

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ИНСТИТУТ ПО ИНЖЕНЕРНА ХИМИЯ

ИНЖ. ЕЛИСАВЕТА ГЕОРГИЕВА КИРИЛОВА

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд,
представен за присъждане на образователната и научна степен
„Доктор”

**НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:
ДОЦ. Д-Р НАТАША ВАКЛИЕВА-БАНЧЕВА**

2011

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ИНСТИТУТ ПО ИНЖЕНЕРНА ХИМИЯ

Инж. Елисавета Георгиева Кирилова

**СИСТЕМНО-ОРИЕНТИРАН ПОДХОД ЗА
ЕКОЛОГОСЪОБРАЗНО УПРАВЛЕНИЕ НА
МНОГОЦЕЛЕВИ ПЕРИОДИЧНИ ХИМИЧНИ И
БИОХИМИЧНИ ПРОИЗВОДСТВА**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд,
представен за присъждане на образователната и научна степен
„Доктор”

НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ: Доц. д-р Наташа Гр. Ваклиева – Банчева

София, 2011

Дисертационният труд съдържа увод, седем глави, заключение – приноси на дисертацията, списък на цитирана литература и списък на авторските публикации по темата на дисертационния труд. Списъкът с цитираната литература включва 245 източника, от които 3 на кирилица и 242 на латиница. Обемът на дисертационният труд е 152 страници, включително 33 фигури и 18 таблици. Номерата на използваните в автореферата фигури и таблици съвпадат с тези в дисертацията.

Докторантката работи като асистент в лаборатория “Инженерно-химична системотехника” към Института по инженерна химия при Българска академия на науките (ИИХ-БАН). Зачислена е в докторантура на самостоятелна подготовка към същата лаборатория през 2007 година, като всички изследвания по дисертацията са реализирани в същата лаборатория.

Дисертационният труд е обсъден от Колоквиума по Инженерна химия и насочен за защита пред Научно жури от Научния съвет на Института по електрохимия и енергийни системи при Българска академия на науките, Протокол №1/02.02.2011 г.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 14.06.2011г. от 14⁰⁰ ч. в залата на Института по инженерна химия към Българска академия на науките, ул. „Акад. Г. Бончев”, бл. 103, София, на заседание на Научно жури в следния състав:

Проф. д-н. Венко Бешков, ИИХ-БАН – рецензент;

Проф. д-н. Стоян Стянов, ХТМУ-София – рецензент;

Проф. д-н Богдана Куманова, ХТМУ-София;

Проф. д-н Христо Бояджиев;

Доц. д-р Наташа Ваклиева-Банчева, ИИХ-БАН – Председател на Научното жури.

Всички материали по защитата са публикувани на интернет страницата на ИИХ-БАН: <http://www.iche.bas.bg/>

С Ъ Д Ъ Р Ж А Н И Е

	Стр.
ИЗПОЛЗВАНИ ОЗНАЧЕНИЯ	5
УВОД	8
1. ИЗВОДИ ОТ ЛИТЕРАТУРНИЯ ОБЗОР	8
2. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИЯТА	9
3. СИСТЕМНО-ОРИЕНТИРАН ПОДХОД ЗА РЕДУЦИРАНЕ НА ЕКОЛОГИЧНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА МНОГОЦЕЛЕВИ ХИМИЧНИ И/ИЛИ БИОХИМИЧНИ ПРОИЗВОДСТВА	9
3.1. Многоцелеви химични и/или биохимични производства.	9
3.2. Основни характеристики и източници на замърсяване	11
3.2. Дефиниране на рамката на системно-ориентирания подход и формулиране на цели	11
4. МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА ЕКОЛОГИЧНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА ПЕРИОДИЧНИ ХИМИЧНИ И/ИЛИ БИОХИМИЧНИ ПРОИЗВОДСТВА И ДЕФИНИРАНЕ НА КРИТЕРИИ ЗА НЕГОВАТА МИНИМИЗАЦИЯ	12
4.1. Математичен модел за описание на мощността на замърсяване от периодични рутинни източници	12
4.2. Количествени оценки за въздействието на периодични химични и биохимични производства върху околната среда	14
4.3. Критерии за оценка на пиковото въздействие	15
5. МАТЕМАТИЧНО ФОРМУЛИРАНЕ НА ЗАДАЧИТЕ В СИСТЕМНО-ОРИЕНТИРАНИЯ ПОДХОД	17
5.2. Необходими данни	17
5.3. Екологичен анализ на производствените рецепти	18
5.3.1. Рутинен екологичен анализ на производствени рецепти	18
5.3.2. Минимално въздействие при производството на 1 kg целеви продукт	18
5.3.3. Идентификация на замърсителите и технологичните стадии, от които се очакват пикови въздействия върху околната среда	20
5.4. Екологични политики за управление на производствената система	20
5.4.1. Екологични цели	20
5.4.2. Компромисни, екологични и икономически цели	23
5.5. Редуциране на пиковите въздействия върху околната среда	25
6. BASIC - ГЕНЕТИЧЕН АЛГОРИТЪМ ЗА РЕШАВАНЕ НА ОПТИМИЗАЦИОННИ ЗАДАЧИ В ИНЖЕНЕРНАТА ХИМИЯ	26
7. ТЕСТВАНЕ НА ПРЕДЛОЖЕНИЯ СИСТЕМНО-ОРИЕНТИРАН ПОДХОД НА ПРИМЕР ОТ МЛЕЧНАТА ИНДУСТРИЯ	28
7.1. Необходими данни	28
7.2. Екологичен анализ на рецептите за производство на извара	29
7.2.1. Рутинен екологичен анализ на рецептите за производство на извара	29
7.2.2. Минимално въздействие при производството на 1 kg извара	30
7.2.3. Идентификация на технологичните стадии при производството на извара, от които се очакват пикови въздействия върху околната среда	33

7.3.	Екологични политики за управление на производството на извара	35
7.3.1.	Екологични цели при производството на извара	35
7.3.2.	Компромис между екологични и икономически цели при производството на извара	37
7.4.	Редуциране на пиковите въздействия при производството на извара	39
	ПРИНОСИ	40
	СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ, ДОКЛАДИТЕ В ПЪЛЕН ТЕКСТ И УЧАСТИЯТА В КОНФЕРЕНЦИИ СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИЯТА	41

ИЗПОЛЗВАНИ ОЗНАЧЕНИЯ

Латински символи

<i>B</i>	размер на партидата, произвеждана по даден технологичен маршрут, [kg];
<i>C</i>	концентрациите на замърсителя във входящите и изходящи в и от даден периодичен стадии материални потоци, уравнение (5-4);
<i>CF</i> %	съдържание на масло в получената като страничен продукт при обезмасляване на млякото сметана, [%];
<i>E</i>	множество на използваните в рецептите видове енергия за производството на всеки от продуктите;
<i>EC</i>	множество на цените на използваната в рецептите енергия за производството на всеки от продуктите, [BGN/kJ];
<i>Ec</i>	цени на видовете енергия, използвани в рецептите, [BGN/kJ];
<i>ECost</i>	разходи за енергия, изразходвана при производството на продуктите по избраните рецепти, [BGN];
<i>FC</i> %	съдържание на масло в изварата-готов продукт, [%];
<i>FDM</i>	фактор за съдържание на масло в твърдото вещество;
<i>H</i>	дължина на производствения хоризонт, [h];
<i>I</i>	множество на продуктите, които се произвеждат в производствената система;
<i>ID</i>	матрици с бинарни променливи за идентифициране на технологичните апарати, подходящи за изпълнение на технологичните стадии в дадена рецепта;
<i>INCost</i>	отчетени приходи при производството на продуктите по избраните рецепти, [BGN];
<i>L</i>	множество на технологичните (производствените) стадии, включени в рецептите за производството на всеки от продуктите;
<i>Lc</i>	средната цена за един час операторски труд при производството на даден продукт, [BGN/h];
<i>LCost</i>	разходи за операторски труд за производството на продуктите, [BGN];
<i>M</i>	множество на използваните в рецептите суровини за производството на всеки от продуктите;
<i>m</i>	Индекс на замърсяване – масата на „генерирания” в даден техн. стадий замърсител и изнесен извън него при п-вото на 1 kg целеви продукт, [kg/kg];
<i>Mass</i>	общото количество на „генерирания” от рутинния източник във времевия хоризонт замърсител при производството на даден продукт, [kg];
<i>MC</i>	множество на цените на суровините, използвани в рецептите за производството на всеки от продуктите, [BGN/kg];
<i>Mc</i>	цени на суровините, използвани в рецептите, [BGN/kg];
<i>MC</i> %	съдържание на казеин в суровините (мляко), използвани за производството на продуктите (извара) по рецептите, [%];
<i>MCost</i>	разходи за суровини при производството на продуктите по избраните рецепти, [BGN];
<i>MI</i>	масата на веществото, което се внася в даден периодичен стадий с входящите потоци при производството на продукт по дадена рецепта, уравнение (5-4), [kg];
<i>MO</i>	масата на веществото, което се изнася от даден периодичен стадий с изходящите потоци при производството на продукт по дадена рецепта, уравнение (5-4), [kg];
<i>MF</i> %	съдържание на масло в суровините (мляко), използвани за производството на продуктите (извара) по рецептите, [%];

<i>ML%</i>	съдържание на лактоза в суровините (мляко), използвани за производството на продуктите (извара) по рецептите, [%];
<i>MP%</i>	съдържание на протеин в суровината (мляко), използвани за производството на продуктите (извара) по рецептите, [%];
<i>N</i>	множество на ключовите компоненти в използваните в рецептите суровини за производството на всеки от продуктите;
NB	вектор от целочислени променливи за броя на партидите, които трябва да бъдат произведени за всеки от продуктите;
<i>Nb</i>	целочислени променливи, даващи броя на произведените партиди за всеки от продуктите;
<i>NE</i>	множество на нормите за разход на различните видове енергия при производството на 1 kg целеви продукт, [kJ/kg];
<i>Ne</i>	норми за разход на различните видове енергии при производството на 1 kg целеви продукт, [kJ/kg];
<i>Nl</i>	брой на заетите в производството на всеки продукт лица;
<i>OUTCost</i>	общи разходи (суровини, енергия и труд) за производството на продуктите в рамките на времевия хоризонт, [BGN];
<i>P</i>	множество на апаратурните единици, използвани при производството на всеки от продуктите;
<i>PC</i>	множество на заводските цени, на които се продават продуктите, [BGN];
<i>Pc</i>	заводски цени, на които се продават продуктите, [BGN];
<i>PR</i>	получена печалба от производството на продуктите в производствената система, [BGN];
<i>Q</i>	планираните за всеки от продуктите количества, които трябва да бъдат произведени в рамките на производствения хоризонт, [kg];
<i>q</i>	суровини, използвани в рецептите за производството на продуктите;
<i>QM</i>	множество на ключовите компоненти в използваните за производството на продуктите суровини;
<i>R</i>	количеството на генерирания замърсител в даден периодичен стадий, уравнение, [kg], (5-4);
R	вектор от целочислени променливи за алтернативните за производството на всеки продукт производствени рецепти;
<i>r</i>	целочислена променлива за рецептата, по която се осъществява производството на даден продукт;
<i>RC</i>	фактор на извличане на казеин от млякото;
<i>RF</i>	фактор на извличане на масло от млякото;
<i>RS</i>	фактор на извличане на други твърди вещества от млякото;
<i>s</i>	размерни фактори - мащабираните, по отношение на производството на 1 kg целеви продукт, обеми на входящите в отделните стадии потоци, [m ³ /kg];
<i>SC%</i>	съдържание на твърди вещества в готовия продукт - изварата, [%];
<i>T</i>	производствено време за реализиране на даден технологичен стадий, [h];
T	вектор от стойностите на времената на изместване на всяко едно от производствата в цикъла;
<i>TC</i>	време на цикъл, [h];
<i>TH</i>	допустими времеви толеранси на изменение на времената на изместване на производствата по отношение на началото на времевия хоризонт, [h];
<i>Ts</i>	стартовото време на технологичния стадий по отношение на началото на цикъла, [s];

V	обем на използваните за производството на всеки от продуктите технологични апарати, [m ³];
W	множество на замърсителите, за всички рецепти;
X	множество от вектори на концентрациите на ключовите компоненти за всички рецепти, по които могат да бъдат произвеждани продуктите, [%];
x	вектор от независими непрекъснати променливи на концентрациите на ключовите компоненти в избраната за производството на продукта рецепта, [%];
x	стойности на независимите непрекъснати променливи на концентрациите на ключовите компоненти в избраната за продукта рецепта, [%];
$\overline{x^*}$	векторът, съдържащ конкретни стойности за концентрации на ключовите компоненти, при които въздействието върху околната среда за производство на 1 kg целеви продукт е минимално, [%];
x^{\max}	стойностите за горните технологични граници за концентрациите на ключовите компоненти, [%];
x^{\min}	стойностите за долните технологични граници за концентрациите на ключовите компоненти, [%];
Y	добив на целевия продукт, [kg];
Z	множество от вектори с бинарните променливи за конструиране на технологичните маршрути за производството на всеки от продуктите;

Индекси

C_i	за изварата;
M	за млякото;
P_a	за пастеризираното мляко;
W_h	за суроватката;
e	за видовете енергия, използвани в рецептите;
i	за продуктите;
$j (j')$	за входящи (изходящи) материални потоци в от технологичен стадий;
k	за броя на членовете в реда на Фурие;
l	за технологичните стадии;
n	за ключовите компоненти;
p	за технологичните апарати;
w	за замърсителите;

Гръцки символи

ζ	вектор на бинарните променливи за назначаване на технологичните апарати, които са включени в производствените маршрути на всеки от продуктите;
ζ	стойности на бинарните променливи за назначаване на технологичните апарати, които са включени в производствените маршрути на всеки от продуктите;
μ_a	стандартна допустима екологична норма на замърсителя във въздуха, [kg pollutant/kg air];
μ_w	стандартна допустима екологична норма на замърсителя във водата, [kg pollutant/kg water];
τ	непрекъсната променлива, определяща момента на изместване на дадено производство по отношение на началото на времевия хоризонт, [h];

УВОД

Работата на всички периодични химични и биохимични производствени системи е свързана с генериране на емисии от замърсители, които оказват неблагоприятно въздействие върху околната среда. Необходимостта от устойчиво развитие в областта на екологията и спазването на установените закони по отношение на опазване на околната среда мотивират търсенето на начини за получаване на цялостен поглед върху това въздействие, неговото измерване, и редуциране. Така, от началото на деветдесетте години на миналия век се наложи политиката за инкорпориране на целта екологосъобразност в управлението, проектирането и реконструкцията на този тип системи. Тя включва действия за повишаване на изискванията за спазване на стандартните допустими норми за емисиите, за намаляване разходите за енергия и обработка на замърсителите, както и намаляване на риска от пиково освобождаване на замърсители. Комплексността на тази политика, както и специфичния характер на този тип системи обаче води до формулирането на специфични инженерно-химични задачи, характеризиращи се с многокритериалност, голяма размерност, дискретност и комбинаторна сложност. Всичко това налага необходимостта от обстоен литературен преглед в тази област, който да очертае основните проблеми, на които ще бъде посветен дисертационния труд.

1. ИЗВОДИ ОТ ЛИТЕРАТУРНИЯ ОБЗОР

Представеният литературен обзор показва, че включването на екологичните изисквания в разнообразните инженерно-химични задачи води до създаването на три основни групи системни подходи, използвани за минимизиране на замърсителите при химичните и/или биохимични производства, които са:

i) *Подходи на инженерно-химичната системотехника.* Те изместват акцента на превантивната политика от обработване на вече произведените замърсители към намиране на пътища и условия за минимизиране на замърсителите в самите източници.

ii) *Подходи на анализа на жизнения цикъл.* Те разширяват рамката на технологичната система, анализирайки цялостното въздействие, което оказват отделените от производствата замърсители върху околната среда.

iii) *Комбинирани подходи на инженерно-химичната системотехника и анализа на жизнения цикъл.* Ярък пример за такъв подход е Методологията за Минимално Въздействие върху Околната Среда. Тя поставя едни по-разумни граници на технологичната система, анализирайки не само получените в резултат на реализиране на производствата замърсители, но и тези, свързани с внасяните с процеса суровини. Тя също така въвежда подходящи екологични индекси и комплексни оценки за количествено определяне на въздействието върху околната среда.

Установено е, че представените три групи подходи са прилагани предимно за целите на проектиране и управление на непрекъснати химични и биохимични производства, както и за проектирането на периодичните такива. Прави впечатление липсата на подходи за количествено определяне на въздействието, което оказва върху околната среда една вече реализирана периодична производствена система, което се дължи на особеностите на този клас обекти, изключително усложняващи съответните задачи. Освен това трите групи подходи водят до формулиране на задачи на многокритериалната оптимизация, за които повечето от традиционни методи и подходи показват незадоволителни резултати. Едни от най-успешните подходи и техники за решаването на многоцелеви оптимизационни проблеми, които се налагат през последните години са така наречените метаевристички и генетичните алгоритми, като част от тях. Оказва се обаче, че повечето от разработените генетични алгоритми

включват схеми на генетичните оператори, които могат да бъдат приложени за решаването на точно определен тип проблеми. Липсват изследвания в литературата, свързани със създаването на генетичен алгоритъм, който с еднакъв успех се прилага за решаване на различен тип оптимизационни проблеми.

2. ЦЕЛ И ЗАДАЧИ НА ДИСЕРТАЦИЯТА

Съгласно изложеното до тук, **основната цел** на дисертационния труд е създаването на единен системно-ориентиран подход за моделиране на екологичното въздействие на многоцелеви химични и/или биохимични производства, който позволява неговата минимизация, формулиране на произтичащите от него екологични задачи, както и създаването на генетичен алгоритъм като средство за тяхното решаване.

Обект на изследването са многоцелеви производствени системи, предназначени за съвместното реализиране, в даден времеви интервал, на определен брой химични и/или биохимични технологии с периодични процеси.

Задачи на дисертационния труд са:

1. **Определяне** на рамката на системно-ориентирания подход за редуциране на екологичното въздействие при работата на химични и/или биохимични производства и формулиране на целите;
2. Създаване на обобщен математичен модел, описващ екологичното въздействие от периодични химични и/или биохимични производства и дефиниране на оптимизационни критерии за оценка на въздействието върху околната среда;
3. Математическа формулировка на екологичните задачи, включени в рамката на предложения подход;
 - a. Екологичен анализ на производствените рецепти;
 - b. Включване на екологичните политики в производствените разписания:
 - Производствени разписания, осигуряващи минимално въздействие върху околната среда;
 - Производствени разписания, позволяващи оптимален компромис между екологичните и икономически цели;
 - c. Редуциране на пиковите въздействия върху околната среда при съвместното производство на група продукти;
4. Създаване на генетичен алгоритъм за решаване на формулираните оптимизационни задачи;
5. Тестване на предложения системно-ориентиран подход на пример от млечната индустрия.

3. СИСТЕМНО-ОРИЕНТИРАН ПОДХОД ЗА РЕДУЦИРАНЕ НА ЕКОЛОГИЧНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА МНОГОЦЕЛЕВИ ХИМИЧНИ И/ИЛИ БИОХИМИЧНИ ПРОИЗВОДСТВА¹

3.1. Многоцелеви химични и/или биохимични производства. Основни характеристики и източници на замърсяване

Обект на дисертацията са *многоцелевите* химични и биохимични производствени системи. Това са производствени системи, които в различни времеви интервали използват различни конфигурации от *периодично* действащо оборудване за съвместното производство на различни групи от продукти, наречени *кампании*. Всяко от тези

¹ Работи [5,8] от списъка на публикациите по темата на дисертацията.

производства може да бъде реализирано по една или множество алтернативни производствени *технологии* или *рецепти*, които включват последователност от *дискретно*, изпълняващи се във времето *технологични стадии*. Съществуването на множество производствени апарати, подходящи за реализиране на технологичните стадии от дадена рецепта води до наличието на т.н. *процесно-апаратурна многовариантност*, а оттам и до наличието на множество *производствени маршрути* за реализиране на технологията в разглежданата система. Обемът на включеното в тях оборудване и концентрациите на *ключовите компоненти* в използваните суровини влияят, посредством т.н. *размерни фактори*, върху *размера* на получаваните *партиди* от продукти, а оттам и върху *броя на партидите*, които трябва да бъдат произведени за да бъдат изпълнени поставените *производствени изисквания* в рамките на някакъв период от време, *наречен производствен или времеви хоризонт*.

Приема се, че *ключовите компоненти* се внасят в производствения процес единствено от суровините, като за всеки ключов компонент може да се използва само един суровинен източник. Това са тези компоненти, чиито състав може да бъде управляван в определени технологични граници. Последното е от голямо значение за реализиране на производството, защото влияе върху масовите фракции на другите, свързани с ключовите, компоненти в суровините, върху добива на целевия продукт и стойностите на размерните фактори за отделните технологични стадии.

За всеки технологичен стадий, размерният фактор се дефинира като сумата от обемите на суровините и/или междинните продукти, необходими за получаването на единица маса краен продукт и има измерение [m^3/kg]. *Партидата* - [kg] е количеството целеви продукт, получено по някой технологичен маршрут, в резултат на едно зареждане със суровини и материали. Размерът ѝ се определя от стадия, имащ минимален размер на “собствената” партида и степента на превръщане. Където под “собствена” партида се разбира отношението между общия обем на назначените за даден технологичен стадий апарати и размерения му фактор.

Други важни характеристики на този тип системи са *времевите*. Времето необходимо за провеждане на даден технологичен стадий се нарича *производствено време*, което се приема за постоянна величина. Обикновено апаратите, назначени за изпълнение на технологичните стадии на производствата работят съвместно и без изчакване между стадияте т.е. прилага се *политика на нулевото изчакване*. Времето, необходимо за производството на една партида от даден продукт се нарича *време на пребиваване*. То представлява времето, необходимо за протичане на трансформацията на изходните суровини до получаване на целевия продукт и се определя чрез сумиране на съответните производствени времена. Съгласно допускането, че за всеки продукт производствените времена са постоянни, то и времето на пребиваване също е постоянно. Времето, необходимо за изхода от производствената система на две последователни партиди от продукта се нарича *време за цикъл*. То зависи от избраната *организация на работа на оборудването* в производствената система. Най-разпространени такива са *организацията без прекриване на циклите* и *тази с прекриване на циклите*. В първия случай времето за цикъл е равно на времето за пребиваване, докато във втория - то се определя от технологичния стадий, имащ най-дългото производствено време.

Реализирането на технологичните стадии е свързано с генериране на определени количества замърсители, като в този случай те се явяват *рутинни източници на замърсяване*. Те също се появяват дискретно и циклично във *времевия хоризонт* и зависят от вида на реализираните технологии и избраните за тях производствени маршрути. Едновременната поява на множество от *рутинни източници на замърсяване* в даден момент от време много често води до пиково въздействие върху околната среда.

Неговото редуциране е от изключителна важност не само за равномерното натоварване на асоциираните към завода пречиствателни съоръжения, но и за равномерното натоварване на околната среда, в случаите, когато замърсителите се освобождават директно в нея.

Следователно, изборът на производствените рецепти, концентрациите на ключовите компоненти в използваните суровини и най-вече процесно-апаратурната многовариантност за създаването на производствени разписания, удовлетворяващи определена политика на управление на многоцелевите системи, са основните фактори, които определят мястото и времето за поява на рутинните източници на замърсяване, както и величината на въздействието на генерираните от тях замърсители.

3.2. Дефиниране на рамката на Системно-ориентирания подход и формулиране на цели

С цел определяне именно на това въздействие, както и управление и редуциране на въздействието на пиковите емисии на отделни, или група, замърсители ние предлагаме нов *Системно-ориентиран подход*, който включва три основни нива за обсъждане (Фигура 3-1), както следва:

- *Екологичен анализ на производствените рецепти;*
- *Екологични политики за управление на производствената система;*
- *Редуциране на пиковите въздействия върху околната среда.*



Фигура 3-1. Рамка на Системно-ориентирания подход за минимизиране на екологичното въздействие на многоцелеви химични и/или биохимични производства

Абстрахирайки се от сложното взаимодействие между технологиите, производствената система и производствените изисквания, основните цели на *etapa*

екологичен анализ на производствените рецепти са: (1) Провеждане на рутинен екологичен анализ за идентификация на замърсителите, които ще се генерират от технологичните стадии, включени в производствените рецепти и (2) Формулиране на задача за определяне на оптималните условия, при които производството на 1 кг целеви продукт по дадена рецепта има минимално въздействие върху околната среда.

На второто ниво на подхода се цели определяне на екологичното въздействие на производствена система, в която се осъществява съвместното производство на група продукти с възможност за избор от множество алтернативни производствени рецепти. В зависимост от избраната екологична политика на управление на така дефинираната производствена система, на това ниво на подхода се формулират задачи за създаване на производствените разписания, с включени екологични и компромисни екологични и икономически цели.

На третото ниво на подхода при вече създаден производствено разписание, се формулира задачата за управление на пиковите въздействия.

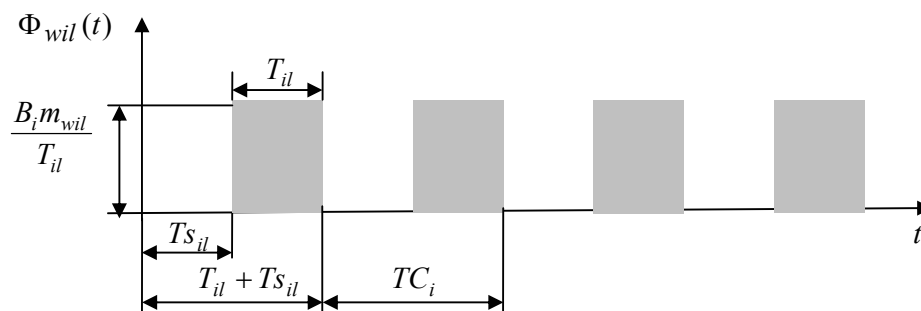
Задачите, възникващи на всяко едно от посочените нива могат да се решават както самостоятелно, така и като етап за прилагане на цялостна политика за екологосъобразно управление на производствената система.

4. МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА ЕКОЛОГИЧНОТО ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА ПЕРИОДИЧНИ ХИМИЧНИ И/ИЛИ БИОХИМИЧНИ ПРОИЗВОДСТВА И ДЕФИНИРАНЕ НА КРИТЕРИИ ЗА НЕГОВАТА МИНИМИЗАЦИЯ²

Прилагането на предложението Системно-ориентиран подход изисква създаването на математичен модел за описание на мощността на замърсяване от периодични рутинни източници, който да е подходящ както за дефиниране на количествени критерии за оценки за тяхното общо въздействие върху околната среда, така и такива за оценка на пиковото им въздействие.

4.1. Математичен модел за описание на мощността на замърсяване от периодични рутинни източници

Тъй като повечето от разработените в литературата модели и оценки са приложими само за непрекъснати системи, ние създадохме такъв модел, който да позволява дискретна циклична периодична функция $\Phi_{wil}(t)$, даваща мощността на замърсяване със замърсител w да бъде трансформирана в непрекъсната такава с помощта на развитие в реда на Фурие:



Фигура 4-1. Качествена картина на разпределение на замърсяването във времето от дискретен и цикличен рутинен източник

² Работи [1,5] от списъка на публикациите по темата на дисертацията.

Коефициентите на реда са както следва:

$$A(w, i, l)_0 = \frac{2B_i m_{wil}}{TC_i}, \quad (4-6)$$

$$A1(w, i, l)_k = \frac{B_i m_{wil}}{k\pi T_{il}} \left[\cos\left(\frac{k2\pi}{TC_i} Ts_{il}\right) \left[1 - \cos\left(\frac{k2\pi}{TC_i} T_{il}\right) \right] + \sin\left(\frac{k2\pi}{TC_i} Ts_{il}\right) \sin\left(\frac{k2\pi}{TC_i} T_{il}\right) \right], \quad (4-7)$$

$$A2(w, i, l)_k = \frac{B_i m_{wil}}{k\pi T_{il}} \left[\sin\left(\frac{k2\pi}{TC_i} Ts_{il}\right) \left[\cos\left(\frac{k2\pi}{TC_i} T_{il}\right) - 1 \right] + \cos\left(\frac{k2\pi}{TC_i} Ts_{il}\right) \sin\left(\frac{k2\pi}{TC_i} T_{il}\right) \right]. \quad (4-8)$$

Ако положим $\frac{2\pi}{TC_i} = \varphi_i$, то функцията $\Phi_{wil}(t)$, развита в ред на Фурие приема вида:

$$F(t)_{wil} = B_i m_{wil} \left[\frac{1}{TC_i} + \sum_k \frac{1}{k\varphi_i T_{il}} \left[\cos(k\varphi_i Ts_{il}) (1 - \cos(k\varphi_i T_{il})) + \sin(k\varphi_i Ts_{il}) \sin(k\varphi_i T_{il}) \right] \sin(k\varphi_i t) + \left[\sin(k\varphi_i Ts_{il}) (\cos(k\varphi_i T_{il}) - 1) + \cos(k\varphi_i Ts_{il}) \sin(k\varphi_i T_{il}) \right] \cos(k\varphi_i t) \right] \quad \text{за } 0 \leq t \leq H. \quad (4-9)$$

Новата непрекъсната функция $F(t)_{wil}$ (4-9) служи за определяне на масовата скорост на “генериране” на замърсителя от рутинен източник във всеки един момент от времевия хоризонт H при производството на продукт i и включва всички основни за едно периодично производство характеристики.

Интегрирането на (4-9) позволява определяне на цялото количество $Mass_{wil}$ на „генерирания“ от източника l във времевия хоризонт H замърсител w при производството на продукт i . Освен това сумите по l и по i осигуряват общото количество на замърсителя w при съвместното производство на група продукти.

$$Mass_w = \sum_i \sum_l Mass_{wil} = \sum_i \sum_l \int_0^H F(t)_{wil} dt. \quad (4-12)$$

Чрез сумиране на цикличните функции $F_{wil}(t)$ се получава картината на мощността на замърсяване със замърсител w във всеки един момент от време t в рамките на времевия хоризонт H , за съвместното производство на група продукти.

$$F(t)_w = \sum_i \sum_l F(t)_{wil}, \quad \forall l \in L, \forall i \in I. \quad (4-14)$$

Функцията (4-14) носи информация за възникналите пикови емисии, в резултат на едновременната поява на рутинни източници, принадлежащи на различни производства.

4.2. Количествени оценки за въздействието на периодични химични и биохимични производства върху околната среда

Включването на предложения математичен модел (4-9) в известни от литературата *Локални* и *Глобални екологични оценки* за въздействието върху околната среда на непрекъснати химични и биохимични производства, позволява те да бъдат използвани за определяне на въздействието върху околната среда на периодични такива. Тези оценки са интегрални величини, определени посредством подходящо дефинирани *Екологични индекси - Критична маса въздух СТАМ* [m^3 въздух/s], *Критична маса вода СТWM* [m^3 вода/s] и др. Те обединяват различни типове замърсители чрез средата, в която се излъчват и дават информация за масовата скорост на носителя – въздух, вода, почва и т.н., необходима, във всеки един момент, за да се поддържа замърсителя в *стандартната екологична норма* за съответната среда. За оценка на въздействието върху околната среда могат да бъдат използвани и екологични индикатори като *БПК*, *ХПК* и др.

Така например, ако стандартната норма на замърсител w за въздуха е μa_w [kg замърсител w/m^3 въздух], Индексът на критичната маса въздух *СТАМ* по отношение на замърсител w за определена група от производства е:

$$СТАМ_w = \sum_i \sum_l \frac{1}{\mu a_w} F(t)_{wil} \quad \text{за } 0 \leq t \leq H. \quad (4-16 \text{ в})$$

Използвайки едно от основните свойства на реда на Фурие, а именно *симетричност на променливите съставки на функцията около постоянния член*, както и факта, че при избран технологичен маршрут броят и размерът на произведените партии в хоризонта H са определени, позволява изчислението на оценката за общото количество, например въздух, необходимо за поддържане на съответния замърсител в рамките на допустимите норми да се осъществи посредством: интегрирането не на целия екологичен индекс във времеви хоризонт, а само използвайки постоянният член (4-6) на функция (4-9):

$$СТАМ_w|_H = \sum_i \sum_l \frac{1}{\mu a_w} \int_0^H F(t)_{wil} dt = \sum_i \sum_l \frac{1}{\mu a_w} \int_0^{TC_i} \frac{Nb_i \cdot B_i \cdot m_{wil}}{TC_i} dt,$$

$$СТАМ_w|_H = \sum_i \sum_l \frac{1}{\mu a_w} Nb_i \cdot B_i \cdot m_{wil}, \quad (4-17)$$

където Nb_i е броят на произведените партии за продукта i в хоризонта H .

Аналогично се получават необходимите, за даден времеви хоризонт, критични маси за водата, почвата и др., които обединени в *общ вектор* дават съответните *Локални* (за даден замърсител w) и *Глобални* (за група от замърсители) оценки за въздействие върху околната среда, както следва:

$$EI_w|_H = [СТАМ_w|_H, СТWM_w|_H, SDM_w|_H, \dots], \quad (4-18)$$

$$GEI|_H = \sum_w EI_w|_H. \quad (4-19)$$

Те могат да бъдат използвани в качеството на оптимизационни критерии в задачите, възникващи на първо и второ ниво на предложения подход. В общия си вид тези задачи са многокритериални и водят до генериране на границата от Парето-оптимални решения, тъй като те обединяват в общ вектор оценки за въздействие върху околната среда в различни сфери (въздух, вода, почва и др.). В случаите, когато се оценява въздействието само в една сфера (въздух или вода), векторните оценки (4-18) и (4-19) се трансформират в скаларни.

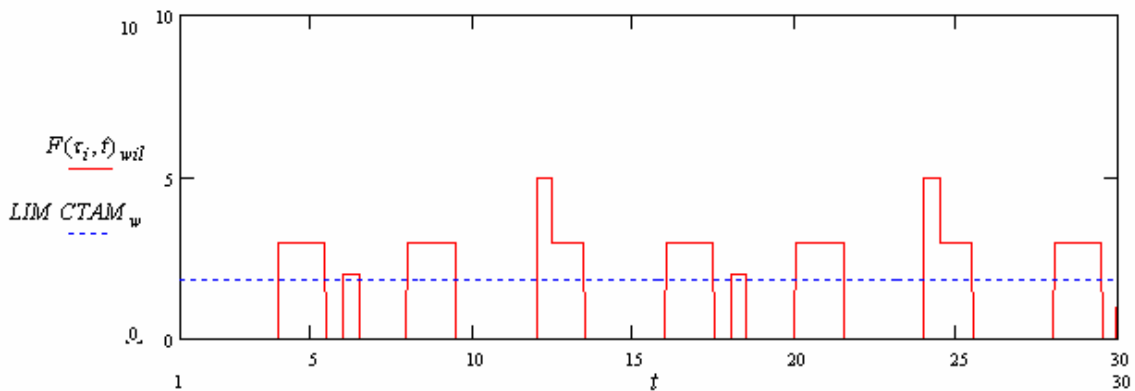
4.3. Критерии за оценка на пиковото въздействие

Едновременната поява на няколко периодични рутинни източници във времевия хоризонт може да доведе до пиково въздействие върху околната среда. С цел редуциране и управление на това въздействие е използвано друго основно свойство на реда на Фурие, а именно възможност за изместване на началото на цикъла по времевата ос, чрез включване на допълнителни променливи в създадения математичен модел (4-9), отнасящи се до времената на изместване на началото на производствата, при което се получава следния нов модел:

$$F(\tau_i, t)_{wil} = B_i m_{wil} \left[\frac{1}{TC_i} + \sum_k \frac{1}{k\varphi_i T_{il}} \left[\cos(k\varphi_i Ts_{il})(1 - \cos(k\varphi_i T_{il})) + \sin(k\varphi_i Ts_{il})\sin(k\varphi_i T_{il}) \right] \sin(k\varphi_i)(t - \tau_i) + \left[\sin(k\varphi_i Ts_{il})(\cos(k\varphi_i T_{il}) - 1) + \cos(k\varphi_i Ts_{il})\sin(k\varphi_i T_{il}) \right] \cos(k\varphi_i)(t - \tau_i) \right]$$

$$\text{за } 0 \leq t \leq H \text{ и } \frac{2\pi}{TC_i} = \varphi_i. \quad (4-15)$$

Изместването позволява преподреждане на рутинните източници във времевия хоризонт и прави функцията на реално въздействие сравнително по-гладка, доближавайки я до някаква теоретична права, условно наречена *Индекс на гранично въздействие*. Този индекс се дефинира на базата на определеното минимално количество замърсител, като се предположи, че всеки целеви продукт се произвежда в “непрекъснат” режим в рамките на времевия хоризонт както е показано на Фигура 4-3.



Фигура 4-3. Мощността на замърсяване със замърсител във времевия хоризонт при съвместното производство на два продукта и съответстващото им сумарно ниво на гранично въздействие

За всеки един момент t , Индексът на гранично въздействие по отношение на замърсител w за дадена група от производства има постоянна стойност и се определя както следва, както е показано по долу на пример за въздуха *LIM CTAM* :

$$LIM CTAM_w = \frac{1}{\mu_w} \sum_i \sum_l \frac{Q_i \cdot m_{wil}^*}{H}, \quad (4-20 \text{ в})$$

където с m_{wil}^* са отбелязани Индексите на замърсяване, получени при минималните теоретични стойности за съответните Комплексни оценки за въздействие.

Въз основа на това могат да бъдат дефинирани подходящи *Екологични индекси за пиково въздействие*, които отчитат само тези моментни стойности на въздействие, които надвишават индекса на гранично въздействие (4-20 в). Използвайки (4-15) те могат да бъдат дефинирани по начин, показан на пример за въздуха:

$$PCTAM_w = \text{signum}(\bullet) \cdot \left(\frac{1}{\mu_w} \sum_i \sum_l F(\tau_i, t)_{wil} - \frac{1}{\mu_w} \sum_i \sum_l \frac{Q_i \cdot m_{wil}^*}{H} \right), \quad (4-23)$$

за $0 \leq t \leq H$,

където $\text{signum}(\bullet)$ е:

$$\text{signum}(\bullet) = \begin{cases} 1 & \text{ако } \frac{1}{\mu_w} \sum_i \sum_l F(\tau_i, t)_{wil} \geq \frac{1}{\mu_w} \sum_i \sum_l \frac{Q_i \cdot m_{wil}^*}{H} \\ 0 & \text{в противен случай} \end{cases} \quad (4-24)$$

Така, интегралите по хоризонта H на дефинираните Индекси на пиково въздействие за въздуха *PCTAM*, водата *PCTWM*, почвата *PSDM* и т.н., позволяват аналогично на Локалните и Глобални оценки за въздействие върху околната среда да се определят съответно *Локални* (за даден замърсител w) и *Глобални* (за група от замърсители) *оценки за въздействие на пиковете*:

$$PCTAM_w|_w^H = \int_0^H \text{signum}(\bullet) \cdot \left(\frac{1}{\mu_w} \sum_i \sum_l F(\tau_i, t)_{wil} - \frac{1}{\mu_w} \sum_i \sum_l \frac{Q_i \cdot m_{wil}^*}{H} \right) dt, \quad (4-25)$$

$$PEI_w|_w^H = [PCTAM_w|_w^H, PCTWM_w|_w^H, PSDM_w|_w^H, \dots], \quad (4-26)$$

$$GPEI|_w^H = \sum_w PEI_w|_w^H. \quad (4-27)$$

Последните (4-26 и 4-27) могат да бъдат се използвани като оптимизационни критерии в задачите от третото ниво на предложения от нас подход. В общия случай те също водят до многокритериални оптимизационни задачи, но в случаите, когато се търсят условията за намаляване на въздействието само в една сфера векторните оценки (4-26) и (4-27) се трансформират в скаларни.

5. МАТЕМАТИЧНО ФОРМУЛИРАНЕ НА ЗАДАЧИТЕ В СИСТЕМНО-ОРИЕНТИРАНИЯ ПОДХОД³

Стъпвайки върху създадената рамка на Системно-ориентирания подход и дефинираните оценки за Локално и Глобално въздействие и Локално и Глобално Пиково въздействие, целта е да дадем подробно математично описание на маркираните за трите нива на подхода оптимизационни задачи. С цел коректно да бъдат формулирани тези оптимизационните задачи са необходими следните данни.

5.2. Необходими данни

Данни за производствената система: списък на апаратурните единици P ; информация за техния тип; и данни за работните им обеми V_p , за $\forall p, p \in P$.

Производствени данни: списък на продуктите I , които трябва да се произведат; планираните за всеки продукт количества Q_i за $\forall i, i \in I$; и дължината на времевия хоризонт H .

Данни за производствените рецепти. Включват списъци на: ключовите компоненти N , суровините M ; използваните видове енергия E , които са общи за всички продукти; алтернативните за всеки продукт i производствени рецепти R_i ; и подробно описание на всяка производствена рецепта r_i , което включва:

- Пълно описание на производствените стадии $L(r_i)$ за $\forall r_i, r_i \in R_i; \forall i, i \in I$;
- Множество $T(r_i)$ с производствените времена за производствените стадии $T(r_i)_l$, за $\forall l, l \in L(r_i), \forall r_i, r_i \in R_i, \forall i, i \in I$;

- Множества $x(r_i)^{\min}$ и $x(r_i)^{\max}$ със стойностите за долните $x(r_i)_n^{\min}$ и горни $x(r_i)_n^{\max}$ технологични граници за концентрацията на ключовите компоненти, за $\forall n, n \in N$, където $n = \{n \text{ се внася от } q | q \in M(r_i)\}$, $\forall r_i, r_i \in R_i; \forall i, i \in I$;

- Списък $NE(r_i)$ съдържащ нормите $Ne(r_i)_e$ за разход на различните видове енергия e при производството на 1 kg целеви продукт [kJ/kg], за $\forall e, e \in E$.

Информация за апаратурните единици от производствената система, подходящи по тип за осъществяване на съответните производствени стадии. Тя се дава с помощта на бинарна матрица $ID(r_i)$ дефинирана както следва:

$$ID(r_i)_{l,p} = \begin{cases} 1 & \text{за всеки апарат } p, \text{ подходящ за осъществяване} \\ & \text{на технологичен стадий } l \text{ от рецепта } r_i \\ 0 & \text{в противен случай} \end{cases}$$

$$\forall p, p \in P, \quad \forall l, l \in L(r_i), \quad \forall r_i, r_i \in R_i, \quad \forall i, i \in I.$$

Икономически данни. Тази група от данни включва списъци:

- PC със заводските цени Pc_i , на които се продават продуктите, за $\forall i, i \in I$;
- MC с цените на суровините Mc_q [BGN/kg], за $\forall q, q \in M$;
- EC с цените за енергията Ec_e [BGN/kJ], за $\forall e, e \in E$;

³ Работи [2,3,6,7] от списъка на публикациите по темата на дисертацията.

Броят на заетите в производството на всеки продукт i лица N_i и средната цена за един час труд Lc_i при производството на продукт i , за $\forall i, i \in I$.

Екологични данни. Тази група от данни се формира след провеждане на рутинен екологичен анализ на всяка производствена рецепта, който е елемент на първото ниво от предложения подход.

5.3. Екологичен анализ на производствените рецепти

Производствените рецепти представят начина, по който от изходните суровини се получава целевият продукт. При тях не се вземат под внимание количествата, които трябва да се произведат и времевият хоризонт, както и въздействието на производствената система, чрез възможните технологични маршрути за практическата им реализация.

5.3.1. Рутинен екологичен анализ на производствени рецепти

Цели изготвянето на общ, за всички рецепти, списък W на замърсителите, които се очаква да бъдат “генерирани” при реализацията на съответните рецепти. Последният се допълва със съответните стойности за стандартните екологични норми $\mu a_w, \mu w_w, \dots$ ($\forall w, w \in W$) за въздуха, водите, почвата и т.н. или други екологични индикатори като а *БПК*, *ХПК* и др.

5.3.2. Минимално въздействие при производството на 1 kg целеви продукт

Формулира се оптимизационна задача за определяне на концентрациите на ключовите компоненти в използваните суровини, при които Локалните или Глобални оценки за екологично въздействие, съпътстващо производството на 1 kg целеви продукт, в рамките на един производствен цикъл, са минимални.

Независими променливи:

- *Непрекъснати променливи:*

Вектор от концентрациите на ключовите компоненти $x(r_i)$ за разглежданата рецепта r_i за производството на продукт i , които се изменят в определени граници:

$$x(r_i) = \{x(r_i)_1, \dots, x(r_i)_n, \dots, x(r_i)_N\}, \quad \text{за } r_i \in R_i, i \in I, \quad (5-1)$$

$$x(r_i)_n^{\min} \leq x(r_i)_n \leq x(r_i)_n^{\max}, \quad \text{за } \forall n, n \in N, \quad \text{където } r_i \in R_i, i \in I. \quad (5-2)$$

Математично описание на производството на продукт по рецептата

То включва зависимости, представящи добива на целеви продукт като функция от състава на ключовите и свързаните с тях компоненти, които в общ вид се записват както следва:

$$Y(x(r_i)) = Fun(x(r_i)_1, \dots, x(r_i)_n, \dots, x(r_i)_N), \quad \text{където } r_i \in R_i, i \in I. \quad (5-3)$$

В зависимост от изискванията за конкретния продукт, математичното описание може да включва и други зависимости и ограничения, следящи за качеството на продукта, състава на получаваните полупродукти и т. н.

Целеви функции

Като оптимизационни критерии в тази задача са използвани вече дефинираните Локални (4-18) или Глобална (4-19) комплексни оценки. Те, обаче, зависят от състава на ключовите компоненти в суровините, посредством *Индексите на замърсяване*:

$$m(\mathbf{x}(r_i))_{wl} = \frac{1}{Y(\mathbf{x}(r_i))} \left(\sum_{j \in I} MI(r_i)_j \cdot C(\mathbf{x}(r_i))_{wj} + R(\mathbf{x}(r_i))_{wl} - \sum_{j' \in I} MO(r_i)_{j'} \cdot C(\mathbf{x}(r_i))_{wj'} \right),$$

$$\forall w, w \in W, \forall l, l \in L(r_i), \text{ където } r_i \in R_i, i \in I, \quad (5-4)$$

където:

$MI(r_i)$ и $MO(r_i)$ са масите на веществото, което се внася и изнася в и от периодичен стадий l съответно с потоците j и j' ;

$C(\mathbf{x}(r_i))$ са концентрациите на замърсителя w в съответните потоци j и j' ;

$R(\mathbf{x}(r_i))$ - количеството генериран замърсител w в съответния периодичен стадий.

Така, за размер на партидата, равен на 1 kg и времеви хоризонт, равен на един производствен цикъл, Оценките за критичната маса въздух, вода и т.н. се определят както е показано:

$$CTAM_w \Big|^{TC} = \sum_l \frac{1}{\mu a_w} \cdot m(\mathbf{x}(r_i))_{w,l},$$

$$CTWM_w \Big|^{TC} = \sum_l \frac{1}{\mu w_w} \cdot m(\mathbf{x}(r_i))_{w,l},$$

, за $\forall w, w \in W$ където $r_i \in R_i, i \in I$. (5-5)

Те служат за определяне на Локалните и Глобална оценки за въздействие върху околната среда, които в зависимост от поставената цел могат да бъдат използвани като оптимизационен критерий $\bar{\Phi}$:

$$\bar{\Phi} = \min_{\mathbf{x}(r_i)} EI_w \Big|^{TC}, \quad (5-8)$$

или

$$\bar{\Phi} = \min_{\mathbf{x}(r_i)} GEI \Big|^{TC}. \quad (5-9)$$

Създаденото за всяка производствена рецепта математично описание, се включва в общата, за цялото множество от производствени рецепти за продуктите I , База с математични описания на рецептите.

5.3.3. Идентификация на замърсителите и технологичните стадии, от които се очакват пикови въздействия върху околната среда

Това става възможно чрез изчисляване на *Екологичните индекси* на въздействие на производствата, които съдържат стойностите за оптималните концентрации на ключовите компоненти $\bar{x}^*(r_i)$. Те дават картината на разпределение на мощността на въздействие върху околната среда на отделните замърсители в отделните сфери - въздух, вода, почва, както това е показано на пример за въздуха:

$$CTAM_{wi} = \sum_l \frac{1}{\mu a_w} F(t)_{wil}, \text{ за } 0 \leq t \leq TC(r_i), \quad (5-10)$$

където:

$$F(t)_{wil} = m^*(\bar{x}^*(r_i))_{wl} \left[\frac{1}{TC(r_i)} + \sum_k \frac{1}{k\varphi T(r_i)_l} \left[\begin{aligned} & \left[\cos(k\varphi Ts(r_i)_l)(1 - \cos(k\varphi T(r_i)_l)) \right] \sin(k\varphi t) \right. \\ & \left. + \left[\sin(k\varphi Ts(r_i)_l)\sin(k\varphi T(r_i)_l) \right] \cos(k\varphi t) \right] \right] \end{aligned} \right] \quad \text{за } 0 \leq t \leq TC_i.$$

5.4. Екологични политики за управление на производствената система

Включването на избраната екологична политика в модела на производствените разписания има за задача да се определят условията за осъществимост на производствените разписания, при които тя се изпълнява най-добре.

5.4.1. Екологични цели

Целта на оптимизацията е да определят производствените рецепти, концентрацията на съответните ключови компоненти и производствените маршрути, които ще бъдат избрани за производството на всеки продукт, така че изпълнението на производствените изисквания да е съпроводено с минимално въздействие върху околната среда.

Независими променливи:

- Целочислени променливи

- Вектор \mathbf{R} от променливи r_i ($\forall i, i \in I$) за избор на производствени рецепти, които се изменят в определени граници:

$$\mathbf{R} = \{r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_I\}, \quad (5-11)$$

$$1 \leq r_i \leq R_i, \quad \text{за } \forall r_i, r_i \in R_i, \forall i, i \in I. \quad (5-12)$$

- Вектор \mathbf{NB} от променливи $Nb_i, \forall i, i \in I$ за избор на броя на произведените партии, които се изменят в определени граници:

$$\mathbf{NB} = \{Nb_1, Nb_2, \dots, Nb_i, \dots, Nb_I\}, \quad (5-13)$$

$$1 \leq Nb_i \leq \left\lfloor \frac{H}{TC(r_i)} \right\rfloor, \text{ където } r_i \in R_i \quad \forall i, i \in I. \quad (5-14)$$

- Бинарни променливи:

- Множество Z от вектори ζ_i с променливи $(\zeta_i)_p$ за конструиране на производствените маршрути за производство на продуктите:

$$Z = [\zeta_1, \zeta_1, \dots, \zeta_i, \dots, \zeta_I], \quad (5-15)$$

$$(\zeta_i)_p = \begin{cases} 1 - \text{ако апарат } p \text{ е включен в производствен маршрут на продукт } i; \\ 0 - \text{в противен случай} \end{cases}, \quad (5-16)$$

за $\forall p, p \in P, \forall i, i \in I.$

- Непрекъснати променливи:

- Множество X от вектори $\mathbf{x}(r_i)$ с променливи $x(r_i)_n$ за избор на концентрациите на ключовите компоненти, в избраните за продуктите рецепти, които се изменят в определени граници:

$$X = [\mathbf{x}(r_1), \mathbf{x}(r_2), \dots, \mathbf{x}(r_i), \dots, \mathbf{x}(r_I)], \quad (5-17)$$

$$\mathbf{x}(r_i) = \{x(r_i)_1, \dots, x(r_i)_n, \dots, x(r_i)_N\}, \quad \text{за } \forall r_i, r_i \in R_i; \forall i, i \in I, \quad (5-18)$$

$$x(r_i)_n^{\min} \leq x(r_i)_n \leq x(r_i)_n^{\max}, \quad \text{за } \forall n, n \in N; \text{ където } n = \{n \text{ се внася от } q | q \in M(r_i)\},$$

$$\forall r_i, r_i \in R_i; \forall i, i \in I. \quad (5-19)$$

Математично описание на продуктите

Избират се от формираната (гл.5.3.2) База с математични описания на рецептите.

$$Y(\mathbf{x}(r_i)) = \text{Fun}(x(r_i)_1, \dots, x(r_i)_n, \dots, x(r_i)_N), \quad \text{за } r_i \in R_i; \forall i, i \in I. \quad (5-20)$$

Ограничения за конструиране на осъществими производствени разписания

- Структурни ограничения:

- за *допустимост* на структурираните за всеки от продуктите производствени маршрути - трябва да включват само апарати, които са подходящи за изпълнение на производствените стадии на рецептата r_i ,

$$(\zeta_i)_p \leq \sum_{l=1}^{L(r_i)} ID(r_i)_{l,p}, \text{ за } \forall p, p \in P, r_i \in R_i, \forall i, i \in I, \quad (5-21)$$

и да осигуряват, за всеки стадий, поне един или повече апарати.

$$\prod_{l=1}^{L(r_i)} \left(\sum_{p=1}^P ID(r_i)_{l,p} (\zeta_i)_p \right) \geq 1, \quad r_i \in R_i \quad \forall i, i \in I. \quad (5-22)$$

- за *съвместимост* на структурираните за цялото множество от продукти производствени маршрути – всеки апарат от системата трябва да участва само в един технологичен маршрут.

$$\sum_{i=1}^I (\zeta_i)_p \leq 1 \quad \forall p, p \in P. \quad (5-23)$$

- Производствени ограничения

- осигуряват производството на планираните за всеки от продуктите количества Q_i като размер $B(\mathbf{x}(r_i), \zeta_i)$ и брой Nb_i на произведените партиди:

Най-напред се определя размерът на партидата, съответстващ на производствения маршрут ζ_i ,

$$B(\mathbf{x}(r_i), \zeta_i) = \min_l \left\{ \frac{\sum_p V_p \cdot ID(r_i)_{l,p} \cdot (\zeta_i)_p}{s(\mathbf{x}(r_i))_l} \right\}, \quad \forall l \in L(r_i), r_i \in R_i, \quad \forall i \in I, \quad (5-25)$$

където

а s_{il} [m^3/kg] са размерните фактори за всеки периодичен стадий на рецептата r_i .

Те се определят използвайки мащабираните, по отношение на 1 kg целеви продукт, обеми на входящите потоци.

След това се проверява дали са изпълнени необходимите производствени изисквания, осигуряващи производството на продуктите да се осъществи в рамките на поставения хоризонт, като се отчитат и времената, необходими за изпълнение на етапите преди първото прекриване на циклите и след последното такова:

$$Nb_i \cdot B(\mathbf{x}(r_i), \zeta_i) \geq Q_i, \quad r_i \in R_i, \quad \forall i \in I, \quad (5-26)$$

$$Nb_i \cdot TC(r_i) + \left(\sum_{l=1}^{L(r_i)} T(r_i)_l - TC(r_i) \right) \leq H, \quad r_i \in R_i, \quad \forall i, i \in I, \quad (5-27)$$

където времето за цикъл $TC(r_i)$ е:

$$TC(r_i) = \max_l \{T(r_i)_l\}, \quad l \in L(r_i), \quad r_i \in R_i, \quad \forall i, i \in I. \quad (5-28)$$

Целеви функции

Използват се някои от Комплексните оценки за въздействие върху околната среда (4-18) или (4-19). Те трябва да бъдат представени като функции от дефинираните по-горе независими променливи. За целта, оценките за *СТАМ*, *СТWM* и т.н., (4-17), се определят както следва.

$$\begin{aligned}
 СТАМ_w \Big| ^H &= \frac{1}{\mu w_w} \cdot \sum_{i=1}^I Nb_i \sum_{l=1}^{L(r_i)} B(\mathbf{x}(r_i), \zeta_i)_{w,l} m(\mathbf{x}(r_i))_{w,l} \\
 СТWM_w \Big| ^H &= \frac{1}{\mu w_w} \cdot \sum_{i=1}^I Nb_i \sum_{l=1}^{L(r_i)} B(\mathbf{x}(r_i), \zeta_i)_{w,l} m(\mathbf{x}(r_i))_{w,l}
 \end{aligned}$$

, $\forall w, w \in W$. (5-29)

В зависимост от поставената цел някоя от Локалните Оценки за въздействие върху околната среда или Глобалната такава се използва като екологичен критерий $\overline{\Phi 1}$:

$$\overline{\Phi 1} = \min_{\mathbf{R}, \mathbf{NB}, \mathbf{Z}, \mathbf{X}} EI_w \Big| ^H, \quad (5-32)$$

или

$$\overline{\Phi 1} = \min_{\mathbf{R}, \mathbf{NB}, \mathbf{Z}, \mathbf{X}} GEI \Big| ^H. \quad (5-33)$$

Когато за производството на всеки един от продуктите от множеството I съществува само една рецепта, то векторът на независимите променливи (5-11) и съответните им ограничения (5-12) отпадат от общата формулировка на оптимизационният проблем.

Производственото разписание за избраното решение, лесно може да бъде построено, знаейки производствените времена за етапите от съответните рецепти и производствените апарати, включени в технологичните маршрути, следвайки избраната ZW политика и организацията за работа с препокриване на циклите.

5.4.2. Компромисни, екологични и икономически цели

Икономически цели

Един от най-често използваните икономически критерии е печалбата. Тя се определя като разлика между приходите от продажбата на продукцията от предприятието и разходите за производството ѝ. За нейното дефиниране са използвани описаните в глава 5.2. икономически данни за производствената система, и математичната формулировка (5-11) – (5-28).

Приходна част

$$INCost = \sum_{i=1}^I Nb_i \cdot B(\mathbf{x}(r_i), \zeta_i) \cdot Pc_i. \quad (5-34)$$

Разходна част

Имайки предвид, че с най-голяма тежест в производствените разходи са тези за суровини, енергия и труд, то само те ще бъдат отчетени при определяне на печалбата.

Разходи за суровини

Необходимото за получаване на 1 kg количество от суровината е функция на добива $Y(\mathbf{x}(r_i))$ или по-точно на концентрацията на компонента $x(r_i)_n$, при който този добив е получен:

$$QM(\mathbf{x}(r_i))_q = \varphi \left(\frac{1}{Fun(x(r_i)_1, \dots, x(r_i)_n, \dots, x(r_i)_N)} \right),$$

за $\forall n, n \in N$, където $n = \{n \text{ се внася от } q | q \in M(r_i)\}$, $r_i \in R_i$; $\forall i, i \in I$. (5-35)

А разходите за суровини се определят както следва

$$MCost = \sum_{i=1}^I Nb_i \cdot B(\mathbf{x}(r_i), \zeta_i) \cdot \sum_q QM(\mathbf{x}(r_i))_q \cdot Mc_q. \quad (5-36)$$

Разходи за енергия

$$ECost = \sum_{i=1}^I Nb_i \cdot B(\mathbf{x}(r_i), \zeta_i) \cdot \sum_e Ne(\mathbf{x}(r_i))_e \cdot Ec_e. \quad (5-37)$$

Разходи за труд

$$LCost = \sum_{i=1}^i \left[Nb_i \cdot TC(r_i) + \left(\sum_{l=1}^{L(r_i)_i} T(r_i)_l - TC(r_i) \right) \right] Ni \cdot Lc_i. \quad (5-38)$$

Общо разходите за производството на продуктите I в рамките на H са:

$$OUTCost = MCost + ECost + LCost. \quad (5-39)$$

Използвайки зависимости (5-34) и (5-39), печалбата за производствената система се определя от разликата между приходната и разходната част на финансовия баланс:

$$PR = INCost - OUTCost. \quad (5-40)$$

Оценката за печалбата $\overline{\Phi 2}$ подлежи на максимизиране.

$$\overline{\Phi 2} = \max_{R, NB, Z, X} PR. \quad (5-41)$$

Компромис между екологични и икономически цели.

Определянето на възможния компромис между печалбата (5-41) и въздействието върху околната среда (5-32) или (5-33) винаги води до формулиране на *многоцелева* оптимизационна задача, която представлява разширяване на предходната задача с

дефинирането на векторен оптимизационен критерий, който обединява или единия или другия екологичен оптимизационен критерий с икономически такъв и подлежи на максимизация:

$$\mathbf{F} = \max_{\mathbf{R}, \mathbf{NB}, \mathbf{Z}, X} \left[-EI_w \Big| ^H, PR \right], \quad (5-44)$$

или

$$\mathbf{F} = \max_{\mathbf{R}, \mathbf{NB}, \mathbf{Z}, X} \left[-GEI \Big| ^H, PR \right]. \quad (5-45)$$

Решаването на така формулираната задача води до построяване на Парето-граница, която позволява да се проследи ефектът от засилване на тежестта на екологичната цел върху икономическата и обратното. Изборът на дадено решение от нея зависи от нивото на компромиса, което е склонен да направи производственият мениджър между загубата на печалба и снижаване на неблагоприятното въздействие върху околната среда.

В случаите на производство на продуктите само по една рецепта, независимите променливи (5-11) и ограниченията (5-12) отпадат. Моделът се преобразува така, че да отчита наличието само на една рецепта за продуктите.

5.5. Редуциране на пиковите въздействия върху околната среда

На последното ниво на подхода за избрано конкретно производствено разписание (известни стойности на променливите във векторите $\overline{\mathbf{R}}, \overline{\mathbf{NB}}$, и множествата от вектори $\overline{X}, \overline{Z}$) се формулира задачата за редуциране на пиковите въздействия, които могат да възникнат при едновременната поява на няколко рутинни източника на замърсяване. Редуцирането на Пиковите въздействия не променя определената вече стойност за екологичния критерий, а има за задача да пренареди рутинните източници във времевия хоризонт, с цел изглаждане на кривата на реално въздействие. Това става чрез включването в задачата на множество от непрекъснати променливи за управление на времената на изместване на началото на всяко едно от производствата по отношение на началото на времевия хоризонт, както и множеството от ограничения, които определят възможностите за осъществяване на това изместване.

Независими променливи

- Непрекъснати променливи

- Вектор \mathbf{T} от променливи τ_i ($\forall i, i \in I$), определящи момента на началото на производствата по отношение на началото на времевия хоризонт, които се изменят в допустимите за тях времеви толеранси TH_i :

$$\mathbf{T} = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_i, \dots, \tau_I), \quad \forall i, i \in I, \quad (5-46)$$

$$0 \leq \tau_i \leq TH_i, \quad \forall i, i \in I, \quad (5-47)$$

където:

$$TH_i = H - Nb_i \cdot TC(\bar{r}_i) + \left(\sum_{l=1}^{L(\bar{r}_i)} T(\bar{r}_i)_l - TC(\bar{r}_i) \right), \quad \forall i, i \in I, \quad (5-48)$$

$$TH_i > 0. \quad (5-49)$$

Необходимо е да отбележим, че ако за никой от продуктите i не съществува времеви толеранс TH_i , то управлението на пиковите въздействия е невъзможно.

Целеви функции

Използват се въведените в глава 4.3. оценки за Локално или Глобално въздействието на пиковете, в които са отчетени получените стойности за променливите в $\bar{\mathbf{R}}, \bar{\mathbf{NB}},$ и \bar{X}, \bar{Z} . Всяка от тези оценки може да се използва като оптимизационен критерий във формулираната задача за редуциране на пиковите въздействия и подлежи на минимизация:

$$\Psi = \min_T PEI_w \Big|_w^H, \quad (5-53)$$

или

$$\Psi = \min_T GPEI \Big|_T^H. \quad (5-54)$$

6. BASIC - ГЕНЕТИЧЕН АЛГОРИТЪМ ЗА РЕШАВАНЕ НА ОПТИМИЗАЦИОННИ ЗАДАЧИ В ИНЖЕНЕРНАТА ХИМИЯ⁴

Тъй като формулираните на отделните нива на подхода оптимизационни задачи в общия си вид са многокритериални, включват нелинейни функции, голям брой променливи от различен вид както и нелинейни ограничения, а това изисква прилагането специфични оптимизационни техники, които да се справят с тях, ние създадохме генетичен алгоритъм, наречен *BASIC* (**B**ulgarian **A**cademy of **S**ciences, **I**nstitute of **C**hemical Engineering).

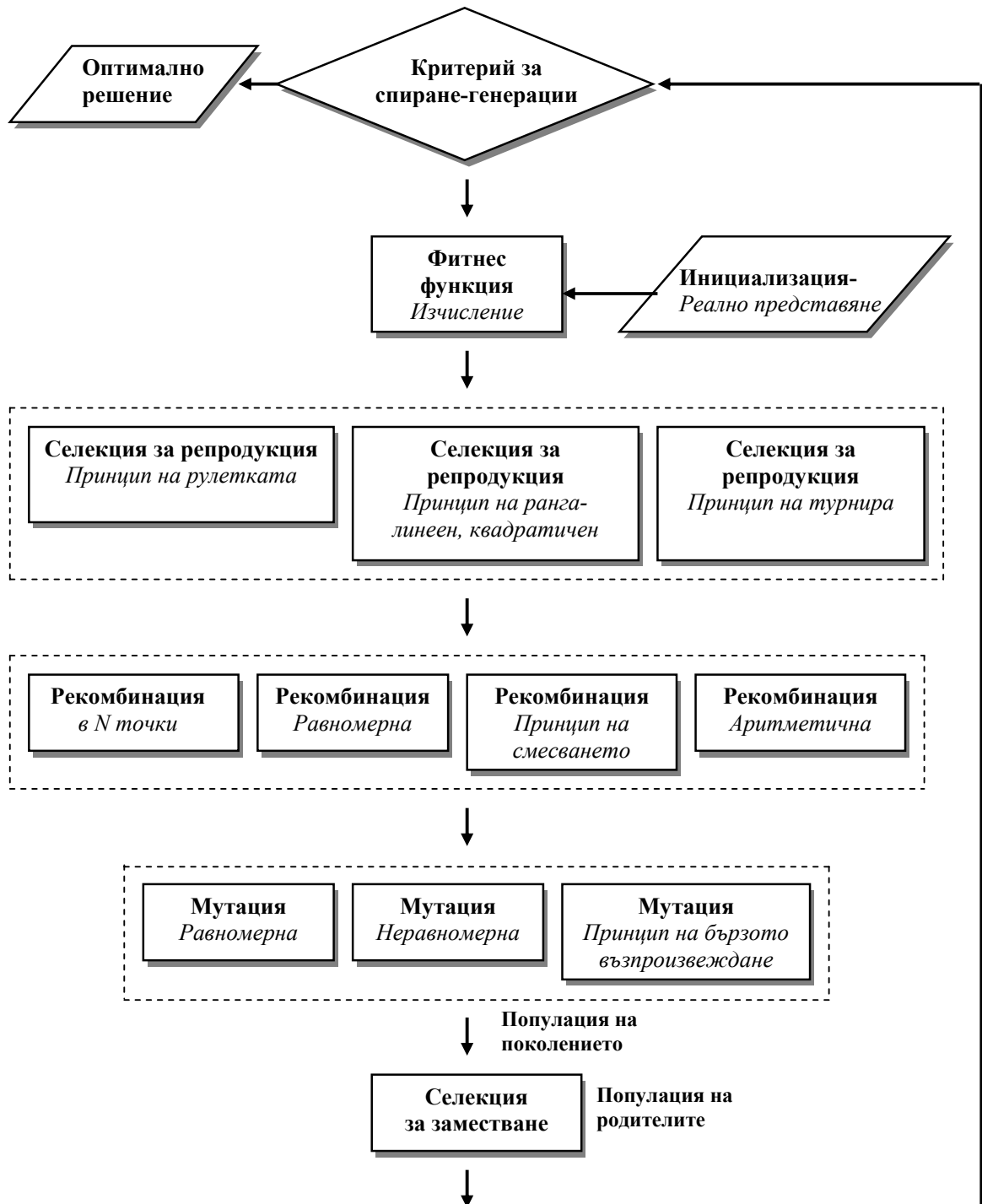
В последните години, с развитието на Еволюционните изчислителни методи, Генетичните алгоритми (ГА), като част от тях, се оказаха едни от най-перспективните методи за решаване на сложни комбинаторни оптимизационни задачи. Те по същество са метаевристики, които използват аналогия на естествената еволюция в природата. По тази причина, общоприетата за тях терминология е взета от биологията.

BASIC-ГА следва общите стъпки на генетичните алгоритми като неговата блок схема е представена на Фигура 6-1. С цел да бъде адаптиран за решаване на сложни комбинаторни оптимизационни проблеми от различен тип със и без ограничения, както и такива, включващи различен тип независими променливи, ние включихме голям брой схеми за различните генетични оператори. Това позволява на потребителя да избира подходящите, съобразно конкретния проблем, дефинирани в програмния код глобални и локални параметри и фино да ги настрои.

Освен това BASIC-ГА предлага две нови схеми на генетични оператори. Първата е свързана с представянето на всички кодирани променливи в общо реално пространство на търсене, което позволява на алгоритъма да бъде прилаган с успех за решаване на задачи, включващи различен тип независими променливи – бинарни,

⁴ Работа [4] от списъка на публикациите по темата на дисертацията.

целочислени и непрекъснати. Втората е свързана с оператора селекция за заместване, комбинираща елитизъм с безпристрастна селекция.



Фигура 6-1. Генерална блок схема на BASIC ГА

BASIC ГА е тестван върху много оптимизационни проблеми от MINLP и NLP програмиране, които са решавани с други генетични алгоритми. Подробното им

описание и сравнение на получените резултати с тези, получени от други автори е дадено в [4].

7. ТЕСТВАНЕ НА ПРЕДЛОЖЕНИЯ СИСТЕМНО-ОРИЕНТИРАН ПОДХОД НА ПРИМЕР ОТ МЛЕЧНАТА ИНДУСТРИЯ⁵

С цел да се покаже ефективността на предложението Системно-ориентиран подход ние го приложихме на пример от млечната индустрия и по-конкретно производството на два типа извара. Това е едно типично циклично периодично производство, което може да бъде реализирано съвместно в многоцелева производствена система, чието въздействие върху околната среда е върху водната сфера. Формулираните, на отделните нива на подхода, задачи бяха решени с BASIC ГА.

7.1. Необходими данни

За формулиране на отделните нива на подхода оптимизационните задачи е необходимо да са имаме следните данни:

Данни за производствената система - Таблица 7-1.

Таблица 7-1. Тип и размер на апаратите, използвани в производството на извара

Тип	Съдове за мляко				Пастьоризатори				Вани за подсирване			Преси за цедене			
	№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
[m ³]	0.4	0.35	0.3	0.4	0.3	0.25	0.15	0.1	0.3	0.4	0.25	0.08	0.06	0.06	0.01

Производствени данни. В системата се реализира съвместното производство на два типа извара: Продукт 1 с масленост 0.3% и Продукт 2 с масленост от 1%. Планираните за тях количества са от по 7000 kg. Производството на продуктите се осъществява в два времеви хоризонта $H_1=320$ часа и $H_2=400$ часа.

Данни за производствените рецепти. Изварата е нискомаслен млечен продукт, съдържащ около 80% вода и 20% твърди вещества - казеин, протеини, масло, минерали, микроелементи и др. Тя се произвежда чрез заквасване на нискомаслено прясно мляко.

Производството на извара се осъществява по две рецепти, които се различават по използваните суровини - стандартизирано пълномаслено мляко (Рецепта 1) и кондензирано обезмаслено мляко (Рецепта 2) и броя и типа на технологичните стадии, които те включват: Рецепта 1 - Пастьоризация на млякото, Заквасване на млякото и Изцеждане на остатъчната суроватка от изварата; Рецепта 2 - Разреждане на кондензираното мляко, Пастьоризация, Заквасване и Изцеждане. Рецептите се различават и по % съдържание на компонентите, които влизат в състава на използваните суровини - вода, твърди вещества и основни компоненти като масло, лактоза, казеин и протеини. За ключов компонент и в двете рецепти е избрано съдържанието на масло в млякото.

Рецептите са допълнени още и с данни за: производствените времена; входящите и изходящи фракции и подходящи апаратурни единици за изпълнение на технологичните стадии; използваните при стадия пастьоризация видове енергия и техните разходни норми; както и технологичните граници, в които се изменят

⁵ Работи [1,2,3,6,7] от списъка на публикациите по темата на дисертацията.

концентрациите на ключовите компоненти в използваните за производството на продуктите суровини .

Икономическите данни са свързани с цените на продуктите, суровините, енергията и труда.

Екологични данни. Производството на извара е свързано с отделянето на голямо количество отпадъчни води, които съдържат значителни количества протеини, масло, захари и други органични остатъци. Основен индикатор за отчитане на замърсеността им е Биохимичното Потребление на Кислород за пет дни - *БПК₅* (*Biological Oxygen Demand-BOD*). След проведен рутинен екологичен анализ на всяка от двете производствени рецепти са идентифицирани 6 типа замърсители, за които част от натоварването по *БПК₅* се свързва със състава и количеството на използваните суровини, а друга със загубите на суровини, междинни и крайни продукти в резултат на разливи или полепване по стените на апаратите. Последните могат да достигнат до 80% от общото *БПК₅*. Тъй като тези загуби не могат напълно да бъдат избегнати, прието е те да се регламентират до определени допустими нива, които се отчитат при определяне не само от “генерираното” в съответните процеси *БПК₅*, но и “внесеното отвън” натоварване по *БПК₅*, дължащо се на предварителната, извън рамките на производството, обработка и подготовка на суровините, таблица 7-5.

7.2. Екологичен анализ на рецептите за производство на извара

7.2.1. Рутинен екологичен анализ на рецептите за производство на извара

БПК₅ от 1 kg мляко зависи от неговия състав и се изчислява както следва:

$$BOD_M(\mathbf{x}(r_i)) = [0.89 \cdot x(r_i)\% + 1.031 \cdot MP\%(x(r_i)) + 0.69 \cdot ML\%(x(r_i))] 10^{-2} \frac{kg O_2}{kg milk}. \quad (7-3)$$

$$\forall r_i, r_i \in R_i, \forall i, i \in I$$

То представлява функция на концентрациите на протеините $MP\%(x(r_i))$ и лактозата $ML\%(x(r_i))$, от маслеността на млякото $\mathbf{x}(r_i)$.

БПК₅, дължащо се на “произведените” при пастеризацията на 1 kg нискомаслено мляко депозити зависи от масата на пастеризираното нискомаслено мляко:

$$BOD_{Pa} = 1.5 \cdot 10^{-3} \frac{kg O_2}{kg pasteurized milk}, \quad \forall r_i, r_i \in R_i, \forall i, i \in I. \quad (7-4)$$

БПК₅, дължащо се на разливи на 1 kg суроватка, при изпразване на ваните за подсирване, която се получава като страничен продукт при заквасването е:

$$BOD_{Wh} = 32 \cdot 10^{-3} \frac{kg O_2}{kg acid whey}, \quad \forall r_i, r_i \in R_i, \forall i, i \in I. \quad (7-5)$$

БПК₅, дължащо се на загуби на 1 kg сурова извара по стените на ваната за подсирване е:

$$BOD_{Cu}(\mathbf{x}(r_i)) = \frac{1}{Y(\mathbf{x}(r_i))} \cdot BOD_M(\mathbf{x}(r_i)) \frac{kg O_2}{kg curd}, \quad \forall r_i, r_i \in R_i, \forall i, i \in I, \quad (7-6)$$

където $Y(\mathbf{x}(r_i))$ е добивът на извара в зависимост от маслеността на използваното за производството й мляко.

Таблица 7-5. Резултати от рутинния екологичен анализ на производствените рецепти

<i>W</i>	Замърсител	Натоварв. по БПК ₅ от 1 kg замърсител	Рецепта 1		Рецепта 2	
			Генериран Замър.	Внесен Замър.	Генериран Замър.	Внесен Замър.
<i>w</i> ₁	Нискомаслено мляко	BOD_M урав. (7-3)	Стадий 1 1.2%		Стадий 2 1.2%	
<i>w</i> ₂	Депозити в пастьоризатора	BOD_{Pa} урав. (7-4)	Стадий 1		Стадий 2	
<i>w</i> ₃	Суроватка	BOD_{Wh} урав. (7-5)	Стадий 2 1.6% Стадий 3		Стадий 3 1.6% Стадий 4	
<i>w</i> ₄	Загуби от извара	BOD_{Cu} урав. (7-6)	Стадий 2 0.3% Стадий 3 0.5%		Стадий 3 0.3% Стадий 4 0.5%	
<i>w</i> ₅	Пълномаслено стандартизирано мляко	0.1		Стадий 1 0.1%		
<i>w</i> ₆	Кондензирано обезмаслено мляко	0.146			Стадий 1 1.2%	Стадий 1 0.1%

7.2.2. Минимално въздействие при производството на 1 kg извара

Математично описание на производствените рецепти

То е еднакво и за двата типа извара и включва:

А) Уравнения за определяне на концентрацията на протеините, казеина и лактозата в зависимост от промяната на концентрацията на маслото в млякото

Рецепта 1 – Обезмасляване на пълномасленото стандартизирано мляко

$$\begin{aligned}
 MP\%(\mathbf{x}(r_i)) &= MP\% \left[1 + \frac{MF\% - \mathbf{x}(r_i)}{CF\% - MF\%} \right], & MC\%(\mathbf{x}(r_i)) &= MC\% \left[1 + \frac{MF\% - \mathbf{x}(r_i)}{CF\% - MF\%} \right], \\
 ML\%(\mathbf{x}(r_i)) &= ML\% \left[1 + \frac{MF\% - \mathbf{x}(r_i)}{CF\% - MF\%} \right], & r_i &= 1, r_i \in R_i, \forall i, i \in I.
 \end{aligned}
 \tag{7-7}$$

Рецепта 2 – Разреждане на обезмасленото кондензирано мляко

$$\begin{aligned}
 MP\%(x(r_i)) &= MP\% \frac{x(r_i)}{MF\%}, & MC\%(x(r_i)) &= MC\% \frac{x(r_i)}{MF\%}, \\
 ML\%(x(r_i)) &= ML\% \frac{x(r_i)}{MF\%}, & r_i &= 2, r_i \in R_i, \forall i \in I.
 \end{aligned}
 \tag{7-8}$$

В уравнения (7-7) и (7-8) с MF%, MP%, MC% и ML% са отбелязани изходните концентрации на маслото, протеините, казеина и лактозата в суровините, а с CF% съдържанието на масло в получената като страничен продукт при обезмасляване на млякото сметана.

Б) Уравнения за изчисляване на добива на изварата

За изчисляване на добива на изварата и по двете производствени рецепти се използва уравнението на Van Slyke:

$$Y(x(r_i)) = \frac{[RF(x(r_i)) \cdot x(r_i) + RC_i \cdot MC\%(x(r_i))]RS_i}{SC\%_i}, \text{ за } r_i = 1 \text{ и } 2, \quad r_i \in R_i, \quad \forall i \in I, \tag{7-9}$$

където $SC\%_i$ е съдържанието на твърдите вещества в готовия продукт, а RC_i и RS_i са факторите на извличане за казеина и за всички твърди вещества. $RF(x(r_i))$ е факторът на извличане за маслото. Факторът на извличане за маслото е неизвестен и неговото определяне става с помощта на зависимостите за качеството на продуктите.

В) Зависимости, определящи постоянното качество на продукта

Съдържанието на маслото в твърдото вещество FDM (Fat in Dray Matter) се използва като индикатор за качеството на изварата. Той представлява отношение на съдържанието на маслото и на твърдите вещества в готовия продукт.

$$FDM_i = \frac{FC\%_i}{SC\%_i} \quad \forall i \in I. \tag{7-10}$$

От друга страна, FDM може да се определи и чрез състава на суровините, използвайки съдържанието на казеина и маслото в тях и съответните им фактори на извличане:

$$FDM_i = \frac{RF(x(r_i)) \cdot x(r_i)}{(RF(x(r_i)) \cdot x(r_i) + RC_i \cdot MC\%(x(r_i)))RS_i}, \text{ за } r_i = 1 \text{ и } 2, \quad r_i \in R_i, \quad \forall i \in I. \tag{7-11}$$

Така, чрез (7-10) и (7-11) се определя зависимостта за определяне на фактора на извличане на маслото $RF(x(r_i))$:

$$0 < RF(x(r_i)) \leq 1. \quad \text{за } r_i = 1 \text{ и } 2, \quad r_i \in R_i, \quad \forall i \in I. \tag{7-12}$$

Целева функция

За формулиране на оптимизационните задачи на отделните нива на подхода като екологичен оптимизационен критерий се използва глобалната оценка за BPK_5 (*Global BOD*), която включва оценка за екологичното въздействие на замърсителите само в една от сферите – водата:

$$\min GBOD(\mathbf{x}(r_i)) \Big|_H = \sum_{w=1}^W BOD_w \sum_{l=1}^{L(r_i)} m(x(r_i))_{w,l} \cdot \quad (7-13)$$

На първото ниво на подхода за производството на 1 кг от двата продукта по двете рецепти са формулирани и решени задачите за определяне на оптималните стойности на концентрацията на маслото в суровините, при които екологичния критерий *GBOD* има минимална стойност.

Таблица 7-7. Оптималните стойности за концентрацията на маслото в суровините, при които оценките за *GBOD* имат минимални стойности

Производствена рецепта 1			
Продукт 1 добив: 0.274 kg извара от 1 kg мляко	Масленост %	$GBOD \cdot 10^3 = 15.385$ [kgO ₂]	
	0.083	“Генерирано”	15.022
		“Внесено отвън”	0.363
Продукт 2 добив: 0.22 kg извара от 1 kg мляко	Масленост %	$GBOD \cdot 10^3 = 18.529$ [kgO ₂]	
	0.255	“Генерирано”	18.079
		“Внесено отвън”	0.45
Производствена рецепта 2			
Продукт 1 добив: 0.351 kg извара от 1 kg мляко	Масленост %	$GBOD \cdot 10^3 = 18.56$ [kgO ₂]	
	1.4	“Генерирано”	18.27
		“Внесено отвън”	0.29
Продукт 2 масленост 1.4%; добив: 0.283 kg извара от 1 kg мляко	Масленост %	$GBOD \cdot 10^3 = 22.28$ [kgO ₂]	
	1.4	“Генерирано”	21.933
		“Внесено отвън”	0.347

При анализ на получените резултати се вижда, че производството на 1 кг от двата продукта по втората рецепта е съпроводено с по-високи стойности за оценката на въздействие в сравнение с тези при производството им по първата рецепта. Както и това, че делът в общата оценка на “внесеното отвън” BPK_5 е много малък както при първата така и при втората рецепта.

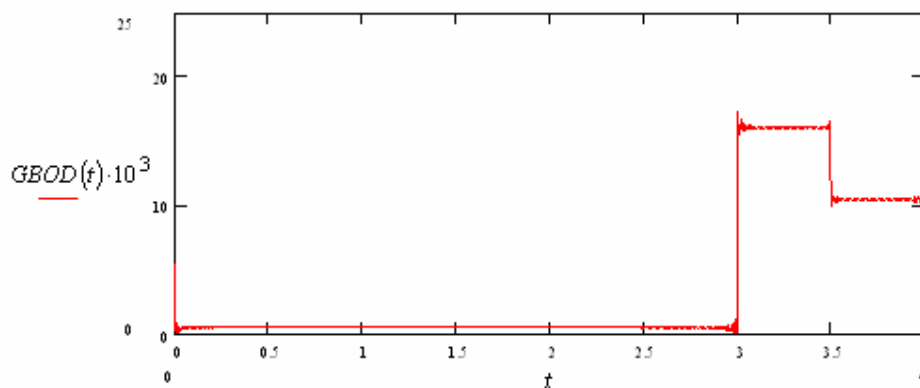
Анализът на данните, представени в таблица 7-8 показва, че и при двете рецепти замърсителите, генерирани в стадий “Пастьоризация”, имат най-голям дял в общото *GBOD*, а от замърсителите, най-голям дял във формирането на оценката за въздействие върху околната среда имат депозитите в пастьоризатора.

Таблица 7-8. Дял на производствените стадии и замърсителите в GBOD

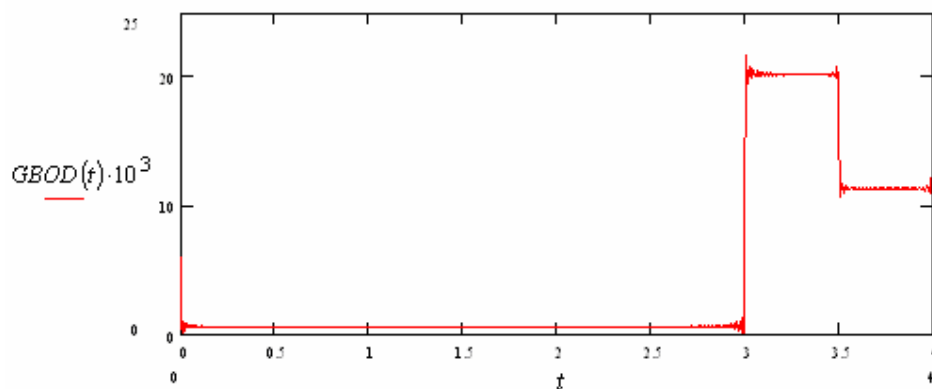
Производствена рецепта 1							
Продукт 1 масленост 0.083%;	Рутинен източник на замърсяване	Дял в "генерирано" GBOD = 15.022.10 ⁻³ [kgO ₂]					
		w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆
	Пастьоризация	2.995	4.811				
	Заквасване			1.289	0.944		
	Изцеждане			3.556	1.418		
Продукт 2 масленост 0.255%;	Рутинен източник на замърсяване	Дял в "генерирано" GBOD = 18.079.10 ⁻³ [kgO ₂]					
		w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆
	Пастьоризация	3.784	5.996				
	Заквасване			1.757	1.193		
	Изцеждане			3.556	1.792		
Производствена рецепта 2							
Продукт 1 масленост 1.4%;	Рутинен източник на замърсяване	Дял в "генерирано" GBOD = 18.27.10 ⁻³ [kgO ₂]					
		w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆
	Разреждане						3.396
	Пастьоризация	3.338	3.761				
	Заквасване			0.891	1.755		
	Изцеждане			3.556	1.581		
Продукт 2 масленост 1.4%;	Рутинен източник на замърсяване	Дял в "генерирано" GBOD = 21.933.10 ⁻³ [kgO ₂]					
		w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆
	Разреждане						4.208
	Пастьоризация	4.137	4.661				
	Заквасване			1.239	2.174		
	Изцеждане			3.556	1.959		

7.2.3. Идентификация на технологичните стадии при производството на извара, от които се очакват пикови въздействия върху околната среда

Това става възможно чрез изследване на разпределението на Екологичния индекс на въздействие за производството на извара, $GBOD(t)$, в рамките на един производствен цикъл, за производството на всеки от продуктите по двете рецепти, Фигури 7-2 и 7-3.

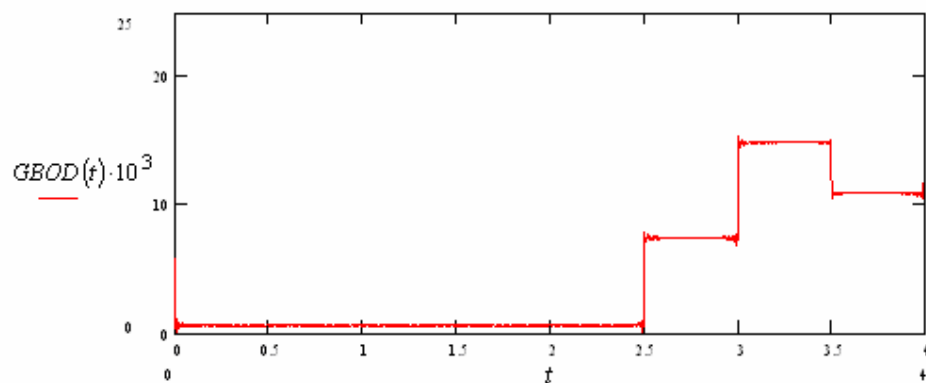


Фигура 7-2а.

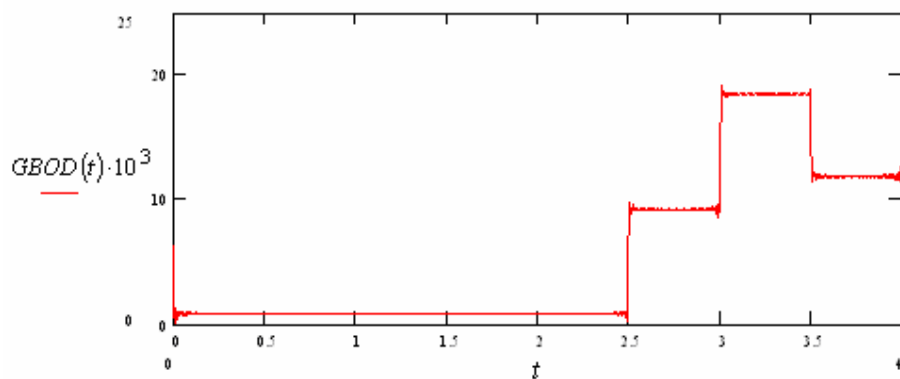


Фигура 7-2б.

Фигура 7-2. Разпределение на $GBOD(t)$ за първата рецепта:
7-2а. – Продукт 1; 7-2б. – Продукт 2



Фигура 7-3а.



Фигура 7-3б.

Фигура 7-3. Разпределение на $GBOD(t)$ за втората рецепта:
7-3а. – Продукт 1; 7-3б. – Продукт 2

От фигури 7-2 и 7-3 се вижда, че в края на производствения цикъл мощността на Екологичния индекс на въздействие $GBOD(t)$ е най-висока. Тогава, при първата рецепта

се появяват стадии 1 и 3, а при втората стадии - 1, 2 и 4. Тяхното въздействие се добавя към това на стадий 2 (за първата рецепта) и респективно 3 (за втората), който е лимитиращият и въздействието му е през целия цикъл.

7.3. Екологични политики за управление на производството на извара

7.3.1. Екологични цели при производството на извара

На второто ниво на системно ориентирания подход при поставени екологични цели пред производствената система са формулирани и решени оптимизационни задачи за определяне на оптималните условия за съвместното производство на двата типа извара при възможност за избор от двете рецепти, при което производствените изисквания са изпълнени в рамките на два времеви хоризонта и въздействието върху околната среда е минимално.

Изчислителни резултати

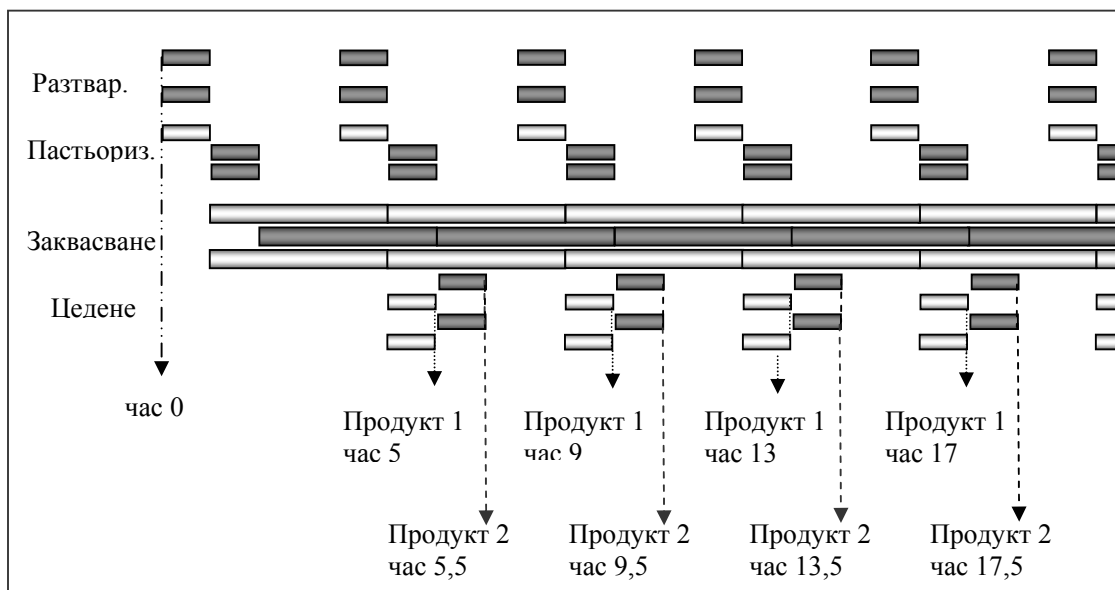
В таблицата обединено са представени данни от таблици 7-10 и 7-12 за стойностите на независимите променливи, при които са получени решенията.

П-кт	Р-та	Масл. на м-то, %	Технолог. Маршрути - апарати	Р-р на п-дите, [kg]	Брой п-ди	Произв. к-во, [kg]	Произв. време, [h]
Решение 1 (H=320ч.), <i>GBOD=287.1</i> [kg O₂]							
1	1	0.083	5,9,11,13,15	93.54	75	7015	301
2	2	1.396	1,3,6,7,10,12,14	112.99	62	7005	249.5
Решение 2 (H=320ч.), <i>GBOD=287.3</i> [kg O₂]							
1	2	1.4	1,2,4,6,8,9,11,12,13	90.09	78	7027	313.5
2	2	1.398	3,5,7,10,15	96.43	73	7039	293.5
Решение (H=400ч.), <i>GBOD=238.45</i> [kg O₂]							
1	1	0.083	6,7,9,15	75.29	93	7002	373.5
2	1	0.255	5,8,10,12	72.73	97	7055	389.5

От тях се вижда че при хоризонт от 320 часа са получени две равнооптимални решения за екологичния критерий, при производството на продуктите по различни рецепти с различни стойности за концентрациите на ключовите компоненти в тях. Рецептите са реализирани в системата чрез различни технологични маршрути, включващи различни апарати, което води до получаване на различен брой партиди с различен размер. При хоризонт от 400 часа е получено само едно оптимално решение, при независими променливи също показани в таблицата.

Част от производственото разписание за първото решение (хоризонт от 320 часа) е показано чрез графика на Гант на фигура 7-5.

То включва стартовия момент на кампанията (условен час 0) и производството на първите 5 партиди от двата продукта. Поради цикличността, производството на изварата продължава по аналогичен начин, докато се произведат по 62 партиди за всеки от продуктите. След този момент продължава само производството на Продукт 1 до приключването на 75-тата му партида.



Фигура 7-5. График на Гант, представящ част от производственото разписание за първото решение (хоризонт от 320 часа).

В таблицата са представени данни от проведения по-подробен анализ на получените решения:

Продукт	Общо БПК ₅ , [kg O ₂]	БПК ₅ от произв. на п-те, [kg O ₂]	БПК ₅ от произв. на 1 п-да от всеки п-кт, [kg O ₂]	БПК ₅ за 1 п-л от съвм. произв. на п-те, [kg O ₂]
Решение 1 (H=320)				
1	287.1	130.89	1.45 (93.54 kg)	4.26 за всеки 4 часа
2		156.2	2.52 (112.99 kg)	
Решение 2 (H=320)				
1	287.3	130.4	1.67 (90.09 kg)	3.82 за всеки 4 часа
2		156.9	2.15 (96.43 kg)	
Решение (H=400)				
1	238.45	107.73	1.158 (75.29)	2.506 за всеки 4 часа
2		130.72	1.348 (72.73)	

Допълнително, получените решения дават информация и за приноса на отделните замърсители в общата оценка *Global BOD* - таблица 7-11. Тези резултати показват, че повече от 40% от общата оценка се дължи на два замърсителя - депозитите в пастьоризатора w_2 (стадий „Пастьоризация“) и суроватката w_3 (стадии „Заквасване и цедене“).

Таблица 7-11. Принос на отделните замърсители във формирането на Global BOD, [kg O₂]

W	Замърсител	Решение 1		Решение 2	
		Продукт 1	Продукт 2	Продукт 1	Продукт 2
w ₁	Ниско маслено мляко	21.01	28.979	23.42	29.12
w ₂	Депозити в пастьоризатора	33.753	32.742	26.43	32.854
w ₃	Суроватка	34.049	33.627	31.243	33.772
w ₄	Загуби от извара	16.573	28.951	23.437	29.092
w ₅	Пълномаслено стандартизирано мляко	25.512	-	-	-
w ₆	Кондензирано обезмаслено мляко	-	31.937	25.854	32.092

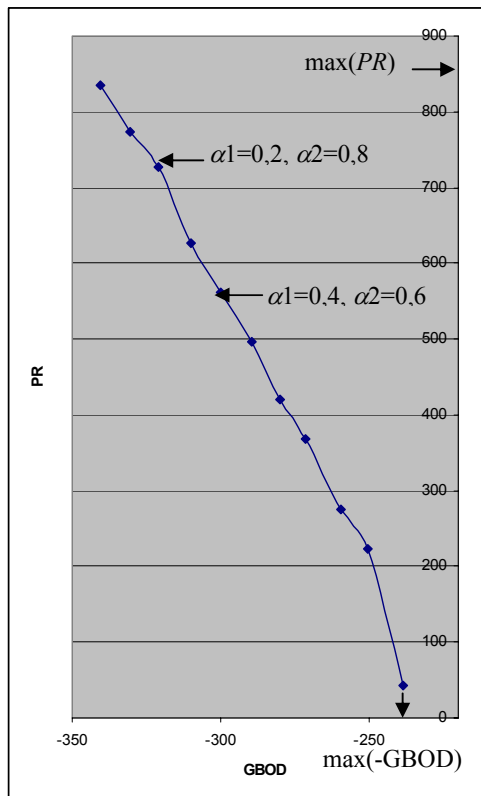
7.3.2. Компромис между екологични и икономически цели при производството на извара

На второто ниво на подхода при поставени компромисни екологични икономически цели пред системата се формулира двуцелева оптимизационна задача.

Тя по същество представлява разширяване на задачата за съвместното производство на двата типа извара при хоризонт от 400 часа, с дефиниране на векторен оптимизационен критерий, обединяващ екологичния с икономически такъв.

При нейното решаване, за построяване на равномерно разпределена Парето-граница, ние използвахме метода на нормализираните нормални ограничения. Фигура 7-8 представя получената граница на оптималния компромис между екологичното въздействие и печалбата при производството на извара. В таблицата по долу са показани 4 решения. Първите две са получени при решаване на оптимизационната задача използвайки, поотделно, като оценъчни критерии – екологичното въздействие и печалбата, като при получените стойности за независимите променливи, за всяко от тях, са определени съответстващата им печалба и оценка за въздействие. Тези решения са необходими за определяне на подходящите метрики за транслиране на оригиналното пространство в нормализирано. Другите две решения са избрани произволно от множеството на Парето-оптималните решения и показват различни нива на компромис с цел да се проследи ефектът от засилване на тежестта на екологичната цел върху икономическата и обратното.

От фигурата се вижда, че печалбата драстично пада след стойности за ниво на компромис $\alpha_1 > 0.9$. Решението какъв ще бъде допустимия компромис между печалбата и екологичното въздействие трябва да се вземе от производствения мениджър, съобразно предварително избрани от него приоритети.



Фигура 7-8. Граница на оптималния компромис между екологичното въздействие и печалбата от производството на извара – Парето граница

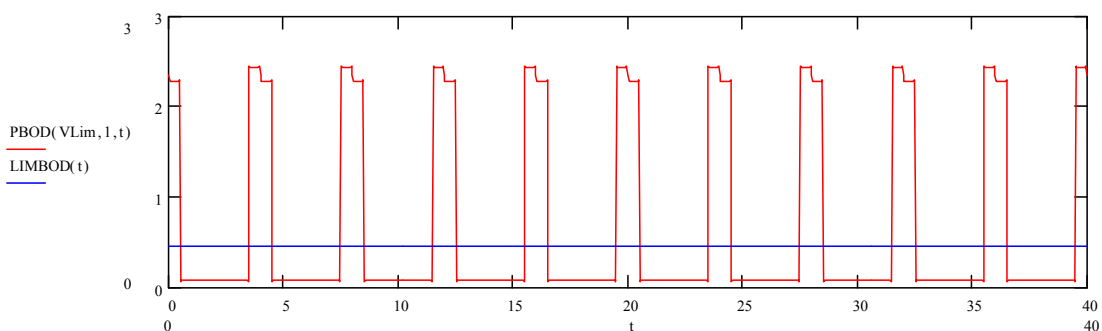
В таблицата обединено са представени данни от таблици 7-14 и 7-15 за стойностите на независимите променливи, при които са получени решенията.

Продукт	Масленост, %	Брой партиди	Размер на партидата, [kg]	Произведени продукти, [kg]	Технологични маршрути - апарати
Решение при критерий $\max(-GBOD)$ $GBOD=-238.45 [kg O_2]$; $PR=42.20$ лв.					
1	0.083	93	75,29	7002	6,7,9,15
2	0.255	97	72,73	7055	5,8,10,12
Решение при критерий $\max(PR)$ $PR=835.61$ лв.; $GBOD=-340.5 [kg O_2]$					
1	0.083	99	71,3	7059	6,9,12
2	0.255	99	126,41	12515	5,7,8,10,11,13,15
Компромисно решение $\alpha_1 = 0.2$; $\alpha_2 = 0.8$ $GBOD=-317.05 [kg O_2]$; $PR=743.1$ лв.					
1	0.083	82	85,56	7016	5,10,15
2	0.255	99	111,24	11013	6,7,8,9,11,12,14
Компромисно решение $\alpha_1 = 0.4$; $\alpha_2 = 0.6$ $GBOD=-301.03 [kg O_2]$; $PR=561.1$ лв.					
1	0.083	72	99,82	7187	6,8,10,12,13
2	0.255	99	103,42	10239	5,7,9,11,14,15

7.4. Редуциране на пиковите въздействия при производството на извара

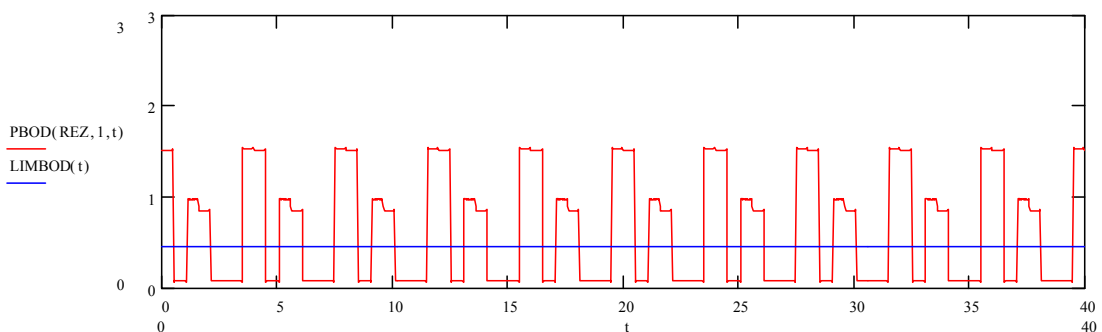
На последното трето ниво на подхода при избраното производственото разписание, получено при хоризонт от 400 часа, с известни стойности на независимите променливи (виж Таблицата към т. 7.3.1.) се формулира задачата за редуциране на пиковите въздействия.

Най-напред, с цел сравнение, беше изчислена стойността на Оценката за пиково въздействие за случая, когато производството и на двата продукта започва едновременно в началото на производствения хоризонт. $PBOD = 187.43 [kg O_2]$. И за двете производства това води до едновременното появяване във времевия хоризонт на етапите 1 и 3.



Фигура 7-9. Разпределение на Пиковите въздействия на производството на извара при $\tau_i = 0, \forall i$.

Изместването на началото на производството на единия от продуктите с 1 до 2 часа води до най-добро пренареждане на рутинните източници на замърсяване – етапи “Пастьоризация” и “Изцеждане” във времевия хоризонт, при което оценката за Пиково Въздействие има стойност, $99.32 [kg O_2]$, Фигура 7-10:



Фигура. 7-10. Разпределение на Пиковите въздействия на производството на извара при $\tau_1 = 0$, и $\tau_2 = 1.599$

Още веднъж искаме да отбележим, че редуцирането на Пиковите Въздействия не променя определената вече оценка $GBOD$, която за разглеждания случай е $238.45 [kg O_2]$. Промяната в стартовите времена на производствата води до пренареждане на рутинните източници във времевия хоризонт, така че производството да генерира по-често, но по-малки количества отпадъчни води при измиването на оборудването след всяка партида.

НАУЧНИ ПРИНОСИ

- Създадена е работна рамка на Системно-ориентиран подход за ефективно и екологосъобразно управление, която включва три нива на разглеждане на многоцелевите химични и/или биохимични периодични производства.
- Създаден е обобщен математичен модел, който дава количествено описание на екологичното въздействие от периодични химични и/или биохимични производства. Дефинирани са подходящи Индекси и Локални и Глобални Оценки за количествено описание както на цялостното, така и на пиковите въздействия върху околната среда.
- Дефинирани са оптимизационни задачи за различните нива на подхода, които в общия случай са многокритериални:
 - Първо ниво – създаден е модел за намиране на оптималните условия за реализиране на производството на 1kg целеви продукт по дадена рецепта, при което въздействието върху околната среда е минимално;
 - Второ ниво - в зависимост от избраната екологична политика за управление на производствената система са създадени модели на производствени разписания с включени чисто екологични или компромисни – екологични и икономически цели за съвместното производство на група продукти с възможност за избор от множество алтернативни производствени рецепти за всеки от продуктите;
 - Третото ниво - създаден е модел на оптимално управление на пиковите въздействия върху околната среда при съвместното производство на група продукти.
 - Създаден е генетичен алгоритъм, наречен **BASIC GA (Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Chemical Engineering)** за решаване на сложните оптимизационни проблеми от различните нива на Системно-ориентирания подход, който предлага две нови схеми: а) за представяне на индивидите в реално пространство на търсене; и б) за селекция за заместване, комбинираща елитизъм с безпристрастна селекция.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

- Създаден е софтуерен код на **BASIC GA**, който включва голям брой схеми за генетичните оператори и позволява фината им настройка, с цел адаптирането му към широк кръг инженерни проблеми с различен тип променливи – реални, целочислени и бинарни.

ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

- Ефективността на предложения Системно – ориентиран подход е доказана на пример за производство на два типа извара с възможност за избор от две производствени рецепти за всеки продукт, като формулираните на всяко от трите нива на подхода задачи са решени с **BASIC GA**.

СПИСЪК НА НАУЧНИТЕ ПУБЛИКАЦИИ СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИЯТА

1. Vaklieva-Bancheva, N.G., *Shopova, E.G.*, & B.B. Ivanov, (2002). **Application of Fourier Transformation for Waste Minimization in Batch Plants, 1. Analysis of Production Recipes**, *Hungarian Journal of Industrial Chemistry*, Volume 30, Pages 199-206. (1 цитат)
2. *Shopova, E.G.*, & N.G. Vaklieva-Bancheva, (2003). **Short-Term Scheduling of Curds Processing for Environmental Impact Minimization**, *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, XXXVIII*, Volume 3, Pages 779-784.
3. Vaklieva-Bancheva, N.G., *Shopova, E.G.*, & B.B. Ivanov, (2004). **Minimization of Wastes from Batch Plants for Compatible Manufacturing of the Products**, *Bulgarian Chemical Communications*, Volume 36, Number 4, Pages 253-262.
4. *Shopova, E.G.*, & Vaklieva-Bancheva, N.G., (2006). **Basic – a Genetic Algorithm for Engineering Problem Solution**, *Computers and Chemical Engineering*, Volume 30, Issue 8, Pages 1293-1309. (49 цитата)
5. Vaklieva-Bancheva, N.G., & *E.G. Kirilova*, (2010). **Working frame for Environmental Benign Management of Multipurpose Batch Chemical and Biochemical Plants**, *Asian Chemistry Letters*, Volume 14, Number 2, Pages 157-170.
6. Vaklieva-Bancheva, N.G., & *E.G. Kirilova*, (2010). **Cleaner Manufacture of Multipurpose Batch Chemical and Biochemical Plants. Scheduling and Optimal Choice of Production Recipes**, *Journal of Cleaner Production*, Volume 18, Issue 13, Pages 1300-1310. (1 цитат)

Публикацията е включена в Плана за действие по околна среда и екологични технологии на Европейската комисия.

http://ec.europa.eu/environment/etap/inaction/showcases/belgium/584_en.html

СПИСЪК НА ДОКЛАДИТЕ, ПУБЛИКУВАНИ В ПЪЛЕН ТЕКСТ СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИЯТА

7. Vaklieva, N.G., Espuna, A., *Shopova, E.G.*, Ivanov B.B., & Puigjaner, L. (2005). **Multiobjective Optimization of Curds Manufacture**, Proceedings of *European Symposium on Computer Aided Process Engineering – 15 (ESCAPE 15)*, (Barcelona, Spain, May 29th-June 1st, 2005), book series on *Computer Aided Chemical Engineering*, Volume 20, Part 2, Pages 1183-1188.
8. *Кирилова, Е.Г.*, Н.Г. Ваклиева-Банчева, (2010). **Системно-ориентиран подход за екологосъобразно управление на многоцелеви периодични химически и биохимически производства**, *Лятна школа „Химични и биохимични технологии и опазване на околната среда“*, (Бургас, България, 5-8 юли 2010), CD.

УЧАСТИЕ В НАУЧНИ КОНФЕРЕНЦИИ – ПРЕДСТАВЯНЕ НА ДОКЛАДИ И ПОСТЕРИ СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИЯТА

1. *Шопова, Е.Г., Н.Г. Ваклиева-Банчева, Краткосрочни разписания при производството на извара за намаляване въздействието върху околната среда, (постер), Юбилейна Научна Конференция с Международно Участие, 4^{ти}-5^{ти} юни, 2003, София, България.*
2. *Шопова, Е.Г., Н.Г. Ваклиева-Банчева, Краткосрочни разписания при производството на извара за намаляване въздействието върху околната среда, (устен доклад), Юбилейна Научна Конференция - 50 години Инженерна Химия в България, 23^{ти}-25^{ти} септември, 2003, София, България.*
3. *Ваклиева-Банчева, Н.Г., Е.Г. Шопова, Управление на производствените рецепти за ефективни и екологосъобразни разписания на многоцелеви химични и биохимични производства, (постер), Пета Национална Конференция по Химия, 29^{ти} септември – 1^{ви} октомври, 2004, София, България.*
4. *Vaklieva, N.G., Espuna, A., Shopova, E.G., Ivanov, B.B., & L. Puigjaner **Multi-objective Optimization of Curds Manufactory, (постер), European Symposium on Computer Aided Process Engineering 15 – ESCAPE 15, May 29th -June 1st, 2005, Barcelona, Spain.***
5. *Кирилова, Е.Г., Н.Г. Ваклиева-Банчева, (2010). Системно-ориентиран подход за екологосъобразно управление на многоцелеви периодични химически и биохимически производства, (устен доклад), Лятна школа „Химични и биохимични технологии и опазване на околната среда”, 5^{ти}-8^{ми} юли 2010, Бургас, България.*