

Автореферат
Я 47

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТА УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХОЛОДУ

ЯКОВЛЕВА ОЛЬГА ЮРІЇВНА

УДК 621.564; 641.546.44

МОДЕЛЮВАННЯ І СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ
ТЕПЛОМАСООБМІНУ У ВИРОБНИЦТВІ КАРБАМІДУ

05.14.06 – Технічна теплофізика і промислова теплоенергетика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2012

Дисертацією є рукопис
Робота виконана в Одеській державній академії холоду МОНМС України

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Хмельнюк Михайло Георгійович,
завідувач кафедри холодильних машин і установок
Одеської державної академії холоду МОНМС
України

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Мазур Віктор Олександрович,
завідувач кафедри технічної термодинаміки
Одеської державної академії холоду МОНМС
України

доктор технічних наук, професор
Баласанян Геннадій Альбертович
професор кафедри теоретичної, загальної і
нетрадиційної енергетики Одеського
національного політехнічного університету
МОНМС України

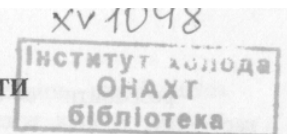
Захист відбудеться « 11 » жовтня 2012 року в ауд. 108 о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.41.087.01 при Одеській державній академії холоду за адресою: вул. Дворянська, 1/3, г. Одеса, Україна, 65082.

Дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ОДАХ за адресою: вул. Дворянська, 3, м. Одеса, Україна, 65082.

« 11 » вересня 2012 г.

Мілованов В.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ



Актуальність теми. Ефективне використання матеріальних та енергетичних ресурсів на промислових підприємствах стає все більш актуальним для України, оскільки енергоємність українського промислового підприємства та сфери соціальних послуг виявляється в 2-3 рази вище загальносвітових показників. В зв'язку з цим конкурентоспроможність вітчизняної продукції все більше залежить від раціонального використання сировинних та енергетичних ресурсів.

Технологічні схеми виробництва карбаміду діючих в Україні підприємств створювались в часи відносної дешевини енергоносіїв. У теперішній час більшість українських підприємств вимагає суттєвої модифікації з метою підвищення ефективності використання енергоресурсів. Будь-яка модифікація виробництва неможлива без попереднього аналізу його енергоефективності.

Енергетична ефективність хіміко-технологічних систем (ХТС) в більшій мірі залежить від вірності вибору основних режимних параметрів установки та вигляду її технологічної схеми. Підхід до вирішення вказаних задач через складності таких установок можливий тільки на основі сучасних методів математичного моделювання та оптимізації. Моделювання виробництва карбаміду припускає застосування системного підходу для дослідження повної технологічної схеми всього процесу отримання продукції та комплексну оптимізацію енергоресурсоощадних та екологічно-безпечних технологій. За останні 20 років розроблена ідеологія та пакети прикладних програм, що вказують шлях як для поліпшення якості технології, так і суттєвого підвищення енергоефективності. Тому удосконалення методів аналізу ефективності тепломасообміну в промисловості є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності з програмою фундаментальних та пошукових досліджень, відповідаючи Постанові Верховної Ради України про затвердження програми енергоефективності за Кіотським договором від 1 березня 2010г., указу президента України №174 от 28.02.08 «Про невідкладні заходи щодо забезпечення ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів», Енергетичної стратегії України на період до 2030 року, затвердженої розпорядженням уряду від 15 березня 2006 року № 145-р.

Мета і завдання досліджень. Мета роботи полягає в розробці принципів моделювання та системного аналізу ефективності тепломасообміну в ХТС на прикладі технологічної схеми виробництва карбаміду на Одеському припортовому заводі (ОПЗ), створення інженерних методик побудови математичних описів для складних ХТС.

– Для досягнення наміченої мети були поставлені та вирішені наступні основні задачі:

- розробити правила для перетворення ХТС в її топологічне уявлення;
- вибрати критерії ефективності процесів тепломасообміну;
- розробити модель мережі масообміну виробництва карбаміду;
- розробити модель теплообмінної мережі виробництва карбаміду;

ГАЛУЗЕВИЙ

– розробити об'єднану модель мережі тепломасообміну виробництва карбаміду;

– запропонувати варіанти модернізації структури базової схеми виробництва карбаміду;

– дослідити вплив режимних параметрів на енергоефективність виробництва карбаміду.

Об'єкт дослідження – технологічна схема виробництва карбаміду на Одеському припортовому заводі.

Предмет дослідження – структура технологічної схеми і режимні параметри виробництва карбаміду.

Методи дослідження:

– математичне моделювання мереж масообміну та теплообміну хімічних виробництв;

– інтеграція енергетичного ресурсу систем з використанням експертних оцінок;

– чисельний експеримент та аналітичне дослідження ефективності тепломасообміну з використанням пакету прикладних програм.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що:

– вперше розроблено правила перетворення ХТС в її топологічне уявлення на основі парної взаємодії потоків;

– розвинуті кількісні оцінки інтегральних характеристик ефективності процесів тепло- і масопереносу в елементах ХТС, які відрізняються від існуючих;

– сформульована повна система рівнянь балансу і ефективності тепло- і масообміну, яка дозволяє визначити розподіл потоків на гілках мереж і температур в її вузлах;

– вперше розроблена топологічна модель ХТС виробництва карбаміду і поставлена їй в відповідність математична модель;

– подані результати чисельного експерименту і проведено аналіз ефективності тепло- і масообміну в елементах технологічної схеми.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень і результатів визначаються:

– коректністю постановки математичної задачі (кількість невідомих відповідає кількості рівнянь); коректною постановкою задач і

– перевіркою на адекватність математичних моделей шляхом зіставлення технологічних параметрів проектного режиму виробництва карбаміду на ОПЗ і результатів чисельного експерименту, помилка визначення температур у вузлах і потоків на гілках мереж не перевищувала 5%;

– використанням сучасних математичних методів і програмних засобів проведення чисельних експериментів для оцінки ефективності енерго- та ресурсоощадної технології виробництва карбаміду.

Практичне значення одержаних результатів:

– проведено аналіз працездатності системи виробництва карбаміду та виявлені «вузькі» місця;

– запропоновано змінити структуру технологічної схеми виробництва карбаміду шляхом створення додаткового контуру, що об'єднує колону синтезу R201, теплообмінник E401A для підігріву технологічного потоку на вході в перший ступінь випарювання і водяний конденсатор E904;

– визначено вплив структури технологічної схеми на енергоефективність виробництва карбаміду, можливе зниження витрати пари низького тиску залі підігріву плаву карбаміду на вході в E401 складе 6%;

– досліджено вплив зміни витрати початкових компонент на вході в систему на розподіл температур і потоків у системі;

– розглянуто можливість керування потоками в блоці випарювання і визначено в межах технологічного регламенту вплив режимних параметрів на енергоефективність виробництва карбаміду, можливе зниження витрати пари середнього тиску залі підігріву плаву карбаміду на вході в E402 парюю низького тиску складе 6,65%;

– результати дисертаційної роботи використовувалися на Одеському припортовому заводі і на заводі компанії HARMOTECH GROUP GMBH (Германія) при визначенні потенціалу по зниженню енергозатрат у собівартості виробленої продукції та шляхів модифікації обладнання та вдосконалення технологічних процесів виробництва карбаміду.

Особистий внесок здобувача. У розробленні методів та правил описування структури ХТС за допомогою HEN(Heat Exchange Network)-MEN(Mass Exchange Network) методології, заснованої на принципі парності взаємодії потоків та виборі критеріїв для системного аналізу її ефективності.

Апробація результатів дисертації Основні результати роботи були представлені та обговорювалися на:

I Міжнародній науково-технічній конференції "Холод в енергетиці і на транспорті: сучасні проблеми кондиціонування та рефрижерації". м. Миколаїв 2008р.;

VI Міжнародній науково-технічній конференції: "Сучасні проблеми холодильної техніки і технології", Одеса, 2009р.;

I Міжнародній науково-технічній конференції, присвяченій 90-річчю Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», Миколаїв, 2010р.;

Міжнародній конференції з елементами наукової школи для молоді «Иновационные разработки в области техники и физики низких температур», Москва, 2010г.;

VII Міжнародної науково-технічної конференції "Сучасні проблеми холодильної техніки і технології", Одеса. 2011р.

Публікації За темою дисертації опубліковано 9 друкованих робіт, в тому числі 4 роботи в періодичних виданнях та збірниках наукових праць, які рекомендовані ДАК України, та 5 робіт у вигляді доповідей та тезисів в збірниках наукових праць регіональних та міжнародних конференцій.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовується актуальність теми дисертації, відображається зв'язок з державними програмами, сформульовані мета та задачі дослідження. Приведені наукова новизна, певний особистий вклад здобувача, відомості про апробації результатів дисертації та публікації.

В першому розділі розглянуті технічні схеми діючих хімічних виробництв. Показано, що на сучасному етапі для топологічного моделювання цих виробництв широко використовується апарат теорії графів. Існуюче графічне уявлення технологічних схем дозволяє отримати загальне уявлення об об'єднанні обладнання в виробничу систему, але не дозволяє створити універсальну мову їх описування в топологічному уявленні.

Така формалізація структури системи дозволила розробити ряд програмних комплексів, призначених для програмного створювання математичних моделей. Але математичні моделі кращих пакетів прикладних програм PRO-2 і HYSYS потребують значного експертного поповнення задачі інженерними проробленнями конструкцій елементів системи.

Одним з методів підвищення енергоефективності ХТС є рекуперация теплоти усередині системи. Пінч-аналіз, як спосіб об'єднання енергетичних рівнів, дозволяє досягти визначених успіхів в інтеграції тепла на виробництвах. Проте евристичність запропонованих правил Лінхоффом і Сміттом не дозволяє однозначно відповісти на питання: «Чи є цей спосіб об'єднання енергетичних рівнів найкращим?» так як, не дивлячись на скінченність способів об'єднання, їх число може досягти величезних значень, а пінч-аналіз не надає чіткого критерію вибору кращого способу об'єднання.

У другому розділі приведено вироблені правила створювання топологічних моделей ХТС на прикладі технологічної схеми азотного зріджувачу.

Створені математичні MEN-моделі мереж масообміну хімічних виробництв і показано, що поставлену задачу можливо вирішити з мінімумом інформації о системі. За створенням, знаючи початкові дані на вході, отримуємо дані на виході з елементу, не зачіпаючи в ньому процеси які трапляються.

Представлені принципи створювання математичних HEN-моделей хімічних виробництв. На основі уявлення елементу міжмережевого и всерединімережевого обміну енергією вводимо поняття енергопотенціалу для елементу системи і ефективності енергетичного обміну. Ці визначення дозволяють створити систему рівнянь, зв'язувальну температури на виході з елементу зі значеннями цих величин на вході в нього.

Для розробки математичної MEN-моделі хімічних виробництв розглянемо елемент міжмережевого масообміну (рис.1). Топологічне уявлення елементу системи дозволяє записати його математичну модель.

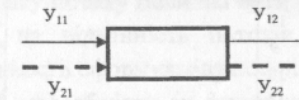


Рис.1. Елемент міжмережевого масообміну

Ми отримуємо систему рівнянь балансу концентрацій для елементу системи, котру представляємо у матричному вигляді:

$$\begin{cases} y_{11} - y_{12} = k_1(y_{11} - y_{21}) \\ y_{12} + y_{22} = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} y_{12} \\ y_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_1 \cdot (y_{11} - y_{21}) - y_{11} \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де y_{11}, y_{21} і y_{12}, y_{22} – об'ємні концентрації одного з компонентів, на вході і на виході з елементу;

k_1 - коефіцієнт пропорційності (аналог критерію Л'юїса).

є функцією температури, тиску і його визначають з використанням розрахункових методів фізичної хімії.

Вирішення цієї задачі може бути представлено у вигляді:

$$\begin{pmatrix} y_{12} \\ y_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} k_1 \cdot (y_{11} - y_{21}) - y_{11} \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_{11} - k_1 \cdot (y_{11} - y_{21}) \\ 1 - y_{11} + k_1 \cdot (y_{11} - y_{21}) \end{pmatrix}, \quad (2)$$

Система рівнянь (3) дозволяє визначити концентрації компонентів потоків на виході з елементів. Прийнята форма уявлення задачі дозволяє перейти до її алгебраїчної постановці, зберігаючи фізичний зміст.

Для більш глибокого поняття алгоритмів програмного створення моделей технологічних систем розглянемо модельну задачу більш складного вигляду на рис. 2.

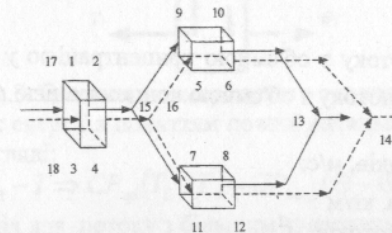


Рис.2. Топологічна модель системи міжмережевого масообміну

Введемо цілочислову множину індексів які не повторюються для нумерації вузлів і гілок мереж системи.

Матриці C_1 і C_2 будуть визначати конфігурацію кожної мережі безпосередньо:

$$C_1 = \begin{vmatrix} 1 & 17 & 1 \\ 2 & 1 & 2 \\ 3 & 2 & 15 \\ 4 & 15 & 9 \\ 5 & 9 & 10 \\ 6 & 10 & 13 \\ 7 & 15 & 11 \\ 8 & 11 & 12 \\ 9 & 12 & 13 \end{vmatrix}; \quad C_2 = \begin{vmatrix} 1 & 18 & 3 \\ 2 & 3 & 4 \\ 3 & 4 & 16 \\ 4 & 16 & 5 \\ 5 & 5 & 6 \\ 6 & 6 & 14 \\ 7 & 16 & 7 \\ 8 & 7 & 8 \\ 9 & 8 & 14 \end{vmatrix}$$

$$\begin{cases} y_1 - y_2 = k_1(y_1 - y_3) \\ y_2 + y_4 = 1 \\ y_2 - y_{10} = k_2(y_2 - y_4) \\ y_6 + y_{10} = 1 \\ y_1 - y_2 = k_1(y_4 - y_2) \\ y_1 + y_2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{vmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 - k_2 & k_2 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ k_3 & 1 - k_3 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} y_2 \\ y_4 \\ y_6 \\ y_8 \\ y_{10} \\ y_{12} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} k_1(y_1 - y_3) - y_1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

Запишемо систему рівнянь балансу концентрацій для системи, представленої на рис.2.

У системі рівнянь (4) y_n представляють собою незалежні змінні, визначаючи концентрацію компонентів в вузлових точках системи. Для створення моделі визначимо потоки на гілках. Через те з'являється необхідність переходу від задачі, створеної для концентрацій до потокової, при цьому, не втрачаючи її фізичний зміст і встановивши взаємно однозначні відповідності між ними, використовуючи визначення витратної концентрації. Введемо визначення витратної концентрації β відношення потоків на вході і виході з елемента.

Витратна концентрація, зв'язана з об'ємною концентрацією відношенням:

$$\beta = \frac{M_y}{M_{1-y}} = \frac{v_y \cdot \rho_y \cdot \Omega_y \cdot y}{v_{1-y} \cdot \rho_{1-y} \cdot \Omega_{1-y} \cdot (1-y)} = \lambda \frac{y}{1-y}, \Rightarrow y = \frac{\beta}{\lambda + \beta} \quad (4)$$

$$\text{де } \lambda = \frac{v_y \cdot \rho_y \cdot \Omega_y}{v_{1-y} \cdot \rho_{1-y} \cdot \Omega_{1-y}};$$

M_y – масова витрата потоку з об'ємною концентрацією y на вході в елемент, кг/с;
 M_{1-y} – масова витрата потоку з об'ємною концентрацією $(1-y)$ на виході з елемента, кг/с;

v_y, v_{1-y} – швидкості потоків, м/с;

ρ_y, ρ_{1-y} – густина потоків, кг/м³;

Ω_y, Ω_{1-y} – живі перерізи потоків, м².

Визначимо значення об'ємної концентрації y через витратну β :

$$y = \frac{\beta}{\lambda + \beta} \quad (5)$$

Розробимо масообмін конструкцію: відмінність потоків на вході і виході для приймаючого (відаючого) масу потоку повинна бути рівною добутку коефіцієнта ефективності масообміну Ψ на відмінність потоків, що обмінюються масою середовищ. Вимагаючи тотожності сформульованих рівностей, отримуємо вирази для коефіцієнту ефективності масообміну, як функцію витратних концентрацій і параметрів реакції.

$$\begin{cases} M_1 - M_3 = \psi_1(M_1 + M_{10}) = \psi_1 = k_1 \cdot \frac{(\beta_{11} - \lambda_1) \cdot (\lambda_1 + \beta_{11})}{(1 - \beta_{11})(k_1(1 - \lambda_1)(\lambda_1 - \beta_{11}) - \lambda_1 \cdot (1 + \beta_{11}))} \\ M_4 - M_6 = \psi_2(M_4 + M_{13}) = \psi_2 = k_2 \cdot \frac{(\beta_{21} - \lambda_2) \cdot (\lambda_2 + \beta_{21})}{(1 - \beta_{21})(k_2(1 - \lambda_2)(\lambda_2 - \beta_{21}) - \lambda_2 \cdot (1 + \beta_{21}))} \\ M_7 - M_9 = \psi_3(M_7 + M_{17}) = \psi_3 = k_3 \cdot \frac{(\beta_{31} - \lambda_3) \cdot (\lambda_3 + \beta_{31})}{(1 - \beta_{31})(k_3(1 - \lambda_3)(\lambda_3 - \beta_{31}) - \lambda_3 \cdot (1 + \beta_{31}))} \end{cases} \quad (6)$$

Сформульований підхід дозволяє перейти до узагальненої форми моделі з розподілом потоків в системі.

Таке співвідношення установлює функцію взаємозв'язку між ефективністю масообміну Ψ при постановці задачі для потоків в мережах і фізичними параметрами k, λ , характеризуючи масообмін при постановці задачі про концентрації. В свою чергу це дозволяє перейти до задачі про потоки на гілках системи з використанням введеного поняття ефективності масообміну між потоками. При цьому отримана форма виразу для ефективності дозволяє при поповненні її експериментальними даними розробити узагальнену залежність, визначаючи цю величину.

Для розробки HEN-моделей хімічних виробництв розглянемо елемент міжмережевого теплообміну (рис. 3), в якому здійснюється парна взаємодія потоків.

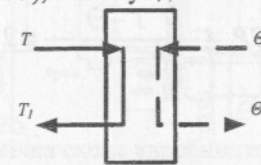


Рис.3. Елемент міжмережевого теплообміну

Ототожнюючи потік енергії з поняттям повної ентальпії не запишемо баланс енергії для елемента у вигляді:

$$H - H_1 = I_1 - I \Rightarrow CP_{zp}(T_1 - T) = CP_{нагр}(\Theta - \Theta_1), \quad (7)$$

де H – повна ентальпія для потоку з більшим значенням міри енергії,

I – повна ентальпія для потоку з меншим її значенням.

Позначимо T, Θ – міри енергії, а $CP_{zp}, CP_{нагр}$ – витратна теплоємність потоків, відповідно який гріє і що нагрівається.

Індексом «один» визначені значення повної ентальпії і температури на виході з елемента, величини без індексів відносяться до входу потоку

Розглянемо QT-діаграму елемента теплообмінної мережі (рис. 4).

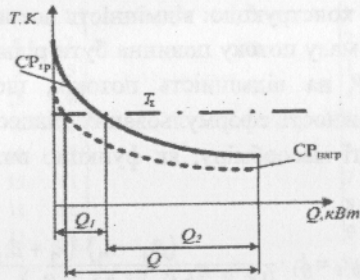


Рис. 4. QT-діаграма елемента теплообмінної мережі

Якщо на вході в елемент задані міри енергії і витратні теплємності потоків, то можливо визначити середсентальпійну температуру T_{Σ} для елемента:

$$T_{\Sigma} = \Theta_{\Sigma} = \frac{T \cdot CP_{гр} + \Theta \cdot CP_{нагр}}{CP_{гр} + CP_{нагр}}, \quad (8)$$

Кількість енергії, котру потік віддає з більшим енергетичним потенціалом, до досягнення температурної термодинамічної рівноваги визначиться:

$$Q_1 = T \cdot CP_{гр} - \frac{T \cdot CP_{гр} + \Theta \cdot CP_{нагр}}{CP_{гр} + CP_{нагр}} \cdot CP_{гр}, \quad (9)$$

Кількість енергії, котру потік приймає з меншим енергетичним потенціалом до досягнення температурної термодинамічної рівноваги визначиться:

$$Q_2 = \frac{T \cdot CP_{гр} + \Theta \cdot CP_{нагр}}{CP_{гр} + CP_{нагр}} \cdot CP_{нагр} - \Theta \cdot CP_{нагр}, \quad (10)$$

Максимально можлива кількість енергії, котрою можуть обмінятися потоки:

$$\Delta\Phi = Q_1 + Q_2 = 2 \cdot CP_{гр} \cdot CP_{нагр} \cdot \frac{T - \Theta}{CP_{гр} + CP_{нагр}} = 2 \cdot CP_{гр} \cdot \frac{1}{1 + \alpha} (T - \Theta), \quad (11)$$

де $\alpha = \frac{CP_{гр}}{CP_{нагр}}$.

Величину $\Delta\Phi$ прийемо як граничний енергопотенціал для елемента системи. Визначимо відношення фактично переданої кількості енергії Q к енергетичному потенціалу:

$$\eta_E = \frac{Q}{\Delta\Phi} = \frac{CP_{гр} + CP_{нагр}}{2 \cdot CP_{нагр}} \cdot \frac{T - T_1}{T - \Theta} = \frac{1 + \alpha}{2} \cdot \frac{T - T_1}{T - \Theta} = \frac{1 + \alpha}{2} \cdot \phi \quad (12)$$

де $\phi = \frac{T - T_1}{T - \Theta}$.

Величину відношення фактично переданої енергії до енергетичного потенціалу будемо називати ефективністю енергетичного обміну η_E , а відношення

зміни температури в елементі до відмінності температур на вході - ефективністю зміни температур ϕ .

Уведені визначення дозволяють сформулювати систему рівнянь, яка зв'яже температури на виході з елемента зі значенням цих величин на вході в нього:

$$T - T_1 = CP_{гр} \cdot \frac{2}{1 + \alpha} \cdot \eta_E \cdot (T - \Theta) = \phi \cdot (T - \Theta), \quad (13)$$

$$\alpha \cdot (T - T_1) = \Theta_1 - \Theta, \quad (14)$$

При цьому кількість енергії, котрою обмінялися мережі, визначиться:

$$Q = CP_{гр} \cdot (T - T_1) = CP_{гр} \cdot \frac{2}{1 + \alpha} \cdot \eta_E \cdot (T - \Theta) = CP_{гр} \cdot \phi \cdot (T - \Theta), \quad (15)$$

В третьому розділі подано опис адекватного переходу від технологічної схеми виробництва до її топологічної моделі на прикладі виробництва карбаміду. Розглянуті топологічні схеми MEN-моделювання, HEN-моделювання та об'єднана схема HEN-MEN моделювання для виробництва карбаміду.

На рис.5 представлена технологічна схема виробництва карбаміду

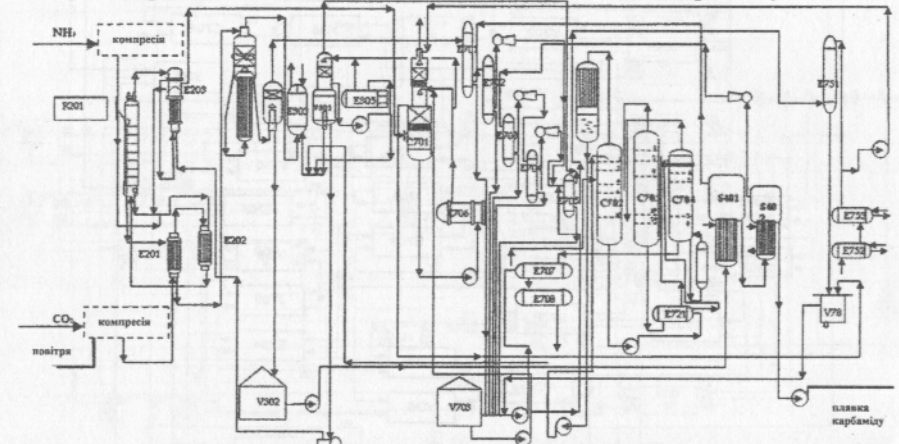


Рис.5. Технологічна схема виробництва карбаміду:

R201 – колона синтезу високого тиску; E201 – стріпер; E202 – конденсатор високого тиску; E203 – скрублер; J201 – інжектор; S303 – ректифікаційна колона низького тиску; E303 – конденсатор низького тиску; C701 – абсорбер; V301- напірний бак карбамата амонію; V703- збірник аміачної води; V780- збірник аміачної води; S304 – вакуум-випарник; V302- збірник карбаміду; S304 – скрублер абсорбції газів; E305 – холодильник скрубера; E701- конденсатор; E702, E703, E704, E705 – конденсатори випарювання; E706 – холодильник абсорбера; E707 – теплообмінник десорбера; E708 – водяний холодильник; E720 – конденсатор десорбера; E721 теплообмінник гідролізера; E751 – кип'ятильник десорбера; E752 – E753 – холодильники конденсату абсорбції; S401 – сепаратор 1го ступеню випарювання; S402 – сепаратор другого ступеню випарювання; E401 – випарник першого ступеню випарювання E402 – випарник 2го ступеню випарки; C702 – десорбер першого ступеню; C703 – гідролізер; C704 – десорбер другого ступеню випарювання; C750 – колона абсорбції газів синтезу; C751 – колона абсорбції газів.

і при визначенні ефективності процесів в елементах системи знайти розподіл потоків на її гілках і температур в вузлах мереж.

В четвертому розділі виконано перевірка на адекватність запропонованого методу HEN-MEN уявлення ХТС, проведено аналіз працездатності технологічної схеми виробництва карбаміду, виявлені «вузькі» місця і вироблені рекомендації для модернізації технологічної схеми виробництва карбаміду, дозволяючи підвищити її енергоефективність.

Для перевірки на адекватність запропонованого методу моделювання виробництва карбаміду виникає необхідність в зіставленні не тільки чисельних значень ефективності масообміну в елементах системи, але і за витратою потоку на гілках мереж. Порівняння масових витрат потоків, отриманих в результаті чисельного експерименту, і значень витрати потоків в опорних точках виробничої схеми для проектного режиму ОПЗ показує, що похибка їх визначення, не перевищує 2,4%, і підтверджує адекватність моделі дійсної виробничої схеми.

Значення потоків, отримані як наслідок чисельного експерименту, дозволили провести оцінку ефективності теплообміну. Ефективність теплообміну визначалась за даними проектного режиму, а потім порівнювались значення температур потоків на виході з елементів, отримані в чисельному експерименті і для проектного режиму. Зіставлення модельних параметрів і параметрів проектного режиму для потоків на гілках мереж показує, що похибка визначення температур не перевищує 5%. Ця оцінка підтверджує адекватність представленої методики для моделювання теплообміну в виробництві карбаміду.

Отримані значення ефективності тепло- і масообміну використовувалися для моделювання процесу виробництва карбаміду при зміні масових витрат потоків початкових компонентів на вході в систему в діапазоні +15%-15% від значень цих величин в проектному режимі.

Чисельний експеримент підтвердив припущення, що значення ефективності тепломасообміну в елементах системи при зміні параметрів потоків початкових компонент на вході в діапазоні +15%...-15% є фактично постійними. Ця обставина знайшла своє підтвердження в мінімальному відхиленні значень температур в вузлових точках системи від технологічного регламенту. Масові витрати потоків, отримані в чисельному експерименті, відповідали їх значенням в опорних точках технологічної схеми для проектного режиму. Похибка визначення потоків не перевищувала 5 % на гілках, а значення температур в вузлах відповідали технологічному регламенту.

В роботі реалізовано системний підхід для вирішення 3-х загальних задач:

- аналіз системи (перевірочний розрахунок);
- проектування системи як єдиного цілого (конструкторський розрахунок);
- синтез системи (зміна її структури з метою підвищення енергоефективності).

Перевірочний розрахунок чи аналіз системи дозволяє аналізувати її та виділяти «вузькі» місця системи, які потребують модифікації.

При проектуванні системи обраховуються можливі впливи на навколишнє середовище, безпеку та інше.

Синтез системи виникає як підкорена задача при проектуванні та аналізі ХТС і дозволяє шляхом зміни її структури чи режимів підвищити її енергоефективність.

Аналізована технологічна схема виробництва карбаміду уявляє собою сукупність множини апаратів, взаємно зв'язаних між собою технологічними, сировинними та енергетичними потоками і працюючих як єдине ціле. Енергетичні характеристики такої ХТС мають складну залежність і можуть змінюватися як при незмінному наборі технологічних апаратів, але різноманітному їх розташуванні, так і при модифікації структури технологічної схеми при зміні кількості апаратів, а також при зміні режимних параметрів в межах технологічного регламенту.

Експертна оцінка функціонування виробництва карбаміду показала, що окремі енерговикористовуючі технологічні процеси представляють собою незамкнуті системи в котрих отримання цільового продукту потребує істотних витрат енергетичних ресурсів і супроводжується утворенням великої кількості низькопотенційного тепла, котре ухоче в навколишнє середовище.

В базовій технологічній схемі виробництва карбаміду за технологією компанії «Stamicarbon» тепло екзотермічної реакції синтезу карбаміду в колоні R201 безпосередньо не інтегрується всередині системи.

Одним з варіантів використання тепла екзотермічної реакції синтезу може бути створення додаткового контуру, об'єднуючого колону синтезу R201 і теплообмінник E401A для підігріву технологічного потоку на вході в перший ступень випарювання. Попередня оцінка теплового навантаження E401A показала, що вона менше, ніж кількість енергії, виділяємо в колоні синтезу. З цих розумінь наслідуює, що в додатковий контур повинно бути включено теплообмінник (водяний конденсатор) E904 для відведення залишеної частки енергії і використання її в системі опалення і гарячого водопостачання.

Така організація процесу в додатковому контурі потребує оптимального вибору характеристик теплообмінних апаратів E401A і E904 у взаємозв'язку з параметрами потоку теплоносія в додатковому контурі. Схема паропостачання виробництва карбаміду з додатковим контуром приведена на рис. 10, а результати чисельного експерименту при моделюванні виробництва карбаміду з додатковим контуром приведені на рис. 8.

При проведенні чисельного експерименту температура теплоносія на виході з водяного конденсатору E904 (на вході в колону R201) була фіксована і складала 105°C. Це була мінімальна температура, при якій усувався температурний глайд реакції синтезу карбаміду.

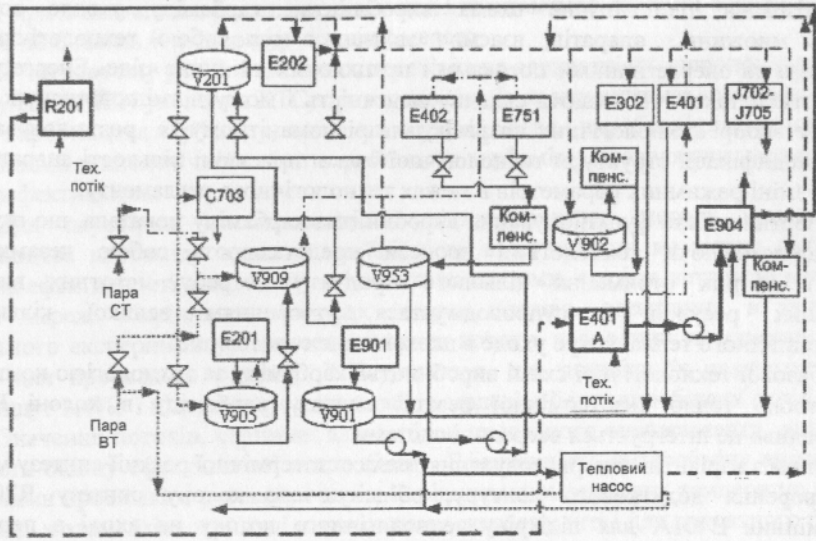


Рис. 8. Система паропостачання цеху виробництва карбаміду з додатковим контуром:

V201 – паровий котел; V901 – збірник конденсату; V902 – сатуратор пари низького тиску; V905 – сатуратор пари високого тиску; V909 – сатуратор пари середнього тиску; V953 – експандер (збірник) конденсату; J702 – J705 – інжектори; E201 – стрипер; E202 – конденсатор високого тиску; E302 – підігрівник колони синтезу низького тиску; E401 – випарник 1го ступеню випарювання; E402 – випарник 2го ступеню випарювання; E751- кип'ятильник десорбера; E901- конденсатор; C703 – гідролізер; R201 – реактор; E401A – теплообмінник; E904 – водяний конденсатор.
→ - пара високого тиску(VT), - - - - - → - пара середнього тиску (СТ),
 - - - - - → - пара низького тиску, → - конденсат, - · · · → - технологічний потік

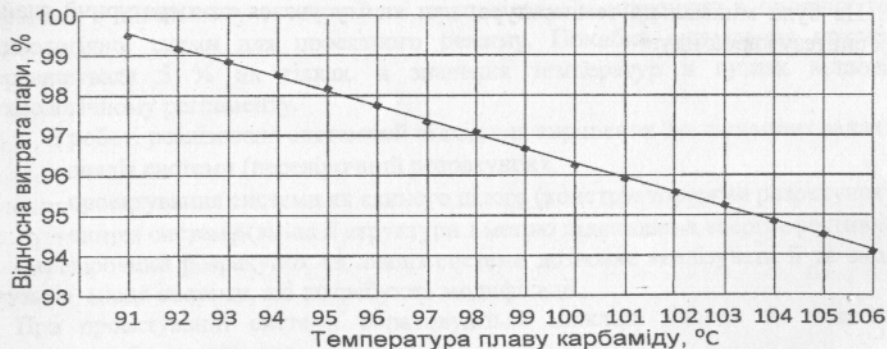


Рис.9. Залежність витрати пари низького тиску в першому ступені випарювання від температури плаву карбаміду на вході в E401

Дані графіку на рис.9 показують, що споживання пари низького тиску в першому ступені випарювання може бути зменшено на 6% з-за включення в структуру технологічної схеми додаткового контуру для підігріву плаву карбаміду на вході в випарник E401.

Проведене дослідження дозволяє сформулювати технічне завдання на проектування теплообмінного апарату E401A і водяного конденсатора E904, котрі можуть бути використані при модернізації виробництва.

Зниження витрати пари низького тиску в блоці випарювання дозволило розглянути можливість його використання в других елементах схеми. Було запропоновано застосувати пару низького тиску для підігріву плаву карбаміду на вході в другу ступень випарювання. Результати чисельного експерименту приведені на рис.10

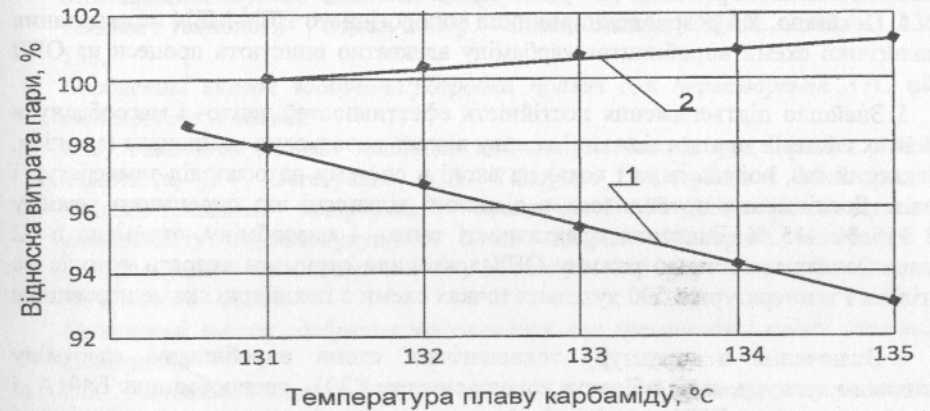


Рис. 10. Залежність витрати в пари в блоці випарювання від температури плаву карбаміду на вході в другу ступень випарювання:

- 1 - відносна витрата пари середнього тиску в E402, %;
 2 - відносна витрата пари низького тиску в E401, %.

На рис. 10 показано знизка витрати пари середнього тиску може досягти 6,65 % залі підвищення витрати пари низького тиску на 1,18%. В проектному режимі ОПЗ в блоці випарювання витрата пари низького тиску складає поряд 20т/ч, а витрата пари середнього тиску поряд 3,5 т/ч. В абсолютних одиницях витрати приблизно однакові, але собівартість пари середнього тиску значно більше, ніж пари низького тиску. Можливе зниження витрати пари низького тиску залі включення в структуру схеми додаткового контуру складає поряд 6%, перевищує додаткову витрату пари на підігрів плаву карбаміду на вході в E402 і отримано залі інтеграції теплових процесів всередині виробничої схеми. Пара середнього тиску поступає з заводської котельної і знизка його витрати буде знизати собівартість карбаміду, підвищуючи енергоефективність виробництву.

xv 1048
 ІНСТИТУТ ХОЛОДА
 ОНАХТ
 бібліотека

ВИСНОВКИ

1. Створені правила побудови топологічних моделей ХТС в припущенні парності взаємодії потоків в елементах системи, що засновані на принципах HEN (Heat Exchange Network) - MEN (Mass Exchange Network) моделювання.

2. Показано однозначна відповідність між топологічним представленням ХТС у вигляді парної взаємодії між потоками і математичною моделлю системи, основою на рівняннях балансу і ефективності тепло- і масопереносу.

3. Розроблені топологічні моделі HEN і MEN представлення технологічної схеми виробництва карбаміду і вперше сформульовані правила їх поєднання.

4. Показано, що розроблені принципи топологічного HEN-MEN моделювання технологічної схеми виробництва карбаміду адекватно описують процеси на ОПЗ 2,4%.

5. Знайшло підтвердження постійність ефективностей тепло- і масообміну в елементах системи при дослідженні впливу витрат початкових компонент (амоніак, вуглекислий газ, водяна пара і вода) на вході в систему на розподіл температур і потоків. Дослідження проводилося в діапазоні відхилень від проектного режиму ОПЗ +15 %...-15 %. Значення ефективності тепло- і масообміну, отримано в 52 опорних точках проектного режиму ОПЗ дозволили отримати витрати потоків на 250 гілках і температури в 500 вузлових точках схеми с похибкою яка не перевищує 5 %.

6. Включення в структуру технологічної схеми виробництва карбаміду додаткового контуру, який об'єднує колону синтезу R201, теплообмінник E401A і водяний конденсатор E904 для підігрівання технологічного потоку на вході першого ступеню випарювання в відповідності з технологічним регламентом в діапазоні 91...106°C знижує витрату пари низького тиску в блоку випарювання на 6% ($\approx 1,2$ т/ч). Така модернізація схеми прийнята до використання на ОПЗ для підвищення енергоефективності виробництва карбаміду.

7. Зниження витрати пари низького тиску в блоці випарювання дозволило розглянути можливість її використання для підігріву плава карбаміду на вході в другу ступень випарювання в відповідності з технологічним регламентом в діапазоні 131...135 °C. При цьому витрата пари середнього тиску в блоці випарювання знижує на 6,65% (0,233 т/ч) за рахунок використання 1,18 % (0,236 т/г) пари низького тиску. Комплексна модернізація структури схеми і її режимних параметрів в межах технологічного регламенту за рахунок інтеграції теплових процесів всередині системи прийнята до використання на ОПЗ і HARMOTECH GROUP CO. INC.

ЗАГАЛЬНІ ПУБЛІКАЦІЇ

1. O.Y. Sarja. (O.Yu. Яковлева) Efficiency evaluation of internetworking energy exchange / O.Y. Sarja. (O.Yu. Яковлева) M.G. Hmelnyuk A.Y. Yakovlev, // Матеріали 1 Міжнародної науково-технічної конференції "Холод в енергетиці і на транспорті: сучасні проблеми кондиціонування та рефрижерації". Частина 1. 5-6 листопада 2008р.- С. 161-162.

Особистий внесок здобувача: оцінка ефективності міжмережевого енергообміну.

2. Яковлева O.Yu. Топологическое моделирование криогенных систем / Яковлева O.Yu., Деревянко Г.В., Яковлев Ю.А. //Збірник тез доповідів VI Міжнародної науково-технічної конференції "Сучасні проблеми холодильної техніки і технології", Одеса, 2009р. – Одеса. Видавн. ОДАХ. -2009. –С. 136-138.

Особистий внесок здобувача: розробка правил для перетворення ХТС в її топологічне уявлення.

3. O.Y. Yakovleva. Process simulation and analysis for nitrogen liquefier. / O.Y. Yakovleva, G.V. Derevyanko, Y.A. Yakovlev. //Матеріали 1 Міжнародної науково-технічної конференції, присвяченої 90-річчю Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці», Миколаїв, 2010р. – Миколаїв. Видавн. НУК. -2010. –С.244.

Особистий внесок здобувача: моделювання для промислової схеми азотного зріджувача

4. O.Yu. Яковлева. Моделирование и системный анализ криогенных установок. / O.Yu. Яковлева, Г.В. Деревянко, Ю.А. Яковлев. // Матеріали Международной конференции с элементами научной школы для молодежи «Инновационные разработки в области техники и физики низких температур», Москва, 2010г – Издательство МГУИЕ -2010. – С 19-21.

Особистий внесок здобувача: аналіз промислової схеми азотного зріджувача

5. Яковлева O.Yu. Моделювання масообміну в складних системах. Наукова конференція викладачів і аспірантів Донец. нац. ун-ту економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського за підсумками науково-дослідної роботи за 2010 рік. 4-5 лютого 2011 року, Донецьк, 2011р. С 44.

6. Яковлева O.Yu. Компьютерное моделирование при анализе энергоеффективности производства карбамида / Яковлева O.Yu., Хмельнюк М.Г., Деревянко Г.В., Яковлев Ю.А. //Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції "Сучасні проблеми холодильної техніки і технології", частина I. Одеса, 14-16 вересня 2011р. –Одеса. Видавн. ОДАХ. - 2011. –С. 70-72.

Особистий внесок здобувача: аналіз енергоефективності виробництва карбаміду

7. Яковлева О.Ю. Оценка эффективности межсетевых энергообменов / Яковлева О.Ю., Хмельнюк М.Г., Яковлев А.Ю. // Холодильная техника и технология. – 2008. - № 6. (116). – С. 25-27.
Особистий внесок здобувача: оцінка ефективності між мережного енергообміну з використанням пакета прикладних програм
8. Яковлева О.Ю. Сетевой анализ энергообмена в сложных системах. / Яковлева О.Ю., Хмельнюк М.Г., Яковлев А.Ю. // Тематичний збірник наукових праць «Обладнання та технології харчових виробництв», Донець. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – 2009. – Вип. 21. – С. 322-328.
Особистий внесок здобувача: мережевий аналіз енергообміну в складних системах на прикладі виробництва карбаміду
9. Яковлева О.Ю. Моделирование массообмена в ХТС / Яковлева О.Ю., Хмельнюк М.Г., Деревянко Г.В., Яковлев Ю.А. // Холодильная техника и технология. – 2011. - № 4. (132). – С. 82-86.
Особистий внесок здобувача: моделювання масообміну ХТС на прикладі виробництва карбаміду з використанням пакета прикладних програм
10. Яковлева О.Ю. Компьютерное моделирование и системный анализ энергоэффективности производства карбамида / Яковлева О.Ю., Хмельнюк М.Г., Деревянко Г.В., Яковлев Ю.А. // Холодильная техника и технология. – 2012. - № 4. (136). – С. 42-51.
Особистий внесок здобувача: комп'ютерне моделювання та системний аналіз на прикладі виробництва карбаміду з використанням пакета прикладних програм

АННОТАЦИЯ

Яковлева О.Ю. Моделирование и системный анализ эффективности теплообмена в производстве карбамида – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.06 – "Техническая теплофизика и промышленная теплоэнергетика". – Одесская государственная академия холода. Одесса 2012г.

В работе решена научная задача, направленная на разработку принципов моделирования и системного анализа эффективности теплообмена в ХТС на примере технологической схемы производства карбамида на ОПЗ, создание инженерных методик построения математических описаний сложных ХТС. Предложена формализация представления элементов в ХТС. Разработана и реализована математическая и компьютерная модель производственной схемы получения карбамида по технологии фирмы «Стамикарбон». Выработаны критерии: эффективности энергетического обмена, эффективности массообмена, интегральная характеристика для анализа работоспособности системы в целом. Предложено применение моделирующего программного комплекса, переданного для тестирования компанией NETWORK SOLUTION DEVELOPMENT CO.INC., для модификации ХТС путем компьютерного моделирования и системного анализа с использованием HEN-MEN представлений для технологических схем и процессов в частности. Получена возможная экономия пара низкого и среднего давления.

Разработан язык описания входа, приемлемого для программных комплексов способных создавать математические модели систем.

Ключевые слова: системный анализ, теплообменная сеть, массообменная сеть, тепломассообменная сеть, эффективность энергетического обмена, эффективность массообмена.

АНОТАЦІЯ

Яковлева О.Ю. Моделювання і системний аналіз ефективності тепло масообміну в виробництві карбаміду – Рукопис.

Дисертація на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – «Технічна теплофізика і промислова теплоенергетика». – Одеська державна академія холоду. Одеса 2012р.

В роботі вирішена наукова задача, спрямована на розробку принципів моделювання та системного аналізу ефективності тепломасообміну в хіміко-технологічних схемах (ХТС) на прикладі технологічної схеми виробництва карбаміду Одеського припортового заводу, створені інженерні методи розробки математичного опису складних ХТС. Запропонована формалізація уявлення елементів ХТС. Розроблена та реалізована математична та комп'ютерна модель промислової схеми одержання карбаміду за технологією фірми «Стамікарбон». Визначені критерії ефективності енергетичного обміну, ефективності масообміну, інтегральна характеристика для аналізу працездатності системи як цілого. Запропоновано застосування моделюючого програмного комплексу, переданого для тестування компанією NETWORK SOLUTION DEVELOPMENT CO.INC., для модифікації ХТС шляхом комп'ютерного моделювання та системного аналізу з використанням HEN-MEN подавань для технологічних схем та процесів. Отримана можлива економія пари середнього тиску та пари високого. Розроблено язык опису входу припустимого для програмних комплексів здатних створювати математичні моделі систем.

Ключеві слова: системний аналіз, теплообмінна мережа, масообмінна мережа, тепломасообмінна мережа, ефективності енергетичного обміну, ефективності масообміну.

THE SUMMARY

Olga Yakovleva. Process Simulation and system analysis of Heat-Mass Exchange Efficiency for Urea production. – Manuscript.

Thesis for candidate degree of technical science according major 05.14.06 – "Technical thermal physic and industrial heat and power engineering".- Odessa State Academy of Refrigeration. Odessa 2012

The thesis is about solving following scientific problem pointed at developing of process simulation principles and system analysis of heat-mass exchange efficiency for technological flowsheets, Urea Production flowsheet, Odessa Port-Side Plant also engineering methodic developing for construction of complex chemical flowsheets mathematic description.

System elements representation formalization for chemical flowsheets is proposed. This work applies the hypothesis of streams interaction representation within

system elements by combination of pair streams interaction (Kolmogorov-Arnold Theorem). The Hypothesis lets represent chemical flowsheet apparatus with several inputs and outputs by set of elements with two inputs and outputs integrated into subsystems. Mathematical and computer model for Urea production flowsheet according technology of "Stamicarbon" company is developed and implemented. On the base of inter- and intranetworking energy exchange the Energy Potential concept is proposed. Criteria are defined: energy exchange efficiency, mass exchange efficiency, integral characteristic for system performance. Topological models are developed on the base of HEN and MEN representation for technological flowsheet and for the first time the HEN-MEN combination rules are formulated. Accepted hypothesis of energy and mass efficiency continuity for system elements is found validation in between initial components rate effect (ammonium, carbon dioxide, water vapour and water) on the system input for temperature and flow distribution. It's proposed to use process simulation software pocket received for testing from NETWORK SOLUTION DEVELOPMENT CO. INC, intended for chemical flowsheets modification by computer added process simulation and system analysis with HEN-MEN representation use for chemical product producing technological systems. The steam flowsheet modification is found to present reducing for utility (steam) system requirements. Additional loop inclusion in structure of Urea Production flowsheet together with synthesis column R201, heat exchanger E401A and water condenser E904 for technological stream heating on the first stage evaporation input as provided by operating practices. Input data description language is newly developed tool for software package which is intended for mathematical models creation for system.

This thesis demonstrates that realizing the full industrial energy efficiency potential requires improvements to existing technological systems intended to overcome market-related barriers.

Energy efficiency has to part of each industrial company's overall strategy to be effective. Future work should focus on matter properties, system analysis and the broader Effects on industrial energy efficiency of globalization and the shift towards services.

Key words: *System Analysis, Heat Exchanger Network, Mass Exchanger Network, Energy Exchange Efficiency, Mass Exchange Efficiency*