

ЭКСТРАКЦИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ПИНЧ-АНАЛИЗА ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА АКРИЛОВОЙ КИСЛОТЫ

Ульев Л.М., д-р техн. наук, проф., Васильев М. А., аспирант, Тюльпа Е.А., бакалавр
Национально-технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков

Цель данного проекта заключается в исследовании процесса получения акриловой кислоты. Определены все технологические потоки, которые необходимы для интеграции процесса, с помощью метода пинч-анализа. На основании анализа технологической схемы и потоковых данных, построена сеточная диаграмма теплообменной системы, построены составные кривые в соответствии с существующей нагрузкой теплообменной системы.

The aim of this project is to study process of producing acrylic acid. Identified all the technological streams that are needed for the integration process by using the method of pinch analysis. Heat network were constructed on the basis of these data, heat exchange between process streams was determined. Composite curves for the existing process have been built using obtained technological process data. The data obtained will be used to further the process of reconstruction.

Ключевые слова: пинч-анализ, теплообмен, сеточная диаграмма, составные кривые, утилиты, рекуперация.

Введение. Сокращение потребления топливно-энергетических ресурсов в промышленности сопряжено с широкомасштабной реализацией современных энергосберегающих технологий, созданием высокоэффективных энерготехнологических комплексов. Рост цен на энергию побуждает более экономно использовать энергоресурсы с тем, чтобы уменьшить общие затраты. Более того, все предприятия, спроектированные и построенные во времена низких цен на энергоносители, в настоящее время работают далеко не в оптимальном режиме, с точки зрения потребления энергии.

Нефтехимия является энергоемким производством, и уровень энергозатрат в значительной степени влияет на себестоимость готовой продукции. Из нефтехимических производств наиболее энергоемкими являются производства низших олефинов, метанола, водорода, ароматических углеводородов [1].

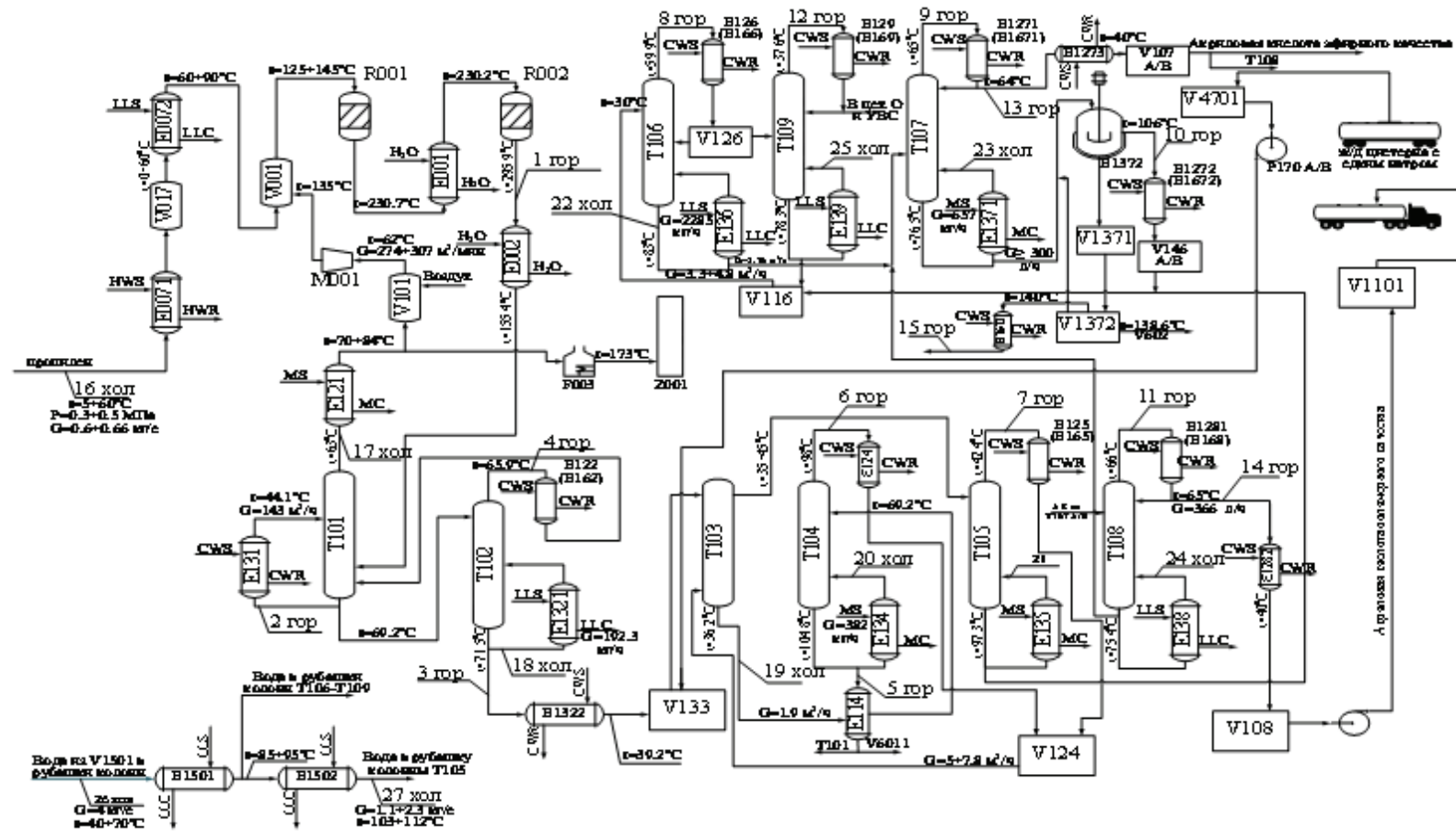
Повышения энергоэффективности производства достигаются путем модернизации отдельных систем, установок и заводов в целом, рационализации и совершенствования производственных операций.

Краткое описание технологической схемы производственного процесса получения акриловой кислоты. Производство акриловой кислоты основано на методе непрерывного двухстадийного окисления пропилена кислородом воздуха в двух реакторах трубчатого типа со стационарным слоем катализатора с рециркуляцией реакторных газов. Выделение акриловой кислоты, регенерация растворителя осуществляется на оборудовании колонного типа. Функциональная энерготехнологическая схема представлена на рисунке 1.

Пропилен поступает на производство по трубопроводу в виде газа. В первом реакторе (R001) пропилен окисляется в акролеин и частично в акриловую кислоту. Во втором реакторе (R002) акролеин практически весь окисляется до акриловой кислоты. Из реакционных газов акриловая кислота абсорбируется водой в колонне T101. Часть отходящего после абсорбции газа рециркулируется в первый реактор (R001). В результате абсорбции в колонне образуется 50-55 % раствор акриловой кислоты. Далее водный раствор акриловой кислоты поступает в колонну поз. T102 для отгона низкокипящих примесей после чего направляется в приемник.

Из приемника водный раствор акриловой кислоты поступает в экстрактор, где акриловая кислота из водного раствора экстрагируется растворителем – изобутилацетатом. Экстракт (33-38 % раствор акриловой кислоты в изобутилацетате) из верхней части экстрактора (T103) поступает в колонну выделения растворителя - изобутилацетата. Акриловая кислота из куба колонны (T105) подается в приемник.

Из приемника акриловая кислота поступает в колонну выделения низкокипящих примесей (уксусной кислоты). Из куба колонны акриловая кислота очищенная от низкокипящих примесей направляется на питание колонны. Дистиллят колонны направляется на выделение уксусной кислоты в колонне.



V017 – пропиленгольдер; R001, R002 – реакторы; E114 – рекуперативный теплообменник; F003 – сжигатель; Z001 дымовая труба; E1372 – испаритель; T101-T109 – колонна; E0072, E121, E1501, E1502 – подогреватели; M001 – компрессор; E002 – охладитель; E1322, E1282 – холодильники; E122, E162, E124, E125, E165, E1281, E168, E126, E166, E129, E169, E1271 – конденсаторы; E1321, E134, E135, E138, E136, E139, E1371 – кипятильники; V001 – смеситель питания; V101 – смеситель воздуха; V133, V124, V108, V1101, V116, V1371, V146 A/B, V4701, V107 A/B – ёмкости.

Рис. 1 – Функциональная энерготехнологическая схема производства акриловой кислоты

Отогнанная уксусная кислота из верхней части колонны T109 направляется на дальнейшую переработку в цех ОиУСВ, а акриловая кислота из куба колонны T109 возвращается в приемник.

Получение акриловой кислоты эфирного качества осуществляется в колонне удаления высококипящих примесей поз. T107. Акриловая кислота, очищенная от димеров и других высококипящих примесей отгоняется из верхней части колонны и после охлаждения направляется в резервуар готового продукта или в емкость цеха СиГП. Так же из резервуара готового продукта акриловая кислота насосом передается в емкость цеха СиГП.

Часть дистиллята колонны T107 направляется в колонну T108 для получения акриловой кислоты полимерного качества. Акриловая кислота полимерного качества отгоняется из верхней части колонны охлаждается и направляется в резервуар готового продукта и далее передается насосом в емкость цеха СиГП. Из резервуара V1101 акриловая кислота полимерного сорта подается на сливо-наливную эстакаду. Из резервуара V1102 акриловая кислота эфирного сорта подается по трубопроводам в производство метилакрилата или этилакрилата. Из резервуара V1102 акриловая кислота эфирного сорта, подается по трубопроводам в производство бутилакрилата.

Анализ существующего теплообменного оборудования и схема рекуперации. Сбор данных и моделирование в Unisim Design позволило определить потоковую таблицу процесса, которая представляет цифровой образ системы теплообмена установки (Табл. 1).

Таблица 1 Температуры и расходы теплоносителей в теплообменном оборудовании установки производства акриловой слоты

№	Название потока	Тип	$T_s, ^\circ\text{C}$	$T_t, ^\circ\text{C}$	$G, \text{кг/с}$	$C, \text{Дж/}(\text{кг}^\circ\text{C})$	$r, \text{Дж/кг}$	$CP, \text{кВт/}^\circ\text{C}$	$\Delta H, \text{кВт}$
1.	Реакционный газ после реактора поз.R002	Гор	295,9	155,4	7,51	1,2		9	1264,5
2.	Охлаждение куба колонны T101	Гор	69,2	44,1	43,61	3,13		136,5	3426
3.	Куб T102 в V333	Гор	71,5	39,2	1,95	3,13		6,1	197
4.2	Конденсация паров АК из T102	Гор	69,5	69,5	0,2		1870		374
4.3	Сконденсировавшиеся пары из T102	Гор	69,5	62	0,2	3,65		0,73	5,5
5.	Кубовая жидкость из колонны поз.T104 в V6011	Гор	104,8	74	1,54	4,39		6,75	207,9
6.1	Конденсация паров изобутилацетата и воды из верхней части колонны T104	Гор	98	98	0,05		2036		101,8
6.2	Охлаждение дистиллята T104	Гор	98	50	0,05	3,9		0,19	9,3
7.1	Пары воды и азеотропа изобутилацетата из верхней части колонны T105	Гор	42,4	41	3,58	1,5		5,37	7,5
7.2	Конденсация паров T105	Гор	41	41	3,58		760		2721
8.1	Пары низкокипящих компонентов из верхней части колонны T106	Гор	63	62	3	1,2		3,6	3,6
8.2	Конденсация паров T106	Гор	62	62	3		703		2109
9.1	Акриловая кислота из верхней части колонны T107	Гор	65	64	1,53	1,2		1,83	1,83
9.2	Конденсация паров из T107	Гор	64	64	1,53		722		1104
10.1	Конденсация паров E1372	Гор	106	106	0,56		644		360
10.2	Охлаждение конденсата паров E1372	Гор	106	40	0,56	2		1,12	74
1.1	Акриловая кислота из верхней части колонны T108	Гор	66	65	0,34	1,2		0,4	0,4
1.2	Конденсация паров T108	Гор	65	65	0,34		681		231,5
2.1	Уксусная кислота из верхней части колонны T109	Гор	39	37	0,35	1,13		0,39	0,78

Продолжение табл. 1

№	Название потока	Тип	T_s , °C	T_i , °C	G , кг/с	C , Дж/(кг°C)	r , Дж/кг	CP , кВт/°C	ΔH , кВт
12.2	Конденсация паров T109	Гор	37	37	0,35		740		259
13	Акриловая кислота в резервуар готового продукта V107A/B	Гор	66	40	0,9	2		1,8	46,8
14	Акриловая кислота в V108	Гор	65	40	0,1	2,1		0,21	5,25
15.1	Отходящие газы из V1372	Гор	140	81	0,017	1,36		0,02	1,18
15.2	Конденсация паров V1372	Гор	81	81	0,017		668		11,7
16	Пропилен в V001	Хол	20	85	0,6	1,55		0,93	60,4
17	Рецикловый газ, отходящий из абсорбера T101	Хол	63	80	4	1,21		4,84	82
18.1	Подогрев колонны T102	Хол	71	72	2,2	3,1		6,82	6,82
18.2	Испарение	Хол	72	72	2,2		1463		3218,6
19	Рафинат экстрактора поз. T103 и водная фаза V124 в колонну T104	Хол	36.2	69.2	1,47	4,29		6.3	207,9
20.1	Подогрев колонны T104	Хол	104	105	1,55	4,4		6,8	6,8
20.2	Подогрев колонны T104 испарение	Хол	105	105	1,55		2267		3513,8
21.1	Подогрев колонны T105	Хол	95	97	5,27	2,1		11	22
21.2	Испарение	Хол	97	97	5,27		656		3457
22.1	Подогрев колонны T106	Хол	89	90	3,88	2,1		8,15	8,15
22.2	Испарение	Хол	90	90	3,88		670		2599
23.1	Подогрев колонны T107	Хол	80	81	1,8	2,1		3,78	3,78
23.2	Испарение	Хол	81	81	1,8		670		1206
24.1	Подогрев колонны T108	Хол	78	79	0,43	2,1		0,9	0,9
24.2	Испарение	Хол	79	79	0,4		670		268
25.1	Подогрев колонны T109	Хол	78	80	0,59	2,1		1,24	2,5
25.2	Испарение	Хол	80	80	0,59		676		398
26	Горячая вода в рубашки колонн	Хол	50	87	5,83	4.35		25,36	938
27	Горячая вода в рубашку T105	Хол	87	103	1,66	4.4		1,65	117

Для определения мощности рекуперации в теплообменной системе установки, нам необходимо знать температуры технологических потоков на выходе из системы разделения процесса и выходе из системы рекуперации. Для того чтобы определить эффективность работы теплообменных аппаратов, были измерены температуры теплоносителей на каждом теплообменном аппарате (таблица 1).

На основании обследования технологической схемы, была построена сеточная диаграмма [2], были определены теплообменные связи между технологическими потоками, а также была посчитана мощность рекуперации теплоты, которая составила 207,9 кВт (рис 2).

Для определения ΔT_{\min} существующего проекта в пинч-анализе используется аппарат составных кривых [3-5]. Составные кривые показывают суммарное энтальпийное изменение в системе потоков (холодных или горячих соотв.) во всех интервалах температуры.

По сеточной диаграмме исходной технологической схемы (Рис. 2) определяем мощность рекуперации тепловой энергии. Для горячих потоков - это температура крайняя слева рисунка на данном потоке и температура после крайнего правого рекуперативного теплообменника. Для холодных потоков наоборот: крайняя правая и после последнего левого рекуперативного теплообменного аппарата.

В теплообменной схеме процесса производства акриловой кислоты только один рекуперативный теплообменный аппарат [6] (рис. 2), следовательно, мощность рекуперации составит ~ 207.9 кВт.

Используя технологические данные из таблицы 1, построим на энтальпийно-температурной диаграмме горячую и холодную составные кривые выбранной системы технологических потоков, и далее разместим их таким образом, чтобы интервал перекрытия между ними составил величину в 207.9 кВт (рис. 3). Горячие утилиты отобразились на диаграмме величиной $Q_{Hmin} = 15.913$ МВт, а холодные утилиты, изображенные на диаграмме составных кривых, равны $Q_{Cmin} = 12.332$ МВт (рис. 3).

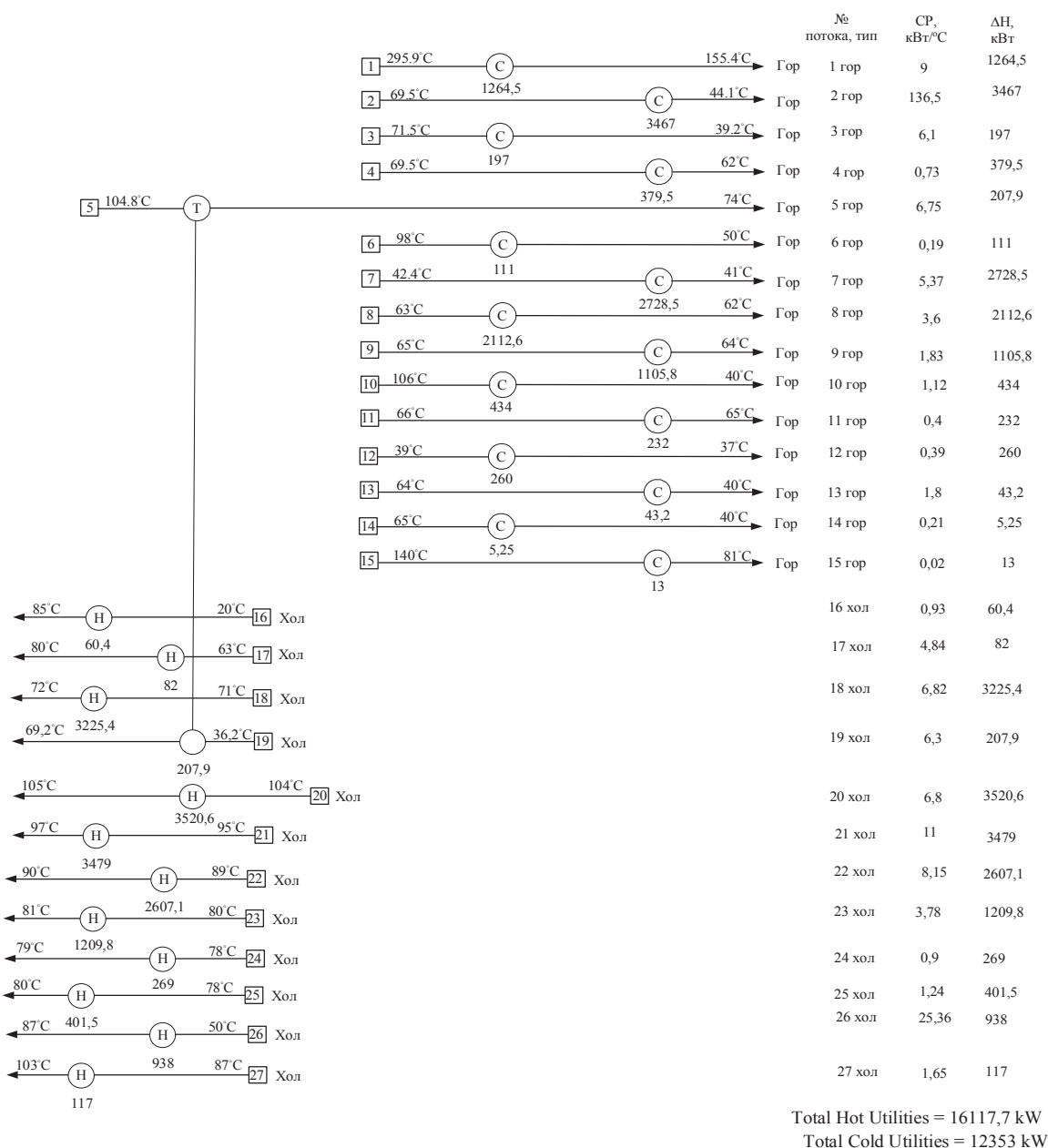
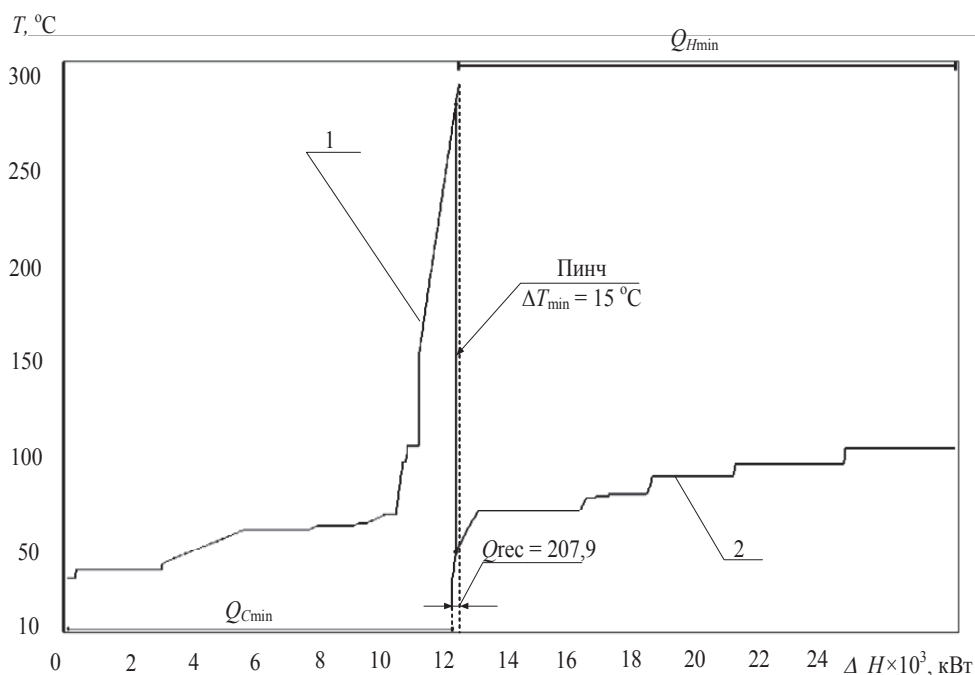


Рис. – 2 Сеточная диаграмма существующей системы теплообмена процесса синтеза акриловой кислоты. Технологические потоки 5 и 19 связаны рекуперативным теплообменником, на остальных потоках установлены утилитные теплообменные аппараты



1 – составная кривая горячих потоков; 2 – составная кривая холодных потоков. Q_{Hmin} , Q_{Cmin} , Q_{Rec} – потребляемая мощность горячих утилит, холодных утилит и мощность рекуперации. $Q_{Hmin} = 15913$ кВт, $Q_{Cmin} = 12332$ кВт, $Q_{Cmin} = 207,9$ кВт

Рис. 3 – Составные кривые процесса синтеза акриловой кислоты, для существующей в настоящее время теплообменной системы

Локализация пинча [7], для действующего процесса составляет: $T_{гор} = 50$ °C и $T_{хол} = 286$ °C. Разность температур в области пинча равна $\Delta T_{min} = 236$ °C.

Выводы. В результате исследования процесса производства акриловой кислоты была составлена таблица потоковых данных, которая в дальнейшем послужит основой для интеграции существующего процесса. Также, на основании обследования технологической схемы, была построена сеточная диаграмма, определены теплообменные связи между технологическими потоками, а также была посчитана мощность рекуперации теплоты, которая составила 207,9 кВт для существующего процесса. Построенная составная кривая выявила недостатки существующей теплообменной системы, которые приводят к увеличению энергопотребления. Экстракция данных процесса производства акриловой кислоты показала большой потенциал энергосбережения обследуемой установки.

Литература

1. Степанов А.В., Сульжик Н.И., Горюнов В.С. Рациональное использование сырьевых и энергетических ресурсов при переработке углеводов.– Киев: Техника. – 1989. – 170 с
2. Смит Р., Клемеш Й., Товажнянский Л.Л., Капустенко П.А., Ульев Л.М. Основы интеграции тепловых процессов. – Харьков: ХГПУ. – 2000. – 457 с.
3. Linnhoff В., Townsend D.W., et al. User guide on process integration for the efficient use of energy. – Rugby: The Institution of Chemical Engineering. –1994. – 247 p.
4. Nordman R. New process integration methods for heat saving retrofit projects in industrial systems. Chalmers University of Technology. –Goteborg, Sweden. –2005. –77 p.
5. Капустенко П.А., Кузин А.К., Макаровский Е.Л., Товажнянский Л.Л, Ульев Л.М., Черная Е.Б.– Альтернативная энергетика и энергосбережение: современное состояние и перспективы – Харьков: ООО Издательский дом «Вокруг цвета»– 2004.–312 с.
6. Hesselgreaves J.E. Compact heat exchangers. Selection, design and operation. Amsterdam: Elsevier – 2001. – 417p.
7. Kemp I. Pinch Analysis and Process Integration (Second edition) – Amsterdam: Elsevier – 2007. – 396p.