Йерархична система за управление на инсталация за пречистване на газов кондензат при производството на амоняк

Н. Перчемлиев, А. Грънчарова, К. Бошнаков

Hierarchical Control System for Gas Condensate Stripping Installation in the Ammonia Production Process

N. Perchemliev, A. Grancharova, K. Boshnakov

Key Words: *Ammonia production; Gas condensate stripping; Hierarchical control system; Profit Loop; Supervisory Control.*

Abstract. *In this paper examines an existing industrial plant for gas condensate stripping, which is part of ammonia production. Processes and apparatuses are described. Real industrial measurements were made on the basis of which analyses were made. A conceptual architecture of a hierarchical control system for installation's control is presented. The suggested architecture can be implemented and tested with the existing Honeywell's Experion PKS. The main purpose of the hierarchical control system is to improve the efficiency of heat sources and the quality of the stripped gas condensate. This will improve the economic performance of the entire ammonia plant.*

Увод

Разгледана е обособена инсталация за пречистване на газов кондензат (*фиг. 1*) [1], която представлява част от амонячното производство на „Неохим" АД. Основен технологичен апарат в инсталацията е отпарна колона (Stripping Column), в която се извършва дестилация на газовия кондензат. Топлината за изпарението му се осигурява от водна пара.

Предложена е йерархична система за управление на цялата инсталация за пречистване, включваща няколко подсистеми. Целта на системата е подобряване на технологичния режим, повишаване на ефективността на използваните източници на топлина за дестилационния процес, което ще се отрази върху икономическия ефект от инсталацията.

Описание на инсталацията за пречистване на газов кондензат

Технологични особености на амонячното производство

Производството се базира на утвърдена технология (Хабер-Бош, 1910 г.), доказали работоспособността си технологични апарати и модули, а внедрената съвременна разпределена система Experion PKS (Honeywell) позволява реализирането на най-съвременни методи за управление.

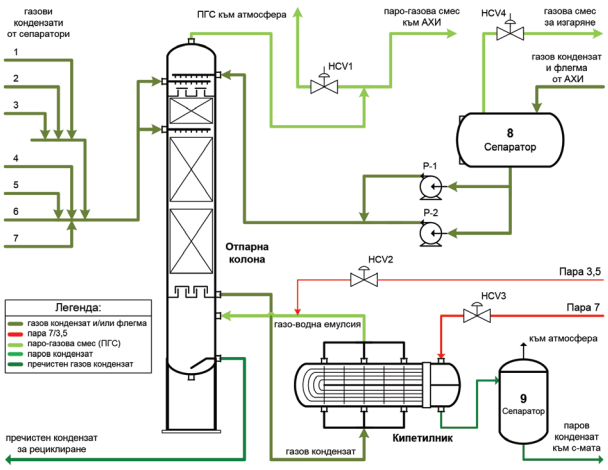
В използваната технология за производство на амоняк основна суровина е природният газ, от който чрез химични превръщания в каталитични реактори поетапно се получава синтез-газ със състав: H_2; N_2; Ar; CO_2; CO; CH_4; H_2O. Технологичният процес протича в обособени инсталации, в които синтез-газът се пречиства до получаването на чиста азотоводородна смес (АВС). В последния стадий на превръщане АВС преминава през синтез-колона с пълнеж от железен катализатор, при което се получава амоняк.

При охлаждането на синтез-газа в различните етапи на превръщане от съдържащата се влага в него се образува газов кондензат (ГК). В съответните инсталации охладеният газов поток преминава през сепаратори за отделяне на влагата. В куба на сепараторите се поддържа ниво със САР, а отделеният ГК се извежда по колектори към инсталацията за пречистване.

Газовият кондензат съдържа в своя състав NH3 (до 1000 mg/l), CO2 (до 3000 mg/l) и незначително количество органични съединения (до 500 mg/l изчислено на метанол). ГК може да бъде рециклиран, но за да бъде използван отново за производството на пара, посочените летливи компоненти трябва да бъдат отстранени от него.

Технологична схема на инсталацията за пречистване на газов кондензат

В показаната на *фиг. 1* [1] опростена технологична схема на инсталацията са отразени участващите в процеса технологични апарати, както и основните материални потоци (опоменати и отбелязани графично с различен цвят). Апаратът, в който се извършва пречистването на ГК чрез дестилация, е отпарната колона (Stripping Column). Тя представлява тарелкова колона с насадка от метални пръстени в три секции. В горната част на колоната се подават отделените газови кондензати от различни части на амонячното производство, а именно: инсталация за охлаждане на синтез-газ (сепаратори 6 и 7); инсталация за метаниране (сепаратор 5); компресор за АВС (сепаратори 1, 2 и 3); хладилна инсталация – АХИ (сепаратори 4 и 8).



Фиг. 1. Опростена технологична схема

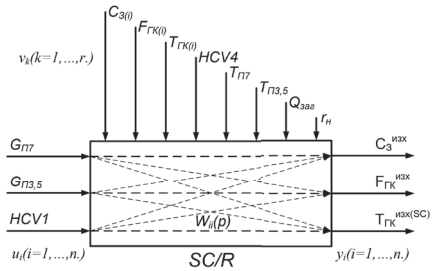
Преминавайки през трите секции пръстени, потокът ГК се подгрява от изпарените пари и газове, а след това се извежда от долната тарелка на колоната към кипетилника (Reboiler). Кипетилникът (R) представлява хоризонтален термосифонен кожухотръбен топлообменник с U-образни тръби, които в работен режим са постоянно залети с ГК.

За дестилацията се използват два източника на топлина – влажна пара с налягане 7 kgf/cm^2, която се подава в тръбното пространство на кипетилника, и суха пара с налягане 3.5 kgf/cm^2, която се подава в куба на колоната (SC). Подгретият ГК от кипетилника се подава в куба на колоната под формата на газоводна емулсия, където протича кипенето и частичното изпарение на ГК при 135-139°C и налягане 2.2-2.5 kgf/cm^2. Изпареният кондензат заедно с летливите компоненти преминават през долната тарелка и насадката на колоната, където подгряват входящия ГК, респективно и протича частично отделяне на летливите компоненти от входящия поток. При този топлообмен част от водните пари кондензират и се смесват със свежия ГК, а останалата част заедно с летливите компоненти излизат от горната част на колоната. Оттам парогазовата смес се извежда и се използва за топлоносител в АХИ, а минималната част се изхвърля в атмосферата.

Информационна схема на обекта за управление

Газовият кондензат се характеризира със следните технологични параметри:

– Концентрация на замърсителите – $C_З$ [mg/l];
– Разход на ГК на вход в колоната – FГК [m$_З$/h];
– Температура на ГК на вход в колоната – TГК [°C].



Фиг. 2. Информационна схема на основния технологичен възел SC/R като обект за управление [1]

На *фиг. 2* е показана информационната схема на разглеждания обект – технологичен възел SC/R. Посочени са входните въздействия, разделени на управляващи и смущаващи, като са откроени и изходите на обекта.

– $G_{П7}$; $G_{П3,5}$ – масов разход на пара [t/h];
– $T_{П7}$; $T_{П3,5}$ – температура на пара [°C];
– HCV1; HCV4 – положение на регулиращ орган [%];
– $Q_{заг}$; $r_н$ – топлинни загуби и термично съпротивление.

За показаната структура на *фиг. 2* въздействието върху тата изходна променлива представлява сумарно въздействие на прекия и всички останали кръстосани динамични канали заедно с всяко външно смущение: [6]

$$(1)\ y_i(p) = \sum_{j=1}^{n} W_{ij}(p)u_j(p) + \sum_{k=1}^{r} G_{ik}(p)v_k(p), \quad \begin{matrix} i = j = 1,2,\dots,n. \\ k = 1,2,\dots,r, \end{matrix}$$

където:

$y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T = (C_З^{изх} \quad F_{ГК}^{изх} \quad T_{ГК}^{изх(SC)})^T$

– вектор на регулируемите променливи;

$u = (u_1, u_2, \dots, u_n)^T = (G_{П7} \quad G_{П3,5} \quad HCV1)^T$

– вектор на управляващите въздействия;

$v = (v_1, v_2, \dots, v_r)^T = (C_{З(r')} \quad F_{ГК(r')} \quad T_{ГК(r')} \quad HCV4 \quad T_{П7} \quad T_{П3,5} \quad Q_{заг} \quad r_н)^T$

– вектор на външните смущения;

$W_{ii}(p)$ – предавателна функция между i-ия вход и i-ия изход;

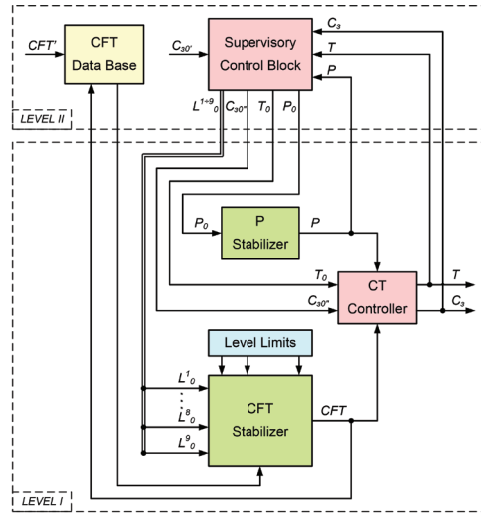
$G_{ik}(p)$ – предавателна функция между k-ия вход и i-ия изход;

$W(p) = \|W_{ii}(p)\|_n^n \Rightarrow \|W_{ii}(p)\|_3^3$ – предавателна матрица на обекта;

$G(p) = \|G_{ik}(p)\|_n^r \Rightarrow \|G_{ik}(p)\|_3^8$ – предавателна матрица на смущенията.

Йерархична система за управление на инсталацията за пречистване на газов кондензат

Въз основа на направените анализи и оценки на смущаващите и управляващите въздействия към обекта, както и характера на протичащите процеси е съставена концептуална йерархична архитектура за управление, показана схематично на *фиг. 3* [1].



Фиг. 3. Архитектура на йерархичната система за управление [1]

Предложената архитектура е изградена от две нива, в които са обособени следните подсистеми:

- **Първо йерархично ниво. Блок „P Stabilizer".** Система за компенсиране на смущението по канала „налягане в процесната система – температура в куба на колоната и концентрация на замърсителите в изходящия поток ГК".
- **Първо йерархично ниво. Блокове „CFT Stabilizer" и „Level Limits".** Система за компенсиране на смущенията по канала „параметри на входящите потоци ГК (CFT) – температура в куба на колоната и концентрация на замърсителите в изходящия поток ГК".

От направения анализ на обекта следва, че технологичните параметри на входящите потоци ГК са концентрация на замърсителите, разход и температура на ГК. Тези три параметъра могат да се обединят в единен критерий от тип тегловен коефициент – CFT, служещ за адекватна оценка на въздействието върху дестилационния процес, а именно изходните променливи C_3 и T.

Разходът на сумарния поток ГК се определя от състоянията на регулиращите клапани към кубовете на всички сепаратори, поради което системите за регулиране на нивата по кубовете ще бъдат подчинени на регулатор на разхода, изходящ ГК от съответните сепаратори (колектори) в ограничения, съобразени с технологичните изисквания – изпълнени посредством логическия блок „Level Limits". В допълнение към блока за стабилизация е интегриран и контурът за регулиране на нивото в куба на самата отпарна колона.

Първо йерархично ниво. Блок „CT Controller". Многосвързана система за управление на разглеждания обект с управлявани променливи – концентрация на замърсителите в изходящия поток ГК и температура в куба на колоната SC и добавени динамични компенсатори на смущенията P и CFT.

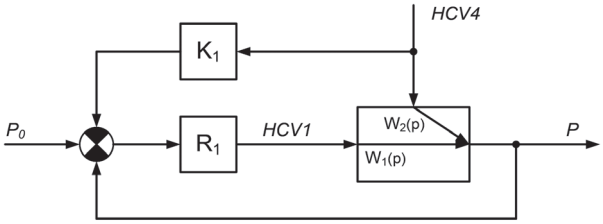
Второ йерархично ниво. Блок „CFT Data Base". Адаптивна система база данни, служеща за оптимизация на параметрите в блок CFT Stabilizer, чрез определяне на влиянието на смущаващите въздействия по канала на входящия поток газов кондензат (технологичните параметри на входящите потоци ГК са посочени в таблица) при зададени начални такива – CFT.

Второ йерархично ниво. Блок „Supervisory Control Block". Адаптивна система за супервайзорно управление и параметрична оптимизация на подчинените контролни и стабилизиращи модули, целяща изчисляване на оптималните настройки за отделните управляващи контури по зададен режим на натоварване ($C_{30'}$) на разглежданата инсталация.

Обособяване на нови подчинени контури за супервайзорно управление

Съобразено с блоковете в предложената йерархична архитектура са синтезирани следните системи за управление:

Система за стабилизация на налягането в инсталацията – P Stabilizer. На *фиг. 4* е показана стандартна комбинирана система за компенасация на смущение, реализирана с компенсатор и регулатор. Смущението HCV4 се измерва косвено като положение на регулиращ орган, но е предвидено в бъдещата система да се измерва пряко. Въз основа на предварителните данни от описанията на регулиращите органи се очаква силата и динамиката на смущаващото въздействие HCV4 да бъдат значително по-малки от тези на управляващото – HCV1, тъй като условните диаметри на регулиращите органи са в отношение 4:1 за HCV4.



Фиг. 4. Комбинирана система за компенсация на налягането като смущаващо въздействие [1]

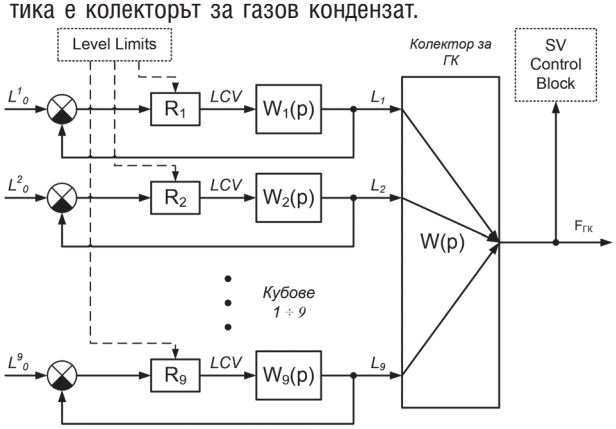
Обектът е декомпозиран и представен чрез предавателните функции $W_1(p)$ за управляващото въздействие и $W_2(p)$ за смущаващото въздействие, които отразяват влиянието на съответните канали:

– Управляващо въздействие – положение на клапан HCV1 – налягане в системата (P);

– Смущаващо въздействие – положение на клапан HCV4 – налягане в системата (P).

Многомерна несвързана каскадна система за автоматично регулиране разхода на сумарния поток газов кондензат на вход в отпарната колона. Както стана ясно от описанието на йерархичната система, в състава на блока за стабилизация **CFT Stabilizer** (*фиг. 4*) [1] влизат системите за регулиране на нивата в кубовете на сепараторите и отпарната колона.

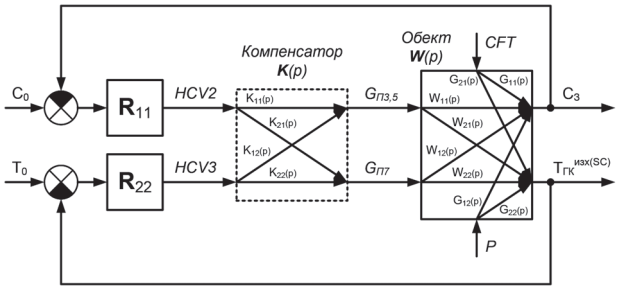
На *фиг. 5* е показана многомерна несвързана каскадна САР на разхода на сумарния поток ГК чрез регулиране на нивата в кубовете на сепараторите и отпарната колона. Тя се състои от девет едноконтурни САР на ниво, изходите на които са свързани в обект от типа MISO, който на практика е колекторът за газов кондензат.



Фиг. 5. Система за регулиране на нивата в кубовете и стабилизация на разхода на ГК [1]

Измереният сумарен разход FГК се обработва на второ йерархично ниво в блока **Supervisory Control Block**, откъдето се изработват задания L^n0 на подчинените САР на ниво (*n=1.2-9*). Характерното при всички изброени САР на ниво, е че обектите им за управление са с обратно действие, тоест с увеличаване на управляващото въздействие LCV изходната величина (L_n – ниво на ГК) намалява. Поради технологичните изисквания, касаещи нормалния режим на работа на инсталациите, всеки куб на сепаратор и колоната (SC) не трябва да остава без минимално допустимо количество газов кондензат, както и не трябва да превишава максималното такова. С оглед на тези изисквания са систематизирани граничните стойности на нивата на ГК в кубовете на сепараторите и отпарната колона. Граничните стойности се съхраняват в логическия блок **Level Limits** от йерархичната система.

Многосвързана система за управление на процесите в куба на отпарната колона – CT Controller. На *фиг. 6* е показана многосвързана система за управление, изградена въз основа на блок CT Controller от йерархичната архитектура. Системата е реализирана посредством регулаторите $\mathbf{R}_{11}$(p) и $\mathbf{R}_{22}$(p) и компенсатора за динамично декуплиране **K**(p).

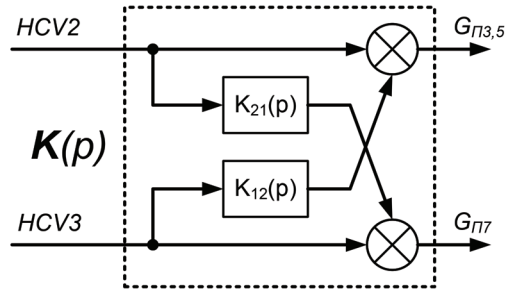


Фиг. 6. Многосвързана система за управление и компенсация [1]

Разглежданият обект **W**(p) е двусвързан и е с добавени смущения по основните канали – CFT и P. На практика обектът представлява куба на отпарната колона, където се извършва дестилацията. Управляващите въздействия са масовите разходи на пара $G_{П3,5}$ и $G_{П7}$, а изходните величини – температурата $T_{ГК}^{изх(SC)}$ и концентрацията C3 на замърсителите в изходящия газов кондензат.

За стабилизирането на двете смущаващи въздействия P и CFT се грижат системите, описани по-горе. От друга гледна точка може да се приеме, че след системите за стабилизация двете смущаващи въздействия се превръщат в управляващи такива.

Задача на многосвързаната система на *фиг. 6* [1] е да компенсира кръстосаните връзки в обекта за управление. Тъй като са налични силни кръстосани влияния върху изходите в несвързаната МСАР, е необходимо да се използва по-сложният динамичен компенсатор на кръстосаните връзки, който отстранява взаимодействията не само в статичен, а и в динамичен режим. Използвана е една от най-елементарните в техническо и конструктивно отношение структура на динамичен компенсатор за МСАР, показана на *фиг. 7* [1].



Фиг. 7. Структурна схема на динамичния компенсатор [1]

Предвиденият динамичен компенсатор **K**(p) има следния матричен модел:

$$(2)\quad \mathbb{K}(p) = \begin{vmatrix} K_{11}(p) & K_{12}(p) \\ K_{21}(p) & K_{22}(p) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & K_{12}(p) \\ K_{21}(p) & 1 \end{vmatrix}.$$

Многомерният регулатор **R**(p) е представен с модела

$$(3)\qquad \mathbb{R}(p) = \begin{vmatrix} \boldsymbol{R}_{11}(p) & 0 \\ 0 & \boldsymbol{R}_{22}(p) \end{vmatrix},$$

където $\mathbf{R}_{11}$(p) и $\mathbf{R}_{22}$(p) са компоненти от несвързаната система. Регулаторите $\mathbf{R}_{11}$(p) и $\mathbf{R}_{22}$(p) имат за цел да регулират променливите по правите канали на обекта за управление.

Предвидени са да бъдат реализирани със стандартен ПИД закон за регулиране, но тъй като контролерът Profit Loop в разпределената система Experion PKS предлага модифициран ПИД закон с възможност за автонастройка, то ще бъде използван последният.

Съществуващи методи за управление на дестилационни инсталации

Първоначална система за управление на текущата инсталация. Предвид скромния мащаб на инсталацията за пречистване на газов кондензат спрямо цялото амонячно производство, както и годината на проектиране (1976 г.) се потвърждава липсата на сложни системи за управление.

В оригиналния си вид управлението на процесите, протичащи в отпарната колона и кипетилника, се осъществява чрез автоматично регулиране на нивото в куба на колоната, както и автоматичен регулатор на нивото в сепаратор – 9. Останалите параметри като разходи и температура на входящите потоци газов кондензат и пара са изведени на съответни показващи и пишещи прибори в командната зала на цеха. Те се контролират ръчно от оператор химик посредством регулиращи вентили. Двата регулатора на ниво са интегрирани в релейна система за защита и блокировка, имаща за цел да предпази инсталацията и хората от вредни влияния, когато технологичните апарати са в авариен режим на работа.

За подобряване на ефективността на инсталацията за пречистване се налага въвеждането на повече отделни контури, както и свързването им в по-сложни системи. С възможностите, които предлага системата Experion PKS, повишаването на ефективността може да бъде постигнато, също така чрез оптимизационни задачи могат да бъдат изследвани различните режими на работа на отпарната колона, снемане на характеристики и работна точка.

Управление на дестилационни инсталации [7]

В повечето приложения за управлението на процесите структурните проблеми, които предшестват действителния дизайн на контролера, са най-важните. Проблемът с избора на управляваща структура включва следните решения:

1. Избор на контролни цели, изпълнителни механизми и измервания.

2. Избор на управляваща конфигурация: избор на структура на контролера (например свързване на задвижващи механизми за децентрализирано управление).

Предвид че ние определяме последната стъпка като "избор на управляваща конфигурация", комбинацията от две стъпки се обозначава като "избор на управляваща структура". На практика системите за управление са интегрирани в йерархични системи с регулатор (основен) за управление на най-ниското ниво. Двете основни цели за системата за регулаторно управление са:

1. Вземане под внимание задачите за управление, при които е необходима бърза реакция.

2. Създаване на проблем на управлението, както се вижда от нивата по-горе.

По-високите нива в системата за управление могат да включват надзорна и оптимизираща система за управление или просто оператор. Във всеки случай въпросът за избор на управляваща структура обикновено е най-важен за регулаторите.

Това е така, защото основната цел на управлението в това йерархично ниво е да се улесни добрата работа, т.е. внедряване на проста система за управление, която да улесни операторите при експлоатацията на инсталацията.

Така целите на управлението не са ясно определени на това ниво, следователно системата за управление трябва да бъде проста. Обикновено искаме да се внедряват децентрализирани SISO контролери.

По-конкретно често има допълнителни измервания на параметри, които не са особено важни за управлението на инсталацията от обща (или икономическа) гледна точка. Въпреки това на ниво регулаторно управление често се използват тези променливи като вторични управляващи цели чрез затваряне на локални контури. Обикновено такива променливи могат да включват избрани температури и налягания.

Задаваните стойности за тези контури могат да се регулират от по-високите нива, давайки начало към каскадна система за управление. Ефективно чрез затваряне на вторични управляващи контури се заменят оригиналните независими променливи (обикновено разходи и положения на регулиращите клапани за управление на процеса) от някои нови независими променливи (зададените стойности на променливите на вторичните контури). Идеята е да има проблем на управлението по отношение на тези нови независими променливи, което е по-лесно и най-малкото, че те не трябва да се регулират толкова често. За бързо управление се грижат вторичните управляващи контури, изпълнявани на регулаторното ниво.

Управлението на дестилационните колони е предизвикателство поради силните връзки, нелинейното поведение и големия брой възможни управляващи структури. Управляващите входове често са разходите на входящите потоци (ако има регулиращи органи), а управляемите (изходи) са параметри на качеството на дестилата, нивата в кубовете, налягането в системата. Типични смущения могат да бъдат съставът на входящите потоци, енталпията и разходът им.

На практика дестилационните колони обикновено се управляват по йерархичен принцип, с контури за ниво и управление на налягането, внедрено в регулатора за управление на ниво.

Заключение

Обособената инсталация за пречистване на газов кондензат е свързана с апарати от различни блокове на амонячното производство. Важността на инсталацията е второстепенна предвид останалите блокове, но многосвързаността на апаратите в нея прави управлението й не по-малко сложно от това на останалите инсталации. Експлоатацията на тази инсталация при съществуващото управление разкрива определени недостатъци и значителни резерви по отношение на системите за управление. Създаването на усъвършенствани алгоритми за управление, а именно предложената архитектура на йерархична система би се отразило както на преките икономически резултати, така и на косвени (например доброто управление на процеса дестилация влияе директно върху качеството на крайния продукт, а именно газовия кондензат, а също и количеството на парата, която е източник на топлина за самия процес). Тези два критерия допринасят за подобряването на технико-икономическите показатели на цялото амонячно производство.

Благодарности

- „Неохим" АД, Димитровград – осигуряване на достъп до реални процесни данни и работа с Experion PKS.
- Това изследване е извършено с финансовата подкрепа на НИС – ХТМУ (Договор 11745/2018 г.: "Разработване на нови методи за синтез на явни моделно предсказващи регулатори").

Литература

1. Перчемлиев, Н. Дипломна работа: „Управление на процесите в инсталация за пречистване на газов кондензат при производството на амоняк". София, ХТМУ, 2017.

2. Семенов, В. П., Г. Ф. Киселев, А. А. Орлов, Т. А. Семенова, В. И. Овчинников, В. М. Коновалов. Производство аммиака. Москва, Химия, 1985.

3. Хаджийски, М. Автоматизация на технологичните процеси в химическата и металургичната промишленост. София, Техника, 1989.

4. Aujesky, A. Fully Automated Stripping Column. ICI Australia Engineering, 1993.

5. Skogestad S. The Dos and Don'ts of Distillation Column Control. Trans IChemE, 2007.

6. Shunta, Joseph P., Page S. Buckley, William L. Luyben, Design of Distillation Column Control Systems. Instrument Society of America, 1985, USA.

7. Wolff, Erik A. and Sigurd Skogestad. Temperature Cascade Control of Distillation Columns. Department of Chemical Engineering, University of Trondheim, 1996

За контакти:
Инж. Недко Перчемлиев
Неохим АД, ул. Химкомбинатска
6403 Димитровград
e-mail: perchemliev.n@gmail.com
Проф. д-р **Александра Грънчарова**
Проф. д-р **Коста Бошнаков**
Катедра "Автоматизация на производството" Химико-технологичен и металургичен университет
e-mails: alexandra.grancharova@abv.bg
kb@uctm.edu

ФНТС ВИ ПРЕДЛАГА

КОМПЛЕКСНИ УСЛУГИ:

Специалисти-консултанти за разработване на проекти, свързани с технологични иновации, финансова политика, патентна защита и др...

Федерацията на научно-техническите съюзи ще ви осигури конферентни и изложбени зали, симултанна техника, отлични възможности за провеждане на вашите събития, промоции, коктейли.

Спестете време, средства и енергия като се възползвате от комплексните услуги на Федерацията и удобните зали от 14 до 300 места, в центъра на София.

ЗАПОВЯДАЙТЕ ПРИ НАС!

Зала, / брой места	Само за делнични дни	Делнични дни		Почивни и празнични дни	
	до 2 часа	до 4 часа	над 4 часа	до 4 часа	над 4 часа
Зала №1 (85 кв. м)	119 лв.	225 лв.	310 лв.	275 лв.	390 лв.
Зала №2 (*40 места*)	109 лв.	205 лв.	290 лв.	245 лв.	340 лв.
Зала №3 (*90 места*)	180 лв.	275 лв.	350 лв.	350 лв.	425 лв.
Зала №4 (*300 места*)		385 лв.	495 лв.	495 лв.	595 лв.
Зала №105 А (*54 места*)	99 лв.	195 лв.	290 лв.	245 лв.	340 лв.
Зала №108 (*14 места*)		69 лв.	89 лв.	105 лв.	135 лв.
Зала №109 (*до 26 места*)	72 лв.	95 лв.	130 лв.	130 лв.	175 лв.
Зала №302 (*14 места/*	65 лв.	89 лв.	120 лв.	120 лв.	165 лв.
Зала №312 (*до 25 места*)	72 лв.	95 лв.	130 лв.	130 лв.	175 лв.
Зала №315 (*14 места*)		69 лв.	89 лв.	105 лв.	135 лв.

Цените са без ДДС и са в сила от 01. 01. 2019 г. !

София, 1000 , ул. „Г. С. Раковски" №108
Национален дом на науката и техниката
тел: 02/ 987 72 30 БЕЗПЛАТНО, факс: 02/ 987 93 60