

Висновки.

1. Запропоновано метод раціоналізації використання вторинної теплової енергії в системі з парком резервуарів.

2. В результаті дослідження запропонованого методу встановлено, що в теплотехнологічній системі можемо забезпечити потреби міжопераційної системи резервуарів тільки теплою технологічної води, не використовуючи первинні енергоносії.

Література.

1. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок / Л. С. Попырин – М.: Энергия, 1978. – 416 с.
2. И. М. Товбин Технологическое проектирование жироперерабатывающих предприятий / Товбин И.М., Файенберг Е.Е. –М.:Пищевая промышленность, 1965 г. – 515 с.
3. Д.Л. Рахманкулов Физические и химические свойства глицерина / Д.Л. Рахманкулов, Б.Х. Кисманов, Р.Р. Чанышев. – М.: Химия, 2003 – 199 с.
4. Ткаченко С. Й. Методи та засоби зниження невизначеностей оцінювання інтенсивності теплообміну в складних сумішах / С. Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Т. Ю. Румянцева // Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. : Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування . - 2014. - № 12. - С. 116-126. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/vcpient_2014_12_21.pdf
5. Ткаченко С.Й. Функціональні етапи та обладнання біогазової технології в системах різного рівня потужностей/ С.Й. Ткаченко, Н. В. Пішеніна, Т. Ю. Румянцева // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2014. – № 2. – С. 220 – 225.
6. <http://meteo.ua/ua/archive/71/vinnitsa>

УДК 612.461.2

ЕКСТРАКЦІЯ ДАНИХ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА КАРБАМІДУ

Ульєв Л.М., д-р техн. наук, проф., Яценко О.О., аспірант,

Шпилька В.М., студент

Національно технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Мета даного проекту полягає в дослідженні процесу виробництва карбаміду до грануляції. Результати вивчення технологічної схеми та регламенту дозволяють визначити технологічні потоки, котрі необхідні для початку проектування теплової інтеграції процесу.

The aim of this project was to investigate the process of production of urea. As a result, the technological scheme and the regulation were studying. The technological streams were determined. The streams will be used during thermal integration process.

Ключеві слова: карбамід, грануляція, енергоспоживання, пінч-аналіз, сіткова діаграма.

Вступ. Потенціал цивілізації постійно розвивається, завдяки чому чисельність населення людства росте. Основним ресурсом, що забезпечує умови існування та розвитку сучасної цивілізації, стала енергія, за допомогою якої забезпечується не тільки виробництво продуктів харчування, але й задовольняються інші потреби людини.

В ХХІ ст. екстенсивне використання сільськогосподарських земель дозволяло забезпечувати продуктами харчування приблизно 1 млрд. жителів планети. Сьогодні чисельність населення Землі зростає більш, ніж у 6 разів, і забезпечення людей харчуванням зараз і в майбутньому неможливе без інтенсивної обробки сільськогосподарських земель. Це потребує використання мінеральних добрив, що забезпечують високі та стійкі врожаї. До основних елементів, які необхідні для забезпечення життєдіяльності рослин, відносять азотисті сполуки.

Карбамід використовують в виробництві комплексних добрив, карбоаммофосфатів, карбамідно-формальдегідних добрив, для виготовлення сухих тукоsumішей, у невеликій ступені для очистки відходів газів виробництві нітрофоски[1]. У промисловості карбамід застосовується у вигляді карбамідно-формальдегідних полімерів у виробництві пластичних мас, синтетичних клеїв, а також при отриманні складів для просочення тканин з метою підвищення їх міцності, для обробки паперу з метою поліпшення її механічних властивостей і т. д [2]. Карбамід широко застосовується також для технічних цілей. Для приготування продуктів її конденсації з формальдегідом. Карбамід знайшов застосування у фармацевтичній промисловості для приготування заспокійливих і снодійних. Його використовують при виготовлен-

ні дезінфікуючих засобів, в якості пом'якшувача, у виробництві косметичних кремів. У нафтовій промисловості виявилось можливим ефективно використовувати карбамід для розділення нафтопродуктів методом екстрактивної кристалізації [3].

Зменшення питомих енерговитрат при виробництві азотистих сполук позитивно діє не тільки на конкурентоздатність виробника, але й на зовнішнє середовище внаслідок зменшення викидів шкідливих речовин та емісії парникових газів.

Зниження питомого енергоспоживання можна досягти шляхом модернізації окремих систем виробництва, установок і заводів в цілому, а також вдосконаленням окремих виробничих операцій. Застосування пінч-аналізу в середньому призводить до зниження вартості споживаної енергії (30-50)% і значно знижуються капітальні витрати при створенні нових підприємств [4-6].

Опис технологічної схеми. Технологічний процес отримання карбаміду до подання на грануляцію (рис. 1) складається з наступних основних стадій:

синтезу;
рециркуляція;
випарювання.

В умовах синтезу протікає процес утворення карбаміта амонію, карбаміду, розкладання карбамата амонію, відгін надлишкового аміаку, а також утворення вуглеамонійних солей (ВАС) Процес утворення карбамата амонію відбувається в результаті взаємодії NH_3 та CO_2 при тиску від 13,4 до 14,4 МПа.

Блок синтезу містить теплообмінне обладнання E-201, E-202, E-203 та колону синтезу R-201.

Реакційна суміш, з масовою часткою карбаміду не менше 33 %, з колони синтезу R 201 надходить у верхню частину стрипера E 201. Стрипер E 201 являє собою вертикальний, кожухотрубний теплообмінник плівкового типу. Працює за принципом протитoku: рідка фаза тонкою плівкою стікає по трубках вниз, а газова протітечією, піднімається знизу вгору. У верхній частині E 201 є розподільний пристрій, який забезпечує плівковий характер руху рідини по трубках. Розподільчий патрубок надходячої газової фази (CO_2) конструктивно розташований вище рівня рідини в нижній частині стрипера E 201.

Вуглекислий газ з температурою від 60 до 100 °С, з тиском від 14,4 до 15,2 МПа, об'ємною подачею не менше 13 000 м³/год і приведений до нормальних умов подається в нижню частину стрипера E 201 і піднімається по трубах вгору, назустріч реакційній масі, яка надходить з колони синтезу R 201. З паром, що подається в міжтрубний простір стрипера E 201, підводиться необхідна кількість тепла для розкладання в струмі свіжого CO_2 , карбамата на аміак і CO_2 .

Гази, що утворюються при розкладанні карбамата, спільно зі свіжим CO_2 відводяться з верхньої частини стрипера E 201 в E 202. Розчин карбаміду, збирається в нижній частині апарату і відводиться на стадію рециркуляції. За час проходження реакційної суміші через колону при тиску від 13,4 до 14,4 МПа і температурі від 180 до 183 °С в газовій фазі відбувається перетворення карбамата амонію в карбамід.

Інерти і непрореаговані NH_3 і CO_2 з верхньої частини колони синтезу відводяться в E 203. Скрубер В.Т. E 203 складається з теплообмінної і сепаруючої частини. Для поліпшення процесу масообміну, в теплообмінній частині скрубера є центральна переливна труба.

В скрубери В.Т. E 203 гази з колони R 201, змішуючись з розчином (ВАС) вуглеамоніаних солей частково конденсуються і поглинаються карбаматом. Тепло поглинання NH_3 і CO_2 вуглеамонійними солями (карбаматом) відводиться охолоджуючим конденсатом, що подається в міжтрубний простір E 203. Охолоджуючий конденсат надходить до холодильника E 904. Нормальну роботу скрубера забезпечує циркуляція від 190 до 220 м³/год конденсату з температурою на виході в E 203 від 110 до 120 °С і перепадом температур виходу і входу конденсату не нижче $\Delta t = 8^\circ\text{C}$. Газова фаза з сепараційної частини скрубера E 203 через вентилятор відводиться в абсорбер С 701, а розчин з температурою від 160 до 165 °С за переливу надходить в E 202.

Рідкий аміак об'ємною подачею від 29 до 43 м³/год подається в ежектор E 201. конденсатор встановлений на аміачному трубопроводі, що веде в E 202, його всмоктування з'єднане з вихідним трубопроводом карбамата зі E 203 і з нижньою частиною колони R 201. В конденсаторі E 202 потік з ежектора змішується парогазовою фазою E 201, з утворенням карбамат. Конденсатор E202 – вертикальний циліндричний кожухотрубчатий теплообмінник. У верхній частині апарата є камера суміші вихідних компонентів.

Температура реакції, а отже і ступінь конденсації NH_3 і CO_2 в E 202 регулюється зміною тиску в колекторі пара від 0,35 до 4,6 МПа. Процес конденсації ведеться таким чином, що певна частина вихідних компонентів (NH_3 і CO_2) не компенсувалася в E 202. Ця частина вільного NH_3 і CO_2 перетворилася в карбамат в колоні синтезу, компенсуючи ендотермічність утворення карбаміду. Температурний режим в колоні синтезу від 170 до 183 °С. Утворений карбамат, несконденсований NH_3 і CO_2 з E 202 надходить у колону синтезу R 201.

Колона синтезу R 201 являє собою вертикальний циліндричний апарат. Реакційна суміш підводиться знизу і відводиться через переливну трубку з верхньої частини колони. По висоті колони R 201 встанов-

лені 8 сітчастих тарілок, які забезпечують часткове перемішування і зберігаючи спрямованість переміщення реакційної маси по колоні знизу вгору.

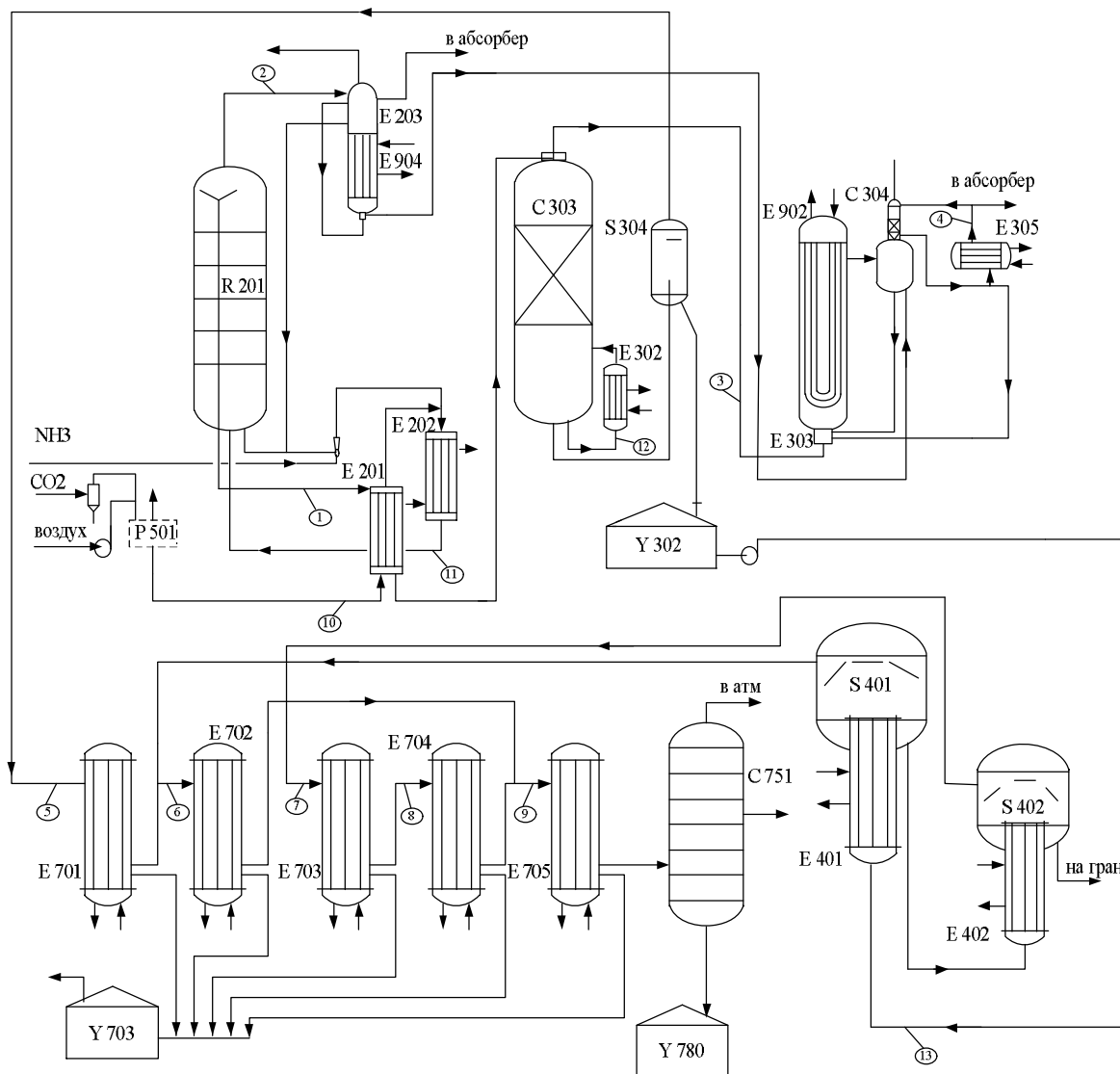


Рис. 1 – Функціональна енерготехнологічна схема процесу виробництва карбаміду до подачі на грануляцію

В блоці рециркуляції проходить процес остаточного розкладу карбамата амонію, котрий міститься в розчині. Розчин, що виходить з стрипера E 201, дроселює до тиску від 0,25 до 0,35 МПа і надходить у колону ректифікації.

Колона ректифікації складається з підігрівача E 302, сепараторної частини і частини масообміну C 303. Масообмін верхньої частини ректифікаційної колони заповнена металевими кільцями. В ректифікаційній колоні газорідинна суміш форсункою рівномірно розподіляється по насадці і стікає вниз, протічєю через насадку, знизу-вгору рухається газова фаза після розкладання карбамату в підігрівнику E 302. У шарі насадки відбувається масообмін рухаючись назустріч один одному потоків.

Розчин карбаміду, пройшовши шар насадки, потрапляє на "глуху" тарілку і по переливній надходить у підігрівник E 302, де нагрівається парою до температури від 130 до 140 °C. В підігрівнику відбувається остаточне розкладання карбамату на NH_3 і CO_2 . З підігрівача E 302 розчин надходить у сепаративну частину колони C 303, в якій газова фаза NH_3 , CO_2 пари води та інерти відокремлюються від розчину карбаміду.

Розчин карбаміду з сепараційної частини С 303 з масовою часткою карбаміду не нижче 67,3 % надходить в вакуум-випарник S 304. S 304 підтримується вакуум від мінус 50 до мінус 57 кПа в результаті чого з розчину карбаміду додатково відганяється вода, NH_3 , CO_2 , Соковий пар з S 304 надходить на конденсацію в E 703, а розчин карбаміду з температурою від 90 до 100 °C відводиться в гідрозатор збірника розчину карбаміду У 302.

Газова фаза після сепараційної частини колони С 303 надходить у нижню частину колони С 302 піднімаючись протитечією який стікає зверху вихідного розчину, підігріває його і частково конденсується. Неконденсована газова фаза, що містить масову частку аміаку не більше 35 %, масову частку CO_2 не більше 50 % з температурою від 110 до 115 °C відводиться з верхньої частини ректифікаційної колони С 303 в нижню частину конденсатора E 303.

Конденсатор E 303 являє собою двоходовий вертикальний теплообмінник. Теплота конденсації відводиться циркулюючим охолоджуючим конденсатом через холодильник E 902. Газоподібний NH_3 , CO_2 і інерти зі збірки У 301 надходять в скруббер абгазів С 304, де відбувається поглинання NH_3 і CO_2 . Теплота абсорбції відводиться в холодильник E 305. Інерти з скрубера С304 з незначним вмістом NH_3 відправляються в кінцевий конденсатор E 705.

Розчин карбаміду після стадії рециркуляції проходить блок випарювання. Процес випарювання (видалення реакційної води) протікає в двох ступінчатій випарці. Розчин карбаміду з масовою часткою не менш 71,2 %, температурою від 90 до 100 °C подається із збірника У 302 у випарник першого ступеня випарювання E401. Випарники першої та другої ступені випарювання являють собою кожухотрубні теплообмінники, поєднані у верхній частині з сепараторами.

На першій ступені випарювання розчин карбаміду упарює при температурі від 126 до 130°C і вакуумі від мінус 75 до мінус 65 кПа. Пар не більше 0,46 МПа подається в міжтрубний простір підігрівача E 401. Парорідина суміш з підігрівача E 401 надходить у сепаратор E401, де основні пари відділяються від розчину карбаміду. Розчин карбаміду з сепаратора E401 надходить у випарник другого ступеня випарювання E 402.

На другому ступені випарювання розчин упарює при абсолютному тиску не більше 3,0 кПа і температурі від 135 до 140°C масової частки карбаміду не менше 99,7 % . Пара з тиском не більше 1,0 МПа подається в міжтрубний простір випарника E 402. В сепараторі другої ступені S 402 основні пари відділяються від плава карбаміду. Соковий пар з сепаратора S 401 концентрується в конденсаторі E702. Несконденсовані пари та інерти ежектором E 702 подається в "кінцевий" конденсатор E 705.

Соковий пар з сепаратора S 402 ежектором E 703 подається в конденсатор E 703. Несконденсовані пари в E 703 та інерти ежектором E704 транспортуються через другий конденсатор другого ступеня випарювання E704 "кінцевий" конденсатор E 705.

Несконденсовані в кінцевому конденсаторі E 705 пари та інерти відводяться для остаточного уловлювання в колону З 751. Колона С751 зрошується охолодженою стічною водою. Інерти з абсорбера З 751 через "свічку" Х 701 викидаються в атмосферу. Конденсат сокових парів з конденсаторів E 702, E 703, E 704, E 705 самопливом відводиться в збірник амонводи У 703 (у вбудований гідрозатор). Всі конденсатори випарювання охолоджуються охолоджуючою водою.

Для запобігання кристалізації карбаміду на стінках сепараторів S 401 та 402 S, а також у трубопроводах сокових парів від сепаратора S 402, передбачена періодична і постійна промивка амводой. У ежекторах першої та другої ступенів випарювання використовується пар з тиском від 0,25 до 0,35 МПа.

Виділення технологічних потоків для визначення енергозберігаючого потенціалу процесу виробництва карбаміду до подачі на грануляцію. Для аналізу даних енергоспоживання і структури теплообмінної системи необхідно виділити технологічні потоки , які приймають участь в теплообміні, а також потоки, які можуть бути включені в теплову інтеграцію.

Аналіз технологічної схеми ХТС починається з визначення джерела теплоти (гарячі потоки) і стоків теплоти (холодні потоки) [7]. Технологічна схема процесу виробництва карбаміду має 13 потоків (9 гарячих та 4 холодних потоків), котрі можуть брати участь в теплообміні.

Систематизував результати вивчення технологічної схеми та регламенту, враховуючи розрахунки матеріального і теплового балансів, складемо таблицю поточкових даних (табл.1). В таблиці поточкових даних зазначені початкова та кінцева температури, потокова ентальпія та теплова потужність потоків.

Аналіз теплообмінної системи. Використовуючи дані, отримані при обстеженні установки, будуюмо популяцію гарячих і холодних технологічних потоків на сіткову діаграму(рис. 2).

За вимірними температурами технологічних потоків та їх поточковими теплоємкостями визначаємо навантаження кожного з рекуперативних теплообмінників. Проаналізувавши існуючу систему теплообміну, отримано потужність рекуперації $Q_{\text{rec}} = 1118$ кВт, значення гарячих та холодних утиліт, $Q_{\text{H}} = 8406$ кВт та $Q_{\text{C}} = 64697$ кВт відповідно, також визначена область локалізації пінча: 183 °C для гарячих потоків та 109 °C для холодних потоків.

Таблиця 1 – Характеристика технологічних потоків процесу виробництва карбаміду

№	Назва потоку	Тип	TS, °C	TT, °C	г, кДж /кг	CP, кВт/К	ΔH, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Реакційна суміш з R-201	гар	183	160		48,7	1120,1
2.1	Конденсація газів з R-201	гар	183	183	1563		5693
2.2	Гази з R-201	гар	183	68,7		9,38	1072,1
3.1	Конденсація газової суміші з R-201	гар	102,9	102,9	1357		5642
3.2	Газова суміш з R-201	гар	102,9	68,4		6,41	217,3
4	Теплота абсорбції з C-304	гар	59,4	40		11	213,4
5	Пари аміаку в E-701	гар	90,3	42		1,84	88,9
6.1	Соковий пар в E-702	гар	129,8	100		8,16	243,17
6.2	Конденсація сокового пара	гар	100	100	3839		16507,7
6.3	Соковий конденсат в E-702	гар	100	42		149,47	8669,26
7.1	Соковий пар в E-703	гар	133,8	100		4,88	189,34
7.2	Конденсація сокового пара	гар	100	100	3832		9809,2
7.3	Соковий конденсат в E-703	гар	100	40		90,98	5458,8
8.1	Соковий пар в E-704	гар	109	100		2,46	22,14
8.2	Конденсація сокового пара	гар	100	100	3794		4932,2
8.3	Соковий конденсат в E-704	гар	100	42		44,71	2593,18
9.1	Соковий пар в E-705	гар	116,5	100		1,02	16,83
9.2	Конденсація сокового пара	гар	100	100	4037		2179,98
9.3	Соковий конденсат в E-705	гар	100	40		18,84	1130,4
10	Діоксид вуглецю	хол	100	180		13,97	1117,6
11	Реакційна суміш в R-201	хол	106,8	167,3		81,49	4930,15
12	Розклад карбамату	хол	110,4	135		54,53	1341,44
13	Розчин карбаміду	хол	90,3	140		42,64	2119,21

Висновок. В результаті дослідження процесу виробництва карбаміду була складена таблиця потоків даних, яка послужить основою для інтеграції існуючого процесу. Також, на результатах дослідження технологічної схеми побудована сіткова діаграма та розрахована теплова потужність рекуперативних теплообмінників, яка склала 1118 кВт. Результати даної роботи можуть бути використані для визначення енергозберігаючого потенціалу системи та для реконструкції існуючої схеми.

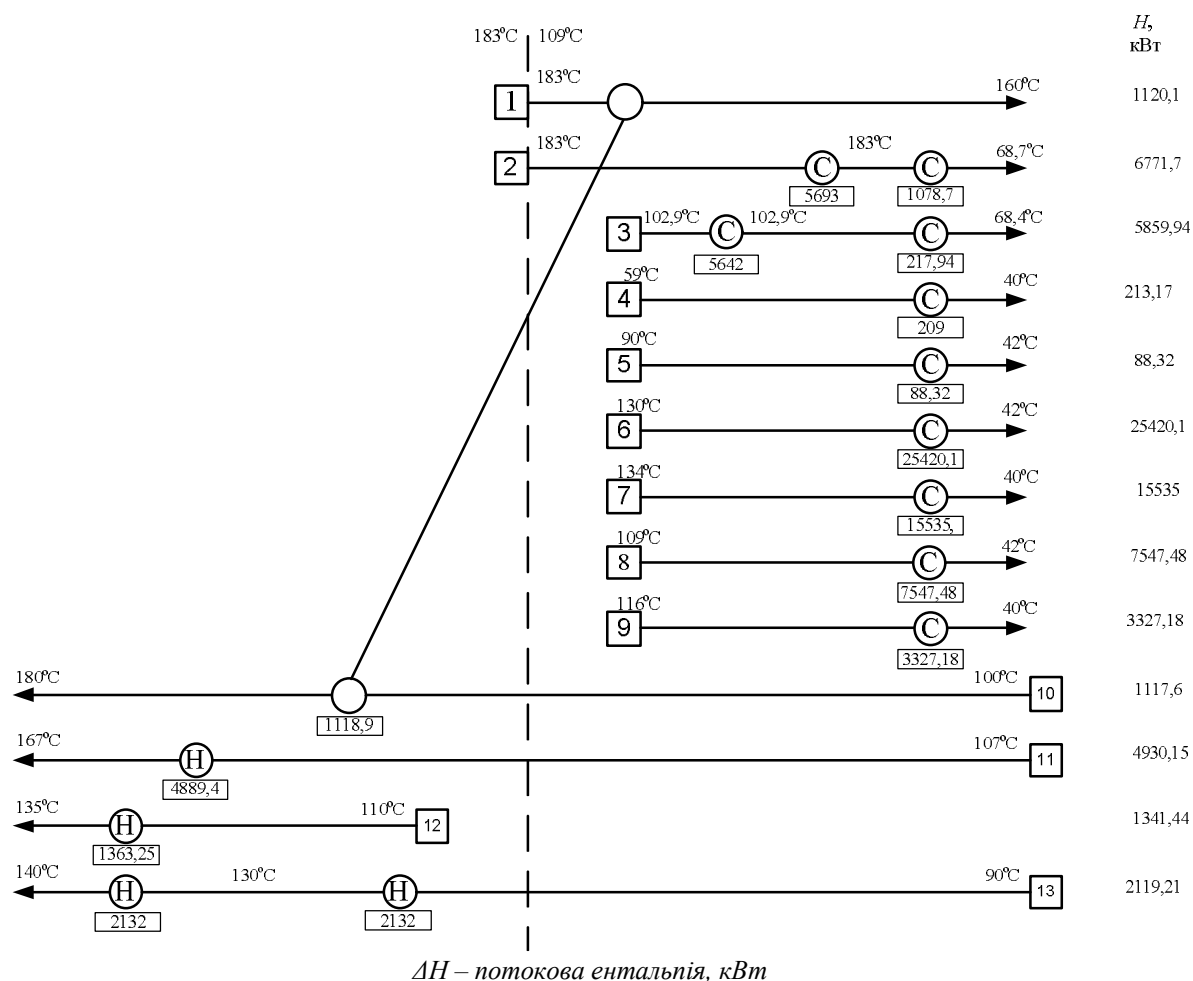


Рис. 2 – Сіткова діаграма для процесу, що існує (з лінією пінча)

Література

1. Технология фосфорных удобрений/ под редакцией С.Д. Эвенчик, А.А. Бродский, М:Химия, 1987. – 464с.
2. Меламин: технологии производства. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=873
3. Баранова Д.И. Карбамид. Обзор современных технологий производства / Д.И. Баранова, Н.И. Баранова. – 2014 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2014/763/3879>
4. Tovazshneanski L.L. Energy Integration of the Early Crude Oil Unit with Take Into Account Different regime / L.L. Tovazshneanski, P.A. Kapustenko, L.M. Ulyev, S.A. Boldyryev, M.V. Tarnovsky // Chemical Engineering Transaction. – 2005 – Vol. 7. – p. 103–108.
5. Plesu V. Catalytic, reforming plant simulation for energy saving and rational use of hydrogen / Plesu V., Baetens D., Bumbac G.// 1th Conference on process integration, modeling and optimization for energy saving and pollution reduction. PRES'01. Chemical engineering translations, 2001. – Vol. 2. –p. 489-492.
6. Клемеш Й. Применение метода пинч-анализа для проектирования энергосберегающих установок нефтепереработки / Й. Клемеш, Ю.Т. Костенко, Л.Л. Тобажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев, А.Ю. Перевертайленко, Б.Д. Зулин // ТОХТ. 1999. Т. 33, № 4. С. 420 – 431.
7. Смит Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л. Л. Тобажнянский, П. А. Капустенко, Л. М. Ульев. – Харьков: ХГПУ, 2000. – 457 с.