

Рационално и ефективно използване на енергия при производствени процеси в химическата, биохимическата и хранително-вкусовата промишленост

I. Анализ на възможностите за директна топлинна интеграция

Б. Иванов, Д. Добружалиев, А. Ангелов, Д. Николова

Abstract: The problem of heat integration of batch reactors is considered. Heat integration opportunities in a hot-cold reactor system are discussed. A method of analysis is proposed, which combines heat integration and correction by external heating and/or cooling agents.

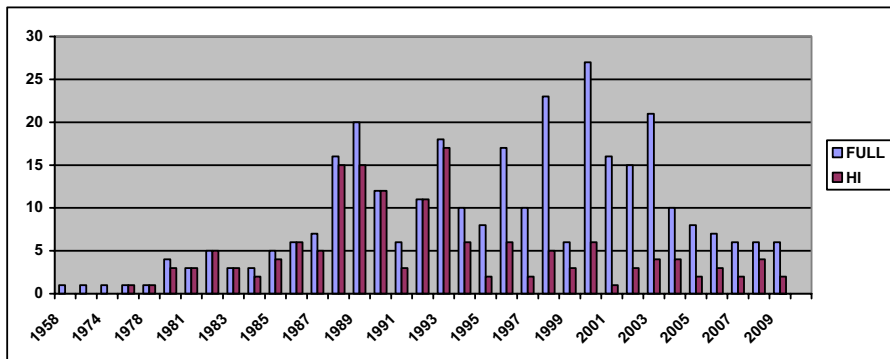
Key words: Batch reactors, Heat integration, Method of analysis.

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Производствата в химическата, биохимическата и хранително-вкусовата промишлености често се осъществяват в химико-технологични системи (ХТС) с периодични процеси. Най-често това са малотонажни производства, произвеждащи широк асортимент от продукти чрез използване на оборудване, което дава възможност за бърза промяна на асортимента на предприятието в зависимост от потребителското търсене. Пример в това отношение са продуктите от фармацевтичната и козметична промишленост, производствата на реактиви, лакове, латекси, хранителни продукти и др. Това са производства, изискващи сложни схеми за химичен синтез, експлоатацията и поддържането на които се характеризира с наличието на множество универсално оборудване, осигуряващо необходимата номенклатура от продукти.

Енергийната криза, стана причина изследователите да проявяват интерес и към въпросите, свързани с намаляване на консумацията на енергия и оптималното натоварване на енергосистемите и при системите с периодични процеси. Първата работа, появила се в научната литература, третиращи тези проблеми е [1]. В последствие тези проблеми са доразвити в работите [2], [3], [4]. Не отдавна в работата [5] бе предложена формулировка на проблемите за топлинната интеграция при полупериодични производствени системи.

Решаването на този проблем посредством оптимизацията на съществуващите технологии при зададена технологична схема изчерпва все повече и повече своите възможности със задълбочаване на енергийната и екологичната кризи. Изход от това положение е създаването на нови технологии и оптималната реконструкция на действащи технологични схеми със снижени материални и енергийни разходи.



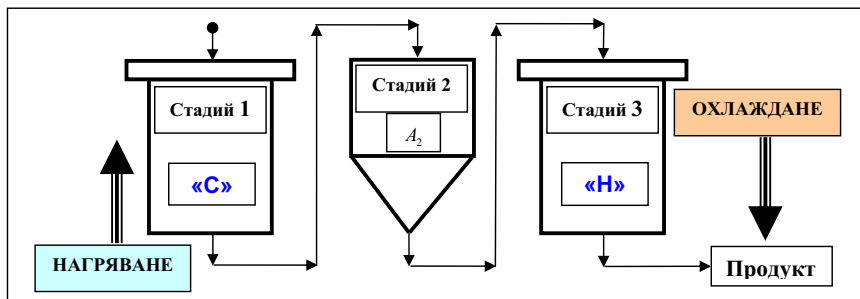
Фиг. 1. Публикации по топлинна интеграция на процесите (HI), на фона на общата публикационна активност (FULL)

На Фиг.1 е показана публикационната активност по години, касаещи въпросите свързани с намаляване на консумацията на енергия и оптималното използване на ресурсите при работата на ХТС с периодични процеси (НІ) в сравнение с общата публикационна активност по проблемите на ХТС с периодични процеси (FULL).

2. ОРГАНИЗАЦИЯ НА ПРОЦЕСЕТЕ В БИОХИМИЧНАТА И ХРАНИТЕЛНО-ВКУСОВАТА ПРОМИШЛЕНОСТ

2.1. Индивидуални линии с периодични процеси (ИЛ)

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, обединяващ множество от една или повече технологични операции, за чието осъществяване се използва обща апаратурна единица. На Фиг.2. е показано периодично производство състоящо се от 3 технологични стадии и включващи 12 технологични операции. Стадий 1 изисква нагряване от начална температура T_c^s до крайна температура T_c^f в реактор «С». Стадий 3 изисква процес на охлаждане от T_H^s до T_H^f , който се осъществява в реактор «Н». При определени условия е възможна обмяна на топлина между двата реактора, което би довело до икономия на енергия. Интеграцията на процесите с цел обмяна на топлина е възможна чрез използване на топлинни резервуари или чрез директна топлинна интеграция само когато се работи в режим с прекриване на циклите и корекция на времената на изчакване между стадиите. И в двата случая е необходимо използване на подходящи за конкретния случай схеми за осъществяване на процесите.



Фиг.2. Принципна схема на линия с периодично действие

2.2. Многопродуктови системи с периодични процеси (МпС)

При *многопродуктовите системи* производството на всеки продукт минава през апаратури единици на дадена конфигурация с постоянни връзки между апаратите, така както е показано на фиг.2, но на тази конфигурация могат да бъдат произвеждани различни продукти в различни времеви интервали, но не и едновременно. Проблемите за топлинната интеграция са аналогични както и при индивидуалните линии.

2.3. Многоцелеви системи с периодични процеси (МцС)

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

Многоцелевата система позволява едновременно производство на различни групи от продукти в зададен времеви интервал, напр. А,В,С през първата седмица и В,С,D през втората. Групата от съвместно произведените продукти в даден времеви интервал наричаме кампания. Възможността за топлинна интеграция на процесите е

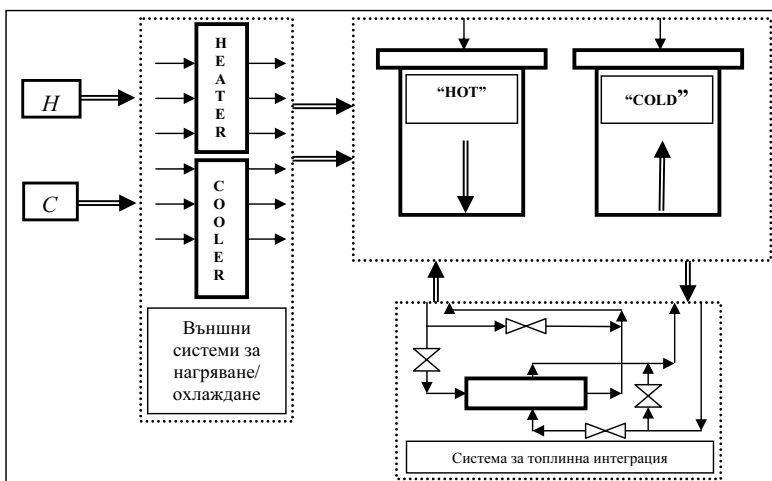
свързана с производственото разписание чрез което може да се осигуряват възможности за директна или индиректна топлинна интеграция.

3. РАЦИОНАЛНО И ЕФЕКТИВНО ИЗПОЛЗУАНЕ НА ЕНЕРГИЯТА ЧРЕЗ ДИРЕКТНА ТОПЛИННА ИНТЕГРАЦИЯ НА ПРОЦЕСИТЕ

При работата на коя да е от горепосочените системи в даден времеви интервал група апарати трябва да бъдат охладени, а друга група да бъдат нагрети. Възниква въпросът не е ли възможно да бъде използвана вътрешната енергия в системата, така, че чрез топлообмен между апарати да се намали количеството енергия, използвана от външни източници за осъществяване на процесите.

За да е възможна обмяна на топлина чрез директна топлинна интеграция в двойката «Н-С» реактори е необходимо да бъдат създадени условия при които процесите нагряване и охлаждане да започват едновременно. Това може да се осъществи при индивидуалните линии и при многопродуктовите системи чрез корекция на времената на изчакване между стадияте при работа в режим с препокриване на циклите и чрез определяне на подходящо производствено разписание за многоцелевите системи.

3.1. Топлинна интеграция в двойка апарати с последваща корекция



Фиг.3. Системи за интеграция и корекция при двойка «Г-С» реактори

При работа на индивидуалните, многопродуктовите и многоцелевите химико-технологични системи с периодични процеси е необходимо охлаждане на съдържимото в реактора «Н» от температура T_H^s до температура T_H^f във времеви интервал τ_H и в същото време реактор «С» да бъде нагрят от температура T_C^s до T_C^f за време τ_C . За да е възможна обмяна на топлина между двата реактора е необходимо изпълнение на условието $T_H^s \geq T_C^s + \Delta T_{\min}$. В резултат на процеса на топлинна интеграция в най общия случай не е възможно достигането на желаните крайни температури за двата реактора. Поради това е необходимо използване на енергия от вън, което може да се осъществи чрез външни системи. На фиг.3. е показан общия вид на системата за интеграция и корекция.

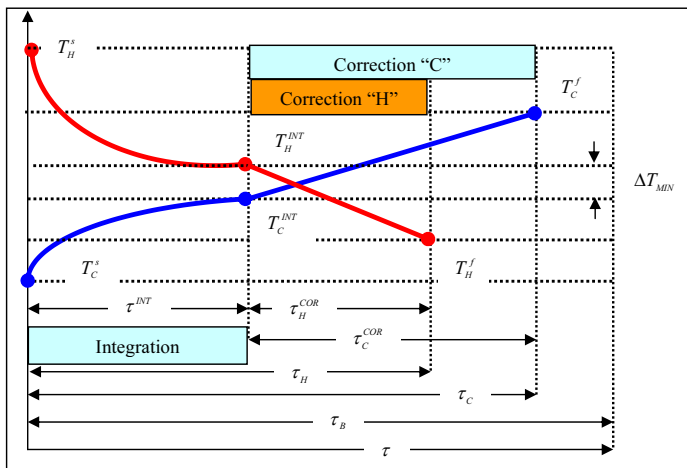
Процесите нагряване и охлаждане в двойката реактори «Н-С» във времето има вида както е показан на фиг.4. На първия етап се извършва топлинна интеграция, а

на втория топлинна корекция с използване на системи за подгряване и охлаждане когато не са достигнати крайните работни температури.

Топлинната интеграция се осъществява чрез използване на различни схеми в зависимост от конкретния процес. Такива схеми са предложени и в [1], [2], [3]. Обикновено този процес се извършва чрез рекуперативни топлообменни апарати, чрез циркулация на междинен топлоносител при наличие на ризи или змиевици в реакторите, а също така и с приемачи междинни резервоари.

Задачата за синтез на система за нагряване и охлаждане чрез топлинна интеграция на двойка «Н-С» апарати се състои в избор на схема и определяне на оптималните параметри на процесите, осигуряващи минимална цена на консумираната енергия от външните източници.

Количеството топлина, което може да бъде обменено в резултат от топлинната интеграция в системата «Н-С» реактори е в зависимост от крайните температури на реакторите, обемите и топлосъдържанието. Тука са възможни следните два случая:



Фиг. 4. Процесите «Нагряване» и «Охлаждане» във времето

Случай «А», когато $T_H^f \geq T_C^f$ топлината, която може да бъде обменено в резултат на интеграцията е $Q_{INT} = \min(Q_H^C, Q_C^H)$ където, $Q_H^H = C_{pH} V_H (T_H^s - T_H^f)$, $Q_H^C = C_{pC} V_C (T_C^f - T_C^s)$.

Ако $Q_H^C \leq Q_C^H$, в резултат на интеграцията се достига температурата T_C^f на «С» реактор и отпада необходимостта от външен топлоизточник. Трябва да се осигури външна система за доохлаждане на «Н» реактор от температура T_H^s до T_H^f , където

$$T_H^* = \frac{C_{pC} V_C (T_C^f - T_C^s) - C_{pH} V_H T_H^s}{C_{pH} V_H}$$

доохлаждане е $Q_C^{IN} = C_{pH} V_H (T_H^* - T_H^f)$.

При $Q_H^C \geq Q_C^H$ в резултат от интеграцията се достига температурата T_H^f на «Н» реактор, като отпада необходимостта от външна система за охлаждане. Системата за нагряване се използва за донагряване на «С» реактор от температура T_C^s до T_C^f , където

$$T_C^* = \frac{C_{pH} V_H (T_H^s - T_H^f) - C_{pC} V_C T_C^s}{C_{pC} V_C}$$

донагряване е $Q_H^{IN} = C_{pC} V_C (T_C^f - T_C^*)$.

Случай «Б», когато $T_H^f \leq T_C^f$ количеството енергия, което може да бъде обменено в резултат на топлинната интеграция ще бъде $Q^{INT} = C_{p_c} V_c (T^* - T_c^s)$, където $T^* = \frac{C_{p_H} V_H T_H^s - C_{p_c} V_c T_c^s}{C_{p_H} V_H + C_{p_c} V_c}$.

В този случай системата «Н-С» се нуждае от наличието на външни системи за донегряване и доохлаждане до достигане на желаните крайни температури.

Количеството топлиененергия, необходимо за донегряване на «С» реактор е $Q_H^{COR} = C_{p_c} V_c (T_c^f - T^*)$ и трябва да бъде осигурено от външен източник, а топлиененергията необходима за доохлаждане на «Н» реактор е $Q_C^{COR} = C_{p_H} V_H (T^* - T_H^f)$ и трябва да бъде осигурена от системата за външно автономно охлаждане.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Формулиран е проблемът за снижение на енергопотреблението при работата на системи с периодични процеси.
2. Направен е анализ на възможностите за редукция на енергопотреблението чрез топлинна интеграция с последваща корекция в двойка периодични реактори.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Vaselenak J.A., Grossmann I.E., Westerberg A.W., Heat integration in batch processing, Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev., **25**, No.2, pp.357-366, 1986.
- [2] Ivanov B., K. Peneva, N. Bancheva, Heat Integration of Batch Vessels at Fixed Time Interval. I. Schemes with Recycling Main Fluids, Hung. J. Ind. Chem., **20**, pp.225-231, 1992.
- [3] Ivanov B., K. Peneva, N. Bancheva, Heat Integration of Batch Vessels at Fixed Time Interval. Part II: Schemes with Intermediate Heating and Cooling Agents, Hung. J. Ind. Chem., **20**, pp. 233-239, 1993.
- [4] N. Bancheva, B. Ivanov, N. Shah, C. Pantelides, Heat Exchanger Network Design for Multipurpose Batch Plants, Comp. Chem. Eng., **20**, pp. 989-1001, 1996.
- [5] Majozi T., Heat Integration of Multipurpose Batch Plants Using a Continuous-Time Formulation, Applied Thermal Engineering Journal, **26**, pp. 1369-1377, 2006.

За контакти:

Доц. д-р. Боян Иванов, Институт по инженерна химия - БАН,
София, ул. Акад. Г. Бончев, блок 103, E-mail: bivanov@bas.bg
Доц. д-р. Драгомир Добружалиев, Университет "Проф. д-р Асен Златаров",
Бургас, E-mail: dragodob@yahoo.com
Докторант инж. Десислава Николова, Институт по инженерна химия - БАН,
София, ул. Акад. Г. Бончев, блок 103, E-mail: systmeng@bas.bg
Инж. Ангел Ангелов, «ПОБЕДА» - АД, Бургас, E-mail: angelov@pobeda-ad.com

ACKNOWLEDGEMENTS

This study has been carried out with the financial support of both, the Grant scheme №BG051PO001-3.3.04/ 30 /28.08.2009 under the Operational Program "Human Resources Development" 2007-2013, co-financed by European Social Fund of European Community.

Докладът е рецензиран.