

**БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ПО ИНЖЕНЕРНА ХИМИЯ**

БОЯН БОНЕВ ИВАНОВ

**ОПТИМАЛНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА
РЕСУРСИТЕ В ЗАВОДСКИ КОМПЛЕКСИ С
ПЕРИОДИЧНИ ПРОЦЕСИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд за присъждане на научната степен
«ДОКТОР НА НАУКИТЕ»

Научна специалност:
02.10.09. Процеси и апарати в химичната и биохимичната технология

София, 2011г.

БОЯН БОНЕВ ИВАНОВ

**ОПТИМАЛНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА
РЕСУРСИТЕ В ЗАВОДСКИ КОМПЛЕКСИ С
ПЕРИОДИЧНИ ПРОЦЕСИ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертационен труд за присъждане на научната степен

«ДОКТОР НА НАУКИТЕ»

Научна специалност:

02.10.09. Процеси и апарати в химичната и биохимичната технология

Научно жури:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| 1. Проф. Дтн. Венко Бешков | Председател на журито |
| 2. Проф. Дтн. Стоян Стоянов | Рецензент |
| 3. Проф. Дтн. Христо Бояджиев | Рецензент |
| 4. Проф. Дтн. Камен Велев | Рецензент |
| 5. Проф. Дтн. Румен Даракчиев | |
| 6. Доц. Д-р Светослав Наков | |
| 7. Доц. Д-р Николай Козарев | |

София, 2011г.

Дисертационният труд съдържа резюме, списък на фигурите, таблиците, обозначенията, основни понятия дефиниции и съкращения, въведение, 7 глави, заключение-приноси на дисертацията, списък на авторските публикации по темата на дисертационния труд и намерените цитати, списък на цитираната литература и предметен указател.

Списъкът с цитираната литература включва 569 източника, от които 13 на кирилица и 556 на латиница. Обемът на дисертационния труд е 396 страници, включително 154 фигури и 51 таблици.

Авторът на дисертационния труд работи като доцент и е ръководител на лаборатория “Инженерно-химична системотехника” към Института по инженерна химия при Българска академия на науките (ИИХ-БАН). Всички изследвания по дисертацията са реализирани в същата лаборатория.

Дисертационният труд е обсъден от Колоквиума по Инженерна химия като орган на Научния съвет на ИЕЕС-БАН за откриване на процедура по защита на заседание, състояло се на 4.май 2011г.(Протокол №2/04.05.2011г.) и с решение на Научния съвет на ИЕЕС-БАН от 26.06.2011г. (Протокол №3/26.06.2011г.) е открита процедура по защита на дисертацията. На заседание на Колоквиума по Инженерна химия от 14.06.2011г. (Протокол №3/14.06.2011г.) е извършена предварителна защита и с последващо решение на Научния съвет на ИЕЕС-БАН от 07.07.2011г. (Протокол №5/07.07.2011г.) е избрано Научно жури за провеждане на процедура по защита на дисертацията.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 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:

- | | |
|-------------------------------|-----------------------|
| 1. Проф. Дтн. Венко Бешков | Председател на журито |
| 2. Проф. Дтн. Стоян Стоянов | Рецензент |
| 3. Проф. Дтн. Христо Бояджиев | Рецензент |
| 4. Проф. Дтн. Камен Велев | Рецензент |
| 5. Проф. Дтн. Румен Даракчиев | |
| 6. Доц. Д-р Светослав Наков | |
| 7. Доц. Д-р Николай Козарев | |

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

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в Канцеларията на Института по инженерна химия при БАН, стая 106, Ул. Стефан Ангелов, бл. 103, Институт по инженерна химия.

Автор: Доц. Д-р инж. Боян Бонев Иванов

Заглавие: **ОПТИМАЛНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА РЕСУРСИТЕ В
ЗАВОДСКИ КОМПЛЕКСИ С ПЕРИОДИЧНИ ПРОЦЕСИ**

Тираж: 20 бр.

СЪДЪРЖАНИЕ

Основни означения	4.
ВЪВЕДЕНИЕ	7.
ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	9.
1. ИЗВОДИ ОТ ЛИТЕРАТУРНИЯ ОБЗОР	15.
2. ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МНОГОАСОРТИМЕНТНИ ХИМИКО ТЕХНОЛОГИЧНИ СИСТЕМИ (МХТС) С ПЕРИОДИЧНИ ПРОЦЕСИ	15.
2.1. Характеристики на производствените линии с периодични процеси.	15.
2.1.1. <i>Диаграми на Гант за представяне работата на периодични линии във времето.</i>	16.
2.1.2. <i>Размерен фактор.</i>	16.
2.1.3. <i>Партида.</i>	17.
2.1.4. <i>Производствено време.</i>	18.
2.1.5. <i>Време на пребиваване.</i>	18.
2.1.6. <i>Време за цикъл.</i>	18.
2.1.7. <i>Производителност.</i>	19.
2.2. Многопродуктови химико-технологични системи с периодични процеси.	20.
2.3. Многоцелеви химико-технологични системи с периодични процеси.	21.
3. ОПТИМАЛНО ИЗПОЛЗУВАНЕ НА РЕСУРСИТЕ ПРИ РАБОТАТА НА МХТС В СЪСТАВА НА РОВ.	22.
3.1. Обща характеристика на РОВ включващи МХТС с периодични процеси. ..	22.
3.1.1. <i>Особености на комплексите от МХТС като обекти за управление.</i>	22.
3.1.2. <i>Етапи за намиране на оптималното функциониране на РОВ.</i>	23.
3.2. Композиционен подход за оптимално планиране и съставяне на производствени разписания при работата на РОВ, съставяни от МХТС	24.
3.3. Декомпозиционен подход за оптимално планиране и съставяне на производствени разписания при работата на РОВ, съставяни от МХТС	25.
4. ОПТИМАЛНО ИЗПОЛЗУВАНЕ НА РЕСУРСИТЕ ПРИ РАБОТАТА НА МХТС ЧРЕЗ ТОПЛИННА ИНТЕГРАЦИЯ НА ПРОЦЕСИТЕ	26.
4.1. Топлинна интеграция, в двойка «Горещ-Студен» апарати с последваща корекция, чрез използване на външни системи.	26.
4.1.1. <i>Модели на процесите «Нагриване-Охлаждане» в двойка периодични апарати за схеми осъществяващи процеса в зададен времеви интервал</i>	27.
4.2. Топлинна интеграция и едновременна корекция в система «Г-С» реактори в зададен времеви интервал.	36.
4.3. Топлина интеграция в двойка «Горещ-Студен» апарати с последваща корекция и наличие на множество достъпни източници на енергия.	38.
4.3.1. <i>Математичен модел на процесите.</i>	39.
4.3.2. <i>Математическа формулировка на задачата за синтез на оптимална система за «Нагриване-Охлаждане» в двойка «Г-С» реактора, чрез топлинна интеграция на процесите.</i>	42.
4.4. Топлина интеграция в двойка «Горещ-Студен» периодични апарати с последваща корекция в различен времеви интервал с използване на топлинни резервоари.	44.
4.4.1. <i>Модели на процесите в схеми с индиректна топлинна интеграция.</i>	45.
4.4.2. <i>Формулиране на задачата за синтез и реновация при схеми с индиректна топлинна интеграция.</i>	50.
4.5. Топлинна интеграция в система «Г-С» периодични апарати.	51.
4.5.1. <i>Описание на проблема.</i>	52.
4.6. Синтез, на гъвкави топлообменни вериги за МХТС.	53.
4.6.1. <i>Описание на проблема за синтез, на гъвкави топлообменни вериги за МХТС.</i>	54.

4.6.2.	<i>Организация на толинната интеграция в система периодични апарати в зададен времеви интервал.</i>	55.
5.	ОПТИМАЛНО НАТОВАРВАНЕ НА СИСТЕМИТЕ ЗА РЕСУРСОПОТРЕБЛЕНИЕ ПРИ РАБОТАТА НА МХТС.	55.
5.1.	Математически модели на ресурсопотреблението при работата на МХТС с периодични процеси.	56.
5.1.2.	<i>Модел на ресурсопотреблението на многостадийна технология, работеща в режим с и без покриване на циклите и нулево изчакване между стадияте.</i>	57.
5.1.3.	<i>Модел на ресурсопотреблението при съвместна работа на група производства в производствена кампания.</i>	60.
5.2.	Зависимости за оценка на ресурсопотреблението за различни видове консуматори при работа на производствена кампания.	62.
6.	ПРОГРАМНО ОСИГУРЯВАНЕ.	62..
6.1.	Принципи на изграждане на програмното осигуряване.	63.
6.2.	Избор на език за програмиране.	63.
7.	ПРИЛОЖЕНИЯ НА ТЕОРЕТИЧНИТЕ РЕЗУЛТАТИ И СЪЗДАДЕНИТЕ ПРОГРАМНИ СРЕДСТВА НА КОНКРЕТНИ ЗАДАЧИ.	64.
7.1.	Задача 4. Планове и разписания с отчитане на ресурсопотреблението при работата на МХТС в състава на РОВ.	64
7.2.	Задача 6. Подобряване на енергийната ефективност на биопроцеси чрез използване на топлини резервоари.	69.
	Публикации по дисертацията	74.
	Abstract	80.

Основни означения

2. ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МНОГОАСОРТИМЕНТНИ ХИМИКО ТЕХНОЛОГИЧНИ СИСТЕМИ (МХТС) С ПЕРИОДИЧНИ ПРОЦЕСИ

Индекси

i	Брой на производствата.
l	Брой на стадияте.
j	Брой на технологичните маршрути.
k	Брой на операцияите.

Множества

$\{K_l\}$	Множеството от технологични операции включени в l -тия технологичен стадий.
$\{L_i\}$	Множество на стадияте на i -тото производство.

Параметри

S_{il}	Размерен фактор на l -тия стадий при производството на продукта i
V_{ijl}	Работен обем на апаратурната единица използвана за реализиране на l -тия стадий в j -тия технологичен маршрут на i -тото производство
B_{ij}	Количество целеви продукт получено в резултат от работата по даден технологичен маршрут в резултат на едно зареждане със суровини и материали.
τ_{ikj}	Време за провеждане на k -тата операция в j -тия стадий на i -тото производство
T_{ij}^*	Време за цикъл на i -тото производство изпълнявано по j -тия технологичен маршрут.
T_{ijl}	Продължителност на стадия j -тия стадий на i -тото производство по j -тия технологичен маршрут.

3. ОПТИМАЛНО ИЗПОЛЗУВАНЕ НА РЕСУРСИТЕ ПРИ РАБОТАТА НА МХТС В СЪСТАВА НА РОВ.

Индекси

i	Пореден номер на доставчиците на суровини.
j	Пореден номер на многоцелевите заводи.
k	Пореден номер на обединените складове.
l	Пореден номер на разпределителните центрове.
m	Пореден номер на крайните потребители.
n	Пореден номер на производствата.

Множества

- $\{NIS_i\}$ Множеството на продуктите, за които могат да бъдат осигурявани суровини от $i \in I$ -тия доставчик на суровини за поне един от заводите.
- $\{NIP_j\}$ Множеството на продуктите, за които могат да бъдат осигурени суровини за тяхното производство, влизат в производствената листа на $j \in J$ -тия завод и съществува път за тяхното доставяне до някой от крайните потребители.
- $\{NIW_k\}$ Множеството на продуктите, които могат да бъдат произведени и доставяни от кой да е завод на РОВ в $k \in K$ -тия склад.
- $\{NID_l\}$ Множеството на продуктите, които могат да бъдат съхранявани и доставяни от кой да е склад на РОВ в $l \in L$ -тия разпределителен център.
- $\{NIC_m\}$ Множеството на продуктите, които могат да бъдат доставяни от някой от разпределителните центрове на РОВ в $m \in M$ -тия краен потребител.

Променливи

- T_t Представява продължителността на t -тия времеви интервал, който подлежи на определяне.
- q_{njt} Представява количеството от n -тия продукт, което ще бъде произведено от j -тия завод по време на t -тия времеви интервал.
- x_{nijt} Пропорции за доставка на суровини от доставчиците до заводите.
- y_{njkt} $0 \leq y_{njkt} \leq 1$ -представява пропорциите в които се доставят произведените продукти q_{njt} от заводите в обединените складове на РОВ за t -тия времеви интервал.
- z_{nklt} $0 \leq z_{nklt} \leq 1$ -представява пропорциите в които се доставят съхраняваните продукти от обединените складове на РОВ до дистрибуторите за t -тия времеви интервал.
- g_{nlmt} $0 \leq g_{nlmt} \leq 1$ -представява пропорциите в които се доставят продуктите от дистрибуторите на РОВ до крайните потребители за t -тия времеви интервал.

4. ОПТИМАЛНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА РЕСУРСИТЕ ПРИ РАБОТАТА НА МХТС ЧРЕЗ ТОПЛИННА ИНТЕГРАЦИЯ НА ПРОЦЕСИТЕ

Индекси

- H «Горец» апарат
- C «Студен» апарат

Множества

- $\{C_j\}$ Множество на «Студените» апаратите изискващи нагряване по време на j -та кампания
- $\{H_j\}$ Множество на «Горещите» апаратите в j -тата кампания изискващи охлаждане
- $\{l\}$ Множество от достъпни хладоагенти
- $\{k\}$ Множество от достъпни топлоносители

Параметри

- U Общ коефициент на топлинна трансформация (overall heat transfer coefficient) $[Wm^{-2}K^{-1}]$
- L Брой на възможните външни топлоизточници, които могат да бъдат използвани за автономно нагряване на «Студения» реактор
- K Брой на възможните външни хладоагенти, които могат да бъдат използвани за автономно охлаждане на «Горещия» реактор.
- T_H^S Начална температура на «Горещия» реактор, подлежащ на охлаждане, $[K]$
- T_C^S Начална температура на «Студения» реактор, подлежащ на нагряване, $[K]$
- T_H^f Крайна температура на «Горещия» реактор, подлежащ на охлаждане, $[K]$
- T_C^f Крайна температура на «Студения» реактор, подлежащ на нагряване, $[K]$
- Cp_H Специфична топлемост на сместа в «Горещия» реактор, $[Jm^{-3}K^{-1}]$, където $Cp_H = \rho_h \cdot Cp_h$, специфична топлемост по SI $Cp_h [Jkg^{-1}K^{-1}]$, плътност по SI $\rho_h [kgm^{-3}]$
- Cp_C Специфична топлемост на сместа в «Студения» реактор, $[Jm^{-3}K^{-1}]$, където $Cp_C = \rho_c \cdot Cp_c$, специфична топлемост по SI $Cp_c [Jkg^{-1}K^{-1}]$, плътност по SI $\rho_c [kgm^{-3}]$
- V_H Работен обем на «Горещия» реактор, подлежащ на охлаждане, $[m^3]$
- V_C Работен обем на «Студения» реактор, подлежащ на нагряване, $[m^3]$

Променливи

V_m	Работен обем на m -тия апарат, $[m^3]$
T_H^{int}	Температура, в края на процеса на топлинната интеграция за «Гореция» реактор, $[K]$
T_C^{int}	температура, в края на процеса на топлинната интеграция за «Студения» реактор, $[K]$
τ_{COR}^H	Време за извършване на процеса доохлаждане на «Гореция» реактор след завършване на топлинната интеграция, $[h]$
τ_{COR}^C	Време за извършване на процеса донагриване на «Студения» реактор след завършване на топлинната интеграция, $[h]$
τ_{INT}	Време на процеса на топлинната интеграция в двойка «Горец-Студен» апарати, $[h]$
τ_n	Продължителността на n -тия времеви интервал, по време на който се извършва процес топлинна интеграция или автономно охлаждане или автономно нагриване, $[h]$
P_{HC}	Мощност на инсталирания рекуперативен апарат осъществяващ рекуперативен топлообмен между двата реактора, $[WK^{-1}]$
P_{HI}	Мощност на инсталирания външен нагревателен апарат осъществяващ автономно подгриване на «Студения» реактор с помощта на l -тия достъпен топлоносител, $[WK^{-1}]$
P_{CK}	Мощност на инсталирания външен хладник осъществяващ автономно охлаждане на «Гореция» реактор с помощта на k -тия достъпен хладоагент, $[WK^{-1}]$
$T_H^{(n-1)}$	Температура на «Гореция» реактор в края на $(n-1)$ -вия времеви интервал, $[K]$
$T_C^{(n-1)}$	Температура на «Студения» реактор в края на $(n-1)$ -вия времеви интервал, $[K]$
C_{HC}	Цена на инсталирания рекуперативен топлообменен апарат, осъществяващ процеса на топлинна интеграция, $[и.р.]$
C_k	Цена на инсталирания външен топлообменен апарат, осъществяващ автономно охлаждане на «Гореция» реактор чрез използване на k -тия тип хладоагент, $[и.р.]$
C_l	Цена на инсталирания външен топлообменен апарат, осъществяващ автономно нагриване на «Студения» реактор чрез използване на l -тия тип топлоносител, $[и.р.]$

5. ОПТИМАЛНО НАТОВАРВАНЕ НА СИСТЕМИТЕ ЗА РЕСУРСОПОТРЕБЛЕНИЕ ПРИ РАБОТАТА НА МХТС.

Индекси

i	Пореден номер на технология.
j	Пореден номер на стадия.
p	Пореден номер на операция.
w	Пореден номер на ресурс.
m	Пореден номер на производството, включено в производствения портфейл.
k	Номер на хармоника от разложението в ред на Фурие.
S	началото на следваща партида.

Параметри

τ_{ijp}	Времетраене на процесите за i -тото производство при провеждане на j -тия стадий на p -тата операция.
e_{ijpw}	Количество ресурс от w -тия тип необходимо за провеждане на p -тата операция от j -тия стадий при производство на i -тата технология, отнесено за единица краен продукт.
$\tau_{ij}^{0\lim}$	Допустимо време на изчакване на стадия преди прехвърляне на материала в следващия апарат.
S_{ij}	Размерен фактор за j -тия стадий на i -тата технология и дефинира работния обем необходим на j -тия стадий за производство на единица краен продукт по i -тата технология.
τ_{ip}	Времетраене на съответния процес от стадия.
e_{ipw}	Количеството ресурс от w -тия тип необходимо за провеждане на p -тата операция на стадия при производство по i -тата технология при производство на единица краен продукт.
A_{ipw}^0	Коефициенти на Фурие.
A_{ipw}^k	
B_{ipw}^k	

ВЪВЕДЕНИЕ

Многоасортиментните химико-технологични системи (МХТС), известни още като специални системи с периодични процеси, могат последователно да произвеждат малки количества множество продукти. Тези системи са често използвани за производство на много продукти с висока цена, като например фини химикали, фармацевтични продукти, козметична промишленост, производствата на реактиви, лакове, латекси, хранителни продукти и др. Най важната характеристика, която прави тези системи особено атрактивни е тяхната способност бързо да реагират на променящите се изисквания на пазара. Има примери за МХТС, където дори стотици продукти са произвеждани за даден планов период. Именно тази особеност води до трудности в тяхното управление, което най-често се състои в това да бъдат съставяни оптимални производствени разписания за работа на всеки един от апаратите. Другата характерна особеност на тези системи се състои в това, че обикновено апаратите в които се провеждат основните процеси са с периодичен начин на действие. Тази особеност довежда до нетипично натоварване на отделните системи за потребление на ресурси, такива като ел. захранване, захранване с пара, вода, изходни суровини и др. Правилното управление на тези МХТС от една страна трябва да дава възможност за изпълнение на зададен производствен портфейл за плановия период от една страна и от друга да бъдат осигурени такива условия, които да водят до допустимо натоварване определени системи за потребление на ресурси. В реалните МХТС тази задача се свежда до решаване на задачи на смесеното нелинейно програмиране с висока размерност.

Проблемът за оптималното функциониране значително се усложнява от обстоятелството, че процесите в отделните апарати са динамични във времето. Решаването на този проблем за управление на МХТС е нетривиален хибриден проблем за управление тъй като включва дискретно и непрекъснато управление.

С нарастващата глобализация във всеки сектор на икономиката, в това число и химическата промишленост, се налага функциониране на отделната производствена единица (завод), обединени в компании, така, че да осигуряват оптимално функциониране на цялата система включваща доставчици, многоасортиментни заводи, складове, разпределителни центрове и крайни потребители.

Именно поради тази причина в края на деветдесетте години бе въведена концепцията за **Ресурсно-осигурителни вериги (РОВ)**.

По своята същност РОВ се характеризира с набор от взаимосвързани стадии, които могат най-грубо да бъдат разделени на три основни секции:

1. *Осигуряване на необходимите ресурси.*
2. *Процес по изработването на продукта.*
3. *Дистрибуция.*

Решенията относно придобиването на ресурси и в следствие тяхното използване е процес, който включва три взаимосвързани нива.

1. **Стратегическо ниво на вземане на решенията разглежда:**

- *Обектите на обслужване.*
 - *Процес на вертикално и хоризонтално разширяване на мрежата.*
- 2. Тактическо планиране:**
- *Селекция на доставчиците.*
 - *Възлови пунктове при транспортирането.*
 - *Дистрибуторски центрове.*
 - *Клиенти.*
- 3. Производство:**
- *Подробно изготвяне на производствените планове и разписания.*

Разработваните в дисертационния труд проблеми се развива изключително бурно през последните години. Интересът към това ново направление е продиктуван от това, че понастоящем се наблюдава обединяване на отделни промишлени предприятия в мощни корпорации. Разбира се крайната цел на такива действия е продиктувана от стремежа за постигане на високи икономически резултати, съчетано с устойчиво развитие и предсказуемост на крайните резултати в краткосрочен и дългосрочен план. Докато в близкото минало проблемът пред управлението на дадена структура се свеждаше до постигане на максимална производителност при строга обвързаност на предприятието с определен брой крайни потребители, то в настоящия етап целта е постигане на устойчиво развитие при максимално задоволяване на променящите се изисквания на крайните потребители за цялата обединена структура с отчитане на оптималното използване на различните видове ресурси и особено тези свързани с енергийната ефективност.

Мотивацията за решаването на проблемите в РОВ идва от многоасортиментните периодични химически заводи и корпорации. При тези обекти съществува многовариантност по отношение на продуктите и по отношение на доставката на суровини при голямо разнообразие на крайни потребители. Проблемът за управлението на такива комплекси е изключително труден за решаване. Той се свежда до решаване на задачи с голяма размерност и целочисленост на управляващите променливи. На първия етап задачата се свежда до определяне на оптимални производствени портфейли, реализирани на съответните МХТС чрез съставяне на производствени разписания, осигуряващи изпълнението им при допустимо натоварване на системите за потребление на ресурси и редуциране потреблението на енергоресурси чрез използване на вътрешната енергия в системата.

Дисертационният труд е посветен на решаване на проблемите на оптималното средносрочно и краткосрочно планиране и съставяне на оптимални производствени разписания на многоасортиментни химически заводи и комплекси от тях с отчитане на качеството на ресурсите, чрез създаване на ефективни методи за управление. Друг аспект от изследванията по дисертацията са посветени на проблемите на енергийната ефективност при работата на МХТС с периодични процеси. И не на последно място се разглеждат проблемите за оптимално натоварване на системите за ресурсопотребление, такива като системи за ел. захранване, захранване с пара, вода и др. ресурси.

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема разглеждан в дисертационния труд.

Разработваните в дисертационния труд проблеми се развива изключително бурно през последните години. Свидетелство за това са многобройните теоретични разработки и съответни приложения в индустриалната практика. Интересът към това ново направление е продиктуван от това, че понастоящем се наблюдава обединяване на отделни промишлени предприятия в мощни корпорации или съгласувани действия на отделни предприятия със сходни предмети на дейност. Разбира се крайната цел на такива действия е продиктувана от стремежа за постигане на високи икономически резултати, съчетано с устойчиво развитие и предсказуемост на крайните резултати в краткосрочен и дългосрочен план. Докато в близкото минало проблемът пред управлението на дадена структура се свеждаше до постигане на максимална производителност при строга обвързаност на предприятието с определен брой крайни потребители, то в настоящия етап целта е постигане на устойчиво развитие при максимално задоволяване на променящите се изисквания на крайните потребители за цялата обединена структура с отчитане на оптималното използване на различните видове ресурси и особено тези свързани с енергийната ефективност.

Мотивацията за решаването на проблемите в Ресурсно-осигурителните вериги (РОВ) идва от многоасортиментните химико технологични системи (МХТС) с периодични процеси и корпорации, съставени от такива системи. При този клас обекти е характерно, че съществува многовариантност както по отношение на произвежданите продукти, а така също и по отношение на доставката на суровини и голямото разнообразие на крайните потребители. Проблемът за оптималното управление на такива комплекси е изключително труден за решаване, тъй като задачите се свеждат до решаване на оптимизационни задачи с голяма размерност и целочисленост на управляващите променливи. Публикационната активност свързана с решаване на проблемите на МХТС е висока и съизмерима с проблемите на РОВ. Това се дължи на обстоятелството, че този клас обекти са най-често градивни елементи на РОВ и решаването на проблемите на макро ниво неминуемо води и до необходимост от решаване на специфични проблеми на микро ниво.

Дисертационният труд е посветен на решаване на проблемите на оптималното средносрочно и краткосрочно планиране и съставяне на оптимални производствени разписания на МХТС и комплекси от тях с отчитане на качеството на потребяваните ресурси, чрез създаване на ефективни методи и на тяхна основа съвременни програмни средства. Друг аспект от изследванията по дисертацията са посветени на проблемите на енергийната ефективност при работата на МХТС с периодични процеси. И не на последно място се разглеждат проблемите за оптимално натоварване на системите за ресурсопотребление, такива като системи за ел. хранване, хранване с пара и др. ресурси.

Целта на дисертационния труд е разработването на стратегия, методи и програмни средства за оптимално използване на ресурсите при работата на заводски комплекси с периодични процеси (ЗКПП), съставени от МХТС, обединени в компании. Важното е да се отчита взаимодействието по веригата *доставчици*→ *производство*→ *разпределение*→ *дистрибуция*→ *потребители* на макро и микро ниво. В крайна сметка трябва да бъдат разработени методи и средства за оптимално натоварване на производствените мощности на отделните заводи чрез съставяне на подходящи производствени разписания. Целта е да се осъществи редуциране на енергопотреблението с използване на методи и средства, базирани на топлинната интеграция на процесите. Основният критерий за функциониране на ЗКПП е достигане на максимални икономически показатели при зададени изисквания на пазара и ограничени ресурси на потребление.

Обект на изследване са МХТС с периодични процеси, обединени в корпорации. Имайки предвид голямото разнообразие на този клас системи, то като обекти на изследване в различните части от работата се явяват по-тесен клас системи, а именно:

1. *Многоцелеви химико-технологични системи (МцХТС) с периодични процеси, които работят в режим на производствени кампании.*
2. *Многопродуктови химико-технологични системи (МпХТС) с периодични процеси.*
3. *Индивидуални химико-технологични системи с периодични процеси.*

Допуска се също така, че:

1. *Изискванията на пазара за плановия хоризонт не се променят и имат детерминистичен характер.*
2. *Цените на използваните суровини и материали и крайните продукти за времето на хоризонта на планиране не се променят.*

За постигане на поставената цел, имайки предвид казаното по-горе, а също така и изводите направен в литературния обзор, са формулирани следните задачи:

1. *Разработване на стратегия за оптимално планиране и управление на комплекси от МХТС с периодични процеси.*
2. *Разработване на методи за планиране на пет ешалонни РОВ и съставяне на производствени разписания, за работа на съставните МХТС.*
3. *Разработване на математически модели, описващи потреблението на ресурси от различен вид при работата на отделни стадии, производства и система от производства с периодични процеси.*
4. *Формулиране на критериални зависимости за оценка на потреблението на ресурси при работата на периодични производства в производствена кампания.*

5. *Разработване на метод за оптимално управление на производствени кампании с отчитане на потреблението на ресурси.*
6. *Разработване на методи за синтез и реновация на схемни решения за оптимално използване на вътрешната енергия при работа на МХТС, чрез директна топлинна интеграция на процесите.*
7. *Разработване на методи за синтез и реновация на схемни решения за оптимално използване на вътрешната енергия при работа на МХТС с периодични процеси, чрез индиректна топлинна интеграция на процесите.*
8. *Обосновка и създаване на програмни средства, реализиращи предложените методи и алгоритми за оптимално планиране и разписания за работата на отделните заводи в условията на ограничено потребление на ресурси.*

Методите за изследване, които се използват при разработване на проблемите залегнали в дисертационния труд са следните:

1. *Методи на математическо моделиране на процеси.*
2. *Методи от теорията на множествата.*
3. *Методи на теорията на разписанията.*
4. *Методи на математичното програмиране.*
5. *Методи от теорията на оптималното управление.*
6. *Методи на системния анализ.*

Научните приноси, постигнати в резултат от изследванията представени в дисертационния труд могат да бъдат формулирани както следва:

1. ***Предложена е стратегия** за решаване на проблема за оптималното оперативно управление на комплекси от МХТС, обединени в корпорации, на базата на пет ешалонни РОВ, основаваща се на декомпозиционния подход. В основата на предложената стратегия е заложена концепцията за оптимално използване на ресурсите на отделните заводи. Този подход се характеризира с използване на три стъпкова процедура за решаване на проблема за оптималното оперативно управление на пет ешалонна РОВ, съставена от ДОСТАВЧИЦИ→ЗАВОДИ→СКЛАДОВЕ→ДИСТРИБУТОРИ→ПОТРЕБИТЕЛИ. За получаване на оптималните планове за работа на отделните елементи на РОВ и оптималните производствени разписания за реализиране на получените оптимални производствени портфейли се използва итерационна процедура, водеща до последователно решаване на две оптимизационни процедури. Тези задачи са формулирани в термините на нелинейното непрекъснато програмиране. Предимството на предложения подход е в това, че могат да бъдат решавани задачи с голяма размерност, но без гаранция винаги да бъде достигнато глобалното решение.*

2. **Предложена е математическа формулировка** за решаване на проблема за оптималното функциониране на пет ешалонни РОВ при ограничено ресурсопотребление на заводите. Тази формулировка се базира на предположението, че параметрите на пазара имат детерминистичен характер за хоризонта на планиране. Използувана е стратегията, описана в т. 1 за получаване на оптималните портфейли и последващо определяне на производствените разписания на отделните заводи. Проблемът за оптималното функциониране е формулиран в термините на нелинейното математично програмиране.
3. **Предложен е метод** за едновременно определяне на оптимални производствени портфейли за работа на отделните заводи в дадена корпорация и съответните им производствени разписания в случай на работа в режим на производствени кампании.
4. **Предложени са математически модели**, описващи потреблението на ресурси при работата на основните видове периодични производства, използвани при работата на МХТС. Моделите, описващи работата на системите за потребление на ресурси се базират на редовете на Фурие и са представени в аналитичен вид.
5. **Формулирани и обосновани са критериални зависимости** за количествена оценка на качеството на потребление на ресурси при работата на група периодични производства в производствена кампания.
6. **Предложена е формулировка** на задачата за оптимално управление на производствени кампании при работата на многоцелева химико-технологична система с периодични процеси с отчитане на потреблението на ресурси.
7. **Предложена е формулировка** на задачата за съставяне на оптимално производствено разписание при критерий минимално време за изпълнение на зададена производствена програма, с отчитане на качеството на потребление на ресурсите в системата и тези необходими за подготовка и обслужване на оборудването за работа в режим на производствени кампании.
8. **Предложени са схемни решения** за осъществяване на процеса на директна топлинна интеграция в двойка периодични реактори. За всяка от схемите са дадени математични модели, описващи процеса на топлообмен.
9. На базата на предложените в т. 8 схемни решения и математически модели е **предложен метод за синтез и реновация**, който води до формулиране на задача на математичното програмиране.
10. **Предложени са схемни решения** за осъществяване на процеса на индиректна топлинна интеграция в двойка периодични реактори, чрез използване на два топлинни резервоара и обединени топлинни

резервоари. За всяка от предложените схеми са дадени математични модели, описващи процеса на топлообмен.

11. На базата на предложените в т. 10 схемни решения и математически модели, описващи процесите на топлообмен е **предложен метод за синтез и реновация**. Този метод води до формулиране на задача на математичното програмиране.
12. **Предложен е метод за реновация на МХТС** с периодични процеси, осигуряващ минимални енергийни разходи чрез топлинна интеграция на процесите.
13. Използвайки идеите за топлинна интеграция в двойка «Горещ-Студен» периодични реактори е **предложен метод за синтез на топлообменни вериги** за целите на МХТС.
14. **Предложен е метод за синтез и реновация** на гъвкави топлообменни вериги за целите на МХТС с периодични процеси.
15. **Метод за синтез** на гъвкави топлообменни вериги в случаите на множество «Горещи» и множество «Студени» реактори е предложен.
16. Разработените методи за топлинна интеграция са **успешно приложени в реални производствени системи**. Така например при производството на антибиотици е показано, че може да бъде достигната икономия на енергия до 25% в резултат на топлинната интеграция.
17. Предложен е подход при който значително може да бъде редуцирано енергопотреблението при производството на антибиотици в случаите на използването на топлинни резервоари.
18. **Предложен е метод за оптимално управление** на група топлинни-интегрирани реактори който осигурява определяне на управляващите въздействия, които водят до максималната рекуперация на енергия. Задачата за управление е формулирана до задача на нелинейното математично програмиране.

Приложимостта и полезността на постигнатите резултати в дисертацията се изразяват най-вече в следното:

1. **Направена е обосновка** за най-целесъобразния начин за реализация на предложените методи във вид на програмно осигуряване. Отчитайки спецификата на решаваните задачи, а също така и на съвременното състояние и концепции при разработване на програмни средства е използван стандарта CAPE-OPEN (<http://www.colan.org>) в частта му за планиране и разписания и съблюдаване на принципите за изграждане на интерфейса с възможност за комуникация с други програмни средства.
2. **Разработена е софтуерна платформа “Supply chain”** и изчислителни модули със съответен интерфейс за решаване на задачата за оптимално планиране на пет ешалонни РОВ чрез използване на декомпозиционния подход. Използвани са средствата на езика **MATLAB R2006a**.

3. *Разработена е модификация на софтуерната платформа “Supply chain” и съответни изчислителни модули за решаване на задачата за оптимално планиране и съставяне на оптимални производствени разписания при работа на отделните заводи в режим на производствени кампании, чрез използване на композиционния подход. Използвани са средствата на езика **MATLAB R2006a**.*
4. *Разработени са изчислителни модули за решаване на задачите за оптимално управление на производствени кампании с отчитане на потреблението на ресурси чрез използване на разработения метод. Тези модули са включени в софтуерната система “ECAM”.*
5. *Модифицираните платформи “Supply chain” и “ECAM” са обединени в обща интегрирана софтуерна платформа “SC-ECAM” с помощта на която се реализира предложената в дисертационния труд стратегия за оптимално планиране и разписания на многоцелеви комплекси.*
6. *Разработената софтуерна платформа “Supply chain” е модифицирана с цел създаване на условия за решаване на задачите за съставяне на оптимални производствени портфейли и последващо определяне на производствени разписания от типа “Job shop scheduling” с помощта на пакета “MOPP”. Тези два пакета са обединени в обща програмна система “SC-MOPP”, чрез обмяната на данни в “XML” формат.*
7. *Разработени са изчислителни модули за решаване на формулираните задачи и е организиран адаптивен изчислителен алгоритъм за решаване на задачите на математичното програмиране с използване на методи в средата на **MATLAB R2006a** и разработени от дисертанта модули.*

Апробацията на разработените методи и подходи е извършена, чрез решаване на редица примери, които са близки до реалната практика. В дисертационния труд са показани 7 задачи покриващи всички методи разработени от автора.

Публикациите, които са публикувани в специализирани международни списания с Импакт фактор основно разглеждат различни аспекти на предлаганите методи. В началото на всяка глава са цитирани авторските публикации, върху които е написана.

Дисертационният труд е изложен на 396 печатни страници и съдържа 154 фигури и 51 таблици. Цитирани са 569 литературни източника, от които 13 на кирилица и 556 на латиница. Материалът е разположен в 7 глави в които са разгледани подробно отделните аспекти на проблема за оптималното използване на ресурсите при работата на заводски комплекси с периодични процеси.

1. ИЗВОДИ ОТ ЛИТЕРАТУРНИЯ ОБЗОР.

От направения литературен обзор става ясно, че проблемите на оптималното управление на многоасортиментните периодични заводи и комплекси от тях могат да бъдат решавани ефективно, когато се разглеждат в контекста на взаимовръзките по веригата от доставчика на суровини, транспорта, производството на продуктите, тяхното складиране, дистрибуцията и доставка на потребителя. Това предполага решаване на взаимно свързани задачи на различните нива, които като цяло осигуряват оптималното функциониране на производствените комплекси като цяло.

В повечето известни работи, обаче, основно се дискутира проблема с оптималните разписания на работа на заводите при зададен производствен портфейл, без да се отчитат особеностите на пазара.

На практика остава открит въпросът за решаване на проблемите по отношение на създаване на ефективни методи за определяне на производствени портфейли за всеки един от заводите в дадена корпорация, съставена от множество многоасортиментни химически заводи при отчитане на техните особености на функциониране.

Настоящата дисертация има за цел решаване на част от нерешените проблеми, които могат да бъдат формулирани така:

1. *Решаване на проблемите свързани с определяне на производствени портфейли и производствените разписания, които могат да ги реализират на отделните заводи с отчитане на потреблението на ресурсите и детерминистичен характер на изискванията на пазара.*
2. *Друг важен аспект на нерешените проблеми е създаване на методи за оценка на потреблението на различни видове ресурси при работа на заводите с периодични процеси, водещи до оптимално натоварване на системите за потребление на ресурси.*
3. *Използуване на средства и схеми осъществяващи максимално използване на вътрешната енергия в системата, чрез топлинна интеграция на процесите.*

Нерешен е въпросът за създаване на подходящи математични критерии за оценка на енергийната ефективност и ефективни методи за определяне на условията, водещи до оптимално натоварване на енергосистемите.

От направения литературен обзор е ясно, че един от начините за минимизиране на потреблението на енерго ресурси е чрез топлинната интеграция на процесите. За да се осъществи обаче това е необходимо да се изготвят подходящи разписания даващи възможност за интегриране на максимално количество топлина чрез подходящи схеми.

На практика е открит въпросът за решаване на проблемите по отношение на енергийната ефективност при многопродуктовите и многоцелевите ХТС.

От направения кратък преглед се вижда, че в литературата са известни работи решавачи проблема с проектирането на МХТС без да се разглеждат въпросите за икономия на енергия. Също така съществуват работи, решавачи отделно задачата за икономия на енергия, чрез топлинна интеграция на процесите и синтез на топлообменни вериги към съществуващи МХТС.

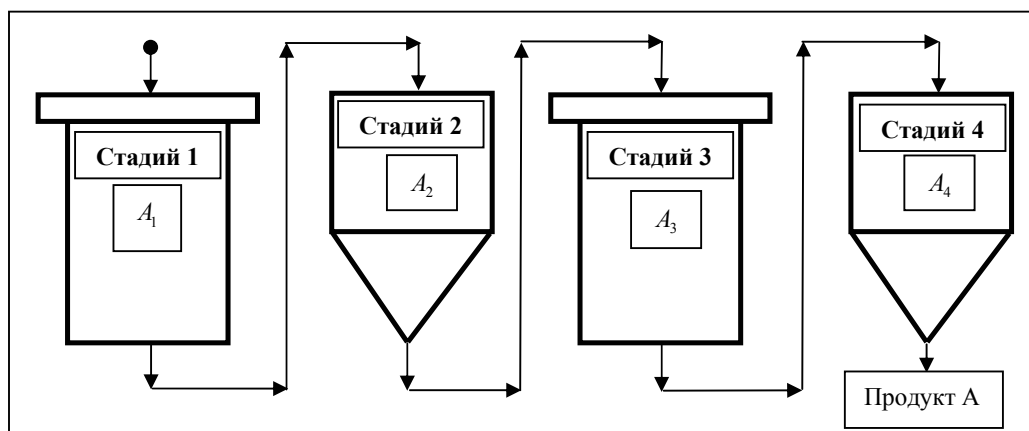
2. ХАРАКТЕРИСТИКИ НА ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧНИТЕ СИСТЕМИ С ПЕРИОДИЧНИ ПРОЦЕСИ [1], [5], [14].

2.1. Характеристики на производствените линии с периодични процеси.

Периодичните химически в т.ч. и биохимически системи може да бъдат използвани както за производството на единични продукти така и на множество от такива. В повечето индустриални случаи периодичното производство включва повече от един технологичен стадий, които обединяват множество технологични операции. На Фиг.2.1. е показано периодично производство състоящо се от 4 технологични стадии.

Технологичният стадий се отнася до производствения процес и е елемент на технологията на даден продукт, докато апаратурната единица се отнася до физическото

устройство използвано за неговото реализиране. Технологията за производство на даден продукт се нарича още производствена рецепта.

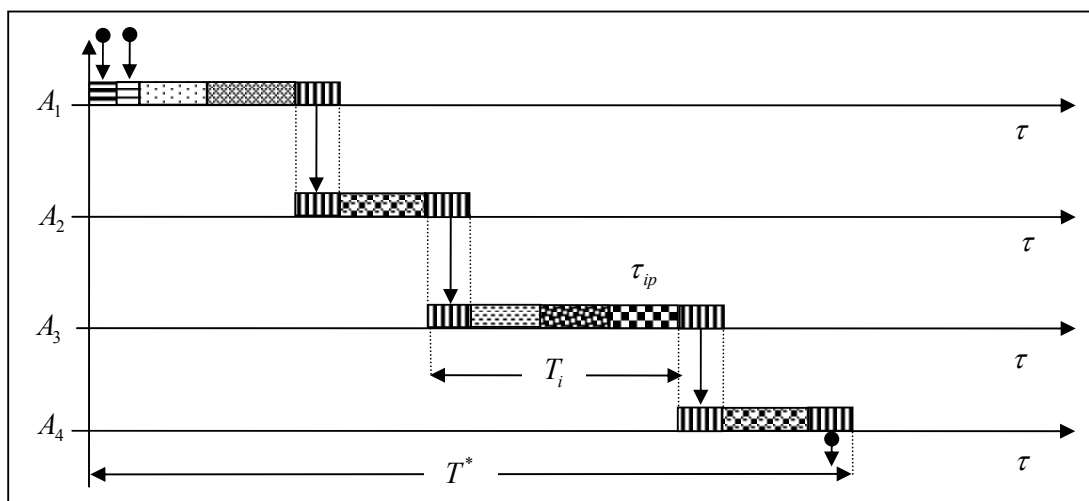


Фиг.2.1. Принципна схема на линия с периодично действие.

Поради универсалността на оборудването в многоасортиментните периодични химически системи реализирането на отделните производствени рецепти в тях се характеризира с наличието на процесно/апаратурна нееднозначност. Това означава, че даден технологичен апарат може да бъде използван за осъществяването на множество технологични стадии при производството на един или няколко различни продукти, а така също даден технологичен стадий може да бъде реализиран в множество апарати в системата.

Групата от технологични апарати използвани при производството на даден продукт се нарича технологичен път или маршрут на продукта в технологичната системата. Производството на един продукт в зависимост от броя на възможните технологични пътища може да бъде едномаршрутно или многомаршрутно. Всеки технологичен път обикновено включва различни по размер апарати за реализиране на технологичните стадии. Следователно, количеството целеви продукт полученото при реализиране на технологиите по различните технологични маршрути е различно.

2.1.1. Диаграма на Гант за представяне работата на периодични линии във времето.



Фиг.2.2. Диаграма на Гант за работа на линия с периодично действие.

2.1.2 Размерен фактор.

Периодичният характер на процесите, процесно/апаратурната нееднозначност и използването преимуществено на обмен тип оборудване са наложили, за целите на

моделирането на този клас обекти, материалният баланс за всяка технология да се представя постадийно, с помощта на т.н. “размерен фактор”.

Размерният фактор на стадия s_{ij} се дефинира като сумата от обемите на суровините и/или междинните продукти, участващи в процеса на преработка в някой j -ти стадий и допълнителния реакционен обем необходим за провеждането му, при производството на продукта i и осигуряващи получаването на единица маса краен продукт:

$$s_{ij} = \text{MAX}_{p \in P_j} \{v_{ijp}\} + v_{ij}^0 \left[m^3 / kg \right], \quad (2.1)$$

където P_j е множеството от участващите операции, включени в стадия, v_{ijk} са необходимите обеми за получаване на единица целеви продукт при работа на p -тата операция, а $v_{ij}^0 = \text{MAX}_{p \in P_j} \{v_{ijp}^a\}$ е реакционният допълнителен обем необходим за провеждане на j -тия стадий, където v_{ijp}^a е допълнителния обем, необходим за провеждане на p -тата операция, принадлежащ на j -тия стадий, отнесено за i -тото производство.

2.1.3. Партида.

Партида се нарича количеството целеви продукт получено в резултат от работата по някой технологичен маршрут на многопродуктова или многоцелева ХТС в резултат на едно зареждане със суровини и материали. Партидата се определя като:

$$B_{in} = \text{MIN}_{j \in J_i} \left\{ \frac{V_{ijn}}{s_{ij}} \right\}, \left[kg \right], \quad (2.2)$$

където V_{ijn} е работният обем на апаратурната единица използвана за реализиране на l -тия стадий в n -тия технологичен маршрут на i -тото производство, а J_i е броят на стадията на i -тото производство. Стадият при който в (2.2) се достига $\text{MIN}_{j \in J_i} \left\{ \frac{V_{ijn}}{s_{ij}} \right\}$ се бележи с m и се

нарича лимитиращ стадий по размера на партидата.

В реалната ситуация, обаче използваният обем за всеки един от апаратите е в границите $(V_{ijn}^{MIN}, V_{ijn}^{MAX})$. Поради тази причина и размерът на партидата също е в определени граници $(B_{in}^{MIN}, B_{in}^{MAX})$. Тези гранични значения за размера на партидата се определя от условието за минималния размер на партидата:

$$B_{in}^{MIN} = \text{MAX}_{j \in J_i} \left\{ \frac{V_{ijn}^{MIN}}{s_{ij}} \right\} \quad (2.3)$$

при изпълнение на системата ограничения:

$$V_{ijn}^{MAX} \geq B_{in}^{MIN} s_{ij}, \quad \forall j \in J_i. \quad (2.4)$$

Съответно възможният максимален размер на партидата се определя от условието:

$$B_{in}^{MAX} = \text{MIN}_{j \in J_i} \left\{ \frac{V_{ijn}^{MAX}}{s_{ij}} \right\} \quad (2.5)$$

при изпълнение на системата от ограничения:

$$V_{ijn}^{MIN} \leq B_{in}^{MAX} s_{ij}, \quad \forall j \in J_i. \quad (2.6)$$

При определени граници на размера на партидата за всяко едно от производствата, то дадената производствена линия може да работи при различно натоварване, като и останалите параметри също ще зависят от конкретната им стойност и ще бъде в границите,

$$B_{in}^{MIN} \leq B_{in} \leq B_{in}^{MAX}, \quad \forall i \in I,$$

където I е броят на производствата, които могат да бъдат произвеждани в дадената МХТС.

2.1.4. Производствено време.

Производственото време на даден технологичен стадий j се определя като сума от продължителността τ_{ijp} на отделните технологични операции в него и времето за прехвърляне на съдържимото в следващия апарат за провеждане на съответния стадий:

$$T_{ijn} = \sum_{p \in P_{ij}} \tau_{ijp} + \tau_{i,(j,j+1),n}, \quad \forall n \in N_i, \forall j \in J_i, \quad (2.7)$$

където $\tau_{i,(j,j+1),n}$ е времето за прехвърляне на съдържимото от реактора в който се провежда j -тия стадий в следващия апарат за провеждане на следващия стадий, а τ_{ijp} е времето за провеждане на p -тата операция, когато се работи по n -тия технологичен маршрут. Времето за прехвърляне е функция от обема на материала, който се прехвърля $\tau_{i,(j,j+1),n} = f(s_{ij} B_{in})$.

Времето за изпълнение на дадена технологична операция се разглежда, или като константна величина, или като функция от размера на партидата. На практика продължителността на технологичните операции се определи по експериментален път или се изчислява на базата на общоизвестните закони на топлообмена или химичната кинетика.

Най често за пределяне на времето на операцията се използва прост евристичен модел, който за общия случай за някоя p -та операция в j -тия стадий на технология i реализирана чрез n -тия технологичен маршрут има вида:

$$\tau_{ijp} = \tau_{0in} + \alpha B_{in}^{\beta}, \quad (2.8)$$

където τ_{0in} е постоянен член; α и β са константи, чиято стойност зависи от вида на технологичната операция. Практически е установено, че уравнение (2.8) доста добре апроксимира времето за изпълнение на отделните технологични операции. В него, единствения и доминиращ параметър е размерът на партидата. Кинетичните, физико-химични и апаратурни данни са осреднени и включени в константите, които от своя страна лесно могат да бъдат определени чрез статистическа обработка на резултати получени от пилотни инсталации. Това уравнение добре апроксимира продължителността за изпълнение на основни технологични операции в голям брой от практическите случаи.

2.1.5 Време на пребиваване.

Времето необходимо за производството на една партида от даден продукт се нарича *време на пребиваване (Residence Time) TR_{ij}* . По същество времето на пребиваване представлява времето необходимо за преминаване на изходните суровини и трансформацията им до целевия продукт i по даден технологичен маршрут n .

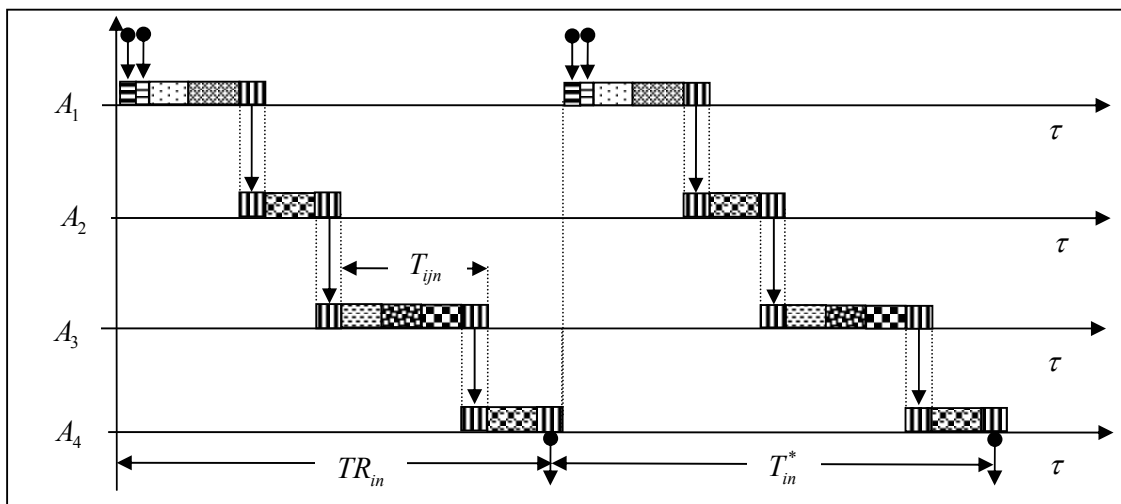
2.1.6 Време за цикъл.

Друга важна характеристика на периодичните производства е *времето за цикъл T_{in}^** . Това е времето необходимо за получаване на две последователни партии от продукта i по някой технологичен маршрут n .

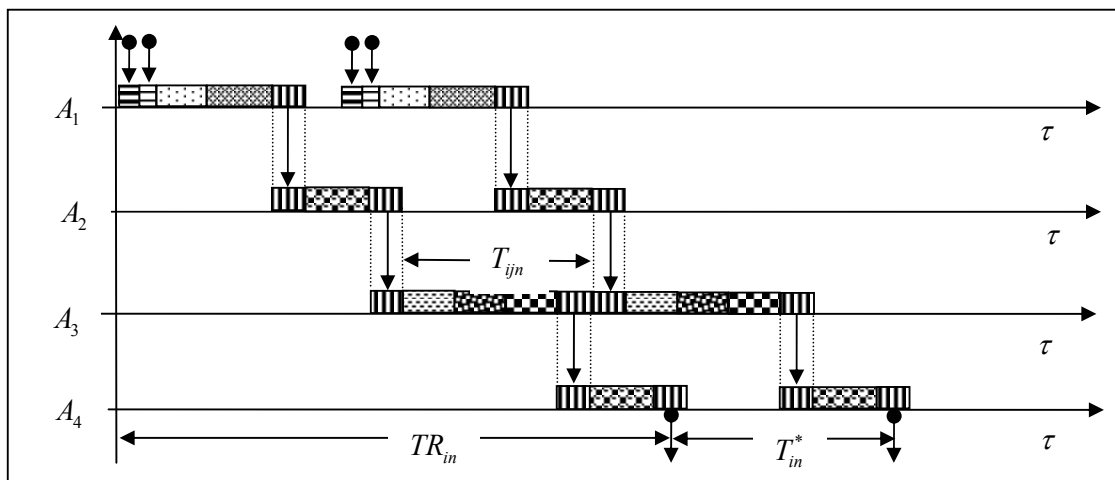
Времето за цикъл се определя от избрания начин на работа на периодичния завод. Най-разпространени са две организации на работа – без покриване на циклите и с покриване на циклите. На Фиг.2.4. и Фиг.2.5. са показани времевите графици, известни като картите на Гант, за двете организации на работа при реализиране на производство състоящо се от 4 периодични стадия $S1, S2, S3, S4$, провеждани съответно в апаратите A_1, A_2, A_3, A_4 .

При организацията на работа без покриване на циклите (Фиг.2.3.) времето за пребиваване и времето за цикъл съвпадат, докато при организацията с покриване на циклите (Фиг.2.4.) то се определя от продължителността на стадия j с най-голямото производствено време, прието да се нарича лимитиращо време:

$$T_{in}^* = \text{MAX}_{j \in J_i} \{ T_{ijn} \}. \quad (2.9)$$



Фиг.2.3. Организация на процесите без покриване на циклите.



Фиг.2.4. Организация на процесите с покриване на циклите.

2.1.7. Производителност.

Друга важна характеристика на периодичните производства е *производителността*. За разлика от непрекъснатите производства, където тя се дефинира като количеството продукт произведен за единица време, то при периодичните производства тя не може да бъде дефинирана пряко. Ако Q_{in} е количество произведен целеви продукт по някой технологичен маршрут в определен времеви интервал H , то:

$$Q_{in} = n_{in} B_{in} \quad (2.10)$$

където, а n_{in} е броят на произведените партии в разглеждания времеви интервал

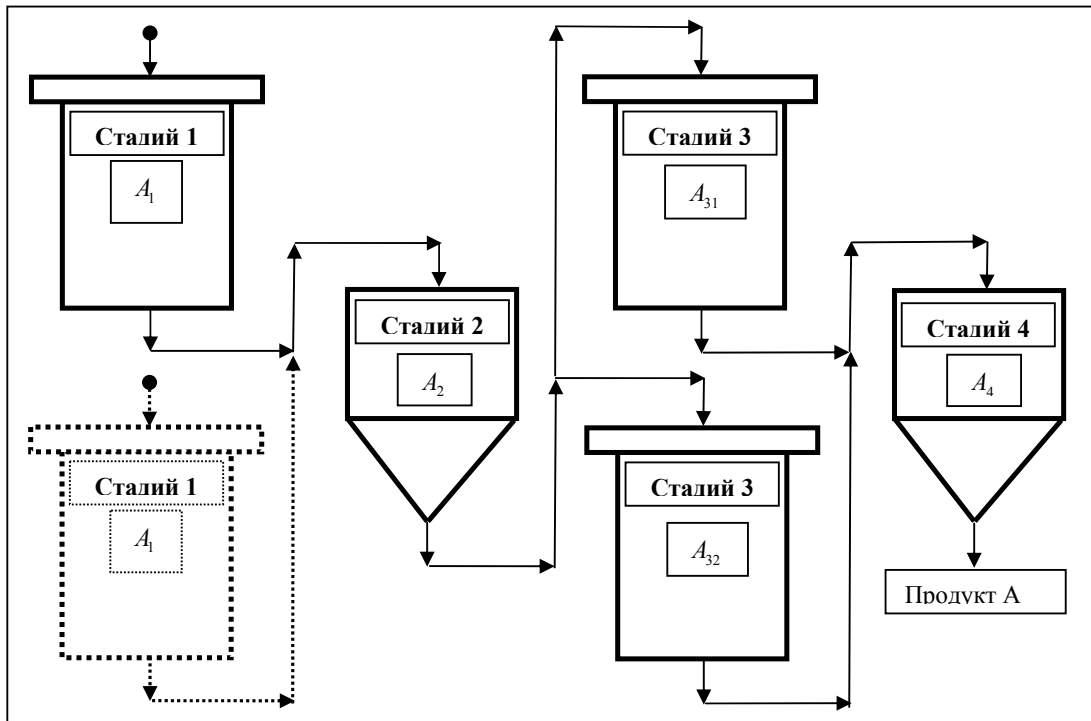
определени както следва: $n_{in} = \left\lfloor \frac{H}{T_{in}^*} \right\rfloor$, то производителността се определя:

$$G_{in} = \frac{B_{in}}{T_{in}^*} \quad (2.11)$$

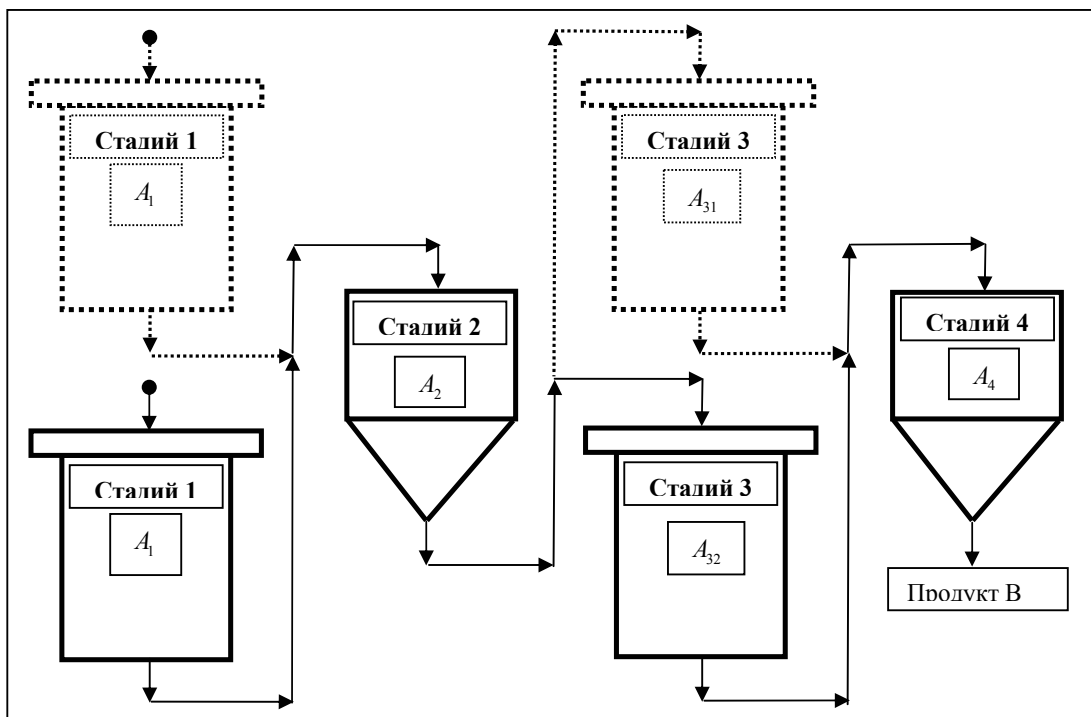
Следователно, времето за цикъл и размерът на партидата са основните параметри, от които зависи производителността на периодичните прои.

2.2. Многопродуктови химико-технологични системи с периодични процеси.

При *многопродуктовите системи* производството на всеки продукт минава през апаратури единици на дадена конфигурация с постоянни връзки между апаратите. На тази конфигурация могат да бъдат произвеждани различни продукти, но в различни времеви интервали, като в даден момент от време се произвежда само един продукт на тази конфигурация, която се нарича МпХТС. На Фиг.2.5. и Фиг.2.6. условно е показана производствената последователност за такъв тип система.

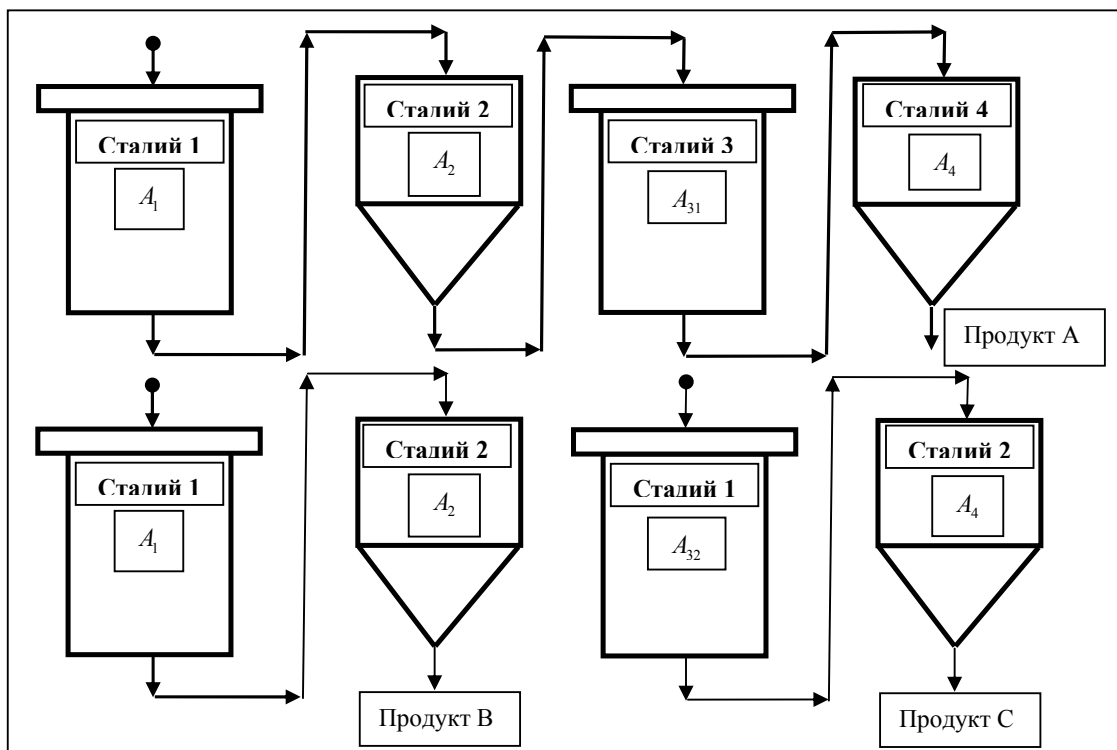


Фиг.2.5. Работа на МпХТС в даден времеви интервал.

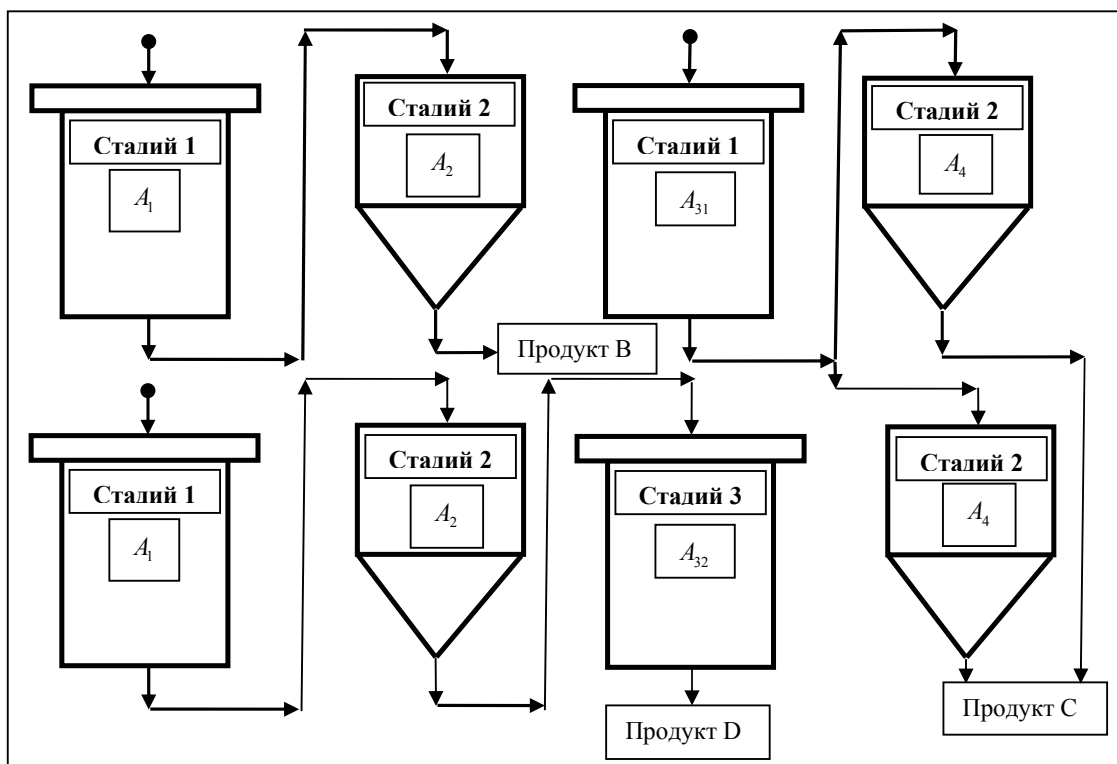


Фиг.2.6. Работа на МпХТС в друг времеви интервал.

2.3. Многоцелеви химико-технологични системи с периодични процеси.



Фиг.2.7. Работа на МцХТС в даден времеви интервал при производство на продукти (А,В,С).



Фиг.2.8. Работа на МцХТС в друг времеви интервал при производство на продукти (В,С,Д).

За разлика от *многопродуктовите* при *многоцелевите системи* в различните времеви интервали конфигурацията на системата се мени. Това се определя от факта, че за производството на различните продукти се ползват различни апаратурни последователности през отделните периоди Фиг.2.7. и Фиг.2.8.

Многоцелевата система позволява съвместно производство на различни групи от продукти, например А, В, С през първата седмица и В, С, D през втората. *Групата от съвместно произведените продукти в даден времеви интервал се нарича кампания*, която е с определена продължителност през който системата работи в определена конфигурация.

Често, в реалните многоасортиментни системи организацията на производствената последователност е комбинация от многопродуктови и многоцелеви. Разграничаването на тези два класа системи е изключително важно защото от тях се определят подходите използвани за тяхната оптимизация, както в задачите за оптимални разписания.

3. ОПТИМАЛНО ИЗПОЛЗУВАНЕ НА РЕСУРСИТЕ ПРИ РАБОТАТА НА МХТС В СЪСТАВА НА РОВ [5], [14], [23], [25], [26], [30], [34], [35].

3.1. Обща характеристика на РОВ включващи МХТС с периодични процеси.

Ресурсно осигурителните вериги (РОВ) в инженерната химия имат широко приложение. Това се налага от обстоятелството от все по-нарастващите изисквания на пазара от една страна, както и необходимостта от адекватен и бърз отговор на производителите от друга. Поради тази причина в края на деветдесетте години на миналия век бе въведена концепцията за РОВ, дефинирани като процес на координация между съставните и елементи (Фиг.3.1.):

1. *Доставчици.*
2. *Производители.*
3. *Складове.*
4. *Дистрибутори.*
5. *Потребители*

Задачите, които се решават при РОВ се класифицират на три основни типа:

1. *Анализ и изготвянето на гъвкави модели, описващи процесите във веригата.*
2. *Изготвяне на оптимални производствени планове и разписания.*
3. *Приложение на изготвените планове и разписание в практиката.*

За големите компании от съществено значение е изграждането на такива вериги, при които целта е достигането на гъвкавост по отношение натоварването на системите за ресурсо потребление, които могат да бъдат финансови или материални потоци и същевременно с това се цели достигане на максимална гъвкавост в процеса на производство.

3.1.1. Особенности на комплексите от МХТС като обекти за управление.

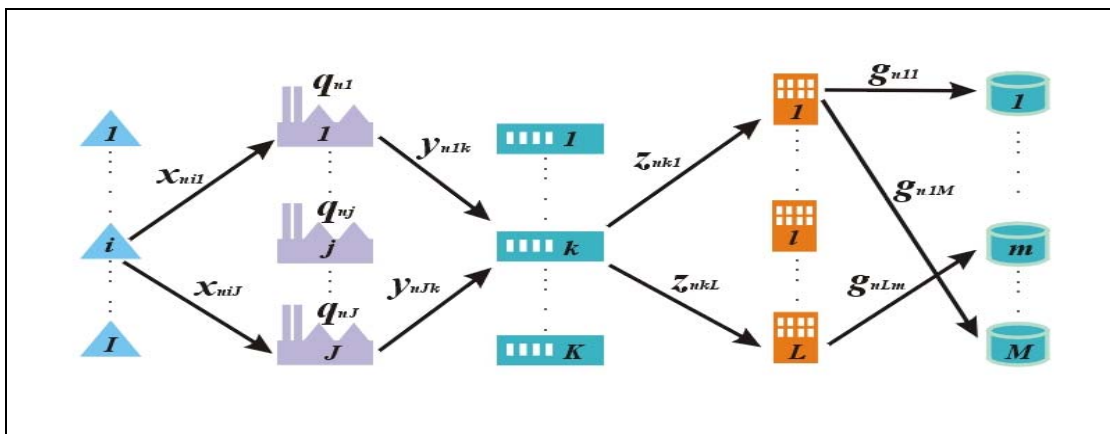
На Фиг.3.1. е показана схема на взаимодействие по веригата изходни суровини-крайни потребители за една компания, включваща множество МХТС. Различното географско разположение се отнася за всеки един от елементите на веригата.

Особеностите на показаната схема на взаимодействие при наличие в системата на МХТС като производствени единици, са следните:

1. *Даден продукт може да бъде произведен в много от МХТС.*
2. *Във всяка МХТС могат да бъдат произведени множество продукти.*
3. *Изходните суровини могат да бъдат доставени от различни снабдителни пунктове до дадена МХТС.*
4. *Произведените продукти в МХТС могат да бъдат складиращи в определени складове на компанията.*
5. *Разпределителните центрове могат да се снабдяват с продукти от определени складове на РОВ.*
6. *Продуктите могат да бъдат доставени до крайните потребители от определени разпределителни центрове на компанията.*

При тази схема на взаимодействие се предполага, че за даден планов период са известни минималните и максималните изисквания на потребителите по количество и номенклатура за продуктите.

От гореизброените особености на функциониране на комплекса, по схемата от Фиг.3.1. се вижда, че могат да съществуват множество варианти на решения.



Фиг.3.1. Схема на пет ешалонна РОВ.

3.1.2. Етапи за намиране на оптималното функциониране на РОВ.

Основната цел на РОВ е интегрирането на доставчиците и клиентите така, че те да бъдат в координация помежду си с цел достигане на оптимални икономически показатели за цялата компания, задоволявайки крайните потребители.

Процесът на макро ниво се свежда до определяне на координация между съставните елементи на веригата показана на Фиг.3.1. с цел достигане на оптимални показатели на функциониране според зададения критерий или група от критерии. Процесът на микро ниво се свежда до съставяне на разписания за всеки от заводите, осигуряващи изпълнение на производствените портфейли с отчитане на ограниченията, наложени при потреблението на различни ресурси.

Достигането на тези цели се постига чрез решаване на следните подзадачи.

Първият етап се основава на предварително проучване на изискванията на пазара. На този етап се определят изискванията на всеки един от потребителите за плановия хоризонт. Тези параметри включват минимални и максимални количества за всеки от потребителите, а също така и номенклатурата на продуктите.

Вторият етап е свързан с определяне на:

1. *Оптималните производствени портфейли за всеки завод.*
2. *Оптимална схема на доставките на суровини за всеки завод.*
3. *Оптимална схема на зареждане на складовете по продукти.*
4. *Оптимална схема на обслужване на дистрибуторите.*
5. *Оптимална схема на зареждане на потребителите.*

Третият етап е свързан с определяне на производствените разписания на ниво МХТС при производствени портфейли, получени на **втория етап** при съответни критерии за оптималност на функциониране.

Задачите за намиране на оптималните производствени портфейли на заводите и едновременно определяне на производствените разписания за работата им се формулират като задача с общ критерий (най-често това е нетната печалба на РОВ). Този подход дава възможност за намиране на оптималното решение в една стъпка, което е за предпочитане. Разбира се този подход, наричан по-долу като **композиционен** води до формулиране на задачи с висока размерност, за които много от реалните ситуации не могат да бъдат решени с използване на съществуващите методи и програмни средства.

За избягване на недостатъците на **«Композиционния подход»** задачите за **«Втория»** и **«Третия»** етап могат да бъдат решавани разделно чрез използване на т. нар. **«декомпозиционен»** подход. С използване на този подход задачата се решава на две последователни стъпки, а достигането на оптималното решение се извършва чрез итерационна процедура. Това се налага поради факта, че задачата е с голяма размерност и практически е нерешима чрез използване на **композиционен** подход за по-общите случаи. От своя страна **«декомпозиционният»** подход има този недостатък, че достигането на глобален оптимум не може да бъде гарантирано. Трябва да се има предвид, че при задачи с

висок размерност за приемливо се счита и достигането на квази оптималното решение без да се стремим към достигането на глобалното решение.

3.2. Композиционен подход за оптимално планиране и съставяне на производствени разписания при работата на РОВ, съставяни от МХТС [30], [35], [43].

Разглеждаме 5-ещелонна РОВ, показана на Фиг.3.1. Тя е съставена от множества доставчици на суровини, многопродуктови заводи, разпределителни и дистрибуторски центрове и крайни потребители. Многопродуктовите заводи като елементи на РОВ могат да произвеждат множество продукти едновременно в един и същ времеви интервал.

Особеностите на показаната схема на взаимодействие при наличие в системата на МХТС, като производствени единици са следните:

- 1. Даден продукт може да бъде произведен на много от МХТС.*
- 2. Във всеки един от МХТС могат да бъдат произвеждани множество продукти.*
- 3. Всяка една от изходните суровини може да бъде доставена от различни пунктове за доставка до дадена МХТС.*
- 4. Всеки един от произведените продукти в дадена МХТС може да бъде складиран в множество от достъпните складове на компанията.*
- 5. Всеки един от продуктите може да бъде доставен до някой от крайните потребители, ако той се намира в даден склад на компанията.*

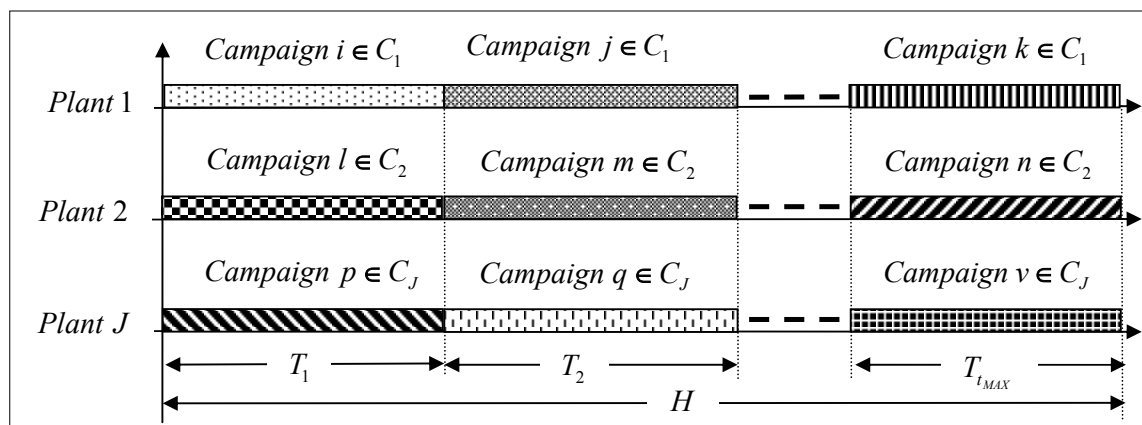
При тази схема на взаимодействие се предполага, че за даден планов период са известни изискванията на потребителите за всеки един от продуктите.

От горе изброените особености на функциониране на корпорация, по схемата, показана на Фиг.3.1. е видно, че съществуват множество варианти на решения.

Поради наличието на универсални апарати, един и същ продукт може да бъде произвеждан по множество варианти с използване на различни физически апарати, а всеки един от възможните варианти може да има различна производителност. Предполага се още, че заводите включени в РОВ са близки по възможности по отношение на номенклатурата на продуктите. Обикновено един от начините на функционирането на този тип заводи е свързан с последователно изпълняващи се производствени кампании, по време на всяка от които се произвеждат определени продукти на едни и същи апарати. Поради многовариантността за производство на всеки един от продуктите съществуват множество производствени кампании отличаващи се една от друга по номенклатура и производителност по отделните продукти. За целите на решаване на задачата за оптимално управление на РОВ могат да бъдат определени обобщени параметри на възможните производствени кампании, като множество от продуктите произвеждани при всяка една от тях и максималната производителност по всеки продукт. Предмет на разглеждане при работата на РОВ във времеви хоризонт ще бъдат само тези производствени кампании които са максимално независими. Това означава, че една кампания е такава, ако в нея са включени такова множество от продукти, които не са част от множеството на коя да е друга кампания, а също така производителността на поне едно производство е по-голяма от съответното в друга кампания. Предполагаме, че предварително множеството производствени кампании е редуцирано до множество максимално независими такива и това се отнася за всеки един от заводите. От своя страна множеството от така разгледаните максимално независими кампании в най-общия случай също е редуцирана, като са отхвърлени тези кампании които не отговарят на условието за допустимост на натоварване на общите системи за ресурсопотребление. Във всеки един от времеви интервали произвежданите продукти по заводи се предават във възможните обединени складове в пропорции, които подлежат на определяне. По същия начин се осъществява комуникацията между обединените складове и дистрибуторите и накрая между дистрибуторите и потребителите.

При така описания начин на функциониране на 5-ещалонната РОВ задачата за управление се свежда до това да бъдат определени параметрите за работа за всеки един от определените времеви интервали, включващо избор на работна кампания сред множеството допустими максимално независими за всеки един от заводите на РОВ, производителността

по всеки продукт включен в кампанията, продължителността на времевите интервали (в рамките на предварително зададени граници), а също така и оптималните пропорции за предаване на продуктите по веригата.



Фиг.3.2. Кампаниен начин на организация за работа на РОВ.

Подлежащите за определяне неизвестни параметри трябва да бъдат такива, че да осигуряват оптималност на критерия за оценка, който в случая е максимална печалба при работата на РОВ за времеви хоризонт на планиране.

Целта е да се предложи метод за едновременно определяне на начина за оптимално функциониране на РОВ, като система и същевременно определяне на оптималните производствени разписания за работа на заводите, включени в РОВ, които осигуряват допустимо натоварване на системите за ресурсопотребление. При това се предполага, че заводите работят в кампаниен режим, критерият за оценка е максимална печалба от работата на РОВ като система.

Както бе отбелязано по-горе, разглежда се 5-ешелонна РОВ. Основните параметри, които трябва да бъдат определени и данните необходими за тяхното определяне са илюстрирани на Фиг.3.1. и Фиг.3.2.

3.3. Декомпозиционен подход за оптимално планиране и съставяне на производствени разписания при работата на РОВ, съставяни от МХТС [23], [24], [26].

В [26] *B. Ivanov, K. Mintchev (2007)* разглеждат проблема за оптимално управление на РОВ при зададен времеви интервал и при фиксирани параметри на веригата по отношение на пазарните изисквания при крайните потребители и ценовите параметри на суровини, крайни продукти, транспортни разходи и разходи за поддръжка на РОВ. В тази работа не се разглежда проблема за намиране на производственото разписание, гарантиращо изпълнение на получените производствени портфейли. Предполага се, че в случай на невъзможност на изпълнение на производствения портфейл се извършва повторно решение на задачата за определянето им при променени ограничения. Разбира се такъв подход има своите недостатъци по отношение гарантирането на сходимостта на итерационния процес.

Поради наличие на многоцелеви заводи в РОВ, в общия случай, не е възможно достигане на решение без да бъдат проведени стъпки на последователно решение. Използването на декомпозиционния подход води до редуциране на задачата до последователно решаване на няколко задачи с по-малка размерност. Този подход може да се сведе до по-долу описания алгоритъм:

STEP 1. Определяне на производствения портфейл на РОВ, отчитайки изискванията на крайните потребители за хоризонта на планиране и възможностите на системата като цяло.

STEP 2. Определяне на прогнозните нива за производство на всеки продукт от листата при крайните потребители (минимални и максимални количества).

STEP 3. Определяне за всеки един от заводите в РОВ:

1. Множествата от продукти, които по принцип могат да бъдат произвеждани с отчитане на връзките по веригата на РОВ.
2. Множествата от максимално независимите производствени кампании (тези които осигуряват едновременно производство на група продукти, чрез използване на различни физически апарати).
3. За всяка кампания от множеството максимално-независими кампании се определят условията, гарантиращи оптимално натоварване на системите за ресурсопотребление такива като (ел.енергия, пара, вода и др.). Това включва оптималност по даден приоритетно избран ресурс с гарантирани ограничения по параметрите (средно ниво на потребление и степен на колебателност) по останалите ресурси.
4. Определяне на производителността по всеки продукт във всяка от кампаниите при параметри осигуряващи качеството на ресурсопотребление по всеки от наблюдаваните ресурси.
5. Отхвърляне на тези производствени кампании, които не отговарят на условията за допустимост на натоварването по определен ресурс.
6. От редуцираното множество кампании определяне на средната сумарна мощност на заводите, която се използва като ограничение при решаване на задачата за планиране на РОВ.

STEP 4. Определяне оптималните планове за работата на РОВ, което включва:

1. Оптимални производствени портфейли за всеки един от заводите.
2. Оптимално разпределение на всеки продукт по елементите на РОВ от доставчиците до крайните потребители.

STEP 5. Определяне на оптималните производствени разписания за всеки от заводите за получените в STEP 4 производствени портфейли с използване редуцираното множество производствени кампании, получени в STEP 3.6.

STEP 6. В случай, когато е намерено допустимо разписание за всеки един от заводите (осигуряващо изпълнение на производствения портфейл за хоризонта на планиране), то се счита, че е намерено оптималното решение. В случаите, когато за някой от заводите не е намерено допустимо решение във вид на разписание, то се преминава в STEP 7.

STEP 7. Редуцира се определеното ниво за общата производителност в посока към намаление за тези заводи, за които не може да бъде намерено допустимо разписание, гарантиращо изпълнение на оптималните производствени портфейли. Преминава се към решаване на задачата за намиране на оптимални производствени портфейли в STEP 4.

4. ОПТИМАЛНО ИЗПОЛЗВАНЕ НА РЕСУРСИТЕ ПРИ РАБОТАТА НА МХТС ЧРЕЗ ТОПЛИННА ИНТЕГРАЦИЯ НА ПРОЦЕСИТЕ

[\[3\], \[4\], \[6\], \[7\], \[9\], \[10\], \[11\], \[12\], \[15\], \[17\], \[21\], \[29\], \[33\], \[36\], \[37\], \[38\], \[39\].](#)

4.1. Топлинна интеграция, в двойка «Горещ-Студен» апарати с последваща корекция, чрез използване на външни системи.

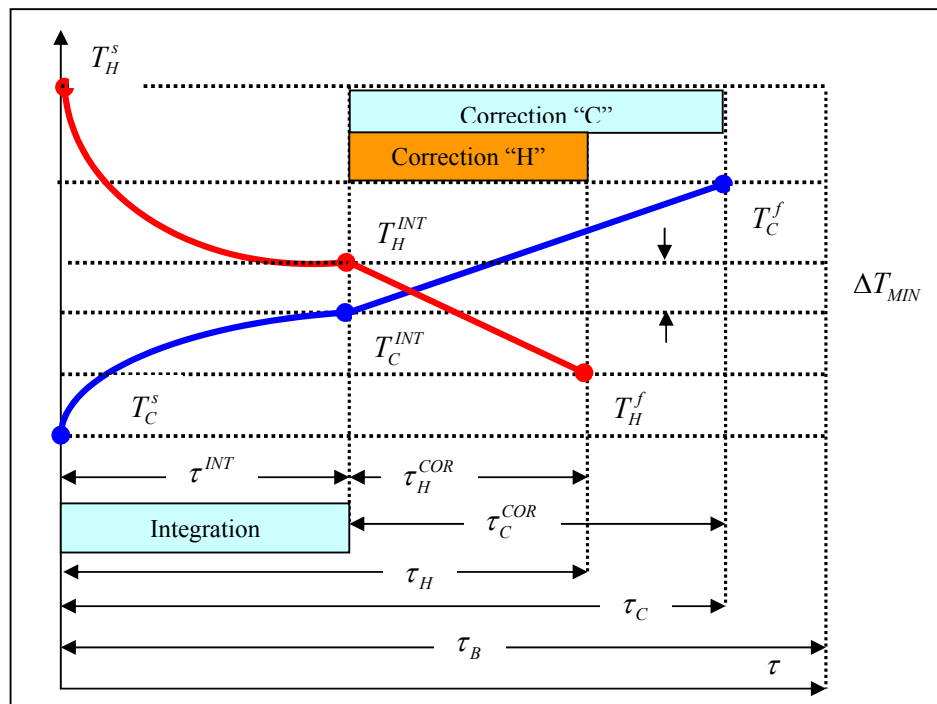
Разглежда се двойка периодични апарати единият от които трябва да бъде охладен от начална температура T_H^S до крайна температура T_H^f като за кратност този апарат се нарича

«Г» и друг апарат който трябва да бъде нагрят от начална температура T_C^S до крайна температура T_C^f , който се нарича «С». Задачата за синтез и реновация чрез топлинна интеграция на такава двойка «Г-С» апарати се състои в това да се създадат условия за топлообмен между двата апарата, така, че количеството енергия от вън необходима за нагряване и охлаждане да бъде минимална.

4.1.1. Модели на процесите «Нагрыване-Охлаждане» в двойка периодични апарати за схеми осъществяващи процеса в зададен времеви интервал [6], [7], [11], [12].

В този раздел се разгледат два типа схемни решения на проблема за оптимално използване на енергията в двойка «Г-С» периодични апарати чрез топлинна интеграция на процесите, а именно:

- ◆ Схеми за топлинна интеграция с последваща корекция.
- ◆ Схеми за топлинна интеграция и едновременна корекция.



Фиг.4.1. Процесите «Нагрыване» и «Охлаждане» във времето.

При МХТС с периодични процеси често се изисква охлаждане на съдържимото в даден периодичен реактор да бъде охладено от начална температура T_H^s до крайна работна температура T_H^f в даден времеви интервал с продължителност τ_H и в същото време се изисква съдържимото на друг реактор да бъде нагрето от начална температура T_C^s до крайна температура T_C^f за времеви интервал τ_C . Двата реактора имат начални температури $T_H^s \geq T_C^s + \Delta T_{\min}$, което е условие да бъдат двойка «Г-С» апарати.

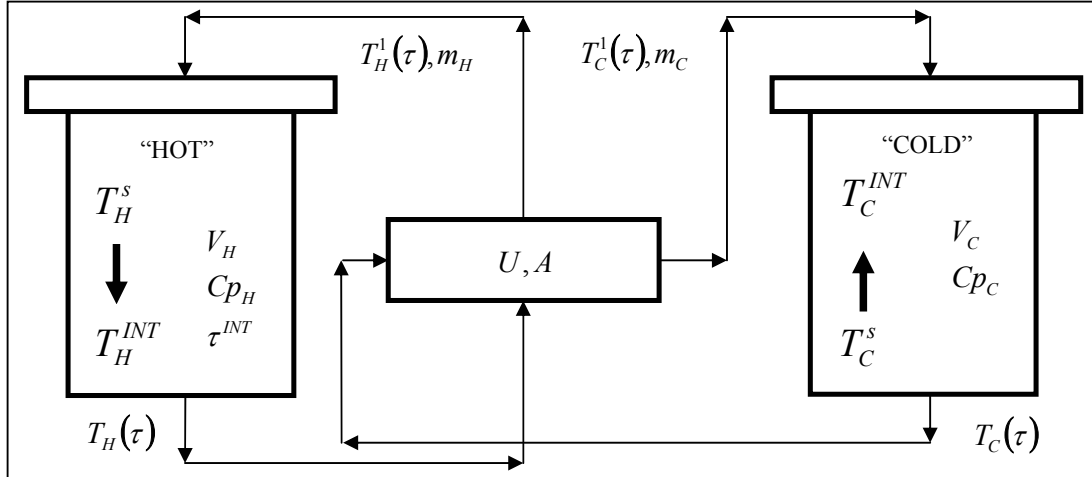
Достигането на целевите крайни температури на двата реактора се осъществява на два етапа, както е показано на Фиг.4.1. **На първият етап** се осъществява процес на топлинна интеграция, а на **вторият** се осъществява процес на топлинна корекция с използване на системи за автономно подгрыване или охлаждане за случаите, когато не са достигнати крайните температури при първия етап.

В тези случаи е възможна топлинна интеграция чрез използване на различни схеми и подходи за осъществяване на този процес. Най-общо процеса на топлинната интеграция се осъществява или чрез използване на рекуперативни топлообменни апарати или чрез циркулация на междинен топлоносител без топлообменни апарати, когато имаме инсталирани ризи или змиевици в реакторите.

A. Схеми и модели при директна топлинна интеграция с последваща топлинна корекция в система «Г-С» апарати [3], [11].

1. Схеми за директна топлинна интеграция.

Случай 1



Фиг.4.2. Директна топлинна интеграция с топлообменен апарат.

Математичният модел на процеса на топлинна интеграция в двойката «Г-С» апарати Фиг.4.2. се описва от системата диференциални уравнения съответно за «С» и «Г» реактори, както е показана по-долу:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT_H}{d\tau} &= G_H T_H^1 - G_H T_H \\ \frac{dT_C}{d\tau} &= G_C T_C^1 - G_C T_C \end{aligned} \right\}, \quad (4.1)$$

$$\left. \begin{aligned} T_H^1 &= T_H - (T_H - T_C)\Phi e \\ T_C^1 &= T_C + (T_H - T_C)k\Phi e \end{aligned} \right\}, \quad (4.2)$$

където,

$$\left. \begin{aligned} G_H &= \frac{m_H}{V_H}, \quad G_C = \frac{m_C}{V_C}, \quad k = \frac{m_H C_{pH}}{m_C C_{pC}} \\ w_1 &= \frac{1}{m_H C_{pH}} - \frac{1}{m_C C_{pC}}, \quad \Phi e = \frac{1 - \exp(-w_1 UA)}{1 - k \exp(-w_1 UA)} \end{aligned} \right\}, \quad (4.3)$$

Замествайки T_H^1 , T_C^1 (4.2) в уравнение (4.1) и извършвайки съответните преобразувания, изходните диференциални уравнения се свеждат до следната система:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT_H}{d\tau} &= a_{11}T_H + a_{12}T_C \\ \frac{dT_C}{d\tau} &= a_{21}T_H + a_{22}T_C \end{aligned} \right\}, \quad (4.4)$$

където,

$$\left. \begin{aligned} a_{11} &= -G_H \Phi e, \quad a_{12} = G_H \Phi e, \\ a_{21} &= G_C k \Phi e, \quad a_{22} = -G_C k \Phi e \end{aligned} \right\}. \quad (4.5)$$

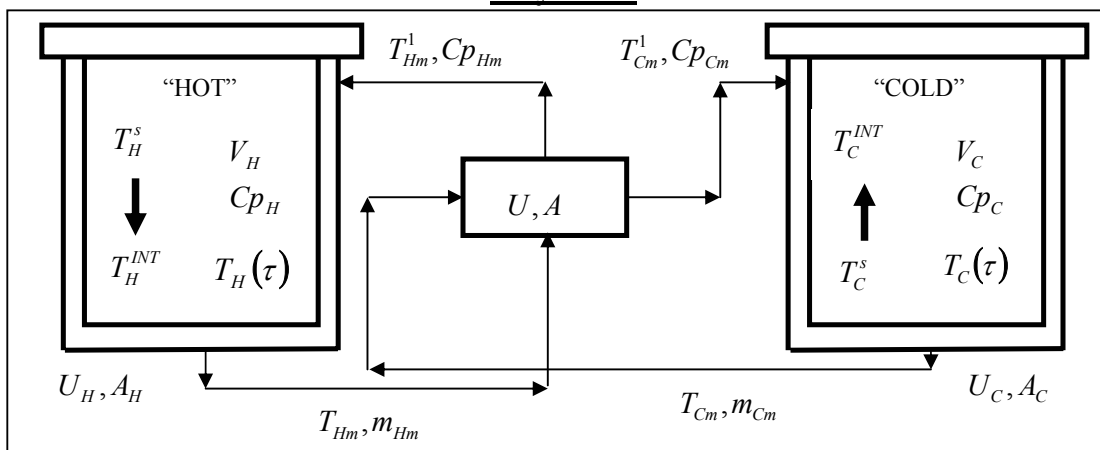
За системата (4.4) отчитайки началните условия $T_H(0) = T_H^S$ и $T_C(0) = T_C^S$ за решението се записват зависимостите (4.6):

$$\left. \begin{aligned} T_H(\tau) &= v_1 \exp(r_1 \tau) + v_3 \\ T_C(\tau) &= v_2 \exp(r_1 \tau) + v_3 \end{aligned} \right\}, \quad (4.6)$$

където,

$$v_1 = (T_H^S - v_3), \quad v_2 = (T_C^S - v_3), \quad v_3 = \frac{(V_H C_{pH} T_H^S + V_C C_{pC} T_C^S)}{(V_H C_{pH} + V_C C_{pC})}, \quad r_1 = -\Phi e(G_H + G_C k).$$

Случай 2



Фиг.4.3. Директна топлинна интеграция с междинни флуиди и топлообменен апарат.

2. *Модел на процесите на топлинна интеграция при схема, съставена от двойка «Г-С» периодични апарати с циркулация на междинен флуид и топлообменен апарат.*

Математичният модел на процеса на топлинна интеграция в двойката «Г-С» апарати Фиг.4.3. се описва от системата диференциални уравнения съответно за «С» и «Г» реактори. За така полученаата система отчитайки началните условия $T_H(0) = T_H^s$ и $T_C(0) = T_C^s$ за решението се записват зависимостите от вида (4.6) където,

$$r_1 = G_{Hm} \left(\frac{(A1 + A3 - 1 + B4 - A1B4 + A4B1)}{(1 - B4 - A3)} \right) + G_{Cm} \left(\frac{(B2 + B4 + B3C2 - 1)}{(1 - B4)} \right)$$

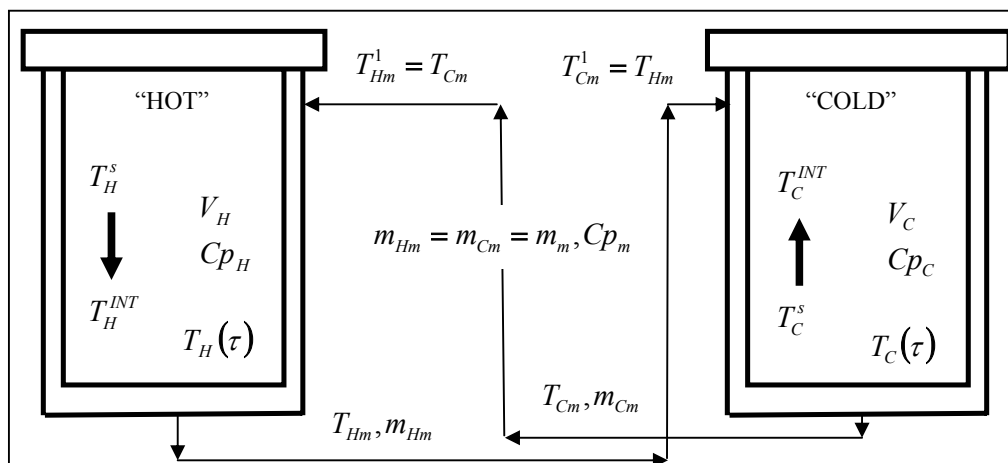
$$v_1 = (T_H^s - v_3), v_2 = (T_C^s - v_3), v_3 = \frac{(V_H Cp_H T_H^s + V_C Cp_C T_C^s)}{(V_H Cp_H + V_C Cp_C)}$$

$$D1 = \frac{(B1 + B3C1)}{(1 - B4)}, D2 = \frac{(B2 + B3C2)}{(1 - B4)}, C1 = \frac{(A1 - A1B4 + A4B1)}{(1 - B4 - A3)}, C2 = \frac{(A2 - A2B4 + A4B2)}{(1 - B4 - A3)},$$

$$A1 = A3(\Phi_H - 1), A2 = A4(\Phi_C - 1), A3 = \frac{(1 - \Phi_e)}{\Phi_H}, A4 = \frac{\Phi_e}{\Phi_C}, B1 = B3(\Phi_H - 1),$$

$$B2 = B4(\Phi_C - 1), B3 = \frac{k\Phi_e}{\Phi_H}, B4 = \frac{(1 - k\Phi_e)}{\Phi_C}.$$

Случай 3



Фиг.4.4. Директна топлинна интеграция с междинен флуид без топлообменник.

3. *Модел на процесите на топлинна интеграция при схема, съставена от двойка «Г-С» периодични апарати с циркулация на междинен флуид без теплообменен апарат.*

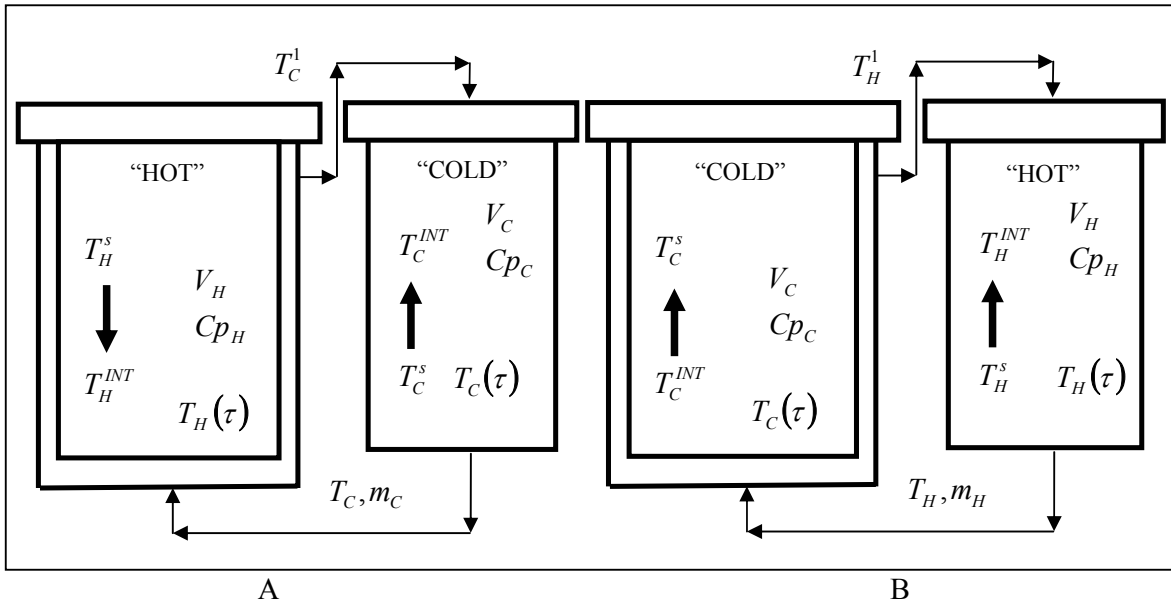
Математичният модел на процеса на топлинна интеграция в двойката «Г-С» апарати Фиг.4.4. се описва от системата диференциални уравнения съответно за «С» и «Г» реактори. За така получената система отчитайки началните условия $T_H(0) = T_H^s$ и $T_C(0) = T_C^s$ за решението се записват зависимостите от вида (4.6) където,

$$r_1 = G_{Hm} \left(\frac{\Phi_H(1-\Phi_C)}{(\Phi_H\Phi_C-1)} \right) + G_{Cm} \left(\frac{\Phi_C(1-\Phi_H)}{(\Phi_H\Phi_C-1)} \right)$$

$$v_1 = (T_H^s - v_3), v_2 = (T_C^s - v_3), v_3 = \frac{(V_H C_{pH} T_H^s + V_C C_{pC} T_C^s)}{(V_H C_{pH} + V_C C_{pC})}$$

$$G_{Hm} = \frac{m_m C_{p_m}}{V_H C_{p_H}} \left(\frac{\Phi_H - 1}{\Phi_H} \right), G_{Cm} = \frac{m_m C_{p_m}}{V_C C_{p_C}} \left(\frac{\Phi_C - 1}{\Phi_C} \right), \Phi_H = \exp\left(\frac{U_H A_H}{m_m C_{p_m}}\right), \Phi_C = \exp\left(\frac{U_C A_C}{m_m C_{p_m}}\right).$$

Случай 4



Фиг.4.5. Директна топлинна интеграция с използване на един от работните флуиди без теплообменник.

4. *Модел на процесите на топлинна интеграция при схема, съставена от двойка «Г-С» периодични апарати с използване на един от работните флуиди за охлаждане/нагряване без теплообменен апарат.*

Математичният модел на процеса на топлинна интеграция в двойката «Г-С» апарати Фиг.4.5. се описва от системата диференциални уравнения съответно за «С» и «Г» реактори, както е показана по-долу:

Вариант А

За така получената система отчитайки началните условия $T_H(0) = T_H^s$ и $T_C(0) = T_C^s$ за решението се записват зависимостите от вида (4.6) където,

$$r_1 = -(G_{Hm} + G_C(1-\Phi_H)), v_1 = (T_H^s - v_3), v_2 = (T_C^s - v_3), v_3 = \frac{(V_H C_{pH} T_H^s + V_C C_{pC} T_C^s)}{(V_H C_{pH} + V_C C_{pC})}$$

$$G_{Hm} = \frac{m_c C_{p_C}}{V_H C_{p_H}} \left(\frac{\Phi_H - 1}{\Phi_H} \right), G_C = \frac{m_c}{V_C}, \Phi_H = \exp\left(\frac{U_H A_H}{m_c C_{p_C}}\right).$$

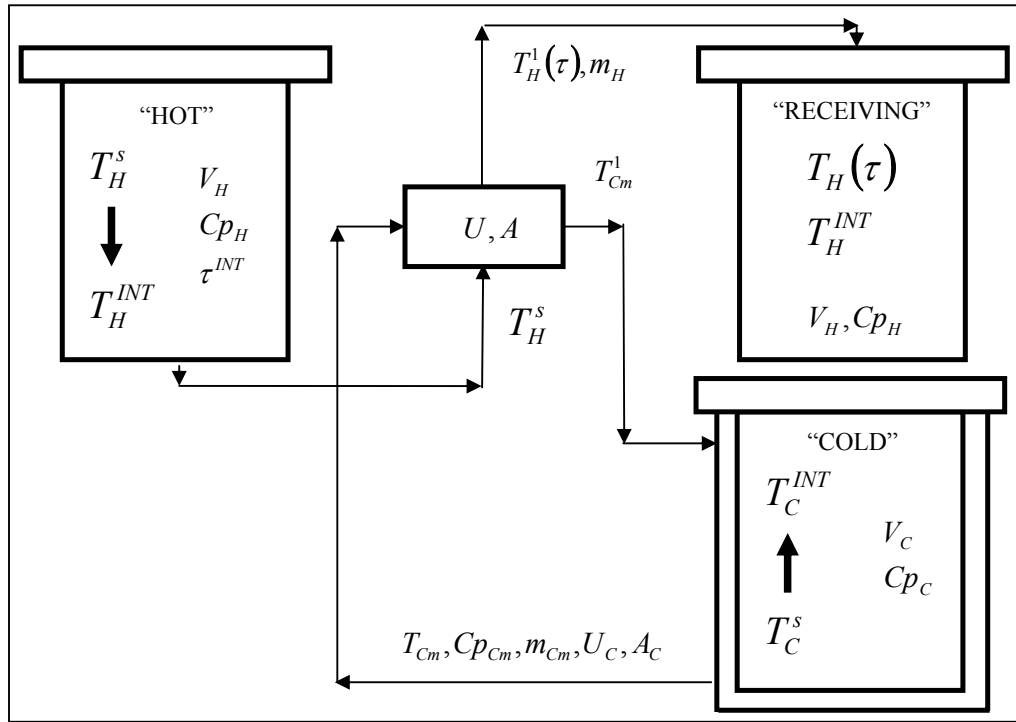
Вариант В.

За така полученаата система отчитайки началните условия $T_H(0)=T_H^s$ и $T_C(0)=T_C^s$ за решението се записват зависимостите от вида (4.6) където,

$$r_1 = -(G_H(1-\Phi_C) + G_{Cm}), \quad v_1 = (T_H^s - v_3), \quad v_2 = (T_C^s - v_3), \quad v_3 = \frac{(V_H Cp_H T_H^s + V_C Cp_C T_C^s)}{(V_H Cp_H + V_C Cp_C)}, \quad G_H = \frac{m_H}{V_H},$$

$$G_{Cm} = \frac{m_H Cp_H}{V_C Cp_C} \left(\frac{\Phi_C - 1}{\Phi_C} \right), \quad \Phi_C = \exp\left(\frac{U_C A_C}{m_H Cp_H} \right)$$

Случай 5



Фиг.4.6. Директна топлинна интеграция с междинен флуид с топлообменник и приемащ резервоар.

5. Модел на процесите на топлинна интеграция при схема, съставена от двойка «Г-С» апарати с междинен флуид без топлообменен апарат и приемащ резервоар.

Моделът на процеса на топлинна интеграция в двойката «Г-С» апарати Фиг.4.6. се описва от системата уравнения съответно за «С» и «Г» реактори, както е показана по-долу:

$$\frac{dT_C}{d\tau} = G_{Cm} T_{Cm}^1 - G_{Cm} T_C, \quad (4.7)$$

$$\left. \begin{aligned} T_H^1 &= T_H^s - (T_H^s - T_{Cm}) \Phi e \\ T_{Cm}^1 &= T_{Cm} + (T_H^s - T_{Cm}) k \Phi e \end{aligned} \right\}, \quad (4.8)$$

$$T_{Cm} = \frac{T_C (\Phi_C - 1) + T_{Cm}^1}{\Phi_C}, \quad (4.9)$$

където,

$$G_{Cm} = \frac{m_{Cm} Cp_{Cm}}{V_C Cp_C} \left(\frac{\Phi_C - 1}{\Phi_C} \right), \quad k = \frac{m_H Cp_H}{m_{Cm} Cp_{Cm}}, \quad m_H = \frac{V_H}{\tau^{INT}}, \quad w_1 = \frac{1}{m_H Cp_H} - \frac{1}{m_{Cm} Cp_{Cm}},$$

$$\Phi e = \frac{1 - \exp(-w_1 UA)}{1 - k \exp(-w_1 UA)}, \quad \Phi_C = \exp\left(\frac{U_C A_C}{m_{Cm} Cp_{Cm}} \right).$$

Замествайки (4.8), (4.9) в (4.7) и извършвайки преобразуванията решението на уравнението има вида (4.10):

$$T_C(\tau) = T_H^s + (T_C^s - T_H^s) \exp(a_1 \tau). \quad (4.10)$$

където, $a_1 = -\frac{G_{cm} k \Phi e \Phi_C}{(\Phi_C + k \Phi e - 1)}$.

Зависимостта за определяне на температурата на входа на приемащия резервоар е:

$$T_H^1(\tau) = A_1 T_H^s + A_2 (T_H^s + (T_C^s - T_H^s) \exp(a_1 \tau)), \quad (4.11)$$

$$\left\{ A_1 = \frac{(\Phi e (k - 2k \Phi e - \Phi_C + 1) + \Phi_C - 1)}{(\Phi_C + k \Phi e - 1)}, A_2 = \frac{(\Phi_C - 1) \Phi e}{(\Phi_C + k \Phi e - 1)} \right\}.$$

Температурата на сместта, намираща се в приемащия резервоар ще се определя от:

$$T_H(\tau) = (A_1 + A_2) T_H^s + \frac{A_2 (T_C^s - T_H^s)}{a_1 \tau} \exp(a_1 \tau). \quad (4.12)$$

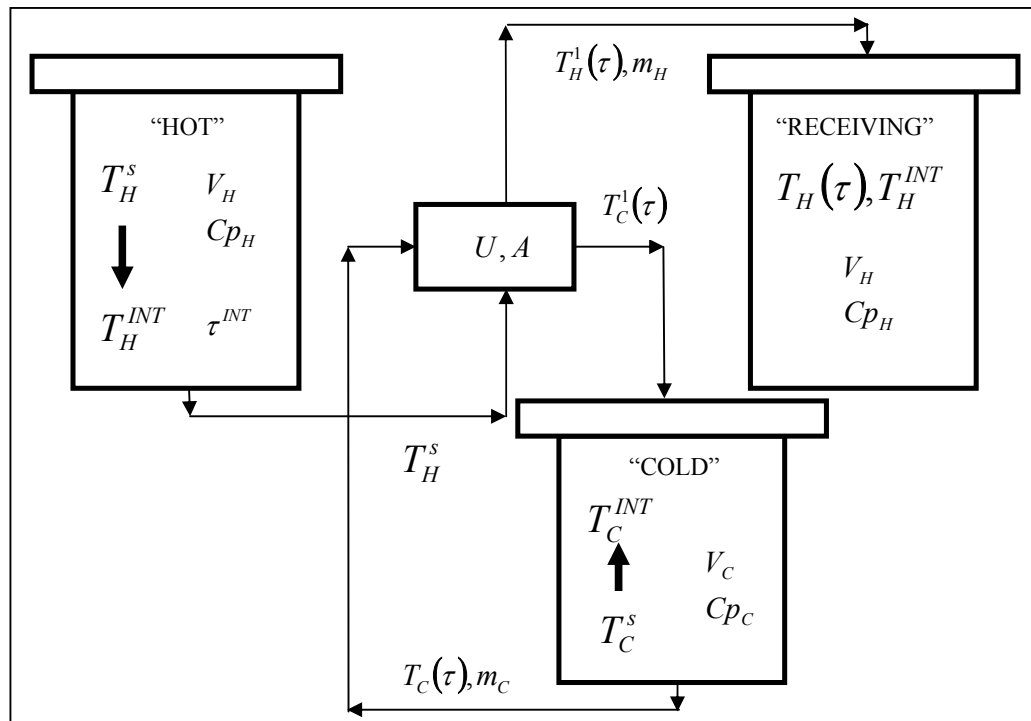
В края на процеса при $\tau = \tau^{INT}$ температурата на сместта в приемащия резервоар е:

$$T_H^{INT} = (A_1 + A_2) T_H^s + \frac{A_2 (T_C^s - T_H^s)}{a_1 \tau^{INT}} \exp(a_1 \tau^{INT}). \quad (4.13)$$

Температурата на «C» реактор в края на процеса на топлинната интеграция съответно:

$$T_C^{INT} = T_H^s + (T_C^s - T_H^s) \exp(a_1 \tau^{INT}). \quad (4.14)$$

Случай 6



Фиг.4.7. Директна топлинна интеграция с топлообменник и приемащ резервоар.

б. Модел на процесите на топлинна интеграция при схема, съставена от двойка «Г-С» периодични апарати с топлообменен апарат и приемащ резервоар

Математичният модел на процеса на топлинна интеграция в двойката «Г-С» апарати Фиг.4.7. се описва от система уравнения, която след решаването и има вида:

$$T_C(\tau) = T_H^s + (T_C^s - T_H^s) \exp(a_1 \tau). \quad (4.15)$$

където, $a_1 = -G_c k \Phi e$, $G_c = \frac{m_c}{V_c}$, $k = \frac{m_H C_{pH}}{m_c C_{pC}}$, $\Phi e = \frac{1 - \exp(-w_3 UA)}{1 - k \exp(-w_3 UA)}$, $w_3 = \frac{1}{m_H C_{pH}} - \frac{1}{m_c C_{pC}}$

Това уравнение описва изменението на температурата на «С» реактор и е в сила за времевия интервал $0 \leq \tau \leq \tau^{INT}$. В същото време температурата на сместа, влизаща в приемащия резервоар ще се изменя според зависимостта (4.16) и е в сила за времевия интервал $0 \leq \tau \leq \tau^{INT}$

$$T_H^1(\tau) = T_H^s + (T_C^s - T_H^s) \exp(a_1 \tau), \quad (4.16)$$

а за температурата на сместа във времето се записва (4.17),

$$T_H(\tau) = T_H^s - \frac{(T_H^s - T_C^s)}{(G_c k \tau)} (1 - \exp(-G_c k \Phi e \tau)), \quad (4.17)$$

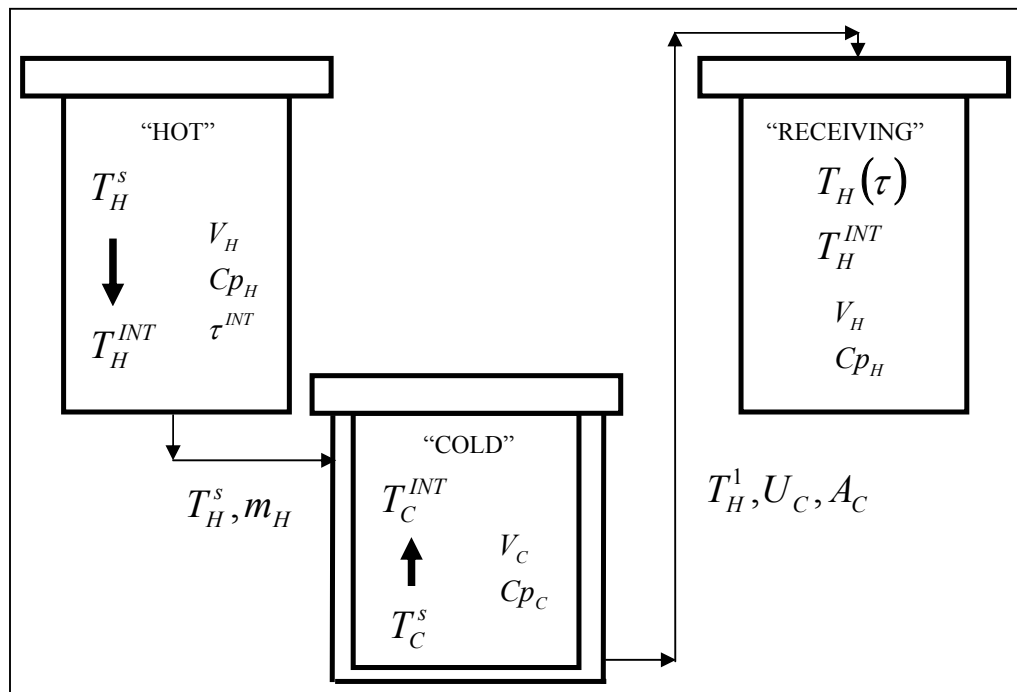
и в края на процеса на топлинната интеграция за $\tau = \tau^{INT}$ съответно (4.18),

$$T_H^{INT} = T_H^s - \frac{(T_H^s - T_C^s)}{(G_c k \tau^{INT})} (1 - \exp(-G_c k \Phi e \tau^{INT})). \quad (4.18)$$

Температурата на «С» реактор в края на процеса на топлинната интеграция ще бъде:

$$T_C^{INT} = T_H^s + (T_C^s - T_H^s) \exp(a_1 \tau^{INT}). \quad (4.19)$$

Случай 7



Фиг.4.8. Директна топлинна интеграция без топлообменник и използване на работния флуид като междинен.

7. Модел на процесите на топлинна интеграция при схема, съставена от двойка «Г-С» периодични апарати без топлообменен апарат и приемащ резервоар и използване на работния флуид като междинен.

Математичният модел на процеса на топлинна интеграция в двойката «Г-С» апарати Фиг.4.8. се описва от уравненията (4.20)-(4.24):

$$T_C(\tau) = T_H^s + (T_C^s - T_H^s) \exp(a_1 \tau). \quad (4.20)$$

където, $a_1 = -\frac{m_H C_{pH}}{V_C C_{pC}} \left(\frac{\Phi_C - 1}{\Phi_C} \right)$, $G_{cm} = \frac{m_H C_{pH}}{V_C C_{pC}} \left(\frac{\Phi_C - 1}{\Phi_C} \right)$, $\Phi_C = \exp\left(\frac{U_C A_C}{m_H C_{pH}} \right)$, $m_H = \frac{V_H}{\tau^{INT}}$.

Това уравнение описва изменението на температурата на «С» реактор и е в сила за времеви интервал $0 \leq \tau \leq \tau^{INT}$. В същото време температурата на сместта, влизаща в приемащия резервоар ще се изменя според зависимостта (4.21):

$$T_H^1 = T_H^s + (1 - \Phi_C)(T_C^s - T_H^s)\exp(a_1\tau), \quad (4.21)$$

а в същото време температурата на сместа в приемащия резервоар ще бъде (4.22):

$$T_H(\tau) = T_H^s + \frac{(1 - \Phi_C)(T_C^s - T_H^s)}{a_1\tau}\exp(a_1\tau), \quad (4.22)$$

и в края на процеса на топлинната интеграция за $\tau = \tau^{INT}$ съответно (4.23),

$$T_H^{INT} = T_H^s + \frac{(1 - \Phi_C)(T_C^s - T_H^s)}{a_1\tau^{INT}}\exp(a_1\tau^{INT}). \quad (4.23)$$

Температурата на «С» реактор в края на процеса на топлинната интеграция ще бъде:

$$T_C^{INT} = T_H^s + (T_C^s - T_H^s)\exp(a_1\tau^{INT}). \quad (4.24)$$

С. Формулиране на задачата за синтез, осъществяващи топлинна интеграция в зададен времеви интервал с последваща корекция [11].

Както бе описано процесите «Нагриване» и «Охлаждане» се осъществяват в зададен времеви интервали, започвайки едновременно. Те се състоят от два подпроцеса «Интеграция» и «Корекция». Процесът «Интеграция» се осъществява от система за топлинна интеграция с използване на една от горе разгледаните схеми и процеса «Корекция» с помощта на система за топлинна корекция с използване на една от схемите, показани по-горе.

Задачата за синтез решава следното:

1. Избор на система за осъществяване на процеса на топлинната интеграция и определяне на основните и конструктивни и режимни параметри.
2. Определяне на основните конструктивни и режимни параметри на системата за топлинна корекция.

Реновацията на съществуваща система за нагриване и охлаждане на двойка «Г-С» реактори се състои в това да бъде избрана система за топлинна интеграция и определяне нейните оптимални конструктивни и режимни параметри, които осигуряват минимум на приведените разходи за изграждане и експлуатация на системата. В този случай се предполага, че съществуват системи за автономно нагриване и охлаждане, които осъществяват процесите според изискванията на технологията.

а) *Формулиране на задачата за синтез на топлинно интегрирана система за «Нагриване» и «Охлаждане» в двойка реактори в зададен времеви интервал*

Задачата за синтез на система за «Нагриване» и «Охлаждане» в двойка «Г-С» периодични реактори се свежда до определяне на основните конструктивни и режимни параметри за определена схема за топлинна интеграция и корекция.

За разгледаните схеми за топлинна интеграция, процесът се осъществява във зададен времеви интервал с продължителност τ^{INT} , като началото на този процес за двата реактора е общо. Формулира се целева функция в която са отразени компонентите, а именно експлуатационните разходи свързани с работата на цялата система и капиталните разходи, свързани с изграждане на системата за топлинна интеграция и топлинна корекция.

Целевата функция е от вида:

$$F^S = \left(\frac{H}{\tau_B}\right)E_{COST} + \left(\frac{1}{Pb}\right)C_{COST}, \quad (4.26)$$

където,

H - работните часове на инсталацията за едногодишен период,

τ_B - периода на повторяемост на процеса «Нагриване-Охлаждане»,

Pb - нормативен срок за откупуване на инвестицията, приет в съответната област,

E_{COST} -цената на използваната топло и хладо енергия от външните източници,

C_{COST} -цената на съоръженията, необходими за осъществяване на процесите.

$$E_{COST} = c_H Q_H + c_C Q_C + c_E Q_E, \quad (4.27)$$

където, c_H, c_C, c_E е цената на единица топло, хладо и електро енергия, а Q_H, Q_C, Q_E е количеството от съответния вид, което се използва за осъществяване на един цикъл на процеса и се определя според зависимостите (4.28):

$$\left. \begin{aligned} Q_H &= V_H C p_H (T_H^{INT} - T_H^f) \\ Q_C &= V_C C p_C (T_C^f - T_C^{INT}) \\ Q_E &= \tau_H^{INT} (p_H m_H + p_m m_{Cm}) + \tau_C^{INT} (p_C m_C + p_m m_{Hm}) \end{aligned} \right\}, \quad (4.28)$$

където, p_H, p_C и p_m са мощностите на помпите, които се необходими за осигуряване на циркулацията за единица дебит m_H, m_C, m_m на съответните флуиди в процеса на работа на системата.

Цената на капиталните разходи C_{COST} се определя от корелационните зависимости, които са приети при проектиране на системата, които са (4.29):

$$C_{COST} = C_{COST}^{INT} + C_{COST}^{COR}, \quad (4.29)$$

където, C_{COST}^{INT} е цената на системата за топлинна интеграция, която е:

$$C_{COST}^{INT} = \alpha A^\beta + \alpha_H m_H^{\beta_H} + \alpha_C m_C^{\beta_C} + \alpha_C A_C^{\beta_e} + \alpha_{Cm} m_{Cm}^{\beta_{Cm}} + \alpha_H A_H^{\beta_H} + \alpha_{Hm} m_{Hm}^{\beta_{Hm}} \quad (4.30)$$

$\alpha, \beta, \alpha_H, \beta_H, \alpha_C, \beta_C, \alpha_{Cm}, \beta_{Cm}, \alpha_{Hm}, \beta_{Hm}$ са корелационни коефициенти за определяне на цената на съоръжението според неговия характерен параметър.

C_{COST}^{COR} е цената на автономната системата за топлинна корекция в зависимост от използваната схема за тази цел и има вида (4.31):

$$C_{COST}^{COR} = \left. \begin{aligned} &\alpha_e (A_H^e)^{\beta_e} + \alpha_p (m_C^e)^{\beta_p} + \alpha_p (m_H)^{\beta_p} + \alpha_e (A_C^e)^{\beta_e} + \\ &\alpha_p (m_H^e)^{\beta_p} + \alpha_p (m_C)^{\beta_p} + \alpha_j (A_C)^{\beta_j} + \alpha_j (A_H)^{\beta_j} \end{aligned} \right\}, \quad (4.31)$$

където, $\alpha_e, \beta_e, \alpha_p, \beta_p, \alpha_j, \beta_j$ са корелационни коефициенти за определяне на цената на съоръжението според неговия характерен параметър.

При така формулираната целева функция (4.26) задачата за синтез на оптимална схема за осъществяване на процеса «Нагриване-Охлаждане» в двойка периодични реактории се формулира като задача на математичното нелинейно програмиране при която се търсят стойности на вектора на управляващите променливи $\{x_i\}$, които осигуряват минимум на целевата функция (4.26) $MIN(F^S)$ при изпълнение на системата конструктивни и режимни ограничения, които са формулирани съгласно неравенствата (4.32)-(4.37):

$$\left. \begin{aligned} T_H^{INT} &\geq T_H^f \\ T_C^{INT} &\leq T_C^f \end{aligned} \right\}, \quad (4.32)$$

$$\left. \begin{aligned} \tau_C &\geq \tau^{INT} + \tau_C^{COR} \\ \tau_H &\geq \tau^{INT} + \tau_H^{COR} \end{aligned} \right\}, \quad (4.33)$$

$$\left. \begin{aligned} 0 &\leq \tau^{INT} \leq \tau_H \\ 0 &\leq \tau^{INT} \leq \tau_C \\ 0 &\leq \tau_H^{COR} \leq \tau_H \\ 0 &\leq \tau_C^{COR} \leq \tau_C \end{aligned} \right\}, \quad (4.34)$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta T_H \geq \Delta T^{\min} \\ \Delta T_C \geq \Delta T^{\min} \end{array} \right\}, \quad (4.35)$$

$$\left. \begin{array}{l} A_{He}^{\min} \leq A_{He} \leq A_{He}^{\max} \\ A_{Ce}^{\min} \leq A_{Ce} \leq A_{Ce}^{\max} \end{array} \right\}, \quad (4.36)$$

$$\left. \begin{array}{l} 0 \leq m_H \leq m_H^{\max} \\ 0 \leq m_C \leq m_C^{\max} \\ 0 \leq m_{He} \leq m_{He}^{\max} \\ 0 \leq m_{Ce} \leq m_{Ce}^{\max} \end{array} \right\}, \quad (4.37)$$

Формулираната по-горе задача за синтез като задача на математичното нелинейно програмиране при непрекъснати управляващи променливи може да бъде решена чрез използване на известните методи и комерсиални програмни средства, такива като **GAMS**, **MATLAB** и други.

4.2. Топлинна интеграция и едновременна корекция в системата «Г-С» реактори в зададен времеви интервал [6], [7].

В този раздел се разглеждат случаите на топлинна интеграция с едновременна корекция в системата «Г-С» периодични реактори. За разлика от разгледаните случаи където се предполага, че процесите «Нагриване» и «Охлаждане» започват едновременно, докато времената на завършването им е различен. Това обстоятелство води до необходимостта от извършване на две последователни стъпки «Интеграция» с последваща «Корекция». Поради това се налага използването на по интензивни процеси за всяка една от групите, което от своя страна води и до използване на скъпи за тази цел съоръжения. В много от случаите, обаче процесите «Нагриване-Охлаждане» в двойката «Г-С» периодични реактори могат да се извършват в един и същ времеви интервал, като продължителността на процеса «Нагриване» τ_C на «С» реактор е равна на тази τ_H на процеса «Охлаждане» на «Г» реактор. Освен това, ако $T_H^f \geq T_C^f + \Delta T_{\min}$ то ще може тези два процеса да се извършват едновременно с продължителност $\tau^* = \tau_H = \tau_C$. За осъществяване на такъв процес е необходима да се разполага с външен охлаждащ агент с работна температура $T_C^e \leq T_H^f - \Delta T_{\min}$ и съответно, нагриващ с работна температура $T_H^e \leq T_C^f + \Delta T_{\min}$. За охлаждане на «Г» реактор от температура T_H^s до крайна температура T_H^f и нагриване на «С» реактор от температура T_C^s до T_C^f е необходима енергия Q_H и за нагриване на «С» реактор Q_C , които се определят според зависимостите:

$$\left. \begin{array}{l} Q_H = V_H C_{pH} (T_H^s - T_H^f) \\ Q_C = V_C C_{pC} (T_C^f - T_C^s) \end{array} \right\}. \quad (4.38)$$

В зависимост от стойностите на Q_C и Q_H са възможни следните три случая:

Случай когато $Q_C = Q_H$ се характеризира с това, че в резултат на топлинната интеграция се достигат двете крайни температури T_C^f и T_H^f , като при това не е необходимо използване на системи за донагриване или доохлаждане с помощта на външни системи.

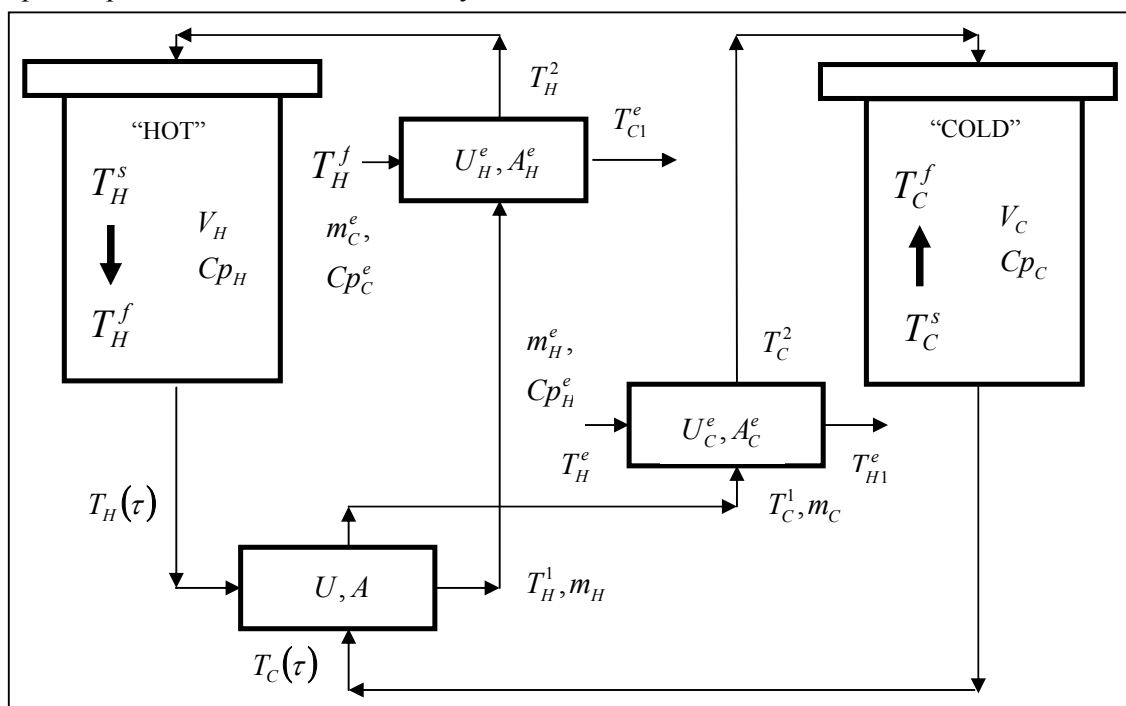
Случай когато $Q_C < Q_H$ се характеризира с това, че в резултата на топлинната интеграция се достига крайната температура T_C^f на «С» реактор. При това се изисква доохлаждане на «Г» реактор с помощта на външна система за охлаждане с използване на хладоагент с работна температура $T_C^e \leq T_H^f - \Delta T_{\min}$. Тези два процеса могат да се извършат едновременно във времето като се използва схемата, показана на Фиг.4.9.

Случай когато $Q_C > Q_H$ се характеризира с това, че в резултата на топлинната интеграция се достига крайната температура T_H^f на «Г» реактор. При това се изисква донагриване на «С» реактор с помощта на външна система за нагриване с използване на топлоносител с работна температура $T_H^f \geq T_C^f + \Delta T_{\min}$. Тези два процеса могат да се извършат едновременно във времето като се използва схемата, показана на Фиг.4.9.

В случаите, когато процесите «Нагриване» и «Охлаждане» трябва да се извършат по интензивно, то това може да се осъществи чрез използване на схемата, показана на Фиг.4.9. При тази схема се използват външни системи за нагриване и охлаждане в комбинация със система за топлинна интеграция, като използваните външни топлоносител и хладоагент трябва да имат работни температури съответно $T_H^f \geq T_C^f + \Delta T_{\min}$ и $T_C^e \leq T_H^f - \Delta T_{\min}$.

1. Схеми и модели на процесите на топлинна интеграция и едновременна корекция на «Г-С» периодични апарати с циркулация на флуидите [3].

Математичният модел на процеса на топлинна интеграция в двойката «Г-С» апарати, показани на Фиг.4.9. се описва от системата диференциални уравнения съответно за «С» и «Г» реактори, както е показана по-долу:



Фиг.4.9. Схема за едновременна топлинна интеграция и корекция чрез външни системи за доохлаждане и донагриване на двата реактора.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT_H}{d\tau} &= G_H T_H^2 - G_H T_H \\ \frac{dT_C}{d\tau} &= G_C T_C^2 - G_C T_C \end{aligned} \right\}, \quad (4.39)$$

$$\left. \begin{aligned} T_H^1 &= T_H - (T_H - T_C) \Phi e \\ T_C^1 &= T_C + (T_H - T_C) k \Phi e \end{aligned} \right\}, \quad (4.40)$$

$$\left. \begin{aligned} T_H^2 &= T_H^1 - (T_H^1 - T_C^1) \Phi e_H^e \\ T_C^2 &= T_C^1 + (T_H^1 - T_C^1) k_C^e \Phi e_C^e \end{aligned} \right\}, \quad (4.41)$$

$$\left. \begin{aligned} T_{C1}^e &= T_C^e + (T_H^1 - T_C^e) k_H^e \Phi e_H^e \\ T_{H1}^e &= T_H^e - (T_H^e - T_C^1) \Phi e_C^e \end{aligned} \right\}, \quad (4.42)$$

$$\text{където, } G_H = \frac{m_H}{V_H}, \quad G_C = \frac{m_C}{V_C} \left. \vphantom{G_H}, \right\} k = \frac{m_H C p_H}{m_C C p_C}, \quad w_1 = \frac{1}{m_H C p_H} - \frac{1}{m_C C p_C},$$

$$\Phi e = \frac{1 - \exp(-w_1 U A)}{1 - k \exp(-w_1 U A)}, \quad k_H^e = \frac{m_H C p_H}{m_C C p_C^e}, \quad w_2 = \frac{1}{m_H C p_H} - \frac{1}{m_C C p_C^e}, \quad \Phi e_H^e = \frac{1 - \exp(-w_2 U_H^e A_H^e)}{1 - k_H^e \exp(-w_2 U_H^e A_H^e)},$$

$$k_C^e = \frac{m_H^e C p_H^e}{m_C C p_C}, \quad w_3 = \frac{1}{m_H^e C p_H^e} - \frac{1}{m_C C p_C}, \quad \Phi e_C^e = \frac{1 - \exp(-w_3 U_C^e A_C^e)}{1 - k_C^e \exp(-w_3 U_C^e A_C^e)}.$$

При така показаната система отчитайки началните условия $T_H(0) = T_H^s$ и $T_C(0) = T_C^s$ за решението се записват зависимостите:

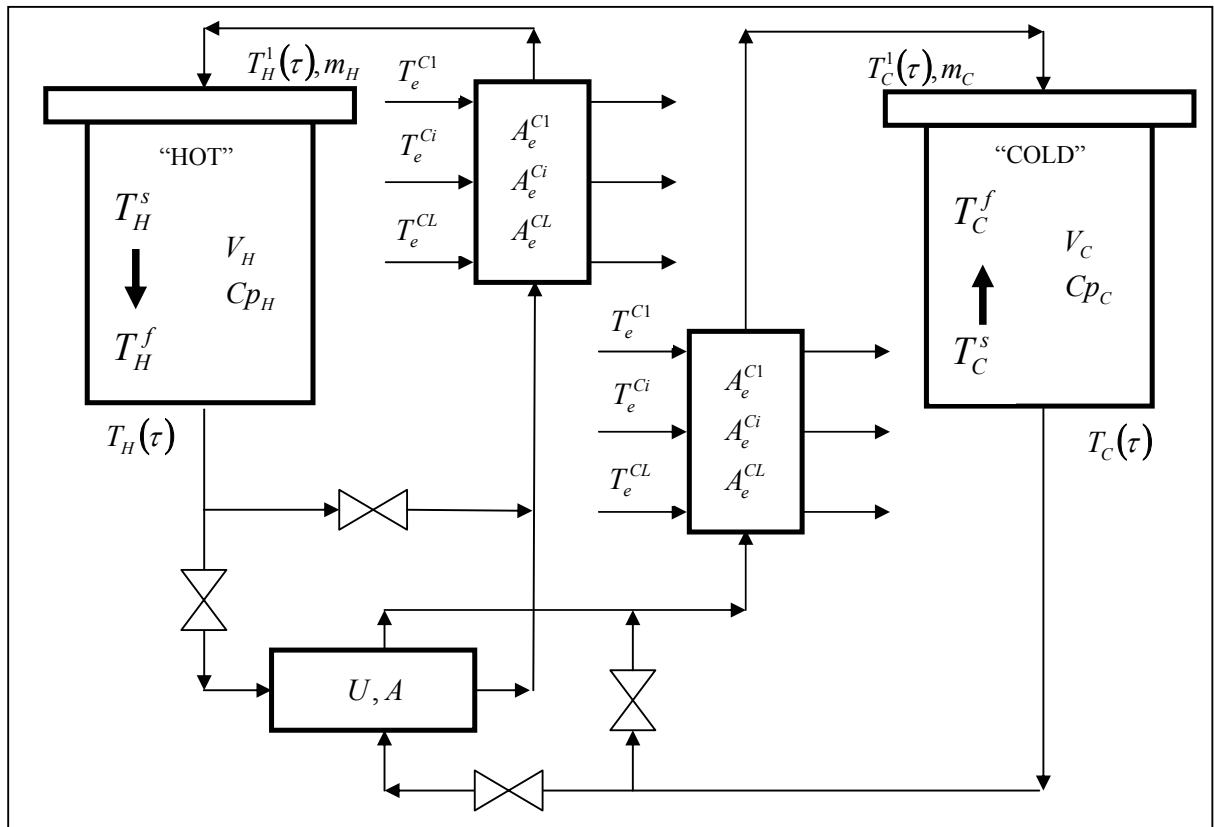
$$\left. \begin{aligned} T_H(\tau) &= v_1 \exp(r_1 \tau) + v_2 \exp(r_2 \tau) + K_1 \\ T_C(\tau) &= v_1 \mu_1 \exp(r_1 \tau) + v_2 \mu_2 \exp(r_2 \tau) + K_2 \end{aligned} \right\}, \quad (4.43)$$

$$\text{където, } r_1 = R_1 + \sqrt{R_1^2 + R_2}, \quad r_2 = R_1 - \sqrt{R_1^2 + R_2}, \quad R_1 = \frac{(a_{11} + a_{22})}{2}, \quad R_2 = (a_{12} a_{21} - a_{11} a_{22}),$$

$$v_2 = \frac{(T_C^s - K_2 + \mu_1 (K_1 - T_H^s))}{(\mu_2 - \mu_1)}, \quad v_1 = T_H^s - K_1 - \frac{(T_C^s - K_2 + \mu_1 (K_1 - T_H^s))}{(\mu_2 - \mu_1)},$$

$$\mu_1 = \frac{r_1}{a_{12}} - \frac{a_{11}}{a_{12}}, \quad \mu_2 = \frac{r_2}{a_{12}} - \frac{a_{11}}{a_{12}}, \quad K_1 = \frac{(a_{13} a_{22} - a_{12} a_{23})}{R_2}, \quad K_2 = \frac{(a_{23} a_{11} - a_{21} a_{13})}{R_2}.$$

4.3. Топлина интеграция в двойка «Горещ-Студен» апарати с последваща корекция и наличие на множество достъпни източници на енергия [17], [29].



Фиг.4.10. Суперструктура на системата за нагряване-охлаждане в система «Г-С» периодични апарати чрез топлинна интеграция на процесите.

Нека разгледаме обобщена суперструктура на системата за нагряване-охлаждане в система «Г-С» периодични апарати с използване на система за топлинна интеграция на процесите. На Фиг. 4.10 е показана такава суперструктура на обобщената топлообменна верига. Задачата за синтез на оптимална топлообменна верига ще се състои в това да бъде определена такава подструктура и съответните и параметри и разписание за провеждане на отделните подпроцеси, които осигуряват оптималност на избран критерий за оценка. В случая това е критерият осигуряващ минимум на приведените разходи включващи цената на използваната енергия от вън и капиталните разходи за построяване на системата за топлообмен.

Процесите интеграция и корекция се извършват на подинтервали с определена продължителност, както е показано на Фиг. 4.11.



Фиг.4.11. Организация на процесите във времеви интервал.

Във всеки подинтервал се приема, че се извършва или процес на топлинна интеграция, т.е. обмяна на топлина между двата реактора чрез рекуперативен топлообменен апарат или автономно охлаждане на «Г» и или автономно нагряване на «С» реактор. Броят на временните интервали е такъв, че за всеки един от възможните процеси се осигурява поне по един интервал, т.е. за случая минималният брой на временните интервали ще е:

$$N = \text{MAX}(L, K) + 1, \quad (4.44)$$

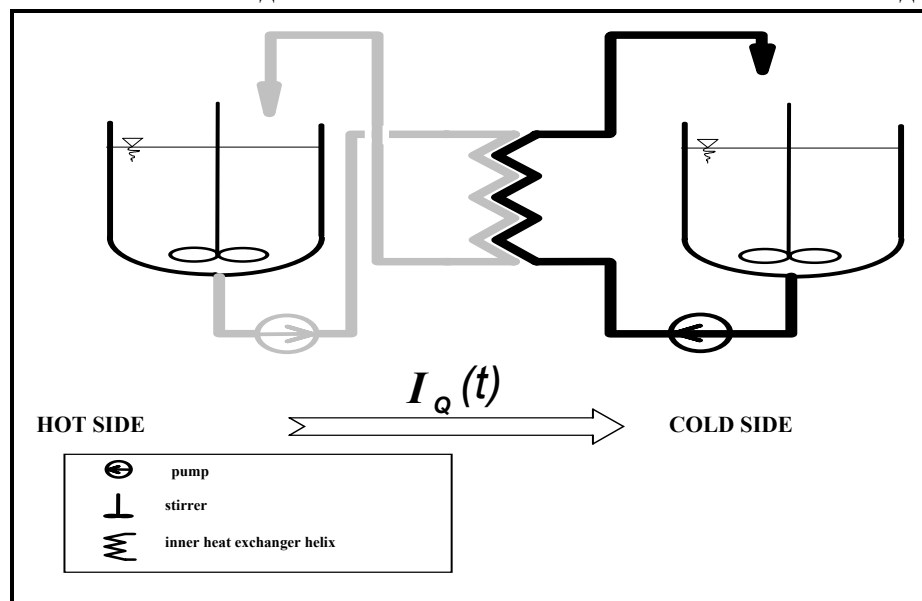
където L е броят на възможните външни топлоизточници, които могат да бъдат използвани за автономно нагряване на «С» реактор, а K е броят на възможните външни хладоагенти, които могат да бъдат използвани за автономно охлаждане на «Г» реактор.

4.3.1. Математичен модел на процесите.

Тука се разглеждат моделите на отделните подпроцеси, които се използват за осъществяване на общия процес на нагряване и охлаждане на двойката «Г-С» реактори, а това са следните процеси:

1. *Процес на обмяна на топлина чрез топлинна интеграция във времето.*

На Фиг.4.12. е показана една от възможните схеми за обмяна на топлина в двойка «Г-С»



Фиг.4.12. Рекуперативен топлообмен в система «Г-С» реактори.

Математичният модел на процеса на обмяна на топлина за n -тия времеви интервал се осъществява съгласно уравненията, в случай когато циркулиращите потоци имат постоянни стойности по време на целия времеви интервал:

$$T_H^n = \left. \begin{aligned} & \frac{Cp_H.V_H}{Cp_H.V_H + Cp_C.V_C} T_H^{(n-1)} + \\ & \frac{Cp_C.V_C}{Cp_H.V_H + Cp_C.V_C} \left(T_C^{(n-1)} + (T_H^{(n-1)} - T_C^{(n-1)}) \exp(-K_{HC}^I \tau_n) \right) \end{aligned} \right\}, \quad (4.45)$$

$$T_C^n = \left. \begin{aligned} & \frac{Cp_H.V_H}{Cp_H.V_H + Cp_C.V_C} T_H^{(n-1)} + \frac{Cp_C.V_C}{Cp_H.V_H + Cp_C.V_C} T_C^{(n-1)} + \\ & \frac{Cp_H.V_H}{Cp_H.V_H + Cp_C.V_C} (T_C^{(n-1)} - T_H^{(n-1)}) \exp(-K_{HC}^I \tau_n) \end{aligned} \right\}, \quad (4.46)$$

където,

T_H^n, T_C^n са крайните температури които се достигат в края на n -тия временен интервал в резултат на извършване на процес на топлинна интеграция с помощта на рекуперативен топлообменен апарат с мощност P_{HC}^I .

$T_H^{(n-1)}, T_C^{(n-1)}$ са температурите на «Г» и «С» реактори в края на предишния времеви интервал.

Cp_H, Cp_C са топлосадаржанието на единица обем от сместа на «Г» и «С» реактори.

V_H, V_C са обемите на «Г» и «С» реактори.

K_{HC}^I се определя съгласно зависимостта (4.47):

$$K_{HC}^I = P_{HC}^I \frac{(Cp_H V_H + Cp_C V_C)}{(Cp_H V_H)(Cp_C V_C)}, \quad (4.47)$$

където, P_{HC}^I наричаме мощност на топлообменния апарат инсталиран за провеждане на процеса рекуперативен топлообмен между двойката «Г-С» апарати по време на n -тия времеви интервал, който е с продължителност τ_n . Зависимостите за определяне на P_{HC}^I съгласно (4.211) е:

$$P_{HC}^I = \frac{m \left(\exp\left(\frac{U}{m} A_f\right) - 1 \right)}{1 + \frac{m}{\omega_2} \left(\exp\left(\frac{U}{m} A_f\right) - 1 \right)}, \quad \text{където, } m = \frac{\omega_1}{\left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2} \right)}, \quad (4.48)$$

ω_1, ω_2 представлява топлинния капацитет на циркулиращите потоци през рекуперативния топлообменен апарат [$J s^{-1}$],

U представлява коефициента на топлопреминаване за рекуперативния топлообменен апарат [$W m^{-2} K^{-1}$],

A_f представлява топлообментата площ на използвания рекуперативен топлообменник.

2. *Процес на обмяна на топлина чрез автономно подгръване на «С» реактор с помощта на външен топлообменен апарат във времето.*

На Фиг.4.13а е показана схемата за извършване на процеса нагръване на «С» реактор с използване на топлоносител чрез топлообменен апарат.

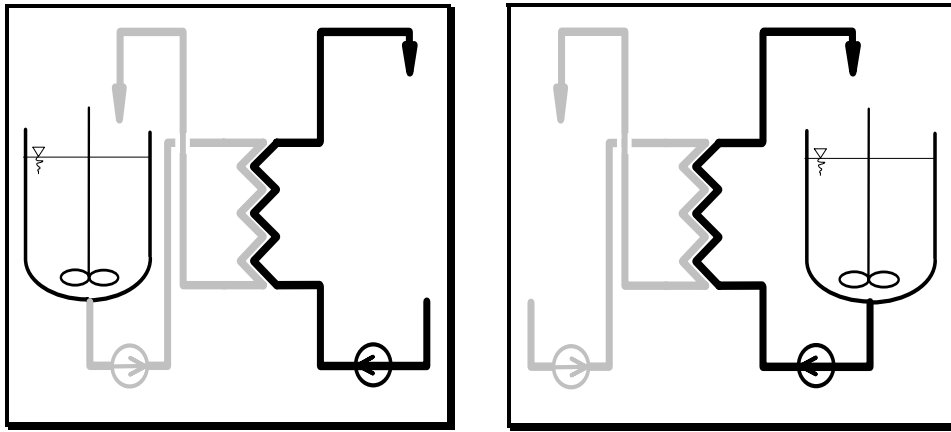
Получената зависимост описваща процеса за n -тия времеви интервал е:

$$T_C^n = (T_C^{(n-1)} - T_l) \exp(-K_{Cl}^C \tau_n) + T_l \quad (4.49)$$

T_C^n е температурата на «С» реактор в края на n -тия времеви интервал по време на който се извършва процес на нагръване с използване на l -тия топлоносител, чрез външен топлообменен апарат.

T_l е температурата на използвания l -ти топлоносител.

$K_{Cl}^C = P_{Cl}^C$ мощността на инсталирания външен топлообменен апарат за нагряване на «С» реактор по време на n -тия времеви интервал с използване на l -тия топлоносител.



а б
Фиг.4.13 а,б Автономно подгряване/охлаждане.

Тази мощност съгласно получените зависимости се определя съгласно израза:

$$P_{Cl}^C = \frac{m_{Cl} \left(\exp\left(\frac{U_l}{m_{Cl}} A_{Cl}\right) - 1 \right)}{1 + \frac{m_{Cl}}{\omega_l} \left(\exp\left(\frac{U_l}{m_{Cl}} A_{Cl}\right) - 1 \right)}, \text{ където, } m_{Cl} = \frac{\omega_C}{\left(1 - \frac{\omega_C}{\omega_l}\right)}, \quad (4.50)$$

ω_C, ω_l е топлинния капацитет на потоците през външния топлообменник,

U_l е коефициента на топлопреминаване за външния топлообменен апарат,

A_{Cl} е топлообментата площ на външния рекуперативен топлообменник.

3. Процес на обмяна на топлина чрез автономно охлаждане на «Г» реактор с помощта на външен топлообменен апарат във времето.

На Фиг. 4.13б е показана схемата по която се извършва процеса охлаждане на «Г» реактор с използване на външен хладоагент чрез топлообменен апарат.

Получената зависимост описваща процеса във времето е:

$$T_H^n = (T_H^{(n-1)} - T_k) \exp(-K_{Hk}^H \tau_n) + T_k, \quad (4.51)$$

T_H^n е температурата на «Г» реактор в края на n -тия времеви интервал по време на който се извършва процес охлаждане с използване на k -тия хладоагент, чрез външен апарат.

T_k е температурата на използвания k -ти хладоагент.

$K_{Hk}^H = P_{Hk}^H$ представлява мощността на инсталирания външен топлообменен апарат за охлаждане на «Г» реактор по време на n -тия времеви интервал с използване на k -тия хладоагент. Тази мощност се определя съгласно израза:

$$P_{Hk}^H = \frac{m_{Hk} \left(\exp\left(\frac{U_k}{m_{Hk}} A_{Hk}\right) - 1 \right)}{1 + \frac{m_{Hk}}{\omega_k} \left(\exp\left(\frac{U_k}{m_{Hk}} A_{Hk}\right) - 1 \right)}, \text{ където, } m_{Hk} = \frac{\omega_H}{\left(1 - \frac{\omega_H}{\omega_k}\right)}, \quad (4.52)$$

ω_H, ω_k е топлинния капацитет на потоците през външния топлообменен апарат,

U_k е коефициента на топлопреминаване за външния топлообменен апарат,

A_{Hk} е топлообментата площ на външния рекуперативен топлообменник.

4.3.2. Математическа формулировка на задачата за синтез на оптимална система за «Нагриване-Охлаждане» в двойка «Г-С» реактора, чрез топлинна интеграция на процесите [17].

Задачата за синтез на оптимална система за нагриване-охлаждане на двойка «Г-С» реактори може да бъде формулирана като задача на математичното програмиране. За тази цел въвеждаме следното:

1) Ключови променливи.

➤ Двоични (булеви) променливи

Въвеждаме следните двоични (булеви) променливи:

$$x_n = \{0 \vee 1\}, \quad \forall n \in N \quad (4.53)$$

$x_n = 1$ в случаите, когато в n -тия времеви интервал се осъществява рекуперативен топлообмен между «Г» и «С» реактор с помощта на рекуперативен топлообменен апарат и $x_n = 0$ в противен случай (4.53).

$$h_{nl} = \{0 \vee 1\}, \quad \forall n \in N, \forall l \in L \quad (4.54)$$

$h_{nl} = 1$ в случаите, когато се извършва нагриване на «С» реактор по време на n -тия времеви интервал с използване на l -тия външен топлоносител и $h_{nl} = 0$ в противен случай (4.54).

$$c_{nk} = \{0 \vee 1\}, \quad \forall n \in N, \forall k \in K \quad (4.55)$$

$c_{nk} = 1$ в случаите, когато се извършва охлаждане на «Г» реактор по време на n -тия времеви интервал с използване на k -тия външен хладоагент и $c_{nk} = 0$ в противен случай (4.55).

➤ Непрекъснати променливи

Въвеждаме още следните непрекъснати променливи (4.56):

$$\tau_n, \quad \forall n \in N \quad (4.56)$$

τ_n е независима непрекъсната променлива, определяща продължителността на n -тия времеви интервал, по време на който се извършва процес топлинна интеграция или автономно охлаждане или автономно нагриване.

$$P_{HC} \quad (4.57)$$

представлява мощността (4.57) на инсталирания рекуперативен апарат осъществяващ рекуперативен топлообмен между двата реактора.

$$P_{Hl}, \quad \forall l \in L \quad (4.58)$$

представлява мощността (4.58) на инсталирания външен нагревателен апарат осъществяващ автономно подгриване на «С» реактор с помощта на l -тия достъпен топлоносител.

$$P_{Ck}, \quad \forall k \in K \quad (4.59)$$

представлява мощността на инсталирания външен хладник осъществяващ автономно охлаждане на «Г» реактор с помощта на k -тия достъпен хладоагент.

2) Ограничения на задачата.

Въвеждаме следните системи от областни и функционални ограничения:

➤ Областни ограничения гарантиращи последователността на процесите.

Тези ограничения определят условията гарантиращи когато се провежда процес на топлинна интеграция да не се провеждат в същия времеви интервал процеси автономно подгриване и/или автономно охлаждане. Това условие се записва като система от следните областни ограничения, а именно (4.60):

$$x_n + \sum_{l \in L} h_{nl} \leq 1, \quad \forall n \in N, \quad x_n + \sum_{k \in K} c_{nk} \leq 1, \quad \forall n \in N \quad (4.60)$$

- *Областни ограничения осигуряващи изпълнимост на всички процеси за определен времеви интервал H .*

Тези условия се записват с помоща на следната система ограничения (4.61):

$$\sum_{n \in N} \tau_n \leq H, \quad 0 \leq \tau_n \leq H \quad \forall n \in N \quad (4.61)$$

- *Ограничения осигуряващи физическата реализуемост на процесите.*

Тази система областни ограничения осигурява съответните процеси да са физически реализуеми, т.е. да съществува определена температурна разлика за осъществимост на два процеса и имат вида (4.62):

$$h_{nl} \leq \frac{(T_l - T_C^{(n-1)} - \Delta T_{MIN})}{|T_l - T_C^{(n-1)} - \Delta T_{MIN}|} + 1, \quad c_{nk} \leq \frac{(T_k - T_H^{(n-1)} - \Delta T_{MIN})}{|T_k - T_H^{(n-1)} - \Delta T_{MIN}|} + 1, \quad x_n \leq \frac{(T_H^{(n-1)} - T_C^{(n-1)} - \Delta T_{MIN})}{|T_H^{(n-1)} - T_C^{(n-1)} - \Delta T_{MIN}|} + 1,$$

$$|T_k - T_C^n| \geq \Delta T_{MIN} \cdot c_{nk}, \quad |T_l - T_H^n| \geq \Delta T_{MIN} \cdot h_{nl}, \quad |T_C^n - T_H^n| \geq \Delta T_{MIN} \cdot x_n \quad (4.62)$$

- *Ограничения осигуряващи достигане целите на процесите.*

Тези функционални ограничения осигуряват, че крайните температури на двата реактора се достигат за време H , т.е са изпълнени ограничения (4.63):

$$\left. \begin{aligned} T_H^N - T_H^f = 0, \quad T_C^N - T_C^f = 0 \end{aligned} \right\}, \quad (4.63)$$

където T_H^N и T_C^N са температурите които се достигат в края на последния времеви интервал, а T_H^f и T_C^f са желаните крайни температури които трябва да бъдат достигнати в резултат на извършване на процесите «Нагриване» и «Охлаждане» за време H .

3) *Целева функция*

Целта е да бъдат намерени такива условия за осъществяване на процесите «Нагриване» и «Охлаждане» на двата реактора и параметрите на инсталираните съоръжения (рекуперативен топлообменен апарат и система от външни нагреватели и охладители), а също така и разписание за осъществяване на отделните процеси, които да гарантират минимум на целевата функция (4.64):

$$MIN \left(\left(\sum_{l \in L} Q_l \lambda_l + \sum_{k \in K} Q_k \lambda_k \right) NB + \frac{1}{Pb} \left(C_{HC} + \sum_{l \in L} C_l + \sum_{k \in K} C_k \right) \right), \quad (4.64)$$

където (4.65), (4.66),

$$Q_k = \sum_{n \in N} (c_{nk} (T_H^{(n-1)} - T_H^n) C_{p_H} V_H), \quad (4.65)$$

представлява общото количество студ, което е използвано от k -тия външен хладоагент по време на целия процес. Освен това при $n=1$ $T_H^0 = T_H^S$ представлява началната температура на «Г» реактор.

c_{nk} е булева независима променлива, определена по-горе,

$T_H^{(n-1)}$ е температурата на «Г» реактор в края на $(n-1)$ -вия времеви интервал.

$C_{p_H} V_H$ е топлосъдържанието на «Г» реактор.

$$Q_l = \sum_{n \in N} (h_{nl} (T_C^{(n-1)} - T_C^n) C_{p_C} V_C), \quad (4.66)$$

представлява общото количество топлина, което се използва от l -тия външен топлоносител по време на целия процес. Освен това при $n=1$ $T_C^0 = T_C^S$ представлява началната температура на «С» реактор.

h_{nl} е булева независима променлива, определена по-горе,

$T_C^{(n-1)}$ е температурата на «С» реактор в края на $(n-1)$ -вия времеви интервал.

$C_{p_C} V_C$ е топлосъдържанието на «С» реактор.

λ_l и λ_k е цената за единица енергия от съответния топло или хладо носител.

NB е броят на извършваните процеси “нагриване-охлаждане” за 1 година.

C_{HC} е цената на инсталирания рекуперативен топлообменен апарат, осъществяващ процеса на топлинна интеграция. Тази цена се приема като функция от мощността на рекуперативния топлообменен апарат и е от вида (4.67):

$$C_{HC} = \alpha_{HC} (P_{HC}^I)^{\beta_{HC}} \quad (4.67)$$

където,

α_{HC} , β_{HC} са корелационни коефициенти за определяне на цената на съоръжението в зависимост от неговата мощност.

C_k е цената на инсталирания външен топлообменен апарат, осъществяващ автономно охлаждане на «Г» реактор чрез използване на k -тия тип хладоагент. Тази цена е функция от инсталираната мощност и има вида:

$$C_k = \alpha_k (P_k)^{\beta_k} \quad (4.68)$$

където,

α_k , β_k са корелационни коефициенти за определяне на цената на съоръжението в зависимост от неговата мощност, а P_k е необходимата мощност на външния топлообменен апарат, използващ k -тия тип външен хладоагент.

C_l е цената на инсталирания топлообменен апарат за автономно нагриване на «С» реактор чрез използване на l -тия тип топлоносител.

Тази цена се приема като функция от инсталираната мощност и има корелационната зависимост, показана по-долу (4.69)

$$C_l = \alpha_l (P_l)^{\beta_l} \quad (4.69)$$

където

α_l , β_l са корелационни коефициенти за определяне на цената на съоръжението в зависимост от неговата мощност, а P_l е необходимата мощност на външния топлообменен апарат, използващ l -тия тип външен топлоносител.

Pb е нормативния срок за откупуване на съоръжението.

Постановката на задачата за синтез на оптимална схема за «Нагриване-Охлаждане» в двойка периодични реактори е следната:

Търсят се стойности на управляващите непрекъснати променливи (4.53)-(4.59), които осигуряват минимум на целевата функция (4.64) при изпълнение на системата ограничения (4.60)- (4.63).

Така формулираната задача е от класа на задачите на нелинейното смесено програмиране. Тази задача може да бъде решена чрез използване пакета **GAMS** или други програмни средства решаващи задачата на смесеното нелинейно програмиране.

4.4. Топлина интеграция в двойка «Горещ-Студен» периодични апарати с последваща корекция в различен времеви интервал с използване на топлинни резервоари [4], [9], [10], [11].

При работата на МХТС често се изисква охлаждане на съдържимото в даден периодичен реактор да бъде охладено от начална температура T_H^s до крайна работна температура T_H^f в даден времеви интервал с продължителност τ_H , докато в друг времеви интервал се изисква съдържимото на друг реактор да бъде нагрето от начална температура T_C^s до крайна температура T_C^f за времеви интервал τ_C . Предполага се, че тези два реактора имат начални температури $T_H^s \geq T_C^s + \Delta T_{\min}$, което е предпоставка за съществуване на двойка «Г-С» апарати, които могат да бъдат топлинно интегрирани. В разглеждания, обаче случай двата процеса са отместени във времето и директно не могат да се приложат подходите и

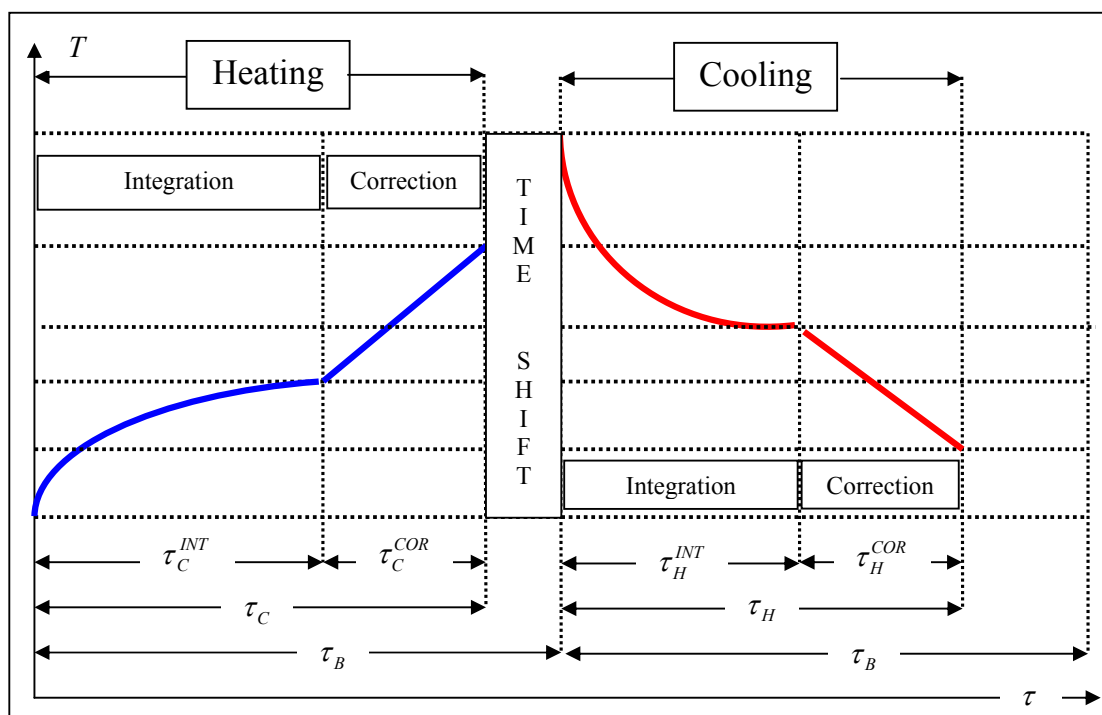
схемните решения, предлагани в предидущите раздели. Най общо достигането на целевите крайни температури на двата реактора се осъществява на два последователни етапа, както е показано на Фиг.4.14. На първият етап се осъществява процес на топлинна интеграция, а на вторият етап се осъществява процес на топлинна корекция с използване на системи за автономно подгръвяне или охлаждане за случаите, когато не са достигнати крайните температури при първия етап.

В тези случаи е възможна топлинна интеграция чрез използване на междинни топлоносители за частично или пълно охлаждане на «Г» реактор. Топлината, предадена на този междинен топлоносител се използва като нагриващ агент за осъществяване на процеса «Нагриване» на «С» реактор в изискуемия времеви интервал. Тази организация на работа на процесите «Нагриване-Охлаждане» изисква включване на допълнителни съоръжения, осъществяващи съхранение на топлината с цел използването и в друг времеви интервал. Възможни са два порхода и съответстващите им схемни решения, които най-общо могат да бъдат:

1. Схеми с отделни топлинни резервоари.
2. Схеми с обобщени топлинни резервоари.

Схемите за топлинна интеграция, работещи в различни времеви интервали имат три основни групи съоръжения: (1) основни реактори, (2) рекуперативни топлообменни апарати и (3) топлинни резервоари. Математичните модели на процесите на топлообмен ще бъдат валидни при следните предположения:

1. Реакторите са с идеално смесване.
2. Топлинните капацитети и коефициентите за топлопреминаване са константи.
3. Минималната температурна разлика ΔT_{\min} е предварително зададена.
4. Преходните процеси при топлопреминаването са пренебрежимо малки.
5. Топлинните загуби са пренебрежимо малки и не се отчитат.



Фиг.4.14. Процесите «Нагриване» и «Охлаждане» във времето.

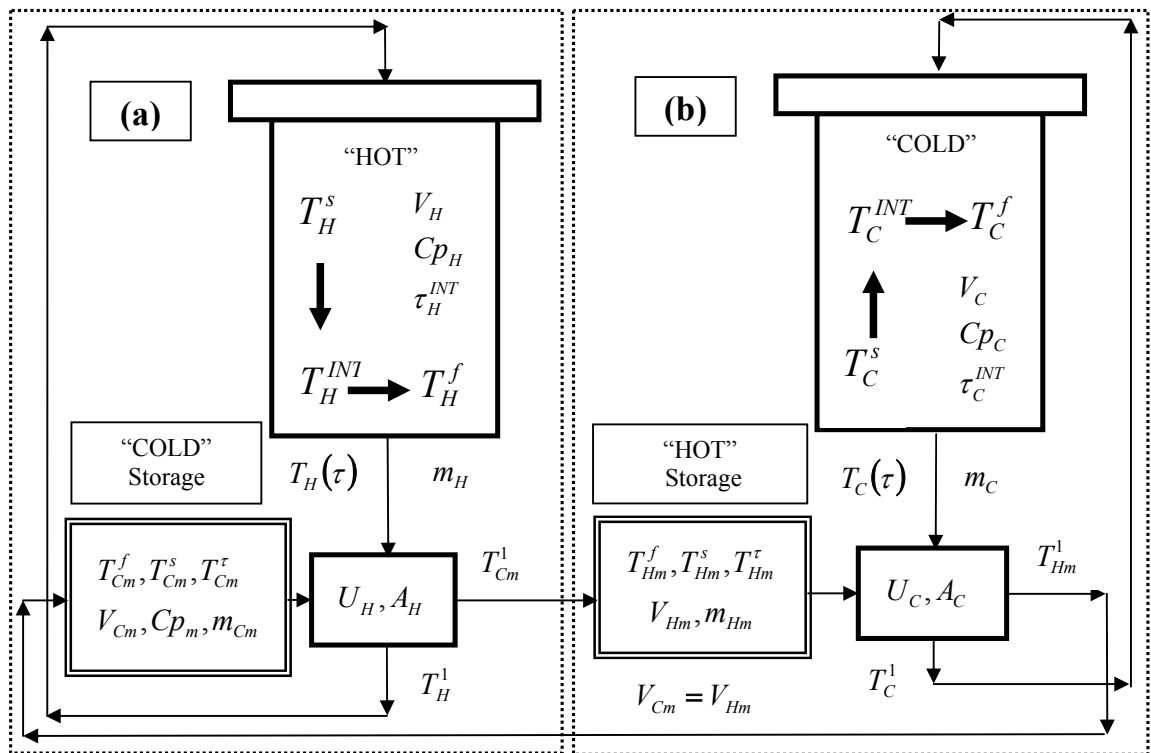
4.4.1. Модели на процесите в схеми с индиректна топлинна интеграция.

- 1) Модел на процесите при схема за индиректна топлинна интеграция в двойка «Г-С» апарати с използване на два топлинни резервоара [9].

Схемата за топлинна интеграция с два топлинни резервоара е показана на Фиг.4.15. При тази схема охлаждането на «Г» реактор до температура T_H^{INT} се осъществява с помощта на междинния флуид, намиращ се в «С» топлинен резервоар, а доохлаждането до температура T_H^f с помощта на външна автономна система за охлаждане с използване на външен хладагент. Предполага се, че междинния топлоносител, намиращ се в този топлинен резервоар е охладен до температура T_C^f при осъществяване на процеса «Нагриване» на «С» реактор на предишен времеви интервал. Показаната схема ще разгледаме като състояща се от два контура, които осъществяват процесите «Нагриване» и «Охлаждане» в различни времеви интервали с продължителности съответно τ_H^{INT} за процеса «Охлаждане» на «Г» реактор и съответно τ_C^{INT} за процеса «Нагриване» на «С» реактор чрез топлинна интеграция и за двата процеса. Двата топлинни резервоара имат еднаква вместимост $V_{Cm} = V_{Hm}$. По-долу ще разгледаме моделите на двата процеса и тяхното обвързване в обща схема «Г-С» апарати.

А). Модел на процеса «Охлаждане» на «Г» реактор, осъществяван с помощта на «С» топлинен резервоар.

Процеса «Охлаждане» на «Г» реактор чрез топлинна интеграция се осъществява във времеви интервал τ_H^{INT} по схема, показана на Фиг.4.15а с дебит на циркулиращия флуид на «Г» реактор m_H . За охладящ агент се използва + междинен флуид, намиращ се в «С» топлинен резервоар.



Фиг.4.15. Схема за индиректна топлинна интеграция с два топлинни резервоара с рецикл на основните флуиди.

Математичният модел на процеса на топлообмен в този контур се описва от уравненията (4.70), (4.71):

$$\frac{dT_H}{d\tau} = G_H T_H^1 - G_H T_H, \quad (4.70)$$

$$\left. \begin{aligned} T_H^1 &= T_H - (T_H - T_{Cm}^f) \Phi e_H \\ T_{Cm}^1 &= T_{Cm}^f + (T_H - T_{Cm}^f) k_H \Phi e_H \end{aligned} \right\} \quad (4.71)$$

където,

$$m_{Cm} = \frac{V_{Cm}}{\tau_H}, \quad G_H = \frac{m_H}{V_H}, \quad k_H = \frac{(m_H C_{pH})}{(m_{Cm} C_{p_m})}, \quad w_H = \frac{1}{(m_H C_{pH})} - \frac{1}{(m_{Cm} C_{p_m})},$$

$$\Phi e_H = \frac{(1 - \exp(-w_H U_H A_H))}{(1 - k_H \exp(-w_H U_H A_H))}.$$

След извършване на необходимите преобразувания на (4.70), (4.71) и решение на полученото уравнение при начално условие $T_H(0) = T_H^s$, се достига до (4.72):

$$T_H(\tau) = T_{Cm}^f + (T_H^s - T_{Cm}^f) \exp(a_{11}^H \tau). \quad (4.72)$$

Температурата до която е охладен реактора в края на процеса на топлинната интеграция ще бъде (4.73):

$$T_H^{INT} = T_{Cm}^f + (T_H^s - T_{Cm}^f) \exp(a_{11}^H \tau_H^{INT}). \quad (4.73)$$

Замествайки $T_H(\tau)$ (4.72) в (4.71) за изменението на температурата на изход от топлообменния апарат $T_{Cm}^1(\tau)$ във времето се записва (4.74):

$$T_{Cm}^1(\tau) = T_{Cm}^f + k_H \Phi e_H (T_H^s - T_{Cm}^f) \exp(a_{11}^H \tau). \quad (4.74)$$

Прехвърлянето на междинния топлоносител се осъществява във «Г» топлинен резервоар за съхранение и последващо използване за нагряване на «С» апарат. За текущата температура на сместа в този топлинен резервоар се записва зависимостта (4.75):

$$T_{Hm}^r(\tau) = T_{Cm}^f + \frac{(k_H (T_H^s - T_{Cm}^f))}{G_H \tau} (1 - \exp(a_{11}^H \tau)), \quad 0 < \tau \leq \tau_H^{INT}. \quad (4.75)$$

За $\tau = \tau_H^{INT}$, когато процеса на охлаждане на «Г» реактор е завършил за температурата на «Г» топлинен резервоар ще бъде (4.76):

$$T_{Hm}^f = T_{Cm}^f + \frac{(k_H (T_H^s - T_{Cm}^f))}{G_H \tau_H^{INT}} (1 - \exp(a_{11}^H \tau_H^{INT})), \quad (4.76)$$

и количеството междинен топлоносител в този резервоар е $V_{Hm} = m_{Cm} \tau_H^{INT}$.

4) *Модел на процесите при индиректна топлинна интеграция в двойка «Г-С» апарати и общ топлинен резервоар с рецикл в двата апарата [10].*

Този начин на топлинна интеграция в двойка «Г-С» реактора се осъществява в различни времеви интервала с продължителности τ_C^{INT} и τ_H^{INT} , но за разлика от предишните случаи се използва един топлинен резервоар. Процесът «Охлаждане» на «Г» реактор се осъществява във времеви интервал с продължителност τ_H^{INT} чрез рециркулация на охлаждаания флуид и междинния топлоносител, намиращ се в топлинния резервоар с използване на рекуперативния топлообменен апарат с параметри U_H, A_H , като циркулацията се осъществява с дебити съответно m_H за основния флуид и m_{Cm} за междинния флуид от топлинния резервоар. Процесът «Нагряване» на «С» реактор се осъществява също с рецикл на флуида в този реактор и използване на междинния флуид от топлинния резервоар, който на предишната стъпка е бил нагрят в процеса на охлаждане на «Г» реактор. Дебитите на циркулиращите флуиди са m_C за основния и съответно m_{Hm} за междинния флуид на топлинния резервоар. Теплообмена и тука се осигурява от рекуперативния топлообменен апарат с параметри U_C, A_C .

А) *Модел на процесите «Охлаждане» на «Г» реактор с използване на топлоносителя от топлинния резервоар.*

Математичният модел на процеса «Охлаждане» на «Г» реактор с помощта на междинния топлоносител, намиращ се в топлинния резервоар Фиг.4.16а се описват според системата уравнения (4.77), (4.78):

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT_H}{d\tau} &= G_H T_H^1 - G_H T_H \\ \frac{dT_{Cm}}{d\tau} &= G_{Cm} T_{Cm}^1 - G_{Cm} T_{Cm} \end{aligned} \right\}, \quad (4.77)$$

$$\left. \begin{aligned} T_H^1 &= T_H - (T_H - T_{Cm}) \Phi e_H \\ T_{Cm}^1 &= T_{Cm} + (T_H - T_{Cm}) k_H \Phi \end{aligned} \right\}, \quad (4.78)$$

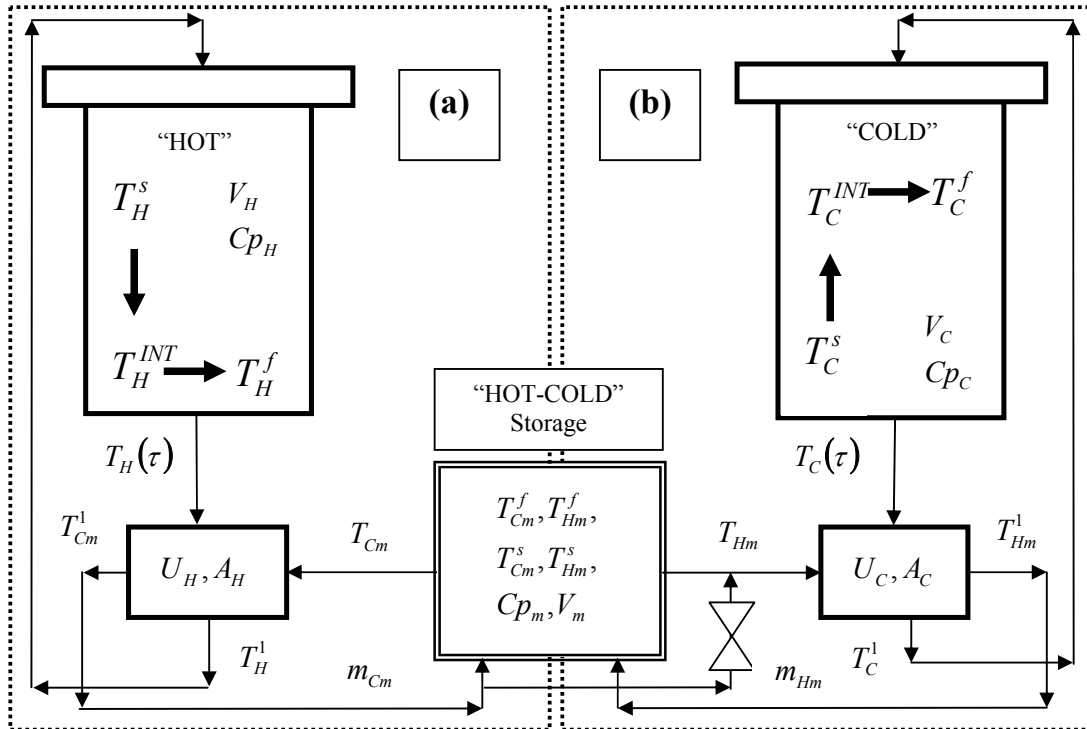
$$G_H = \frac{m_H}{V_H}, \quad G_{Cm} = \frac{m_{Cm}}{V_m}, \quad k_H = \frac{m_H C_{pH}}{m_{Cm} C_{pCm}},$$

$$w_H = \frac{1}{m_H C_{pH}} - \frac{1}{m_{Cm} C_{pCm}}, \quad \Phi e_H = \frac{1 - \exp(-w_H U_H A_H)}{1 - k_H \exp(-w_H U_H A_H)}.$$

След извършване на заместване на (4.78) в (4.77) и преобразувания се стига до системата диференциални уравнения, която има решение от вида: от вида (4.79):

$$\left. \begin{aligned} T_H(\tau) &= C_{H1} + C_{H2} \exp(r_{H2} \tau) \\ T_{Cm}(\tau) &= C_{H1} + \left(\frac{r_{H2}}{a_{12}^H} + 1 \right) C_{H2} \exp(r_{H2} \tau) \end{aligned} \right\}, \quad (4.79)$$

където, $r_{H2} = \Phi e_H (G_H + G_{Cm} k_H)$, $C_{H1} = T_H^s - \frac{a_{12}^H}{r_{H2}} (T_{Cm}^s - T_H^s)$, $C_{H2} = \frac{a_{12}^H}{r_{H2}} (T_{Cm}^s - T_H^s)$.



Фиг.4.16. Схема за индиректна топлинна интеграция с един топлинни резервоара.

Температурите на «Г» реактор и на междинния флуид в топлинния резервоар в края на процеса охлаждане при $\tau = \tau_H^{INT}$ са съответно (4.80):

$$\left. \begin{aligned} T_H^{INT} &= C_{H1} + C_{H2} \exp(r_{H2} \tau_H^{INT}) \\ T_{Cm}^f &= C_{H1} + \left(\frac{r_{H2}}{a_{12}^H} + 1 \right) C_{H2} \exp(r_{H2} \tau_H^{INT}) \end{aligned} \right\}, \quad (4.80)$$

В) Модел на процесите «Нагриване» на «С» реактор с използване на междинен топлоносител от топлинния резервоар.

Схемата, която се използва за осъществяване на процеса «Нагриване» на «С» реактор е показана на Фиг.16б. Този процес е с продължителност τ_C^{INT} и за нагриване на «С» реактор се използва междинният флуид, намиращ се в топлинния резервоар, нагряд до температура T_{Hm}^s при провеждане на процеса «Охлаждане» на «Г» реактор на предидущия времеви интервал.

Процесите се описват от системата уравнения (4.81), (4.82):

$$\left. \begin{aligned} \frac{dT_C}{d\tau} &= G_C \cdot T_C^1 - G_C \cdot T_C \\ \frac{dT_{Hm}}{d\tau} &= G_{Hm} \cdot T_{Hm}^1 - G_{Hm} \cdot T_{Hm} \end{aligned} \right\}, \quad (4.81)$$

$$\left. \begin{aligned} T_C^1 &= T_C + (T_{Hm} - T_C) k_C \Phi e_C \\ T_{Hm}^1 &= T_{Hm} - (T_{Hm} - T_C) \Phi e_C \end{aligned} \right\}, \quad (4.82)$$

където,

$$G_C = \frac{m_C}{V_C}, \quad G_{Hm} = \frac{m_{Hm}}{V_m}, \quad w_C = \frac{1}{m_{Hm} C_{p_{Hm}}} - \frac{1}{m_C C_{p_C}}, \quad k_C = \frac{m_{Hm} C_{p_{Hm}}}{m_C C_{p_C}}, \quad \Phi e_C = \frac{1 - \exp(-w_C U_C A_C)}{1 - k_C \exp(-w_C U_C A_C)}.$$

След извършване на заместване на (4.82) в (4.81) и преобразувания се стига до решение на системата уравнения при началните условия $T_C(0) = T_C^s$, и $T_{Hm}(0) = T_{Hm}^s$ от вида;

$$\left. \begin{aligned} T_C(\tau) &= C_{C1} + C_{C2} \exp(r_{C2} \tau) \\ T_{Hm}(\tau) &= C_{C1} + \left(\frac{r_{C2}}{a_{12}^C} + 1 \right) C_{C2} \exp(r_{C2} \tau) \end{aligned} \right\}, \quad (4.83)$$

$$\text{където, } r_{C2} = \Phi e_C (G_C + G_{Hm} k_C), \quad C_{C1} = T_C^s - \frac{a_{12}^C}{r_{C2}} (T_{Hm}^s - T_C^s), \quad C_{C2} = \frac{a_{12}^C}{r_{C2}} (T_{Hm}^s - T_C^s).$$

Температурите на «С» реактор и на междинния флуид в топлинния резервоар в края на процеса охлаждане при $\tau = \tau_C^{INT}$ са съответно (4.84):

$$\left. \begin{aligned} T_C^{INT} &= C_{C1} + C_{C2} \exp(r_{C2} \tau_C^{INT}) \\ T_{Hm}^f &= C_{C1} + \left(\frac{r_{C2}}{a_{12}^C} + 1 \right) C_{C2} \exp(r_{C2} \tau_C^{INT}) \end{aligned} \right\}, \quad (4.84)$$

Разглеждайки горе описаните два процеса «Нагриване» и «Охлаждане» като една взаимно свързана система от последователни извършващи се процеси то трябва да се има предвид че, $T_{Hm}^f = T_{Cm}^s$ и $T_{Cm}^f = T_{Hm}^s$. Извършвайки съответните замествания в (4.83) при $\tau = \tau_C^{INT}$ и съответно в (4.79) при $\tau = \tau_H^{INT}$ и решавайки двете уравнения по отношение на T_{Cm}^s и T_{Hm}^s се записват зависимостите (4.85):

$$T_{Cm}^s = \frac{(b_{11} + b_{12} b_{21})}{(1 - b_{12} b_{22})}, \quad T_{Hm}^s = \frac{(b_{21} + b_{11} b_{22})}{(1 - b_{12} b_{22})}, \quad (4.85)$$

$$\left. \begin{aligned} b_{11} &= T_C^s \left(\frac{a_{12}^C}{r_{C2}} + 1 \right) \left(1 - \exp(r_{C2} \tau_C^{INT}) \right) \\ b_{12} &= -\frac{a_{12}^C}{r_{C2}} + \left(\frac{a_{12}^C}{r_{C2}} + 1 \right) \exp(r_{C2} \tau_C^{INT}) \end{aligned} \right\}, \quad \left. \begin{aligned} b_{21} &= T_H^s \left(\frac{a_{12}^H}{r_{H2}} + 1 \right) \left(1 - \exp(r_{H2} \tau_H^{INT}) \right) \\ b_{22} &= -\frac{a_{12}^H}{r_{H2}} + \left(\frac{a_{12}^H}{r_{H2}} + 1 \right) \exp(r_{H2} \tau_H^{INT}) \end{aligned} \right\}$$

4.4.2. Формулиране на задачата за синтез и реновация при схеми с индиректна топлинна интеграция [4], [11].

Както бе описано процесите «Нагриване» и «Охлаждане» се осъществяват в различни времеви интервали. Всеки един от тези процеси се състои от два последователни подпроцеса «Интеграция» и «Корекция». Тези два подпроцеса се осигуряват от система за топлинна интеграция (с използване на една от горе разгледаните схеми) и автономна система за корекция.

Задачата за синтез трябва да реши следните задачи:

1. Избор на система за осъществяване на процеса на топлинната интеграция.
2. Определяне на конструктивните параметри на избраната схема.
3. Определяне на режимните параметри на системата за топлинна интеграция.
4. Определяне на конструктивни и режимни параметри на системата за корекция.

Задачата за реновация на съществуваща система за нагриване и охлаждане на двойка «Г-С» реактори се състои в това да бъде избрана система за топлинна интеграция и определени нейните оптимални конструктивни и режимни параметри, които осигуряват минимум на приведените разходи за изграждане и експлуатация на системата. В този случай се предполага, съществуват системи за автономно нагриване и охлаждане.

А) Формулиране на задачата за синтез на топлинно интегрирана система за «Нагриване» и «Охлаждане» в различни времеви интервали [11].

Задачата за синтез на система за «Нагриване» и «Охлаждане» в двойка «Г-С» периодични реактори се свежда до определяне на основните конструктивни и режимни параметри за определена схема за топлинна интеграция и корекция. Процесите «Нагриване» и «Охлаждане» се осъществяват във времето така, както е показано на Фиг.4.14. Системите за топлинна интеграция и топлинна корекция са автономни.

За горе разгледаните схеми за топлинна интеграция, осъществявана в различни времеви интервали с помощта на топлинни резервоари може да се формулира обобщена целева функция в която са отразени двата компонента, а именно експлуатационните разходи свързани с работата на цялата система и капиталните разходи, свързани с изграждане на системата.

Най-общо целевата функция има вида (4.86):

$$F^S = \left(\frac{H}{\tau_B} \right) E_{COST} + \left(\frac{1}{Pb} \right) C_{COST}, \quad (4.86)$$

където,

H Работните часове на инсталацията за едногодишен период.

τ_B Времето за цикъл за извършване на един процес «Нагриване-Охлаждане».

Pb Нормативен срок за откупуване на дадена инвестиция.

E_{COST} Цената на потребяваната топло и хладо енергия от външните източници, необходима за осъществяване на един цикъл «Нагриване-Охлаждане».

C_{COST} Цената на инсталираните съоръжения, необходими за осъществяване на процесите «Нагриване-Охлаждане» в зависимост от избраната схема.

$$E_{COST} = c_H Q_H + c_C Q_C + c_E Q_E, \quad (4.87)$$

където, c_H, c_C, c_E е цената на топло-енергията, хладо-енергията и ел.енергия, а Q_H, Q_C, Q_E е количеството и, което се използва за осъществяване на един цикъл на процеса и се определя според зависимостите (4.88):

$$\left. \begin{aligned} Q_H &= V_H C p_H (T_H^{INT} - T_H^f) \\ Q_C &= V_C C p_C (T_C^f - T_C^{INT}) \\ Q_E &= \tau_H^{INT} (p_H m_H + p_m m_{Cm}) + \tau_C^{INT} (p_C m_C + p_m m_{Hm}) \end{aligned} \right\}, \quad (4.88)$$

където, p_H , p_C и p_m са мощностите, които се необходими за осигуряване на циркуляцията за единица дебит m_H , m_C , m_m на съответните флуиди в процеса на работа на системата.

Капиталовите разходи C_{COST} се определят от корелационните зависимости, които се използват при проектиране на системата. Те се определят според (4.89):

$$C_{COST} = (C_{COST}^{HC} + SC_{COST}^{HSC}) + C_{COST}^{In}, \quad (4.89)$$

където, $(C_{COST}^{HC} + SC_{COST}^{HSC})$ е цената на системата за топлинна интеграция, която е (4.90):

$$\left. \begin{aligned} C_{COST}^{HC} &= \alpha_e (A_H)^{\beta_e} + \alpha_p (m_H)^{\beta_p} + \alpha_c (A_C)^{\beta_c} + \alpha_p (m_C)^{\beta_p} + \alpha_m (m_H)^{\beta_m} + \alpha_m (m_C)^{\beta_m} \\ C_{COST}^{HSC} &= S (\alpha_m (V_m)^{\beta_m}) \end{aligned} \right\}, \quad (4.90)$$

$\alpha_e, \beta_e, \alpha_p, \beta_p, \alpha_m, \beta_m$ - са корелационни коефициенти за определяне на цената на съпъжението според неговия характерен параметър, а $S=1$ за схеми използващи един топлинен резервоар и $S=2$ за схеми с два топлинни резервоара.

C_{COST}^{In} е цената на автономната системата за топлинна корекция, която се използва при синтезната задача и има вида (4.91):

$$C_{COST}^{In} = \alpha_H (P_H^S)^{\beta_H} + \alpha_C (P_C^S)^{\beta_C}, \quad (4.91)$$

където P_H^S и P_C^S са мощностите на инсталираните външни нагреватели и охладители при осъществяване на процеса на топлинната корекция, а $\alpha_H, \beta_H, \alpha_C, \beta_C$ са корелационните коефициенти за определяне на цената като функция от съответната мощност. Тези мощности се определят според зависимостите (4.92):

$$P_H^S = \frac{(V_H C p_H (T_H^{INT} - T_H^f))}{\tau_H^{COR}}, \quad P_C^S = \frac{(V_C C p_C (T_C^f - T_C^{INT}))}{\tau_C^{COR}} \quad (4.92)$$

Процесите «Нагриване» τ_H и «Охлаждане» τ_C са лимитирани от изискванията за съответната технология.

При така формулираната целева функция (4.86) задачата за синтез на оптимална схема за осъществяване на процеса «Нагриване-Охлаждане» в двойка периодични реактории се формулира като задача на математичното нелинейно програмиране при която се търсят стойности на вектора на управляващите променливи $\{x_i\}$, които осигуряват минимум на целевата функция $MIN(F^S)$ при изпълнение на системата конструктивни и режимни ограничения, които са формулирани съгласно неравенствата (4.93):

$$\left. \begin{aligned} T_H^{INT} \geq T_H^f \left\{ \tau_C \geq \tau_C^{INT} + \tau_C^{COR} \right\} \quad 0 \leq \tau_H^{INT} \leq \tau_H \left\{ 0 \leq \tau_H^{COR} \leq \tau_H \right\} \quad \Delta T_H \geq \Delta T^{\min} \\ T_C^{INT} \leq T_C^f \left\{ \tau_H \geq \tau_H^{INT} + \tau_H^{COR} \right\} \quad 0 \leq \tau_C^{INT} \leq \tau_C \left\{ 0 \leq \tau_C^{COR} \leq \tau_C \right\} \quad \Delta T_C \geq \Delta T^{\min} \\ A_H^{\min} \leq A_H \leq A_H^{\max} \left\{ 0 \leq m_H \leq m_H^{\max} \right\} \quad 0 \leq m_{Hm} \leq m_{Hm}^{\max} \\ A_C^{\min} \leq A_C \leq A_C^{\max} \left\{ 0 \leq m_C \leq m_C^{\max} \right\} \quad 0 \leq m_{Cm} \leq m_{Cm}^{\max} \end{aligned} \right\}, \quad V_m^{\min} \leq V_m \leq V_m^{\max} \quad (4.93)$$

Формулираната по-горе задача за синтез като задача на математичното нелинейно програмиране при непрекъснати управляващи променливи може да бъде решена чрез използване на известните методи и комерсиални програмни средства, такива като **GAMS**, **MATLAB** и други.

4.5. Топлинна интеграция в система «Г-С» периодични апарати.

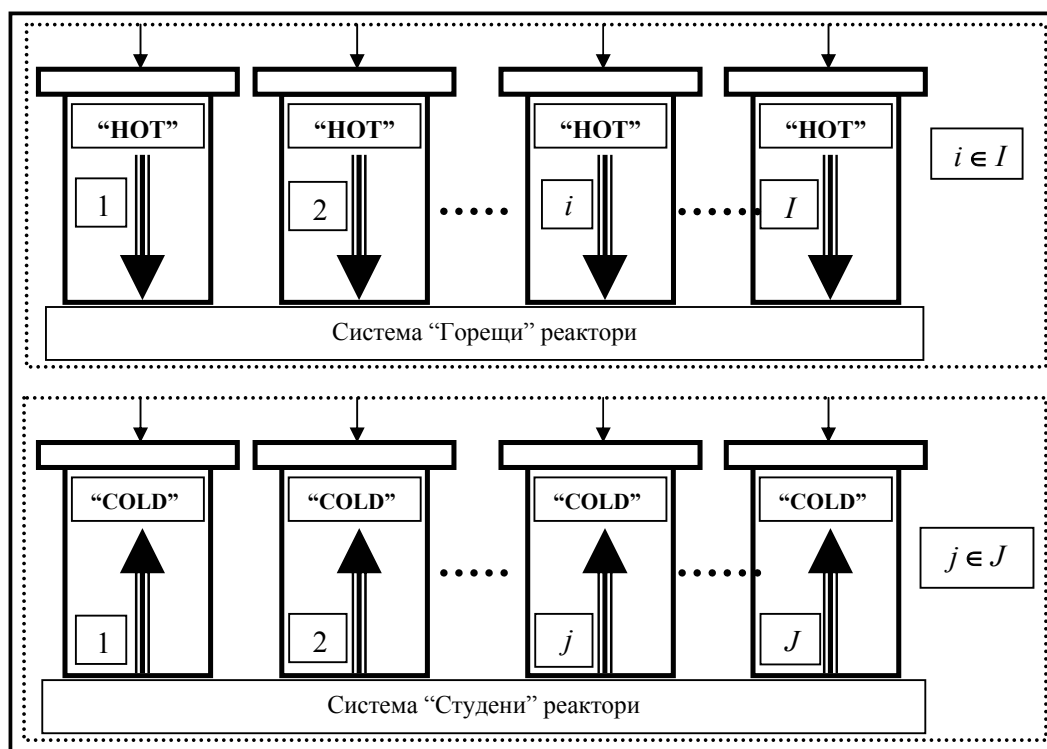
В предишните раздели разгледахме случаи за реновия чрез топлинна интеграция в двойка «Г-С» периодични апарати. Обикновено при работа на многоцелева ХТС с периодични процеси в даден времеви интервал могат да възникнат процеси на нагриване на

група периодични апарати и охлаждане на друга група. Възниква въпросът не е ли възможно да се осъществи процес на топлинна интеграция така както беше за случая с двойка «Г-С» апарати. Очевидно е, че тука нещата са по-сложни и за целта ще бъде необходимо изграждане на гъвкава топлообменна верига, осигуряваща технически процеса на топлинната интеграция, а също така и създаване на такива разписания, които да дадат възможност за осъществяването на процесите във времето.

За осъществяване на топлообмена в системата ще се базираме на разглежданата до сега възможност за топлинна интеграция в двойка «Г-С» периодични апарати.

4.5.1. Описание на проблема.

Предполагаме, че в зададен времеви интервал множество $i \in I$ периодични реактори трябва да бъдат охлаждени от зададени начални температури T_i^S до определени крайни температури T_i^f . Тази група реактори за краткост ще наричаме «Г» реактори. В същото време друго множество $j \in J$ реактори трябва да бъдат нагрети от зададени начални температури T_j^S до определени крайни температури T_j^f . Предполагаме още, че всички данни за охлажданите и нагривани флуиди в реакторите са известни. Освен това предполагаем, че са зададени множество $l \in L$ от достъпни хладоагенти, даващи възможност за охлаждане на «Г» реактори и множество $k \in K$ от достъпни топлоносители за нагриване на студентите реактори. Основните параметри на външните хладоагенти и топлоагенти, достъпни за използване са зададени, а това са следните данни:



Фиг.4.17. Топлинна интеграция в система «Г-С» реактори.

- А) Температури на хладоагентите ($T_l, \forall l \in L$) и на топлоносителите ($T_k, \forall k \in K$).
- Б) Топлосъдържание на хладоагентите ($Cp_l, \forall l \in L$) и на топлоносителите ($Cp_k, \forall k \in K$).
- В) Цената за единица енергия за хладоагентите ($C_l, \forall l \in L$) и на топлоносителите ($C_k, \forall k \in K$).

Задачата на реновацията в горе описаната система «Г-С» периодични апарати чрез топлинна интеграция на процесите се свежда до определяне на:

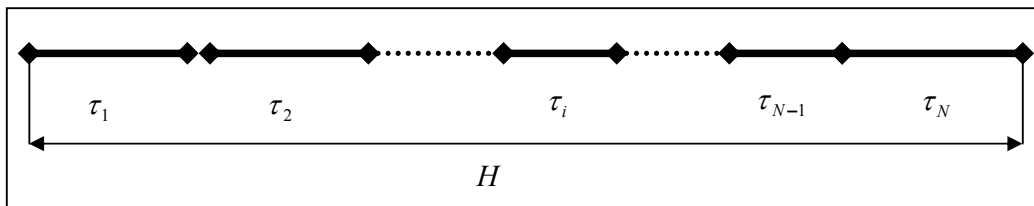
- 1) Структура на гъвкава рекуперативна топлообменна верига инсталирана към тази система.
- 2) Система от външни нагреватели и охладители, чрез използване на достъпните външни хладо и топлоагенти.
- 3) Създаване на разписание във времето за организация на процесите топлинна интеграция и корекция на температурите.

Целта на извършената реновация чрез топлинна интеграция е минимална цена, необходима за външна енергия за осъществяване на процесите нагриване и охлаждане, с отчитане на капиталните разходи необходими за създаване на системите за топлинна интеграция и системата за корекция на температурите.

По-горе описаната цел може да бъде постигната по следния начин:

1. Нека предположим, че процесите нагриване и охлаждане трябва да бъдат осъществени във времеви интервал $(0 \rightarrow H)$.
2. Предполагаме, че този времеви интервал е разделен на N подинтервала, всеки с продължителност τ_n така както е показано на Фиг.4.18.
3. Предполагаме още, че във всеки времеви подинтервал с продължителност τ_n в системата «Г-С» апарати се осъществяват процеси топлинна интеграция по двойки «Г-С» апарати или нагриване/охлаждане с помощта на даден външен топло или хладо агент на даден апарат. Всеки един от тези подинтервали ще наричаме кампания. Последователността на кампаниите е строго определена и не е възможна пермутация. Това е така тъй като резултатите от предишната кампания се използват като стартови данни за следващата кампания.
4. Задачата може да бъде решена като определим параметрите на всяка кампания, които за случая са:
 - продължителност на кампанията τ_n ,
 - множеството двойки «Г-С» апарати, които обменят топлина чрез подходяща схема на топлинна интеграция в рамките на дадена кампания.
 - началните и крайни температури до които се охлажда или нагрива даден апарат при интеграцията в двойка за времето на кампанията.
 - множеството «Г» апарати, които се охлаждат с помощта на даден външен хладоагент и крайните температури, които се достигат.
 - множеството «С» апарати, които се нагриват автономно с помощта на даден външен топлоносител, и крайните температури, които се достигат.

В даден подинтервал (кампания) се предполага, че даден апарат може да извършва само един процес (интеграция или корекция).



Фиг.4.18. Организация на процесите във времето.

Горе описаната цел може да бъде постигната, чрез формулиране задачата в термините на математичното програмиране. За целта е необходимо да представим задачата на езика на математичното програмиране както е описано по-долу:

4.6. Синтез, на гъвкави топлообменни вериги за МХТС [15].

МХТС са едни от най-широко използваните за производството на широка гама малотонажни продукти. Както при повечето малотонажни производства, така и при тях преобладава периодичната организация на работа. Използуваните сложни схеми на

химически синтез ги правя един сериозен консуматор на енергия. От своя страна, периодичния начин на работа води до неравномерно натоварване на използваните външни енерго-системи, а от там и до неефективната им работа.

Единият от начините за оптималното натоварване на външните енергосистеми е посредством избор на такива разписания за производство на продуктите, позволяващи кривите на енергопотреблението за целия планов период да бъдат максимално близки до планираното натоварване на енергосистемите. Често, при това се включват и ограничения за ненадвишаване потреблението по даден вид енергоносител над определено ниво.

Друг подход за намаляване на вредното влияние на пиковото натоварване на енергосистемите е посредством рекуперация на наличната в МХТС топлина. В този случай е необходимо да се създават такива разписания, които да създават условия за подходяща топлинна интеграция между периодичните стадии изискващи нагряване и охлаждане.

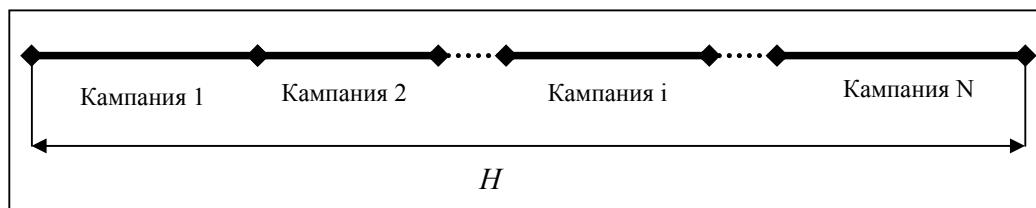
Освен до намаляване на използваната външна енергия, в описаните два подхода, като вторичен ефект се получава и снижаване на емисиите от вредни газове като SO_2 , CO_2 , NO_2 и др. В първия случай това снижаване е в резултат на създаване на условия за оптимална работа на енергосистемите, а във втория вследствие на намаляване на потреблението на горещи енергоносители като пара и др., получавани чрез подгряване посредством изгаряне на природен газ.

На решаването на проблема на рекуперацията на топлината в многопродуктови химико-технологични системи е посветено изследването, представено в този раздел.

4.6.1. Описание на проблема за синтез, на гъвкави теплообменни вериги за МХТС.

Разглежда се МХТС, състоящ се от няколко многопродуктови технологични линии. На всяка една от тях, в последователен ред, се произвеждат различен брой продукти. Производството на тези продукти се осъществява чрез последователно реализиране на отделни периодични технологични стадии. Известно е разпределението на технологичните стадии по апаратите на многопродуктовата технологична линия.

За определен, за цеха, планов хоризонт H трябва да бъдат произведени зададени количества от предварително определени продукти от допустимия асортимент. Производството на продуктите е организирано на кампанияния принцип както е показано на Фиг.4.20. Това ще рече, че в зададен интервал от време (т.е. кампания) в цеха се произвежда най-много по един продукт на всяка една от технологичните линии, в следващ интервал от време, т.е. следваща кампания, друг набор от продукти и т.н.

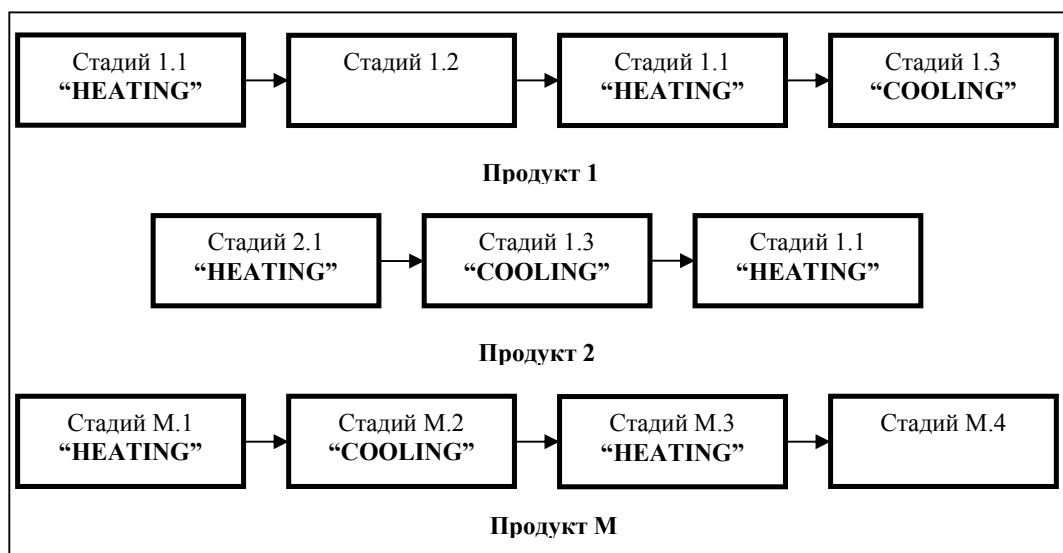


Фиг.4.19. Производствен план, като съвокупност от производствени кампании.

Предполага се, че сред технологичните стадии има такива, които изискват нагряване, а други – охлаждане, чрез използване на външни източници на топлина и студ. За тези стадии са известни продължителността на процесите и количеството външна енергия, осигуряващо достигането на желаните крайни температури.

За да се определи допустимото множество от кампании, които се използват при съставяне на разписанията се използва подхода описан от *Vaklieva-Bancheva, N., B. Ivanov (1993) [5]*. Чрез него се идентифицират всички кандидат кампанията, които след това се анализират по отношение на мощността на потребление по дадени енергоносители. Тези от кандидат кампанията, при които сериозно се надвишава максималното пиково натоварване се отхвърлят.

За всяка от тези кампании се определя рекуперативната топлообменна мрежа, осигуряваща минимум на разходите за осъществяване на процесите на нагряване и охлаждане. В резултат на тези процедури се определят количеството енергия, за всеки един енергоносител, необходимо за обслужване на процесите и множествата на инсталираните рекуперативни топлообменници, нагреватели и охладители.



Фиг.4.20. Структура на производствената кампании.

Целта е да се определят производствените разписания (т.е. съставящите ги кампании и тяхната продължителност) на цеха и топлообменната мрежа, осигуряващи минимална цена за осъществяване на процесите на нагряване и охлаждане.

4.6.2. Организация на топлинната интеграция в система периодични апарати в зададен временен интервал.

На въпросите за възможните начини на организация на топлинната интеграция в система периодични апарати, достъпни в зададен временен интервал са посветени някои от изследванията [3], [4], [6], [7], [11], [12], [13]. В настоящата секция на кратко се разглеждат някои от тези възможности, като целта във всеки от изброените по-долу случаи, е да се определят следните основни параметри като количеството рекуперирана топлина и стойността на топлообменната мрежа.

1) Рекуперативен топлообмен в двойка «Г-С» апарати

Възможностите за топлинна интеграция в двойка са показани на Фиг.4.2., Фиг.4.3., Фиг.4.4., Фиг.4.5., Фиг.4.6., Фиг.4.7., Фиг.4.8. Подробно методите за определяне на основните параметри в топлинно-интегрирана двойка «Г-С» апарати, за различни варианти на интеграция, са описани в т.4.1.

2) Рекуперативен топлообмен в система «Г-С» апарати.

Този подход е за първи път е предложен от *Vaselenak J.A. et al. (1986)*. Целта при него е максимална икономия на енергия в резултат на организацията на оптимална временна последователност на рекуперацията на топлината в системата. Използвайки подхода на *Vaselenak J.A. et al. (1986)*, *B. Ivanov et al. (1993)* [11] го усъвършенствува по отношение възможностите за определяне на стойността на топлообменното оборудване, необходимо за осъществяване на получената оптимална временна последователност.

5. ОПТИМАЛНО НАТОВАРВАНЕ НА СИСТЕМИТЕ ЗА РЕСУРСОПОТРЕБЛЕНИЕ ПРИ РАБОТАТА НА МХТС [16], [18], [19], [24], [32].

В Глава 2 бе описан начинът на работа на химико-технологичните системи с периодични процеси. Най-характерното при тях е това, че в процеса на тяхната работа се

натоварват различните системи за потребление на ресурси (парова централа, водозахранване, ел.захранване и др.) пиково. Този начин на натоварване в определени случаи може да доведе до аварии или до неефективност на работата им. Оптималното натоварване ще разглеждаме по-долу в смисъл на осигуряване на условия (подходящи разписания за работа на отделните производства и параметри на работа на отделните производствени линии), които осигуряват натоварване на отделните системи или група от тях по начин, който в максимална степен се доближава до начина натоварването им, ако тези производства биха боли с непрекъснато действие. Важен момент е да бъдат математически формулирани съответни критериални зависимости, с помощта на които да могат да се оценяват различните варианти.

5.1. Математически модели на ресурсопотреблението при работата на МХТС с периодични процеси.

В качеството си на ресурсоконсуматори се разглеждат различни начини на работа при реализиране на технологии в МХТС с периодични процеси, които са обект на изследване в настоящата дисертационна работа.

По долу последователно се разглеждат най-често използвани начини на организация на производството на МХТС с периодични процеси, а именно:

1. *Едностадийна технология на производство осъществявана в апарат с периодично действие.*
2. *Многостадийна технология на производство, работеща в режим с нулево изчакване между стадите ("ZERO WAIT") осъществявана при организация на работа с и без покриване на циклите.*
3. *Многостадийна технология на производство осъществявана в апарати работещи в режим с ненулево изчакване между стадите ("NON ZERO WAIT") с и без покриване на циклите.*
4. *Многостадийна технология на производство осъществявана в режим с нулево изчакване между стадите ("ZERO WAIT) при наличие на паралелно работещи апарати извън фаза с покриване на циклите.*
5. *Многостадийна технология на производство осъществявана в режим с нулево изчакване между стадите ("ZERO WAIT) при наличие на паралелно работещи апарати във фаза с покриване на циклите.*
6. *Работа на група производства работещи едновременно в производствена кампания.*

При изброените вече начини на организация на производството, чрез използване на едно и многостадийна технология се предполага, че е зададена технологията за производство на продукта. Най-общо то се състои от множество стадии, които се извършват последователно във времето в един или няколко апарата. За всеки един от стадите са зададени следните основни характеристики:

1. *Характеристики на операциите на всеки стадий, които включват:*

1.1. **Времетраене на операциите**, обозначени с τ_{ijp} за i -тото производство при провеждане на j -тия стадий на p -тата операция.

1.2. **Ресурсопотребление на операцията**. Предполага се, че при производството на даден продукт чрез използване на дадена технология определени операции използват известно количество от даден тип ресурс. Последното се представя във вид на множеството $E_i = \{e_{ijpw}\}$, където e_{ijpw} представлява количеството ресурс от w -тия тип необходимо за провеждане на p -тата операция от j -тия стадий при производство на i -тата технология, отнесено за единица краен продукт. Освен това предполага се, че потреблението на ресурс от даден тип по време на операцията е постоянно за времето на неговото провеждане. При това мощността на косумацията на съответния ресурс ще бъде:

$$P_{ijpw} = \left(\frac{e_{ijpw}}{\tau_{ijp}} \right), \forall i, j, p, w.$$
 Най общо се предполага, че при реализирането на дадена

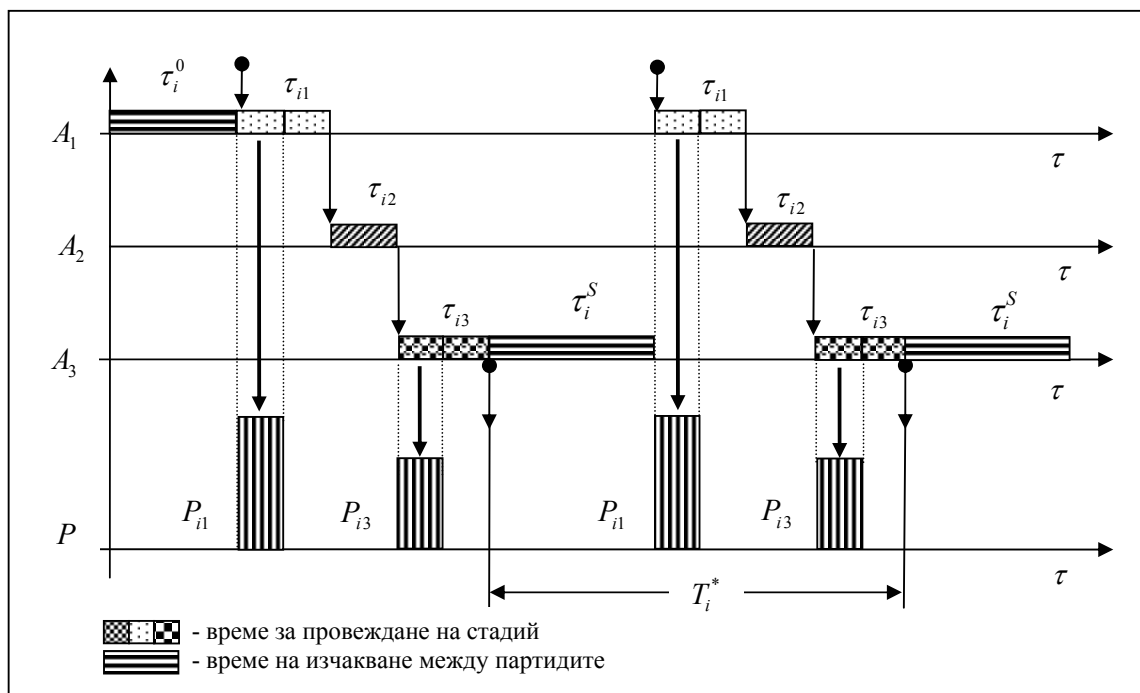
технология в определени апарати, необходимите ресурси са пропорционални на размера на партидата. Знаейки B_i лесно може да се определи по какъв начин дадена операция от производство натоварва съответната външна система при реализирането му в МХТС.

2. *Време за изчакване на стадия преди прехвърляне на материала в следващия апарат. Предполага се, че е зададено множеството от допустими максимални времена на изчакване τ_{ij}^{0lim} за всички стадии на разглежданата технология.*

3. *Размерен фактор за всеки стадий от технологията. Отбелязва се с s_{ij} за j -тия стадий на i -тата технология и се дефинира като работния обем необходим за провеждане на j -тия стадий за производство на единица краен продукт по i -тата технология.*

5.1.2. Модел на ресурсопотреблението на многостадийна технология, работеща в режим с и без покриване на циклите и нулево изчакване между стадийте.

При многостадийните технологии се предполага, че производството на продукта се осъществява посредством последователно изпълнени технологични стадии във времето в различни физически апарати. Режимът на нулево изчакване между стадийте означава, че след приключване на операциите от съответния стадий следва незабавно прехвърляне на материала в следващ апарат за провеждане на операциите от следващия стадий. За всеки един от стадийте са зададени времевите характеристики, коефициентите на ресурсопотребление по всички ресурси и размерните фактори, в съответствие с т.5.1.



Фиг.5.1. Диаграма на Гант на многостадийна технология без покриване на циклите.

За многостадийна технология изпълнявана в апарати на системата в режим без покриване на циклите, времевата диаграма на Гант има вида, показан на Фиг.5.1.

Процесът е периодичен с период на повторяемост, определен съгласно (5.1):

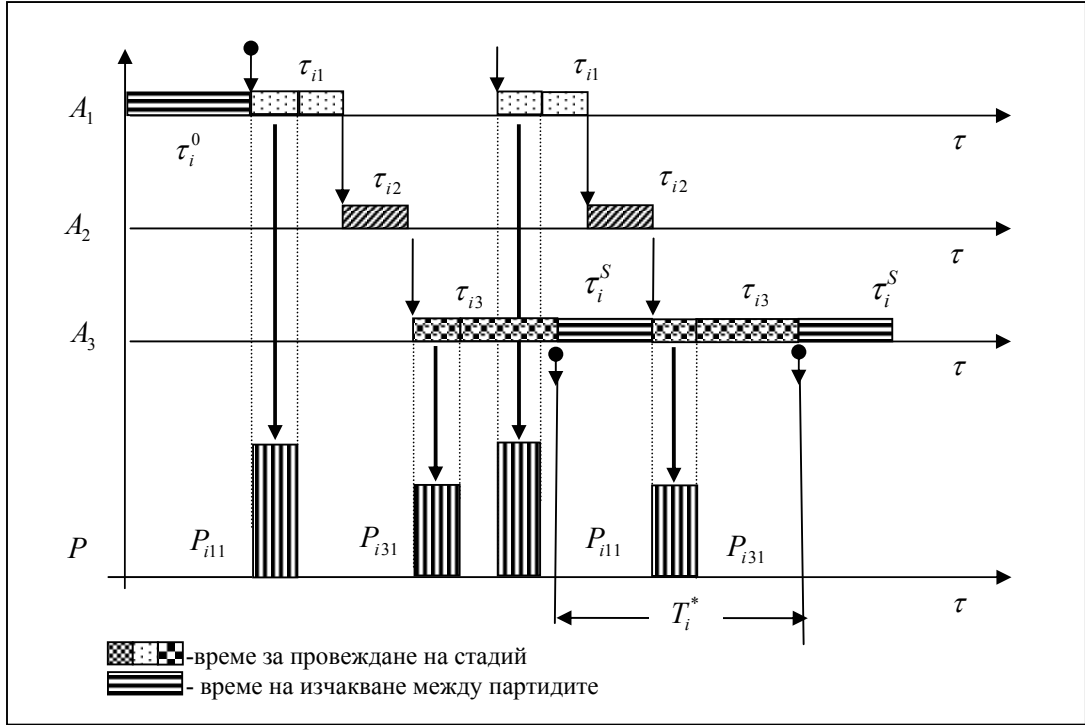
$$T_i^* = \sum_{j \in J_i} \sum_{p \in P_i} \tau_{ijp} + \tau_i^s, \quad (5.1)$$

където τ_i^s е времето на изчакване на началото на всяка следваща партида.

Както и при едностадийните технологии τ_i^s се въвеждат от технологични съображения (почистване и др.) и са управляващи параметри, с помощта на които се търси оптимално натоварване на системите за потребление на ресурси.

Диаграмата на Гант за случая на изпълнение на многостадийната технология в режим с покриване на циклите има вида, показан на Фиг.5.2., а процесът е периодичен с период на повторяемост (5.2):

$$T_i^* = \text{MAX}_{j \in J_i} \left(\sum_{p \in P_j} \tau_{ijp} \right) + \tau_i^s. \quad (5.2)$$



Фиг.5.2. Диаграма на Гант за многостадийна технология с покриване на циклите.

Функцията на изменение на мощността на натоварване по отношение на даден ресурс е периодична за случая без покриване на циклите с период на повторяемост (5.1) и за случая с покриване на циклите (5.2). Тя може да се представи в аналитичен вид чрез разложение в ред на Фурие и в случая на изменение на мощността във времето за p -тата операция от j -тия стадий на i -тата технология по отношение на w -тия ресурс има вида:

$$P_{ijpw}(\tau) = \left. \begin{aligned} & \frac{A_{ijpw}^0}{2} + \sum_{k \in K} \left(A_{ijpw}^k \sin \left(\frac{2\pi k}{T_i^*} (\tau - \tau_{ijp}^{shift}) \right) \right) + \\ & \sum_{k \in K} \left(B_{ijpw}^k \cos \left(\frac{2\pi k}{T_i^*} (\tau - \tau_{ijp}^{shift}) \right) \right) \end{aligned} \right\}, \quad \forall i, j, p, w, \quad (5.3)$$

където, τ_{ijp}^{shift} представлява изместването на периодичната крива на j -тия стадий за i -тото производство по време на p -тата операция и се определя чрез зависимостта:

$$\tau_{ijp}^{shift} = \tau_i^0 + \sum_{j \in J_i} \sum_{p \in P_j} \tau_{ijp} + \sum_{p \in P_j} \tau_{ijp} - \sum_{p \in P_{i1}} \tau_{i1p} - \tau_{ij1}, \quad \forall i, j, p,$$

$$\left. \begin{aligned} A_{ijpw}^0 &= \frac{2 e_{ijpw}}{T_i^*} \\ A_{ijpw}^k &= \frac{e_{ijpw}}{\pi k \tau_{ij}} \sin\left(\frac{2\pi k \tau_{ij}}{T_i^*}\right) \\ B_{ijpw}^k &= \frac{e_{ijpw}}{\pi k \tau_{ij}} \cos\left(\frac{2\pi k \tau_{ij}}{T_i^*}\right) \end{aligned} \right\}, \quad (5.4)$$

e_{ijpw} количеството ресурс от w -тия тип необходимо за провеждане на p -тата операция от j -тия стадии за производство на единица продукт по i -тата технология.

$A_{ijpw}^0, A_{ijpw}^k, B_{ijpw}^k$ коефициентите от разложението в ред на Фурие, $k \in K$ номер на хармоника от разложението в ред на Фурие.

След преобразувания на (5.4) функциите на изменение на мощността във времето придобиват вида (5.5):

$$P_{ijpw}(\tau) = \frac{A_{ijpw}^0}{2} + \sum_{k \in K} \left(A_{ijpw}^{k*} \sin\left(\frac{2\pi k}{T_i^*} \tau\right) \right) + \sum_{k \in K} \left(B_{ijpw}^{k*} \cos\left(\frac{2\pi k}{T_i^*} \tau\right) \right), \quad \forall i, j, w, p \quad (5.5)$$

където,

$$A_{ijpw}^{k*} = A_{ijpw}^k \cos\left(\frac{2\pi k \tau_{ij}^{Shift}}{T_i^*}\right) + B_{ijpw}^k \sin\left(\frac{2\pi k \tau_{ij}^{Shift}}{T_i^*}\right), \quad \forall k \in K, \forall i, j, w, p \quad (5.6)$$

$$B_{ijpw}^{k*} = B_{ijpw}^k \cos\left(\frac{2\pi k \tau_{ij}^{Shift}}{T_i^*}\right) - A_{ijpw}^k \sin\left(\frac{2\pi k \tau_{ij}^{Shift}}{T_i^*}\right), \quad \forall k \in K, \forall i, j, w, p. \quad (5.7)$$

Отнесена за единица краен продукт, функцията на натоварване на външната система захранваща с w -тия вид ресурс i -тата технология придобива вида:

$$P_{iw}(\tau) = \sum_{j \in J_i} \sum_{p \in P_j} P_{ijpw}(\tau), \quad \forall i, w \quad (5.8)$$

или след заместването на (5.5) в (5.8) то придобива вида (5.9):

$$P_{iw}(\tau) = \frac{A_{iw}^0}{2} + \sum_{k \in K} \left(A_{iw}^{k*} \sin\left(\frac{2\pi k}{T_i^*} \tau\right) \right) + \sum_{k \in K} \left(B_{iw}^{k*} \cos\left(\frac{2\pi k}{T_i^*} \tau\right) \right), \quad \forall i, w, \quad (5.9)$$

където,

$$\left. \begin{aligned} A_{iw}^0 &= \sum_{j \in J_i} \sum_{p \in P_j} \left(\frac{2 e_{ijpw}}{T_i^*} \right) \\ A_{iw}^{k*} &= \sum_{j \in J_i} \sum_{p \in P_j} \left(A_{ijpw}^{k*} \right) \\ B_{iw}^{k*} &= \sum_{j \in J_i} \sum_{p \in P_j} \left(B_{ijpw}^{k*} \right) \end{aligned} \right\}, \quad \forall i, w. \quad (5.10)$$

Броят на хармониците включени в реда на Фурие определя точността на представяне на функцията за описание на мощността на натоварване във времето отнесена за единица краен продукт.

При реализиране на технологията в конкретни апарати от МХТС мощността, с която се натоварва съответната външна захранваща система е (5.11):

$$P_{iw}^S(\tau) = B_i P_{iw}(\tau), \quad \forall w, i \quad (5.11)$$

където,

$$B_i = \min_{j \in J_i} \left(\frac{V_{ij}}{S_{ij}} \right), \quad \forall i \quad (5.12)$$

е размерът на партидата при изпълнението на i -тата технология в апарати от ХТС с работни обеми V_{ij} .

Използвайки (5.11) мощността на ресурсопотребление по отношение на дадена външна система е:

$$P_{iw}^S(\tau) = P_{iw}^{const} + P_{iw}^{var}, \quad \forall i, w \quad (5.13)$$

където,

$$P_{iw}^{const} = B_i \sum_{j \in J_i} \sum_{p \in P_j} \left(\frac{e_{ijpw}}{T_i^*} \right), \quad \forall i, w, \quad (5.14)$$

$$P_{iw}^{var}(\tau) = B_i \sum_{k \in K} \left(A_{iw}^{k*} \sin \left(\frac{2\pi k}{T_i^*} \tau \right) \right) + B_i \sum_{k \in K} \left(B_{iw}^{k*} \cos \left(\frac{2\pi k}{T_i^*} \tau \right) \right), \quad \forall i, w, \quad (5.15)$$

P_{iw}^{const} и P_{iw}^{var} а P_{iw}^{const} имат същия смисъл, както е описано по горе.

Общото количество от даден ресурс, което се използва за производството на една партида е (5.16):

$$E_{iw} = \int_0^{T_i^*} P_{iw}^S(\tau) d\tau = T_i^* P_{iw}^{const}, \quad \forall i, w. \quad (5.16)$$

Променливата съставка (5.15) определя колебателността около постоянната съставка (5.14). Критерият за колебателност може да се изчисли с помощта на израза за съответния вид ресурс:

$$J_{iw} = \frac{\int_0^{T_i^*} |P_{iw}^{var}(\tau)| d\tau}{T_i^* P_{iw}^{const}} 100\%, \quad \forall i, w. \quad (5.17)$$

5.1.3. Модел на ресурсопотреблението при съвместна работа на група производства в производствена кампания.

Един от основните организации на работа на МХТС е работата в кампании. При нея, в рамките на хоризонта на планиране последователно се изпълняват една или повече производствени кампании със зададена продължителност. Всяка производствена кампания включва определено множество от продукти, които ще се произведат едновременно по време на кампанията. Предполага се още, че за всяко производство в кампанията са определени множествата апарати, използвани за реализиране на всяка от технологиите. От тук следва, че за всяко производство, в зависимост от това какъв начин на организация на изпълнението на стadiите е приет, могат предварително да бъдат определени следните данни:

- Максимален размер на партидата B_i^{\max} .
- Минимален размер на партидата B_i^{\min} .
- Време за цикъл T_i^* .
- Максимално допустимо време на изчакване между партидите.

Отчитайки обстоятелството, че производствата включени в дадена кампания представляват периодични консуматори на даден вид ресурс, то натоварването на съответната система е неравномерно. Най-общо, всяко производство има собствен цикъл, но много често различните производства са взаимно обвързани или по входни суровини или по изходни продукти, което води до редуциране на циклите. Това също се случва и когато се използват схеми за топлинна интеграция на операциите. Тогава, обикновено, двойката

производства, между които се осъществява топлинна интеграция, се разглеждат като едно обобщено производство с еднакъв цикъл на производство.

Нека е зададена производствена кампания, която включва множеството производства $I_c = \{i_1, i_2, \dots, i_l, \dots, i_m\}$. За всяко от тях е зададен начина на организацията на операциите и всички други необходими данни. За всяко производство в кампанията са известни множеството от стадии $j \in J_i$, операциите включени в тях $p \in P_{ij}$, обемите V_{ij} на използваните апарати за провеждане на всеки един от стадите, размерните фактори s_{ij} и времевите характеристики за всяка една операция τ_{ijp} и стадий τ_{ij} .

В предишния раздел бяха показани математическите модели описващи функцията на мощността във времето в зависимост от организацията на работа при реализирането на определена технология. Получените зависимости имат еднотипна структура от вида:

$$P_{iw}^S(\tau) = P_{iw}^{const} + P_{iw}^{var}, \quad (5.18)$$

За случай на много стадийна технология с нулево изчакване между стадите съставките P_{iw}^{const} , P_{iw}^{var} се определят (5.14), (5.15).

За случай на многостадийна технология с изчакване между стадите съставките P_{iw}^{const} , P_{iw}^{var} се определят съгласно изразите, показани в дисертацията.

За случай на многостадийна технология с паралелно работещи апарати извън фаза и нулево изчакване между стадите съставките P_{iw}^{const} , P_{iw}^{var} се определят съгласно съгласно изразите, показани в дисертацията.

За случай на много стадийна технология с паралелно работещи апарати във фаза и нулево изчакване между стадите съставките P_{iw}^{const} , P_{iw}^{var} се определят съгласно съгласно изразите, показани в дисертацията.

В горните зависимости T_i^* е времето за цикъл, което се определя в зависимост от начина на организация на производството.

Коефициентите A_{ijw}^0 , A_{ijw}^k , B_{ijw}^k , T_i^* се определят с помощта на съответните зависимости които са различни за всеки един от начините на организация на производството.

При едновременната работа на производствата, включени в дадена кампания, натоварването на съответната система се описва от уравнението:

$$P_w^S(\tau) = \sum_{i \in I_c} P_{iw}^S(\tau), \quad \forall w, \quad (5.19)$$

което в разгърнат вид има вида:

$$P_w^S = P_w^{const} + P_w^{var}(\tau), \quad \forall w \quad (5.20)$$

където,

$$P_w^{const} = \sum_{i \in I_c} P_{iw}^{const}, \quad \forall w, \quad (5.21)$$

$$P_w^{var}(\tau) = \sum_{i \in I_c} P_{iw}^{var}(\tau), \quad \forall w. \quad (5.22)$$

Компонентата P_w^{const} , представлява средната стойност на мощността с която се натоварва съответната система по време на цялата кампания.

Общото количество ресурс от даден тип, който се използва за изпълнение на производствената програма на кампанията ще бъде:

$$E_w = H_c P_w^{const}, \quad \forall w. \quad (5.23)$$

Членът $P_w^{var}(\tau)$ определя колебанията на мощността около средната стойност P_w^{const} .

Когато хоризонтът на планиране H_c е достатъчно голям за $P_w^{var}(\tau)$ е в сила зависимостта:

$$\int_0^{H_c} P_w^{var}(\tau) d\tau \approx 0. \quad (5.24)$$

Променливата компонента се използва за определяне на колебателността на мощността от даден тип ресурс около средната стойност. Критерият за колебателност се определи съгласно израза:

$$J_w = \frac{\int_0^{H_c} |P_w^{\text{var}}(\tau)| d\tau}{H_c P_w^{\text{const}}} 100\% . \quad (5.25)$$

В случаите, когато $J_w \rightarrow 0$, поведението на групата от производства по време на производствената кампания по отношение натоварването на съответната външна система е еквивалентно на работата на група производства с непрекъснато действие.

5.2. Зависимости за оценка на ресурсопотреблението за различни видове консуматори при работа на производствена кампания.

Получените аналитични зависимости за определяне на P_{iw}^{const} , P_{iw}^{var} за различните начини на организация на производствата се използват за оценки на потреблението на съответния ресурс както са формулирани по-долу:

1. Отклонения на кривата на потребление на даден вид ресурс от средното ниво на потребление. Тази оценка се определя посредством зависимостта:

$$J_w = \frac{\int_0^H |P_w^{\text{var}}(\tau)| d\tau}{HP_w^{\text{const}}} 100\% . \quad (5.26)$$

2. Количеството ресурс от даден тип в интервалите, когато неговата мощност е над допустимото натоварване. Тази оценка се определя чрез:

$$JSW_w = \frac{\int_0^{H_c} (\text{sign}(P_w(\tau) - P_w^{\text{LIM}})) P_w(\tau) dt}{HP_w^{\text{const}}} 100\%, \forall w, \quad (5.27)$$

$$\text{sign}(\cdot) = 1, \text{ когато } (P_w(\tau) - P_w^{\text{LIM}} \geq 0),$$

$$\text{sign}(\cdot) = 0, \text{ когато } (P_w(\tau) - P_w^{\text{LIM}} \leq 0),$$

където P_w^{LIM} е допустимата мощност над която съответния външен източник работи неефективно.

3. Сумарното време през което мощността по даден вид ресурс надвишава допустимите норми. Тази оценка се определи чрез зависимостта:

$$JTA_w = \frac{\int_0^{H_c} (\text{sign}(P_w(\tau) - P_w^{\text{LIM}})) d\tau}{H_c} 100\%, \forall w \quad (5.28)$$

където функцията $\text{sign}(\cdot)$ има същия смисъл както и при определянето на (5.27).

Представените зависимости за оценка на ресурсопотреблението при осъществяването на група периодични производства в даден времеви интервал се отнасят за случая, когато всяко от тях има свой редуциран цикъл (представляващ времето за цикъл и времето за изчакване между отделните партии) и не е свързано с останалите производства в кампанията.

6. ПРОГРАМНО ОСИГУРЯВАНЕ.

Предложените в дисертационния труд методи и алгоритми за решаване на задачите за оптимално планиране и съставяне на производствени разписания при работата на многоцелеви и многопродуктови заводи и комплекси са в основата на създадена програмна платформа и приложни софтуерни пакети служещи за решаване на следните основни задачи:

1. Задачи за планиране работата на производствени комплекси в състава на *РОВ*.

2. *Задачи за определяне на оптималните производствени разписания при кампаниен начин на организация на работа.*
3. *Задачи за управление на производствени кампании, водещо до оптимално натоварване на системите за ресурсопотребление.*
4. *Задачи за оптимална топлинна интеграция при работа на двойка периодични реактори, а така също и при система периодични реактори.*
5. *Задачи за синтез на гъвкави топлообменни вериги за целите на МХТС.*

Софтуерната платформа «SC» представлява фундаментът на пакета и е предназначена за организиране, поддържане и актуализация на бази данни за описание на производствени комплекси, включващи данни за елементите на РОВ, конфигурацията им в система, а също така данни за описание на елементите на многоасортиментни химико-технологични системи, от които са изградени съответните заводи и рецептурни данни за технологиите за произвежданите продукти. За решаване на задачите, описани по-горе са създадени съответните софтуерни кодове, които са елементи към софтуерната платформа «SC».

Платформата «SC» е предназначена за организиране, поддържане и актуализация на бази данни за описание на производствени комплекси, включващи данни за елементите на РОВ, конфигурацията им в система, а също така данни за описание на елементите на многоцелеви химико-технологични системи, от които са изградени съответните заводи и рецептурни данни за произвежданите продукти.

6.1. Принципи на изграждане на програмното осигуряване.

Основните принципи, които са следвани при изграждане на пакетите «SC-ECAM» и «SC-MOPP» са следните:

1. *Използван е принципът на менютата.*
2. *Използван е с предимство принципът на избор на данни от предварително зададено множество (в тези случаи, където това е възможно).*
3. *За всяко екранно меню от данни се осигурява логически контрол за коректността им в границите на менюто и в системата от данни като цяло.*
4. *Използван е принципът за визуализацията на данните.*
5. *Всички функции са съпроводени с необходимата помощна информация.*

Горезброените общи принципи са залегнали при изграждането на екранните менюта за задаване на данните, а също така и при представяне на резултатите от получените решения.

6.2. Избор на език за програмиране.

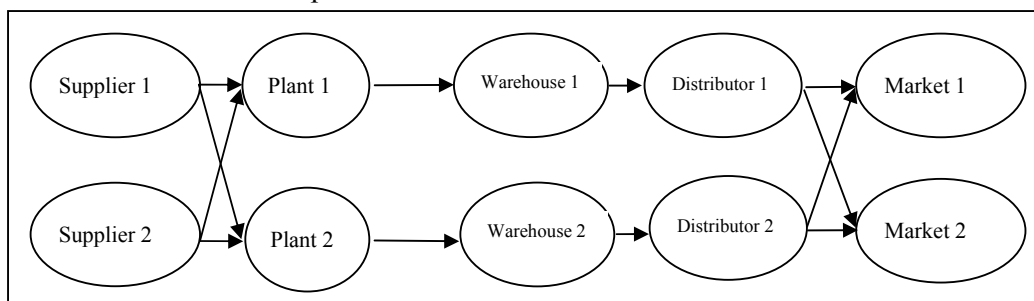
Изборът на езика за програмиране е продиктуван от следните съображения:

1. *Съществуващата платформа «SC» е създадена на базата на езика MATLAB R2006a поради обстоятелството, че позволява създаване и поддържане на база от данни удобни за обслужване на крайните потребители.*
2. *Езикът MATLAB R2006a дава добра възможност за създаване на достатъчно добри екранни менюта за описания и онагледяване на данните и резултатите от решенията.*
3. *Езикът MATLAB R2006a има силно развита библиотека и средства за работа с масиви от данни.*
4. *Езикът MATLAB R2006a разполага с набор от достатъчно ефективни програмни средства за решаване на задачите на математичното програмиране и по специално за решаване на общата задача NLP.*

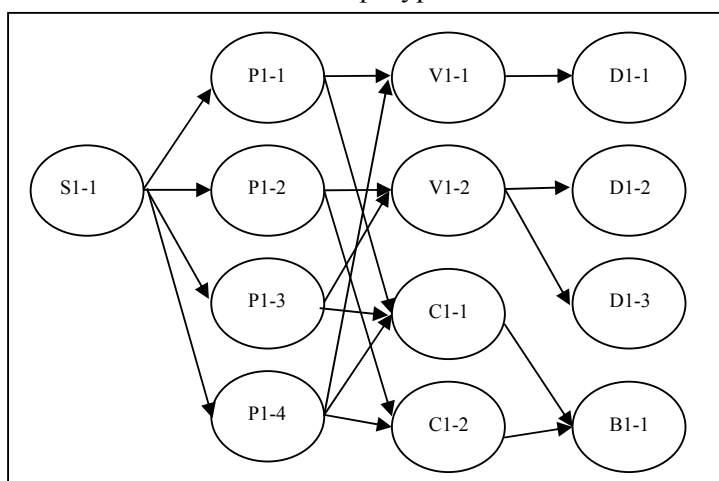
7. ПРИЛОЖЕНИЯ НА ТЕОРЕТИЧНИТЕ РЕЗУЛТАТИ И ПРОГРАМНИТЕ СРЕДСТВА НА КОНКРЕТНИ ЗАДАЧИ [15], [23], [24], [26], [28], [33], [34], [35].

7.1. Задача 4. Планове и разписания с отчитане на ресурсопотреблението при работата на МХТС в състава на РОВ [34], [35].

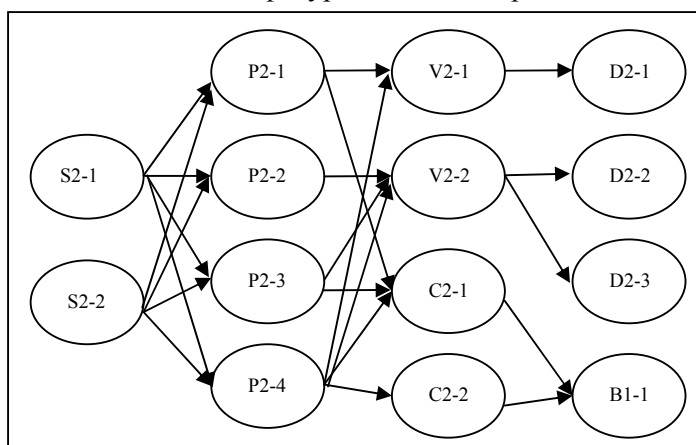
На Фиг.7.1 е зададена ресурсно-осигурителна верига, която се състои от два завода и 2 възможни доставчика на суровини, намиращи се на различно разстояние от завода, 2 обединени склада, 2 разпределителни центрове и 2 крайни потребители. Заводите могат да произвеждат 3 различни продукта, като тези продукти се произвеждат чрез използване на многоцелева инсталация, показани на Фиг.7.2. и Фиг.7.3. за двата завода. Продуктите, произвеждани в заводите се произвеждат по схеми показани на Фиг.7.4.



Фиг.7.1. Схема на конфигурацията на SC.

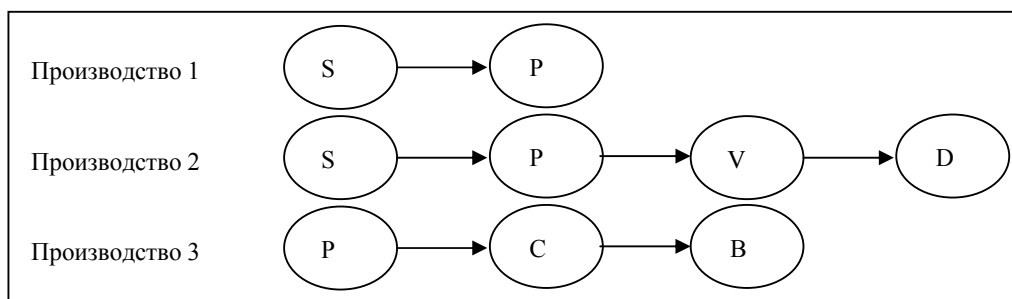


Фиг.7.2. Схема на конфигурацията на апаратите на завод P₁



Фиг.7.3. Схема на конфигурацията на апаратите на завод P₂

В Таблица 7.1., 7.2., 7.3., 7.4, и 7.5 са дадени основните данни, необходими за решаване на проблема, чрез използване на предложената математическа постановка.



Фиг.7.4. Схема за производство на продуктите и изискуемите типове апарати

Капацитивните възможности и производствени разходи на SC Таблица 7.1.

Елементи от SC/Продукти	Капацитивните възможности MIN/MAX за единица време			Производствени разходи за единица краен продукт			Цени на суровини за единица продукт		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Доставчик 1	0/200	0/120	0/180	200	120	180	180	120	180
Доставчик 2	0/100	0/220	0/120	100	220	120	180	120	180
Завод 1	0/100	0/180	0/200	100	180	200			
Завод 2	0/200	0/250	0/300	200	250	300			
Склад 1	0/200	0/250	0/300	200	250	300			
Склад 2	0/300	0/80	0/100	300	80	100			
Дистрибут. 1	0/300	0/80	0/100	300	80	100	Цени на продуктите		
Дистрибут. 2	0/100	0/180	0/200	100	180	200			
Клиент 1	0/300	0/180	0/100	300	180	100	100	180	100
Клиент 2	0/300	0/280	0/200	300	280	200	200	280	200

Данните за производствените рецепти

Таблица 7.2.

	Рецепта 1		Рецепта 2			Рецепта 3			
	Стадии		Стадии			Стадии			
	1	2	1	2	3	1	2	3	4
Тип на апарата	S	P	P	C	B	S	P	V	D
Size factor	1.5	2.5	9	3	4	8	3	1.5	5
Time of stage	3	2	5	10	2	5	7	10	1

Данни за кода и типа на апаратите от Завод 1

Таблица 7.3.

	Завод 1												
Но на апарата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Код на апарата	SI-1	PI-1	PI-2	PI-3	PI-4	VI-1	VI-2	CI-1	CI-2	DI-1	DI-2	DI-3	BI-1
Тип на апарата	S	P	P	P	P	V	V	C	C	D	D	D	B
Работен обем на апарата	20	10	15	20	25	8	10	30	40	15	20	25	20

Данни за кода и типа на апаратите от Завод 2

Таблица 7.4.

	Завод 2													
Но на апарата	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Код на апарата	SI-1	PI-1	PI-2	PI-3	PI-4	VI-1	VI-2	CI-1	CI-2	DI-1	DI-2	DI-3	BI-1	SI-1
Тип апарата	S	S	P	P	P	P	V	V	C	C	D	D	D	B
Работен обем на апарата	15	25	10	20	30	40	5	10	10	15	10	15	20	30

Транспортни разходи между елементите на SC Таблица 7.5.

<i>Доставчик - Завод</i>	<i>Завод 1</i>		
	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>
<i>Доставчик 1</i>	1.3	1.3	1.3
<i>Доставчик 2</i>	1.7	1.7	1.7
<i>Доставчик - Завод</i>	<i>Завод 2</i>		
<i>Доставчик 1</i>	2.3	2.3	2.3
<i>Доставчик 2</i>	2.7	2.7	2.7
<i>Завод - Склад</i>	<i>Завод 1</i>		
<i>Завод 1</i>	7	7	7
<i>Завод 2</i>	5	5	5
<i>Завод - Склад</i>	<i>Завод 2</i>		
<i>Завод 1</i>	6	6	6
<i>Завод 2</i>	7	7	7
<i>Склад - Дистрибутор</i>	<i>Дистрибутор 1</i>		
<i>Склад 1</i>	0.62	0.62	0.62
<i>Склад 2</i>	1.38	1.38	1.38
<i>Склад - Дистрибутор</i>	<i>Дистрибутор 2</i>		
<i>Склад 1</i>	0.62	0.62	0.62
<i>Склад 2</i>	1.38	1.38	1.38
<i>Дистрибутор-Клиент</i>	<i>Клиент 1</i>		
<i>Дистрибутор 1</i>	0.62	0.62	0.62
<i>Дистрибутор 2</i>	3.2	3.2	3.2
<i>Дистрибутор-Клиент</i>	<i>Клиент 2</i>		
<i>Дистрибутор 1</i>	3.2	3.2	3.2
<i>Дистрибутор 2</i>	0.62	0.62	0.62

Производствени варианти на Завод 1 за рецепта 1 Таблица 7.6.

<i>No</i>	<i>Код на варианта</i>	<i>Стадии/Апарат</i>		<i>Размер на партидата</i>	<i>Време за цикъл</i>	<i>Производителност</i>
		<i>1</i>	<i>2</i>			
1	<i>V-1-1-1</i>	<i>SI-1</i>	<i>PI-1</i>	4	3	1.33
2	<i>V-1-1-2</i>	<i>SI-1</i>	<i>PI-2</i>	6	3	2
3	<i>V-1-1-3</i>	<i>SI-1</i>	<i>PI-3</i>	8	3	2.66
4	<i>V-1-1-4</i>	<i>SI-1</i>	<i>PI-4</i>	10	3	3.33

Производствени варианти на Завод 1 за рецепта 2 Таблица 7.7.

<i>No</i>	<i>Код на варианта</i>	<i>Стадии/Апарат</i>			<i>Размер на партидата</i>	<i>Време за цикъл</i>	<i>Производителност</i>
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>			
1	<i>V-1-2-1</i>	<i>PI-1</i>	<i>CI-1</i>	<i>BI-1</i>	1.11	10	0.111
2	<i>V-1-2-2</i>	<i>PI-2</i>	<i>CI-2</i>	<i>BI-1</i>	1.66	10	0.166
3	<i>V-1-2-3</i>	<i>PI-3</i>	<i>CI-1</i>	<i>BI-1</i>	2.22	10	0.222
4	<i>V-1-2-4</i>	<i>PI-4</i>	<i>CI-2</i>	<i>BI-1</i>	2.77	10	0.277
5	<i>V-1-2-5</i>	<i>PI-4</i>	<i>CI-1</i>	<i>BI-1</i>	2.77	10	0.277

Производствени варианти на Завод 1 за рецепта 3 Таблица 7.8.

<i>No</i>	<i>Код на варианта</i>	<i>Стадии/Апарат</i>				<i>Размер на партидата</i>	<i>Време за цикъл</i>	<i>Производителност</i>
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>			
1	<i>V-1-3-1</i>	<i>SI-1</i>	<i>PI-1</i>	<i>VI-1</i>	<i>DI-1</i>	2.5	10	0.25
2	<i>V-1-3-2</i>	<i>SI-1</i>	<i>PI-2</i>	<i>VI-2</i>	<i>DI-2</i>	2.5	10	0.25
3	<i>V-1-3-3</i>	<i>SI-1</i>	<i>PI-2</i>	<i>VI-2</i>	<i>DI-3</i>	2.5	10	0.25
4	<i>V-1-3-4</i>	<i>SI-1</i>	<i>PI-3</i>	<i>VI-2</i>	<i>DI-2</i>	2.5	10	0.25
5	<i>V-1-3-5</i>	<i>SI-1</i>	<i>PI-3</i>	<i>VI-2</i>	<i>DI-3</i>	2.5	10	0.25

Максимално независими кампании за завод 1

Таблица 7.9.

No	Кампания	Вариант за производство на Пр. 1	Вариант за производство на Пр. 2	Вариант за производство на Пр. 3	MAX производителност за Пр. 1	MAX производителност за Пр.2	MAX производителност за Пр.3	Разходи за подготовка на оборудване
1	C 1 1	V-1-1-4	V-1-2-5	NO	3.333	0.277	0	
2	C 1 2	NO	V-1-2-4	V-1-3-5	0	0.277	0.25	

Производствени варианти на Завод 2 за рецепта 1

Таблица 7.10.

No	Код на варианта	Стадии/Апарат		Размер на партидата	Време за цикъл	Производителност
		1	2			
1	V-2-1-1	S2-1	P2-1	4	3	1.33
2	V-2-1-2	S2-1	P2-2	8	3	2.66
3	V-2-1-3	S2-1	P2-3	10	3	3.33
4	V-2-1-4	S2-1	P2-4	10	3	3.33
5	V-2-1-5	S2-2	P2-1	4	3	1.33
6	V-2-1-6	S2-2	P2-2	8	3	2.66
7	V-2-1-7	S2-2	P2-3	12	3	4
8	V-2-1-8	S2-2	P2-4	16	3	5.33

Производствени варианти на Завод 2 за рецепта 2

Таблица 7.11.

No	Код на варианта	Стадии/Апарат			Размер на партидата	Време за цикъл	Производителност
		1	2	3			
1	V-2-2-1	P2-1	C2-1	B2-1	1.11	10	0.111
2	V-2-2-2	P2-3	C2-1	B2-1	3.33	10	0.333
3	V-2-2-3	P2-4	C2-1	B2-1	3.33	10	0.333
4	V-2-2-4	P2-4	C2-2	B1-1	4.44	10	0.444

Производствени варианти на Завод 2 за рецепта 3

Таблица 7.12.

No	Код на варианта	Стадии/Апарат				Размер на партидата	Време за цикъл	Производителност
		1	2	3	4			
1	V-2-3-1	S2-1	P2-1	V2-1	D2-1	1.875	10	0.1875
2	V-2-3-2	S2-1	P2-2	V2-2	D2-2	1.875	10	0.1875
3	V-2-3-3	S2-1	P2-2	V2-2	D2-3	1.875	10	0.1875
4	V-2-3-4	S2-1	P2-3	V2-2	D2-2	1.875	10	0.1875
5	V-2-3-5	S2-1	P2-3	V2-2	D2-3	1.875	10	0.1875
6	V-2-3-6	S2-2	P2-1	V2-1	D2-1	3	10	0.3
7	V-2-3-7	S2-2	P2-2	V2-2	D2-2	3.125	10	0.3125
8	V-2-3-8	S2-2	P2-2	V2-2	D2-3	3	10	0.3
9	V-2-3-9	S2-2	P2-3	V2-2	D2-2	3	10	0.3
10	V-2-3-10	S2-2	P2-3	V2-2	D2-3	3.125	10	0.3125

<i>N</i> <i>o</i>	<i>Код на кампанията</i>	<i>Код на вариант за Продукт 1</i>	<i>Код на вариант за Продукт 2</i>	<i>Код на вариант за Продукт 3</i>	<i>МАХ Производителност за Продукт 1</i>	<i>МАХ Производителност за Продукт 2</i>	<i>МАХ Производителност за Продукт 3</i>	<i>Разходи за подготовка на оборудването</i>
1	<i>C_2_1</i>	<i>V-2-1-2</i> <i>V-2-1-7</i>	<i>V-2-2-4</i>	<i>NO</i>	6.66	0.444	0	
2	<i>C_2_2</i>	<i>V-2-1-6</i>	<i>V-2-2-4</i>	<i>V-2-3-1</i>	2.66	0.444	0.1875	

Максимално независими кампании за завод 2

Таблица 7.13.

За така формулирания проблем задачата се свежда до решаване на задача на смесеното нелинейно програмиране която има размерност за случая съответно:

- 62 *управляващи непрекъснати променливи,*
- 16 *бинарни променливи,*
- 24 *линейни ограничения тип равенства,*
- 8 *линейни ограничения тип неравенства,*
- 20 *нелинейни ограничения тип равенства,*
- 98 *нелинейни ограничения тип неравенства.*

За решаване на така формулираната задача е използван модифициран метод на случайното търсене за получаване на подходяща стартова точка, а локализиране на оптималното решение е осъществено чрез използване на методи реализирани в **MATLAB**.

В Таблица 7.14. са представени данните за начина на оптимално функциониране на заводите по време на планирания хоризонт *H*, а в Таблица 7.15. оптималното разпределение на продуктите по елементите на *SC* за всеки един от временните интервали.

Оптимално производство по интервали и кампании

Таблица 7.14.

	<i>Продължителност на интервалите:</i>								
	T1 =234			T2 =255			T3 =511		
	<i>Произведени количества по продукти за интервалите:</i>								
	<i>P₁</i>	<i>P₂</i>	<i>P₃</i>	<i>P₁</i>	<i>P₂</i>	<i>P₃</i>	<i>P₁</i>	<i>P₂</i>	<i>P₃</i>
Завод 1									
<i>Campaign 1-1</i>	<i>Not working</i>			850	70.6	0.0	<i>Not working</i>		
<i>Campaign 1-2</i>	0.0	64.8	58.5	<i>Not working</i>			0.0	141.5	127.7
Завод 2									
<i>Campaign 2-1</i>	1558	104	0.0	<i>Not working</i>			<i>Not working</i>		
<i>Campaign 2-2</i>	<i>Not working</i>			678	113.2	47.8	1359	227	95.8
Завод 1 и Завод 2									
<i>SUM</i>	1558	168.8	58.5	1528	183.8	47.8	1359	368.5	223.5

Цялостното решаване на задачата е получено чрез използване на пакета “Supply Chain Ver.2.0” който е разработен от авторите. За разработването на този софтуерен пакет е използван езика **MATLAB R2006a**.

Времето за решаване на тестовия пример е CPU= 358.312 секунди с използване на PC Pentium-4, 2.8 GHz скорост на процесора.

Оптимално разпределение по интервали и елементи на SC Таблица 7.15.

Доставчик - Завод	Завод 1								
	Времеви интервал 1			Времеви интервал 2			Времеви интервал 3		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Доставчик 1	0.0	64.8	0.0	450	12.2	0.0	0.0	0.0	56.7
Доставчик 2	0.0	0.0	58.5	400	58.4	0.0	0.0	0.0	71
Доставчик - Завод	Завод 2								
Доставчик 1	269	104	0.0	321	113	38.8	981	126	95.8
Доставчик 2	1289	0.0	0.0	357	0.0	9.0	378	101	0.0
Завод - Склад	Склад 1								
Завод 1	0.0	64.8	58.5	850	70.6	0.0	0.0	141.5	127.7
Завод 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Завод - Склад	Склад 2								
Завод 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Завод 2	1558	104	0.0	678	113.2	47.8	1359	227	95.8
Склад - Дистрибутор	Дистрибутор 1								
Склад 1	0.0	64.8	58.5	850	70.6	0.0	0.0	141.5	127.7
Склад 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Склад - Дистрибутор	Дистрибутор 2								
Склад 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Склад 2	1558	104	0.0	678	113.2	47.8	1359	227	95.8
Дистрибутор - Клиент	Клиент 1								
Дистрибутор 1	0.0	30.5	58.5	438	70.6	0.0	0.0	126	93.5
Дистрибутор 2	1320	36.7	0.0	340	92.7	20.4	392	178	54.8
Дистрибутор - Клиент	Клиент 2								
Дистрибутор 1	0.0	34.3	0.0	412	0.0	0.0	0.0	15.5	34.2
Дистрибутор 2	238	67.3	0.0	338	20.5	27.4	967	49	41

7.2. Задача 6. Подобряване на енергийната ефективност на биопроцеси чрез използване на топлина резервоари

В качеството на пример, доказващ приложимостта на предлагания метод за топлинна интеграция на процесите, се разглежда производство на антибиотици. Технологичният процес се състои от 6 основни стадия, които за конкретното производство (Производство на антибиотици във фирма "Активиста"-клон Разград) имат следните параметри:

Stage 1: Подготовка на хранителната среда

1. Този процес се извършва чрез смесване на мицел и хранителна среда в спомагателен реактор с обем $5m^3$.

Stage 2: Подготовка на компонентите на ферментационната среда

1. Смесване на $2m^3$ от компонент A с $V_{2,1} = 10m^3$ с вода $20^\circ C$ (CW20) чрез разбъркване за 1 час до получаване на хранителната среда NMA.

2. Смесване на $2m^3$ от компонент B с $V_{2,2} = 10m^3$ CW20 чрез разбъркване в продължение на 1 час до получаване на хранителна среда NMB.

Stage 3: Ферментационен процес

1. Прехвърляне на NMA в реактор F_C и нагряване от $20^\circ C$ до $55^\circ C$.

2. Нагряване на NMA с помощта на водна пара от $55^\circ C$ до $100^\circ C$.

3. Стерилизация на NMA с водна пара до $100^\circ C$ за около 0.5 часа.

4. Прехвърляне на NMB в F_C и смесването му с NMA до получаване на AB IAB.

5. Добавяне на $V_{3,5} = 17m^3 \div 18m^3$ CW20.

6. Нагряване на сместа от $42m^3$ с пара до $T = 55^\circ C$ и получаване на среда NMAB.

7. Нагряване на сместа NMAB с водна пара от $55^\circ C$ до $120^\circ C$ за 1.5-2 часа.

8. Стерилизация на *NMAB* с водна пара при температура $120^{\circ}C$ за 0.5 часа.
9. Охлаждане на *NMAB* с помощта на *CW20* от $120^{\circ}C$ до $45^{\circ}C$.
10. Охлаждане на *NMAB* с $5^{\circ}C$ охладена вода (*CW5*) от $45^{\circ}C$ до $30^{\circ}C$ за 0.5 часа.
11. Добавяне на *IMX* в *NMAB* за $t = 0.75h$ до обем $47m^3$, представляващо *FM*.
12. Охлаждане на средата *FM* до $t = 30^{\circ}C$ с помощта на *CW5* и извършване на ферментация в продължение на $120h - 150h$ до получаване на продукта *FB*.

Stage 4: Разреждане

1. Прехвърляне на *FB* в междинен резервоар в продължение на 1 час.
2. Добавяне на $23m^3$ вода *CW20* за деактивиране и получаване на продукт *DFB*.

Stage 5: Филтриране

1. Филтриране на *DFB* за $12h$ до получаване на концентрирана суровина *DSC*.

Stage 6: Стерилизация на празния ферментатор

1. Измиване на празния ферментатор с *CW20*.
2. Стерилизация на измития ферментатор с водна пара при $130^{\circ}C$ за 2 часа.

Данните за параметрите на процесите са следните:

$$C_{p_F} = C_{p_{W20}} = C_{p_{W5}} = 4200kJm^{-3}K^{-1}, T_{W5} = 5^{\circ}C, T_{W20} = 20.00^{\circ}C, A = 56.55m^2,$$

$$U = 1.20kWm^{-2}K^{-1}, T_F(0) = T_{st}^* = T_{F0} = 120^{\circ}C, t_f = 6000s, F_{MAX} = 0.04m^3/s, V_{3.5} = 18m^3,$$

$$V_{2.1} = V_{2.2} = 10m^3, V_{Waste} = 23m^3, T_{fer} = 30^{\circ}C, C_{W20} = 2.184lv/m^3,$$

$$C_{Steam} = (CG_{steam}/4.184)10^{-6} lv/kJ, CG_{Steam} = 277.00lv/GCal,$$

$$C_{W5} = (CG_{W5}/4.184)10^{-6} lv/kJ, CG_{W5} = 681.00lv/GCal,$$

Приложена е схемата за топлинна интеграция на процесите и са определени оптималните управляващи параметри. За целта са използвани MATLAB R2006a, а за оптимизационната процедура е използван модулът FMINCON.

В Таблица 7.16 са представени получените оптимални стойности на управляващите променливи, в резултат от решаване на оптимизационната процедура съгласно предложения метод, описан подробно в т. 4.1.6.

Непрекъснати управляващи за система с два топлинни резервоара Таблица 7.16

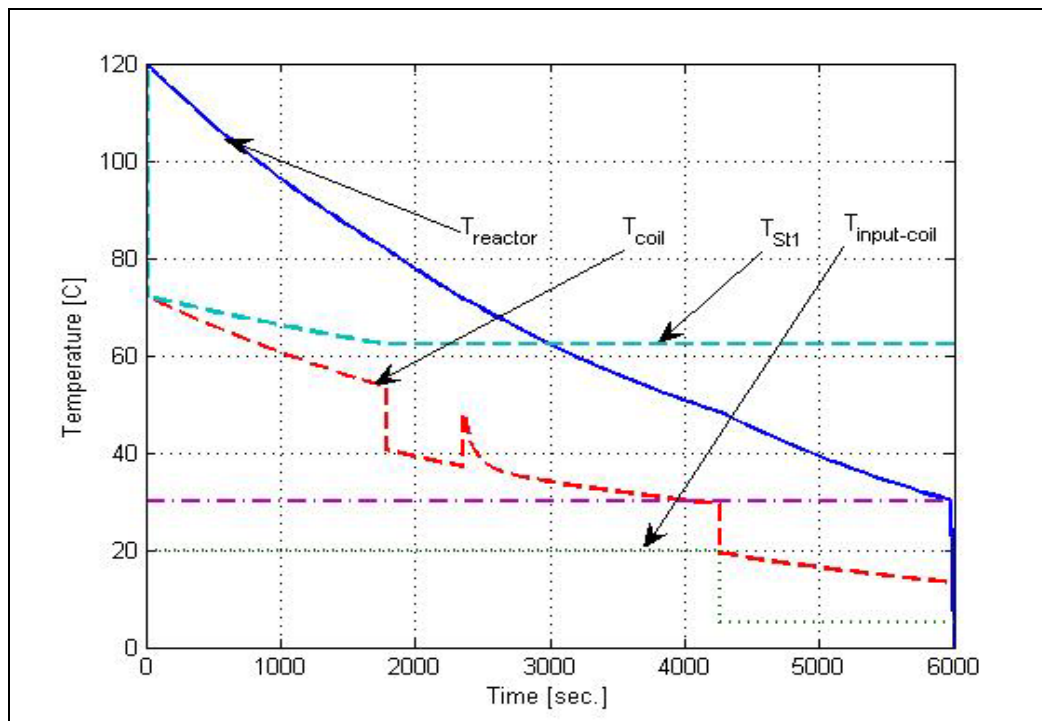
i	t_{in} [sec.]	A_i	B_i	C_i	x_i	y_i^{S1}	y_i^{S2}	y_i^{SW}	$T_{St1}^{\circ}C$	$T_{Fi}(t_i)^{\circ}C$
1	1784.8	0.0152	0.0219	1.0686e-4	1	1	0	0	62.2	81.8
2	575.7	0.0383	0.0400	1.0000e-4	1	0	1	0	62.2	71.5
3	1902.3	0.0400	0.0204	0.0100	1	0	0	1	62.2	48.3
4	1737.2	0.0400	0.0399	0.0100	0	0	0	0	62.2	30.0

В Таблица 7.17 са представени управляващите променливи в случая, когато охлаждащите потоци имат постоянни във времето дебити, но различни за всеки един от времевите интервали, т.е. случая на квазиоптимално управление:

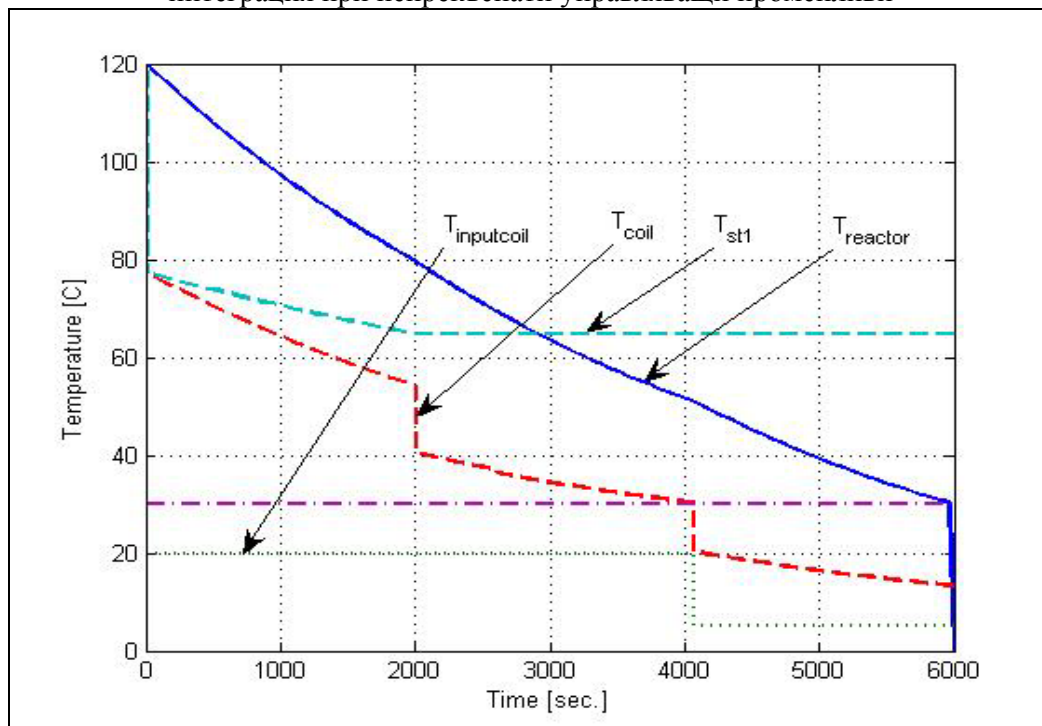
Дискретни управляващи за система с два топлинни резервоара Таблица 7.17

i	t_{in} [sec.]	A_i	B_i	C_i	x_i	y_i^{S1}	y_i^{S2}	y_i^{SW}	$T_{St1}^{\circ}C$	$T_{Fi}(t_i)^{\circ}C$
1	2005.8	0.0	0.0189	0.0	1	1	0	0	64.75	79.50
2	601.9	0.0	0.0382	0.0	1	0	1	0	64.75	69.26
3	1469.8	0.0	0.0400	0.0	1	0	0	1	64.75	50.94
4	1922.5	0.0	0.0400	0.0	0	0	0	0	64.75	30.00

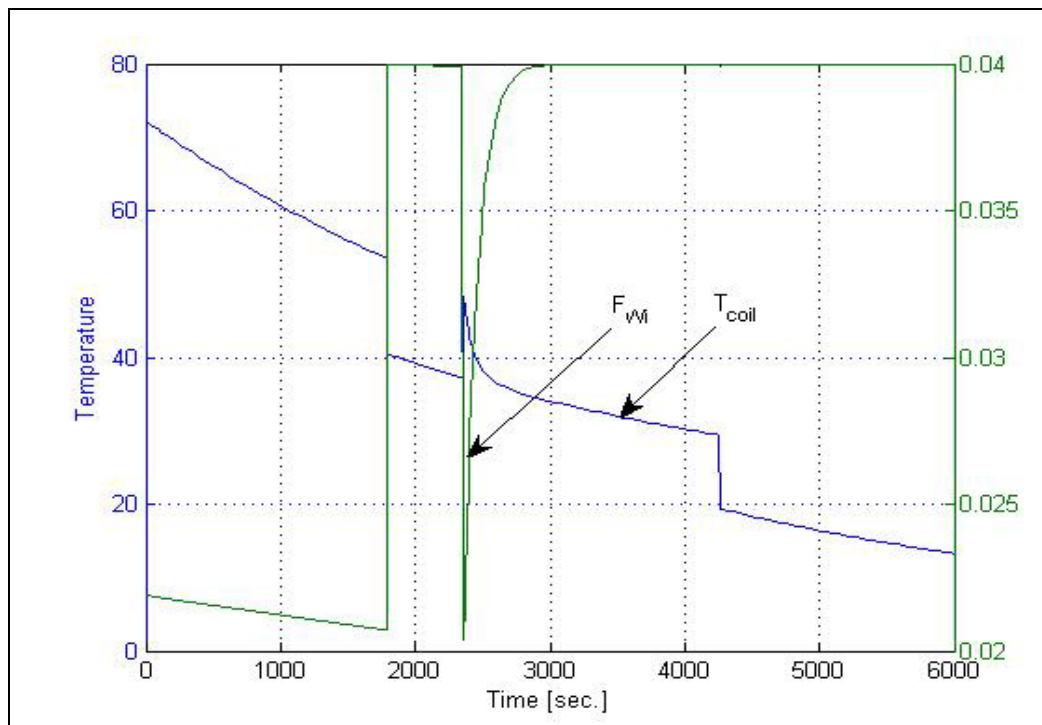
На Фиг. 7.5. е показано изменението на температурите в реактора и на изход от серпантината по времеви интервали за случая с топлинна интеграция и непрекъснати управляващи променливи и на Фиг. 7.6. за случая при дискретни променливи.



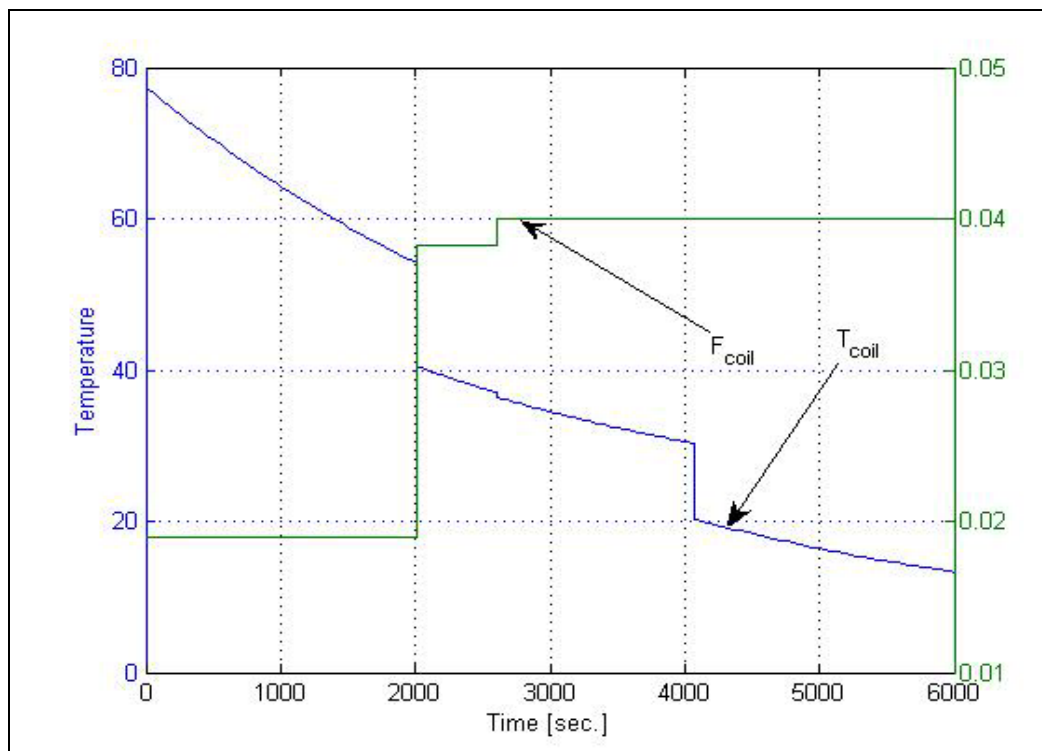
Фиг. 7.5. Изменение на температурите в реактора за случая на система с топлинна интеграция при непрекъснати управляващи променливи



Фиг. 7.6. Изменение на температурите в реактора за случая на система с топлинна интеграция при дискретни управляващи променливи



Фиг. 7.7. Изменение на дебитите на охлаждащите агенти при непрекъснати променливи



Фиг. 7.8. Изменение на дебитите на охлаждащите агенти при дискретни променливи.

Цените на използваните ресурси за процесите нагряване и охлаждане за предлаганата система с два топлинни резервоара при оптималното управление и тези за система без топлинна интеграция са представени в Таблица 7.18.

Разходи на енергоресурси за система с и без топлинна интеграция Таблица 7.18

<i>Ресурс</i>	<i>Разходи за система без топлинна интеграция l_w.</i>	<i>Разходи за система с топлинна интеграция при непрекъснати управляващи въздействия l_w.</i>	<i>Разходи за система с топлинна интеграция при дискретни управляващи въздействия l_w.</i>	<i>Saving %</i>
$Cost_{STEAM}$	1168.40	720.84	695.23	38.30(40.49)
$Cost_{W20}$	377.15	161.24	128.41	57.24(66.00)
$Cost_{W5}$	389.89	527.95	601.48	-35.40(-54)
$Cost_{SUM}$	1935.44	1410.03	1425.12	27.14(26.36)

Видно е, че в резултат от топлинната интеграция и при оптималното управление на процеса се получава значително редуциране на използваната вода $CW20$ за охлаждане с 57%, на охлаждащата вода $CW5$ увеличение съответно с 35%. В същото време се редуцира необходимата водна пара за извършване на процесите с около 38%. Използуването на топлинни резервоари води до това, че не е необходимо да се съгласува разписание на процесите във всички реактори, а общата икономия на енергоресурси (охлаждаща вода и водна пара) възлиза на около 27%. Важно е да се отбележи, че използване на система за топлинна интеграция води до намаляване на използваната водна пара и вода $CW20$ за охлаждане.

Публикации по дисертацията

Статии и доклади в пълен текст в сборници с редактор и издател
С **цитирана** са означени 14 от публикациите, цитирани от чужди автори
(общо 78 цитата)

1. **B. Ivanov, N. Bancheva (1981)**, Algorithm for Setting Arbitrarily Structured Chemical Industrial Production in a Universal Chemical Industrial System, Proceedings of the International AMSE Conference "*Modeling & Simulation*", July 1-3, Paris-sud, France, Vol. 4, pp.59-62, Editor AMSE.
2. **B. Ivanov, K. Peneva, N. Vaklieva-Bancheva (1993)**, Synthesis of Cost Optimal Heat Integrated Batch Systems, *Hung. J. Ind. Chem.*, Vol. 21, pp.7-14.
3. **K.L. Peneva, B.B. Ivanov, N.G. Vaklieva-Bancheva (1992)**, A Simplified Method for Determination of the Heat Transfer Area in Case of Heat Integration of Two Batch Tanks, *Bulg. Chem. Com.*, Vol. 25, No.1, 1992, pp.73-84.
4. **Boyan B. Ivanov, Natasha G. Vaklieva-Bancheva, Krasimira L. Peneva (1993)**, Synthesis of Batch Systems with Heat Storage Tanks. Design and Retrofit Problems, *Bulg. Chem. Com.*, Vol. 26, No 1, pp.122-133.
5. **N. Vaklieva-Bancheva, B. Ivanov (1993)**, A New Approach for Determination the Horizon Constraints for Design Problem of Multipurpose Batch Chemical Plants, *Comp. Chem. Eng.*, Vol. 17, S21-S26. **Цитирана**
6. **B. Ivanov, K. Peneva, N. Bancheva (1992)**, Heat Integration of Batch Vessels at Fixed Time Interval. Part I: Schemes With Recycling Main Fluids, *Hung. J. Ind. Chem.*, Vol. 20, pp.225-231, 1992. **Цитирана**
7. **B. Ivanov, K. Peneva, N. Bancheva (1992)**, Heat Integration of Batch Vessels at Fixed Time Interval. Part II: Schemes with Intermediate Heating and Cooling Agents, *Hung. J. Ind. Chem.*, Vol. 20, pp.233-239, 1992. **Цитирана**
8. **N. Vaklieva-Bancheva, B. Ivanov (1993)**, Determination of the Horizon Constraints in Multipurpose Chemical Plant Design, *Hung. J. Ind. Chem.*, Vol. 21, pp.87-92.
9. **B. Ivanov, K. Peneva, N. Bancheva (1993)**, Heat Integration in Batch Reactors Operating in Different Time Intervals. Part I. A Hot-Cold Reactor Systems with Two Storage Tanks, *Hung. J. Ind. Chem.*, Vol. 21, pp.201-207. **Цитирана**
10. **B. Ivanov, K. Peneva, N. Bancheva (1993)**, Heat Integration in Batch Reactors Operating in Different Time Intervals. Part II. A Hot-Cold Reactor Systems with a Common Storage Tank, *Hung. J. Ind. Chem.*, Vol. 21, pp.209-216. **Цитирана**
11. **B. Ivanov, K. Peneva, N. Bancheva (1993)**, Heat Integration in Batch Reactors Operating in Different Time Intervals. Part III. Synthesis and Reconstruction of Integrated Systems with Heat Tanks, *Hung. J. Ind. Chem.*, Vol. 21, pp.217-223. **Цитирана**
12. **B. Ivanov, N. Vaklieva-Bancheva (1994)**, Optimal Reconstruction of Batch Chemical Plants with Regard to Maximum Heat Recuperation, *Comp. Chem. Eng.*, Vol. 18, S313-S317. **Цитирана**
13. **B. Ivanov, K. Peneva, N. Vaklieva-Bancheva (1995)**, Synthesis of a Flexible Heat Exchange Network for a Hot-Cold Batch Reactors System, *Hung. J. Ind. Chem.*, Vol. 23, pp.251-260. **Цитирана**
14. **N. Vaklieva-Bancheva, B. Ivanov (1996)**, An Approach for Solving a Scheduling Problem for Multipurpose Batch Chemical Plants, *Hung. J. Ind. Chem.*, Vol. 24, pp.87-93. **Цитирана**
15. **N. Vaklieva-Bancheva, B. B. Ivanov, N. Shah and C. C. Pantelides (1996)**, Heat Exchanger Network Design for Multipurpose Batch Plants, *Comp. Chem. Eng.* Vol. 20, pp.989-1001. **Цитирана**
16. **N. Vaklieva-Bancheva, B. Ivanov, T. Masev (1998)**, Waste water Reduction from the culture medium Preparation Step of an Antibiotic Production, *Hung. J. Ind. Chem.*, Vol. 26, pp.55-62.

17. **A. Pozna, B. Ivanov and N. Vaklieva-Bancheva (1998)**, Design of a Heat Exchanger Network for a System of Batch Vessels, *Hung. J. Ind. Chem.*, Vol. 26, pp.205-211. *Цитирана*
18. **N. Vaklieva-Bancheva, B. Ivanov (1999)**, Waste Minimization Through Optimal Plant Retrofit, *Comp. Chem. Eng.*, S75-S78. *Цитирана*
19. **N. Vaklieva-Bancheva, E.G.Shopova, B. Ivanov (2004)**, Minimization of Wastes from batch plants for Compatible Manufacturing of Products, *Bulg. Chem. Com.*, Vol. 36, No 4, pp.253-262.
20. **N.G. Vaklieva, A. Espuna, E.G. Shopova, B.B. Ivanov and L. Puigjaner (2005)**, Multi-objective Optimization of Curds Manufacture, book series on *Comp. Chem. Eng.*, Vol. 20 B, pp.1183-1188, Elsevier.
21. **Ivanov B., Vaklieva-Bancheva N., K. Peneva (1993)**, Syntheses of batch systems with heat storage tanks. Design and retrofit problems [818], *CHISA'93* full texts, 29 August-3 September, 1993, Praha, Czech Republic.
22. **Б. Б.Иванов и колектив (1983)**, Метод и устройство за трансформиране на топлина, *Патент No 36300*, вписано в държавния регистър на заявките за изобретения рег No60749/1983г.
23. **K. Mintchev, B. Ivanov (2006)**, "Supply Chain Optimizacion in the Multipurpose Batch Chemical Industry "-20th International Conference-"Systems for Automation of Engineering and Research"-*SEAR 2006-23-24*, September St. Constantine resort, Varna, Bulgaria, pp.30-35.
24. **K. Mintchev, B. Ivanov (2006)**, *Planning and scheduling lead in to optimal use of resource consumption of multipurpose plants in food and chemical industry. Supply chain, Scientific Conference with International Participation, "Food Science, Engineering and Technilogies" 27-28 October Plovdiv, 2006.*
25. **N. Vaklieva-Bancheva, A. Espuña, E. Shopova, L. Puigjaner and B. Ivanov (2007)** "Multi-Objective Optimization of Dairy Supply Chain", Proceedings of ESCAPE 17, book series on *Computer Aided Chemical Engineering*, Vol. 24, pp. 781-786, Elsevier, 2007.
26. **B. B. Ivanov, K.I. Mintchev (2007)**, Supply chain optimization of batch chemical plants comprising continuous flexible process networks. *Bulg. Chem. Com.*, Vol. 39, No2, pp.106-118.
27. **N. Vaklieva-Bancheva, E.G. Shopova, B. Ivanov (2002)**, Application of Fourier Transformation for Waste Minimization in Batch Plants. 1. Analysis of Production Recipes, *Hung. J. Ind. Chem.*, Vol. 30, pp.199-206, 2002. *Цитирана*
28. **B. B. Ivanov, K. I. Mintchev (2009)**, Control of production campaigns with optimal loading of the power systems during MBCPs operation *Bulg. Chem. Com.*, Vol. 41, No4, pp.414-421.
29. **Б. Иванов, Н. Гинов (2009)**, Оптимално управление на топлинно интегрирани периодични реактори, използвани в хранителната промишленост. *Научни трудове на УХТ, том 56, свитък 2, pp. 153-158, ISSN 0477-0250.*
30. **B. Ivanov, D. Dobrudzhaliev (2009)**, Supply Chain planning and scheduling for Multipurpose Batch Chemical Plants in process industries. Proceedings of the International Conference on Information Technologies (*Info Tech-2008*) 19th-20th September 2009, Bulgaria Vol.2, pp.267-274.
31. **J. M. Laínez, C. Benqlilou, A. Espuña, B. Ivanov, N. Vaklieva, L. Puigjaner (2007)** "Use of CAPE-OPEN standards in the coordinated optimization of plant production scheduling and supply chain planning", *6th European Congress of Chemical Engineering*, September 16-21, 2007, Copenhagen, Denmark, Norhaven Books, pp.539-540.
32. **B. Ivanov, K. Mintchev, D. Dobrudzhaliev (2008)**, Defining optimal operative scheduling of multipurpose batch chemical plants at limited resource consumption. Proceedings of the International Conference on Information. Technologies (*InfoTech-2008*), 19th-20th September 2008, Bulgaria, Vol. 2, pp. 267-274.

33. **B. Ivanov, D. Nikolova, D. Dobrudzhaliev (2010)** Optimal control of heat integrated batch reactors. Proceedings of the International Conference on Information Technologies (*InfoTech-2010*) 16th–18th September 2010, Bulgaria, pp. 271-278.
34. **Ivanov, B., D. Dobrudzhaliev (2010)** Planing and Scheduling for Multipurpose Batch Chemical Plants in Process Industries. *Journal of Information, Control and Management Systems*, Vol. 8, (2010), pp.157-174, No. 3, Slovakia.
35. **B. Ivanov, D. Dobrudzhaliev, A. Angelov (2010)** Portfolio Optimization for Multipurpose Batch Chemical Plants (MPBP) ICOSECS7–7TH, *International Conference of the South Eastern Countries Chemical Societies*, September 15–17, 2010, Bucharest – Romania, CD с докладите.
36. **Б. Иванов, Д. Николова, Д. Добружалиев (2010)**, Оптимално управление на топлинно интегрирани биореактори I. Управление при непрекъснати променливи. *Научни трудове на УХТ, том 57, свитък 2, pp.255-260, ISSN 0477-0250*
37. **Боян Иванов, Десислава Николова, Драгомир Добружалиев (2010)**, Оптимално управление на топлинно интегрирани биореактори II. Квазиоптимално управление на процесите. *Научни трудове на УХТ, том 57, свитък 2, pp.261-266.*
38. **Иванов, Б., Д. Добружалиев, А. Ангелов, Д. Николова (2010)**, Рационално и ефективно използване на енергия при производствени процеси в химическата, биохимическата и хранително-вкусовата промишленост I. Анализ на възможностите за директна топлинна интеграция, *Научни трудове на РУ, том 49, сер.9.1,75-79, 2010.*
39. **Иванов, Б., Д. Добружалиев, А. Ангелов (2010)**, Рационално и ефективно използване на енергия при производствени процеси в химическата, биохимическата и хранително-вкусовата промишленост II. Схеми и метод за синтез при директна топлинна интеграция, *Научни трудове на РУ, том 49, сер. 9.1, 80-85, 2010.*
40. **Ibriamova, Y., D. Dobrudzhaliev, B. Ivanov (2010)** Design of Mixsers for Chemical and Biochemical Industry, *Trakya Journal of Science*, Vol. 8, Suppl. 3, pp. 6-11, 2010
41. **D. Nikolova, B. Ivanov, D. Dobrudzhaliev (2011)**, Energy integration in antibiotic production using heat storage tanks, *Trakya Journal of Science*, (in press)
42. **B. Dimitrova, B. Ivanov, D. Dobrudzhaliev (2011)**, Biomass-the Task of Ecology and Factor Energy, *Journal of International Scientific Publication: Ecology & Safety*, Volume 4.
43. **B. Ivanov, D. Nikolova, D. Dobrudzhaliev (2011)**, Biomass-the Task of Ecology and Factor Energy, *Journal of International Scientific Publication: Ecology & Safety*, Volume 4.

II. Изнесени доклади на национални и международни научни форуми.

1. **B. Ivanov, N. Bancheva (1981)**, Algorithm for Setting Arbitrarily Structured Chemical Industrial Production in a Universal Chemical Industrial System, *Proceedings of the International AMSE Conference "MODELLING & SIMULATION", July 1-3, 1981, Paris, France* *(Устен доклад)*
2. **Ivanov B., Vaklieva-Bancheva N., K. Peneva (1992)**, Heat integration in a Batch Bioreactor System *Workshop on Bioprocess Simulation in Practice, april 14,1992, Graz, Austria* *(Постерен доклад)*
3. **B. Ivanov, K. Peneva, N. Bancheva (1992)**, *Heat Integration in Reactor Systems' at Fixed Time Interval, Fourth Bulgarian-Hungarian Workshop, Varna'92* *(Постерен доклад)*
4. **N. Vaklieva-Bantcheva, B. Ivanov (1992)**, A Method for Determination the Horizon Constraints for Design Problem of Multipurpose Batch Chemical Plants, *Fourth Bulgarian-Hungarian Workshop, Varna'92* *(Постерен доклад)*
5. **N. Vaklieva-Bantcheva, B. Ivanov (1993)**, A New Approach for Determination the Horizon Constraints for Design Problem of Multipurpose Batch Chemical Plants, *Comp. Chem. Eng., 1993.* *(Устен доклад)*
6. **Ivanov B., Vaklieva-Bancheva N., K. Peneva (1993)**, Syntheses of batch systems with heat storage tanks. Design and retrofit problems [818], *CHISA '93, 29 August-3 September, 1993, Praha, Czech Republic.* *(Постерен доклад)*

7. **B. Ivanov, N. Vaklieva-Bantcheva (1993)**, Optimal Reconstruction of Batch Chemical Plants with Regard to Maximum Heat Recuperation *Comp. Chem. Eng.*,
(Постерен доклад)
8. **N. Vaklieva-Bancheva, B. Ivanov (1999)**, Waste Minimization Through Optimal Plant Retrofit, *Comp. Chem. Eng.*, (1999),
(Постерен доклад)
9. **B. Ivanov, and K. Mintchev (2004)**, Software of optimal control production campaigns in cases of multipurpose batch chemical engineering systems -*10th INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL OF CHEMICAL ENGINEERING-Varna May 24-31, 2004*
(Постерен доклад)
10. **B. Ivanov, N. Vaklieva-Bancheva and K. Mintchev (2004)**, Methodology for optimal resources used control in case of compatible batch chemical processes *10th INTERNATIONAL SUMMER SCHOOL OF CHEMICAL ENGINEERING-Varna May 24-31, 2004*
(Постерен доклад)
11. **N. G. Vaklieva, A. Espuna, E. G. Shopova, B. B. Ivanov and L. Puigjaner (2005)**, Multi-objective Optimization of Curds Manufacture, book series on *Comp. Chem. Eng.*, 2005.
(Постерен доклад)
12. **B. Ivanov, K. Mintchev (2005)**, Planning and scheduling leading to optimal loading the systems of resource consumption in case of multipurpose chemical plants and complex (Supply chain management) *1st South East European Congress of Chemical Engineering (SECCChE-1), Beograd, 25-28 September.* (Постерен доклад)
13. **N.G. Vaklieva, A. Espuna, E.G. Shopova, B.B. Ivanov and L. Puigjaner (2005)**, Multi-objective Optimization of Curds Manufacture, *ESCAPE-15. May 29-June 1, 2005, Barcelona, Spain.* (Постерен доклад)
14. **K. Mintchev and B. Ivanov (2006)**, Supply Chain Optimization in Batch Chemical Industry, *20th International Conference "Systems for Automation for Engineering and Research" SEARA. September 22-24, Varna, Bulgaria (2006).* (Устен доклад)
15. **K. Mintchev and B. Ivanov (2006)**, Planning and scheduling lead in to optimal use of resource consumption of multipurpose plants in food and chemical industry. Supply chain - *SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION - "FOOD SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGIES" 27-28 October Plovdiv, 2006.* (Устен доклад)
16. **N. Vaklieva-Bancheva, A. Espuña, E. Shopova, L. Puigjaner and B. Ivanov (2007)**, "Multi-Objective Optimization of Dairy Supply Chain", *ESCAPE 17, Bucurest, Romania, May 29-June 1* (Постерен доклад)
17. **J. M. Lainez, C. Benqlilou, A. Espuña, B. Ivanov, N. Vaklieva, L. Puigjaner (2007)**, "Use of CAPE-OPEN standards in the coordinated optimization of plant production scheduling and supply chain planning", *6th European Congress of Chemical Engineering, September 16-21, 2007, Copenhagen, Denmark.* (Устен доклад)
18. **B. Ivanov, J.M. Lainez, N. Vaklieva-Bancheva, K. Minchev, E. Shopova, L. Puigjaner, and A. Espuna (2008)**, "SC-MOPP" – Platform for Planning and Scheduling Multi-site Manufacturing Systems, *CAPE FORUM-2008 7-8 февруари 2008, Солун, Гърция.* (Устен доклад)
19. **B. Ivanov, K. Mintchev, D. Dobrudzhaliev (2008)**, Defining optimal operative scheduling of multipurpose batch chemical plants at limited resource consumption Proceedings of the International Conference on Information Technologies (*InfoTech-2008*) *19th – 20th September 2008, Bulgaria* (Устен доклад)
20. **B. Ivanov, D. Dobrudzhaliev (2009)**, Supply Chain planning and scheduling for Multipurpose Batch Chemical Plants in process industries. Proceedings of the International Conference on Information Technologies (*Info Tech-2008*) 19th–20th September 2009, Bulgaria *Vol.2, pp.267-274.* (Устен доклад)
21. **B. Ivanov, D. Nikolova, D. Dobrudzhaliev, (2010)** Optimal control of heat integrated batch reactors. Proceedings of the International Conference on Information Technologies (*InfoTech-2010*) 16th–18th September 2010, Bulgaria. (Устен доклад)

22. **B. Ivanov, D. Dobrudzaliev, A. Angelov, (2010)** Portfolio optimization for multipurpose batch chemical plants (MPBP) ICOSECS7–7TH *International Conference of the South Eastern Countries Chemical Societies September 15–17, 2010, Bucharest – Romania.* (Постерен доклад)
23. **Б. Иванов, М. Минчев (2004),** Софтуер за определяне на производствени разписания при работата на многоцелеви и многопродуктови химико-технологични системи, осигуряващи оптимално натоварване на системите за ресурсопотребление, доклад пред *Петата национална конференция по химия, 29.09.2004–1.10.2004, София* (Устен доклад)
24. **К. Минчев, Е. Шопова, Б. Иванов (2004),** Софтуер за определяне на производствени разписания при работата на многоцелеви и многопродуктови химико-технологични системи осигуряващи оптимално натоварване на системите за ресурсопотребление, *устен доклад пред младежкия симпозиум организиран в рамките на младежкото изложение. (награден с диплома) (Грамота за участие). “ЕКСПО-ИНТЕЛЕКТ’04” 02.12.2004г* (Устен доклад)
25. **Минчев К., Иванов Б. (2005),** Оптималното управление на многоцелеви химически заводи и комплекси, *Трета национална младежка научно-практическа сесия 2005, 4-5 май 2005г., Национален Дом на Науката и Техниката, ул. “Раковски” No 108 4-5 май 2005г., София,* (Устен доклад)
26. **Б. Иванов, Н. Ваклиева-Банчева, К. Минчев (2004),** “Methodology for optimal resources use control in case of compatible batch chemical processes”, *10-та Международна лятна школа по инженерна химия, Варна, 24-31 май 2004* (Постерен доклад)
27. **Б. Иванов, К. Минчев (2005),** Оптимално разпределение на капацитетните възможности в условие на ресурсно-осигурителни вериги в химическата промишленост Теоретични аспекти и софтуерна реализация. *Научна конференция “Природни науки ’2005” 30.09-3.10 2005, Варна* (Устен доклад)
28. **К. Mintchev and B. Ivanov (2006),** Planning and scheduling lead in to optimal use of resource consumption of multipurpose plants in food and chemical industry Supply chain, *SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION-"FOOD SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGIES" -UNIVERSITY OF FOOD TECHNOLOGIES PLOVDIV, 27–28 October Plovdiv.* (Устен доклад)
29. **Б. Иванов, К. Минчев, Н. Гинов (2008),** Оптимално натоварване на енергосистемите при работата на многоцелеви заводи от хранително-вкусовата промишленост. “SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION-"FOOD SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGIES" - UNIVERSITY OF FOOD TECHNOLOGIES PLOVDIV. 24–25 October Plovdiv. (Устен доклад)
30. **Б. Иванов, Н. Гинов (2009),** Оптимално управление на топлинно интегрирани периодични реактори, използвани в хранителната промишленост. “SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION-"FOOD SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGIES" -UNIVERSITY OF FOOD TECHNOLOGIES PLOVDIV. 24–25 October Plovdiv. (Устен доклад)
31. **Б. Иванов, Д. Николова, Д. Добружалиев (2010),** Оптимално управление на топлинно интегрирани биореактори I. Управление при непрекъснати променливи. “SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION-"FOOD SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGIES" -UNIVERSITY OF FOOD TECHNOLOGIES PLOVDIV. 24–25 October Plovdiv. (Устен доклад)
32. **Б. Иванов, Д. Николова, Д. Добружалиев (2010),** Оптимално управление на топлинно интегрирани биореактори II. Квазиоптимално управление на процесите. “SCIENTIFIC CONFERENCE WITH INTERNATIONAL PARTICIPATION-"FOOD SCIENCE, ENGINEERING AND TECHNOLOGIES" -UNIVERSITY OF FOOD TECHNOLOGIES PLOVDIV. 24–25 October Plovdiv. (Устен доклад)

33. **Б. Иванов, Д. Добружалиев, А. Ангелов, Д. Николова (2010)**, Рационално и ефективно използване на енергия при производствени процеси в химическата, биохимическата и хранително-вкусовата промишленост. I. Анализ на възможностите за директна топлинна интеграция”, *НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ НА РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ. 5-6 ноември Разград. (Устен доклад)*
34. **Б. Иванов, Д. Добружалиев, А. Ангелов (2010)**, Рационално и ефективно използване на енергия при производствени процеси в химическата, биохимическата и хранително-вкусовата промишленост. II. Схеми и метод за синтез при директна топлинна интеграция, *НАУЧНА КОНФЕРЕНЦИЯ НА РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ. 5-6 ноември Разград. (Устен доклад)*

Abstract

Multiproduct batch plants (MBPs), also known as specialty plants, are capable of sequentially producing small amounts of a large number of different products. These systems are frequently used for production of great number very expensive products as fine chemicals, pharmaceuticals, cosmetics, reagents, polishes, latexes, foods and etc. The most important features that make MBPs particularly attractive are their inherent exibility and the ability to respond quickly to the changing market demands. There are examples of MBPs where even hundreds of products are processed in the same unit. On the other hand their flexibility results in optimal scheduling of each plant unit which complicates their management. Another characteristic of these systems is that the plant units usually operate in batch mode. This leads to improper loading utility systems of power energy, steam, water, raw materials and etc. A proper management of multiproduct and multipurpose batch chemical plants has to meet a given product portfolio in the plan horizon and to ensure conditions of utility systems loading at an acceptable level as well. The real multiproduct and multipurpose batch chemical plants consideration results in mix integer nonlinear problems (MINLP) solution.

The problem of optimal operation complicates dramatically due to dynamical nature of the processes realized in multiple plant units of the same type with different capacity (volumes) and presence of different policies for product storage (zero-wait, unlimited intermediate storage and etc.). The latter have to ensure within available capacity of each one of the material storage, to determine optimal sequence of processing tasks carried out in each one of the plant units, the quantity of the processing material as well as the time of each processing task in order to meet given objective (profit maximization, make span minimization, product portfolio satisfaction in the plan horizon, energy cost minimization, environmental impact minimization and etc.) as the planned products demands are satisfied within given plan horizon. It results in an unconventional hybrid problem formulation because it involves discrete and continuous control.

Increasing of the economic globalization involving small scale chemical industry enforces a single process unit operation and the combination of process units in companies in order to ensure optimal operation of the entire system including suppliers, storages, distributing centers and customers. Therefore, at the end of the 90s of twenty century was introduced the concept of Supply Chains. Motivation of the supply chains problems is inspired from the multipurpose batch chemical plants and companies consisting of such type of plants. There exists multi-variability in this type of systems as to produced products as well as to raw materials provision and a great number customers. The optimal control of such complexes results in very complex problem due to its large scale and integer control variables. The supply chains problem leads to optimal production portfolios which consist of realization of multipurpose batch chemical plants through production schedules creation ensuring their implementation at the same time ensuring the allowed utility systems loading and reduction of the energy utilities by using internal energy of the system.

The dissertation is devoted to the solving long-term and short-term design and scheduling optimal problems of multipurpose batch chemical plants and their complexes accounting the quality of used utilities by through developing effective management methods and corresponded to them computer-aided tools. Moreover, the dissertation includes investigations on the solution of energy efficiency problems in operation of multipurpose chemical plants with batch processes. In dissertation are considered the problem with optimal loading utilities systems of power energy, steam, water and other utilities.

I would like to express my gratitude to my colleagues Assoc. Prof. Natasha Vaklieva-Bancheva and Dipl. Eng. Krasimira Peneva for their active participation in discussing and developing the problems from Chapter 2 and Chapter 4. Also I would like to express my warmly gratitude to Prof. Costas Pantelides and Prof. Nilay Shah form the Imperial Coledge–London for our fruitful cooperation in consideration of the problems of heat integration of the processes.