ЗМІСТ

Перелік умовних позначень та скорочень 3
Технічне завдання на розробку програмного забезпечення 4
Вступ 5
1 Характеристика технологічної схеми процесу виробництва аніліну 6
1.1 Шляхи отримання аніліну 6
1.1.1 Відновлення нітроз'єднань чавунною стружкою 6
1.1.2 Відновлення нітроз'єднань сірчаними лугами 6
1.1.3 Відновлення нітроз'єднань цинковим пилом 7
1.1.4 Відновлення нітроз'єднань воднем 7
1.1.5 Електрохімічне відновлення нітроз'єднань 8
1.2 Отримання аніліну гідрогенізацією нітробензену 8
1.3 Опис технологічної схеми процесу отримання аніліну гідрогенізацією нітробензену 11
2 Комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів технологічної схеми засобами програмних пакетів ChemCad 13
2.1 Мета розрахунку матеріального балансу 13
2.2 Розрахунок матеріальних балансів процесу отримання аніліну 14
3 Комп'ютерне моделювання трубчастого каталітичного реактору синтезу аніліну 16
3.1 Математичне моделювання в середовищі MathCad 16
3.2 Розрахунок реактора у власному програмному модулі 18
3.3 Інструкція користувача з використання програмного продукту 19
4 Схема автоматизації виробництва аніліну гідрогенуванням нітробензену 23
4.1 Аналіз технологічної схеми виробництва аніліну, як об'єкта автоматизації 23
4.2 Вибір технічних засобів автоматизації 25

4.3 Опис схеми автоматизації 25
4.3.1 Контроль та регулювання витрати 25
4.3.2 Контроль та регулювання температури 26
4.3.3 Контроль, регулювання та сигналізація рівня 27
4.3.4 Контроль та сигналізація тиску 27
4.3.5 Контроль та сигналізація концентрації 28
4.3.6 Контроль витрати 28
5 Економіко-організаційні розрахунки процесу виробництва аніліну 30
5.1 Теоретичні відомості для техніко-економічного обґрунтування процесу виробництва аніліну 30
5.2 Техніко – економічні показники процесу виробництва аніліну 32
5.3 Техніко – економічні показники розробки програмного забезпечення для перевірочного розрахунку реактора ..... **Помилка! Закладку не визначено.**
5.4 Техніко – економічні показники процесу виробництва аніліну з впровадженим програмним забезпеченням 38
6 Охорона праці, виробнича санітарія та техніка безпеки проведення виробничого процесу 43
6.1 Виявлення та аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів 43
6.1.1 Повітря робочої зони 43
6.1.2 Виробниче освітлення 44
6.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрацій 46
6.1.4 Електробезпека 48
6.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання 50
6.1.6 Пожежна безпека 50
Висновки 53
Перелік посилань 54
ДОДАТКИ 57

Перелік умовних позначень та скорочень

C_A – концентрація;

c_p – питима теплоємність;

d – діаметр;

F_A – мольна витрата;

H_r – тепловий ефект реакції;

r_A – швидкість реакції;

S – площа поперечного перетину;

Т – температура;

T_X – температура холодоагенту;

U – коефіцієнт теплопередачі;

X_A – ступінь перетворення;

А – амортизація;

ГДК – гранично допустима концентрація;

К – капіталовкладення;

КПО – коефіцієнт природнього освітлення;

МТБ – матеріальний баланс;

ОбЗ – оборотні засоби;

П – прибуток;

ПЗ – програмне забезпечення.

РІВ – реактор ідеального витіснення;

С – собівартість;

Ц – ціна;

Технічне завдання на розробку програмного забезпечення

Розробити програмне забезпечення для перевірки розрахунку трубчастого реактора моделі РІВ, що застосовується у технологічному процесі отримання аніліну гідрогенізацією нітробензену.

Вимоги до ПЗ:

1. Програма має бути простою у використанні;
2. Програмний код повинен бути відформатованим утилітою Prettier;
3. Проект розробити з використанням фреймворку React.js та Electron.js;
4. Результати обчислень представити у табличній та графічній формі;
5. При розрахунку обрати числовий метод Рунге-Кутта;
6. Забезпечити ПЗ довідковими вікнами з підказками користувачу;
7. За середовище розробки прийняти Visual Studio Code;
8. Проект повинен будуватися за допомогою технології WebPack.

Вихідними даними для розрахунку є:

Діаметр реактора	0,03 м
Довжина реактора	6 м
Пористість шару каталізатора	0,424
Загальна витрата нітробензолу у вхідному потоці	65,9 моль/год
Мольна витрата нітробензолу у вхідному потоці	1 моль/год
Коефіцієнт теплопередачі	8,67 Вт/(м^2 · К)
Тепловий ефект реакції	-152100 Дж/моль
Питома теплоємність водню	6,62 Дж/(моль· К)
Температура охолоджуючого агенту	400 К

Результатом комп’ютерного розрахунку є:

- Зміна температури нітробензолу за довжиною реактора;
- Зміна ступеню перетворення нітробензолу за довжиною реактора;
- Зміна концентрації нітробензолу за довжиною реактора.

Вступ

Анілін (феніламін, амінобензол,бензамін) — органічна сполука з формулою C6H5NH2, найпростіший ароматичний амін. являє собою безбарвну маслянисту рідину з характерним запахом, трохи важчу за воду й погано в ній розчинну, добре розчиняється в органічних розчинниках. На повітрі анілін швидко окислюється й набуває червоно-бурого забарвлення. Отруйний.

Головна галузь застосування аніліну — синтез барвників і лікарських засобів. Наразі переважна частина (85 %) виробленого у світі аніліну використовується для виробництва метилдіізоціанатів, що надалі застосовуються для виробництва поліуретанів. Анілін також використовується у виробництві штучних каучуків (9 %), гербіцидів (2 %) і барвників (2 %).

Отже, анілін застосовується переважно як напівпродукт у виробництві барвників, вибухових речовин і лікарських засобів (сульфаніламідні препарати), але з огляду на очікуване зростання обсягів виробництва поліуретанів можлива значна зміна картини споживачів у середньостроковій перспективі.

Метою даної дипломної роботи є дослідження процесу отримання аніліну гідрогенізацією нітробензену в трубчастому реакторі, розрахунок матеріального балансу, розробка програмного забезпечення для перевірки розрахунку трубчастого реактора, розробка схеми автоматизованого регулювання та контролю на виробництві, розрахунок та обґрунтування техніко-економічних показників, аналіз екологічної безпеки та техніки безпеки на підприємстві.

1 Характеристика технологічної схеми процесу виробництва аніліну

1.1 Шляхи отримання аніліну

Існує ряд методів промислового синтезу ароматичних амінів і діамінів. Нижче наведена коротка характеристика найбільш важливих із цих методів.[1].

1.1.1 Відновлення нітроз'єднань чавунною стружкою

Цей процес називається відновленням нітроз'єднань по Бешану. Реакція протікає в слабо кислій середі (в присутності HCl, NH4Cl та інші).

$$4ArNO_2 + 9Fe + 4H_2O \rightarrow 4ArNH_2 + 3Fe_3O_4 + Q$$

Даний метод є поки переважаючим у виробництві аніліну. Розвиток цього методу обмежений ресурсами чавунної стружки, скорочуються по мірі впровадження точного лиття у машинобудуванні і незручності які виникають при використанні відходів – залізного шламу, забрудненого амінами.

1.1.2 Відновлення нітроз'єднань сірчаними лугами

Даний процес носить назву відновлення нітроз'єднань по Зініну. При цьому протікають реакції.

$$4ArNO_2 + 6NaHS + H_2O \rightarrow 4ArNH_2 + 3Na_2S_2O_3 + Q$$

$$4ArNO_2 + 6NaS + 7H_2O \rightarrow 4ArNH_2 + 3Na_2S_2O_3 + 6NaOH + Q$$

$$ArNO_2 + Na_2S + H_2O \rightarrow ArNH_2 + Na_2S_2O_3 + Q$$

$$ArNO_2 + NaS_{(3-5)} + H_2O \rightarrow ArNH_2 + Na_2S_2O_3 + (1-3)S + Q$$

Даний метод поки найбільш широко застосовується для відновлення нітронафталіну, нітроаніліну, нітрофенолу, нітрохлорбензолу і є єдиним у виробництві амінонітроз'єднаннь із дінітроз'єднаннь. Недоліком цього методу є

необхідність виділення і очистки гіпосульфіту, збут якого обмежений.

1.1.3 Відновлення нітроз'єднань цинковим пилом

Реакція протікає в лужній середі за рівнянням:

$$2ArNO_2 + 5Zn + H_2O \rightarrow Ar - NH - NH - Ar + 5ZnO$$

Утворене гідразоз'єднання в кислій середі перегруповується в діамінопохідну дифеніла:

$$Ar - NH - NH - Ar \rightarrow H_2N - Ar - Ar - NH_2$$

Цей метод відновлення застосовується в виробництві бензидіна, толідіна та інших амінів даного класу. Недолік метода полягає в тому, що необхідно очищати відходи – окиси цинка.

1.1.4 Відновлення нітроз'єднань воднем

Процес проходить у паровій фазі, без тиску і з тиском в присутності каталізаторів:

$$ArNO_2 + 3H_2 \rightarrow ArNH_2 + 2H_2O + Q$$

Зазначений метод позбавлений недоліків, властивим першим трьом методам: відходи відсутні, всі процеси проходять в рідкій та газових фазах і легко піддаються механізації і автоматизації. Спочатку поширення цього методу обмежувалось високою вартістю водню, отриманого залізо-паровим способом або при газофікації вугілля і коксу. В наш час набагато дешевший водень виходить при електролізі води і водних розчинів солей, при крекінгу нафтових погонів, при конверсії природних газів. Гідрування різних нітроз'єднань все більше використовується у виробництві аніліну. Широке впровадження описаного методу дасть можливість повністю виключити застосування чавунної стружки, сірчаних лугів та цинку.

1.1.5 Електрохімічне відновлення нітроз'єднань

В середі водних або водно-спиртових розчинів HCl, H_2SO_4 і ароматичних сульфокислот нітроз'єднаннями можна відновити електрохімічним способом із застосуванням катодів виготовленних із Pb, Ni, Cu, Hg і графіту. В даний час цей спосіб мало розповсюджений. В зв'язку з подальшим з різким зростом виробництва електроенергії і зниженням собівартості електрохімічний метод стане перспективним. Так же як і метод відновлення нітроз'єднаннь воднем, він дозволить здійснити комплексну механізацію і автоматизацію, впровадити безперервні схеми. В умовах даного методу не залишиться відходів.

1.2 Отримання аніліну гідрогенізацією нітробензену

На даний момент метод каталітичного відновлення нітробензолу з метою отримання аніліну в промисловості є основним, оскільки відрізняється високою швидкістю, чистотою одержуваних продуктів, простотою технології, можливістю автоматизації технологічного процесу [2].

Напрямок реакції і ступінь відновлення нітросполуки часто залежать від умов процесу і природи застосовуваних каталізаторів.

Роль каталізатора в процесах каталітичного відновлення полягає в активації реагентів – відновлюваного з'єднання і молекулярного водню. При сорбції водню на активних центрах каталізатора (К) послаблюються або навіть повністю розриваються хімічні зв'язки в молекулах водню (1.1).

$$K + H_2 \rightarrow K \cdots H_2 \rightarrow K - H \cdots H \rightarrow 2K - H \qquad (1.1)$$

Нітросполуки також сорбуються на каталізаторі, але в меншому ступені. Подальша взаємодія відбувається між двома сорбованих молекулами, що знаходяться на сусідніх активних центрах. При цьому утворюється продукт гідрування, що володіє меншою сорбційною здатністю, внаслідок чого він витісняється з активних центрів каталізатора новою молекулою нітросполуки.

Активність каталізаторів, що застосовуються в реакціях гідрування нітросполук, залежить від їх хімічного складу і фізичного стану. Найчастіше застосовуються металеві каталізатори, особливо метали VIII групи періодичної системи – платина, паладій, родій, нікель, кобальт, а також сплави нікелю і хрому, нікелю та міді та ін. Показано, що активність каталізатора збільшується, якщо він містить домішки деяких речовин – забруднення або ж спеціальні добавки – так звані активатори. Велике значення має також ступінь подрібнення каталізатора. Максимальне роздроблення досягається осадженням каталітично активної речовини на так званий носій.

Роль активаторів і носіїв до теперішнього часу повністю не з'ясована. Відомо, що ті й інші викликають зміни структури поверхні каталізатора, носії, крім того, значно збільшують поверхню каталізатора. В результаті зменшується схильність каталізатора до спікання при підвищених температурах. Ймовірно, додавання активатора або носія збільшує кількість активних центрів, а також їх характер. В якості активаторів застосовуються найчастіше оксиди та гідроксиди різних металів, рідше деякі їх солі, причому для кожної пари каталізатор-активатор існує оптимальне кількісне співвідношення, при якому каталізатор має максимальну активність.

В якості носіїв застосовують різні пористі матеріали, такі, як активоване вугілля, азбест, пемза.

Спосіб приготування каталізаторів має великий вплив на їх активність і область застосування. Чутливість каталізаторів до невеликих змін умов їх отримання дуже велика, внаслідок чого навіть каталізатори, отримані, здавалося б, при однакових умовах, зазвичай виявляють різну активність.

Реакція відновлення нітросполук воднем йде за рівнянням (1.2).

$$C_6H_5NO_2 + 3H_2 \rightarrow C_6H_5NH_2 + 2H_2O \qquad (1.2)$$

Реакція, як видно з рівняння, йде зі зменшенням обсягу. Тому її проводять при порівняно низькій температурі і переважно під тиском.

Каталітичне відновлення нітробензолу проводять в паровій або рідкій фазі.

В умовах парофазного процесу нітросполука випаровується, змішується з надлишком водню і пропускається через реактор, заповнений твердим каталізатором. Процес відновлення йде на поверхні каталізатора до повного перетворення нітросполуки в амін. Реакційне тепло відводиться або надлишком водню, або висококиплячим органічним теплоносієм. Реакційні гази охолоджуються, амін конденсується, а надлишок водню повертається в цикл. Перевага методу в тому, що каталізатор не захоплюється реакційними газами.

Каталізаторами цього процесу є активні сплави нікелю, алюмінію, вольфраму, мідь, нанесена на оксид кремнію. Найбільш придатним каталізатором для відновлення нітробензолу є мідь, оскільки її дія поширюється лише на нітрогрупу, не зачіпаючи ароматичного ядра. У присутності мідного каталізатора перетворення нітробензолу в анілін починається при 230 ° С, між 300 і 400 ° С реакція проходить швидко. При надлишку водню вихід аніліну досягає 97-98%, причому в вихідному продукті містяться лише сліди азобензолу. Водень може бути замінений водяним газом (суміш CO і H_2O), при цьому монооксид вуглецю також відіграє роль відновника, перетворюючись на діоксид.

Мідь, отримана відновленням гідроксиду міді (II), більш активна як каталізатор відновлення, ніж отримана з нітрату міді (II). Мідь, нанесена на азбест, більш активна, ніж нанесена на пемзу або приготована без носія. Однак мідь, нанесена на азбест, швидше втрачає активність.

У промисловості каталізатором служить карбонат міді, нанесений у вигляді суспензії в розчині силікату натрію на пемзу і відновлений воднем. Каталізатор добре працює близько року, але за цей період двічі піддається регенерації.

1.3 Опис технологічної схеми процесу отримання аніліну гідрогенізацією нітробензену

Рисунок 1.1 – Технологічна схема процесу отримання аніліну гідруванням нітробензолу:

1 – напірний бак; 2 – газодувка; 3, 11 – розділювачі потоку;
4, 6, 10 – теплообмінники; 5, 13 – змішувачі потоку; 7 – випарник;
8 – трубчастий реактор; 9, 12, 14 – сепаратори.
I – нітробензол з аніліном після екстракції; II – водень; III – водяна пара;
IV – вода; V – конденсат; VI – анілінова вода на екстракцію нітробензолом; VII – анілін-сирець на вакуум-перегонку

Згідно технологічної схеми представленої на рисунку 1.1, нітробензол з резервуара проходить через екстрактор, в якому витягує отриманий анілін з води, що утворюється в результаті реакції, і подається в напірний бак 1, а потім в трубчастий випарник 7. Випаровування нітробензолу відбувається в тонкій плівці, нагрівання здійснюється гарячим воднем, що нагнітається газодувкою 2 і надходить до теплообмінників 4 і 6 через дільник потоків 3, звідки виходить надлишок водню. Свіжий водень подається і змішується із основним потоком за допомогою змішувача 5. На 6000 м^3 водню за годину у суміші міститься 500-600 кг нітробензолу. Пари нітробензолу змішуються з воднем і поступають до трубчастого реактору 8, що містить каталізатор. В якості каталізатора найчастіше використовують мідь на носіях, оскільки при використанні цього каталізатора не йде гідрування ароматичного кільця. Температура суміші на вході до апарату становить 170 °С, на виході доходить до 350-370 °С. Тиск у реакторі підтримується у межах 0,15-0,20 МПа [3].

З реактору контактні гази проходять через теплообмінник 4, нагріваючи водень, а потім надходять до сепаратора 9, де розділяються пари аніліну і води. Для повного уловлювання аніліну гази проходять через теплообмінник 10 з розвиненою охолоджуючою поверхнею, а потім через дільник потоків 11 надходять до сепаратору 12. Надлишок водню повертається в цикл, а конденсат з сепараторів поступає до змішувача 13 та надходить до сепаратора 14, з якого анілінова вода

надходить на екстракцію нітробензолом, а анілін-сирець подається на вакуум-перегонку. Вихід аніліну становить 97-98% від теоретичного.

По мірі втрати активності каталізатора температура газів на вході до реактора повинна підвищуватися до 280 °С, причому продуктивність установки знижується. Каталізатор регенерують 4-5 разів за час роботи (регенерацію проводять в струмі повітря з подальшим відновленням оксиду міді воднем). Після проходження через реактори 4000 т нітробензолу каталізатор підлягає заміні. Витрата міді - 1 кг на 1000 кг аніліну.

При описаному методі відновлення нітробензолу для регулювання температури в трубчастому реакторі застосовується великий надлишок водню, що повертається в процес після відділення продуктів реакції. При цьому у багато разів збільшується обсяг контактних газів, що виходять з апарату, і зменшується концентрація в них аніліну. Великий обсяг газів викликає необхідність використання громіздких апаратів на всіх стадіях процесу і великих поверхонь теплообміну.

Парофазне каталітичне відновлення нітробензолу є основним методом отримання аніліну в усьому світі. При порівнянні техніко-економічних показників виробництва аніліну цим методом і безперервним методом відновлення нітробензолу чавунними стружками в середовищі електроліту було встановлено, що метод парофазного каталітичного відновлення більш економічний: витрати на 1 т готової продукції зменшуються приблизно на 15%, зменшується також витрата енергії [4]. Основною статтею витрат в обох методах є витрати на сировину; для поліпшення техніко-економічних показників необхідно в першу чергу зниження цих витрат. Використання більш селективних каталізаторів, зменшення втрат на кожній стадії процесу, зменшення осмолення аніліну призводять до підвищення виходу аніліну.

2 Комп’ютерний розрахунок матеріальних балансів технологічної схеми засобами програмних пакетів ChemCad

2.1 Мета розрахунку матеріального балансу

Метою функціонування будь – якої виробничої системи є отримання продуктів в необхідній кількості і необхідної якості при оптимальному використанні ресурсів. Для розв’язання цих задач використовують різні методи, в основі яких лежить матеріальний баланс, який зв’язує витрату сировини з кількістю отримуваного продукту [5].

Комп’ютерний розрахунок матеріальних балансів знаходження параметрів стану потоків технологічної схеми: загальних і по компонентних витрат, складів потоків, температур і ентальпій, аналіз можливості рішення задачі розрахунку МТБ технологічної схеми, розрахунок параметрів потоків технологічної схеми, визначення та розрахунок витратних коефіцієнтів з сировини, напівпродуктів, допоміжних матеріалів та енергетичних носіїв.

На стадії проектування комп’ютерний розрахунок МТБ дозволяє визначити кількісні характеристики функціонування системи: матеріальні і теплові навантаження, продуктивність елементів системи, масові витрати стічних вод і викидів шкідливих газів в атмосферу, масові витрати гріючої пари і охолоджуючої води, кількості теплоти й електроенергії. МТБ і продуктивність апаратів схеми є вихідною інформацією для технологічного і конструкційного розрахунку елементів хіміко-технологічної системи.

В даному дипломному проекті виконується розрахунок лише матеріального балансу системи, оскільки розрахунок теплового балансу не передбачається завданням на проектування.

2.2 Розрахунок матеріальних балансів процесу отримання аніліну

Вихідні дані до розрахунку матеріального балансу:

Комп'ютерний розрахунок матеріальних балансів було виконано за допомогою середовища ChemCad 7.1.5, результати наведені у додатку А. Змодельована схема представлена на рисунку 2.1.

При складанні матеріального балансу враховуємо лише масообмінні апарати, матеріальні баланси яких наведені в таблицях 2.2 – 2.20.

Рисунок 2.1 – Схема змодельована у середовищі ChemCad:
1 – напірний бак; 2 – випарник; 3,4,9 – теплообмінник; 5,10 – дільник потоків; 6 – реактор; 7,8,11 – сепаратор; 12,13 – змішувач потоків;
14 – газодувка

Таблиця 2.1 – Перелік обладнання у середовищі ChemCad

Таблиця 2.2 – Матеріальний баланс випарника 2

Таблиця 2.3 – Зведений матеріальний баланс випарника 2

Таблиця 2.4 – Матеріальний баланс дільника 5

Таблиця 2.5 – Зведений матеріальний баланс дільника 5

Таблиця 2.6 – Матеріальний баланс реактора 6

Таблиця 2.7 – Зведений матеріальний баланс реактора 6

Таблиця 2.8 – Матеріальний баланс сепаратора 7

Таблиця 2.9 – Зведений матеріальний баланс сепаратора 7

Таблиця 2.10 – Матеріальний баланс сепаратора 8
Таблиця 2.11 – Зведений матеріальний баланс сепаратора 8

Таблиця 2.12 – Матеріальний баланс дільника 10

Таблиця 2.13 – Зведений матеріальний баланс дільника 10

Таблиця 2.14 – Матеріальний баланс сепаратора 11
Таблиця 2.15 – Зведений матеріальний баланс сепаратора 11

Таблиця 2.16 – Матеріальний баланс змішувача 12

Таблиця 2.17 – Зведений матеріальний баланс змішувача 12

Таблиця 2.18 – Матеріальний баланс змішувача 13
Таблиця 2.19 – Зведений матеріальний баланс змішувача 13

Матеріальний баланс схеми за вхідними потоками 1 і 7 та вихідними потоками 19, 20 і 21 наведений у таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 – Загальний матеріальний баланс схеми

Як видно з таблиці 2.20 матеріальний баланс вхідних та вихідних потоків процесу отримання аніліну гідруванням нітробензолу, розрахованих у спеціалізованому середовищі ChemCad 7.1.5, повністю співпадає, тобто розрахунок проведений вірно.

3 Комп'ютерне моделювання трубчастого каталітичного реактору синтезу аніліну

3.1 Математичне моделювання в середовищі MathCad

Трубчастий реактор є основним технологічним апаратом, у якому відбуваються реакція утворення аніліну(3.1):

$$C_6H_5NO_2 + 3H_2 \rightarrow C_6H_5NH_2 + 2H_2O \quad (3.1)$$

тому доцільним буде проведення розрахунку саме реактора.

Значну кількість аніліну, що випускається у світі, отримують саме каталітичним відновленням нітробензолу у газовій фазі. Процес синтезу є дуже екзотермічним, тобто характеризується значним виділення енергії, тому його проводять зі значним надлишком водню, який виступає одночасно як реагентом, так і холодоагентом у даній реакції [6].

Математичне моделювання трубчастого реактора отримання аніліну проводиться з урахуванням наступних допущень:

- гідродинамічний режим в апараті – ідеальне витіснення;
- реакційна маса рухається уздовж осі потоку, витісняючи наступні шари;
- реакція відбувається на стаціонарному шарі каталізатора.

Основу математичної моделі складають відомості щодо кінетики процесу[7].

Процес хімічного перетворення нітробензолу до аніліну протікає у трубчастому реакторі в присутності каталізатора (пористість шару каталізатора ε = 0,424) при температурі 450 К та атмосферному тиску. Рівняння математичного опису має наступний вигляд (3.2) [8]:

$$\begin{cases} \frac{dT}{dl} = \frac{S}{F_0 \cdot c_p} H_r \cdot r_A - \frac{U \cdot \pi \cdot d}{F_0 \cdot c_p}(T - T_x) \\ \frac{dX_A}{dl} = -\frac{S}{F_{A_0}} r_A \\ \frac{dTx}{dl} = \frac{U \cdot \pi \cdot d}{F_0 \cdot c_p}(T - T_x) \end{cases} \quad (3.2)$$

Граничні умови: на вході до реактора при $l = 0, T = T_{\text{вх}}, x_A = 0$

Приймемо наступні позначення (3.3 – 3.5):

$$X_A = \frac{F_{A_0} - F_A}{F_{A_0}} \quad (3.3)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad (3.4)$$

$$C_A = (1 - X_A) \frac{F_{A_0}}{F_0} \frac{P}{R \cdot T} \quad (3.5)$$

де F_0, F_{A_0}, F_A – загальна, мольна та поточна витрата нітробензолу у вхідному потоці відповідно, моль/год; S – площа поперечного перетину, м^2; d – діаметр реактора, м; C_A – концентрація нітробензолу, моль/м^3; U – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м^2×К); T, T_x – температура в реакторі та охолоджуючого агенту відповідно, К; H_r – тепловий ефект реакції, Дж/моль; c_p – питома теплоємність суміші, Дж/(моль×К).

Швидкість реакції визначається за формулою (3.6):

$$r_A = -5{,}79 \cdot 10^4 \cdot {C_A}^{0{,}578} \cdot \exp\left(\frac{-2958}{T}\right) \quad (3.6)$$

Введемо рівняння (3.5) та (3.6) до системи (3.2):

$$\begin{cases} \frac{dT}{dl} = -s \frac{H_r}{F_0 \cdot c_p} \cdot k_0 \cdot \exp\left(\frac{-E}{T}\right) \cdot \left((1 - X_A) \cdot \frac{F_{A0}}{F_0} \cdot \frac{P}{R \cdot T}\right)^{0{,}578} - \frac{U \cdot \pi \cdot d}{F_0 \cdot c_p}(T - T_x) \\ \frac{dX_A}{dl} = \frac{S}{F_{A_0}} \cdot k_0 \cdot \exp\left(\frac{-E}{T}\right) \cdot \left((1 - X_A) \cdot \frac{F_{A0}}{F_0} \cdot \frac{P}{R \cdot T}\right)^{0{,}578} \\ \frac{dTx}{dl} = \frac{U \cdot \pi \cdot d}{F_0 \cdot c_p}(T - T_x) \end{cases} \quad (3.7)$$

У якості програми для розв’язку системи диференціальних рівнянь (3.7) було обрано середовище MathCAD 15.

Часто на практиці класичні методи розв’язання диференціальних рівнянь призводять до складних розв’язків або взагалі незастосовні (коефіцієнти або функції у диференціальному рівнянні містять істотні нелінійності або задані у вигляді таблиць експериментальних даних). Тому великого значення набувають числові методи наближеного інтегрування [9].

Результатом розрахунку є: графіки залежності зміни температури нітробензолу та холодоагенту за довжиною реактора, зміна ступеню перетворення за довжиною реактора та зміна концентрації нітробензолу за довжиною реактора які були отримані за допомогою числового методу Рунге-Кутта, додаток Б.

3.2 Розрахунок реактора у власному програмному модулі

Відповідно до математичної моделі реактору було розроблено алгоритм програмного модуля, який наведено у додатку В. Програмний код основних обчислювальних процедур модуля, розробленого в середовищі Visual Studio Code, наведено у додатку Г.

Структура проекту складається з таких додатків:

- Директорія build яка створюється утилітою Webpack;
- Директорія dist яка створюється фреймворком Electron.js;
- Директорія node_modules яка містить в собі всі підключені бібліотеки;
- Директорія public в яку заносяться усі медіа елементи;
- Директорія src яка містить в собі основні скрипти та компоненти;
- Системні файли які необхідні для створення програми.

Призначення основних елементів програмного модуля записано у файлі App.js та наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні компоненти файлу App.js

Продовження таблиці 3.1

Програма також не можлива без файлів, які наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні файли програми

Продовження таблиці 3.2

У даному розділі було наведено характеристику основних елементів, що входять до складу програми, її структуру та призначення процедур проекту. Даний програмний модуль можна застосовувати для перевірочного розрахунку будь-якого адіабатичного трубчастого реактора ідеального витіснення, що працює у неперервному режимі, для якого відомі конструктивні параметри та фізико-хімічні властивості процесу.

3.3 Інструкція користувача з використання програмного продукту

Розроблений програмний модуль призначений для перевірочного розрахунку адіабатичного трубчастого реактора ідеального витіснення, що працює у неперервному режимі, для якого відомі конструктивні параметри та фізико-хімічні властивості процесу.

Після запуску відкривається вікно програми, інтерфейс якого наведений на рисунку 3.1. Початкова вкладка містить поля для введення вихідних даних, а саме діаметр та довжину реактора, пористість шару каталізатора, загальну та мольну витрату нітробензолу у вхідному потоці, коефіцієнт теплопередачі, тепловий ефект

реакції, питому теплоємність водню, температуру охолоджуючого агенту та крок інтегрування методом Рунге-Кутта.

На вкладках “Виведення табличних даних” та “Графічне відтворення даних” буде виведено вікно з повідомленням “Немає розрахунків” рисунок 3.2.

На вкладці “Про програму”, рисунок 3.3, можна знайти відомості про продукт, його призначення та інформацію про розробника.

Для проведення розрахунків слід ввести вихідні дані до відповідних полів та натиснути кнопку “Розрахунок”, після чого вкладки з розрахунковими значеннями стають активними (рисунок 3.4), де відображаються наступні параметри:

- довжина реактора, м;
- температура нітробензолу, К;
- температура холодоагенту, К;
- ступінь перетворення нітробензолу;
- концентрація нітробензолу, кмоль/м^3.

Після чого стає доступною вкладка з графіками (рисунки 3.5 - 3.7). Для відтворення необхідних графіків слід натиснути на відповідні назви та автоматично будуть перебудовуватися графіки.

Рисунок 3.1 – Вкладка введення даних

Рисунок 3.2 – Вкладка виведення табличних даних

Рисунок 3.3 – Вкладка з відомостями про програму

Рисунок 3.4 – Вкладка з розрахунковими значеннями

Рисунок 3.5 – Графік зміни температури нітробензолу та холодоагенту за довжиною реактора

Рисунок 3.6 – Графік зміни концентрації нітробензолу за довжиною реактора

Рисунок 3.7 – Графік зміни ступеню перетворення нітробензолу за довжиною реактора

Користувачу може знадобитися інструкції щодо використання даного продукту, тому для цього на кожній вкладці є підказка щодо введення та використання, приклад наведений на рисунку 3.8.

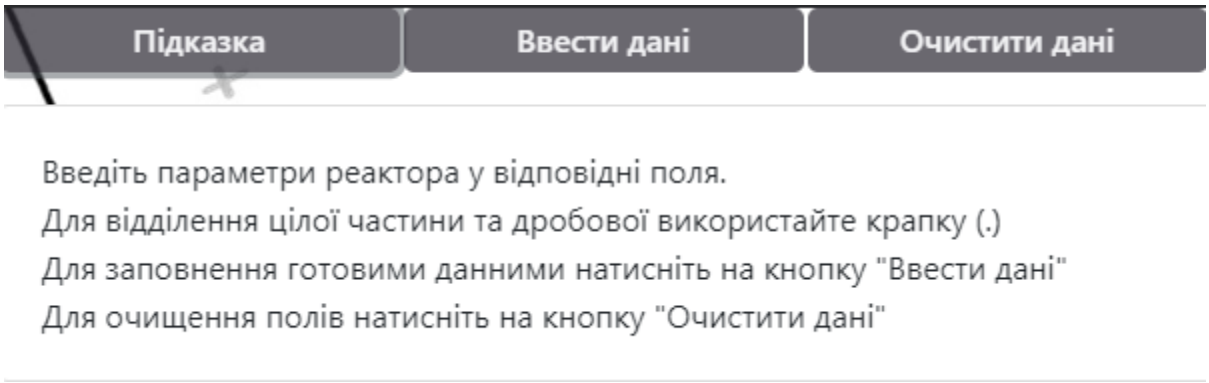

Рисунок 3.8 – Вкладка для підказок користувачу

Отже, за результатами розроблено програмного модуля було визначено ряд параметрів, серед яких ступінь перетворення нітробензолу становить 97%, що збігається з матеріальним балансом та свідчить про правильність розрахунків.

Провівши дослідження процесу перетворення нітробензолу до аніліну можна зробити висновок:

- зі збільшенням ступеню перетворення зростає температура нітробензолу у трубчастому реакторі;
- концентрація нітробензолу зменшується зі збільшенням ступеню перетворення.

Результати роботи програмного модуля для перевірочного розрахунку трубчастого реактора були порівняні з результатами отриманими у середовищі MathCad та було встановлено, що результати ідентичні, з похибкою в межах 1%, що є допустимим.

4 Схема автоматизації виробництва аніліну гідрогенуванням нітробензену

Автоматизація виробництва – один із найважливіших напрямків науково-технічного прогресу, розвиток якого має об’єктивний характер. Це пов’язане насамперед з тим, що завдяки автоматизації вирішуються задачі підвищення продуктивності виробництва і покращення умов праці. Складність і висока швидкість протікання технологічних процесів у хімічній промисловості, їх чутливість до порушень режиму, а також підвищені вибухо- та пожежонебезпечність і шкідливість умов роботи спричинюють підвищену увагу до питань автоматизації хіміко- технологічних процесів. Автоматичні контроль та керування технологічними процесами забезпечують високу якість продукції, раціональне використання сировини та енергії, подовження термінів міжремонтного пробігу устаткування, зменшення чисельності технічного персоналу.

Впровадження спеціальних автоматичних пристроїв сприяє безаварійній роботі устаткування, виключає випадки травматизму, попереджає забруднення атмосферного повітря промисловими викидами.

4.1 Аналіз технологічної схеми виробництва аніліну, як об’єкта автоматизації

Метою технологічного процесу виробництва аніліну гідрогенізацією нітробензену, є отримання певної кількості і певної концентрації аніліну.

Основним апаратом є трубчастий реактор. Оскільки в умовах парофазного процесу нітросполука випаровується, змішується з надлишком водню і пропускається через реактор, заповнений твердим каталізатором. Процес відновлення йде на поверхні каталізатора до повного перетворення нітросполуки в амін. Отже в ньому необхідно здійснювати контроль та регулювання процесу перетворення нітробензолу до аніліну.

Аналіз технологічної схеми показав, що для забезпечення необхідного

виходу кінцевого продукту та протікання процесу за технічним регламентом необхідно регулювати та контролювати наступні параметри: витрати у трубопроводі подачі нітробензолу; витрати у трубопроводі подачі водню; температуру водню у трубопроводі на виході з теплообміннику; температуру газової суміші на виході з випарника; температуру газорідинної суміші на виході з трубчастого реактора; температуру газорідинної суміші у трубопроводі на виході з теплообміннику; рівень нітробензолу у напірному баку.

Крім контролю та регулювання є параметри, про значення яких необхідно сигналізувати. До них належать режимні параметри, які можуть спричинити аварійну ситуацію: перепади тиску у трубчастому реакторі; концентрація аніліну на виході з сепаратора; концентрації нітробензолу, аніліну та водню в приміщенні, оскільки перевищення ГДК нітробензолу чи аніліну може спричинити отруєння, а водню – призвести до вибуху, тому концентрації даних компонентів потрібно контролювати та у разі перевищення ГДК видавати звуковий і світловий сигнал.

На підставі аналізу технологічної схеми було визначено необхідний рівень автоматизації виробництва, обрано об’єкти автоматизації, обрано регульовані і регулюючі параметри, визначено параметри контролю, регулювання та сигналізації. Для обраних параметрів було визначено необхідну точність вимірювання і регулювання (норми технологічного режиму) та діапазони їх можливої зміни. Всі дані представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Об’єкти регулювання та контролю технологічного процесу

продовження таблиці 4.1

Продовження таблиці 4.1

На основі даних, наведених в таблиці 4.1, розроблена схема автоматизації процесу отримання аніліну (рисунок. 4.1) включає в себе вісім контурів контролю та регулювання, шість контурів контролю та сигналізації, два контури контролю, регулювання та сигналізації, п’ять контурів контролю.

Рисунок 4.1 – Схема автоматизації виробництва аніліну

4.2 Вибір технічних засобів автоматизації

Засоби автоматизації підбирають, враховуючи особливості технологічного режиму. При цьому слід дотримуватися наступних правил:

- для регулювання однакових параметрів технологічного процесу
- застосовуємо однотипні засоби автоматизації;
- клас точності приладів повинен відповідати технологічним вимогам;
- діапазон вимірювання приладів повинен відповідати діапазону;
- технологічних параметрів, що регулюються.

Специфікація до обраних засобів із каталогів [10-15] наведена у додатку Д.

4.3 Опис схеми автоматизації

4.3.1 Контроль та регулювання витрати

Для контролю та регулювання витрати використовується звужуючий пристрій – діафрагма (поз. 1-1, поз. 3-1 та поз. 15-1), виготовлена зі сталі марки 12Х18Н10Т, а саме:

- в контурі 1 – діафрагма камерна ДКС 0,6-50 з діаметром умовного проходу 50 мм;
- в контурі 3 – діафрагма камерна ДКС 0,6-100 з діаметром умовного проходу 100 мм;

- в контурі 15 – діафрагма камерна ДКС 0,6-50 з діаметром умовного проходу 50 мм.

З витратоміра сигнал поступає на дифманометр мембранний без шкальний (поз. 1-2, поз. 3-2 та поз 15-2), який є вхідним сигналом на прилад контролю та регулювання – електричний ПІД-регулятор марки МТМ 620 (поз. 1-3, поз. 3-3 та поз. 15-3), після чого сигнал подається на виконавчий механізм МЕО-40/10 (поз. 1-4, поз. 3-4 та поз. 15-4), у результаті чого змінюються витрати нітробензолу на виході з напірного баку та водню на вході до змішувача відповідно.

4.3.2 Контроль та регулювання температури

В якості вимірювальних приладів температури було обрано термоелектричні перетворювачі опору марки ТНН-1199 (поз. 2-1, 4-1, 5-1, 7-1 та 8-1) з діапазоном вимірювання температури від -40 до 800˚С, з номінальною температурою 600 ˚С що призначенні для вимірювання температури у рідкому, газоподібному середовищі та твердих тілах. Далі сигнал подається на електричний ПІД-регулятор марки МТМ 620 (поз. 2-2, 4-2, 5-2, 7-2 та 8-2), який видає регулюючий вплив на виконавчий механізм марки МЕО-40/10 (поз. 2-3, 4-3, 5-3, 7-3 та 8-3), який:

- у контурі 2: змінює подачу гріючої газорідинної суміші, тим самим знижуючи або підвищуючи температуру водню на виході з кожухотрубчастого теплообмінника;
- у контурі 4: змінює подачу гріючої водяної пари, тим самим знижуючи або підвищуючи температуру водню на виході з теплообмінника;
- у контурі 5: змінює подачу водню, тим самим знижуючи або підвищуючи температуру газової суміші на виході з випарника; у контурі 7: змінює подачу газової суміші, тим самим знижуючи або підвищуючи температуру газорідинної суміші на виході з трубчастого реактора;

- у контурі 8: змінює подачу води, тим самим знижуючи або підвищуючи температуру газорідинної суміші на виході з теплообмінника.

4.3.3 Контроль, регулювання та сигналізація рівня

Для контролю та сигналізації рівня в напірному баку передбачено контур 13, в якому розташовано електронний регулятор-сигналізатор рівня рідини марки ЕРСУ-3-1 (поз. 13-1 та поз. 13-2). Даний прилад призначений для сигналізації та підтримки в заданих межах рівня рідини. Якщо рівень рідини в баку перевищує задане значення прилад подає сигнал на сигнальну лампу типу ЛС-47 (поз. HL2), а також на самому приладі встановлені світлові індикатори, що сигналізують про рівень рідини в ємності.

Вмикання живлення електромотора М1 газодувки виконується при допомозі нормально розімкнутого контакту кнопки «ПУСК» (поз. SB2). При натисканні даної кнопки подається струм на електромагніт магнітного пускача МП1 і виникає замикання контактів пускача, через які подається силове живлення на електромотор М1. Також при натисканні кнопки SB2 вмикається сигнальна лампочка HL4 зеленого кольору, яка вказує на подачу живлення до електромотору М1. Вимикання живлення електромотора М1 виконується при допомозі нормально замкненого контакту кнопки «СТОП» (поз. SB1). При натисканні даної кнопки роз’єднується ланцюг для струму на електромагніт магнітного пускача МП1 і виникає розмикання контактів пускача, через які подавалось силове живлення на електромотор М1. Також при натисканні кнопки SB1 вмикається лампочка HL3 червоного кольору, яка вказує на виключення живлення мотора.

4.3.4 Контроль та сигналізація тиску

Оскільки трубчастий реактор працює під високим тиском для нього розроблений контур контролю та контур сигналізації тиску. У якості

вимірювального приладу обрано перетворювач різниці тисків марки КВАНТ (поз. 6 -1) з робочим діапазоном тиску від 0 до 4 МПа, у якості приладу контролю обрано вимірювальний перетворювач тиску серії КВАНТ(поз. 6-2). Сигнал подається з перетворювача на індикатор технологічний мікропроцесорний марки ІТМ-20У (поз. 6-3), а далі на виконавчий пристрій (поз. 6-4), також з вторинного приладу сигнал поступає на лампу типу ЛС-47 (поз. HL1), які сигналізують про поточне значення тиску у реакторі

4.3.5 Контроль та сигналізація концентрації

На виході кінцевий продукт має бути заданої концентрації, для цього передбачений контур 9. Для сигналізації було застосовано стаціонарний комплект концентратоміра марки КАЦ-021МС (поз. 9-1, 9-2 та 9-3), до складу якого входять: занурюваний датчик довжиною 2 м, вторинний перетворювач та пульт. Для сигналізації про перевищення ГДК шкідливих речовин в приміщенні (нітробензолу та аніліну), а також вибухонебезпечного водню, розроблено контури автоматизації 10, 11 та 12 відповідно, до який входять три стаціонарних комплекти сигналізатора-газоаналізатора газів марки Дозор-С (поз. 10-1, 10-2, 11-1, 11-2, 12-1, 12-2), що складається з датчику, розташованих на стелі або стіні цеху синтезу аніліну та пульту, розташованого на щиті керування.

Датчик через кожні 2 секунди передає сигнал на канал (кожен датчик має окремий канал вимірювання) і в разі, якщо значення перевищує допустиме прилад видає світловий та звуковий сигнали.

4.3.6 Контроль витрати

Для контролю витрати використовується звужуючий пристрій – діафрагма (поз. 14-1, 16-1, 17-1, 18-1, 19-1), виготовлена зі сталі марки 12Х18Н10Т, а саме: в контурах 14, 16, 17, 18, 19 встановлена діафрагма камерна ДКС 0,6-50 з діаметром умовного проходу 50 мм.

Технічні засоби використовуються для формування стандартного сигналу відповідно до значення контрольованого параметру, який можна передавати на відстань до пульту керування. Відповідно в операторському приміщенні знаходиться технологічний персонал який веде спостереження за технологічним процесом і за роботою технічних засобів контролю і регулювання.

Розроблена схема автоматизації забезпечує контроль та регулювання технологічним процесом виробництва аніліну гідрогенізацією нітробензолу.

5 Економіко-організаційні розрахунки процесу виробництва аніліну

Процес синтезу органічних речовин є досить поширеним у хімічній технології багатьох виробництв. У даному дипломному проекті розглядається підприємство, що спеціалізується на виробництві аніліну гідруванням нітробензолу.

Основним виробником аніліну на сьогоднішній в Україні є ТОВ “Рубіжне барвник” (м. Рубіжне, Луганська обл.), яке здебільшого зосереджене на випуску синтетичних барвників.

Метою проведення економіко – організаційного обґрунтування процесу синтезу аніліну є розрахунок його основних техніко – економічних показників, за якими можна буде зробити висновки щодо доцільності існування підприємства, що займається виготовленням даної продукції.

5.1 Теоретичні відомості для техніко-економічного обґрунтування процесу виробництва аніліну

Метою діяльності будь-якого підприємства є задоволення потреб споживачів у товарах і послугах (у даному проекті продукцією виступає анілін-сирець), і як наслідок отримання максимального прибутку.

Одним з найважливіших показників діяльності підприємства є собівартість продукції, яка комплексно характеризує ступінь використання усіх ресурсів, рівень технічного розвитку виробництва, досконаліть системи управління та значною мірою визначає кінцеві результати діяльності підприємства – прибуток і рентабельність [16].

Собівартість – це всі витрати на виробництво і реалізацію товару (послуги або виконання роботи) в грошовому вигляді. Розраховується за наступною формулою (5.1):

$$С = A + Об З \quad (5.1)$$

де А – амортизація основних засобів, ОбЗ – оборотні засоби.

Амортизація – це економічний процес, що кількісно відображає втрату основними засобами своєї вартості, яка амортизується, та її систематичний розподіл (перенесення) на заново створений продукт (виконану роботу, надану послугу) протягом періоду їх корисного використання (5.2).

$$A = \frac{\Phi_{\text{пп}} + \text{К} - \Phi_{\text{ліквід}} + \text{Р}}{\text{Т}_{\text{експлуат}}} \quad (5.2)$$

де К – витрати на капремонт за час $\text{Т}_{\text{есплуат}}$ – термін експлуатації; Р – вартість ліквідації ОЗ.

Норма амортизації – це відсоток амортизаційних відрахувань від балансової вартості основних засобів.

Оборотні засоби – це засоби, що перебувають у розпорядженні підприємства і можуть бути переведені в готівку протягом одного виробничого циклу або року. Оборотні засоби включають запаси матеріалів, залишки готової продукції, дрібне знаряддя з тривалістю використання не меншою 1 року, а також готівку; грошові засоби, вкладені у виробничі оборотні й обігові фонди.

Також до основних техніко – економічних показників належать:

- випуск продукції;
- фондовіддача ОЗ — це відношення обсягу виробленої продукції підприємства до середньорічної вартості ОЗ, що показує, який обсяг виробленої продукції припадає на 1 грн... вартості ОЗ, рівняння (5.3):

$$\Phi_{\text{в}} = \frac{\text{В}}{\text{С}_{\text{сер}}} \quad (5.3)$$

де В - запланований випуск продукції за певний період; $\text{С}_{\text{сер}}$ – середньорічна вартість ОЗ;

- фондоємність ОЗ — це показник, обернений до фондовіддачі. Він показує, яка вартість ОЗ припадає на 1 грн. виробленої продукції, тобто:

$$\Phi_{\text{є}} = \frac{1}{\Phi_{\text{в}}} \quad (5.4)$$

- капіталовкладення (5.5):

$$К = ОЗ + ОбЗ \quad (5.5)$$

- собівартість продукції (5.6):

$$С = А + З_{сир} + ФОП + З_{е/е} \quad (5.6)$$

де А - амортизаційні відрахування; $З_{сир}$ – затрати на сировину; $З_{е/е}$ – затрати на електроенергію; ФОП - фонд оплати праці, обчислюється за (5.7):

$$ФОП = ЗП + Нарахування \quad (5.7)$$

де ЗП - заробітна плата , ціна, що сплачується за використану працю, грошова вартість робочої сили; Нарахування - сума коштів, яку підприємство обов'язково сплачує до державних засобів соціального захисту (37%).

- ціна;
- прибуток — абсолютна величина, що характеризує доцільність існування підприємства, розраховується за формулою (5.8):

$$П = Ц - С \quad (5.8)$$

- рентабельність — показник ефективності роботи підприємства, характеризує ефективність повернення вкладених коштів (5.9).

$$Р = \frac{П}{С} \times 100\ \% \quad (5.9)$$

- економічна ефективність (5.10):

$$Е = \frac{П}{К} \quad (5.10)$$

- період повернення капіталовкладень (5.11):

$$Т = \frac{1}{Е} \quad (5.11)$$

5.2 Техніко – економічні показники процесу виробництва аніліну

Найбільш ефективний метод організації виробництва є потокове виробництво. Тобто потрібно розділити виробничий процес на операції, закріпити операції за робітниками, одночасно виконувати операції на кожному робочому місці.

Розрізняють такі види руху предметів праці ВРПП:

- Послідовний;
- Паралельний;
- Синхронізований.

Для того щоб зрозуміти скільки потрібно людей на виробництво та скільки їм працювати потрібно побудувати оптимальний ВРПП, та виділити операції виробництва.

1. Змішування реагентів – 60 хв;
2. Нагрів суміші – 30 хв;
3. Розбавлення водою та гідроксидом натрію – 10 хв;
4. Перегонка суміші аніліну з водою – 60 хв;
5. Змішування дистиляту з хлоридом натрію – 10 хв;
6. Відділення аніліну з суміші – 10 хв.

Рисунок 5.1 – Виробничий цикл послідовного типу.

$$\mathrm{T_{ВЦ}} = \sum_{i=1}^{n} t_i = 60 + 30 + 10 + 60 + 10 + 10 = 180\ хв = 3\ год.$$

За одну робочу зміну кількість завантажень *B* становить:

$$\mathrm{B} = \frac{\mathrm{T}_{роб.дня}}{\mathrm{T_{ВЦ}}} = \frac{6}{3} = 2$$

2 повних цикла за зміну 6 годин.

Цех з виробництва аніліну працює безперервно, 24 години на добу, 365 діб на рік, у якому працює 24 осіб, перелік яких наведений у таблиці 5.1. Згідно з нормами технічного проектування режим роботи працівника в умовах

безперервного робочого тижня та за шкідливих умов праці становить 6 годин на добу.

Таблиця 5.1 – Заробітна плата персоналу

Графік змін на підприємстві: 1-а зміна: 06.00-12.00; 2-а зміна: 12.00-18.00; 3-я зміна: 18.00-00.00; 4-а зміна: 00.00-06.00.

Для забезпечення безперервної роботи підприємства необхідно і достатньо 4 бригад. До складу бригади входять: начальник зміни, який контролює роботу працівників та процесу в цілому, 3 апаратника, що слідкують за роботою апаратів та проходженням технологічного процесу та слюсар-механік, який відповідає за технічне обслуговування апаратів і ремонт. Решта посад не приймає безпосередньої участі у технологічному процесі, тому вони не потребують змінності. Складемо графік змінності (таблиця 5.2):

Таблиця 5.2 – Графік змінності бригад

Розрахуємо явочну чисельність персоналу:

$$Ч_{\text{персоналу явочна}} = \text{начальник зміни} + 3\ апаратника + \text{слюсар механік} + \text{завідувач господарством} + \text{прибиральниця} + \text{працівник служби безпеки} = 8\ осіб/зміна$$

Розрахуємо чисельність персоналу за списком:

$$Ч_{\text{персоналу за списком}} = 4\ \text{начальників змін} + 12\ апаратників + 4\ \text{слюсарів механіків} + \text{завідувач господарством} + \text{прибиральниця} + 2\ \text{працівника служби безпеки} = 24\ осіб$$

Розрахуємо заробітну платню для всіх працівників за рік:

$$ЗП = 4 \times 168000 + 12 \times 156000 + 4 \times 144000 + 120000 +$$

$$+90000 + 2 \times 120000 = 3\,570\,000 \text{ грн/р}i\text{к}$$

Відповідно до чинного законодавства, відрахування на соціальні виплати становлять 22%. Визначимо фонд оплати праці:

$$\Phi O\text{П} = \text{ЗП} \times 1{,}22 = 3\,570\,000 \times 1{,}22 = 4\,355\,400 \text{ грн/р}i\text{к}$$

Згідно завдання, для забезпечення виходу 445 кг аніліну за годину, необхідно забезпечити подачу сировини: 6 000 м^3 (540 кг) водню та 600 кг нітробензолу. Розрахуємо річний випуск продукції:

$$\text{В}_{\text{р}i\text{к}} = \text{В}_{\text{г}o\text{д}} \times 24 \times 365 = 445 \times 24 \times 365 = 3\,898{,}2 \text{ т/р}i\text{к}$$

Затрати на сировину наведені у таблиці 5.3:

Таблиця 5.3 – Розрахунок вартості сировини для виробництва аніліну

Розрахуємо витрати на електроенергію за нерегульованим тарифом, тариф за приєднану потужність: $\text{Т}_{\text{пр}}$ = 0.5 грн/ кВт; Потужність обладнання: $\text{Н}_{\text{об}}$ = 60 кВт/т; Освітлення цілодобове: $\text{Н}_{\text{ос}}$ = 30 кВт/добу. Підприємство працює цілодобово, 365 днів на рік. Річні витрати на електроенергію становлять:

$$\text{З}_{\text{е/е}} = \text{П}_{\text{пр}} \times \text{Т}_{\text{пр}} + \text{Т}_{\text{нерег}} \times \left(\text{Н}_{o\text{бл}} \times \text{В}_{\text{г}o\text{д}} + \text{Н}_{o\text{с}} \times 365\right) = 5000 \times 0{,}5 +$$

$$+1 \times (60 \times 445 + 30 \times 365) = 40\,150 \text{ грн/р}i\text{к}$$

Опалювальний період триває 7 місяців (жовтень-квітень). Річна норма споживання теплової енергії на опалення становить 0,162 Гкал/м^2. Вартість 1 Гкал для підприємств дорівнює 1550,6 грн. Визначимо затрати на опалення цеху площею 100 м^2:

$$\text{З}_{o\text{пал}} = 0{,}162 \times 100 \times 1550{,}6 = 25\,120 \text{ грн/р}i\text{к}$$

Розрахуємо оборотні засоби підприємства:

$$O\text{бЗ} = O\text{бФ} + \Phi O\text{П} = \text{З}_{\text{сиров}} + \text{З}_{\text{е/е}} + \text{З}_{o\text{пал}} + \Phi O\text{П} =$$

$$= 401\,755\,600 + 40\,150 + 25\,120 + 4\,355\,400 = 406\,176\,270 \text{ грн/р}i\text{к}$$

Основні фонди підприємства наведені у таблиці 5.4:

Таблиця 5.4 – Основні фонди підприємства

Визначимо вартість основних фондів:

$$ОФ = 1\,000\,000 + 700\,000 + 125\,000 + 300\,000 + 70\,000 + 2 \times 30\,000 + \\ + 2 \times 30\,000 + 3 \times 60\,000 + 2 \times 30\,000 + 20\,000 + 100\,000 + 2\,500 + \\ + 150\,000 + 10\,000 = 2\,837\,500 \text{ грн}$$

Знаючи вартість основних фондів та норми амортизації, розраховуємо

величину амортизаційних відрахувань:

$$A = 0{,}05 \times (1\,000\,000 + 700\,000) + 0{,}2 \times (125\,000 + 300\,000 + 70\,000 + \\ + 2 \times 30\,000 + 2 \times 30\,000 + 3 \times 60\,000 + 2 \times 30\,000 + 20\,000 + 100\,000 + \\ +150\,000) + 0{,}25 \times 100\,000 + 2\,500 = 541\,000 \text{ грн/рік}$$

Розрахуємо собівартість виробництва аніліну за рік:

$$С_{\text{виробнича рік}} = A + ОЗ = 541\,000 + 406\,176\,270 \ = 406\,717\,270 \text{ грн/рік}$$

Визначимо собівартість тони продукції:

$$C_{\text{виробн.}} = \frac{С_{\text{рік}}}{В_{\text{рік}}} = \frac{406\,717\,270}{3\,898{,}2} = 104\,334{,}6 \text{ грн/т}$$

Розрахуємо собівартість повну за тонну продукції:

$$C_{\text{повна}} = C_{\text{виробн.}} + 20\% \textit{ невраховані} + 50\% \textit{ накладні}$$

$$= 104\,334{,}6 + 20\,866{,}9 + 52\,167{,}3 = 177\,368{,}8 \text{ грн/т}$$

Розрахуємо собівартість повну за рік:

$$C_{\text{повна рік}} = C_{\text{виробн.}} + 20\% \textit{ невраховані} + 50\% \textit{ накладні}$$

$$= 406\,717\,270 \ + 81\,343\,454 + 203\,358\,635 = 691\,419\,359 \text{ грн/рік}$$

Ціна аналогічної продукції на ринку складає 550 грн/кг. Визначимо вартість 1 тони аніліну:

$$Ц = 550 \times 1000 = 550\,000 \text{ грн/т}$$

Знайдемо річну вартість готового аніліну:

$$Ц_{рік} = Ц \times В_{рік} = 550\,000 \times 3\,898{,}2 = 2\,144\,010\,000 \text{ грн}$$

Розрахуємо річний прибуток:

$$П_{рік} = Ц_{рік} - C_{\text{повна рік}} = 2\,144\,010\,000 - 691\,419\,359 = 1\,452\,590\,641 \text{ грн/рік}$$

Прибуток з 1 тони продукції становить:

$$П = Ц - C_{\text{повна}} = 550\,000 - 177\,368{,}8 = 372\,631{,}2 \text{ грн/т}$$

Рентабельність:

$$Р = \frac{П}{С} \times 100\% = \frac{372\,631{,}2}{177\,368{,}8} \times 100\% = 210\ \%$$

Капіталовкладення:

$$К = ОФ + ОбЗ = 2\,837\,500 + 406\,176\,270 = 409\,013\,770 \text{ грн}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$Т = \frac{К}{П} = \frac{409\,013\,770}{1\,452\,590\,641} = 0{,}28 \text{ років} \approx 100 \text{ днів}$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$Е = \frac{П}{К} = \frac{1\,452\,590\,641}{409\,013\,770} = 3{,}55$$

Фондовіддача основних фондів:

$$ФВ = \frac{Ц_{рік}}{ОФ} = \frac{2\,144\,010\,000}{2\,837\,500} = 755{,}5 \text{ грн/рік}$$

Фондоємність:

$$ФЄ = \frac{1}{ФВ} = \frac{1}{755{,}5} = 0{,}00132 \text{ грн/грн}$$

Фондоозброєність персоналу:

$$ФО = \frac{ОФ}{Ч_{\text{персоналу за списком}}} = \frac{2\,837\,500}{24} = 118\,229{,}2\ \frac{\text{грн}}{\text{ос.}}$$

Для підприємства найбільш важливим показником є рентабельність. Розглянуте виробництво має рентабельність 210%, отже досить прибуткове. Термін повернення капіталовкладень становитиме близько 100 днів.

5.3 Техніко – економічні показники процесу виробництва аніліну з впровадженим автоматизації

Враховуючи те що процес виробництва аніліну гідрогенізацією нітробензолу досить небезпечний та шкідливий для здоров'я, тому доцільно буде автоматизувати процес щоб звести всі ризики до мінімуму та забезпечити якісні умови праці для робітників, тим самим зменшити кількість персоналу.

Оскільки майже всі хімічні перетворення відбуваються в реакторах і завданням кожного підприємства є мінімізація затрат, задоволення потреб і отримання максимального прибутку, то доцільним було б створення комп'ютерної програми, яка б дозволяла виконувати перевірочний розрахунок реактора для забезпечення оптимальних показників виробничого процесу.

Програму для перевірочного розрахунку реактора можна вже придбати готову, тому що набір в штат на розробку персонального ПЗ є доцільно не вигідним за часом. Найм персоналу в штат, дослідження та розробка займає як найменше від 6 місяців до року. Тому краще придбати наявні на ринку готові пропозиції, з налаштуванням та підтримкою програмного продукту.

Враховуючи те, що програмне забезпечення для перевірочного розрахунку трубчастого реактора було розроблене під конкретного замовника, то воно було придбане у підприємства-розробника за 150 000 грн, разом із правами на копіювання та продаж.

На реалізацію автоматизації процесу виробництва аніліну було створено функціонально - структурну схему, підібрані необхідні виконавчі органи, контролери, сигналізації, та необхідні засоби автоматизації. Це забезпечить контроль, регулювання та сигналізацію в контурах управління процесом, що призведе до більш якісного виходу продукту до 98-99%, та безпечного проведення реакції гідрогенізації. Тож до вартості обладнання додається ще 200 000 грн.

З Урахуванням автоматизації можна скоротити персонал за зміну з 3 людей до двох, які зможуть контролювати процес виробництва.

Розрахуємо показники після впровадження ПЗ та автоматизації.

Таблиця 5.5 – Заробітна плата персоналу після автоматизації

Розрахуємо явочну чисельність персоналу:

$$Ч_{\text{персоналу явочна}} = \text{начальник зміни} + 2\ \text{апаратника}$$
$$+\text{слюсар механік} + \text{завідувач господарством} +$$
$$+ \text{прибиральниця} + \text{працівник служби безпеки} = 7\ \text{осіб/зміна}$$

Розрахуємо чисельність персоналу за списком:

$$Ч_{\text{персоналу за списком}} = 4\ \text{начальників змін} +$$
$$+8\ \text{апаратників} + 4\ \text{слюсарів механіків} +$$
$$+ \text{завідувач господарством} + \text{прибиральниця} +$$
$$+ 2\ \text{працівника служби безпеки} = 20\ \text{осіб}$$

Розрахуємо заробітну платню для всіх працівників за рік:

$$ЗП = 4 \times 168000 + 8 \times 156000 + 4 \times 144000 + 120000 +$$
$$+90000 + 2 \times 120000 = 2\ 946\ 000\ \text{грн/рік}$$

Відповідно до чинного законодавства, відрахування на соціальні виплати становлять 22%. Визначимо фонд оплати праці:

$$ФОП = ЗП \times 1{,}22 = 2\ 946\ 000\ \times 1{,}22 = 3\ 594\ 120\ \text{грн/рік}$$

Знайдемо собівартість продукції.

Оборотні засоби підприємства після впровадження змін:

$$ОбЗ = ОбФ + ФОП = З_{\text{сиров}} + З_{\text{е/е}} + З_{\text{опал}} + ФОП =$$
$$= 401\ 755\ 600 + 40\ 150 + 25\ 120 + 3\ 594\ 120 = 405\ 414\ 990\ \text{грн/рік}$$

Визначимо вартість основних фондів:

$$ОФ = ОФ_{\text{без програми}} + Ц_{\text{програми}} + Ц_{\text{автоматизації}}$$
$$= 2\ 837\ 500 + 150\ 000 + 200\ 000 = 3\ 187\ 500\ \text{грн}$$

Норма амортизації для програмного забезпечення становить 50% на рік, норма для автоматизації також 50%, знайдемо величину амортизаційних відрахувань:

$$A = A_{\text{без програми}} + 0{,}5 \times \text{Ц}_{\text{програми}} + 0{,}5 \times \text{Ц}_{\text{автоматизації}}$$
$$= 541\,000 + 0{,}5 \times 150\,000 + 0{,}5 \times 200\,000 = 716\,000 \text{ грн/рік}$$

Розрахуємо собівартість виробництва аніліну за рік:

$$\text{С}_{\text{виробнича рік}} = A + О\text{ЗЗ} = 716\,000 + 405\,414\,990 = 406\,130\,990 \text{ грн/рік}$$

Визначимо собівартість тони продукції:

$$C_{\text{виробн.}} = \frac{\text{С}_{\text{рік}}}{\text{В}_{\text{рік}}} = \frac{406\,130\,990}{3\,898{,}2} = 104\,184{,}2 \text{ грн/т}$$

Розрахуємо собівартість повну за тонну продукції:

$C_{\text{повна}} = C_{\text{виробн.}} + 20\%$ *невраховані* $+ 50\%$ *накладні* $=$ $104\,184{,}2 +$
$20\,836{,}8 + 52\,092{,}1 = 177\,113{,}1$ грн/т

Розрахуємо собівартість повну за рік:

$C_{\text{повна рік}} = \text{С}_{\text{виробнича рік}} + 20\%$ *невраховані* $+ 50\%$ *накладні* $=$ $406\,130\,990 +$
$81\,226\,198 + 203\,065\,495 = 690\,422\,683$ грн/рік

Ціна аналогічної продукції на ринку складає 550 грн/кг. Визначимо вартість 1 тони аніліну:

$$\text{Ц} = 550 \times 1000 = 550\,000 \text{ грн/т}$$

Знайдемо річну вартість готового аніліну:

$$\text{Ц}_{\text{рік}} = \text{Ц} \times \text{В}_{\text{рік}} = 550\,000 \times 3\,898{,}2 = 2\,144\,010\,000 \text{ грн}$$

Розрахуємо річний прибуток:

$$\text{П}_{\text{рік}} = \text{Ц}_{\text{рік}} - C_{\text{повна рік}} = 2\,144\,010\,000 - 690\,422\,683 = 1\,453\,587\,317 \text{ грн/рік}$$

Прибуток з 1 тони продукції становить:

$$\text{П} = \text{Ц} - C_{\text{повна}} = 550\,000 - 177\,113{,}1 = 372\,886{,}9 \text{ грн/т}$$

Рентабельність:

$$\text{Р} = \frac{\text{П}}{\text{С}} \times 100\% = \frac{372\,886{,}9}{177\,113{,}1} \times 100\% = 210\ \%$$

Капіталовкладення:

$$\text{К} = О\Ф + О\text{ЗЗ} = 3\,187\,500 + 405\,414\,990 = 408\,602\,490 \text{ грн}$$

Період повернення капіталовкладень:

$$Т = \frac{К}{П} = \frac{408\,602\,490}{1\,453\,587\,317} = 0{,}28\ рокiв \approx 100\ днів$$

Коефіцієнт економічної ефективності:

$$Е = \frac{П}{К} = \frac{1\,453\,587\,317}{408\,602\,490} = 3{,}55$$

Фондовіддача основних фондів:

$$ФВ = \frac{Ц_{рік}}{ОФ} = \frac{2\,144\,010\,000}{3\,187\,500} = 672{,}63\ грн/рік$$

Фондоємність:

$$ФЄ = \frac{1}{ФВ} = \frac{1}{672{,}63} = 0{,}00148\ грн/грн$$

Фондоозброєність персоналу:

$$ФО = \frac{ОФ}{Ч_{персоналу\ за\ списком}} = \frac{3\,187\,500}{20} = 159\,375\ \frac{грн}{ос.}$$

Усі розраховані показники до впровадження та після впровадженням програми наведені у таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Порівняльна характеристика основних техніко-економічних показників підприємства з виробництва аніліну до впровадження та після впровадження програми

Як видно з таблиці 5.6, річна собівартість продукції збільшиться на 1 млн грн. Рентабельність підприємства залишиться незмінною, на рівні 210 %, період повернення капіталовкладень становитиме близько 100 днів. Звідси можна зробити висновок, що впровадження програмного забезпечення для перевірочного розрахунку трубчастого реактора та інтеграція автоматизації є економічно доцільним, оскільки прибуток підприємства після впровадження майже не зміниться, проте завдяки програмі, цех з виробництва аніліну надійно працюватиме у встановленому режимі, із встановленим річним випуском

продукції, а отже отримуватиме стабільний прибуток, а автоматизація забезпечить комфортні умови праці, знизить ризики проведення реакції, збільшить вихід аніліну до 98-99%.

6 Охорона праці, виробнича санітарія та техніка безпеки проведення виробничого процесу

Виробництво аніліну гідруванням нітробензолу характеризується наявністю у технологічному процесі шкідливих, вибухонебезпечних речовин, а також використанням електричної та теплової енергії. Всі проектні рішення прийняті з урахуванням вимог охорони праці. На базі аналізу шкідливих і небезпечних факторів розроблено заходи для забезпечення здорових і безпечних умов праці та пожежної безпеки.

6.1 Виявлення та аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів

6.1.1 Повітря робочої зони

Роботи за важкістю, що виконуються у цеху синтезу, відповідно до [17], відносяться до категорії IIа. Санітарні та допустимі норми параметрів мікроклімату для робочих приміщень наведені у таблиці 1.

Таблиця 6.1 – Санітарні та допустимі норми параметрів мікроклімату цеху

В таблиці 6.2 наведено основні санітарні характеристики підприємства, що розглядається, а саме цеху синтезу аніліну.

Таблиця 6.2 – Коротка санітарна характеристика виробництва

Основними компонентами, що застосовуються у виробництві, є водень та нітробензол, які подаються у газоподібній формі до реактора. Для того щоб запобігти витоку токсичних та вибухонебезпечних газів та зростанню їх концентрації у повітрі над робочою зоною передбачено ряд засобів та заходів.

Для нормалізації повітря робочої зони проектом передбачено використання системи штучної вентиляції. Природний обмін повітря здійснюється за допомогою вікон.

Для нормалізації мікроклімату застосовуємо змішану загальнообмінну вентиляцію, для рівномірного повітрообміну. Місцева вентиляція служить для подачі свіжого повітря до робочого місця.

Для підвищення ефективності вентиляційних систем передбачена герметизація всього технологічного обладнання.

Передбачено аварійну вентиляцію (тільки витяжна), призначена для швидкого видалення великих кількостей шкідливих та вибухонебезпечних речовин, а також забрудненого газом повітря, що виникає при порушеннях технологічного процесу або аваріях технологічного обладнання.

Для контролю мікроклімату використовуються: термометри, психрометри та анемометри.

6.1.2 Виробниче освітлення

Згідно [18] у відділенні проводяться зорові роботи розряду VIIIа (постійне загальне спостереження за ходом виробничого процесу).

Передбачено штучне загальне освітлення, а також охоронне, аварійне. Приміщення освітлюється за допомогою дволампових світильників типу ШОД (закриті знизу металевими ґратами, з боків – склом) , які розміщені у два ряди і в кожному з яких знаходяться люмінесцентні лампи потужністю 40 Вт, типу ЛД 40. При відключенні робочого освітлення передбачене аварійне освітлення. Для

аварійного освітлення застосовано лампи розжарення та люмінесцентні лампи.

Згідно ДБН В.2.5.28-06, з урахуванням розряду зорових робіт, нормоване значення освітленості на робочому місці $E_н$ = 200 лк.

Розрахуємо необхідну кількість світильників, що забезпечують нормоване значення освітленості. Виробничий процес відбувається у приміщенні довжиною 15 м, висотою 3 м і шириною 4 м. Стеля приміщення свіжопобілена $\rho_{сл}$ = 70%, стіни мають світло-сірий колір $\rho_{сн}$ = 50%, підлога з дубового паркету $\rho_п$ = 30%. Висота робочої поверхні $h_р$ становить 0,8м. Для розрахунку освітленості приймаємо коефіцієнт запасу ($k_з$) рівним 1,5, а коефіцієнт нерівномірності (z) рівним 1,1.

Згідно ДБН В.2.5.28-06, з урахуванням типу і потужності ламп, світловий потік кожної з них становить $F_л$ = 2340 лм.

Обчислимо індекс приміщення за формулою [19]:

$$i = \frac{a \times b}{h_c \times (a + b)} = \frac{15 \times 4}{2{,}2 \times (15 + 4)} = 1{,}43$$

де a, b – довжина і ширина приміщення відповідно, м; $h_с$ – висота підвісу світильника над робочою поверхнею ($h_с = h - h_р = 2{,}2$), м.

Згідно ДБН В.2.5.28-06, з урахуванням з індексу приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стелі, стін і підлоги ($\rho_{сл}$, $\rho_{сн}$, $\rho_п$), коефіцієнт використання світлового потоку η = 0,45.

Обчислимо кількість світильників, необхідних для досягнення оптимального значення освітленості:

$$N_р = \frac{S \times k_з \times z \times E_н}{F_л \times n \times \eta} = \frac{60 \times 1{,}5 \times 1{,}1 \times 200}{2340 \times 2 \times 0{,}45} \approx 10$$

Обчислимо освітлюваність приміщення з оптимальною кількістю світильників:

$$E_р = \frac{F_л \times N_р \times n \times \eta}{S \times k_з \times z} = \frac{2340 \times 10 \times 2 \times 0{,}45}{60 \times 1{,}5 \times 1{,}1} = 212{,}7 \text{ лк}$$

Порівняємо фактичне значення освітленості, що створює у приміщенні задана система загального штучного освітлення, з нормативним значенням штучного освітлення робочої зони:

$$\left|\frac{E_{\text{н}} - E_{\text{р}}}{E_{\text{н}}}\right| \times 100\% = \left|\frac{200 - 212{,}7}{200}\right| \times 100 = 6{,}35\%$$

Як видно, фактичне значення освітлюваності має відхилення на рівні 6,35% від нормативного, проте знаходиться у допустимих межах, тому запропоновану систему освітлення можна вважати ефективною.

Освітленість у приміщеннях контролюється за допомогою люксметру Ю-116 з періодичністю 1 раз на рік після ремонту освітлювальних установок та заміни ламп.

При відключенні робочого освітлення передбачена система аварійного освітлення. Світильники аварійного освітлення приєднуються до мережі робочого освітлення з автоматичним перемиканням на незалежне живлення.

6.1.3 Захист від виробничого шуму та вібрацій

Джерелами шуму і вібрації є газодувка, реактор, випарник, теплообмінники та сепаратори, а також рух речовин по трубопроводам.

Відповідно до [20] допустимий рівень звуку у приміщенні та на робочих місцях становить 80 дБА. Допустимі рівні звукового тиску у октавних смугах частот, еквівалентні рівні звуку на робочих місцях наведені у таблиці 6.3.

Для захисту від виробничого шуму на підприємстві передбачені звукоізоляційні пристрої: перегородки, екрани й об'ємні звукопоглиначі у вигляді перфорованих кубів і куль, підвішених над агрегатами, які спричиняють шум. Щоб знизити рівень вібрації під вібруюче устаткування встановлюють амортизатори, виготовлені зі сталевих пружин.

Таблиця 6.3 – Допустимі рівні вібрації на робочих місцях

В якості індивідуальних засобів захисту від шуму, згідно з [21], передбачено м’які протишумові вкладки. Для захисту рук від дії вібрацій застосовують рукавиці з спеціальними віброзахисними вставками. Для захисту від вібрацій що передаються через ноги передбачено взуття товстою резиновою підошвою. Для вимірювання шуму та вібрації використовується вимірювач шуму та вібрації марки ВШВ-003.

6.1.4 Електробезпека

Електричне устаткування на виробництві живиться від трифазної чотирьохпровідної електричної мережі змінного струму промислової частоти напругою 380/220 В з глухозаземленою нейтралю. Відповідно до [22], для змінного струму із частотою 50 Гц гранично допустимі значення напруги

дотику й струму, що проходить через тіло людини, при аварійному режимі $I_л$ = 6 мА, $U_{дот}$ = 36 В; при нормальному режимі роботи електричного обладнання $I_л$=0,3 мА, $U_{дот}$ = 2 В.

Порівняємо розрахункове значення із гранично допустимим значенням струму:

$$I_л = \frac{U_ф \times 10^3}{R_л + R_o}, мА$$

де $R_л$ = 2…4 кОм, опір тіла людини; R_0 = 4Ом, опір нейтралі заземлення; $U_ф$=220, фазова напруга, В.

$$U_д = I_л \times R_л \times 10^3 = 0{,}05 \times 4000 = 220 \text{ В}$$

Таблиця 6.4 – Класифікація приміщень по ступеню небезпеки враження електричним струмом

Для забезпечення електробезпеки передбачені наступні технічні заходи й засоби: занулення, захисне відключення, мала напруга, ізоляція струмоведучих частин, електричний поділ мереж, знаки безпеки, огороджувальні пристрої, блокування, попереджувальна сигналізація, попереджувальні плакати. Також використовується подвійна ізоляція.

У виробничих приміщеннях передбачена періодична перевірка вибраних типів проводів, освітлювальної арматури, пускачів електродвигунів та іншого електроустаткування.

Для забезпечення індивідуального захисту використовують діелектричні рукавички, інструменти з ізолюючими рукоятками, покажчики напруги, діелектричні калоші, ізолюючі підставки, гумові килимки, тимчасові огородження, захисні окуляри. Для запобігання прямих ударів блискавки

споруди захищені стрижньовими блискавковідводами. Електричне обладнання закритого типу, яке встановлюють на заводі, має пило- та вологонепроникне виконання.

6.1.5 Безпека технологічних процесів та обслуговування обладнання

Процес отримання аніліну гідруванням нітробензолу характеризується наявністю великої кількості небезпечних речовин:

- токсичних та вибухонебезпечних газів (водень, нітробензол, анілін);
- використанням різного обладнання під високим тиском (до 0,5 МПа).

Тому, порушення правил експлуатації обладнання, техніки безпеки, пожежної безпеки, норм технологічного режиму можуть стати причинами аварій та травматизму. Особливо суворо дотримують правила безпеки при проведенні ремонтних, монтажних і очисних робіт.

Можливими джерелами виділення шкідливих речовин є:

- порушення герметичності апаратів і трубопроводів;

- нещільність кранів; вентилів; аналітичних забірних точок;

- людський фактор (захаращеність робочого місця, невиконання правил з техніки безпеки, тощо).

Також передбачено проводити регулярні профілактичні та ремонтні роботи обладнання, оскільки цех працює безперервно та характеризується можливістю зносу та виходу із строю апаратів.

6.1.6 Пожежна безпека

У виробничому цеху, що проектується, можливими причинами пожежі можуть бути наступні фактори:

- перенавантаження електрообладнання;
- теплова дія;
- механічне пошкодження електромережі;
- прямий удар блискавки в будівлю.
- витік водню, і як наслідок утворення так званої “гримучий газ”;

Протипожежними заходами є:

- ✓ встановлення плавких запобіжників;
- ✓ використання стиржньових блискавковідводів;
- ✓ встановлення газоаналізатора повітря.

Будівля хімічного цеху, збудована з негорючого матеріалу другого ступеня вогнестійкості. В якості сигналізації встановлені датчики типу ПОСТ 1 та телефонний зв'язок. З метою дотримання правил пожежної безпеки у проекті передбачено такі запобіжні заходи: розділення апаратів протипожежними перегородками на відсіки, обладнання протипожежних перешкод у вигляді гребенів, козирків, бортиків, протипожежний водопровід, ємності з піском і пожежні щити. Передбачається захист ізоляції від теплового впливу. Захист від прямих ударів блискавки забезпечується стиржньовим блискавковідводом.В цеху для пригнічення пожежі передбачено сухий пісок, азбестові ковдри, порошкові вогнегасники, які є найбільш універсальними по області застосування й по робочому діапазоні температур. В приміщенні є евакуаційний вихід на випадок виникнення пожежі. Всі електроустановки захищені автоматичними пристроями від струмів короткого замикання.

Показники пожежо- та вибухонебезпечності речовин та матеріалів наведені в таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – Показники пожежо- і вибухонебезпечності речовин

Висновки

В даній дипломній роботі було проведено комп’ютерне моделювання та автоматизацію процесу отримання аніліну гідрогенізацією нітробензену в трубчастому реакторі.

Було вирішено наступні задачі:

1. Розробка технічного завдання на розробку програмного забезпечення;
2. Аналіз технологічної схеми виробництва аніліну та особливості її експлуатації;
3. Розрахунок матеріального балансу схеми виробництва аніліну за допомогою середовища ChemCad;
4. Розрахунок математичної моделі перетворення нітробензену до аніліну в трубчастому реакторі у середовищі MathCad.
5. Відповідно до математичної моделі процесу було розроблено обчислювальний модуль для перевірочного розрахунку трубчастого реактора ідеального витіснення неперервної дії у середовищі Visual Studio Code.
6. Аналіз технологічної схеми процесу як об’єкту автоматизації. Розробка схеми для автоматичного регулювання синтезу. Обгрунтування необхідного рівня автоматизації та вибору технічних засобів.
7. Аналіз джерел екологічної небезпеки, що містяться в технологічній схемі. Обгрунтування вибору додаткового обладнання, яке встановлюється для зменшення екологічної небезпеки.
8. Економічний розрахунок, характеристка доцільності і обгрунтованість прийнятих проектних рішень.

Перелік посилань

1. «Промышленный синтез ароматических нитросоединений и аминов» М.,Издательство «Химия», 1964 г.344 с.
2. Лазарева В.А. Анилин. Обзор рынка [Текст] / В.А. Лазарева. – М.: Merchant Research & Consulting, Ltd. НИИТХИМ, 2005. – 49 с.
3. Чекалин М.А. Технология органических красителей и промежуточных продуктов [Текст] / М.А. Чекалин, Б.В. Пассет, Б.А. Иоффе. – Л.: Химия, 1980. – 472 с.
4. Беркман Б.Е. Промышленный синтез ароматических нитросоединений и аминов [Текст] / Б.Е. Беркман. – М.: изд. Химия, 1964. – 344 с.
5. Бугаєва Л.М. Системний аналіз хіміко-технологічних комплексів [Текст] / Л.М. Бугаєва, Ю.О. Безносик, Ю.О. Статюха. – К.: Політехніка, 2014. – 132 с.
6. Николаев Ю.Т. Анилин [Текст] / Ю.Т. Николаев, А.М. Якубсон. – М.: Химия, 1984. – 152 с.
7. Исследование кинетики реакции гидрирования нитробензола в анилин на никелевом катализаторе с учетом диффузионных осложнений [Текст] / Ф.Л. Вигдорович, В.В. Погорелов, Ю.К. Капков, А.Г. Горелик, А.К. Аветистов, А.И. Гельбштейн // Кинетика и катализ. – 1980. – Вып. 4. – Т. 21. – С. 975.
8. Холоднов В.А. Математическое моделирование и оптимизация химико-технологических процессов [Текст] / В.А. Холоднов, В.П. Дьяконов, Е.Н. Иванова, Л.С. Кирьянова. – СПб.: АНО НПО “Профессионал”, 2003. – 480 с.
9. Брановицька С.В. Обчислювальна математика та програмування: Обчислювальна математика в хімії та хімічній технології [Текст] / С.В. Брановицька, Р.Б. Медведєв, Ю.Я. Фіалков. – К.: Політехніка, 2004. – 220 с.
10. Офіційний сайт ООО НПП «Микротерм» [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.mikroterm.lg.ua/– Назва з екрану.
11. Офіційний сайт ПАТ «Промприлад» [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.prylad.com.ua/ – Назва з екрану.

12. Офіційний сайт ТОВ «Мікрол» [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.microl.com.ua/ – Назва з екрану.
13. Офіційний сайт ТОВ «Електротермометрія» [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.etm.lutsk.ukrpack.net/ – Назва з екрану.
14. Офіційний сайт «НПП ЭЛЕМЕР» [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.elemer.ru/ – Назва з екрану.
15. Автоматизація технологічних процесів: метод. вказівки до викон. дипл. проек. освітн. рівня «Бакалавр» та самостійної роботи для студ. спец. 151 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» / Уклад: С.Г. Бондаренко, О.В. Сангінова. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського.– 163 с.
16. Економіка підприємства: навч. посібник [Текст] / за заг. ред. В.Г. Герасимчука, А.Е. Розенплентера. – К.: ІВЦ «Видавництво «Політехніка», 2003. – 264 с.
17. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Текст]: ДСН 3.3.6.042-99 - № 42. – [чинний від 01-12-1999]. – Оф. видання Міністерства охорони здоров'я України.
18. Інженерне обладнання будинків, споруд. Природне і штучне освітлення [Текст]: ДБН В.2.5-28-06. – [чинний від 01-01-2007]. – К.: Мінбуд України. – 2006.
19. Зеркалов Д.В. Охорона праці в галузі: Загальні вимоги. Навчальний посібник. [Текст] / Д.В. Зеркалов. – К.: «Основа». 2011. – 551 с.
20. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку [Текст]: ДСН 3.3.6.037-99 - № 37. – [чинний від 01-12-1999]. – Оф. видання Міністерства охорони здоров'я України.
21. Средства и методы защиты от шума. Классификация. [Текст]: ГОСТ 12.1.029-80 - N 5237 утвержден и введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 31 октября 1980 г.
22. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. [Текст]: ГОСТ 12.1.038-92.

23. А.Н. Пахомов, В.И. Коновалов, Н. Ц. Гатапова, А.Н. Колиух. «Основы моделирования химико-технологических систем». 2008. -80 с
24. Електронний ресурс “Виробництва аніліну у світі” сайт // URL http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=6641
25. Костерёв В. В. Надійність технічних систем і управління ризиком, 2008-280 с
26. Артеменко А. І. Органічна хімія. 1987.- 320 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Розрахунок матеріального балансу у середовищі ChemCad

Додаток Б

Моделювання процесу перетворення нітробензолу до аніліну в трубчастому реакторі

Додаток В

Алгоритм розрахунку реактора

Додаток Г

Код програмного забезпечення

```
import React, { Component } from "react";
import { useTable } from "react-table";
import MaUTable from "@material-ui/core/Table";
import TableBody from "@material-ui/core/TableBody";
import TableCell from "@material-ui/core/TableCell";
import TableHead from "@material-ui/core/TableHead";
import TableRow from "@material-ui/core/TableRow";
import Chart from "./Chart/Chart";
import "bootstrap/dist/css/bootstrap.min.css";
import {
  TabContent,
  TabPane,
  Nav,
  NavItem,
  NavLink,
  Button,
  Row,
  Col,
  Input,
  CardBody,
  UncontrolledCollapse,
  Card,
} from "reactstrap";
import classnames from "classnames";

const columns = [
  {
    Header: "Результати",
    columns: [
      {
        Header: "Довжина реактора, м",
        accessor: "i",
      },
      {
        Header: "Температура, К",
        accessor: "x1",
      },
      {
        Header: "Температура холодоагенту, К",
        accessor: "x3",
      },
      {
        Header: "Ступінь перетворення",
        accessor: "x2",
      },
      {
```

```
        Header: "Концентрація нітробензолу, кмоль/м3",
        accessor: "Ca",
      },
    ],
  },
];

const divStyle = {
  display: 'flex'
};

const Table = ({ columns, data }) => {
  const { getTableProps, headerGroups, rows, prepareRow } = useTable({
    columns,
    data,
  });

  return (
    <MaUTable {...getTableProps()}>
      <TableHead>
        {headerGroups.map((headerGroup) => (
          <TableRow {...headerGroup.getHeaderGroupProps()}>
            {headerGroup.headers.map((column) => (
              <TableCell {...column.getHeaderProps()}>
                {column.render("Header")}
              </TableCell>
            ))}
          </TableRow>
        ))}
      </TableHead>
      <TableBody>
        {rows.map((row, i) => {
          prepareRow(row);
          return (
            <TableRow {...row.getRowProps()}>
              {row.cells.map((cell) => {
                return (
                  <TableCell {...cell.getCellProps()}>
                    {cell.render("Cell")}
                  </TableCell>
                );
              })}
            </TableRow>
          );
        })}
      </TableBody>
    </MaUTable>
```

```
  );
};
class App extends Component {
  constructor(props) {
    super(props);

    this.toggle = this.toggle.bind(this);

    this.state = {
      activeTab: "1",
      chartData: {
        labels: [],
        datasets: [
          {
            label: "Температура, K",
            fill: false,
            lineTension: 0.1,
            backgroundColor: "rgba(75,192,192,0.4)",
            borderColor: "rgba(75,192,192,1)",
            borderCapStyle: "butt",
            borderDash: [],
            borderDashOffset: 0.0,
            borderJoinStyle: "miter",
            pointBorderColor: "rgba(75,192,192,1)",
            pointBackgroundColor: "#fff",
            pointBorderWidth: 1,
            pointHoverRadius: 5,
            pointHoverBackgroundColor: "rgba(75,192,192,1)",
            pointHoverBorderColor: "rgba(220,220,220,1)",
            pointHoverBorderWidth: 2,
            pointRadius: 1,
            pointHitRadius: 10,
            data: [],
          },
          {
            label: "Ступінь перетворення",
            fill: false,
            lineTension: 0.1,
            backgroundColor: "rgba(192,75,21,0.4)",
            borderColor: "rgba(192,75,21,0.4)",
            borderCapStyle: "butt",
            borderDash: [],
            borderDashOffset: 0.0,
            borderJoinStyle: "miter",
            pointBorderColor: "rgba(192,75,21,0.4)",
            pointBackgroundColor: "#fff",
            pointBorderWidth: 1,
            pointHoverRadius: 5,
            pointHoverBackgroundColor: "rgba(192,75,21,0.4)",
```

```
        pointHoverBorderColor: "rgba(220,220,220,1)",
        pointHoverBorderWidth: 2,
        pointRadius: 1,
        pointHitRadius: 10,
        data: [],
      },
      {
        label: "Концентрація нітробензолу, кмоль/м3",
        fill: false,
        lineTension: 0.1,
        backgroundColor: "rgba(192,75,21,0.4)",
        borderColor: "rgba(41,75,190,0.4)",
        borderCapStyle: "butt",
        borderDash: [],
        borderDashOffset: 0.0,
        borderJoinStyle: "miter",
        pointBorderColor: "rgba(41,75,190,0.4)",
        pointBackgroundColor: "#fff",
        pointBorderWidth: 1,
        pointHoverRadius: 5,
        pointHoverBackgroundColor: "rgba(41,75,190,0.4)",
        pointHoverBorderColor: "rgba(220,220,220,1)",
        pointHoverBorderWidth: 2,
        pointRadius: 1,
        pointHitRadius: 10,
        data: [],
      },
      {
        label: "Температура холодоагента, K",
        fill: false,
        lineTension: 0.1,
        backgroundColor: "rgba(192,75,21,0.4)",
        borderColor: "rgba(250,30,70,0.4)",
        borderCapStyle: "butt",
        borderDash: [],
        borderDashOffset: 0.0,
        borderJoinStyle: "miter",
        pointBorderColor: "rgba(250,30,70,0.4)",
        pointBackgroundColor: "#fff",
        pointBorderWidth: 1,
        pointHoverRadius: 5,
        pointHoverBackgroundColor: "rgba(250,30,70,0.4)",
        pointHoverBorderColor: "rgba(220,220,220,1)",
        pointHoverBorderWidth: 2,
        pointRadius: 1,
        pointHitRadius: 10,
        data: [],
      },
    ],
```

```
    },
    result: [],
    isReady: false,
  };
}

dataEntry = () => {
  document.getElementById("diametr").value = 3;
  document.getElementById("length").value = 6;
  document.getElementById("mol").value = 1;
  document.getElementById("tepEffect").value = -152100;
  document.getElementById("temp").value = 400;
  document.getElementById("poristost").value = 0.424;
  document.getElementById("zag").value = 65.9;
  document.getElementById("koef").value = 8.67;
  document.getElementById("teploem").value = 6.62;
  document.getElementById("step").value = 0.03;
};

dataClean = () => {
  document.getElementById("diametr").value = "";
  document.getElementById("length").value = "";
  document.getElementById("mol").value = "";
  document.getElementById("tepEffect").value = "";
  document.getElementById("temp").value = "";
  document.getElementById("poristost").value = "";
  document.getElementById("zag").value = "";
  document.getElementById("koef").value = "";
  document.getElementById("teploem").value = "";
  document.getElementById("step").value = "";
};

toggle(tab) {
  if (this.state.activeTab !== tab) {
    this.setState({
      activeTab: tab,
    });
  }
}

inputHandler = () => {};

toggleCalculate = () => {
  this.state.result.splice(0, this.state.result.length);
  this.state.chartData.labels.splice(0, this.state.chartData.labels.length);
  this.state.chartData.datasets.forEach((elem) =>
    elem.data.splice(0, elem.data.length)
  );
```

```
const d = parseFloat(document.getElementById("diametr").value);
const lr = parseFloat(document.getElementById("length").value);
const FA0 = parseFloat(document.getElementById("mol").value);
const Hr = parseFloat(document.getElementById("tepEffect").value);
const Tx = parseFloat(document.getElementById("temp").value);
const eps = parseFloat(document.getElementById("poristost").value);
const F0 = parseFloat(document.getElementById("zag").value);
const U = parseFloat(document.getElementById("koef").value);
const cp = parseFloat(document.getElementById("teploem").value);
const h = parseFloat(document.getElementById("step").value);

let x1 = 450;
let x2 = 0;
let x3 = Tx;
let k0 = 5.79 * Math.pow(10, 4);
let R = 82.06;
let m = FA0 / F0;
let S = (3.14 * Math.pow(d, 2) * eps) / 4;
let c = F0 * cp;
let lmax = lr + 0.000001;
let k1;
let k2;
let k3;
let k4;
let dx1;
let m1;
let m2;
let m3;
let m4;
let dx2;
let n1;
let n2;
let n3;
let n4;
let dx3;
let Ca;
let E = 2598;
let P = 1;

for (let i = 0; i < lmax; i += h) {
  k1 =
    h *
    (S *
      (-Hr / c) *
      k0 *
      Math.exp(-E / x1) *
      Math.pow(((1 - x2) * m * P) / (R * x1), 0.578) -
      U * 3.14 * (d / c) * (x1 - Tx));
  k2 =
```

```
  h *
  (S *
    (-Hr / c) *
    k0 *
    Math.exp(-E / (x1 + 0.5 * k1)) *
    Math.pow(((1 - x2) * m * P) / (R * (x1 + 0.5 * k1)), 0.578) -
    U * 3.14 * (d / c) * (x1 + 0.5 * k1 - Tx));
k3 =
  h *
  (S *
    (-Hr / c) *
    k0 *
    Math.exp(-E / (x1 + 0.5 * k2)) *
    Math.pow(((1 - x2) * m * P) / (R * (x1 + 0.5 * k2)), 0.578) -
    U * 3.14 * (d / c) * (x1 + 0.5 * k2 - Tx));
k4 =
  h *
  (S *
    (-Hr / c) *
    k0 *
    Math.exp(-E / (x1 + k3)) *
    Math.pow(((1 - x2) * m * P) / (R * (x1 + k3)), 0.578) -
    U * 3.14 * (d / c) * (x1 + k3 - Tx));
dx1 = (k1 + 2 * k2 + 2 * k3 + k4) / 6;
m1 =
  h *
  ((S / FA0) *
    k0 *
    Math.exp(-E / x1) *
    Math.pow(((1 - x2) * m * P) / (R * x1), 0.578));
m2 =
  h *
  ((S / FA0) *
    k0 *
    Math.exp(-E / x1) *
    Math.pow(((1 - (x2 + 0.5 * m1)) * m * P) / (R * x1), 0.578));
m3 =
  h *
  ((S / FA0) *
    k0 *
    Math.exp(-E / x1) *
    Math.pow(((1 - (x2 + 0.5 * m2)) * m * P) / (R * x1), 0.578));
m4 =
  h *
  ((S / FA0) *
    k0 *
    Math.exp(-E / x1) *
    Math.pow(((1 - (x2 + m3)) * m * P) / (R * x1), 0.578));
dx2 = (m1 + 2 * m2 + 2 * m3 + m4) / 6;
```

```
      n1 = h * (U * 3.14 * (d / c) * (x1 - Tx));
      n2 = h * (U * 3.14 * (d / c) * (x1 + 0.5 * k1 - Tx));
      n3 = h * (U * 3.14 * (d / c) * (x1 + 0.5 * k2 - Tx));
      n4 = h * (U * 3.14 * (d / c) * (x1 + k3 - Tx));
      dx3 = (n1 + 2 * n2 + 2 * n3 + n4) / 6;
      Ca = (1 - x2) * (m / (R * x1));

      x1 = x1 + dx1;
      x2 = x2 + dx2;
      x3 = x3 + dx3;

      this.state.result.push({
        i: Math.round(i * 1000) / 1000,
        x1: Math.round(x1 * 1000) / 1000,
        x2: Math.round(x2 * 1000) / 1000,
        x3: Math.round(x3 * 1000) / 1000,
        Ca: Math.round(Ca * 10000000000) / 10000000000,
      });

      this.state.chartData.labels.push(Math.round(i * 1000) / 1000);
      this.state.chartData.datasets[0].data.push(Math.round(x1 * 1000) / 1000);
      this.state.chartData.datasets[1].data.push(Math.round(x2 * 1000) / 1000);
      this.state.chartData.datasets[2].data.push(Math.round(Ca * 10000000000) / 10000
000000);
      this.state.chartData.datasets[3].data.push(Math.round(x3 * 1000) / 1000);
    }

    this.setState({
      isReady: true,
    });
  };

  render() {
    let result = <Card>
      <CardBody>
        Немає розрахунків.
      </CardBody>
    </Card>;
    let chart = <Card>
    <CardBody>
      Немає розрахунків.
    </CardBody>
  </Card>;

    if (this.state.isReady) {
      result = <Table columns={columns} data={this.state.result}></Table>;
      chart = <Chart chartData={this.state.chartData} />;
    }
```

```
return (
  <Row>
    <Col xs="6" sm="4" md="4">
      <Nav tabs vertical pills>
        <NavItem>
          <NavLink
            className={classnames({ active: this.state.activeTab === "1" })}
            className="first-link"
            onClick={() => {
              this.toggle("1");
            }}
          >
            <div
            className="firstImg"
            ></div>
            Введення данних
          </NavLink>

        </NavItem>
        <NavItem>
          <NavLink
            className={classnames({ active: this.state.activeTab === "2" })}
            className="second-link"
            onClick={() => {
              this.toggle("2");
            }}
          >
            <div
            className="secondImg"
            ></div>
            Виведення табличних даних
          </NavLink>
        </NavItem>
        <NavItem>
          <NavLink
            className={classnames({ active: this.state.activeTab === "3" })}
            className="third-link"
            onClick={() => {
              this.toggle("3");
            }}
          >
            <div
            className="thirdImg"
            ></div>
            Графічне відтворення даних
          </NavLink>
        </NavItem>
        <NavItem>
          <NavLink
```

```
            className={classnames({ active: this.state.activeTab === "4" })}
            className="fourth-link"
            onClick={() => {
              this.toggle("4");
            }}
          >
            <div
            className="fourthImg"
            ></div>
            Про програму
          </NavLink>
        </NavItem>
      </Nav>
      <div className="picture"></div>
    </Col>
    <Col xs="7" sm="7" md="8">
      <TabContent activeTab={this.state.activeTab}>
        <TabPane tabId="1">
          <Button
            id="firstTogler"
            style={{ marginBottom: "1rem" }}
            className="btn btn-dark"
          >
            Підказка
          </Button>
          <Button
            style={{ marginBottom: "1rem" }}
            className="btn btn-dark"
            onClick={this.dataEntry}
          >
            Ввести дані
          </Button>
          <Button
            style={{ marginBottom: "1rem" }}
            className="btn btn-dark"
            onClick={this.dataClean}
          >
            Очистити дані
          </Button>
          <UncontrolledCollapse toggler="#firstTogler">
            <Card>
              <CardBody>
                Введіть параметри реактора у відповідні поля.
                <br />
                Для відділення цілої частини та дробової використайте крапку
                (.)
                <br />
                Для заповнення готовими данними натисніть на кнопку "Ввести
                дані"
```

```
            <br />
            Для очищення полів натисніть на кнопку "Очистити дані"
            <br />
          </CardBody>
        </Card>
      </UncontrolledCollapse>
      <div className="item">
        <span>Діаметр труб реактора, см</span>
        <Input
          type="text"
          id="diametr"
          onChange={this.inputHandler}
        ></Input>
      </div>
      <div className="item">
        <span>Довжина реактора, м</span>
        <Input
          type="text"
          id="length"
          onChange={this.inputHandler}
        ></Input>
      </div>
      <div className="item">
        <span>Пористість шару каталізатора</span>
        <Input
          type="text"
          id="poristost"
          onChange={this.inputHandler}
        ></Input>
      </div>
      <div className="item">
        <span>
          Загальна витрата нітробензолу у вхідному потоці, моль/год
        </span>
        <Input
          type="text"
          id="zag"
          onChange={this.inputHandler}
        ></Input>
      </div>
      <div className="item">
        <span>
          Мольна витрата нітробензолу у вхідному потоці, моль/год
        </span>
        <Input
          type="text"
          id="mol"
          onChange={this.inputHandler}
        ></Input>
```

```
</div>
<div className="item">
  <span>
    Коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м<sup>2 .</sup> К)
  </span>
  <Input
    type="text"
    id="koef"
    onChange={this.inputHandler}
  ></Input>
</div>
<div className="item">
  <span>Тепловий ефект реакції, Дж/моль</span>
  <Input
    type="text"
    id="tepEffect"
    onChange={this.inputHandler}
  ></Input>
</div>
<div className="item">
  <span>
    Питома теплоємність водню, Дж/(моль <sup>.</sup> К)
  </span>
  <Input
    type="text"
    id="teploem"
    onChange={this.inputHandler}
  ></Input>
</div>
<div className="item">
  <span>Температура охолоджуючого агента, К</span>
  <Input
    type="text"
    id="temp"
    onChange={this.inputHandler}
  ></Input>
</div>
<div className="item">
  <span>Крок інтегрування методом Рунге-Кутта</span>
  <Input
    type="text"
    id="step"
    onChange={this.inputHandler}
  ></Input>
</div>
<div className="item">
  <Button
    className="btn btn-dark"
    id="calc"
```

```
        onClick={this.toggleCalculate}
      >
        Розрахунок
      </Button>
    </div>
  </TabPane>
  <TabPane tabId="2">
    <Button
      id="secondTogler"
      style={{ marginBottom: "1rem" }}
      className="btn btn-dark"
    >
      Підказка
    </Button>
    <UncontrolledCollapse toggler="#secondTogler">
      <Card>
        <CardBody>
                              Для того щоб відтворити результати у таблиці не
      обхідно перейти до
            вкладки "Введення даних", увести всі необхідні змінні та нати
      снути на кнопку "Розрахунок"
        </CardBody>
      </Card>
    </UncontrolledCollapse>
    <div>{result}</div>
  </TabPane>
  <TabPane tabId="3">
    <Button
      id="thirdTogler"
      style={{ marginBottom: "1rem" }}
      className="btn btn-dark"
    >
      Підказка
    </Button>
    <UncontrolledCollapse toggler="#thirdTogler">
      <Card>
        <CardBody>
                                    Для того щоб відтворити графічні залежнос
          ті необхідно перейти до вкладки "Введення даних", увести всі
          необхідні змінні та натиснути на кнопку "Розрахунок"
          <br/>
                              Для переходу між графіками потрібно натиснути н
      а колір відповідного графіку, щоб вичеркнути його з загального граф
      іку
        </CardBody>
      </Card>
    </UncontrolledCollapse>
    <div>{chart}</div>
  </TabPane>
```

```
            <TabPane tabId="4">
              <Card>
                <CardBody>
                  Дана програма розроблена для проведення розрахунку трубчастого
                  реактора ідеального витіснення процесу отримання аніліну.
                  <br/>
                                    Розрахунок проводиться з використанням числового
                  методу Рунге-Кутта.
                  <br/>
                                    Розробник: Студент 4-
                  го курсу НТУУ "КПІ" ім. Ігоря Сікорського, групи ХА-61.
                  <br/>
                  <big>Шевчук Артем</big>.
                  <br/>
                  <br/>
                  <div style={divStyle}>
                    <div className="telegramm"></div>
                    <span> https://t.me/Shalynishka</span>
                  </div>
                  <div style={divStyle}>
                    <div className="google"></div>
                    <span> Shalynishka225@gmail.com</span>
                  </div>
                  <div style={divStyle}>
                    <div className="phone"></div>
                    <span> +380971100619</span>
                  </div>


                </CardBody>
              </Card>
            </TabPane>
          </TabContent>
        </Col>
      </Row>
    );
  }
}

export default App;
```

Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6-2	Перепад тиску	Водень реактор	0,15 МПа	Щит керування	Вторинний показувальний і реєструвальний прилад з вбудованим пристроєм сигналізації, Івх=4…20 мА, Uвх=0…100 мВ	РМТ-39D/1	1	НПП «Элемер» с. Менделеєва Московська обл.
6-3	Перепад тиску	Трубчастий реактор	0,15 МПа	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний двоканальний з універсальними аналоговими входами, чотирма дискретними виходами; цифрова індикація	ІТМ-20У	1 од.	ТОВ “Мікрол”, м. Івано-Франківськ
9-1, 9-2, 9-3, 14-1, 14-2, 14-3	Концентрація	Анілін, трубопровід	97%, 98%	Місцевий, щит керування	Комплект концетратоміра: датчик, вт.перетвор., пульт, робочий діапазон тиску: 0-1 МПа; робочий діапазон температур: 1-70°С; межа похибки: 1,5-3%	КАЦ-021МС	2 компл.	ТОВ НВП “Техноприбор”, м. Москва

Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13-1, 13-2	Рівень	Нітробензол, напірний бак	5 м	Місцевий, щит керування	Комплект регулювання рівня: датчик, електронний регулятор-сигналізатор рівня рідини. Похибка спрацьовування за рівнем: 10 мм	ЕРСУ-3-1	1 компл.	ПНВП “Промприлад”, м. Житомир
HL1, HL2, HL3, HL4	-	-	220 В	Щит керування	Лампа електрична сигнальна	ЛС-47	4 од.	ІЕК Україна, м. Вишневе
15-1	Витрата	Водень, анілін, вода трубопровід	80 кг/год	Місцевий	Діафрагма камерна, P_y = 0,6 МПа; D_y = 50 мм; сталь 12Х18Н10Т	ДКС 0,6 - 50	1 од.	ТОВ НВП “Елемер”, м. Москва
16-1, 16-2, 16-3	Витрата	Анілін, вода Трубопровід	335 кг/год	Місцевий	Діафрагма камерна, P_y = 0,6 МПа; D_y = 50 мм; сталь 12Х18Н10Т	ДКС 0,6 - 50	1 од.	ТОВ НВП “Елемер”, м. Москва
16-3, 17-3, 18-3, 19-3	-	-	-	Щит керування	Електричний ПІД-регулятор; вх. сигнал 4-20 мА; вих. 4-20 мА, клас точності 0.25	МТМ 620	4 од.	ТОВ НВП “Микротерм”, м. Сєвєродонецьк

Продовження таблиці Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
15-1	Витрата	Водень, анілін, вода трубопровід	80 кг/год	Місцевий	Діафрагма камерна, P_y = 0,6 МПа; D_y = 50 мм; сталь 12Х18Н10Т	ДКС 0,6 - 50	1 од.	ТОВ НВП “Елемер”, м. Москва
16-1, 16-2	Витрата	Анілін, вода Трубопровід	335 кг/год	Місцевий	Діафрагма камерна, P_y = 0,6 МПа; D_y = 50 мм; сталь 12Х18Н10Т	ДКС 0,6 - 50	1 од.	ТОВ НВП “Елемер”, м. Москва
16-3, 17-3, 18-3, 19-3	Витрата	Анілін, вода Трубопровід	335,80,445, 50 кг/год	Щит керування	Вторинний показувальний і реєструвальний прилад, Івх= 0…5 мА; 4…20 мА; Uвх= 0…100 мВ	РМТ-39D/1	4 од.	АПП «Элемер», с. Менделеево Московская обл.