

СУПЕРВАЙЗОРНО УПРАВЛЕНИЕ НА ПРОИЗВОДСТВОТО НА АЗОТНА КИСЕЛИНА

SUPERVISORY CONTROL OF NITRIC ACID PRODUCTION

П. Джамбов, П. Василев, Н. Русева

University of Chemical Technology and Metallurgy
8 Kl. Ochridsky, 1756 Sofia, Bulgaria
e-mail: jambov@uctm.edu

Abstract: The present report is the final stage of our long-time investigations of the nitric acid production in Agropolychim – PLC, Devnya. In this plant a distributed microprocessor control system TDC-3000 was built. For the purposes of the second control level of a computerized system, various “shirt-cut” adaptive models, different algorithms and program-oriented simulation approach are included in the computer package COMSYS. The program SETPOINT realizes steady-state optimization of the production. The optimization task is solved, decomposing the scheme in two groups of units. The optimization criteria is the cost of the production acid, having in mind many different technological restrictions. The final results are 10 set points of the main controllers and unmeasured process variables, which are the base of a very useful monitoring of the production. CP COMSYS is tested by experimental data and is proposed for integration with the existing microprocessor control system TDC-3000.

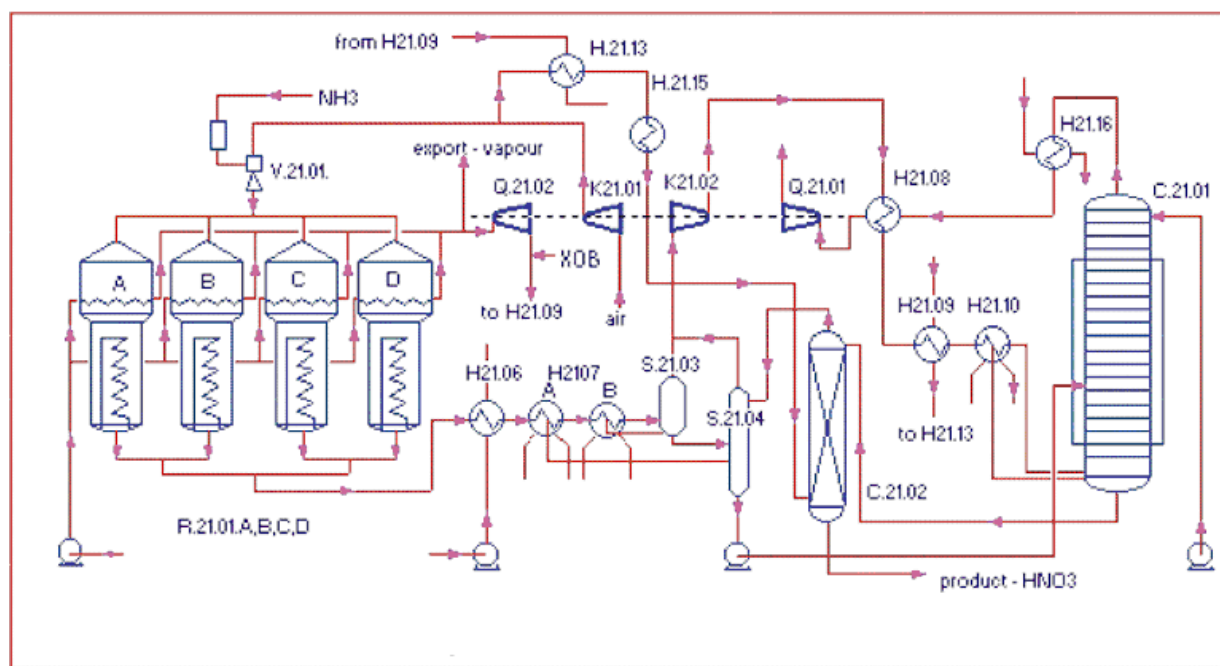
Keywords: nitric acid production, process modeling, operation, computerized control system

1. ВЪВЕДЕНИЕ

1.1. Обект на изследване

Производството на азотна киселина чрез контактно окисление на амоняк се извършва в три стадия [3]: 1) получаване на азотен оксид; 2) окисление на азотния оксид до висши азотни киселини; 3) преработването на азотните оксиди до азотна киселина. На *фиг.1* е показана опростена технологична схема на френската фирма „Grande Paroisse”, реализирана в „Агрополихим”-АД, Девня. Технологичната линия може да се раздели на три основни възела:

- *Реакторно отделение.* То включва получаването на амонячно-въздушна смес (използва се само т.н. първичен въздух) и паралелни каталитични реактори за окисление на амоняка, обединени с котли-утилизатори и паропречистватели;
- *Абсорбционна част.* Тя включва системата от топлообменници и тръбни участъци, в които азотния оксид се окислява до азотен диоксид (към компресора за високо налягане се подава допълнително т.нар. вторичен въздух), а в няколко кондензатори се отделя получаваната при



Фиг.1 Опростена технологична схема на производството на азотна киселина в „Агрополихим”-АД, Девня

окислението на амоняка реакционна вода във вид на разрежена киселина (“кисели кондензати”). Основен апарат в този възел е абсорбционната колона, където протичат съвместно изключително сложни процеси на оксидо-абсорбция, съпроводени с интензивен топлообмен;

- *Отделение на турбокомпресорната група (ТКГ).* Важна характеристика на инсталацията е нейната автотермичност, т.е. самозадоволяване с енергия и дори износ на пара – високо налягане. За целта на обща ос са разположени парната турбина, двата компресора за налягането на нитрозен газ в двете зони на инсталацията, както и газовата турбина, използваща енергията на отпадния газов поток след абсорбционната колона.

1.2. Проблеми на управлението

Ефективното управление на производството на азотна киселина се свързва с достигане на зададени параметри на продукционната киселина (разход и концентрация) при редица ограничения (състав на амонячно-въздушната смес, температури на охлаждащи води на изход от кондензаторите, степен на окисленост на азотния оксид (във всяка част на инсталацията и особено на вход на абсорбционната колона и др.) и при стриктното поддържане на концентрацията на азотните оксиди в отпадния газов поток в задължителните международно приети норми (200 ppm).

При експлоатацията са налице редица въздействия (смущения): *външни* – производителност (масово натоварване) на инсталацията, околна температура, температура на охлаждащите води и на процесната вода и др.; *вътрешни* – износване на платиновите мрежи в реакторите, замърсености на топлообменните повърхности, к.п.д. на отделните машини в ТКГ и др.

Очевидно е, че оперативният персонал не е в състояние да отчита влиянието на изброените фактори, включително и поради липсата на измервания на основни технологични величини. Ето защо бе разработена йерархична структура на компютъризирана система за управление на производството, показана на *фиг.2* [2,4].

На първото ниво, чрез внедрената микропроцесорна система TDC-3000 се осъществява стабилизация на технологичния режим. На второто, супервайзорното, ниво на управление се провежда режимна оптимизация в съответствие с моментните условия в инсталацията и се получават заданията на автоматичните регулатори.

1.3. Предхождащи изследвания

Програмният пакет COMSYS за моделиране, изследване и режимна оптимизация е демо-вариант за РС на разработеното математично и програмно осигуряване на супервайзорното ниво на управление на разглежданото производство. Неговата структура е показана на *фиг.3*.

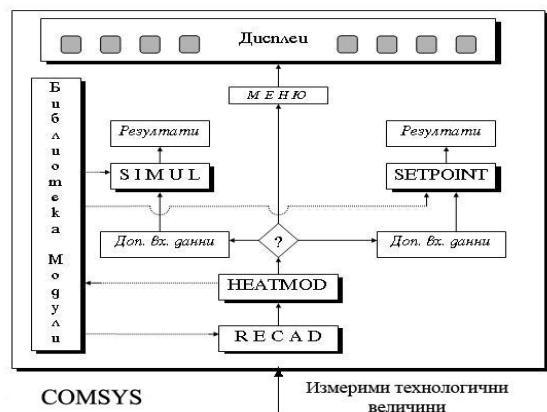
Разработени са оригинални “short-cut” модели, алгоритми и изчислителни модули за симулиране на процесите в отделните апарати на инсталацията [1,4,6,7].

За симулиране на цялата ХТС е използван последователно-модулен подход в два варианта [5]: *RECAD* е статичен симулатор, който използва известни параметри и на изходящи от апарата потоци,

докато *SIMUL* използва изчислителни модули от предсказващ тип. *HEATMOD* е програма за моделиране на топлинните процеси в топлообменниците и кондензаторите на реакционна



Фиг.2. Йерархична структура на компютъризираната система за управление на производството на азотна киселина



Фиг.3. Структура на специализирания ПП COMSYS за моделиране, симулиране и режимна оптимизация на производството на азотна киселина.

вода. *SETPOINT* е програмна реализация на разгледания в настоящия доклад алгоритъм за супервайзорно управление на производството на азотна киселина в „Агрополихим“-АД, Девня.

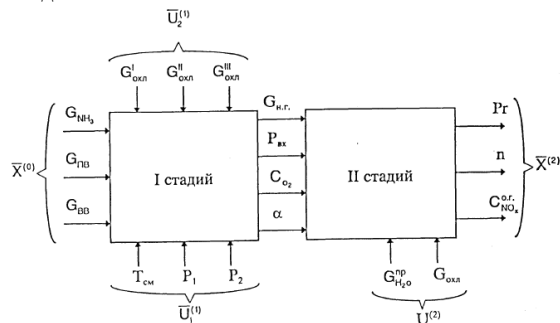
2. РЕЖИМНА ОПТИМИЗАЦИЯ НА ПРОИЗВОДСТВОТО

2.1. Декомпозиция на оптимизационната задача

Логично е да се очаква, че решаването на оптимизационната задача чрез многократно симулиране на процесите в цялата ХТС и при наличието на разнообразни технологични ограничения ще бъде свързано с изчислителни проблеми. Ето защо при многостадийните обекти е целесъобразно прилагане на метода на динамичното програмиране. Математическата формулировка на

принципа на оптималността е дадена в специализираната литература.

В разглеждания случай ХТС се декомпозира в два стадия: I - апарати и възли до абсорбционната колона; II - абсорбиционен възел. На *фиг.4* са показани основните параметри, които характеризират двата стадия.



Фиг.4. Информационна схема на декомпозираната задача за режимна оптимизация на технологичната линия на производството на азотна киселина

За втория стадий: 1) *изходни параметри* $\bar{X}^{(2)}$ са: P_r - производителност; n - концентрация на киселината; $C_{NO_x}^{o.z.}$ - концентрация на азотните оксиди в отпадния газ; 2) *входни параметри* $\bar{X}^{(1)}$ - $G_{н.г.}$ - разход на нитрозен газ; C_{O_2} - концентрация на кислорода в нитрозен газ; α - степен на окисленост на NO ; 3) *управляващи параметри* $U^{(2)}$: $G_{H_2O}^{np}$ - разход на процесна вода; G_{oxl} - разходи на охлаждащи води в серпентините на охлаждащите тарелки.

В съответствие с общоприетия критерий за оптималност и посоката на влияние на основните фактори върху него, фактически от втория стадий на оптимизационната задача се определят минималните стойности на налягането, процента на кислорода и степента на окисленост на нитрозния газ на вход в абсорбционната колона.

За първия стадий: 1) *изходни* са вече изброените входни параметри за абсорбиционния възел; 2) *входни параметри* $\bar{X}^{(0)}$ са: G_{NH_3} - разход на амоняк; $G_{ПВ}$ - разход на първичен въздух; G_{BB} - разход на вторичен въздух; 3) *управляващи параметри* $\bar{U}_1^{(1)}$ и $\bar{U}_2^{(1)}$ са: T_{CM} - температура преди катализаторните мрежи; P_1 - налягане след компресора за въздух; P_2 - налягане след компресора за нитрозен газ; G_{oxl}^I , G_{oxl}^{II} , G_{oxl}^{III} - разходи на охлаждащите води към кондензаторите на реакционна вода.

Оптимизационната задача за първия стадий се свежда до търсене на режимни условия (входни и управляващи параметри), осигуряващи не по-ниски стойности на вече определените най-добри условия на входа на абсорбционната колона. Естествено като се отчетат технологичните ограничения и моментното състояние на разглежданата част от ХТС.

2.2. Критерий за оптималност

Като критерий за оптималност на режима на инсталацията е използван технико-икономическият показател – *изменение на цеховата себестойност* на продукционната киселина. В него са включени само основните (и възможни за изчисляване чрез математични модели) разходи и приходи. Останалите позиции на себестойността (заплати и начисления, амортизация, други суровини и материали, използвани пара ниско налягане и отпадъци и др.) не могат да бъдат изчислявани и са приети за постоянни, макар че като цяло при оптималното решение те също биха повлияли положително на себестойността. При тези условия критерият за оптималност ще има вида:

$$\Delta C = \left(\frac{G_{\theta-x}}{G_{\theta-x}^{opt}} - 1 \right) C_1 + \left(\frac{G_{oxl,\theta}}{G_{oxl,\theta}^{opt}} - 1 \right) C_2 + \left(\frac{G_{ПВH}^{opt}}{G_{ПВH}} - 1 \right) C_3 + \left(\frac{G_{XOB}}{G_{XOB}^{opt}} - 1 \right) C_4$$

където: ΔC е изменението на условната цехова себестойност на един тон 100%-на киселина; $G_{\theta-x}$,

$G_{oxl,\theta}$, $G_{ПВH}$, G_{XOB} - приведените за един тон киселина количества на въздух, охлаждаща вода, пара високо налягане и химически очистена вода за котлите за текущия (базов) технологичен режим. С индекс *opt* са означени същите количества при намерения оптимален технологичен режим; $C_1 \div C_4$ са себестойностите на съответните суровини и парадобив.

2.3. Параметри за оптимизация

Съгласно обсъдените технологични аспекти на проблема за оптимално статично управление на производството на азотна киселина и декомпозицията на оптимизационната задача, като параметри за оптимизация на режима на инсталацията до абсорбционната колона са използвани:

X_1 - процента на кислород на вход в колоната;

X_2 - налягането след компресора за въздух, определящо наляганята в окислителната част на инсталацията;

X_3 - налягането след компресора за нитрозен газ, определящо наляганята в абсорбционната колона.

2.4. Технологични ограничения

В общия алгоритъм за режимна оптимизация на инсталацията за азотна киселина се използват различни технологични ограничения, като:

Концентрация на продукционната киселина;

Концентрация на азотните оксиди в отпадния газ;

Състав на амонячно-въздушната смес;

Долна граница на концентрацията на вход на абсорбционната колона;

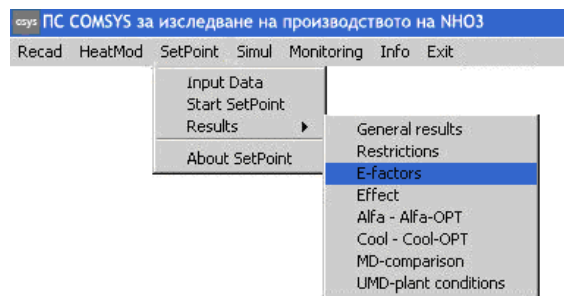
Долна граница на налягането след компресора за нитрозен газ;

Минимално допустима степен на окисленост на нитрозния газ на вход на абсорбционната колона;

Минимални температури на охлаждащите води на изход от кондензаторите на реакционна вода и др.

3. РЕЗУЛТАТИ

Разработеният алгоритъм за режимна оптимизация на инсталацията за азотна киселина е реализиран като самостоятелен клон SETPOINT в програмния пакет COMSYS, показан на *фиг. 3*. SETPOINT може да бъде стартирана едва след изпълнението на програми RECAD и HEATMOD, при което необходимата за SETPOINT входна информация се задава програмно (153 на брой параметри), а интерактивно потребителят задава допълнително само седем входни данни. На *фиг. 5* е показана разпечатка на дисплея с всички възможни опции за програмата SETPOINT при нейното избиране от главното меню.



Фиг. 5. Дисплей с възможните опции на програмата SETPOINT

След решение на оптимизационната задача са извадени на печат голям брой технологични параметри (101 на брой), които е целесъобразно да се сравнят със същите при текущия (базовия) технологичен режим. Основният резултат обаче на алгоритъма за супервайзорно управление са 10 бр. задания на регулаторите, както следва: Разход на амоняк; Налягане след компресора за въздух; Разход на първичен въздух;

Разход на вторичен въздух; Температура на амонячно-въздушната смес на вход в реакторния блок; Налягане след компресора за нитрозен газ; 3 бр. температури на нитрозен газ след кондензаторите за реакционна вода; Разход на процесна вода към абсорбционната колона.

Програмният пакет COMSYS (в това число и програмата SETPOINT) е тестван с комплекти промишлени данни от инсталацията за производство на азотна киселина в Агрополихим-АД, Девня. Например за конкретни есенно-зимни условия са получени намаляване на себестойността ΔC с 2,828%, а промените на заданията на 10-те регулируеми параметри по модул са в границите от 4 до 14%

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жеков Г., П. Джамбов, Н. Козарев, И. Грънчаров, Моделиране на тарелкова абсорбционна колона за производство на азотна киселина. I Математично описание на процесите, Биотехнология и химия, 6-7, 1989.
2. Джамбов П., В. Настев, Д. Джамбов, Програмен пакет за моделиране, симулиране и супервайзорно управление на производството на азотна киселина, Научни известия на НТС, год. IV, т.5.8, 1999.
3. Олевский В.М. и др., Производство азотной кислоты в агрегатах большой единичной мощности, Химия, Москва, 1985.
4. Разработване на методи, математични модели и алгоритми за оптимално статично управление на производството на азотна киселина, Отчети по дог. ТН-561/95-99 Фонд НИ към МОИТ, Р-л П. Джамбов
5. Djambov P., Modelling and simulation of a nitric acid plant, Bulgarian Chemistry & Industry, vol.69, 1-2, 1998.
6. Djambov P., Predictive models for multitubular heat exchanger, Proc. of 12th Int. Congress of Chem. & Process Engng, CHISA'96