

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Шифр, назва

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Шифр, назва

Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 4 курсу
група ЕТ-21-1


Підпис

Н. О. Суліма
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

С. І. Пундик
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

О. Г. Тимошук
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

В. С. Неймак
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

2 06 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва


Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС



2.06.2025

З А В Д А Н Н Я НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Суліма Назар Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин

керівник роботи Пундик Сергій Іванович, к.т.н.

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 2.06.25

3. Вихідні дані до роботи характеристики зарядно-тренувального пристрою

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи. 2. Розробка стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин 3. Розрахунки стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин. Висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Прилади для дослідження енергетичних та експлуатаційних показників (ДО, А1). 2. Лабораторний стенд для дослідження енергетичних показників пральних машин (Е1, А1). 3. Стенд для дослідження пральних машин (Е3, А1). 4. Стенд для дослідження енергетичних показників пральних машин (ГК, А1). 5. Дослідження енергетичних та експлуатаційних показників (Д, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

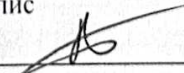
| Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|--|-------------------------------|----------|
| 1. Огляд та аналіз технічної літератури | | |
| 2. Розробка стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин | | |
| 3. Розрахунки стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин | | |
| 4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Студент


Підпис

Н.О. Суліма
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

С.І. Пундик
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»


1. Прізвище, ім'я та по батькові Суліма Назар Олександрович

2. Тема бакалаврської роботи Розробка стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____

4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 59

5. Ринок пральних машин для дому рясніє різноманітністю. Існують моделі з ремінним приводом та з прямим, з фронтальним і вертикальним завантаженням білизни, та багато інших аспектів, що розрізняють пральні машини. При виборі пральної машини кожен споживач найперше зважає на її економічність, тобто на можливість досягнення оптимальних результатів прання при використанні стандартних режимів роботи. Це пов'язано зі зміною способу управління: від енерговитратних командних апаратів до мікропроцесорного контролю. Таким чином, постає питання доцільності застосування сучасних пральних машин різних типів та конструкцій. В бакалаврській роботі здійснюється розробка стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики бакалаврської роботи, а саме основні параметри та експлуатаційні показники пральних машин. В другому здійснюється розробка стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин. В третьому розділі проведено розрахунки стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин.

Підпис студента 


" 2 " 06 2025 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 1 від "12" 06 2025 р.

Оцінка проекту ЕК 4,5/В
Рекомендації ЕК впровадження у навчальний процес


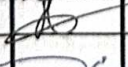

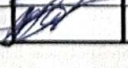
Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

" 12 " 06 2025 р.

ЗМІСТ

| | стор. |
|--|-------|
| Вступ..... | 5 |
| 1 Огляд та аналіз технічної літератури з тематики бакалаврської роботи..... | 6 |
| 1.1 Основні параметри пральних машин..... | 6 |
| 1.2 Основні експлуатаційні показники пральних машин..... | 11 |
| 1.3 Аналіз устаткування та робіт з вивчення сучасних пральних машин..... | 14 |
| Висновки до першого розділу..... | 22 |
| 2 Розробка стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин..... | 23 |
| 2.1 Підбір пральних машин..... | 23 |
| 2.2 Розробка структурної та електричної схеми стенда..... | 28 |
| Висновки до другого розділу..... | 30 |
| 3 Розрахунки стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин..... | 31 |
| 3.1 Розрахунок потужності споживання пральної машини..... | 31 |
| 3.2 Розрахунок спожитої потужності пральної машини LG..... | 40 |
| 3.3 Розрахунок спожитої потужності пральної машини SAMSUNG..... | 48 |
| Висновки до третього розділу..... | 56 |
| Висновки..... | 57 |
| Перелік джерел посилань..... | 58 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|---------------|---|------|---|------|------|-----------------|----|
| БРМА 25.00.00.000 ПЗ | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Змн. | Арк. | № доцм. | Підпис | Дата | Розробка стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин | Літ. | Арк. | Аркушів | |
| Розроб. | | Суліма Н. О. |  | | | | | 4 | 59 |
| Перевір. | | Пундик С. І. |  | | | | | | |
| Реценз. | | | | | | | | | |
| Н. Контр. | | Тимощук О. Г. |  | | | | | | |
| Затверд. | | Неймак В. С. |  | | | | | ХНУ зр. ЕТ-21-1 | |

ВСТУП

Енергоощадність у кожній галузі діяльності суспільства – один з першорядних векторів економічного поступу України. Виклик економії енергоресурсів набуває гостроти, адже виникає потреба у збільшенні обсягів виробництва та поліпшенні якості продукції, спираючись на застосування передової техніки й технологій. Це також стосується побутової техніки, адже кожен споживач намагається заощадити кошти. Загальна криза в економіці України негативно вплинула на розвиток споживчого ринку, викликавши значне зменшення обсягів виробництва та споживання. В сучасних умовах досягнення ефективного балансу кон'юнктури споживчого ринку ускладнюється через незадовільні умови формування попиту та пропозиції.

Ринок пральних машин для дому рясніє різноманітністю. Існують моделі з ремінним приводом та з прямим, з фронтальним і вертикальним завантаженням білизни, та багато інших аспектів, що розрізняють пральні машини. При виборі пральної машини кожен споживач найперше зважає на її економічність, тобто на можливість досягнення оптимальних результатів прання при використанні стандартних режимів роботи. Це пов'язано зі зміною способу управління: від енерговитратних командних апаратів до мікропроцесорного контролю. Відбувається зростання коефіцієнта корисної дії (ККД) приводу завдяки переходу на прямий привід для пасових машин. Також досліджуються енергоефективні режими прання, що реалізуються за допомогою програмного забезпечення. Таким чином, постає питання доцільності застосування сучасних пральних машин різних типів та конструкцій.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 5 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ З ТЕМАТИКИ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1 Основні параметри пральних машин

Перша модель пральної машини, що зійшла з конвеєра в Україні, побачила світ у 1939 році на Харківському електромеханічному заводі, проте масове виробництво розгорнулося в 60-х роках [10]. Основними критеріями, яким мали відповідати пральні машини, були:

- високий рівень вимивання бруду, мінімальне пошкодження (вितिрання) волокон тканини за будь-якого типу прання;
- гарантування відмінної якості полоскання білизни, що включає повне вимивання слідів миючих речовин та ефективне віджимання;
- суттєве зменшення обсягу ручної праці під час прання.

Оскільки ключовим критерієм є мінімізація використання ручної праці під час прання, всі пральні машини відповідно до ДСТУ 272-94 класифікуються як:

- ПМ – пральні машини, які не віджимають білизну;
- ПМР – пральні машини з ручними віджимачами білизни;
- ПМЦ – пральні машини, які виконують прання в одному баку, по чергово використовуючи активатор або центрифугу, закріплюючи їх на приводному валу.
- ПМЦ-В – пральні машини з автономною центрифугою в комплекті, яку вкладають у машину;
- ПМН – пральні машини напівавтоматичного типу, де оператор відповідає за окремі етапи прання;
- ПМА – пральні машини автоматичні, що використовують автоматизований алгоритм для управління циклами прання одягу, базуючись на заздалегідь визначених налаштуваннях.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 6 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- ПМАС – пральні машини автоматичні, які оснащено функцією додаткового сушіння речей гарячим повітрям[9].

З огляду на конструктивні риси, коректні машини класифікують за наступними критеріями:

- за номінальною завантаженістю – 1-9 кг;
- за кількістю ємностей для води – 1-2;
- за способом завантаження білизни – верхнє та фронтальне;
- за способом керування – електронні чи електромеханічні.

Сучасні пральні машини оцінюються за допомогою «класів», що визначають їхню ефективність. Системи цих класів розроблені німецьким інститутом "Stiftung Warentest". Її було узаконено директивою Європейського Союзу № 95/12 від 23.05.1995 року.

Система базується на семи класах, що їх визначає незалежна експертна установа, враховуючи три ключові категорії: якість прання, споживання енергії, ефективність віджиму, а також обсяг споживання води та електроенергії під час основного циклу роботи.

Витрати води й електроенергії ключові для оцінки економності пральної машини. Що менше води використовується під час прання, то менше потрібно миючих засобів і споживається електроенергії [1,2]. Стандарти визначають сім класів економності, які позначаються літерами від А до G (табл. 1.1). Чим клас вищий, тим менше енергії електричної споживається. Класи А, В та С свідчать про високу ощадливість авто, D та E - про середній показник економії, F та G - то неекономні моделі. Машини класу А виявляють суттєву економію води та електроенергії, порівнюючи з моделями класів F та G, на кожен кілограм випраної білизни.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 7 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 1.1

Класи енергоспоживання

| Клас енергоспоживання | Розхід електроенергії, кВтгод/кг |
|-----------------------|----------------------------------|
| A+ | < 0,17 |
| A | 0,17...0,19 |
| B | 0,19...0,23 |
| C | 0,23...0,27 |
| D | 0,27...0,31 |
| E | 0,31...0,35 |
| F | 0,35...0,39 |
| G | > 0,39 |

Для сушарок білизни також існує розподіл за класами енергоефективності, подано у табл. 1.2. Класифікація визначається значеннями споживання електроенергії, вираженого у кВт*год, на сушіння одного кілограма випраної та віджатої білизни.

Таблиця 1.2

Класи енергоспоживань для сушарок

| | |
|---|-------------|
| A | $\leq 0,55$ |
| B | 0,56-0,64 |
| C | 0,65-0,73 |
| D | 0,74-0,82 |
| E | 0,83-0,91 |
| F | 0,92-1,00 |
| G | $> 1,00$ |

Ефективність прання оцінюється класами від А до G, як показано у табл. 1.3. Чим вище клас, тим краще якість прання і, як правило, вища вартість пральної машини. Клас прання визначає, наскільки добре конкретна пральна машина, конкретної марки, справляється з виведенням плям та загальним очищенням тканин. Машини класу А гарантують бездоганний результат прання та дбайливе ставлення до одягу.

Таблиця 1.3

Класи якості відпирання

| Клас якості прання | Індекс якості прання |
|--------------------|----------------------|
| A | > 1,03 |
| B | 1,03...1,00 |
| C | 1,00...0,97 |
| D | 0,97...0,94 |
| E | 0,94...0,91 |
| F | 0,91...0,88 |
| G | < 0,88 |

Ступінь віджимання – це показник того, якою буде білизна після відтискання. Він визначається залишком вологи та тим, чи придатний матеріал для прасування. На цей показник впливають: швидкість обертання барабана, його розмір, вид тканини та тривалість віджимання. Для віджиму різноманітних видів тканин та білизни необхідна найкраща швидкість обертання барабана. Наявність у пральній машині можливості плавно змінювати швидкість обертання барабана відкриває простір для вибору ідеальних параметрів віджиму. Це актуально для будь-якого виду текстилю, незалежно від його складу чи структури. Для віджиму речей із тонких синтетичних матеріалів, що не вимагають прасування, досить 350 об/хв. Для делікатних, таких, що легко зминаються, та тонкої білизни, оптимально 400-

600 об/хв. Бавовняні та синтетичні тканини найкраще віджимати на швидкості 800-900 об/хв. Для грубих тканин, наприклад, джинсів, підійде 1000 об/хв. Махрові рушники та халати слід віджимати на 1200 об/хв.

Для більшості матеріалів, які підлягають пранню в автоматичних пральних машинах, оптимальний режим віджиму становить від 600 до 800 обертів за хвилину. Якщо віджим виконується на швидкості менше 600 обертів за хвилину, то важкі речі, скоріш за все, доведеться дотискати вручну. Після віджиму на 700 обертах за хвилину, випрану білизну можна буде прасувати вже через 2-3 години після завершення циклу прання. Після віджиму на 1000 обертів за хвилину, одяг варто досушити приблизно годину. Збільшуючи швидкість віджиму до 1000-1500 обертів за хвилину, відчутну різницю у ступені віджатості можна спостерігати лише на щільних тканинах. Якщо віджимати на 1800 обертів за хвилину, білизна виходить практично сухою. Перевага вищої швидкості віджиму полягає в тому, що разом з надмірною вологою виводяться залишки пральних засобів. Це має особливе значення для осіб з чутливою шкірою або схильністю до алергії. Підвищення швидкості обертання барабана понад 1500 обертів за хвилину призводить до помітного зростання витрат на прання. До того ж, машини з такою швидкістю коштують значно дорожче. При високих обертах тканина більше мнеться, і її складніше буде прасувати.

Стандарти визначають 7 класів ефективності віджиму, від А до G, див. табл. 1.4. Чим вище клас, тим більша швидкість обертання барабана, краще віджим і, відповідно, вища ціна пральної машини. Машини класу А здатні розкручувати барабан зі швидкістю від 1000 до 1800 обертів за хвилину. У класі G оберти барабана сягають 400 об/хв. Віджим – це фінальний етап прання.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 10 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Клас ефективності віджиму

| Клас ефективності віджиму | Індекс ефективності віджиму, % |
|---------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2 |
| A | < 45 |
| B | 45...54 |
| C | 54...63 |
| 1 | 2 |
| D | 63...72 |
| E | 72...81 |
| F | 81...90 |
| G | > 90 |

1.2 Основні експлуатаційні показники пральних машин

До ключових експлуатаційних характеристик зараховують [6,7]:

- максимальне завантаження;
- витрати електроенергії;
- якість прання.

Під максимальним завантаженням пральної машини розуміють об'єм білизни у кілограмах, який вона здатна випрати за один цикл прання.

Автоматичні пральні машини з барабаном призначені для прання від 3 до 11 кілограмів білизни. Найбільш популярні моделі мають номінальне завантаження 5 кілограмів, що ідеально підходить для сім'ї з чотирьох осіб.

Водний модуль визначається як співвідношення об'єму мийного засобу, необхідного для прання, до ваги завантаженої білизни:

$$V_m = V_p / M_b \quad (1.1)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 11 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

де, V_p — об'єм миючого розчину; M_6 — маса завантаженої білизни.

Більшість пральних машин автоматів самостійно визначають об'єм води, необхідний для прання, зважаючи на об'єм завантаженої білизни.

Питома місткість прального бака (барабана) розраховується як частка від ділення загального внутрішнього об'єму бака (барабана) на вказане виробником максимальне завантаження сухими речами. Для машини барабанного типу, цей показник сягає 12-16 $\text{дм}^3/\text{кг}$, натомість для активаторних – 23-25 $\text{дм}^3/\text{кг}$.

До функціональних характеристик пральних машин належать: універсальність, відпирання тканин, тобто ефективність прання, віджимання, вплив на зношення матеріалів та продуктивність самого пристрою.

Універсальність пральних машин визначається спектром типів текстилю, які можна обробляти в машині, зважаючи на їхню волокнисту структуру, та враховуючи мінімізацію їхнього зносу. Більшість барабанних пральних машин вважаються універсальними.

Основна функціональна риса пральних машин – це прання. Якість прання визначається конструкцією (тобто тим, як активується миючий розчин), обраним режимом, типом прального засобу, рівнем забруднення тканин з урахуванням їхнього складу волокон та жорсткістю води. Показником якості процесу прання (відповідно до стандартів) має слугувати середні значення коефіцієнтів відбивання світла зі зразків, які були штучно забруднені та випрані.

Текстильні матеріали, що використовуються у виробництві різноманітних виробів, зазвичай формуються із комбінованих волокон. Воду для прання піддають попередній підготовці: вводять хімічні речовини, що надають необхідну твердість та лужність. Мийні засоби здійснили кардинальний стрибок: від примітивної золи до сучасних синтетичних мийних засобів (СМЗ), що складаються з комбінації активних речовин з

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 12 |

різним впливом. Процес забруднення різних предметів визначається поверхневою структурою волокон, тобто їх фізико-хімічними характеристиками.

Всі види забруднень містять в собі дві основні частини – неорганічну та органічну. До неорганічних відносяться: пил, пісок, глина, сажа, барвники, солі та іржа. Органічних забруднювачів набагато більше. До таких належать: білкові з'єднання, олії, органічні кислоти, фарбники, помада, лаки, солі, дубильні речовини – кава, чай та подібне. Вони важко зникають при чищенні у водних розчинах синтетичних мийних засобів (СМЗ).

Механізм затримання забруднення на поверхні предметів може бути різноманітним. Найбільш стійко забруднення закріплюються хімічними сполуками [13,14].

Внаслідок процесу прання необхідно усунути усі речовини, що ввібралися у текстильні вироби під час їх використання. Паралельно з цим, потрібно забезпечити досягнення сукупності характеристик і властивостей, які будуть відповідати естетичним вподобанням клієнта.

Сорбція шкідливих речовин, як і ліквідація їхньої адгезії до поверхні виробу під час водної обробки, зумовлюється термодинамічним параметром системи, що прагне до найменшої вільної поверхневої енергії Гіббса [15].

Отже, взаємодія будь-якого типу стає реальністю лише за умови, коли вона веде до зниження вільної енергії Гіббса. При сорбції забруднювачів ентальпія новоутвореної системи знижується. Це відбувається внаслідок формування водневих або ван-дер-ваальсових зв'язків. Отже, спершу реагують ті зв'язки, котрі мають найбільшу енергію, але беручи до уваги ймовірність зіткнення молекули сорбату з певним місцем сорбції на волокні. Цей принцип властивий будь-якій фізичній формі забруднення.

Значні складнощі у видаленні забруднень виникають через тривалу взаємодію полімерів двох типів. В нашому випадку це стосується текстильних волокон та високомолекулярних рідин. Внаслідок взаємної, або

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 13 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

односторонньої дифузії ланцюгових молекул відбувається проникнення однієї речовини в структуру іншої, або ж їхніх учасників, межа між клеєм і підкладкою зникає, виникають так звані спайки, зруйнування яких, і не завжди, під час прання досягається виключно використанням хімічного препарату для відбілювання.

Чим глибше бруд проник углиб волокна, тим складніше його прибрати за будь-яких водних процедур, незалежно від того, що спричинило проникнення. Цим пояснюється, чому важко відіпрати старі, затерті речі, а також ті, що тривалий час зберігалися брудними.

1.3 Аналіз устаткування та робіт з вивчення сучасних пральних машин

1.3.1 Дослідний комплект K506

Вимірювальний комплект K506 переносного типу [27,33] використовується для вимірювання енергетичних характеристик, а саме струму, напруги, активної та реактивної потужності у трифазних електричних колах змінного струму.

Вмонтовані в комплекті вимірювальні прилади K506 відповідають класу точності 0,5. Номінальний струм становить: 1А, 2,5А, 5А, 10А, 25А, 100А. Номінальна напруга: 100В-125В, 250В, 375В, 600В.

Вимірювальний комплект K506 розроблений для вимірювання сил струму, напруги, активної та реактивної потужності в трипровідних електричних колах трифазного струму. Він ефективний як за рівномірного розподілу навантаження по фазах, так і за нерівномірного.

Вимірювальний комплект доступний у двох версіях: K506 – для використання в закритих, сухих, опалюваних приміщеннях помірного клімату з температурою повітря від 10 до 35 °С і відносною вологістю до 80% (за 30 °С); K506Т4.1 – тропічна версія для використання в закритих приміщеннях з температурою від 1 до 45 °С і відносною вологістю до 80%

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 14 |

(за 25 °С) в умовах сухого тропічного клімату, а також у приміщеннях з кондиціонуванням повітря у вологому тропічному кліматі.



Рисунок 1.3 – Дослідний комплект К506

Точність амперметра, що відноситься до класу 0,5, лишається гарантованою навіть за перевантаження на величину до 20%. Це означає, що прилад коректно вимірюватиме показники за межами робочого діапазону шкали – у межах від 100 до 120 її поділок.

Діапазон робочих частот знаходиться у межах від 40 до 65 герців. Номінальне значення струму у паралельному колі блоку К506, коли відсутній вольтметр, дорівнює 5 міліамперам; якщо ж вольтметр підключено, струм сягає 11,25 міліампер.

Номінальний коефіцієнт потужності становить 1,0. Граничні показники робочої частини шкали ватметрів, що використовуються для вимірювань в однофазних мережах, представлені в таблиці 1.5.

Граничні показники робочої частини шкали ватметрів

| | | | | | | | | |
|-------------------------|---|------|------|------|---|------|------|------|
| Номінальний струм, А | Номінальна потужність кВт (кінцеве значення робочої частини шкали) при номінальних напругах або номінальній області напруг комплекту при: | | | | | | | |
| | паралельному включенні первинних обмоток, вбудованих трансформаторів струму | | | | послідовному включенні первинних обмоток, вбудованих трансформаторів струму | | | |
| | 100В- 125В | 250В | 375В | 600В | 100- 125В | 250В | 375В | 600В |
| 1А | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 1,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,5 |
| 2,5А | 0,5 | 1 | 1,5 | 2,5 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1,25 |
| 5А | 1 | 2 | 8 | 5 | 0,5 | 1 | 1,5 | 2,5 |
| 10А | 2 | 4 | 6 | 10 | 1 | 2 | 3 | 5 |
| 25А | 5 | 10 | 15 | 25 | 2,5 | 5 | 7,5 | 12,5 |
| 100А | 20 | 40 | 60 | 100 | 10 | 20 | 30 | 50 |

1.3.2 Прилад КФК-3-01

Прилад КФК-3-01 (рис. 1.2) розроблений для вимірювання показників пропускання світла, оптичної густини прозорих рідких розчинів та швидкості їх змін [11, 14], разом з тим, його використовують для визначення концентрацій розчинів. Відзначається незначним відхиленням у вимірюваннях та високою спектральною роздільною здатністю. Використання дифракційних ґраток у поєднанні з мікропроцесорною системою гарантує широкий і безперервний спектральний діапазон у межах від 315 до 990 нм.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 16 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 1.2 – Прилад КФК-3-01

Застосовується: у медичній практиці для вимірювання біохімічних параметрів крові за методом кінцевої точки, для визначення біохімічних показників крові кінетичним способом, у хімічній галузі, у гірничодобувній промисловості, у металургійній промисловості, на цукрових заводах, у сільському господарстві, в мікропроцесорній системі, забезпечуючи вирішення семи задач:

- вимірювання та реєстрація сигналу з неосвітленого фотоприймача;
- градуювання фотометричного приладу;
- визначення оптичної густини;
- вимірювання коефіцієнта пропускання;
- вимірювання концентрації;
- визначення швидкості зміни оптичної густини;
- впровадження коефіцієнта факторизації.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 17 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1.3.3 Прилад ПЕ-5400ВІ

ПЕ-5400ВІ (рис.1.3) пристрій для вимірювання якості прання. Зберіг усі позитивні риси базової моделі, а в деяких аспектах перевершив конкурентів [12].



Рисунок 1.3 – Прилад ПЕ-5400ВІ

Особливістю цього пристрою є значно вища стабільність отриманих показників у порівнянні з широко вживаними аналогами. Універсальний тримач для кювет, що дозволяє встановлювати: кювети шириною 24 мм (стандарт КФК) з довжиною від 5 до 100 мм; європейські кювети довжиною від 5 до 50 мм, використовуючи адаптер-заглушку. Для спрощення процедури розміщення кювет передбачено їх розташування у шаховому порядку, не впливаючи при цьому на метрологічні параметри. Набір з чотирьох контрольних світлофільтрів: три для перевірки фотометричних властивостей та один для калібрування шкали довжин хвиль. Наявність у комплекті універсальних адаптерів-заглушок, призначених для: компенсації темного струму, розміщення єврокювет та встановлення контрольних світлофільтрів. Програмне забезпечення, що постачається разом з пристроєм, для персонального комп'ютера дає змогу:

а) вносити показники вимірювань безпосередньо з пристрою, з наступним опрацюванням згідно з настановами ПНДФ, отримуючи кінцевий результат у потрібному вигляді без додаткових обчислень;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 18 |

б) здійснювати кінетичний аналіз, встановлюючи конкретний інтервал для вимірювань;

в) внесення даних з пристрою у комірки Microsoft Excel надає користувачеві гнучкість для самостійного програмування алгоритмів обробки отриманої інформації.

Збільшене кюветне відділення, що передбачає розміщення до чотирьох кювет завширшки 24 мм (стандарт КФК), завдовжки до 100 мм. Програмне налаштування довжин хвиль (за допомогою клавіатури приладу або комп'ютера). Помилка налаштування довжини хвилі не перевищує ± 1 нм. Автоматичне коригування темного струму у випадку зміни довжини хвилі. Режим кількісного аналізу з можливістю побудови градувальних графіків за еталонними зразками або коефіцієнтами, що вводяться. Збереження в пам'яті приладу до 200 наборів даних та до 200 градувальних кривих.

1.3.4 Прилад ЮНІКО 2100

Однопроменевий спектрофотометр ЮНІКО 2100 [15], що розрахований на діапазон хвиль 325-1000 нм, є добре пристосованим до українських реалій і виготовляється з урахуванням потреб лабораторій.

За своїми технічними параметрами та функціоналом, ЮНІКО 2100 є повноцінною заміною для фотометрів і фотоелектроколориметрів ФЕК та КФК.

На них можливо здійснювати будь-які фотометричні приклади кількісного аналізу, що передбачені для вимірювань як у видимій спектральній ділянці, так і в ближній ультрафіолетовій (рис. 1.4).

Вивірена оптична система та нескладна конструкція гарантують тривалу службу пристрою протягом багатьох років. Обслуговування обмежується лише час від часу заміною лампи, яку можна здійснити самостійно.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 19 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |



Рисунок 1.4 – Прилад ЮНІКО 2100

Основні технічні параметри подано у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6

Основні технічні параметри ЮНІКО 2100

| 1 | 2 |
|------------------------------------|--|
| Спектральний діапазон довжин хвиль | 325-1000 нм |
| Смуга пропущення | 5 нм |
| Оптична система | Однопроменевий, дифракційні решітки 1200 штрихів/мм |
| Похибка установки довжини хвилі | 2 нм |
| Повторюваність установки хвилі | 1 нм |
| Фотометричний діапазон | 0-125%Т, -0.1-2.5А, 0-1999С (1-1999F) |
| Фотометрична точність | 0.004А – 0.5А |
| Розсіяне світло | <0.3% Т – 340 нм – 400 нм |

| 1 | 2 |
|------------------------|----------------------------------|
| Стабільність | 0.002А/год – 500 нм |
| Відділення для кювет | Достатнє для 3-х кювет до 100 мм |
| Дисплей | 2-х рядковий, 9 знаків |
| Програмне забезпечення | Опція |
| Джерело світла | Вольфрамова галогенна лампа |
| Живлення | 115\230 В |
| Габарити, вага | 470x400x140 мм, 12 кг |

1.3.5 Новітні дослідження пральних машин

Для дослідів сучасних пральних машин використовують еталонну машину Wascator, виробництва компанії Electrolux – вона єдина такого типу, що наразі розміщена на території України [9]. Еталонний зразок обладнання закріплено на окремому бетонному фундаменті, за зовнішнім виглядом він лише нагадує типову побутову техніку, див. рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Еталонна пральна машина Wascator

Перед тим, як розпочати процес прання, у відповідний слот на панелі керування пральної машини Wascator вставляється магнітна картка. На цій картці міститься заздалегідь запрограмована стандартна програма прання,

яка повністю відповідає європейським нормам. Машина автоматично контролює виконання цієї програми, не дозволяючи жодних змін чи стороннього втручання. Перед кожним дослідженням здійснюється прискіпливе калібрування приладу – під час його функціонування навіть найменший дотик, як-от покласти аркуш паперу на корпус, є неприпустимим, надчутлива механіка миттєво на це відреагує. Підсумки праці цієї машини збігаються до четвертого знаку, що відповідає точності до сотих часток відсотка. Пральна машина Wascator є еталоном не тому, що пере краще за інші, бо ж це звичайна машина з віджимом 800 обертів на хвилину. Вона просто пере щоразу однаково, ідеально відтворюючи результати. Еталоном її робить також стабільність результатів під час порівняльних випробувань, на відміну від машини, яку тестують. Неповторно низький розкид показників дає машині Wascator позицію орієнтира для інших машин.

Умови експериментів вимагають використання води з чітко заданими характеристиками: температура $15\pm 2^{\circ}\text{C}$, карбонатна жорсткість $2,5\pm 0,2^{\circ}\text{моль/л}$ [29]. Система водопідготовки відповідає за стабільність цих параметрів упродовж досліджень.

Висновки до першого розділу

Було здійснено аналіз наявних пральних машин, їхню систематизацію за конструкцією та відповідно до класів енергоефективності.

Стандарти передбачають сім класів енергоефективності, позначених літерами латинської абетки від А до G. Чим вищий клас, тим менше приладом споживається електроенергії.

Визначено ключові експлуатаційні властивості пральних машин.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 22 |

2 РОЗРОБКА СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОБУТОВИХ ПРАЛЬНИХ МАШИН

2.1 Підбір пральних машин

Для аналізу енергоефективності та робочих характеристик було вибрано пральну машину LG F8068LD, що оснащена мотором з прямим приводом для обертання барабана, а також пральну машину SAMSUNG P1091, в якій застосовано універсальний двигун та ремінну передачу. Ці машини було відібрано, щоб зіставити ефективність прямого приводу проти приводу з ремінною передачею. Електричний двигун у машині з прямим приводом встановлено безпосередньо на вісь барабана. Через відсутність елементів передачі привід цієї машини стає компактним, помітно зменшуючи шум і вібрації, а також дозволяючи оптимізувати споживання електроенергії.

Потужний та витривалий електродвигун з прямим приводом збудований зі статора, на якому закріплено 36 обмоток індуктивності, та ротора, що є постійним магнітом (рис. 2.1). Двигун, без щіток, функціонує безшумно, а у зібраному вигляді з баком і барабаном утворює компактну систему.



Рисунок 2.1 – Прямий привід компанії LG

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 23 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

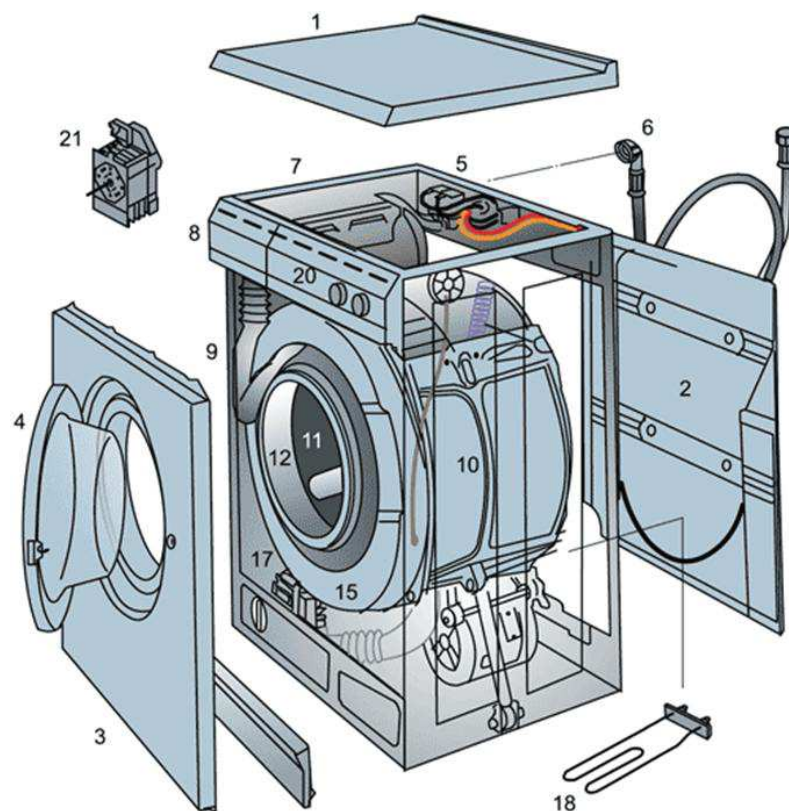
Але незалежно від приводу барабана, чи то прямого, чи ремінного, його ключова задача – гарантувати обертання барабана у двох основних режимах роботи пральної машини: прання та віджим. Під час процесу прання барабан виконує повільний реверсивний рух.

Прямі приводи – це крокові двигуни. Звісно, для їхньої роботи потрібна ще й окрема схема управління (частина електронного контролера ПМ). Двигун здатен видавати максимальний крутний момент у стані спокою (за умови живлення обмоток), гарантуючи швидкий запуск, зупинку та зміну напрямку обертання. Він має високу надійність, зумовлену відсутністю щіток, а його тривалість експлуатації, по суті, залежить від ресурсу підшипників. Однозначна залежність позиції від сигналів на вході дозволяє здійснювати позиціювання без використання зворотного зв'язку, а також досягати надзвичайно малих швидкостей обертання при роботі з навантаженнями. Приєднаний безпосередньо до вала двигуна, без застосування проміжного редуктора, стає можливим широкий діапазон швидкостей обертання. Частота цих обертів прямо пропорційна частоті вхідних імпульсів. Для покращення показників енергоефективності та загальних властивостей функціонування, варто звернути увагу на систему з прямим приводом та кроковим двигуном. Ці компоненти відзначаються високим рівнем надійності та тривалим терміном експлуатації, що є вагомою перевагою. Пральна машина, обладнана системою прямого приводу, демонструє значно кращі акустичні показники, забезпечуючи тиху та комфортну роботу.

Пральної машини SAMSUNG P1091, зображеної на рис. 2.2. Під верхньою кришкою 1, задньою та передньою стінками корпусу 2, 3 і люком для завантаження 4, які прикріплені до рами конструкції, розміщено всю робочу частину машини та органи управління. Під капотом пральної машини розташований блок електромагнітних клапанів, що має 5 елементів. Роль електромагнітного клапана полягає в тому, щоб в заданий момент часу

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 24 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

впустити воду в машину. Вода надходить до нього через заливний шланг, що має 6 номер. Проходячи крізь вузький прохід клапана, вода потрапляє в дозатор мийних засобів 7. Зі спини до дозатора під'єднані гумові шланги для подачі води, а спереду в ньому розташована висувна секція – це бункер 8. У відсіки, куди ми поміщаємо пральний порошок для попереднього та основного прання, а також інші засоби - відбілювачі та таке інше. В залежності від конкретної фази прання, вода спрямовується у відповідний відсік бункера завдяки спеціальному розподільчому механізму.



1 – верхня кришка, 2 – задня стінка корпусу, 3 – передня стінка, 4 – завантажувальний люк, 5 – блок електромагнітних клапанів, 6 – шланг заливу води, 7 – дозатор мийних засобів, 8 – бункер дозатора, 9 – гумовий патрубков, 10 – бак, 11 – барабан, 12 – ущільнювач люка, 13 – пружина підвіски бака, 14 – амортизатор, 15 – противага, 16 – пресостат, 17 – зливний насос, 18 – нагрівальний елемент (ТЕН), 19 – електродвигун, 20 – панель управління, 21 – командо апарат

Рисунок 2.2 – Пральна машина з фронтальним завантаженням білизни

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 25 |

Звільнивши бункер від миючого засобу, вода (точніше, розчин миючого засобу) через гумовий патрубок 9 потрапляє до бака 10 – це ємкість, де безпосередньо відбувається процес прання. Всередині бака обертається барабан 11, що має вигляд перфорованого циліндра з нержавіючої сталі. Білизну закладають у барабан через загрузочний люк 4, а щоб вода не витікала з машини після його закриття, зріз бака обладнано спеціальною манжетою – гумовим ущільнювачем 12.

Система підвіски бака включає пружини 13 зверху та амортизатори 14 внизу. Параметри жорсткості пружин та характеристики амортизаторів ретельно підбираються для максимального гасіння вібрацій, які виникають під час обертання барабана з білизною. Щоб пральна машина не "танцювала" під час роботи, до бака прикріплюється важка противага 15, виготовлена з бетону або чавуну.

Процес наповнення бака водою контролює невеличкий пристрій під назвою пресостат, або реле рівня, номер 16. Його головна функція – підтримувати необхідний рівень води в баку, потрібний для прання білизни, яку помістили в машину. Сучасні пральні машини вміють автоматично регулювати об'єм води, що надходить у бак, відповідно до об'єму білизни, завантаженої в барабан.

Воду необхідно не лише заливати в бак, а й зливати в каналізацію після завершення циклу прання. Це завдання виконує зливний насос, який позначено як 17 і розташовано під баком пральної машини. У сучасних пральних машинах насос зазвичай оснащений фільтром-уловлювачем. Цей фільтр затримує дрібні предмети, наприклад, гудзики, скріпки, зубочистки та інші невеликі речі. Для того, щоб мати доступ до фільтра, у цокольній частині машини передбачено невеликий лючок.

Зливний насос нерідко відіграє ще одну важливу роль: він відповідає за рециркуляцію води, скеровуючи її до верхньої частини бака, а в деяких випадках і в бункер дозатора. У деяких випадках для цього машина

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 26 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

обладнана додатковим насосом, який виконує функцію рециркуляції або підкачування.

Таблиця 2.1

Технічні характеристики пральних машин

| Технічні характеристики машини | LG F8068LD | SAMSUNG P1091 |
|--|-----------------------------------|----------------------------------|
| Номінальна напруга | 220 В | 220 В |
| Номінальний струм | 10 А | 10 А |
| Номінальна потужність електронагрівника | 1700-2000 Вт | 2000-2400 Вт |
| Потужність з мережі | | |
| Клас енергоспоживання | А | А |
| Клас прання | А | А |
| Клас віджиму | В | В |
| Кількість води що заливається в бак – При нормальному режимі прання | 48 л | 54 л |
| Час самого тривалого режиму прання – при змішаному водоспоживанні – при холодному водоспоживанні | 120 хв 150 хв | 120 хв 150 хв |
| Частота обертання барабана – при пранні – при віджиманні | 35 об/хв. 800/600/400 об/хв | 36 об/хв 800/600/400 об/хв |
| Номінальне завантаження сухої білизни | 5 кг | 5 кг |
| Якість прання, не менше | 58 % | 62% |
| Витрата міцності тканини, не більш | 12 % | 15% |
| Залишкова вологість, не більш | 8 % | 10% |
| Функція контролю кількості піни | + | + |
| Маса машини | 46 кг | 75 кг |

2.2 Розробка структурної та електричної схеми стенда

В основі експериментальних досліджень лежить мета: встановити енергетичні показники, беручи до уваги конструктивні характеристики приводу пральної машини.

Експериментальна установка, призначена для досліджень, складається з: трифазного електричного лічильника, трансформаторів струму, автоматичного вимикача, трифазних та однофазних розеток. Структурна схема стенду наведена на рис. 2.3.

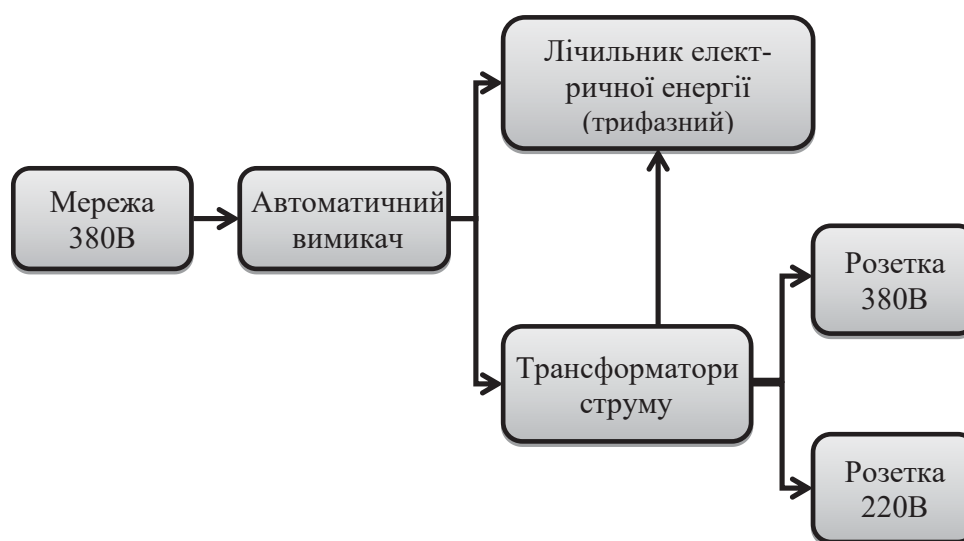


Рисунок 2.3 – Структурна схема стенду для дослідження енергетичних показників пральних машин

Стенд для вивчення енергетичних характеристик сучасних пральних машин живиться від трифазної електромережі. Після цього, через автоматичні вимикачі, напруга подається на трансформатори струму, що мають коефіцієнт трансформації 4. Далі напруга надходить до лічильника, а також до трифазних та однофазних розеток.

Схема електрична принципова стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин показано на рис. 2.4.

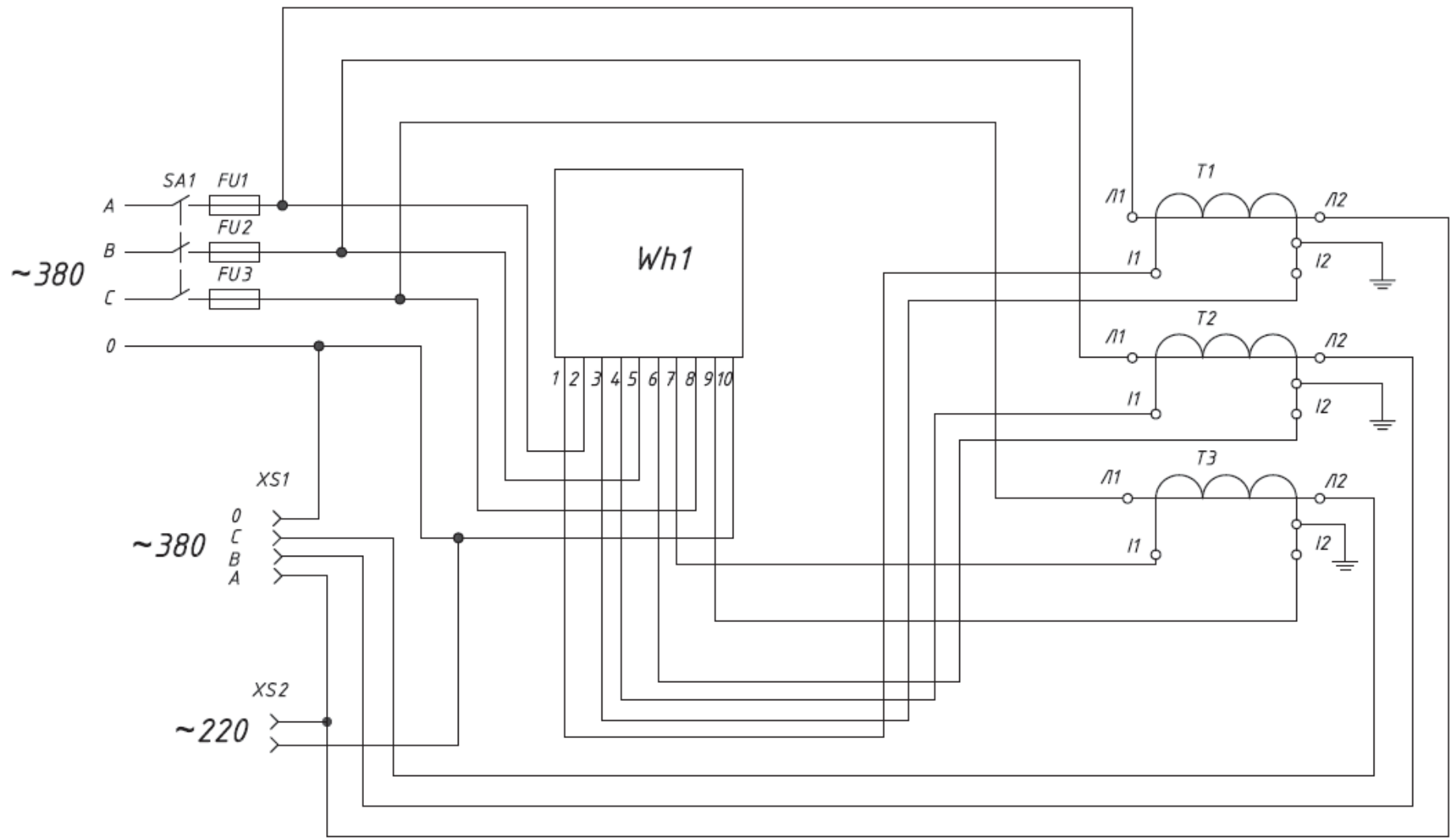


Рисунок 2.4 – Схема електрична принципова стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин

На рис. 2.4 показаний перемикач продуктивності, трифазний електричний вимірювальний пристрій ET2B5E8Ulit-Elvin, коефіцієнт перетворення 4, трифазні розетки та три трансформатори струму з однією фазою.

Висновки до другого розділу

Було розроблено структурну та електричну схему стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин

Експериментальна установка, призначена для досліджень пральних машин, складається з: трифазного електричного лічильника, трансформаторів струму, автоматичного вимикача, трифазних та однофазних розеток.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 30 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3 РОЗРАХУНКИ СТЕНДА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОБУТОВИХ ПРАЛЬНИХ МАШИН

3.1 Розрахунок потужності споживання пральної машини

Математична модель була розроблена для обчислення споживання електроенергії робочих барабанів.

У пральній машині момент корисного опору в режимі прання – це стан, при якому маса одягу і рідина в барабані досягають рівноваги [10].

Коли барабан обертається, одяг всередині нього піднімається завдяки дії гребінця. Коли одяг піднімається, частина рідини також піднімається. Під час обертання маса одягу та рідини в барабані набуває циліндричної форми, поперечний переріз якого відповідає профілю дугового відрізка ABD на рисунку 3.1, а, дещо відхиляється від вертикальної лінії в напрямку обертання. Під час обертання центр тяжіння C_0 знаходиться в положенні C , на відстані $e = a \sin \beta$ від осі обертання.

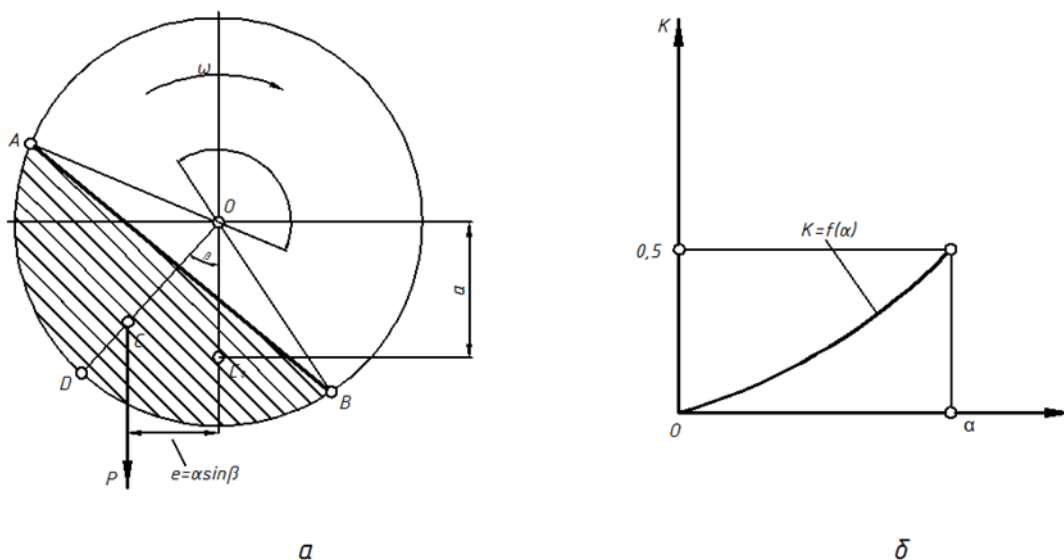


Рисунок 3.1 – Схема навантажень барабану пральної машини

Величину сумарного моменту опору обертанню барабана, що виникає під час усталеного руху, визначають за формулою:

$$M_c = M_{пол} + M_{в.с.} \quad (3.1)$$

де $M_{пол} = M_1 + M_2 + M_3$ ($M_1 + M_2 + M_3$) - сукупний момент від сили тяжіння, що відповідає масі білизни та частки вільної робочої рідини, яка піднімається гребенями, плюс момент, що виникає внаслідок удару білизни об рідину;

$M_{в.с.} = M_4 + M_5$ M_4 - вплив сил тертя у місцях опори та ущільнень підшипників;

M_5 - момент тертя, що виникає між барабаном та рідиною, а також опір, який відчуває кільцевий шар рідини під час руху у проміжку між обертовим барабаном та нерухомою ємністю.

Момент $M'_{пол} = M_1 + M_2$ визначається з вимоги рівноваги маси пральної білизни та рідини, котра займає простір циліндричного сегмента ABD, що незначно зсунений від вертикалі в напрямку обертань на кут β .

Тоді:

$$M'_{пол} = P \cdot e = P \cdot a \cdot \sin \beta \quad (3.2)$$

де a – віддаль від центру ваги частини до осі O (значення "a" визначається коефіцієнтом експлуатації барабана);

P – сила тяжіння циліндричного сегмента, виражена в Ньютонах.

$$P = (m_{води} + m_{біл}) \cdot g \quad (3.3)$$

$$k = \frac{V_1}{V_2} = \frac{S_1 l}{S_2 l} = \frac{R^2(\alpha - \sin \alpha) l}{2\pi R^2 l} = \frac{\alpha - \sin \alpha}{2\pi} \quad (3.4)$$

де V_1 і V_2 – об'єми відповідно сегмента і барабана;

S_1 і S_2 – площі сегмента і барабана;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 32 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

l і R – довжина і радіус барабана;

α – центральний кут сегмента.

Графіки функцій:

$$k = f(\alpha) = f_1(v_y, v_{ж});$$

де $v_{ж}$ – рідинний модуль, $v_{ж} = 5 - 7$ л/кг показані на рис 2.1,б,

v_y – питома ємність білизни, $v_y = 14 - 15$ дм³/кг [11].

Використовуючи поданий графік, визначасмо величини центральних кутів α сегментів для кожного k . Потім, з використанням геометричних залежностей величини e та площі сегмента, виражених через кут α , обчислюємо відстань від осі обертання барабана до центру мас C сегмента за такою формулою:

$$e = \frac{D}{6} \left(1 + 2 \cos \frac{\alpha}{2} \right) \quad (3.5)$$

Величина кута β знаходиться у прямій залежності від кількості завантаженого у барабан, габаритів білизни, та особливостей технології прання. Вона визначається кутом повороту барабана, при якому білизна, відокремлюючись від стінок, починає падати. Відрив білизни стає реальним, коли сила тяжіння і відцентрова сила перебувають у певному взаємозв'язку, зумовленому робочою частотою обертання барабана.

$$n_{раб} < n_{кр} \quad (3.6)$$

Спостереження показали, що коли досягається усталена швидкість џуст барабана, маса, яка обробляється в барабані, розміщується під кутом $\beta < \pi/2$. Зазвичай, під час розрахунків беруть $\beta \approx 60^\circ$.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 33 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Момент M_3 оцінюється коефіцієнтом удару (динамічності) $k_d=1,1-1,2$ в величині моменту $M'_{пол}$, тоді

$$M_{пол} = (M_1 + M_2)k_d \quad (3.7)$$

Приймаємо коефіцієнт удару (динамічності) $k_d=1,15$ [10]

Запишемо отриману формулу (3.7) з підстановкою формул (3.3), (3.4) і (3.5):

$$M_{пол} = \frac{P \cdot D(1+2\cos\alpha/2)}{6} \cdot 1,15 \quad (3.8)$$

Момент тертя, що виникає в опорах барабана, визначається за допомогою формули:

$$M_{тр} = P_T f r \quad (3.9)$$

де P_T – геометрична сукупність сил, що впливають: маса барабана, рідина, білизна та натягнення паса;

f – коефіцієнт тертя в підшипниках (для шарико-підшипників $f = 0,001 - 0,004$ [10]);

r – радіус цапфи вала.

Геометричну суму сил обчислюємо за таким виразом:

$$P_2 = (m_{води} + m_{біл} + m_{бар}) \cdot g + F_{напр} \quad (3.10)$$

Запишемо рівняння (3.9), беручи до уваги вираз (3.10):

$$M_{тр} = [(m_{води} + m_{біл} + m_{бар}) \cdot g + F_{напр}] \cdot f \cdot r \quad (3.11)$$

Момент, необхідний для подолання опору в манжеті, визначається за формулою:

$$M'_{mp} = Pr'z \quad (3.12)$$

де $P = 2p'\pi r'l$ – сила тертя ущільнень манжети (p' – сила тертя, віднесена до одиниці робочої поверхні набивки, l – довжина ущільнення манжети);

r' – радіус вала, поміщений в манжету;

z – кількість манжет.

Для обчислення моменту, потрібного для подолання опору в манжетах, використовуємо формулу, яка враховуватиме всі необхідні параметри, беручи до уваги максимальне можливе заповнення барабана.

$$M'_{mp} = 0,5F_{тиску} \cdot f_{манж} \cdot r_v \cdot l_{манж} \cdot z = 0,5V_{max}^2 \cdot g \cdot f_{манж} \cdot r_v \cdot l_{манж} \cdot z \quad (3.13)$$

де V_{max} – максимальний об'єм, що можливо завантажити у барабан;

$f_{манж}$ – коефіцієнт тертя манжети;

r_v – радіус вала під манжету;

$l_{манж}$ – довжина вала під манжету;

z – кількість манжет.

Момент в точці M_4 складає:

$$M_4 = \sum M_{mp} + \sum M'_{mp} \quad (3.14)$$

де $\sum M_{mp}$ і $\sum M'_{mp}$ – загальні втрати на тертя в підшипниках і ущільнювачах

Момент M_5 можливо встановити експериментально:

$$M_5 = \frac{N_5}{\omega_{уст}} = f(v_{жс}, \rho, D, l) \quad (3.15)$$

де $\omega_{уст}$ – задано кутову швидкість обертання барабана.

ρ – густина рідини;

$v_{жс}$ – рідинний модуль ванни.

Зазвичай, у розрахунках моментом M_5 нехтують.

Механічні характеристики двигуна і барабана показують, що при розгоні електродвигуна і барабана від $\omega = 0$ до $\omega_{уст}$ в величині моменту руху $M_{де}$ значну частину займає динамічний момент M_{δ} .

Згідно з отриманими експериментальними даними, автомобіль під час розгону переважно рухається рівномірно або близьким до такого, отже, можна розрахувати:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} \approx const$$

Початкова потужність електродвигуна (кВт) обчислюється за формулою:

$$N_{пуск} = \frac{M_c \omega_{уст}}{1000} + \frac{I \omega_{уст}^2}{2\tau_p \cdot 1000} \quad (3.16)$$

де $\omega_{уст}$ – установлена кутова швидкість електродвигуна, що відповідає номінальній частоті обертання $\omega_H = \frac{\pi \cdot n}{30}$, n – номінальна частота обертання барабана під час прання;

M_c, I – приведені до валу електродвигуна відповідно момент опору і момент інерції мас;

τ_p – час розгону електродвигуна.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 36 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Цей вираз включає інерцію барабана, інерцію відрізка, заповненого масою m_2 , а також інерцію ротора електродвигуна.

$$I = m_1 \cdot R^2 + \frac{1}{2} m_2 (R_1^2 + R_2^2) \quad (3.17)$$

R_1 – внутрішній радіус барабана;

R_2 – зовнішній радіус барабана, що враховує товщину самого барабана.

$$m_1 = m_{\text{води}} + m_{\text{біл}} + m_{\text{бар}}; m_2 = m_{\text{бар}}.$$

Час τ_p рівний

$$\tau_p = I \int_0^{\omega_{уст}} d\omega / M_\delta \quad (3.18)$$

де $M_\delta = M_{\delta e} - M_c$ – динамічні моменти під час прискорення електродвигуна.

Зважаючи на те, що прискорення відбувається з $\varepsilon = \text{const}$, а в завершенні розгону $M_\delta = 0$, остаточно матимемо:

$$\tau_p \approx \frac{I}{M_c} \omega_{уст} \quad (3.19)$$

Вважається, що при змінюванні напрямку обертання барабана, потужність електродвигуна, підібрану відповідно до середньої пускової потужності, необхідно збільшити приблизно на 30-50%.

Споживана потужність робочого барабана під час центрифугування визначається, враховуючи час розгону. Наразі показник потужності є найвищим. Це зумовлено включенням енергії, яка витрачається на подолання

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 37 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

інерції спокою великої маси барабана та вологого вмісту з рідиною. До цього додається опір тертя, що виникає між обертовими компонентами барабана.

Сила, необхідна для розкручування барабана під час віджиму, визначається за формулою:

$$N_p = N_1 + N_2 + kN_{уст} \quad (3.20)$$

де N_1 – потужність, що затрачується на подолання інерції мас барабана;
 N_2 – потужність, що затрачується на подолання інерції мас мокрих виробів;
 $kN_{уст}$ – частина потужності при установленому обертанні барабана ($k = 0,6$ враховує зміни кутової швидкості при розгоні від $\omega = 0$ до $\omega = \omega_{уст}$).

Потужність N_1 (кВт) рівна

$$N_1 = \int_0^{\omega_{уст}} M_{p,\delta} d\omega / 1000 = M_{p,\delta} \omega / 1000 \quad (3.21)$$

де $M_{p,\delta}$ – обчислення зусилля, необхідного для розкручування барабана.

$d\omega$ – зміна швидкості обертання барабана.

Момент $M_{p,\delta}$ знаходять за формулою, рахуючи що $\varepsilon = const$

$$M_{p,\delta} = I_\delta \varepsilon \quad (3.22)$$

де I_δ – момент інерції мас барабана;

ε – кутове прискорення, рівне $\omega_{уст} / \tau_p$ (τ_p – час розгону барабана).

Потужність обчислюється за формулою:

$$N_2 = \int_0^{\omega_{уст}} M_{p,\delta} d\omega / 1000 = 0,4 \varepsilon I_{u,\delta} \omega_{уст} / 1000 \quad (3.23)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 38 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

де $M_{p.з} = \int_0^{\omega_{уст}} \varepsilon dI = I_{и.з.ср} \varepsilon \approx 0,4I_{и.з} \varepsilon$ – обертальний момент, потрібний для прискорення завантаження. ($I_{и.з.ср}$ – середні значення моментів інерції мас завантаження, $I_{и.з}$ – обчислення моменту інерції на старті розгону завантаження).

Потужність $N_{уст}$ (кВт) рівна

$$N_{уст} = \sum M_{уст} \omega_{уст} / 1000 \quad (3.24)$$

де $\sum M_{уст} = M_A + M_B + M'_B$ (M_A і M_B – визначте найбільші можливі моменти сил тертя в точках опори А та В. Вони виникають через неурівноважену силу, спричинену нерівномірним розподілом речей у барабані.;

M'_B – обертовий момент, що з'являється через взаємодію барабана з повітряним середовищем, зумовленою тертям.

Моменти M_A і M_B рівні $P_{A,B} f d_{A,B} / 2$, де $P_{A,B}$ – реакція в опорах А і В від неурівноваженої відцентрової сили;

f – коефіцієнт тертя підшипників;

$d_{A,B}$ – діаметр півосі в підшипниках.

Момент M'_B знаходять з формули $N'_B \cdot 1000 / \omega$, де N'_B потужність, що витрачається на тертя об повітря).

Залишкову незбалансовану відцентрову силу $P_{ц.м}$ обчислюють за формулою:

$$P_{ц.м} = m\omega^2 e \quad (3.25)$$

де, m – маса вологих виробів до моменту, коли запускається обертання барабана.;

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 39 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

e – ексцентриситет розкладених виробів, рівний $\frac{1-\chi_{\Pi}}{1+\chi_{\Pi}}r_{\Pi}$ (χ_{Π} – відношення маси одної половини кільця виробів в барабані з меншим значенням, до другої з більшою масою; r_{Π} – радіус центра тяжіння півкільця виробів з більшим значенням маси від осі обертання. Експериментально встановлено $\chi_{\Pi} = 0,8 - 0,9$, $e \approx 0,08R$, R – радіус барабана).

3.2 Розрахунок спожитої потужності пральної машини LG

Обчислимо споживану потужність пральної машини LG LG F8068LD, враховуючи такі її характеристики:

$D=0,48$ м – діаметр барабана;

$m_{\text{біл}} = 5$ кг – маса завантаженої білизни;

Прийmemo $m_{\text{води}} = 10$ кг споживає машина для прання;

h – глибина барабана, $h = 0,25$ м;

$n = 35$ об/хв – номінальна частота обертання барабана під час прання;

Підшипник 7000106 $d=30$, $D=55$, $B=9$, $d_{\text{сер}}=0,425$ м – середній діаметр підшипника;

Манжета 1-36×58;

$d_{\text{в}}=0,37$ м – діаметр вала під манжету.

Отже, сила тяжіння циліндричного сегменту визначатиметься за формулою (3.3):

$$P = (10 + 5) \cdot 10 = 150 \text{ Н}$$

Підставивши числові величини сили тяжіння циліндричного сегмента та діаметра барабана, обчислимо сумарний момент, використовуючи формулу (3.8):

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 40 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$M_{пол} = \frac{150 \cdot 0,48(1 + 2\cos \alpha/2)}{6} \cdot 1,15 = 13,8 \cdot (1 + 2\cos \alpha/2)$$

Отримавши інтегральний момент, можна візуалізувати його залежність від кута сегмента α . Ця візуалізація здійснюється шляхом графічного представлення, де α варіюється від 0 до 2π . На рис. 3.2 представлено цей графік, а значення позначені дискретними точками. Для подальших обчислень оберемо з графіка найбільше значення сумарного моменту $M_{пол} = 41 \text{ Н} \cdot \text{м}$:

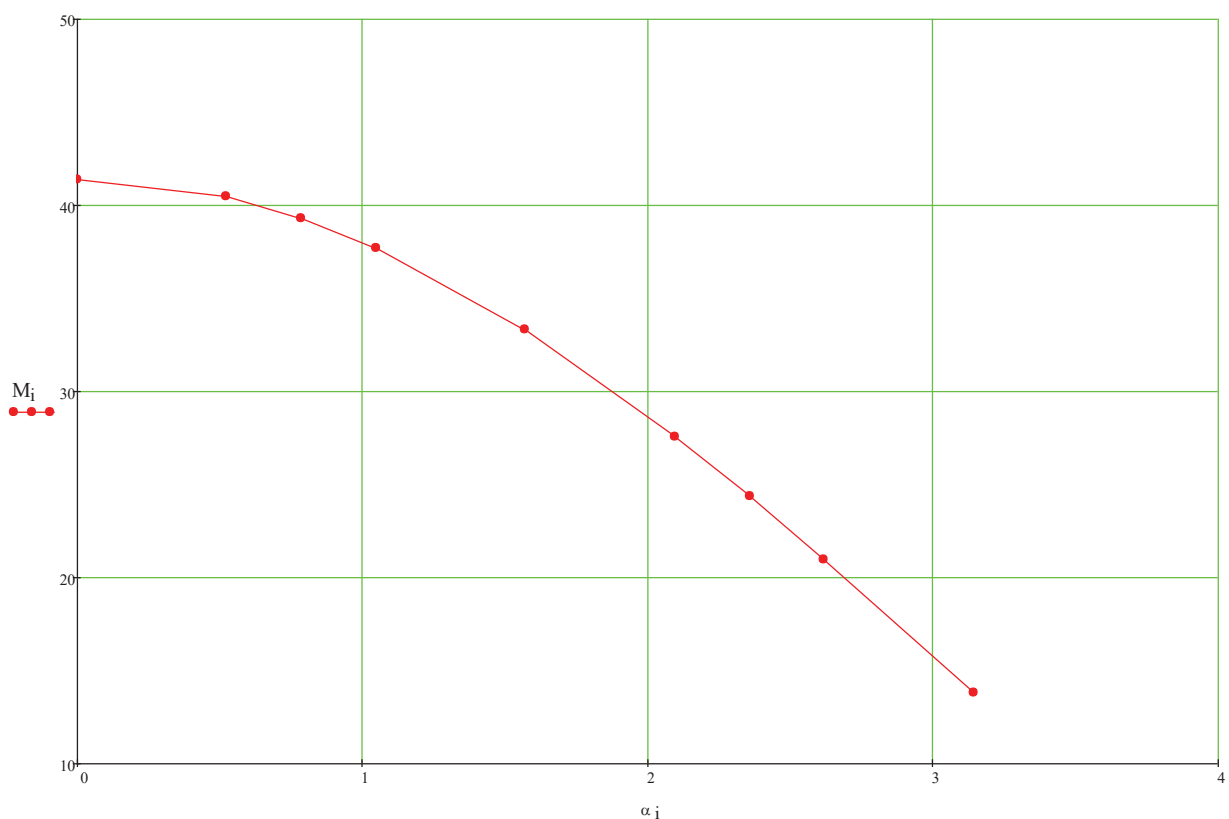


Рисунок 3.2 – Залежність підсумкового моменту від кута відрізка α

Обчислимо момент тертя в опорах барабана згідно з формулою (3.11), проте, з огляду на те, що у пральній машині LG немає пасової передачі, силу натягу паса не враховуватимемо:

$$M_{тр} = (1,5 + 10 + 5) \cdot 10 \cdot 0,0025 \cdot 0,185 = 0,076 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для визначення моменту подолань опорів в манжетах (3.13), обчислимо максимальний об'єм і довжину валу під манжету:

$$V_{max}^2 = \pi r^2 h$$

де r – радіус барабана;

h – глибина барабана, $h = 0,25$ м.

$$V_{max}^2 = 3,14 \cdot 0,24^2 \cdot 0,25 = 0,045 \text{ м}^3$$

$$l_{\text{манж}} = 2\pi \cdot r$$

де r – радіус валу під манжетою, $r = 0,185$ м

$$l = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,185 = 1,16 \text{ м}$$

Беремо до уваги коефіцієнт тертя манжети $f_{\text{манж}} = 0,2$ [14]:

$$M'_{\text{тр}} = 0,5 \cdot 0,045^2 \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot 0,185 \cdot 1,16 = 0,43 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тут варто підкреслити, що в сучасних пральних машинах втрати енергії в манжетах настільки незначні, що їх можна не враховувати.

Загальна величина моменту опору, що протидіє обертанню барабана, дорівнюватиме:

$$M_c = 41 + 0,076 + 0,43 \cdot 10^{-3} = 41,07643 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 42 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Щоб обчислити час розгону електродвигуна, спочатку визначимо момент інерції мас:

$$R_1 = 0,24 \text{ м,}$$

$$R_2 = 0,2415 \text{ м,}$$

$$I = (15 + 1,5) \cdot 0,24^2 + \frac{1}{2} 1,5(0,24^2 + 0,2415^2) = 1,03 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$\omega_{\text{уст}} = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 35}{30} = 3,66 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

$$\tau_p = \frac{1,03}{41,07643} 3,66 = 0,09 \text{ с.}$$

Початкова потужність електродвигуна:

$$N_{\text{пуск}} = \frac{41,07643 \cdot 3,66}{1000} + \frac{1,03 \cdot 3,66^2}{2 \cdot 0,09 \cdot 1000} = 0,144 \text{ кВт}$$

Враховуючи, що під час реверсування барабана електричний двигун має обиратися з огляду на середню пускову потужність, необхідно збільшити показник приблизно на 30-50%. Виходячи з цього, двигун слід обирати з потужністю не менше ніж 400-450 Вт.

Обчислимо момент інерції маси барабана та кутове прискорення, щоб визначити потужність, потрібну для подолання інерції маси барабана.

$$I_{\text{бар}} = \frac{1}{2} m_{\text{бар}} (R_1^2 + R_2^2)$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 43 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$I_{\text{бар}} = \frac{1}{2} 1,5(0,24^2 + 0,2415^2) = 0,086 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$\varepsilon = \frac{3,66}{0,09} = 40,67 \text{ рад}$$

$$M_{p.\delta} = 0,086 \cdot 40,67 = 3,49 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність, що витрачається на подолання інерції маси барабана, визначається:

$$N_1 = \frac{3,49 \cdot 3,66}{1000} = 0,012 \text{ кВт}$$

Обчислимо величину моменту інерції на старті розкручування вантажу:

$$I_{p.z} = \frac{M_{p.z}}{0,4 \cdot \varepsilon}$$

$$M_{p.z} = M_{\text{пол}} = 41 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{p.z} = \frac{41}{0,4 \cdot 40,67} = 2,52 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Обчислимо потужність, що витрачається на подолання інерційних мас вологих виробів:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 44 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$N_2 = \frac{0,4 \cdot 41 \cdot 3,66 \cdot 2,52}{1000} = 0,139 \text{ кВт}$$

Для розрахунку потужності при заданій швидкості обертання барабана, спочатку визначимо збиткову, тобто дисбалансну відцентрову силу:

$$P_{ц,м} = 150 \cdot 3,66^2 \cdot 0,08 \cdot 0,24 = 38,57 \text{ Н}$$

$$P_{ц,м} = P_{A,B}$$

Максимальні крутні моменти, що виникають від сил тертя у опорах А та В, обумовлені незрівноваженою силою, яка виникає через нерівномірний розподіл продукції:

$$M_A = M_B = \frac{38,57 \cdot 0,0025 \cdot 0,425}{2} = 0,0204 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність становить:

$$N_{уст} = \frac{(0,0204 + 0,0204) \cdot 3,66}{1000} = 0,00014 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Загальна енергія, що необхідна для набору швидкості робочим барабаном під час віджиму:

$$N_p = 0,012 + 0,139 + 0,00014 \cdot 0,6 = 0,151 \text{ кВт}$$

Відповідно до методики, викладеної у розділі 3.1, здійснено обчислення енергоспоживання циклу прання для пральної машини LG

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 45 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

F8068LD, враховуючи масу білизни 2, 3,5 та 5 кг. Підсумки розрахунків представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

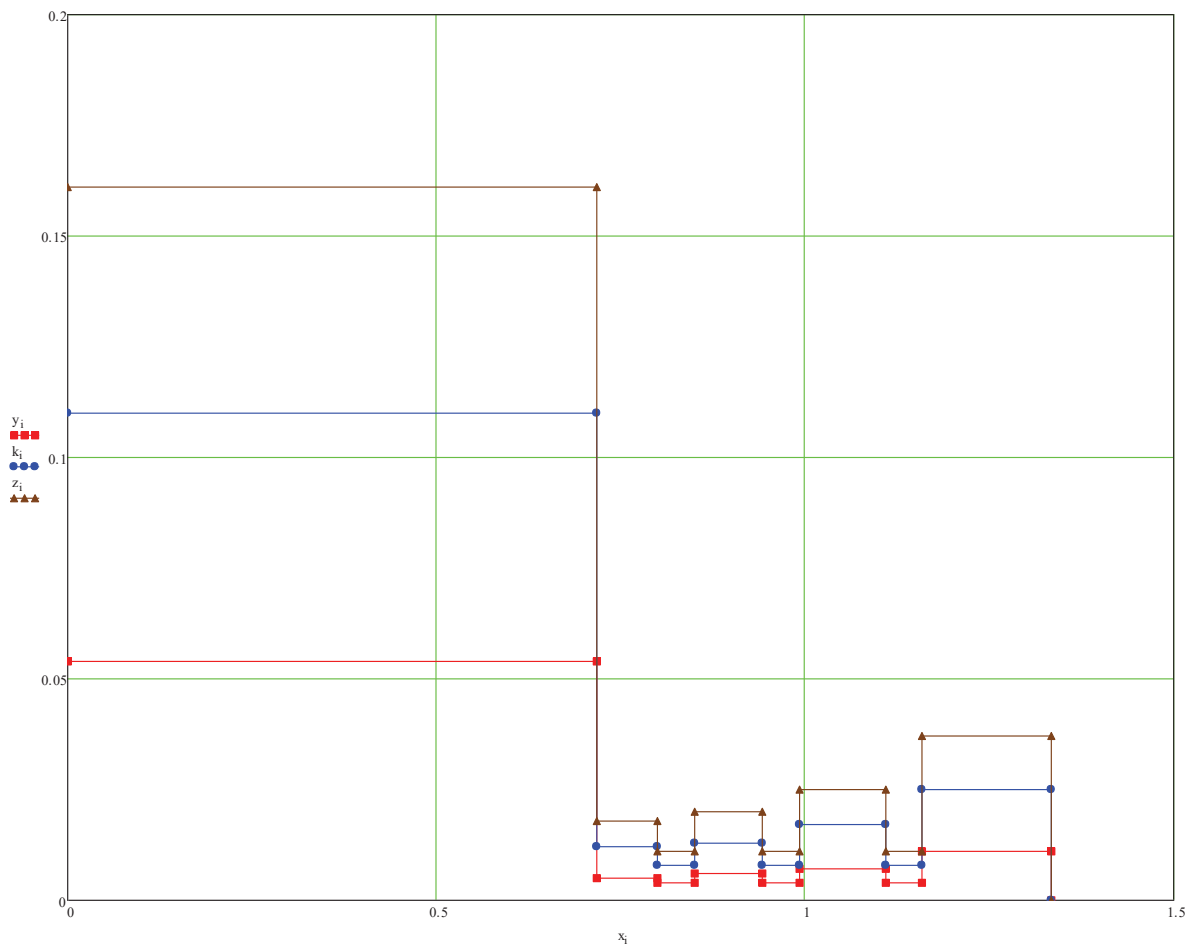
Розрахунки споживання енергії процесом прання для мас завантаження 2, 3.5 та 5 кілограмів

| Режим роботи барабана | LG | | | | | | |
|-----------------------|----------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|
| | Час, год | 2 кг | | 3,5 кг | | 5 кг | |
| | | Потужність, кВт | К-ть ел-енергії, кВт*год | Потужність, кВт | К-ть ел-енергії, кВт*год | Потужність, кВт | К-ть ел-енергії, кВт*год |
| прання | 0,717 | 0,075 | 0,054 | 0,153 | 0,110 | 0,225 | 0,161 |
| віджим | 0,083 | 0,061 | 0,005 | 0,142 | 0,012 | 0,214 | 0,018 |
| полоскання 1 | 0,050 | 0,075 | 0,004 | 0,153 | 0,008 | 0,225 | 0,011 |
| віджим | 0,092 | 0,061 | 0,006 | 0,142 | 0,013 | 0,214 | 0,020 |
| полоскання 2 | 0,050 | 0,075 | 0,004 | 0,153 | 0,008 | 0,225 | 0,011 |
| віджим | 0,117 | 0,061 | 0,007 | 0,142 | 0,017 | 0,214 | 0,025 |
| полоскання 3 | 0,050 | 0,075 | 0,004 | 0,153 | 0,008 | 0,225 | 0,011 |
| віджим | 0,175 | 0,061 | 0,011 | 0,142 | 0,025 | 0,214 | 0,037 |
| Σ | 1,333 | | 0,093 | | 0,199 | | 0,295 |

З таблиці 3.1 стає очевидним, що обсяг спожитої електроенергії безпосередньо корелює з масою завантаження. Це пояснюється збільшенням об'єму води, що заливається в барабан, та відповідно, зростанням потреби в енергії для обертання барабана разом з вологими речами. До розрахунку не включено енергію, витрачену на нагрівання води ТЕНОм. Ця складова

покриває 80-90% від загального споживання електрики під час прання, триразового полоскання та віджиму. Крім того, незначну частину спожитої електроенергії використовують для заливу води на початку циклу, під час полоскання та для зливу води по завершенню.

На графіку, що зображає взаємозв'язок між обсягом спожитої електроенергії та вагою завантаження в часі, спостерігаємо тенденцію до збільшення обсягу використаної електроенергії у міру збільшення маси завантаження.



y_i – маса завантаження 2 кг; k_i – маса завантаження 3,5 кг; z_i – маса завантаження 5 кг

Рисунок 3.3 – Залежність споживання потужності від мас завантаження

3.3 Розрахунок спожитої потужності пральної машини SAMSUNG

Виконаємо обчислення споживаної потужності робочого барабана пральної машини SAMSUNG P1091, виходячи з наступних її характеристик:

$D=0,45$ м – діаметр барабана;

$m_{\text{біл}} = 5$ кг – маса завантаженої білизни;

Прийmemo $m_{\text{води}} = 12,5$ кг споживає машина для прання;

h – глибина барабана, $h = 0,23$ м;

$n = 36$ об/хв – номінальна частота обертання барабана під час прання;

Підшипник 7000106 $d=30$, $D=55$, $B=9$, $d_{\text{сер}}=0,425$ м – середній діаметр підшипника;

Манжета 1-35×58;

$d_{\text{в}}=0,35$ м – діаметр вала під манжету.

Відтак сила гравітації циліндричного сегмента визначатиметься за формулою (3.3):

$$P = (12,5 + 5) \cdot 10 = 175 \text{ Н}$$

Підставляючи числові величини сили тяжіння циліндричного сегменту та діаметра барабана, визначимо загальний момент за формулою (3.8):

$$M_{\text{пол}} = \frac{175 \cdot 0,45(1 + 2\cos \alpha/2)}{6} \cdot 1,15 = 15,09 \cdot (1 + 2\cos \alpha/2)$$

Маючи підсумований момент, стає можливим створення графіка, що демонструє залежність сумарного моменту від кута сегмента α . Кут α варіюється в межах від 0 до 2π , і значення на графіку (рис. 3.4) представлені як точки. Для наступних обчислень оберемо з графіка найбільше значення сукупного моменту, $M_{\text{пол}} = 45 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 48 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Тертя в цапфах барабана:

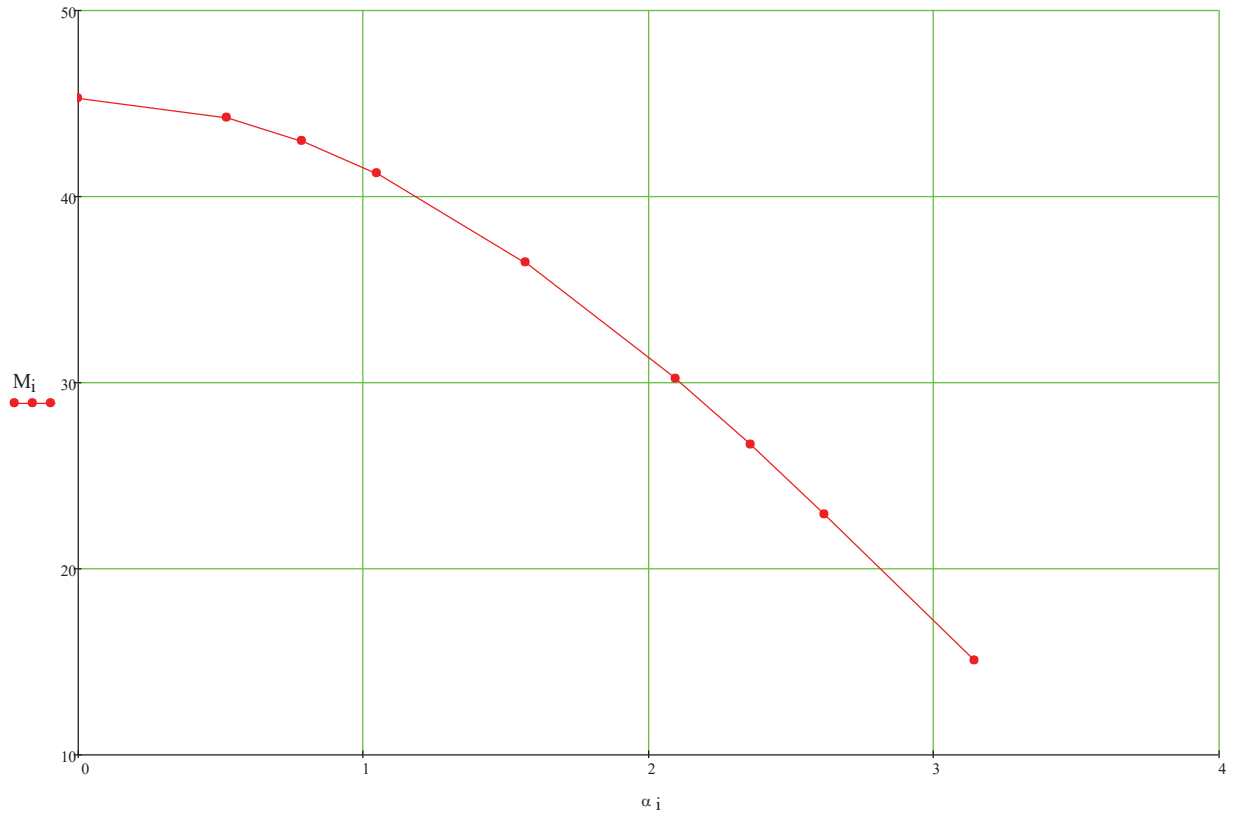


Рисунок 3.4 – Залежність підсумкового моменту від кута відрізка α

Напруження паса $F_{\text{напр}} = 60$ Н, при таких параметрах машини: $d_1 = 0,05$ м – діаметр меншого шківів; $d_2 = 0,4$ м – діаметр більшого шківів; $L_p = 2$ м – довжина паса; $a = 0,615$ м – міжосьова відстань, згідно розрахунку пасової передачі[13].

$$M_{\text{тр}} = [(1,5 + 12,5 + 5) \cdot 10 + 55] \cdot 0,0025 \cdot 0,175 = 0,107 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Для визначення моменту подолання опору у манжетах (3.13), обчислимо найбільший об'єм і довжину валу під манжету:

$$V_{\text{max}}^2 = \pi r^2 h$$

де r – радіус барабана; h – глибина барабана, $h = 0,23$ м.

$$V_{max}^2 = 3,14 \cdot 0,225^2 \cdot 0,23 = 0,036 \text{ м}^3$$

$$l_{манж} = 2\pi \cdot r$$

де r - радіус вала під манжетою, $r = 0,175$ м

$$l = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,175 = 1,099 \text{ м}$$

коефіцієнт тертя манжети $f_{манж} = 0,2$ [14]

$$M'_{mp} = 0,5 \cdot 0,036^2 \cdot 10 \cdot 0,2 \cdot 0,175 \cdot 1,099 = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Тут варто підкреслити, що у звичайних пральних машинах сучасного виготовлення втрати енергії в манжетах є настільки незначними, що ними можна нехтувати.

Загальний момент опору обертанню барабана розраховується як:

$$M_c = 45 + 0,107 + 0,25 \cdot 10^{-3} = 45,107 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Щоб обчислити час розгону електродвигуна, спершу визначимо момент інерції мас:

$$R_1 = 0,225 \text{ м}$$

$$R_2 = 0,2265 \text{ м}$$

$$I = (17,5 + 1,5) \cdot 0,225^2 + \frac{1}{2} 1,5(0,225^2 + 0,2265^2) = 1,037 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 50 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$\omega_{уст} = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 36}{30} = 3,768 \text{ рад/с}$$

$$\tau_p = \frac{1,037}{45,107} 3,768 = 0,086 \text{ с}$$

Пускова потужність електродвигуна:

$$N_{пуск} = \frac{45,107 \cdot 3,768}{1000} + \frac{1,037 \cdot 3,768^2}{2 \cdot 0,086 \cdot 1000} = 0,195 \text{ кВт}$$

Враховуючи особливості реверсивного обертання барабана, де потужність електродвигуна визначається з огляду на середню пускову, необхідно її збільшити. Рекомендоване збільшення складає приблизно 30-50%. Таким чином, кінцевий вибір двигуна потребує потужності не менше, ніж 400-450 Вт.

Обчислимо моменти інерцій мас барабана, а також кутове прискорення, що необхідне для обчислення потужності, яка витрачається на подолання інерцій маси барабана.

$$I_{бар} = \frac{1}{2} m_{бар} (R_1^2 + R_2^2)$$

$$I_{бар} = \frac{1}{2} 1,5(0,225^2 + 0,2265^2) = 0,076 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

$$\varepsilon = \frac{3,768}{0,086} = 43,81 \text{ рад}$$

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 51 |

$$M_{p.б} = 0,076 \cdot 43,81 = 3,33 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Сила, витрачена на подолання інерції маси барабана, визначатиметься:

$$N_1 = \frac{3,33 \cdot 3,768}{1000} = 0,012 \text{ кВт}$$

Обчислимо величину моменту інерції на початковому етапі розгону навантаження:

$$I_{p.з} = \frac{M_{p.з}}{0,4 \cdot \varepsilon}$$

$$M_{p.з} = M_{пол} = 45 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{p.з} = \frac{45}{0,4 \cdot 43,81} = 2,56 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Визначимо енергію, що витрачається на подолання інерцій мас вологих виробів:

$$N_2 = \frac{0,4 \cdot 43,81 \cdot 3,768 \cdot 2,56}{1000} = 0,169 \text{ кВт}$$

Для розрахунку потужності за фіксованої швидкості обертання барабана, спочатку з'ясуємо деструктивну незбалансовану відцентрову силу:

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 52 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$P_{ц.м} = 175 \cdot 3,768^2 \cdot 0,08 \cdot 0,225 = 44,72 \text{ Н}$$

$$P_{ц.м} = P_{A,B}$$

Найбільші моменти сил тертя в опорах А та В, що виникають через дисбаланс сил, спричинений нерівномірним розподілом виробів:

$$M_A = M_B = \frac{44,72 \cdot 0,0025 \cdot 0,425}{2} = 0,023 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність становитиме:

$$N_{уст} = \frac{(0,023 + 0,023) \cdot 3,768}{1000} = 0,00017 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Загальна енергія, необхідна для розкручування барабана пральної машини під час віджиму:

$$N_p = 0,012 + 0,128 + 0,00017 \cdot 0,6 = 0,14 \text{ кВт}$$

Відповідно до методу, що викладено в розділі 3.1, було здійснено обчислення енергетичних витрат прання для пральної машини SAMSUNG P1091, враховуючи масу завантаження у 2, 3,5 та 5 кілограмів. Результати обчислень зведено в таблицю 3.2. Графічне представлення залежності наведено на рисунку 3.4.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 53 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 3.2

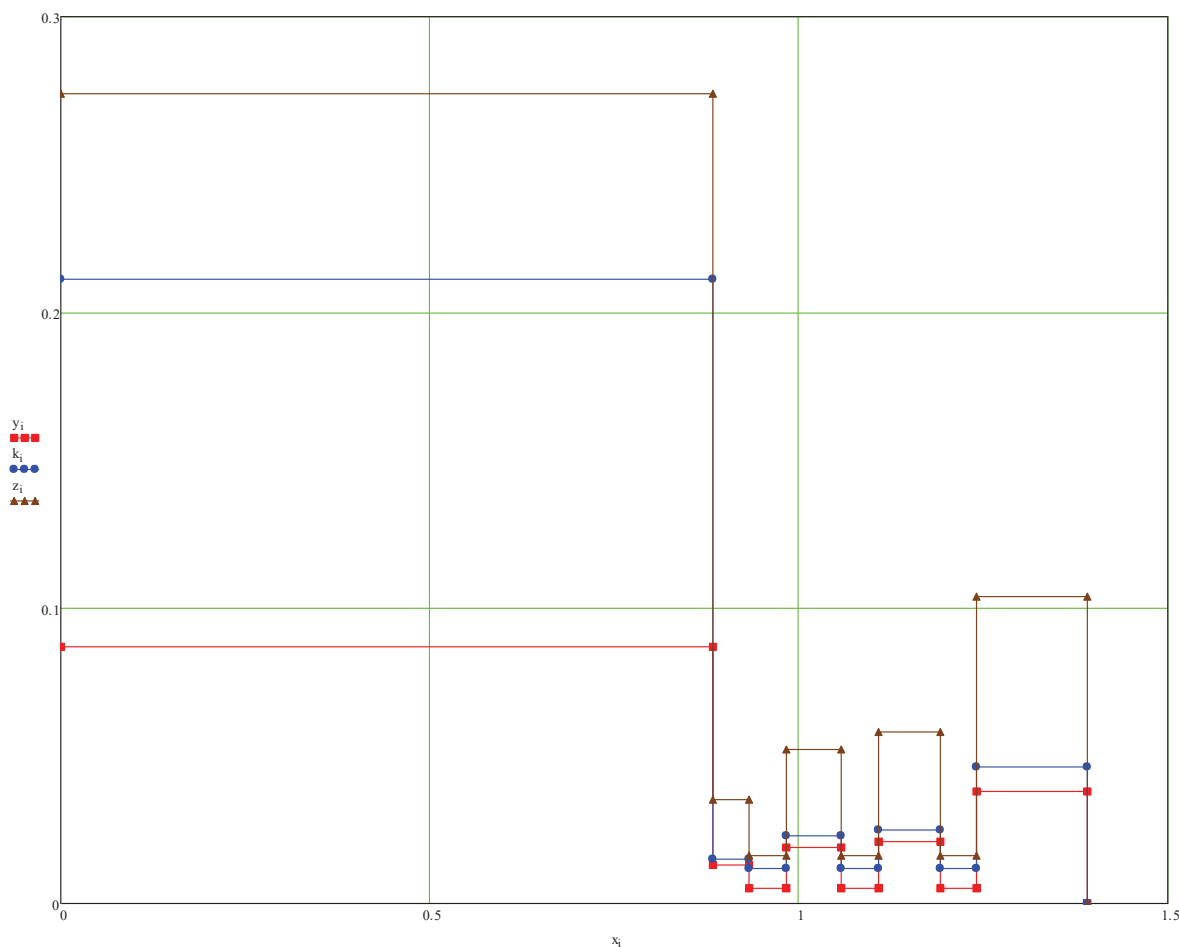
Розрахунки споживання енергії процесом прання для мас завантаження
2, 3,5 та 5 кілограмів

| Режим роботи барабана | Samsung | | | | | | |
|-----------------------|----------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|-----------------|--------------------------|
| | Час, год | 2 кг | | 3,5 кг | | 5 кг | |
| | | Потужність, кВт | К-ть ел-енергії, кВт*год | Потужність, кВт | К-ть ел-енергії, кВт*год | Потужність, кВт | К-ть ел-енергії, кВт*год |
| прання | 0,883 | 0,099 | 0,087 | 0,239 | 0,211 | 0,310 | 0,27 |
| віджим | 0,050 | 0,254 | 0,013 | 0,305 | 0,015 | 0,690 | 0,03 |
| полоскання 1 | 0,050 | 0,099 | 0,005 | 0,239 | 0,012 | 0,310 | 0,01 |
| віджим | 0,075 | 0,254 | 0,019 | 0,305 | 0,023 | 0,690 | 0,05 |
| полоскання 2 | 0,050 | 0,099 | 0,005 | 0,239 | 0,012 | 0,310 | 0,01 |
| віджим | 0,083 | 0,254 | 0,021 | 0,305 | 0,025 | 0,690 | 0,05 |
| полоскання 3 | 0,050 | 0,099 | 0,005 | 0,239 | 0,012 | 0,310 | 0,01 |
| віджим | 0,150 | 0,254 | 0,038 | 0,305 | 0,046 | 0,690 | 0,10 |
| Σ | 1,392 | | 0,193 | | 0,356 | | 0,56 |

З таблиці 3.2 стає очевидним, що обсяг спожитої електроенергії корелює з вагою завантаження. Це пояснюється збільшенням об'єму води, яка використовується, і відповідно зростаючими енерговитратами на обертання барабана з мокрими речами. У наведений розрахунок не враховано споживання електрики на підігрів води ТЕНОм. На це припадає приблизно 80-90% від загального обсягу електроенергії, використаної протягом прання, включно з трьома полосканнями та віджимом. Крім того, незначну частину

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 54 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

споживання електрики становлять етапи набору води перед пранням, подальші полоскання та зливання води.



y_i – маса завантаження 2 кг; k_i – маса завантаження 3,5 кг; z_i – маса завантаження 5 кг

Рисунок 3.5 – Залежність споживання потужності від мас завантаження

На графіку, що зображує взаємозв'язок між обсягом спожитої електроенергії та масою завантаження з плином часу, спостерігається зростання обсягу використаної електроенергії, якщо збільшується маса завантаження.

| | | | | |
|------|------|----------|--------|------|
| | | | | |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |

Висновки до третього розділу

Здійснивши аналітичний прорахунок потужності, яку споживає пральна машина в ключових режимах функціонування – пранні та відтисканні – для різних вагових категорій завантаженої білизни, було визначено показник обсягу спожитої електричної енергії. Цей показник перебуває у прямій залежності від маси завантаження і мінімально залежить від конструктивних особливостей самої машини.

| | | | | | | |
|-------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 56 |
| <i>Змн.</i> | <i>Арк.</i> | <i>№ докум.</i> | <i>Підпис</i> | <i>Дата</i> | | |

ВИСНОВКИ

Було здійснено аналіз наявних пральних машин, їхню систематизацію за конструкцією та відповідно до класів енергоефективності.

Стандарти передбачають сім класів енергоефективності, позначених літерами латинської абетки від А до G. Чим вищий клас, тим менше приладом споживається електроенергії.

Визначено ключові експлуатаційні властивості пральних машин.

Було розроблено структурну та електричну схему стенда для дослідження енергетичних характеристик побутових пральних машин

Експериментальна установка, призначена для досліджень пральних машин, складається з: трифазного електричного лічильника, трансформаторів струму, автоматичного вимикача, трифазних та однофазних розеток.

Здійснивши аналітичний прорахунок потужності, яку споживає пральна машина в ключових режимах функціонування – пранні та відтисканні – для різних вагових категорій завантаженої білизни, було визначено показник обсягу спожитої електричної енергії. Цей показник перебуває у прямій залежності від маси завантаження і мінімально залежить від конструктивних особливостей самої машини.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 57 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Хомик І.К., Шевчук Д.С. Пральні машини // "Електропобутова техніка." – 2016. – № 19. – С. 18–25.
2. Бойко А.М., Пилипчук С.В. Методи оцінювання енергоспоживання побутових приладів // "Техніка і енергетика." – 2015. – № 3. – С. 30–36.
3. Савчук І.В., Яременко Л.О. Сучасні технології в пральних машинах // "Побутова техніка сьогодні." – 2017. – № 6. – С. 42–48.
4. Ковальчук Т.П., Григор'єв О.Б. Автоматизовані системи контролю в побутовій техніці // "Електроніка та автоматика." – 2018. – № 4. – С. 22–27.
5. Лисенко Ю.О., Тимошенко П.В. Визначення енергетичних характеристик електроприводів // "Енергетика і технології." – 2019. – № 2. – С. 12–19.
6. Романенко А.Г., Петрук І.О. Моделювання режимів роботи пральних машин // "Вісник інженерних наук." – 2020. – № 8. – С. 51–58.
7. Шевченко С.Л., Андрущенко Т.М. Сенсорні системи у сучасній побутовій техніці // "Автоматизація та приладобудування." – 2017. – № 5. – С. 36–41.
8. Діденко В.П., Крамар О.І. Вимірювання енергоспоживання побутових електроприладів // "Електротехнічні системи і комплекси." – 2016. – № 7. – С. 29–34.
9. Білоус Л.М., Слободян Н.Є. Енергоефективність побутових пральних машин // "Енергозбереження в Україні." – 2015. – № 11. – С. 44–49.
10. Костенко Р.Д., Федорук В.І. Вимірювальні стенди для лабораторій побутової техніки // "Сучасні технології в машинобудуванні." – 2018. – № 2. – С. 57–62.
11. Назаренко І.С., Кулик В.М. Стандарти енергоспоживання побутових пристроїв // "Наука і техніка." – 2020. – № 9. – С. 39–44.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 58 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

12. Черненко В.П., Андрійчук К.О. Особливості проектування побутових приладів з низьким споживанням енергії // "Технічна творчість і інновації." – 2021. – № 3. – С. 26–31.

13. Олійник П.М., Терещенко Л.В. Застосування мікроконтролерів у тестових стендах // "Автоматизація та контроль." – 2019. – № 4. – С. 17–23.

14. Карпенко М.В., Гаврилюк А.С. Оцінка ефективності побутової техніки у реальних умовах // "Прилади та системи." – 2016. – № 6. – С. 33–39.

15. Сидоренко Д.О., Кузьменко Т.М. Енергетичні дослідження побутових електроприладів // "Електротехніка і автоматика." – 2017. – № 5. – С. 21–28.

16. Ярошенко П.В., Мельник І.С. Застосування стендів у навчальному процесі з електропобутової техніки // "Педагогіка технічної освіти." – 2018. – № 7. – С. 45–51.

17. Зубенко А.В., Чередниченко В.М. Ідентифікація витрат електроенергії пральних машин // "Журнал побутової електроніки." – 2021. – № 10. – С. 12–17.

18. Ткачук С.П., Орленко Ю.В. Вибір оптимальних режимів роботи пральних машин // "Інженерія та технології." – 2022. – № 1. – С. 38–43.

19. Гордієнко А.І., Блажко М.Є. Технічні засоби вимірювання параметрів побутових пристроїв // "Приладобудування України." – 2020. – № 8. – С. 27–33.

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|-----------------------------|------|
| | | | | | <i>БРМА 25.00.00.000 ПЗ</i> | Арк. |
| | | | | | | 59 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ДОДАТКИ

| | | | | | | |
|------|------|----------|--------|------|----------------------|------|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000 ПЗ | Арк. |
| | | | | | | 60 |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |