technology, UGD – Shtip.
- 61. Krstev A. Krstev B., Krstev D. (20-25 june 2011). "Information technology in logistics: Advantages, challenges and opportunity for efficiency from problem decision in different activities", SGEM Conference, Albena, Bulgaria.
- 62. Krstev B., Golomoev, B., Golomeova, M., Krstev A. (14-16 june, 2011). "New inovations and improvments in lead and concentrator for selective flotation for lead-zink mine Sasa", XIV Balkan mineral processing congress, Tuzla, BiH.
- 63. Krstev A., Krstev B., Golomoev, B., Golomeova, M., (14-16 june, 2011). "From challenge to opportunity: Mathematical and optimization tools for closed ball-hydrocyclone circuit performance", XIV Balkan mineral processing congress, Tuzla, BiH.
- 64. Krstev B., Krstev A. Krstev, D. (2011). "The producing of lead and elemental sulphur by new technologies from galenite ores", Journal for Perspectives of innovations , Economics & Business, Volume 7, Issue 1, Czech Republic.
- 65. www.multisimplex.com/
- 66. www.grabitech.com/Multisimplex.htm
- 67. www.grabitech.se/MultiSimplexCombustionOptimization.pdf
- 68. www.metso.com/MP/Marketing/
- 69. www.figo.org/.../molecular-modelling-and-multisimplex-optimization
- 70. www.statpages.net/detail/504/multisimplex.html
- 71. www.sciencedirect.com/science/article/pii