

# Виробничі випробування контактного деамонізатора з видалення аміаку із конденсатів в бурякоцукровому виробництві

**А.І. Сорокін**, старший викладач кафедри виробництва цукру та сахаридів, інститут післядипломної освіти НУХТ

**К.О. Штангесв**, кандидат технічних наук, завідувач кафедри виробництва цукру та сахаридів, інститут післядипломної освіти НУХТ

У статті приведені теоретичні основи розчинності газів в рідинах і використання процесу десорбції для видалення аміаку із конденсатів вторинної пари в бурякоцукровому виробництві.

Описана конструкція апарата (контактного деамонізатора) та його технічна характеристика. Наведено результати виробничих випробувань контактного деамонізатора по вилученню аміаку, які підтвердили ефективність цього обладнання в технології підготовки живильної води для дифузійного процесу.

Ключові слова: аміак, десорбція, контактний деамонізатор, живильна вода.

The article presents the theoretical basis for the dissolution of gases in liquids and the development of the desorption process to remove ammonia from the condensates of secondary vapors in sugar beet production.

The design of the production tests of the contact deammoniator, which confirmed the effectiveness of this equipment in the technology of preparation of feed water for the diffusion process, are presented.

Key words: ammonia, desorption, contact screen, feedwater.

Для використання надлишкових конденсатів з бісульфітом кальцію в якості живильної води для дифузійного процесу передбачалось застосувати для видалення аміаку десорбційний метод, як найбільш розповсюджений в промисловості та економічно доцільний [1].

Метод десорбції аміаку із водних розчинів ґрунтується на зменшенні розчинності газів в рідинах при наближенні до температури кипіння. Відомо, що розчинність газів у рідинах залежить від властивостей газу та рідини, тиску, температури та складу газової фази (парціального тиску розчиненого газу в газовій суміші). Для конкретної системи газ-рідина змінними параметрами являються, температура, тиск і концентрації газу в кожній фазі. У стані рівноваги при постійній температурі та тиску залежність між парціальним тиском конкретного газу та складом рідкої фази однозначна. Ця залежність виражається, як відомо, законом Генрі [2, 3]. Парціальний тиск  $P_A$  розчиненого газу пропорційний його молярній частці в рідині:

$$P_A = E x_A,$$

Або розчинність газу в рідині при даній температурі пропорційна його парціальному тиску в газі над цією рідиною:

$$x_A = 1/E p_A;$$

де:  $P_A$  - парціальний тиск поглинаючого газу, що знаходиться в рівновазі з розчином і має концентрацію  $x_A$  (в мольних частках);

$x_A$  - концентрація газу в розчині (в мольних частках), що в рівновазі з газовою фазою, в якій парціальний тиск поглинаючого компонента дорівнює  $P_A$ ;

$E$  - коефіцієнт пропорційності, так званий коефіцієнт або константа Генрі.

Числове значення коефіцієнта Генрі для конкретного газу залежить від природи поглиначки і газу та від температури, але не залежить від загального тиску в системі.

Відомо, що закон Генрі справедливий тільки для ідеальних розчинів, тому він з необхідною точністю може бути застосований до сильно розбавлених реальних розчинів газів у воді.

Для розчинення газу в рідині, або видалення цього газу із рідини необхідно в системі газ-рідина підвищити температуру, або знизити концентрацію розчиненого газу в газовій фазі, тобто парціальний тиск газу. Змінюючи ті чи інші параметри в системі можна створити умови, при яких порушується рівновага між концентрацією газу в рідині та парціальним тиском цього газу в газовій фазі. Оскільки система газ-рідина завжди прагне до рівноваги, то при таких змінних умовах відбувається або виділення газу із рідини в газову фазу, або додаткова його розчинення в рідині, тобто підвищення концентрації газу в рідині та зменшення парціального тиску цього газу в газовій фазі.

Розчинення газів в рідинах, так звана абсорбція газів, а також виділення газів із рідини, так звана десорбція газів, широко використовуються в хімічній технології і відносяться до масообмінних процесів, які описуються основним рівнянням масопереносу:

$$G = K_{\text{ж}} \cdot F \cdot \Delta C_{\text{сп}} \cdot \tau, \text{ кг/год}$$

де:  $G$  - кількість десорбованого газу за одиницю часу, кг/год;

$K_{\text{ж}}$  - коефіцієнт десорбції;

$F$  - площа контакту фаз, м<sup>2</sup>

$\Delta C_{\text{сп}}$  - рушійна сила процесу десорбції, кг/м<sup>3</sup> ;

$\tau$  - тривалість процесу десорбції, с.

Із рівняння масопереносу витікає, що кількість десорбованого газу пропорційна площі контакту фаз, рушійній силі процесу десорбції, коефіцієнту десорбції та тривалості процесу десорбції.

Площа контакту фаз не має сталої поверхні розділу фаз, вона безперервно змінює свою величину і форму і залежить від конструкції тарілки, об'єму десорбера та інтенсивності десорбції.

Коефіцієнт десорбції являє собою функцію багатьох змінних величин (температури, тиску, молекулярної маси, швидкості руху взаємодіючих фаз і ін.), найбільш суттєвими із яких являються температура і швидкість взаємодіючих фаз. З основного рівняння масопереносу виходить, що коефіцієнт десорбції – це масова кількість речовини, що перейшла з однієї фази в другу за одиницю часу через одиницю поверхні контакту фаз при рушійній силі, рівній одиниці.

Середня рушійна сила процесу десорбції газів із рідини визначається із рівняння, де її виражають через різницю парціальних тисків.

$$\Delta C_{\text{сп}} \approx \Delta P = P - P_{\text{р.п}};$$

де:  $P$  - фактичний парціальний тиск газу над рідиною;

$P_{\text{р.п}}$  - парціальний тиск газу над рідиною при

умовах рівноваги його з рідиною;

Згідно з законом Генрі парціальний тиск розчиненого в рідині газу пропорційний його концентрації в рідині та виражається залежністю:

$$C = E (P_c - P_{\text{р.п}});$$

де  $C$  - концентрація газу в рідині;

$E$  - коефіцієнт Генрі;

$P_c$  - загальний парціальний тиск парогазової суміші над рідиною;

$P_{\text{р.п}}$  - парціальний тиск рідинного пару над рідиною;

$(P_c - P_{\text{р.п}})$  - парціальний тиск газу над рідиною, в якій він розчинений.

З приведеної залежності витікає, що розчинність газів в рідинах, наприклад, у воді, буде рівний нулю ( $C = 0$ ) тоді, коли їх парціальний тиск над поверхнею води буде рівним нулю. Такий стан спостерігається під час кипіння води, коли парціальний тиск водяної пари над поверхнею води буде дорівнювати загальному тиску парогазової суміші, тобто парціальний тиск газу дорівнюватиме нулю, це буде за умов, коли  $P_{\text{р.п}} = P_c$ .

Відомо, що закону Генрі, підлягають тільки ті гази, або та їх частина, яка фізично розчинена в рідині. Розчинність аміаку у воді при нормальних умовах значно відступає від закону Генрі. Це пояснюється тим, що переважна частина газу ( $\text{NH}_3$ ) у водному розчині знаходиться в формі  $\text{NH}_4\text{OH}$  і лише 3,5-7% в вигляді фізично розчиненого аміаку (хімічно не зв'язаного з водою).

З ростом температури розчинність аміаку швидко знижується, але навіть при 100 °C вона все ж таки вища фактичної концентрації аміаку в конденсатах бурякоцукрового виробництва (150–300 мг/л). Тому повне видалення аміаку із води тільки завдяки підігріву до температури кипіння неможливе. Видалення аміаку можливе при значних витратах теплоти і тільки в потоці пари, повітря, або других інертних газів на десорберах з розвиненою поверхнею контакту фаз.

Таким чином, методом десорбції видаляється аміак з водних розчинів, можливо тільки фізично розчинений, який знаходиться у воді в формі  $\text{NH}_3$ , аміак у формі  $\text{NH}_4\text{OH}$ , хімічно зв'язаний з водою, не видаляється. Проте, існують способи переведення зв'язаного з водою аміаку в фізично розчинений. Цей спосіб полягає в наступному: коли до водного розчину аміаку додати реагент, наприклад вапняне молоко  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , лужність якого значно вища ніж лужність аміаку в формі  $\text{NH}_4\text{OH}$ , тоді цей аміак, хімічно зв'язаний з водою, буде витиснутий із цієї хімічної сполуки в фізично розчинений аміак,

Таблиця 1

t, °C	рН								
	6	7	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11
25	0,05	0,49	4,7	13,4	32,9	60,7	83,1	93,9	98,0
15	0,02	0,23	2,3	6,7	19,0	42,6	70,1	88,1	96,0
5	0,01	0,11	0,90	3,30	9,70	25,3	51,7	77,0	91,5

який потім може бути видалений із водного розчину способом десорбції.

У таблиці 1 приведений відносний вміст фізично розчиненого аміаку у воді ( $\text{NH}_3$ ) в залежності від температури та реакції середовища (рН).

Як видно із даних табл. 1. відносний вміст аміаку в формі  $\text{NH}_3$  при реакції середовища (рН 9,5–10,5) і температурі води 25 °C відповідно становить 60,7–93,5%, що надає можливість більш ефективно видалити аміак із водних розчинів.

Виходячи із вищевикладеного УкрНДІЦП було розроблено конструкцію контактного деамонізатора для видалення аміаку із конденсатів вторинних парів бурякоцукрового виробництва для схеми підготовки живильної води для дифузійного

процесу з отриманням бісульфіту кальцію.

Загальний вигляд контактного деамонізатора УкрНДІЦП приведений на рис. 1.

Деамонізатор являє собою масообмінну колону, верхня частина якої трохи розширена і являє собою сепаратор, всередині якого рівномірно по всій площі розташовано 9 форсунок, а зовні ця частина на поверхні обладнана патрубками підводу конденсату і відводу випару, а також люком для ремонтних і профілактичних робіт та оглядовими вікнами.

Нижня частина колони має циліндричну форму меншого діаметра ніж сепаратор і обладнана патрубком підводу пари (десорбенту), кронштейнами, кранами відбору проб для аналізу і оглядо-

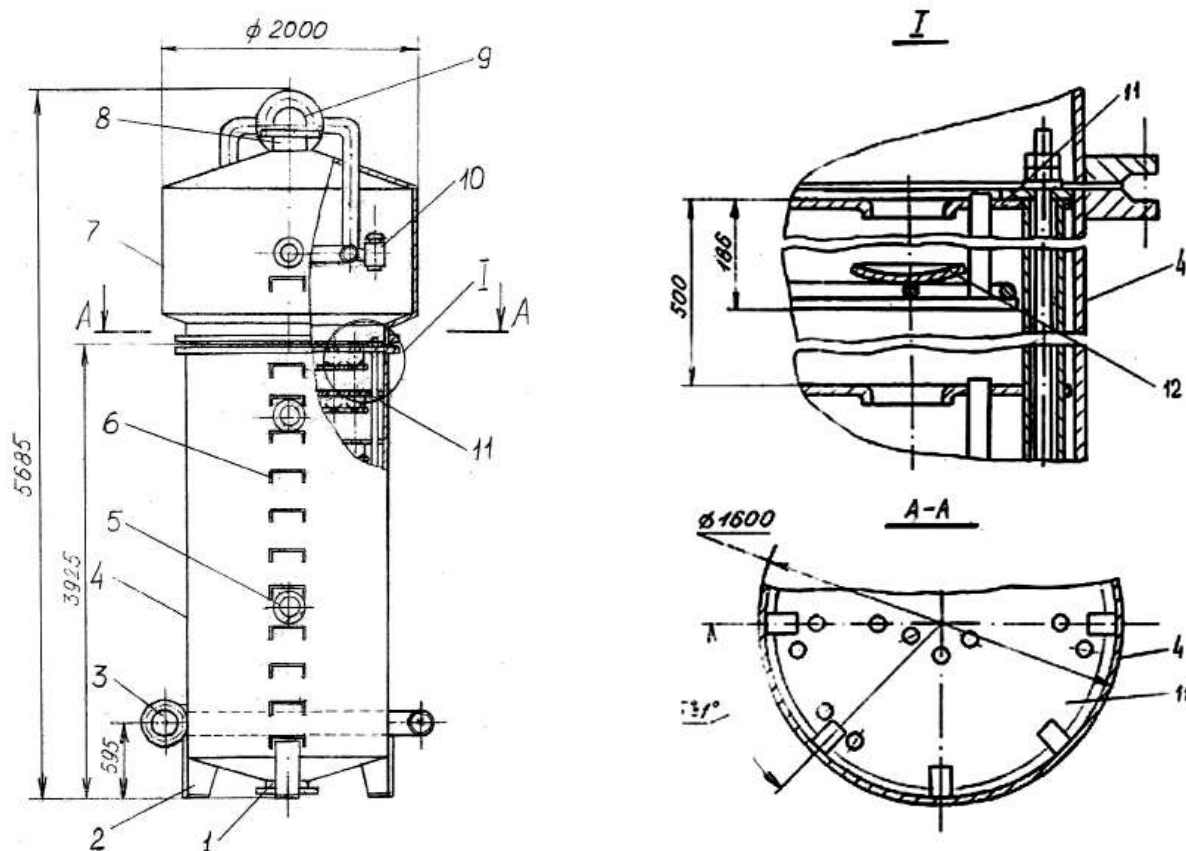


Рис. 1. Загальний вид контактний деамонізатора УкрНДІЦП

1 – патрубок відводу деамонізованого конденсату; 2 – опора; 3 – колектор пари-десорбенту; 4 – корпус масообмінної колони; 5 – вікно для огляду; 6 – кронштейни; 7 – сепаратор; 8 – патрубок відводу випару; 9 – колектор конденсату; 10 – форсунка; 11 – масообмінна тарілка; 12 – розбризкуюча розетка.

вими вікнами.

В середині колони розміщено 7 масообмінних тарілок, кожна із яких має решітку з отворами, кромки яких загнуті вниз. Під кожним отвором співвісно розташовані відбійні розетки прогнутої форми, які виконують роль додаткової тарілки, не збільшуючи при цьому гідравлічного опору десорбера.

Технічна характеристика контактного деамонізатора

- Продуктивність по конденсату, м<sup>3</sup>/год - не більше 100,
- Ефект деамонізації, % - не менше 70,
- Витрати вторинної пари (десорбенту), т/год - не менше 10,
- Параметри вторинної пари (десорбенту):
  - температура, °С, 108–116,
  - тиск, МПа, - не більше 0,017,
- Витрати випару, т/год, - не більше 8,
- Параметри випару:
  - температура, °С, 99–101,
  - тиск, МПа, - не більше 0,005,
- Температура конденсату після колони, °С, 99–100,
- Вміст аміаку в конденсаті після колони, мг/дм<sup>3</sup>, не більше 60,
- Кількість масообмінних тарілок, шт., 7,
- Кількість форсунок-розпилювачів, шт., 9,
- Продуктивність форсунки по конденсату, м<sup>3</sup>/год, не менше 10,
- Тиск конденсату перед форсунками, м вод.ст., 6-10,
- Габаритні розміри, мм,
  - загальна висота - 5685,
  - десорбційна частина колони:
    - діаметр, 1600,
    - висота, 3920,
  - сепараційна частина колони:
    - діаметр, 2000,
    - висота, 1765,
- Маса, кг, 3635

Контактний деамонізатор був виготовлений Яготинським ОМЗ (дослідно-механічним заводом УкрНДІЦП) і змонтований на Яготинському цукровому заводі. Деамонізатор був установлений в районі випарної установки, що забезпечувало стабільну подачу вторинної пари із III-го корпусу випарної установки в якості десорбента. Подача конденсату на деамонізатор здійснювалась самопливом за рахунок різниці висот розміщення напірного збірника конденсатів і верхньої частини деамонізатора.

Виробничі випробування контактної деамонізатора проводились з метою отримання даних, які б підтвердили технічну характеристику цього типу апарата, щодо ефективності його використання для процесу вилучення аміаку із конденсатів вторинної пари випарної установки методом десорбції.

Виробничі випробування проводились комісійно, при участі інженерно-технічних працівників Яготинського цукрового заводу, та наукових співпрацівників Українського науково-дослідного інституту цукрової промисловості (УкрНДІЦП) – розробників технології і обладнання вилучення аміаку із конденсатів вторинної пари та підготовки живильної води із бісульфітом кальцію для дифузійного процесу в бурякоцукровому виробництві.

Виробничі і приймальні випробування проводились по узгодженій і затвердженій в установленому порядку методиці.

При проведенні випробувань реєстрували наступні параметри його роботи:

- температуру конденсату до і після деамонізатора;
- температуру і тиск пари, що поступала в якості десорбента на деамонізатор;
- температуру і тиск пари, що відводилась із деамонізатора;
- витрати конденсату на контактний деамонізатор;
- витрати пари на деамонізатор в якості десорбента;
- витрати пари, що конденсується при контакті з конденсатом;
- вміст аміаку в конденсаті до і після деамонізатора;
- вміст аміаку в конденсаті після кожної масообмінної тарілки.

Вміст аміаку в конденсатах визначали колориметричним методом, а ефективність видалення аміаку (Еф) із конденсатів на деамонізаторі в цілому і на кожній масообмінній тарілці визначали розрахунком по формулі:

$$E_f = \frac{C^1 - C^2}{C^1} \times 100, \%$$

де: C<sup>1</sup>; C<sup>2</sup> - вміст аміаку в конденсаті (мг/дм<sup>3</sup>) відповідно до і після деамонізатора; (масообмінної тарілки).

При проведенні випробувань реєструвались і розраховувались параметри роботи контактної деамонізатора, які передбачались методикою випробувань, а саме: витрати конденсату на деа-

Таблиця 2

Параметри	Конденсат до деамонізатора				Конденсат після деамонізатора				Ефект деамонізації, %
	Витрати м <sup>3</sup> /год	t, °C	pH	Аміак мг/дм <sup>3</sup> .	витрати м <sup>3</sup> /год	t, °C	pH	Аміак мг/дм <sup>3</sup> .	
від	45	92	9,4	140	45	100	9,1	28	72,48
до	80	98	9,85	190	80	100	9,5	48	81,3
середні	59	95	9,7	160	59	100	9,3	38,1	76,6

Таблиця 2 а

Параметри	Пара із III-го корпусу випарної установки (десорбент)				
	на деамонізатор		після деамонізатора		
	витрати, т/год	температура, °C	витрати, т/год	температура, °C	вміст аміаку, мг/дм <sup>3</sup>
від - до	6,0-7,8	106-114	4,7-7,3	100 -100	810-1200
середні	6,8	109	6,2	100	965

монізатор, його температура, реакція середовища (pH), вміст аміаку, витрати пари на деамонізатор, її температура, а також витрати пари і її температура після деамонізатора, так званого (випару). Паралельно проводились аналізи конденсатів на вміст в них аміаку, як конденсату, що поступав на деамонізатор, так і конденсату після деамонізатора, а також конденсату із випару, який утворювався в підігрівнику дефектованого соку.

Результати випробувань контактного деамонізатора приведені нижче в табл. 2. і 2-а, [5] в якій наведені показники, як середніх величин, так і дані по межах зміни цих показників за період проведення виробничих випробувань.

Витрати конденсату на деамонізатор склали 45–80 м<sup>3</sup>/год, при цьому температура конденсату була стабільною і складала 92–98, °C

Витрати пари на деамонізатор в якості десорбента склали 6,0–7,8 т/год і залежали, в основному, від споживання пари (випару) підігрівачем дефектованого соку, та від температури конденсату на вході в деамонізатор. Температура вторинної пари із III-го корпусу випарної установки за період випробувань складала 106–114 °C.

Вміст аміаку в конденсаті, що подався на деамонізатор, коливався в межах 140–190 мг/дм<sup>3</sup>, а вміст аміаку в конденсаті після деамонізатора

був в межах 28–48 мг/дм<sup>3</sup>, що цілком допустимо для живильної води дифузійних установок.

Ефект деамонізації конденсатів на контактному деамонізаторі за період випробувань коливався в межах 72–81% і був вищим ніж передбачений технічною характеристикою (70%). Це обумовлено тим, що кількість випару із деамонізатора, що направляється на підігрівач дефектованого соку, була значно більшою ніж передбачалось розрахунками. Вміст аміаку в конденсаті із випару знаходився в межах 800–1200 мг/дм<sup>3</sup>. Цей конденсат, на наш погляд, доцільно використати на спеціальне водоспоживання: наприклад на гашення вапна, підлучення транспортерно-мийних вод, або водоспоживачів, які не пред'являють вимог щодо вмісту аміаку в воді.

З метою визначення ефективності масообмінних тарілок в контактному деамонізаторі були виконані дослідження по ефективності видаленню аміаку із конденсату після кожної із тарілок окремо. Результати досліджень ефективності масообмінних тарілок по видаленню аміаку приведені в табл. 3. [5].

Із даних табл. 3. видно, що видалення аміаку із конденсатів відбувається на кожній масообмінній тарілці і що ефективність його видалення на кожній із них складає біля 10,5%, за виключенням

Таблиця 3

Ефективність видалення аміаку на тарілках контактного деамонізатору, %						
I	II	III	IV	V	VI	VII
14,3	9,0	9,6	10,1	10,3	10,6	11,3

№№ п/п	Вміст аміаку, (мг/дм <sup>3</sup> )			
	в конденсатах вторинної пари випарної установки із корпусів			
	I-го	II-го	III-го	IV-го
1	90	122	145	181
2	90	123	157	180
3	93	169	214	290
4	93	169	210	274

першої тарілки по ходу конденсату.

Високу ефективність по видаленню аміаку на першій тарілці можна пояснити тим, що значна частина аміаку виділяється при розпилуванні на форсунках і що вони відіграють роль масообмінної тарілки.

Майже однакова ефективність видалення аміаку на всіх масообмінних тарілках підтверджує те, що рушійна сила десорбції аміаку з конденсату в газоподібну фазу по всій висоті деамонізатора залишається на одному рівні. З одного боку збільшується концентрація аміаку в парогазовій фазі, що призводить до зниження рушійної сили десорбції, з іншого боку підвищення температури парогазової фази веде до збільшення рушійної сили десорбції.

Виходячи із цих даних представляє інтерес також дослідження по вмісту аміаку в конденсатах, які утворюються при конденсації вторинної пари різних корпусів випарної установки які проводились під час проведення випробувань. Результати цих досліджень представлені в табл. 4 [5].

Як видно із даних табл.4. вміст аміаку в конденсатах із різних вторинних парів, тобто із різних корпусів випарної установки, різний. Найбільшим вмістом відзначається конденсати із вторинної пари із III-го і IV-го корпусів. Вміст аміаку в конденсатах вторинної пари із цих корпусів складає від 150 до 300 мг/дм<sup>3</sup>.

Таким чином, дані, що одержані в результаті виробничих випробувань контактного деамо-

нізатора по вилученню аміаку із конденсатів вторинної пари в бурякоцукровому виробництві, підтверджують що це обладнання і технологія являються високоефективним по вилученню аміаку із конденсатів, простим і надійним в експлуатації і надасть можливість цукровим заводам позитивно вирішувати питання підготовки живильної води для дифузійного процесу, а також використовувати деамонізовані конденсати для інших технологічних потреб. ■

#### Список використаних джерел

1. Петренко В.П., Василенко С.М. Деамонізація конденсатів // Цукор України. 2010. №2. С. 38-44.
2. Рамм В.М. Абсорбция газов. Изд. Второе переработанное и дополненное. М: Химия, 1976, С. 656.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Издание восьмое переработанное. М : Химия, 1971, С. 784.
4. Унифицированные методы анализа вод. Под ред. д-ра хим.наук Ю.Ю. Лурье. Издание 2-е, исправленное, М : Химия, 1973, С. 376.
5. Звіт про науково-дослідну роботу. «Розробити і впровадити технологію та обладнання одержання з конденсатів живильної води із стерелізуючим ефектом для дифузійного процесу цукробурякового виробництва (заклучний). -Ураїнський науково-дослідний інститут цукрової промисловості (УкрНДІЦП), № держреєстрації 0195U027464, Інв. №1115, 1996, 137 с.