

## ХОЛОДИЛЬНА ТЕХНІКА ТА ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.564.27

## Системи регулювання рівня рідких кріопродуктів в дефлегматорах для збагачення неонгелієвої суміші

Є. В. Медушевський

Одеський національний технологічний університет, вул. Дворянська, 1/3, Одеса, 65082, Україна;

✉ e-mail: evgenyer19588@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6750-8763>

Враховуючи дефіцит неону та віддаленість джерел газової сировини, актуальним стає розгор-  
тання апаратів для збагачення концентрату у місцях його отримання. У статті розглянуто тех-  
нічні рішення, спрямовані на автоматизацію установок для збагачення неонгелієвої суміші шля-  
хом конденсації  $N_2$  в окремому апараті – дефлегматорі, який охолоджується рідким азотом.  
Конденсаційне збагачення потоку досягається за рахунок виділення азоту при тиску 0,6...1,2 МПа  
і температурах 68...78 К. Найпростішим регулятором рівня рідкого холодоагенту і азотного  
конденсату є клапан, механічно пов'язаний з поплавком в азотній ванні. Поплавкові клапани – єди-  
ні рухомі вузли дефлегматора. Порушення їх працездатності загрожує втратами холодоагенту,  
продукційної суміші та позаштатними ситуаціями. При виборі конструкції поплавкових регуля-  
торів слід враховувати особливості об'єкта управління та режимні параметри дефлегматора. У  
роботі наведені приклади різного виконання поплавкового клапана, кожен з яких має свої переваги  
і недоліки. Як приклад, були розглянуті поплавки з металевим герметичним корпусом. При виборі  
геометричних розмірів герметичного поплавка необхідно враховувати підйомну силу та власти-  
вості міцності, особливо для клапана в збірці конденсату. Отримано залежність допустимого  
рівня тиску і запасу плавучості від геометричних характеристик. Проведений аналіз дозволяє  
спростити вибір розмірів поплавка в інтервалі розташовуваного сортаменту сферичних днищ.  
Обґрунтовано переваги електромагнітних клапанів рівня, перехід до яких дозволяє знизити теп-  
лоприпливи, підвищити надійність, ремонтоспроможність, а також допускає можливість дис-  
танційного контролю. Показаний приклад управління автоматичними клапанами у вигляді блок-  
схеми. Показані для порівняння варіанти виконання дефлегматора з поплавковими та електроме-  
ханічними регуляторами.

**Ключові слова:** Неонгелієва суміш; Дефлегматор; Збагачення; Конденсація; Рівень рідкого кріо-  
продукту; Поплавковий клапан

doi: <https://doi.org/10.15673/ret.v58i2.2382>

© The Author(s) 2022. This article is an open access publication  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY)  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



## 1. Вступ

Концентрація змісту Ne, He, Kr і Xe в атмос-  
фері не перевищує 25 мільйонів частинок. Тому  
отримання газових концентратів рентабельно про-  
водити у великих повітророздільних установках  
(ПРУ) паралельно з виробництвом кисню й азоту.  
Величини споживання легких інертних газів – не-

ону та гелію на порядки перевищують викорис-  
тання криптону та ксенону. Тому для Ne і He проб-  
лематично використовувати вторинне застосуван-  
ня, як це практикують стосовно важких інертів (Kr  
і Xe). Єдиним джерелом неону є атмосфера. Після  
виснаження родовищ, багатих гелієм, «сонячний»  
газ також доведеться вилучати з повітря. Кисневі  
цехи металургійних підприємств, у яких розміше-

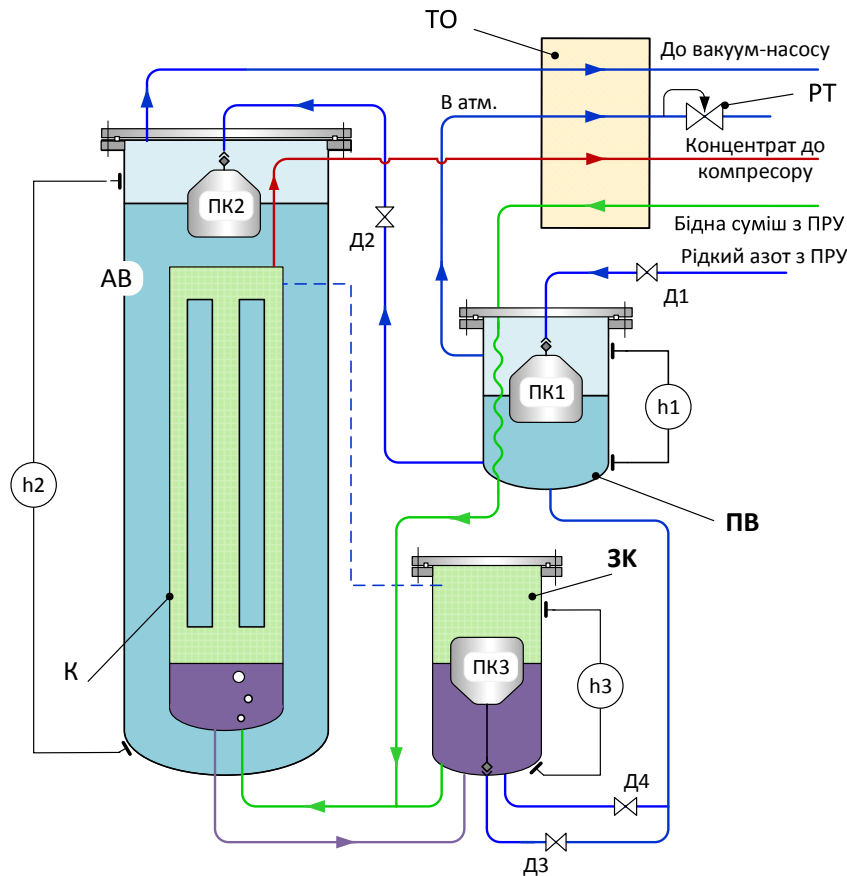
но більшість великих ПРУ, орієнтовані на забезпечення виплавки сталі. Отримання концентратів інертних газів, зокрема, неону та гелію, не є їх основною функцією. Динаміка світового споживання інертних газів випереджає введення в дію металургійних комбінатів, а значить, й ПРУ – виробників інертних газів. Резерви отримання газових концентратів практично вичерпані. З цієї причини в якості джерел сировини все частіше використовуються кисневі установки середньої продуктивності, часто не обладнані концентраторами неону та гелію. Враховуючи дефіцит неону та віддаленість джерел газової сировини, актуальним стає розгортання апаратів для збагачення концентрату у місцях його отримання, тобто безпосередньо у кисневих цехах металургійних підприємств. При цьому через відносно малу продуктивність установок для отримання первинних сумішей необхідно максимально автоматизувати і звести до мінімуму участь оператора в їх управлінні.

Залежно від типу та комплектації, в ПРУ отримують суміш на основі азоту з вмістом 3...50% (Ne + He). Подальше збагачення проводять

шляхом конденсації  $N_2$  в окремому апараті – дефлегматорі, який охолоджується рідким азотом. Для забезпечення сприятливих умов фазової рівноваги у фінішних ступенях дефлегматорів відведення тепла конденсації здійснюють за рахунок кипіння азоту під вакуумом [4-5]. Задану кількість рідкого азоту в ступенях дефлегматора підтримують за допомогою клапанів. Найбільш проблематичним є підтримання рівня в збірнику конденсату ( $N_2$ , що виділяється з потоку концентрату). У цьому випадку регулюючий клапан працює під тиском суміші, що дорівнює тиску нижньої колони ПРУ.

## 2. Регулятори рівня рідкого азоту на основі поплавкових клапанів

Схематично пристрій дефлегматора показано на рис. 1. Апарат складається з кількох вузлів: рекуперативного теплообмінника ТО; паровідокремлювача лінії холодоагента ( $N_2$ ); конденсатора К, розміщеного у ванні з киплячим азотом АВ; збірника конденсату ЗК [6].



**Рисунок 1** – Спрощена схема дефлегматора для фазового збагачення бідної неонгелієвої суміші: ПВ – паровідокремлювач; К – конденсатор; АВ – азотна ванна; ЗК – збірник конденсату ( $N_2$ ); ТО – теплообмінник; Д1, Д2 – вентилі; РТ – регулятор тиску; h1...h3 – датчики рівня рідкого азоту; ПК1...ПК3 – поплавкові клапани

Пристрій працює наступним чином. Рідкий азот відбирається з нижньої колони ПРУ, подається в якості холодоагенту під тиском 0,2...0,4 МПа. У разі протяжної магістралі за рахунок теплоприпливів  $N_2$  може частково перейти в пару. Гідродари при потраплянні паро-рідинної суміші можуть порушити роботу поплавкових клапанів. Тому газова фаза холодоагенту відбирається в паровідокремлювачі ПВ і в установку не потрапляє. Рівень рідини в ПЗ підтримується клапаном ПК1. Для зменшення тиску рідкого азоту перед клапаном ПК2 ванни АВ, в паровідокремлювачі підтримують тиск  $P_{ПВ} = 0,2$  МПа за допомогою регулятора РД. При надмірній кількості рідкого холодоагенту поплавков спливає і клапан обмежує надхо-

дження рідкого  $N_2$ . З нижньої частини паровідокремлювача рідкий азот надходить в охолоджуючу ванну АВ. Рівень рідини в АВ підтримується поплавковим клапаном ПК2.

Бідна  $N_2$ -Ne-He-суміш відбирається під кришкою конденсатора-випарника ПРУ. Її тиск відповідає рівню в нижній колоні (0,55...0,60 МПа). Потік, охолоджений в теплообміннику ТО і паровідокремлювачі, надходить у трубки конденсатора К, що омиваються киплячим холодоагентом. У міру охолодження в суміші починається конденсація азоту, який рухається в протитоці і збирається в нижній частині конденсатора К. Збагачений цільовий продукт (Ne + He) відводиться з верхньої точки К в компресор, що наповнює балони.

**Таблиця 1** – Наслідки порушення роботи поплавкових регуляторів рівня криогенних рідин (до рис. 1)

Об'єкт	Позначення	Втрата плавучості поплавка	Заклинювання клапана
Регулятор рівня у паровідокремлювачі ПВ	ПК1	Відкритий клапан. Переповнення ПВ. Перехід у ручний режим подачі $N_2$ (вентилем Д1)	Клапан закритий. Рідкий азот не надходить. Дефлегматор непрацездатний.
Регулятор рівня в азотній ванні АВ	ПК2	Відкритий клапан. Переповнення АВ. Перехід у ручний режим подачі $N_2$ (вентилем Д2)	Клапан закритий. Рідкий азот не надходить. Дефлегматор непрацездатний.
Регулятор рівня у збірнику конденсату ЗК	ПК3	Клапан закритий. Переповнення СК. Перехід у ручний режим підтримки рівня конденсату (Д3)	Відкритий клапан. Конденсат повністю скинутий у ПВ. Втрата продукту. Перехід у ручний режим підтримки рівня (Д4)

При виборі товщини стінки  $\delta$  герметичного поплавка слід враховувати два фактори – плавучість та стійкість до руйнування. Герметичний поплавок знаходиться під зовнішнім надлишковим тиском. Спочатку в процесі складання плавучий обсяг заповнений атмосферним повітрям, абсолютний тиск якого при азотних температурах падає практично до нульового рівня. При розрахунках міцності прийняті два рівні зовнішнього тиску в збірнику конденсату  $P_{СК1} = 0,6$  МПа і  $P_{СК2} = 1,2$  МПа. Перше значення відповідає роботі дефлегматора, підключеного до нижньої колони ПРУ. Другий рівень характерний для апаратів, що використовуються як додаткові каскади збагачення на централізованих підприємствах [7].

У якості прикладу, розглянуті поплавки діаметром  $d_{Ц} = 1,0 \dots 2,5$  дм та співвідношенням діаметра та висоти  $d_{Ц} : H_{П} = 1:1$  (рис. 2). Такі розміри характерні для управління клапанами у збірниках конденсату діаметром до 300 мм. При повному зануренні відповідно до Закону Архімеда максимальна виштов-

хувальна сила в середовищі рідкого азоту обчислюється формулою

$$F_{ПМАХ} = V_{ПМАХ} \cdot \rho_{N_2} \cdot g, \quad (1)$$

де  $V_{ПМАХ}$  – повний об'єм поплавка (об'єм витісненої ним рідини при  $L = H_{П}$ );  $\rho_{N_2} = 0,73$  кг/дм<sup>3</sup> – густина рідкого азоту у збірнику;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> – прискорення вільного падіння.

У свою чергу, обсяг дорівнює

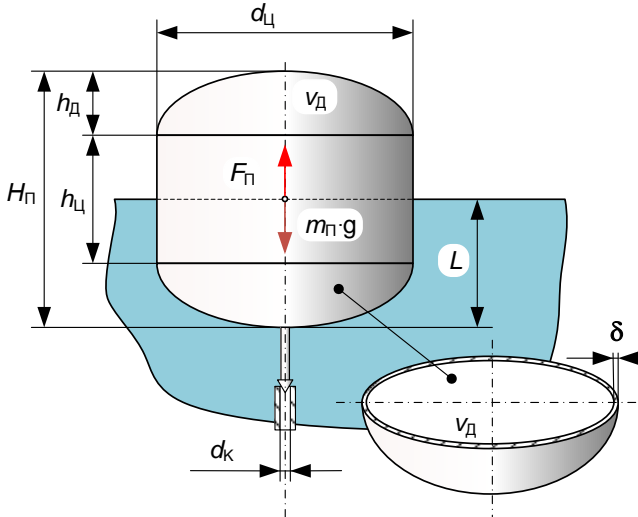
$$V_{П} = 2 \cdot v_{Д} + h_{Ц} \cdot \frac{\pi d_{Ц}^2}{4}, \quad (2)$$

де  $v_{Д}$  – об'єм одного сферичного днища;  $h_{Ц}$  та  $d_{Ц}$  – об'єм та висота циліндричної частини днища (рис. 2).

Для стійкого керування клапаном на компенсацію ваги металу ( $m_{П} \cdot g = F_{П}$ ) допустимо «витратити» тільки частину максимальної сили, що виштовхує  $F_{ПМАХ}$ . Решта плавучості  $\Delta f_{П} = (F_{ПМАХ} - F_{П})$  потрібна для забезпечення функціонального при-

значення поплавок – подолання сил тиску на клапан  $d_k$  з боку рідкого конденсату в збірнику. Тоді виштовхувальна сила поплавок, частково зануреного в рідкий азот на глибину  $L$ , дорівнює

$$F_{\Pi} = \left( v_{\text{Д}} + L \cdot \frac{\pi d_{\Pi}^2}{4} \right) \rho_{N_2} \cdot g < F_{\Pi \text{max}} \quad (3)$$



**Рисунок 2** – До розрахунку запасу плавучості поплавок з герметичним корпусом:  $L$  – глибина занурення;  $m_{\Pi}$  – маса корпусу поплавок;  $\delta$  – товщина стінки

Запас плавучості, що визначається об'ємом поплавок, що залишається над рідиною (при відсутності зовнішніх сил), повинен бути достатнім для подолання зусилля  $F_k$ , необхідного для відриву клапана від сідла діаметром  $d_k$ , (рис. 2)

$$F_k = \frac{\pi d_{\Pi}^2}{4} (P_{\text{ЗК}} - P_{\text{ПВ}}) \leq \Delta f_{\Pi} \quad (4)$$

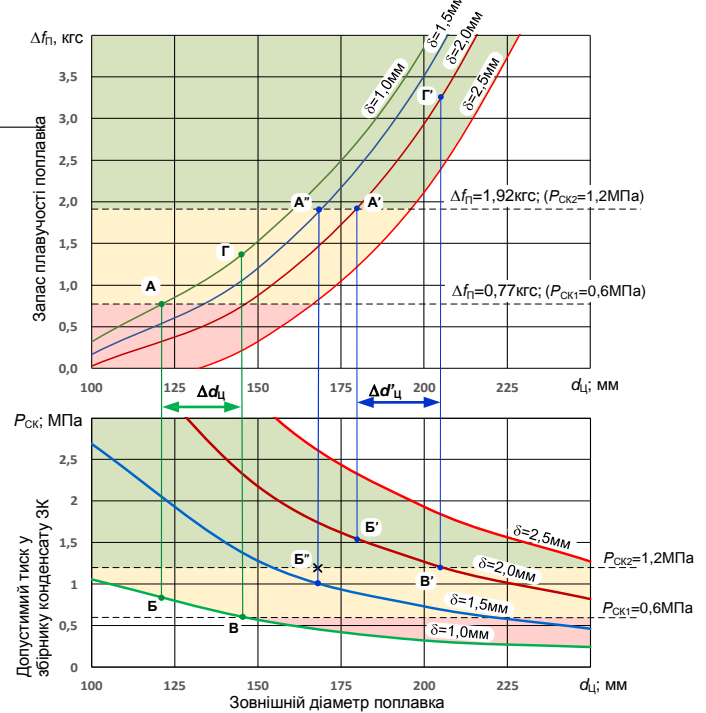
де  $(P_{\text{ЗК}} - P_{\text{ПВ}})$  – перепад тиску в клапані.

Відповідно до схеми (рис. 1) зі збірника конденсату ЗК з тиском  $P_{\text{ЗК1}} = 0,6$  МПа скидання рідини відбувається в паровідокремлювач ПВ з тиском  $P_{\text{ПВ}} = 0,02$  МПа. Таким чином, при стандартному діаметрі клапана  $d_k = 5$  мм, зусилля відриву клапана, що визначає необхідний запас плавучості  $\Delta f_{\Pi}$ , складе  $F_k = 7,9 \text{ Н} = 0,77 \text{ кг}\cdot\text{с}$ . В дефлегматорах середнього тиску, не пов'язаних з ПРУ (додатковий каскад збагачення на централізованих підприємствах),  $P_{\text{ЗК2}} = 1,2$  МПа зусилля відкриття клапана зростає до  $F_k = 19,6 \text{ Н} = 1,92 \text{ кг}\cdot\text{с}$ .

На верхньому фрагменті рис. 3 представлена залежність запасу плавучості  $\Delta f_{\Pi}$  герметичних по-

плавок для діаметрів  $d_{\Pi} = 100 \dots 250$  мм і товщини стінки корпусу  $\delta = 1 \dots 2,5$  мм. Результати розрахунку показують, що  $\Delta f_{\Pi}$  зростає зі збільшенням діаметра  $D_{\Pi}$  та зменшення товщини матеріалу  $\delta$ . Горизонтальні штрихові лінії ілюструють запас плавучості, необхідний для гарантованого відкриття клапана (рис. 2) при двох тисках у збірнику конденсату  $P_{\text{ЗК1}} = 0,6$  МПа і  $P_{\text{ЗК2}} = 1,2$  МПа.

На нижньому фрагменті рис. 3 надано графіки допустимого робочого тиску в збірнику конденсату, в якому розміщено регулятор рівня з герметичним поплавком. Тут залежність тиску від геометрії поплавок носить зворотний характер – при збільшенні діаметра  $D_{\Pi}$  і зменшенні товщини матеріалу  $\delta$  стійкість поплавок проти зовнішнього тиску  $P_{\text{ЗК}}$  падає.



**Рисунок 3** – Запас плавучості  $\Delta f_{\Pi}$  поплавоків із нержавіючої сталі та граничний зовнішній тиск на стінки поплавок  $P_{\text{ЗК}}$  у збірнику конденсату.

Отримана інформація дозволяє визначити інтервал розмірів поплавок з урахуванням його міцності при тиску  $P_{\text{ЗК}}$  і здатності при зазначеному тиску відкривати клапан  $d_k$  (рис. 2). Проаналізуємо для прикладу потенціал поплавок з товщиною стінки  $\delta = 1$  мм в якості поплавкового регулятора в дефлегматорі середнього тиску ( $P_{\text{ЗК1}} = 0,6$  МПа). Точка «А» на верхньому графіку (на перетині лінії  $\delta = 1$  мм зі штриховою лінією) показує мінімальний діаметр поплавок  $d_{\Pi} = 120$  мм. Поплавки більшого діаметра забезпечують плавучість, достатньої для відривання клапана  $\Delta f_{\Pi} = 0,77$  кг·с. Переміщуємось по вертикалі на нижній графік. Точка «Б» розташована вище за

штрихову лінію  $P_{3K1} = 0,6$  МПа, тобто поплавків здатний витримувати тиск вище необхідного ( $0,82$  МПа  $>$   $0,6$  МПа). Для прийнятих умов максимальний діаметр, обмежений міцністю, позначений точкою «В», а інтервал допустимих діаметрів дорівнює  $\Delta d_{ц} = 120 \dots 145$  мм.

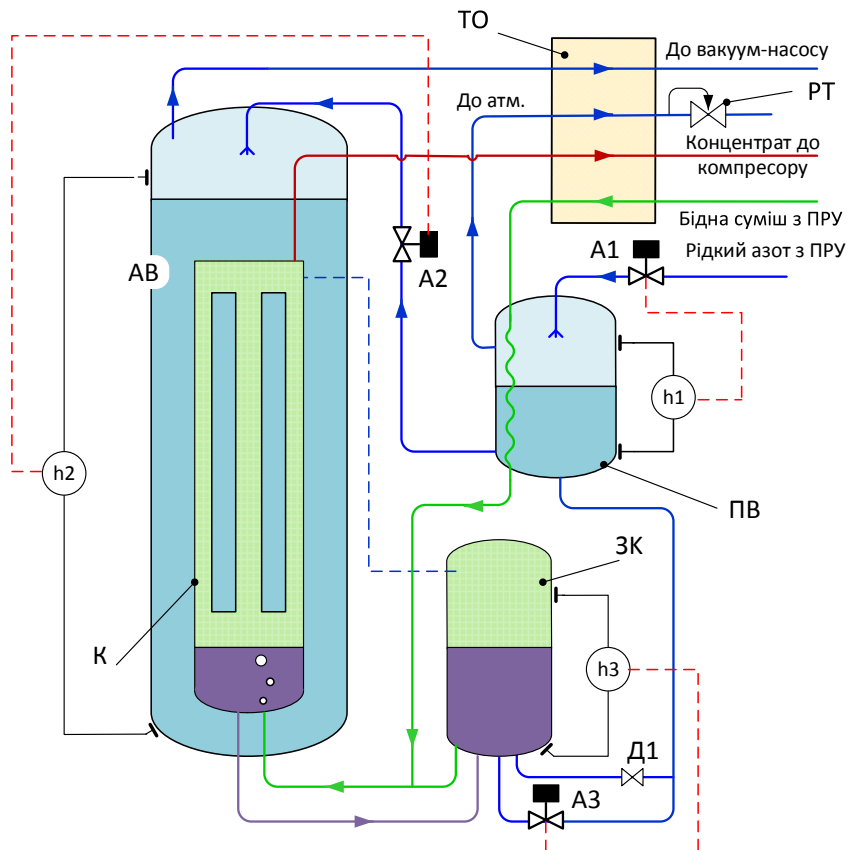
Аналогічно для поплавка з товщиною стінки  $\delta = 2$  мм у збірнику конденсату дефлегматора підвищеного тиску ( $P_{3K2} = 1,2$  МПа). Мінімальний діаметр поплавка  $d_{ц} = 180$  мм (точка «А») на верхньому графіку на перетині лінії  $\delta = 2$  мм зі штриховою лінією). Поплавки більшого діаметра забезпечують плавучість, достатню для відривання клапана  $\Delta f_{ц} = 1,92$  кг·с. Точка «Б» розташована вище штрихової лінії  $P_{3K2} = 1,2$  МПа. Значить поплавків здатний витримати тиск вище необхідного ( $1,52$  МПа  $>$   $1,2$  МПа). Максимальний діаметр, обмежений міцністю, позначений точкою «В'», а інтервал допустимих діаметрів дорівнює  $\Delta d'_{ц} = 180 \dots 205$  мм.

Третій приклад (точка «А'») показує непри-

ятність поплавків з товщиною стінки  $\delta = 1,5$  мм для дефлегматорів другого рівня тиску  $P_{3K2} = 1,2$  МПа. Дійсно, точка «Б» на нижньому графіку розташована нижче верхньої штрихової лінії та умова міцності не виконується.

### 3. Електромеханічні клапани в регуляторах рівня дефлегматорів для збагачення Ne-Ne суміші.

Незважаючи на простоту поплавкових регуляторів, вони не відрізняються достатньою надійністю. Для забезпечення стійкої роботи необхідно проводити періодичний відігрів і профілактику елементів у важкодоступних місцях. Зазначені експлуатаційні недоліки усунути в дефлегматорному блоці, в якому для підтримки рівня в апаратах використані клапани з електричним (пневматичним) приводом (рис. 4). Перевагами такого рішення є використання стандартних елементів, розміщених за межами азотних ванн у доступному місці.



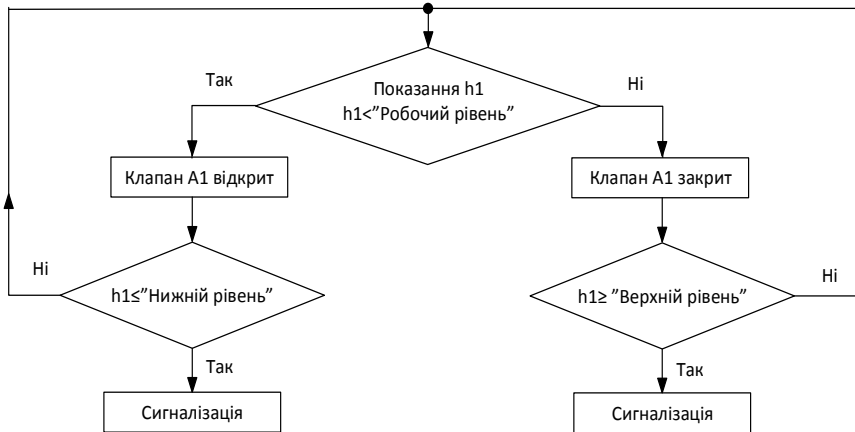
**Рисунок 4** – Спрощена схема дефлегматора для фазового збагачення неонгелієвої суміші з використанням автоматичних клапанів: ПВ – паровіддільник; К – конденсатор; АВ – азотна ванна; ЗК – збірник конденсату ( $N_2$ ); ТО – теплообмінник; Д1 – ручний вентиль; РТ – регулятор тиску;  $h1 \dots h3$  – датчики рівня рідкого азоту; А1 ... А3 – автоматичні електромагнітні клапани

Блок управління клапанами обладнаний логічним модулем, що обробляє сигнали, які надходять

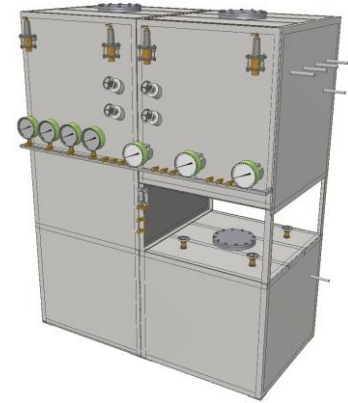
від диференційних датчиків тиску  $h_1 \dots h_3$  (пунктирні лінії на рис. 4). Логічний модуль програмується на

три рівні рідини у відповідних апаратах: «Робочий рівень», а також «Нижній» та «Верхній» рівні. Показник «Робочий» характеризує нормальний процес, є основним керуючим параметром і формує сигнали, які відкривають (закривають) клапан. Два останніх значення установлені для сигналізації про позаштатну ситуацію, яка виникає у разі несправності арма-

тури або збою в системі управління. Для оповіщення використовується світлозвукова сигналізація. Усі показання рівнів відображаються на індикаторах, установлених на панелі шафи управління. Гнучка система контролю допускає переведення установки в ручний режим для проведення тестових і профілактичних процедур.



**Рисунок 5** – Блок-схема логіки управління автоматичними клапанами (на прикладі клапана А1 у збірнику конденсату ЗК)



**Рисунок 6** – Зовнішній вигляд дефлегматорного блоку з поплавковими регуляторами

#### 4. Висновки

Дефлегматори є ефективними фазовими сепараторами, які дозволяють безперервно за рахунок конденсації знизити на порядок вміст азоту в Ne-Ne-суміші.

З метою зниження експлуатаційних витрат та для забезпечення надійної роботи актуальним стає автоматичне регулювання рівнів рідкого холодоагенту ( $N_2$ ) та азотного конденсату у ваннах дефлегматора.

При виборі конструкції поплавкових регуляторів слід враховувати особливості об'єкта управління та режимні параметри дефлегматора.

Найбільш універсальний тип поплавкового регулятора рівня – клапан з герметичною камерою зі сферичними днищами, розрахованою на тиск у робочому обсязі. Такий пристрій придатний для всіх ємностей дефлегматорів, включаючи збірники конденсату в апаратах підвищеного тиску  $P_{ЗК} = 1,0 \dots 1,2$  МПа.

Вибір геометричних розмірів герметичного поплавка – є компроміс між запасом плавучості і міцністю. Проведений розрахунковий аналіз дозволяє спростити вибір розмірів поплавка в інтервалі сортаменту сферичних днищ.

Перехід до електромагнітних клапанів підтримання рівня дозволяє забезпечити ряд експлуатацій-

них і конструктивних переваг: зниження теплопритоків, підвищення надійності, стандартизація, спрощення ремонтоспроможності, можливість дистанційного контролю.

#### Література

1. **Головко Г.А.** Установки для виробництва інертних газів. – Л.: Машинобудування, Ленінгр. відд., 1974. – 383 с.
2. **Архаров А.М, Архаров І.А., Бсляков В.П. та ін.** Кріогенні системи. Т. 2. – М.: Машинобудування, 1999. – 720 с.
3. **Бондаренко В.Л., Симоненко Ю.М., Дьяченко О.В.** Техніко-економічне обґрунтування ступеня попереднього очищення Ne-Ne-суміші // Технічні гази. – 2001. – №1; 2. – С. 20-23.
4. **Бондаренко В.Л., Симоненко Ю.М., Тишко Д.П., Пилипенко Б.О.** Методи забезпечення кріогенних температур в установках збагачення неонгелієвої суміші // Холодильна техніка та технологія. – 2018. – Т.54. – № 5. – С.77-82.
5. **Бондаренко В.Л., Базаров О.М., Вігуржинська С.Ю., Симоненко О.Ю., Дьяченко Т.В.** Комбінована установка для глибокого збагачення неонових концентрату // Технічні гази. – 2005. – № 3. – С. 25-31.
6. **Архаров А.М., Бондаренко В.Л., Симоненко Ю.М.** Збагачення Ne-Ne суміші в ступеневих дефлег-

маторах // Вісник МДТУ ім. М.Е. Баумана. Сер. Машинобудування. – 2010. – № спецвипуск. – С. 84-96.  
7. **Бондаренко В.Л., Вігуржинська С.Ю.** Оптимізація системи попереднього очищення неонгелієвої

суміш і// Холодильна техніка та технологія. – 1999. – Вип.63. – С.86-91.

Отримана в редакції 21.04.2022, прийнята до друку 16.05.2022

## Systems for level regulating of liquid cryoproducts in deflegmators for enriching the neon-helium mixture

*Evgeny Medushevsky*

Odesa National University of Technology, 1/3 Dvoryanska Str., Odesa, 65082, Ukraine;

✉ e-mail: evgenyer19588@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6750-8763>

*Taking into account the shortage of neon and the remoteness of sources of gas raw materials, the deployment of devices for the enrichment of the concentrate at the places of its receipt is becoming urgent. The article discusses technical solutions aimed at automating installations for enriching the neon-helium mixture by condensing N<sub>2</sub> in a separate device – a deflegmator cooled by liquid nitrogen. Condensation enrichment of the flow is achieved due to the release of nitrogen at a pressure of 0,6...1,2 MPa and temperatures of 68...78 K. The simplest regulator of the level of liquid refrigerant and nitrogen condensate is a valve mechanically connected to a float in a nitrogen bath. Float valves are the only moving parts of the deflegmator. Violation of their performance threatens with losses of the refrigerant, the product mix, and emergency situations. When choosing the design of float regulators, one should take into account the features of the control object and the mode parameters of the deflegmator. The work gives examples of different implementations of the float valve, each of which has its own advantages and disadvantages. As an example, floats with a metal hermetic body were considered. When choosing the geometric dimensions of the sealed float, it is necessary to consider the lifting force and strength properties, especially for the valve in the condensate collection. The dependence of the permissible pressure level and buoyancy reserve on the geometric characteristics was obtained. The conducted analysis makes it possible to simplify the selection of float sizes in the interval of the available assortment of spherical bottoms. The advantages of electromagnetic level valves are substantiated, the transition to which allows to reduce heat-adherence, increase reliability, maintainability, and also allows the possibility of remote control. An example of controlling automatic valves in the form of a block diagram is shown. Versions of the deflegmator with float and electromechanical regulators are shown for comparison.*

**Keywords:** Neon-helium mixture; Deflegmator; Enrichment; Condensation; Liquid cryoproduct level; Float valve

### References

1. **Golovko, G.A.** (1974) Installations for the production of inert gases. *L.: Mechanical Engineering, Leningrad branch*, 383.
2. **Arkharov, A.M., Arkharov, I.A., Belyakov, V.P. et al.** (1999) Cryogenic systems. Vol. 2. *M.: Mashinobuduvaniya*, 720.
3. **Bondarenko, V.L., Symonenko, Iu.M., Diachenko, O.V.** (2001) Technical and economic substantiation of the degree of preliminary purification of the Ne-He mixture. *Industrial gases, 1-2*, 20-23
4. **Bondarenko, V.L., Symonenko, Iu.M., Tyshko, D.P., Pylypenko, B.O.** (2018) Methods of ensuring cryogenic temperatures in installations for the enrichment of a neonohelium mixture. *Refrigeration engineering and technology*, 54, 5, 77-82.
5. **Bondarenko, V.L., Bazarov, O.M., Vigurzhynska, S.Yu., Simonenko, O.Yu., Dyachenko, T.V.** (2005) Combined installation for deep enrichment of neon concentrate. *Industrial gases*, 3, 25-31.
6. **Arkharov, A.M., Bondarenko, V.L., Symonenko, Iu.M.** (2010) Enrichment of the Ne-He mixture in step dephlegmators. *Bulletin of the MSTU named after M.E. Bauman. Ser. Mechanical engineering, special edition*, 84-96.
7. **Bondarenko, V.L., Vigurzhynska, S.Yu.** (1999) Optimization of the pre-cleaning system of the neon-helium mixture. *Refrigeration engineering and technology*, 63, 86-91.

Received 21 April 2022

Approved 16 May 2022

Available in Internet 30 June 2022