

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



**ЕЛЕКТРОПРИВОД ВИРОБНИЧИХ
МАШИН І МЕХАНІЗМІВ**

**Методичні вказівки щодо проведення
практичних занять**

СУМИ - 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно – технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

ЕЛЕКТРОПРИВОД ВИРОБНИЧИХ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ

**Методичні вказівки щодо проведення
практичних занять**

для студентів 1 м курсу спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка і електромеханіка»,
денної і заочної форм навчання
освітнього ступеня «Магістр»

СУМИ - 2024

УДК 378.147
Н 34

Укладачі: Рясна О.В., старший викладач кафедри енергетики та електротехнічних систем;

Лисенко В.В., завідувач навчально-методичного кабінету;

Тимошенко Г.А., завідувач навчальної лабораторії.

Н 34 Науково-методичне забезпечення навчального процесу :

методичні рекомендації щодо проведення практичних занять. / укл.: О.В. Рясна,
В.В. Лисенко, Г.А. Тимошенко. - Суми, 2024. – 111 с.

В методичних рекомендаціях щодо проведення практичних занять, що охоплюють особливості режимів роботи автоматизованого електропривода механізмів безперервної дії. Запропоновані тестові завдання, які розраховані для перевірки знань студентів під час лекційних і практичних занять, для самостійної перевірки студентами засвоєння матеріалу.

Рецензенти:

Герасименко В.О., к. ф.-м. н., доцент кафедри вищої математики;

Барсукова Г.В., к.т.н., доцент кафедри енергетики та електротехнічних систем.

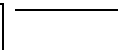
Відповідальний за випуск:

Чепіжний А.В., к.т.н., доцент; завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем

Рекомендовано до видання навчально-методичною радою інженерно-технологічного факультету. Протокол № 6 від « 22 » травня 2024 року

© Сумський національний
аграрний університет, 2024

ВСТУП.....	5
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
РОЗДІЛ 1 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНІЗМІВ	
.....	7
1.1 Загальні відомості механізмів безперервної дії.....	7
1.2 Режими роботи, вимоги до електропривода та системи керування електроприводами механізмів безперервної дії.....	7
1.2.1 Конвеєрні установки.....	7
1.2.2 Насоси, вентилятори, компресори.....	10
Практичне заняття № 1 Розрахунок статичного навантаження та потужності електродвигуна стрічкового конвеєра.....	16
Практичне заняття № 2 Визначення напірно-витратних та енергетичних характеристик відцентрового насоса зі змінною частотою обертання.....	22
Практичне заняття № 3 Енергозберігаючі режими роботи насосних установок у системах водоспоживача.....	33
Практичне заняття № 4 Визначення втрат потужності в асинхронному електроприводі технологічного механізму при частотному і фазовому керуванні.....	38
Практичне заняття № 5 Розрахунок механічної характеристики та потужності електропривода відцентрового вентилятора.....	47
РОЗДІЛ 2 ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
ВИСНОВКИ.....	79
Додаток Д Технічні дані стрічкових конвеєрів.....	81
Додаток Е Паспортні характеристики і технічні показники насосів.....	82
Додаток Ж Параметри водоспоживання.....	83
Додаток І Параметри асинхронних двигунів.....	84
Додаток К Технічні дані відцентрових вентиляторів.....	85



ВСТУП

У кожному сучасному виробничому процесі можна виділити ряд операцій, що є загальними для різних галузей народного господарства: доставка сировини і напівфабрикатів, переміщення виробів, навантажувально-розвантажувальні роботи, вентиляція, водопостачання, безупинний транспорт вантажів, оброблення деталей тощо. Механізми, що виконують подібні операції в різних галузях промисловості, універсальні й називаються типовими промисловими механізмами (ТПМ). До їхнього числа належать: піднімальні крани, екскаватори, конвеєри, різні підйомники, ліфти, промислові маніпулятори та роботи, насоси, вентилятори, металорізальні верстати і т. д.

Запропоновані авторами методичні вказівки охоплюють досить широке коло питань з теорії автоматизованого електропривода типового електрообладнання підприємств АПК, містить п'ять практичних завдань, які відображують специфіку роботи електропривода механізмів безперервної дії, їх статичні й динамічні властивості, особливості розрахунку потужності електродвигунів, рекомендації щодо вибору ефективних режимів роботи електроприводів.

Окремий розділ присвячений розробці тестових завдань для самостійної перевірки студентами засвоєння матеріалу, підготовки до іспитів.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АД – асинхронний двигун;
ВУ – вентиляційна установка;
ЕД – електричний двигун;
ЕП – електропривод;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
КУ – компресорна установка;
М – маніпулятор;
МБД – механізми безперервної дії;
МБТ – механізми безперервного транспорту;
МЦД – механізми циклічної дії;
НА – насосний агрегат;
НС – насосна станція;
НУ – насосна установка;
ПР – промисловий робот;
ТВ – тривалість вмикання;
ТПМ – типові промислові механізми.

РОЗДІЛ 1 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНІЗМІВ

1.1 Загальні відомості механізмів безперервної дії (МБД)

Механізмами безперервної дії називають механізми, технологічний процес яких має безперервний характер.

До таких механізмів належать ескалатори, землесоси, конвеєри, кільцеві канатні дороги, вертикальні ковшеві елеватори, багатокабінні підйомники, насосні, вентиляційні і компресорні установки та ін. [9, 10, 26, 32, 33].

1.2 Режими роботи, вимоги до електропривода та системи керування електроприводами МБД

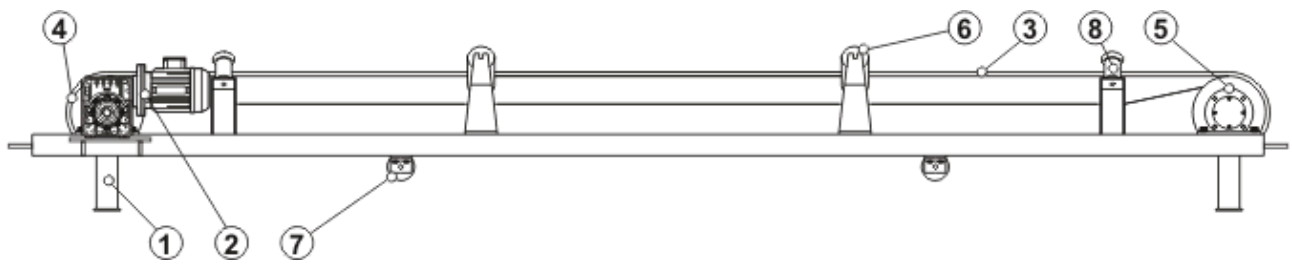
1.2.1 Конвеєрні установки

Механізми безперервного транспорту (МБТ) використовують для транспортування у чітко визначеному напрямку і на обмежену відстань різних матеріалів: сировини, палива, руди, деталей машин, товарів широкого вжитку, кормів, а також пасажирів. До таких механізмів належать різноманітні конвеєри, канатні дороги, ескалатори [32, 33].

Конвеєри (транспортери) призначені для транспортування без зупинок на завантаження і розвантаження насипних і штучних вантажів за заданою трасою відповідно до технологічного процесу виробництва [30, 33].

Конвеєри складаються з тягового і несучого органа з підтримувальними і напрямними елементами, ведучого і веденого барабанів, натяжного пристрою, завантажувального і розвантажувального пристроїв, рами. Кінематичні схеми стрічкового конвеєра наведені на рисунку 1.1.

Типи і конструкції конвеєрів визначають за характером переміщуваних вантажів, їх масою, необхідними швидкостями і зусиллями. Так, сипучі й кускові вантажі переміщаються стрічковими, пластинчастими, ківшовими конвеєрами; штучні – роликовими чи підвісними [30, 32].



1 – рама конвеєра; 2 – мотор-редуктор; 3 – транспортна стрічка; 4 – барабан приводний натяжний; 5 – барабан не приводний; 6 – роlikоопори жолобчасті верхні несучі; 7 – роlikоопори плоскі нижні зворотні; 8 – ролики дефлекторні

Рисунок 1.1 – Стрічковий конвеєр

Основною конструктивною частиною конвеєрів є замкнений тяговий орган, що безупинно рухається в процесі роботи, виконаний зі стрічки спеціального виготовлення (текстильної, прогумованої), ланцюгів або канатів. Серед конвеєрів на промислових підприємствах частіше за інші можна зустріти стрічкові конвеєри (металургійні заводи, гірські розробки, паливоподачі електростанцій, будівельна і харчова промисловість).

Основними вузлами стрічкового конвеєра є: текстильна прогумована стрічка, що рухається по верхніх і нижніх опорних роliках (несуча конструкція), приводна і натяжна станції, що відводять роliки, призначені для збільшення кута охоплення приводного і натяжного барабанів. Натяжна станція, що забезпечує попередній натяг стрічки, складається з барабана, підшипники якого можуть переміщуватись уздовж горизонтальних напрямних, і вантажу. Завантаження конвеєра відбувається через завантажувальну воронку, розвантаження – до бункера.

До основних параметрів стрічкових конвеєрів відносять: ширину та довжину стрічки, швидкість руху стрічки, діаметр барабана, діаметр опорних роliків, потужність двигуна.

Для визначення статичного навантаження на привод визначають сили опору руху і будують діаграми тягових зусиль [33].

Конвеєри, залежно від їхнього призначення і сфери застосування, можна експлуатувати у найрізноманітніших умовах, у тому числі і вкрай

несприятливих. Цей факт визначає необхідність використання для даної групи механізмів електрообладнання, яке за типом і виконанням відповідає вимогам безпеки, надійності, простоти обслуговування.

Найбільш поширеним типом ЕП МБТ є нерегульований ЕП змінного струму на основі асинхронних чи синхронних ЕД. Звичайно при потужності установки до 100 кВт використовують асинхронний двигун (АД) з короткозамкненим ротором з подвійною „білячою кліткою” чи глибоким пазом, які мають підвищений пусковий момент. При потужності від 200 до 500 кВт – АД з фазним ротором з багатоступеневим пуском. При потужності понад 500 кВт – системи АВК, тиристорний перетворювач – двигун (ТП-Д), багатодвигунний ЕП.

Безперервний, односпрямований характер роботи розглянутих механізмів визначає тривалий режим роботи їх ЕП, що виконуються неререверсивними, за винятком деяких випадків, де потрібна зміна напрямку руху.

Конвеєри суто транспортного призначення мають одну незмінну швидкість руху. Для конвеєрів складальних, фарбувальних і сушильних ліній при зміні складального чи оброблюваного виробу потрібна зміна швидкісного режиму з використанням засобів регульованого ЕП. За технологічними умовами МБТ вимагають неглибокого регулювання швидкості у діапазоні $D = 3 : 1$.

У сучасному потоковому виробництві робота декількох конвеєрів може поєднуватися загальним виробничим процесом у так звану потоково-транспортну систему (ПТС). У цьому випадку рухи окремих конвеєрів мають бути узгоджені між собою за швидкістю.

Важливою загальною вимогою до ЕП механізмів безперервного транспорту є забезпечення плавності пуску й гальмування з надійним обмеженням прискорення і ривка, а також максимального моменту двигуна та його похідної.

До шляхів економії електроенергії на конвеєрному транспорті належать: підвищення середнього завантаження конвеєрів до номінального значення; виключення додаткової роботи конвеєрів на неробочому русі; виключення

нерационального використання скребкових конвеєрів; підтримання високого технічного стану конвеєра; застосування регульованого електропривода [29].

1.2.2 Насоси, вентилятори, компресори

Насоси, вентилятори і компресори належать до числа найбільш поширених і енергоємних механізмів на промислових підприємствах, ЕП яких споживає близько 25 % електроенергії, що виробляється в країні. Встановлена потужність приводних електродвигунів складає від часток одиниць до десятків тисяч кіловат [18, 29, 33].

За принципом подачі робочого середовища та конструкцією розрізняють такі види механізмів [7, 26]:

насоси – відцентрові, осьові, поршневі, ротаційні, гвинтові і шестеренні;

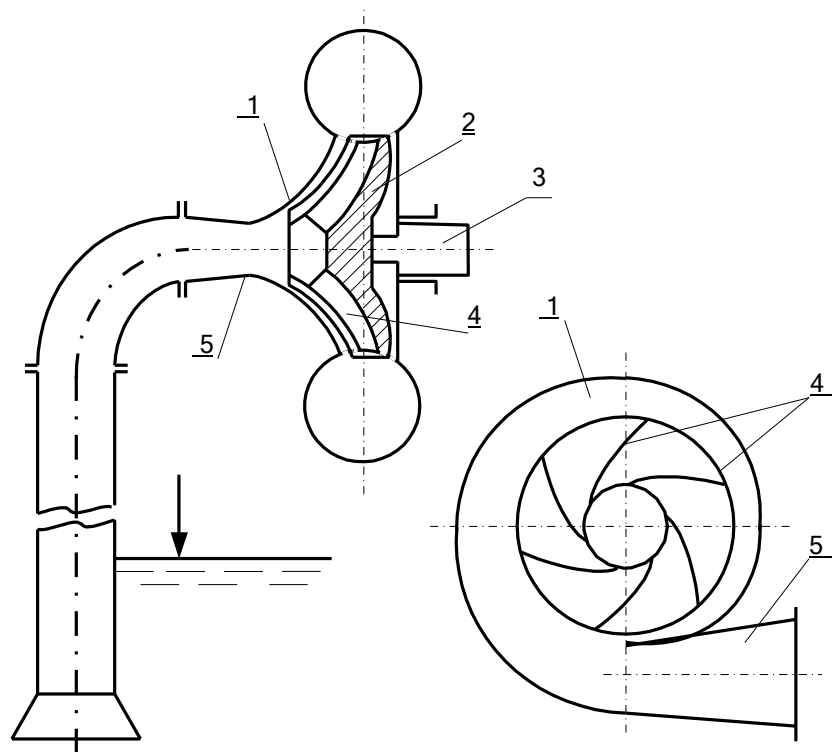
вентилятори – відцентрові та осьові;

компресори – відцентрові, осьові (турбокомпресори), поршневі, ротаційні і гвинтові.

Найбільшого поширення набули механізми відцентрового типу. На рис. 1.2 наведена схема відцентрового насоса, який знайшов широке застосування в промисловості та комунальному господарстві.

Насосні станції (НС) різноманітного призначення є найважливішими об'єктами життєзабезпечення людини, її господарської та виробничої діяльності. Незважаючи на важливість цих установок, приділяється мало уваги їх удосконаленню, зниженню енергетичних витрат.

Насосні установки (промислового і міського водопостачання, шахтного та кар'єрного водовідливу) – це енергоємні споживачі переважно з незмінною швидкістю обертання робочого колеса, що характеризуються великою продуктивністю, тривалим режимом роботи, обмеженим діапазоном регулювання швидкості. Насоси належать до класу механізмів, що працюють на загальну гідравлічну мережу з протитиском [30-31].



1 – корпус; 2 – робоче колесо; 3 – вал; 4 – лопаті; 5 – патрубки
Рисунок 1.2 – Схема одноступеневого відцентрового насоса

На сучасних НУ найбільшого поширення набули лопатеві насоси: відцентрові й осьові. Відцентрові насоси можуть бути як одноступеневі (з одним робочим колесом), так і багатоступеневі (з кількома колесами). Конструктивно, залежно від розташування вала, вони поділяються на горизонтальні й вертикальні насоси.

Як незалежний змінний параметр при побудові робочих характеристик турбомеханізму беруть подачу насоса, тому що вона безпосередньо пов'язана з витратою рідкого середовища в системі трубопроводів насосної установки. Зміна інших гідравлічних параметрів насоса залежить від зміни подачі. Таким чином, до характеристик насоса належать залежності напору H , потужності P , коефіцієнта корисної дії η від подачі насоса Q при визначеній частоті обертання n робочого колеса діаметром D .

В ЕП насосів застосовуються двигуни потужністю від одиниць кВт до декількох МВт. У більшості випадків це електропривод змінного струму –

асинхронні та синхронні двигуни.

Вибір системи ЕП визначається, у першу чергу, потребою регулювання подачі установки. Регулювання може бути як незначним, так і глибоким. Кожен з методів характеризується своїми технологічними можливостями та енергетичними показниками. Найбільш енергетично раціональним є регулювання параметрів частотою обертання електродвигуна насоса.

У процесі експлуатації режим роботи насосних агрегатів (НА) необхідно змінювати через змінний характер водоспоживання, який не піддається попередньому досить вірогідному прогнозуванню [13].

Відомі способи регулювання продуктивності НА впливом на комунікаційну мережу (дроселювання), на турбомеханізм (поворот лопаток робочого колеса), ступеневе регулювання подачі (змінюючи число працюючих одночасно турбомашин) належать до простих, але енергетично збиткових методів, оскільки спрямовані лише на розв'язання технологічних задач і не торкаються енергетичних аспектів транспорту води [28, 14]. Істотний економічний ефект виходить за рахунок економії електроенергії шляхом використання регульованого ЕП, а також за рахунок раціонального керування промисловими установками відповідно до технологічних вимог, що враховують усі аспекти функціонування насосних станцій і енергопостачальних мереж.

Хоча безперечним є факт підвищення ефективності турбомеханізмів при використанні регульованого ЕП, однак існує цілий ряд факторів, що дозволяє вважати зазначене положення не завжди правильними. При груповому характері навантаження (паралельній роботі декількох агрегатів) необхідний діапазон регулювання частоти обертання регульованого насоса складає всього 7–10 % нижче номінальної швидкості, а при збільшенні числа одночасно ввімкнених агрегатів – звужується до 3 %, що пояснюється визначеними закономірностями формування гідравлічних режимів у мережі [30, 11]. У таких умовах очевидне недовикористання регульованого ЕП за своїми регульовальними можливостями. Крім того, при роботі електропривода в області швидкостей, близьких до номінальної, регульований ЕП виявляється менш ефективним, ніж

нерегульований, через наявність втрат енергії в перетворювальних пристроях (до 5 %) [21]. При великому числі працюючих НА ефективною системою ЕП може бути керований за пуском привод, що забезпечує плавний запуск ЕД насоса, а також почерговий запуск інших працюючих турбомеханізмів до підсинхронної швидкості та здійснює регулювання швидкості в обмежених діапазонах без небезпеки теплового і механічного перевантаження всіх елементів електрифікованого агрегата.

З огляду на те, що реальний графік подачі при почерговому вмиканні/вимиканні турбоагрегатів відрізняється від необхідного, у межах одного ступеня необхідне підрегулювання продуктивності до необхідного рівня, що звичайно здійснюється системою регулювальних засувок. Таке регулювання супроводжується непродуктивними втратами електричної енергії через наявність втрат у дроселюючому органі (до 30 %). Більш доцільним є регулювання параметрів зміною частоти обертання двигуна насоса, що дозволяє заощадити до 30–50 % електроенергії, підвищити надійність роботи технологічного обладнання.

Вентиляція має важливе значення у виробничому процесі на підприємствах, оскільки можливість проведення робіт, здоров'я і продуктивність праці робітників значною мірою залежать від стану провітрювання виробничих приміщень і шахт. У вугільній і гірничорудній промисловості експлуатується велика кількість вентиляторних установок (ВУ) головного провітрювання із загальною встановленою потужністю електродвигунів понад 1 млн кВт, а потужність приводів окремих вентиляторів досягає 4000 кВт. ВУ витрачають більше 30 % від споживаної шахтами електроенергії. Разом з тим, переважна більшість установок вентиляторів головного провітрювання працює з ККД меншим за 0,6. Для підвищення ефективності роботи устаткування ВУ необхідно здійснювати регулювання кількості та тиску повітря, що подається [18, 29, 33].

Регулювання продуктивності ВУ щодо шкідливих речовин, які виділяються у рудничну атмосферу, є ефективним засобом зниження непродуктивних втрат електроенергії на вентиляцію. Для керування режимами

ВУ з мінімізацією споживання електроенергії можна використовувати програмне керування зі стабілізацією режимів засобами привода чи прямого апарата. Застосування зазначених технічних рішень дозволить знизити витрати електроенергії на 20–25 %.

Таким чином, основними шляхами економії електроенергії в вентиляторних установках є: узгодження режиму роботи вентилятора з характеристикою вентиляційної мережі, підвищення ККД вентиляційної мережі, підвищення експлуатаційного ККД вентиляторних установок; регулювання продуктивності ВУ.

Компресорні установки (КУ) складають основу технологічного обладнання хімічних виробництв, використовуються при видобуванні та переробці нафти, транспортують природний газ по газопроводах, закачують його в підземні сховища, широко застосовуються у холодильній техніці та системах розділення газів, у всіх видах транспорту, подають стиснене повітря для привода пневматичного устаткування та ін. Стиснене повітря є одним з найдорожчих видів енергії, використовуваної в сучасному промисловому виробництві. Витрата електроенергії на виробництво стисненого повітря на багатьох машинобудівних підприємствах складає 20–30 %, а на деяких доходить до 50–70 % від загальної кількості енергії, яку витрачає підприємство. Тому питання підвищення ефективності пневматичного обладнання на даний момент є надзвичайно актуальними. Економічність роботи КУ залежить від багатьох факторів, серед яких особливе місце посідають охолодження агрегату та утилізація теплоти стиску. Стиск газу є термогазодинамічним процесом, що пов'язаний із процесом охолодження. Необхідність у керуванні охолодженням пов'язана з питанням підвищення економічності виробництва стисненого повітря. Основними причинами низьких енергетичних показників КУ є невиробничі втрати повітря, нераціональні режими охолодження компресорів при виробництві стисненого повітря, нераціональне використання чи невикористання енергії тепла, що відводиться від КУ [19, 22, 26].

Важливе місце у народному господарстві посідають також поршневі

компресори. Потужність сучасних поршневих компресорів досягає 4000–5000 кВт. У більшості випадків поршневі машини тихохідні, причому зі збільшенням потужності частота обертання їх нижча. Наявність у кінематичній схемі кривошипно-шатунного механізму та необхідність використання маховика зумовлює наступні особливості поршневих машин як об'єкта електропривода: пульсуючий характер моменту навантаження, залежність пульсацій від частоти обертання привода, підвищений момент інерції, що ускладнює пуск привода, та ін. Для регулювання частоти обертання поршневих машин можуть використовуватися різні системи регульованого ЕП на базі системи тиристорний перетворювач–двигун постійного струму, асинхронно-вентильних каскадів.

Економія електроенергії в компресорних установках досягається за рахунок: періодичного контролю ККД компресорів; застосування резонансного наддування поршневих компресорів; зниження наднормативних витоків стисненого повітря і втрат тиску в пневматичних мережах шахт; узгодження режимів роботи компресорної станції з режимом споживаного стисненого повітря; заміна пневматичного обладнання на електрообладнання; використання регульованого електропривода [10, 29].

Практичне заняття № 1

Тема. Розрахунок статичного навантаження та потужності електродвигуна стрічкового конвеєра

Мета: вивчення особливостей роботи механізмів безперервного транспорту, їх конструктивних властивостей та основних параметрів; визначення статичних сил опору руху стрічкового конвеєра, його потужності та вибір двигуна приводної станції.

Рекомендації щодо виконання

Для розрахунку стрічкового конвеєра доцільно пронумерувати всі прямолінійні ділянки й ділянки вигину, ідучи від точки збігання приводного барабана за напрямком руху стрічки (рис. 1.3).

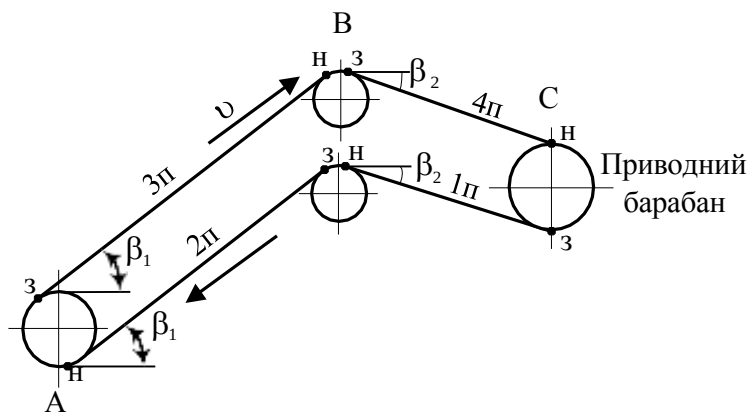


Рисунок 1.3 – Схема стрічкового конвеєра

Для визначення натягів у стрічці транспортера попередньо необхідно знайти:

а) масу 1 м вантажу, що транспортується, кг/м:

$$m_r = \frac{Q}{v},$$

де Q – продуктивність конвеєра, кг/с; v – швидкість руху стрічки, м/с;

б) вагове навантаження, що зумовлене масою корисного вантажу, Н/м:

$$q_r = 9,81m_r;$$

в) вагове навантаження, що зумовлене масою стрічки, Н/м:

$$q_0 = q_r (q_0 / q_{ном}); \quad (2.1)$$

г) сили опору руху на прямолінійних ділянках, H :

$$\Delta F_{n,i} = q_i l_i (C_{n,i} \cos \beta_i \pm \sin \beta_i), \quad (2.2)$$

де q_i – вагове навантаження ділянки на 1 м шляху (для робочої гілки конвеєра $q_i = q_0 + q_r$; для неробочої – $q_i = q_0$); l_i – довжина ділянки, м; $C_{n,i}$ – коефіцієнт опору руху на прямолінійній ділянці (на всіх ділянках однаковий і дорівнює C_n); β_i – кут нахилу ділянки. Знак "+" у формулі (1.2) відповідає ділянкам, де стрічка рухається на піднімання, а знак "-" – на спуск.

Результуюче зусилля опору на прямолінійних ділянках, що дорівнює зусиллям на окремих ділянках з урахуванням збільшення натягів на всіх ділянках вигину, крім приводного барабана, H :

$$\Delta F_n' = \Delta F_{n,n} + \Delta F_{n,n-1} k_{u,n-1} + \Delta F_{n,n-2} k_{u,n-2} k_{u,n-1} + \dots + \Delta F_{n,1} k_{u,1} \dots k_{u,n-1}, \quad (2.3)$$

де n – кількість прямолінійних ділянок конвеєра, $k_{u,i} = 1 + C_{n,i}$; $k_{u,i}$ – коефіцієнт збільшення натягу на ділянках вигину; $C_{n,i}$ – коефіцієнт опору на ділянках вигину (на всіх ділянках однаковий і дорівнює C_n).

Найбільший натяг у стрічці конвеєра може бути в одній із двох точок: або у точці збігу приводного барабана, або в найнижчій точці конвеєра (за умови, що $C_n < \tan \beta_i$).

Натяг у точці збігу приводного барабана, H :

$$T_{зб} = \frac{\Delta F_n' k_{дин}}{e^{\mu \alpha} - k_u}, \quad (2.4)$$

де $k_{дин}$ – коефіцієнт запасу, що враховує динамічні навантаження під час пуску конвеєра (при розрахунках можна взяти, що $k_{дин} = 1, 2, \dots, 1, 3$); μ – коефіцієнт тертя між тяговим і приводним елементами; α – кут охоплення барабана стрічкою,

rad ; $k_u = \prod_{i=1}^{n-1} k_{u,i}$ – результуючий коефіцієнт – збільшення натягу, що

визначається добутком аналогічних коефіцієнтів $k_{u,i}$ усіх ділянок вигину, крім приводного барабана.

Маючи натяг у точці збігу приводного барабана, можна розрахувати натяги конвеєра на всіх ділянках.

Натяг на кожній ділянці визначають таким чином:

- для прямолінійних ділянок $T_{зб,n,i} = T_{нб,n,i} + \Delta F_{n,i}$;
- для ділянок вигину $T_{зб,u,i} = k_{u,i} T_{нб,u,i}$.

Необхідно врахувати, що $T_{нб,n,i} = T_{зб,u,i-1}$ та $T_{нб,u,i} = T_{зб,n,i}$.

Для першої прямолінійної ділянки $T_{нб,n,1} = T_{зб}$.

Результуючу силу опору руху F_{cm} визначають як різницю натягів на приводному барабані:

$$F_{cm} = T_{нб} - T_{зб}. \quad (2.5)$$

Оптимальне місце розташування натяжного пристрою – ділянка вигину з мінімальним натягом T_0 . Для створення цього натягу потрібно мати вантаж вагою, H : $G_{HY} = 2T_0$.

Потужність приводної станції визначається розрахунковим статичним навантаженням F_{cm} і заданою швидкістю руху конвеєра, Вт:

$$P_{cm} = k_z \frac{F_{cm} v}{\eta_p}, \quad (2.6)$$

де $k_z = 1,1-1,3$ – коефіцієнт запасу, що враховує неточності розрахунку сили опору; $\eta_p = 0,8-0,9$ – ККД редуктора приводної станції.

Використовуючи [61], вибираємо електричний двигун з умови $P_H \geq P_{cm}$.

Приклад виконання самостійної роботи

Для стрічкового конвеєра (рис. 1.4) з початковими даними $AB=10$ м; $BC=2$ м; $\beta_1=35^\circ$; $\beta_2=4^\circ$; $Q=16$ т/год; $v=0,2$ м/с; $\alpha=180^\circ$; $a_{don}=0,4$ м/с²; $q_0/q_{ном}=0,08$; $\mu=0,3$; $C_n=0,04$; $C_H=0,035$:

- розрахувати масу вантажу;
- визначити результуючу силу опору руху;
- розрахувати потужність двигуна приводної станції;

- здійснити вибір двигуна приводної станції.

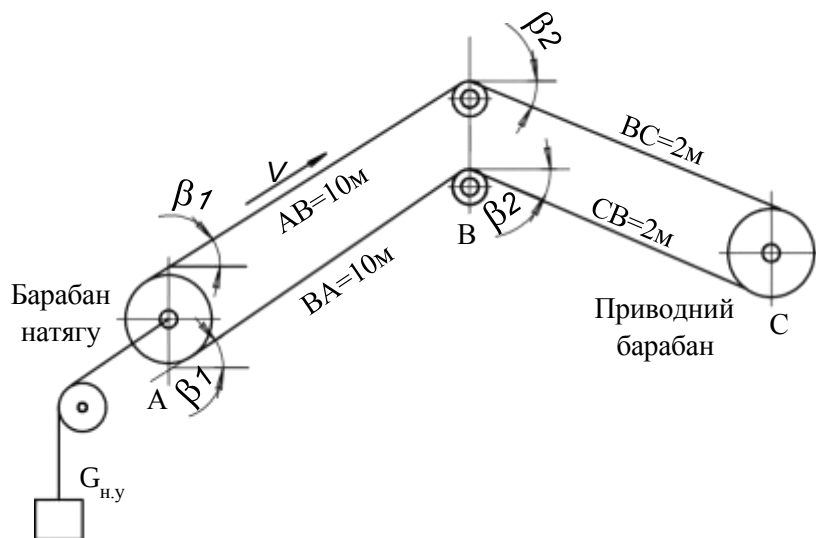


Рисунок 1.4 – Схема стрічкового конвеєра

Розв'язок

Вага 1 м транспортованого вантажу згідно із заданою продуктивністю:

$$m_r = \frac{Q}{3600 \cdot v} = \frac{16 \cdot 10^3}{3600 \cdot 0,2} = 22,22 \text{ кг.}$$

Вагове навантаження, що зумовлене масою корисного вантажу:

$$q_r = 9,81 \cdot m_r = 9,81 \cdot 22,22 = 217,97 \text{ Н/м.}$$

Вагове навантаження, що зумовлене масою стрічки:

$$q_0 = q_r (q_0 / q_{ном}) = 217,97 \cdot 0,08 = 17,44 \text{ Н/м.}$$

Згідно з (2.2) розрахуємо сили опору руху на прямолінійних ділянках:

$$\Delta F_{AB}^{\uparrow} = (17,44 + 217,97) \cdot 10 \cdot (0,04 \cos 35^\circ + \sin 35^\circ) = 1427,3 \text{ Н;}$$

$$\Delta F_{AB}^{\downarrow} = 17,44 \cdot 10 \cdot (0,04 \cos 35^\circ - \sin 35^\circ) = -94,33 \text{ Н;}$$

$$\Delta F_{BC}^{\uparrow} = (17,44 + 217,97) \cdot 2 \cdot (0,04 \cdot \cos 4^\circ + \sin 4^\circ) = 33,567 \text{ Н;}$$

$$\Delta F_{BC}^{\downarrow} = 17,44 \cdot 2 \cdot (0,04 \cdot \cos 4^\circ - \sin 4^\circ) = -2,375 \text{ Н,}$$

де верхній індекс “ $\uparrow$ ”, “ $\downarrow$ ” відповідає ділянкам, на яких стрічка рухається на підйом, спуск відповідно.

Розрахункове результуюче зусилля на прямолінійних ділянках траси згідно з (1.3):

$$\Delta F'_{II} = 33,567 + 1427,3 \cdot 1,035 - 94,33 \cdot 1,035^2 - 2,375 \cdot 1,035^3 = 1407,144 \text{ Н.}$$

Натяг у точці збігу приводного барабана:

$$T_{3\delta} = \frac{1407,144 \cdot 1,2}{e^{0,3 \cdot 3,14} - 1,1} = 1152,6 \text{ Н.}$$

Натяг на кожній ділянці:

$$T_2^{нб} = T_{3\delta} = 1152,6 \text{ Н};$$

$$T_2^{3\delta} = k_u \cdot T_2^{нб} = 1,035 \cdot 1152,6 = 1192,94 \text{ Н};$$

$$T_3^{нб} = T_2^{3\delta} + \Delta F_{AB}^C = 1192,94 - 94,33 = 1098,61 \text{ Н};$$

$$T_3^{3\delta} = k_u \cdot T_3^{нб} = 1,035 \cdot 1098,61 = 1137,06 \text{ Н};$$

$$T_4^{нб} = T_3^{3\delta} + \Delta F_{AB}^{II} = 1137,06 + 1427,3 = 2564,36 \text{ Н};$$

$$T_4^{3\delta} = k_u \cdot T_4^{нб} = 1,035 \cdot 2564,36 = 2654,1 \text{ Н};$$

$$T_1^{нб} = T_4^{3\delta} + \Delta F_{BC}^{II} = 2654,1 + 33,567 = 2687,68 \text{ Н};$$

$$T_1^{нб} = T_{нб}.$$

Результуюча сила опору:

$$F_{cm} = T_{нб} - T_{3\delta} = 2687,68 - 1152,6 = 1535,08 \text{ Н.}$$

Потужність станції привода конвеєра:

$$P_c = 1,1 \cdot \frac{1535,08 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3}}{0,8} = 0,42 \text{ кВт.}$$

Номінальну потужність двигуна визначаємо з умови: $P_H \geq P_{cm}$.

Вибираємо електродвигун 4А71В2 з параметрами $P_H = 1,1 \text{ кВт}$ та частотою обертання $n = 3000 \text{ об/хв.}$

Завдання до теми

Для стрічкового конвеєра, технічні дані якого наведено у додатку Д:

- розрахувати масу вантажу;
- визначити результуючу силу опору руху;
- розрахувати потужність двигуна приводної станції;
- здійснити вибір двигуна приводної станції.

Примітка. Для розв’язання задачі необхідно знати кінематичну схему стрічкового конвеєра, методи визначення сил опору руху, які діють на робочому органі; вирази для розрахунку потужності приводного ЕД.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення механізмів безперервного транспорту.
2. Перерахуйте основні вузли стрічкового конвеєра.
3. Які вимоги висувають до привода механізмів безперервного транспорту?
4. Де найбільш оптимально розмістити пристрій натягу?
5. Які існують сили опору руху в конвеєрах, від яких параметрів вони залежать?
6. Як визначають потужність приводної станції?
7. Які системи керування використовують у механізмах безперервного транспорту?

Література: [1, С. 367–417; 24, С. 214–216; 26, С. 150–169; 29, С. 134–135, 146–147; 30, С. 85–150; 32].

]

Практичне заняття № 2

Тема. Визначення напірно-витратних та енергетичних характеристик відцентрового насоса зі змінною частотою обертання

Мета: аналіз режимів роботи відцентрового насоса на гідромережу при змінній швидкості обертання за допомогою опису характеристик насосів апроксимаційними поліномами.

Рекомендації щодо виконання

Реальні напірно-витратні та енергетичні характеристики насосів з достатнім ступенем точності можна описати за допомогою апроксимованих аналітичних залежностей [54, 66].

Характеристика $H - Q$ насоса з вираженням максимумом описується тричленом другого ступеня:

$$H = A_2 v^2 + B_2 v Q + C_2 Q^2 . \quad (2.7)$$

Якщо характеристика $H - Q$ насоса полого, то вираз для напірної характеристики має вигляд квадратичної параболи:

$$H = A_2 v^2 + C_2 Q^2 . \quad (2.8)$$

Потужність, підведена до вала відцентрової машини, дорівнює:

$$P = A_3 v^2 Q + B_3 v Q^2 + D_3 v^3 , \quad (2.9)$$

де у виразах (2.7)–(2.9) $v = \omega / \omega_{ном}$ – відносна швидкість обертання робочого колеса насоса; $\omega_{ном}$ – номінальна швидкість обертання насоса; $A_2, B_2, C_2; A_3, B_3, D_3$ – коефіцієнти апроксимації, які залежать від конструктивних особливостей турбомеханізму й зумовлені паспортними характеристиками насосів.

Корисна потужність турбомеханізму дорівнює:

$$P_n = \frac{\rho g Q H}{1000} , \quad (2.10)$$

де ρ – густина рідини, кг/м^3 ; Q – подача насоса, $\text{м}^3/\text{с}$; H – напір насоса, м ; g –

прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

З урахуванням (2.7) корисна потужність насоса буде:

$$P_n = \frac{\rho g}{1000} A_2 v^2 Q + B_2 v Q^2 + C_2 Q^3, \quad (2.11)$$

Коефіцієнт корисної дії турбомеханізму дорівнює відношенню корисної

потужності P_n до підведеної з боку вала турбомеханізму P , має вигляд:

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{P_n}{P} = \frac{\rho g}{1000} \frac{A_2 v^2 Q + B_2 v Q^2 + C_2 Q^3}{A_3 v^2 Q + B_3 v Q^2 + D_3 v^3}. \quad (2.12)$$

Для нерегульованого за швидкістю агрегата (при $v = 1.0$)

$$\eta_{\text{мех}} = \frac{\rho g}{1000} \frac{A_2 Q + B_2 Q^2 + C_2 Q^3}{A_3 Q + B_3 Q^2 + D_3}. \quad (2.13)$$

Для одержання характеристик конкретних турбомеханізмів, описаних з деяким наближенням виразами (2.7)–(2.9), (2.12), коефіцієнти апроксимації $A_2, B_2, C_2; A_3, B_3, D_3$ визначаються за паспортними характеристиками цих машин за трьома точками для $v = 1.0$:

- $Q = 0, H = H_0, P = P_0$;
- $Q = Q_1, H = H_1, P = P_1$;
- $Q = Q_2, H = H_2, P = P_2$,

де H_0 – напір, що розвивається насосом при нульовій подачі; P_0 – потужність неробочого ходу, що витрачається на покриття втрат потужності, які зумовлені циркуляційними потоками в робочому колесі насоса, дисковим тертям в ущільненнях і підшипниках машини.

За відомими робочими параметрами турбомашини складаємо систему рівнянь, що описує $H - Q$ характеристики насоса

$$\left. \begin{aligned} H_0 &= A_2 v^2; \\ H_1 &= A_2 v^2 + B_2 v Q_1 + C_2 Q_1^2 \\ H_2 &= A_2 v^2 + B_2 v Q_2 + C_2 Q_2^2 \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

Розв'язання системи (2.14) дозволило визначити коефіцієнти апроксимації напірно-витратної характеристики насоса:

$$\begin{aligned} A_2 &= H_0; \quad B_2 = \frac{H_1 Q_2}{Q_1(Q_2 - Q_1)} - \frac{H_2 Q_1}{Q_2(Q_2 - Q_1)} - \frac{H_0(Q_2 + Q_1)}{Q_1 Q_2}; \\ C_2 &= \frac{H_2}{Q_2(Q_2 - Q_1)} - \frac{H_1}{Q_1(Q_2 - Q_1)} + \frac{H_0}{Q_1 Q_2}. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Аналогічним чином складаємо систему рівнянь, що описує $P - Q$ характеристики насоса:

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= D_3 v^3; \\ P_1 &= A_3 v^2 Q_1 + B_3 v Q_1^2 + D_3 v^3 \\ P_2 &= A_3 v^2 Q_2 + B_3 v Q_2^2 + D_3 v^3 \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

Розв'язання системи (2.16) дозволило визначити коефіцієнти апроксимації енергетичної характеристики насоса:

$$\begin{aligned} D_3 &= P_0; \quad A_3 = \frac{P_2 Q_1}{Q_2(Q_1 - Q_2)} - \frac{P_1 Q_2}{Q_1(Q_1 - Q_2)} - \frac{P_0(Q_1 + Q_2)}{Q_1 Q_2}; \\ B_3 &= \frac{P_1}{Q_1(Q_1 - Q_2)} - \frac{P_2}{Q_2(Q_1 - Q_2)} + \frac{P_0}{Q_1 Q_2}. \end{aligned} \quad (2.17)$$

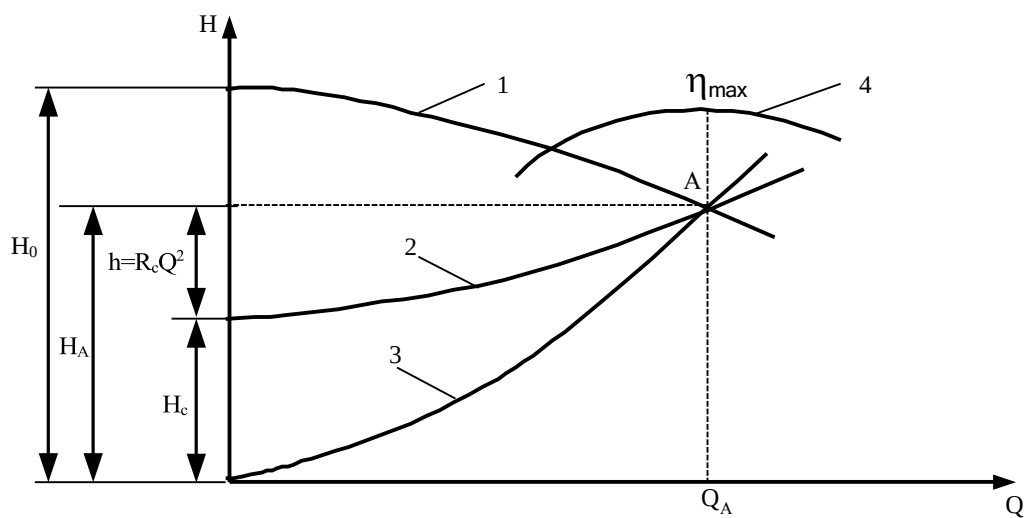
Реальні експлуатаційні показники турбомашини можуть бути отримані тільки при спільному аналізі характеристик насоса й мережі, на яку він працює (рис. 2.5).

Напір, створюваний насосом, складається з двох складових: статичного напору H_C , що йде на підйом рідини на визначену висоту (геодезичний напір), і динамічного

напору, необхідного для подолання гідродинамічного опору мережі $h = R_c Q_c^2$ (рис. 1.5)

$$H = H_c + R_c Q^2, \quad (2.18)$$

Де R_c - гідродинамічний опір мережі, що залежить від довжини мережі величини поперечного перерізу трубопроводу, жорсткості стінок і наявності місцевих опорів (колін, зворотних клапанів, засувок), c^2/m^5 .



- 1 – характеристика насоса; 2 – характеристика мережі за наявності протитиску; 3 – характеристика мережі без протитиску
- 4 – залежність ККД насоса від продуктивності

Рисунок 1.5 – Робота насоса на гідромережу з постійними параметрами

За відсутності протитиску рівняння характеристики мережі має вигляд:

$$H = R_c Q^2. \quad (2.19)$$

Таким чином, характеристика трубопроводу може бути зображена сімейством парабол, крутість гілок яких залежить від величини опору мережі R_c . Точка перетину А характеристики турбомеханізму з характеристикою мережі визначає режим роботи насоса, тобто ті значення Q , H і η , з якими буде працювати установка (рис. 1.5).

Роботу одиночного насоса на гідравлічну мережу з протитиском можна описати системою рівнянь виду:

$$\left. \begin{aligned} H &= A_2 v^2 + B_2 v Q + C_2 Q^2; \\ H &= H_c + R_c Q^2; \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

Розв'язання системи (2.20) дозволило одержати залежність продуктивності насоса від зміни швидкості його обертання:

$$Q = \frac{-B_2 v - \sqrt{B_2^2 v^2 - 4(C_2 - R_c)(A_2 v^2 - H_c)}}{2(C_2 - R_c)} \quad (2.21)$$

Підставивши рівняння (2.21) у вираз (2.9), одержимо залежність потужності, споживаної насосом, від зміни частоти обертання робочого колеса турбомеханізму:

$$P = \frac{A_3 v^2 (-B_2 v - \sqrt{B_2^2 v^2 - 4(C_2 - R_c)(A_2 v^2 - H_c)})}{2(C_2 - R_c)} + \frac{B_3 v (-B_2 v - \sqrt{B_2^2 v^2 - 4(C_2 - R_c)(A_2 v^2 - H_c)})^2}{4(C_2 - R_c)^2} + D_3 v^3 \quad (2.22)$$

З урахуванням (2.21) залежність корисної потужності насоса від зміни швидкості його обертання має вигляд:

$$P_n = \frac{9.8 \left(A_2 v^2 + \frac{B_2 v \sigma}{2C_2 - 2R_c} + \frac{C_2 \sigma^2}{(2C_2 - 2R_c)^2} \right) \sigma}{2C_2 - 2R_c} \quad (2.23)$$

$$\text{де } \sigma = -B_2 v - \sqrt{B_2^2 v^2 - 4C_2 A_2 v^2 + 4C_2 H_c + 4R_c A_2 v^2 - 4R_c H_c}.$$

Підставивши вираз (2.22), (2.23) у (2.12) і виконавши ряд перетворень, одержимо залежність ККД турбомеханізму при змінній швидкості обертання насоса і різних параметрів мережі, на яку цей насос працює:

$$\eta = \frac{9.8 \left(A_2 v^2 + \frac{B_2 v \sigma}{2C_2 - 2R_c} + \frac{C_2 \sigma^2}{(2C_2 - 2R_c)^2} \right) \sigma}{(2C_2 - 2R_c) \left(\frac{A_3 v^2 \sigma}{2C_2 - 2R_c} + \frac{B_3 v \sigma^2}{(2C_2 - 2R_c)^2} + D_3 v^3 \right)} \quad (2.24)$$

Приклад виконання самостійної роботи

Для відцентрового насоса 3В-200×4 з технічними показниками

$H_{ном} = 185 \text{ м}$, $Q_{ном} = 250 \text{ м}^3/\text{год}$, $n_{ном} = 1450 \text{ об/хв}$, $P_{ном} = 184 \text{ кВт}$, $\eta_{ном} = 0,7$,

$D=445 \text{ мм}$ та паспортними характеристиками, наведеними на рис. 2.6:

– розрахувати коефіцієнти апроксимації напірно-витратної та енергетичної характеристик;

- побудувати $H - Q$, $P - Q$, $\eta - Q$ характеристики насоса, використовуючи апроксимаційні поліноми, для відносних значень частоти обертання робочого колеса агрегату, які дорівнюють 1,0; 0,9; 0,7;
- побудувати залежність зміни потужності, що споживається турбомашиною, і ККД насоса від частоти обертання для статичного напору $H_c = 0,5H_{ном}$ та гідравлічного опору $R_c = 50 \text{ с}^2/\text{м}^5$.

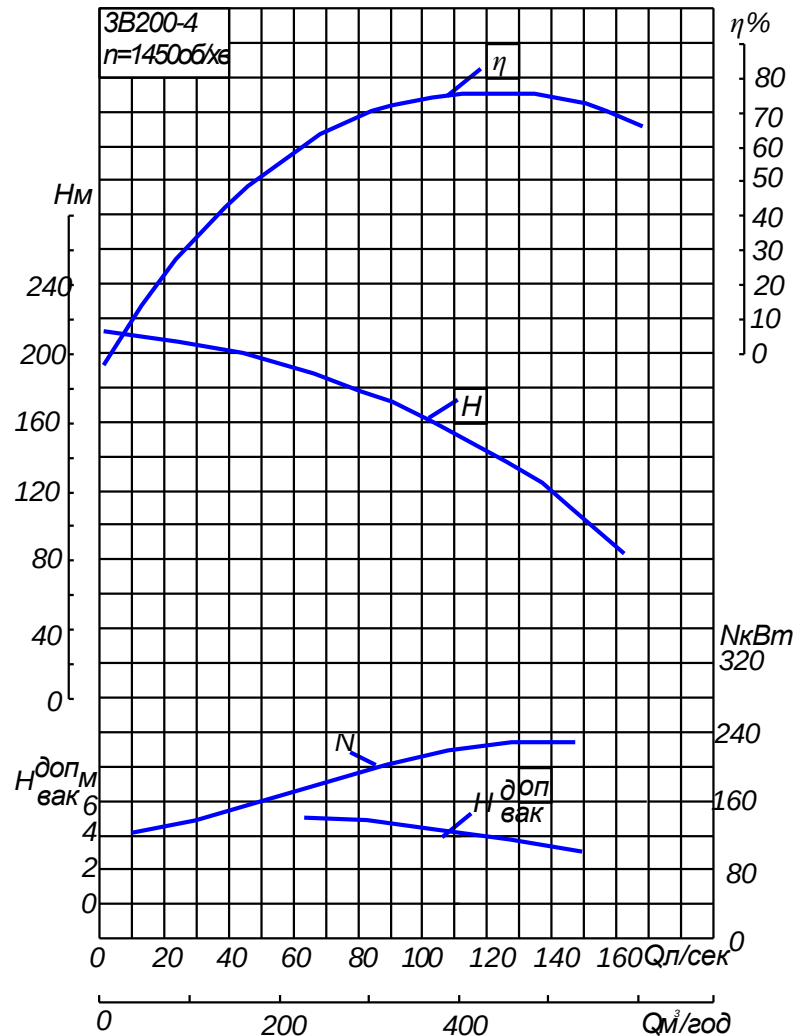


Рисунок 1.6 – Паспортні характеристики насоса 3В-200×4

Розв'язок

Визначимо три точки на паспортній характеристиці насоса:

- $H_0 = 215 \text{ м}$, $P_0 = 135 \text{ кВт}$;
- $H_1 = 150 \text{ м}$, $Q_1 = 0,119 \text{ м}^3/\text{с}$, $P_1 = 235 \text{ кВт}$;

– $H_2 = 190$ м, $Q_2 = 0,061$ м³/с, $P_2 = 175$ кВт.

Зазначимо, що $g = 9,81$ м/с², $\rho = 1000$ кг/м³.

За виразами (2.15, 2.17) розраховуємо апроксимаційні коефіцієнти:

$A_2 = H_0 = 215$; $B_2 = -266,399$; $C_2 = -2351$; $A_3 = 461,591$; $B_3 = 3183$;

$D_3 = 135$.

Використовуючи рівняння (2.7), (2.9), (2.12), отримаємо вирази для опису характеристик насоса для різних значень частоти обертання робочого колеса агрегату, графіки яких наведені на рис. 1.7–1.9.

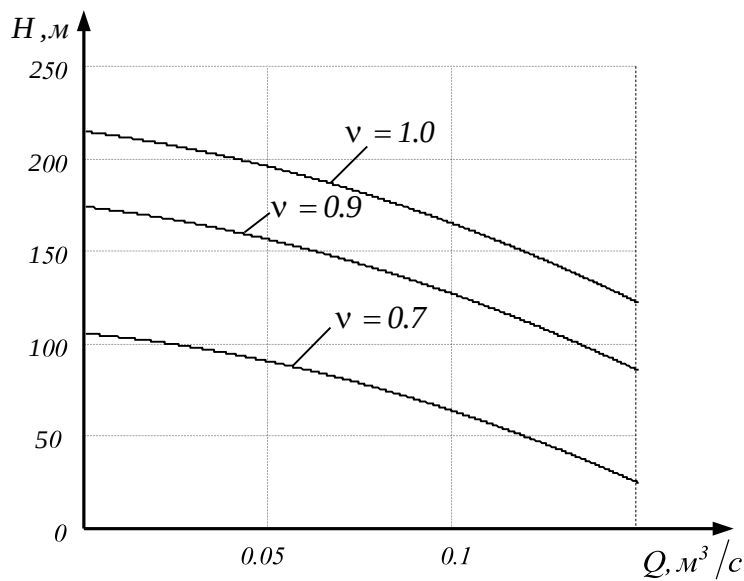


Рисунок 1.7 – Напірно-витратні характеристики насоса

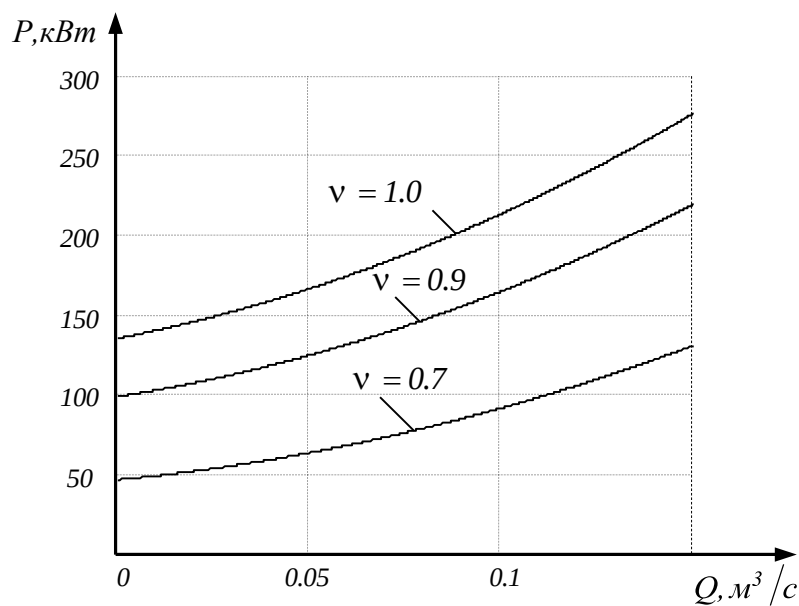


Рисунок 1.8 – Криві зміни потужності насоса від продуктивності

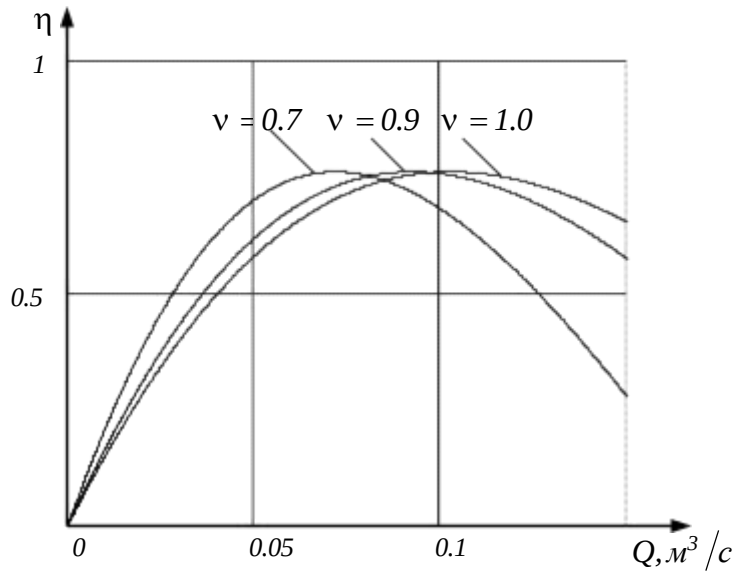


Рисунок 1.9 – Криві зміни ККД насоса від продуктивності

Використовуючи рівняння (2.22), (2.24), отримаємо залежності зміни потужності, що споживається турбомашиною, та ККД насоса від частоти обертання для $H_c = 0,5H_{ном}$, що проілюстровані на графіках (рис. 2.10, 2.11).

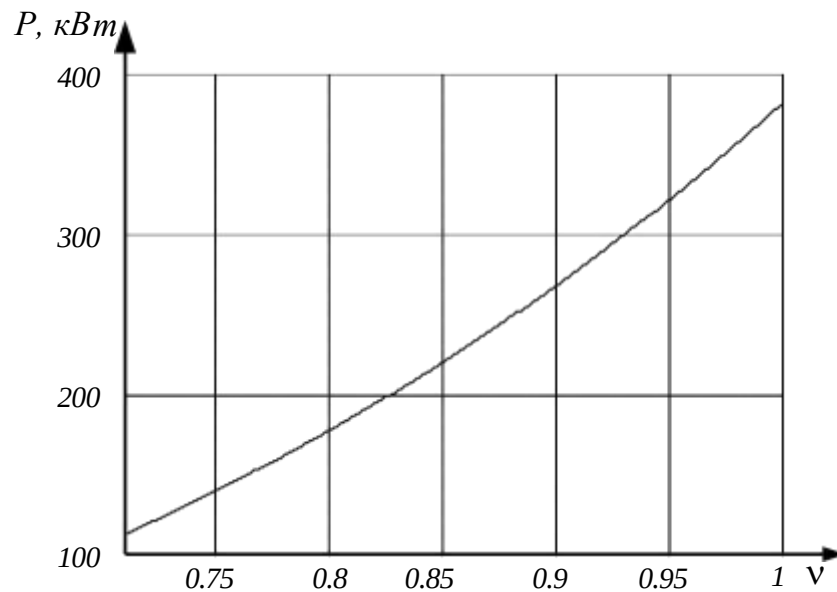


Рисунок 1.10 – Залежність зміни потужності, що споживається турбомашиною, від частоти обертання

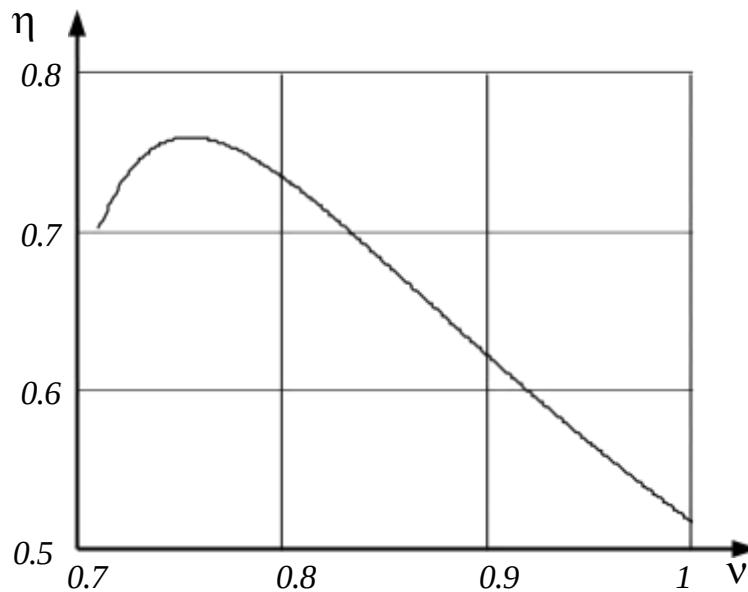


Рисунок 1.11 – Залежність ККД насоса від частоти обертання

Завдання до теми

Для відцентрового насоса, паспортна характеристика якого наведена в додатку Е:

- розрахувати коефіцієнти апроксимації напірно-витратної та енергетичної характеристик;
- побудувати $H - Q$, $P - Q$, $\eta - Q$ характеристики насоса, використовуючи апроксимаційні поліноми, для відносних значень частоти обертання робочого колеса агрегату, які дорівнюють 1,0; 0,9; 0,7;
- побудувати залежність зміни потужності, що споживається турбомашиною, і ККД насоса від частоти обертання для статичного напору $H_c = 0,5H_{ном}$.

Примітка. Для розв’язання задачі необхідно знати методику визначення апроксимаційних коефіцієнтів відцентрових насосів за їх паспортними характеристиками; залежності зміни напору, потужності та ККД насосів від частоти обертання при роботі на гідромережу зі змінними параметрами.

Контрольні запитання

1. Назвіть відомі методи регулювання параметрів насосних установок.
2. Що розуміють під паспортними характеристиками насосів?

3. Якими параметрами характеризуються насосні установки?
4. Як здійснити запуск відцентрового насоса?
5. Перерахуйте вимоги до ЕП насосів.
6. Якими параметрами характеризується гідравлічна мережа?
7. Якими математичними залежностями описуються напірно-витратні та енергетичні характеристики?
8. Як визначаються коефіцієнти апроксимації характеристик насосів?
9. Як змінюються характеристики відцентрових насосів при зміні частоти обертання?
10. Як визначити потужність на валу двигуна насоса?
11. Навести $H-Q$ характеристики механізму при зміні параметрів частотою обертання.

Література: [32, С. 6–46; 20, С. 56; 14, С. 18–122; 24, С. 10–33, С. 566–570].

Практичне заняття № 3

Тема. Енергозберігаючі режими роботи насосних установок у системі водоспоживача

Мета: аналіз ефективності методів регулювання параметрів насосних установок; обґрунтування вибору раціональної системи електропривода насоса.

Рекомендації щодо виконання

Добове енергоспоживання насосної установки:

$$W_{доб} = W_1 + W_2 + \dots + W_n, \quad (2.25)$$

де $W_n = P_n \cdot t_n$ – енергоспоживання НУ за інтервал часу відповідно; n – кількість ділянок водоспоживання; P_n – споживана насосною установкою потужність.

Споживана НУ потужність при регулюванні дроселюванням:

$$P_{др. n} = \frac{P_{др.кор. n}}{\eta_n}, \quad (2.26)$$

де $P_{др.кор. n}$, η_n – корисна потужність та ККД установки відповідно.

Корисна потужність турбомеханізму:

$$P_{др.кор. n} = \frac{\rho g Q_n H_n}{1000}, \quad (2.27)$$

де $H_n = A_2 + B_2 Q_n + C_2 Q_n^2$ – напір насоса при водоспоживанні у мережі споживача з подачею Q_n .

При регулюванні дроселюванням значення ККД турбомеханізму визначається за паспортними кривими насоса для відповідних значень Q_n .

При частотному регулюванні продуктивності необхідно знати відносну частоту обертання, яка відповідає продуктивності на тому чи іншому проміжку часу. У загальному вигляді її можна знайти, розв'язавши систему рівнянь:

$$\begin{cases} H_n = A_2 v^2 + B_2 v Q_n + C_2 Q_n^2 \\ H_n = H_c + R_c Q_n^2, \end{cases} \quad (2.28)$$

де H_c – статичний напір, м; R_c – гідродинамічний опір мережі, що залежить від довжини мережі, величини поперечного перерізу трубопроводу, жорсткості стінок і наявності

місцевих опорів (колін, зворотних клапанів, засувок), $\text{с}^2/\text{м}^5$.

Відносна частота обертання насоса:

$$v(Q_n) = \frac{-B_2 Q_n + \sqrt{B_2^2 Q_n^2 + 4A_2 R_c Q_n^2 - 4A_2 C_2 Q_n^2 + 4A_2 H_c}}{2A_2} \quad (2.29)$$

Споживана потужність при частотному керуванні:

$$P_{\text{част. н}} = A_3 [v(Q_n)]^2 Q_n + B_3 v(Q_n) Q_n^2 + D_3 [v(Q_n)]^3 \quad (2.30)$$

Приклад виконання самостійної роботи

Відцентровий насос 3В-200×4, паспортні характеристики якого наведені на рис. 2.5, працює на покриття добового графіка водоспоживання (рис. 2.11).
Необхідні дані для розрахунку: $H_{\text{ном}} = 185 \text{ м}$, $R_c = 50 \text{ с}^2/\text{м}^5$, $H_c = 0,5H_{\text{ном}}$,
 $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $Q_1 = 0,01875 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_2 = Q_4 = 0,0625 \text{ м}^3/\text{с}$, $Q_3 = 0,02847 \text{ м}^3/\text{с}$,
 $Q_5 = 0,02153 \text{ м}^3/\text{с}$, $t_1 = 6 \text{ год}$, $t_2 = 3 \text{ год}$, $t_3 = 6 \text{ год}$, $t_4 = 6 \text{ год}$, $t_5 = 3 \text{ год}$.

Довести ефективність застосування частотно-регульованого електропривода насосної установки порівняно з регулюванням продуктивності дроселюванням.

Розв'язок

Графік водоспоживання умовно розділений на п'ять ділянок, тому $n = 5$.
Для регулювання продуктивності дроселюванням напірного трубопроводу знайдемо напір на кожній з ділянок (коефіцієнти апроксимації для відцентрового насоса знайдено в практичному занятті № 6):

$$H_1 = 215 - 266,4 \cdot 0,01875 - 2351 \cdot 0,01875^2 = 209,178 \text{ м};$$

$$H_2 = 215 - 266,4 \cdot 0,0625 - 2351 \cdot 0,0625^2 = 189,166 \text{ м};$$

$$H_3 = 215 - 266,4 \cdot 0,02847 - 2351 \cdot 0,02847^2 = 205,51 \text{ м};$$

$$H_4 = 215 - 266,4 \cdot 0,0625 - 2351 \cdot 0,0625^2 = 189,166 \text{ м};$$

$$H_5 = 215 - 266,4 \cdot 0,02153 - 2351 \cdot 0,02153^2 = 208,175 \text{ м}.$$

Для регулювання дроселюванням ККД визначаємо з паспортної

характеристики: $\eta_1 = 0,28$, $\eta_2 = 0,6$, $\eta_3 = 0,37$, $\eta_4 = 0,6$, $\eta_5 = 0,3$.

Корисна потужність:

$$P_{\partial p.1} = \frac{9,81 \cdot 209,178 \cdot 0,01875 \cdot 10^{-3}}{0,28} = 0,14 \text{ кВт};$$

$$P_{\partial p.2} = \frac{9,81 \cdot 189,166 \cdot 0,0625 \cdot 10^{-3}}{0,6} = 0,19 \text{ кВт};$$

$$P_{\partial p.3} = \frac{9,81 \cdot 205,51 \cdot 0,02847 \cdot 10^{-3}}{0,37} = 0,16 \text{ кВт};$$

$$P_{\partial p.4} = P_{\partial p.2} = 0,19 \text{ кВт};$$

$$P_{\partial p.5} = \frac{9,81 \cdot 208,175 \cdot 0,02153 \cdot 10^{-3}}{0,3} = 0,15 \text{ кВт}.$$

Енергоспоживання на окремих ділянках дорівнює:

$$W_{\partial p.1} = 0,14 \cdot 6 = 0,824 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\partial p.2} = 0,193 \cdot 3 = 0,58 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\partial p.3} = 0,16 \cdot 6 = 0,93 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\partial p.4} = 0,19 \cdot 6 = 1,16 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_{\partial p.5} = 0,15 \cdot 3 = 0,44 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Добове енергоспоживання НУ при регулюванні дроселюванням:

$$W_{\partial p.\Sigma} = 0,824 + 0,58 + 0,93 + 1,16 + 0,44 = 3,935 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

При регулюванні продуктивності НУ зміною частоти обертання для кожної з ділянок водопостачання відносна частота обертання НА відповідно дорівнює:

$$v_1 = 0.671, v_2 = 0.728, v_3 = 0.681, v_4 = 0.728, v_5 = 0.673.$$

Споживана потужність при частотному регулюванні з урахуванням виразу (2.30):

$$P_{\text{част}1} = 0,45 \text{ кВт}; \quad P_{\text{част}2} = 0,76 \text{ кВт}; \quad P_{\text{част}3} = 0,5 \text{ кВт}; \quad P_{\text{част}4} = 0,76 \text{ кВт};$$

$$P_{\text{част}5} = 0,467 \text{ кВт}.$$

Енергоспоживання на окремих ділянках при частотному регулюванні дорівнює:

$$W_{част1} = 0,45 \cdot 6 = 0,27 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_{част2} = 0,76 \cdot 3 = 0,23 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_{част3} = 0,5 \cdot 6 = 0,3 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_{част4} = 0,76 \cdot 6 = 0,46 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

$$W_{част5} = 0,467 \cdot 3 = 0,14 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Добове енергоспоживання НУ при частотному регулюванні:

$$W_{част\Sigma} = 0,27 + 0,23 + 0,3 + 0,46 + 0,14 = 1,403 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Таким чином, енергоспоживання НУ при регулюванні продуктивності частотою обертання двигуна насоса у 2,8 раза нижче, ніж при дроселюванні. Доцільною схемою ЕП насоса може бути система ПЧ-АД, ПЧ-СД при досить глибокому регулюванні частоти обертання. При груповій роботі насосів раціональною системою ЕП може бути фазове керування за схемою ТРН-АД.

Завдання до теми

Насос, паспортні характеристики якого наведені в додатку И, працює на покриття добового графіка водоспоживання (рис. 2.12). Необхідні дані для розрахунку взяти з практичного заняття № 6 та додатка Ж. Довести ефективність застосування частотно-регульованого електропривода насосної установки порівняно з регулюванням продуктивності дроселюванням.

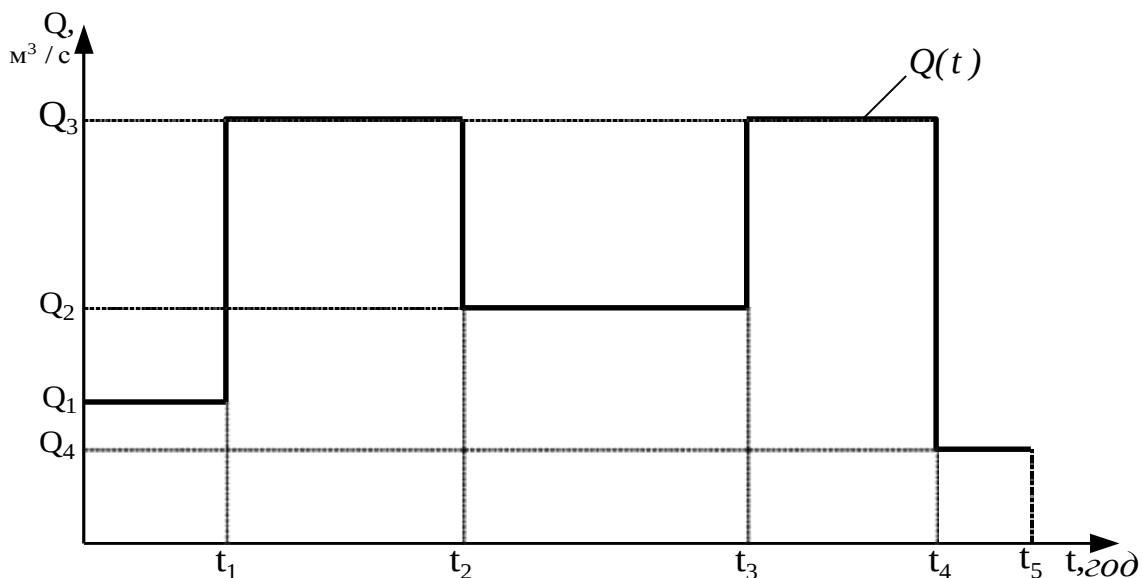


Рисунок 1.12 – Добовий графік витрати води

Примітка. Для розв’язання задачі необхідно знати методи регулювання продуктивності відцентрових насосів, уміти визначати енергетичні показники насосного агрегата при використанні того чи іншого способу регулювання; обґрунтовувати раціональні схеми електропривода насосної установки.

Контрольні запитання

1. Від чого залежить зміна режиму роботи водоспоживача?
2. У чому полягає суть регулювання дроселюванням; як визначаються втрати на дроселюючому органі? Як визначається споживана потужність і ККД механізму при регулюванні засувкою?
3. Навести напірно-витратні характеристики насоса при регулюванні параметрів зміною частоти обертання.
4. Чим визначається ефективність застосування того чи іншого методу регулювання?
5. У яких випадках доцільно застосовувати регульований електропривод і чому?

Література: [29, С. 173–181; 20, С. 56; 25, С. 18–122; 14, С. 10–25, С. 6–46].

Практичне заняття № 4

Тема. Визначення втрат потужності в асинхронному електроприводі турбомеханізму при частотному і фазовому керуванні

Мета: аналіз розподілу втрат в асинхронному електроприводі насоса при зміні напруги живлення та різних частотних законах керування.

Рекомендації щодо виконання

Для обґрунтування вибору системи регульованого ЕП турбомеханізму, що працює паралельно з іншими нерегульованими агрегатами, необхідно вміти оцінювати вплив типу перетворювального пристрою на загальні втрати електричної енергії, що включають втрати в електродвигуні (ЕД) і втрати в перетворювальному пристрої.

Розглянемо два варіанти регульованого ЕП турбомашини: частотно-регульований і ЕП з фазовим керуванням напруги живлення.

Під статичними законами регулювання напруги і частоти, або, скорочено, законами частотного керування, розуміють співвідношення між частотою і напругою, подаваними на статор асинхронного двигуна, що забезпечують відповідність характеристик двигуна характеристикам статичного навантаження. Оптимальні статичні закони забезпечують, крім того, мінімальні втрати у двигуні. Конкретний вид статичного закону визначається характером навантаження і вимогами до характеристик двигуна [11].

Для надійної роботи електропривода необхідно, щоб максимальний момент двигуна завжди був більшим ніж момент навантаження, тобто двигун мав достатню перевантажувальну здатність. Тому статичний закон частотного керування зазвичай виводять з умови збереження перевантажувальної здатності за будь-якої швидкості або стосовно поточного значення моменту навантаження, або стосовно граничного розрахункового моменту.

Закон частотного керування з умови збереження перевантажувальної здатності при синусоїдальній формі напруги для ідеалізованого двигуна встановлений М. П. Костенком:

$$\frac{U_1}{U_n} = \frac{f_1}{f_{1n}} \sqrt{\frac{M}{M_n}},$$

де M і M_n – електромагнітний та номінальний моменти двигуна; U_1 – напруга живлення при частоті мережі f_1 ; U_n – напруга живлення при частоті мережі f_{1n} .

Відомі його окремі випадки для регулювання за граничним моментом:

а) під час постійного моменту навантаження

$$\frac{U}{f} = \text{const};$$

б) під час навантаження з постійною потужністю

$$\frac{U}{\sqrt{f}} = \text{const};$$

в) під час вентиляторного навантаження

$$\frac{U}{f^2} = \text{const}.$$

Фазове керування є різновидом параметричного, у цьому випадку амплітудного, що дозволяє змінити величину прикладеної до двигуна змінної напруги, яка є одним з параметрів, що визначають вид механічних характеристик [11].

Визначальними для асинхронної машини є втрати у міді статора і ротора, втрати в сталі статора від гістерезису і вихрових струмів, а також механічні втрати. Основними втратами у сталі ротора можна знехтувати, тому що під час абсолютного ковзання, яке не перевищує номінального (що має місце у сталому режимі при частотному керуванні), вони малі [31].

Загальні втрати в АД – сума втрат у міді, сталі й механічних втрат [31, 22].

Під час використання нерегульованого електропривода маємо наступний розподіл втрат:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_m + \Delta P_c + \Delta P_{\text{мех}} = \Delta P_{\text{мс}} + \Delta P_{\text{мп}} + \Delta P_{\text{сс}} + \Delta P_{\text{ср}} + \Delta P_{\text{мех}}, \quad (2.31)$$

де $\Delta P_{\text{мс}}$ – втрати двигуна в міді статора; $\Delta P_{\text{сс}}$ – втрати двигуна у сталі статора;

$\Delta P_{\text{мр}}$ – втрати двигуна у міді ротора; $\Delta P_{\text{ср}}$ – втрати двигуна у сталі ротора; $\Delta P_{\text{мех.}}$ – механічні втрати.

Для номінального режиму досліджуваного двигуна:

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{P_n(1-\eta_n)}{\eta_n}. \quad (2.32)$$

Втрати у міді двигуна:

$$\Delta P_{\text{м}} = \Delta P_{\text{мс}} + \Delta P_{\text{мр}}, \text{ причому } \Delta P_{\text{мс}} \approx \Delta P_{\text{мр}}. \quad (2.33)$$

Втрати у сталі двигуна:

$$\Delta P_{\text{с}} = \Delta P_{\text{сс}} + \Delta P_{\text{ср}}, \text{ де через малість } \Delta P_{\text{ср}} \text{ маємо } \Delta P_{\text{с}} \approx \Delta P_{\text{сс}}. \quad (2.34)$$

Використовуючи [10], запишемо:

$$\Delta P_{\text{м}} = \varepsilon_1 \cdot \Delta P_n, \Delta P_{\text{с}} = \varepsilon_2 \cdot \Delta P_n, \Delta P_{\text{мех.}} = \varepsilon_3 \cdot \Delta P_n, \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 1.0, \quad (2.35)$$

де $\varepsilon_1; \varepsilon_2; \varepsilon_3$ – коефіцієнти, що залежать від конструкції двигуна і не залежать від способу регулювання його швидкості. При цьому для двигунів середньої та великої потужності $\varepsilon_1 \approx 0.5 - 0.6$; $\varepsilon_2 \approx 0.35 - 0.45$; $\varepsilon_3 \approx 0.1 - 0.25$ [41].

Втрати у міді двигуна визначимо з виразу:

$$\Delta P_{\text{м}} = \Delta P_{\text{мс}} + \Delta P_{\text{мр}} = 3R_1 I_1'^2 + 3R_2' I_2'^2 = 3R_1 (I_2'^2 + I_n'^2) + 3R_2' I_2'^2, \quad (2.36)$$

де I_n – струм намагнічування двигуна.

Під час регулювання швидкості двигуна зміною живильної напруги, яка підведена до обмотки статора, момент обертання двигуна пропорційний до квадрата напруги:

$$M_{\text{ав}} = \frac{3U_{1\phi}^2 R_2' / s}{\omega_0 [(R_1 + R_2' / s)^2 + X_k^2]}, \quad (2.37)$$

де $U_{1\phi}$ – фазна напруга статора; R_1, R_2', X_k – активний опір статора, активний приведений опір ротора, індуктивний опір розсіювання статора і ротора відповідно; $s = 1 - \nu$ – ковзання двигуна; $\nu = n_i / n_n$ – відносна частота обертання АД.

У статичному режимі справедлива рівність моментів на валу:

$$M_{nac} = M_{\partial s},$$

або

$$\mu M_n \frac{v - v_k}{1 - v_k} = \frac{3U_{1\phi}^2 R_2' / s}{\omega_0 [(R_1 + R_2' / s)^2 + X_k^2]}. \quad (2.38)$$

З останнього виразу знайдемо залежність фазної напруги статора від статичного навантаження і швидкості обертання двигуна $U = f(\mu, v)$:

$$U_{1\phi} = \sqrt{\frac{\mu M_n \omega_0 (v - v_k) [(R_1(1 - v) + R_2')^2 + X_k^2(1 - v)^2]}{3R_2'(1 - v)(1 - v_k)}}. \quad (2.39)$$

Залежність приведенного струму ротора під час роботи з навантаженням:

$$I_2' = \frac{U_{1\phi}}{\sqrt{(R_1 + R_2' / s)^2 + X_k^2}} = \frac{U_{1\phi}(1 - v)}{\sqrt{[R_1(1 - v) + R_2']^2 + X_k^2(1 - v)^2}}. \quad (2.40)$$

Підставляючи рівняння (2.39), (2.40) до виразу (2.36) для ΔP_{mc} , а також з огляду на те, що струм намагнічування прямо пропорційний до зміни фазної напруги $I_\mu = I_{\mu n} \frac{U(v)}{U_n}$, одержимо:

$$\begin{aligned} \Delta P_{mc} = & 3R_1' \left[\sqrt{\frac{\mu M_n \cdot (v - v_k)}{(1 - v_k)}} \times \sqrt{\frac{\omega_0 [(R_1(1 - v) + R_2')^2 + X_k^2(1 - v)^2]}{3R_2'(1 - v)}} \times \frac{(1 - v)}{\sqrt{(R_1(1 - v) + R_2')^2 + X_k^2(1 - v)^2}} \right]^2 + \\ & + 3R_1' \left[I_{\mu n} \sqrt{\frac{\mu M_n \cdot (v - v_k)}{(1 - v_k)}} \times \sqrt{\frac{\omega_0 [(R_1(1 - v) + R_2')^2 + X_k^2(1 - v)^2]}{3R_2'(1 - v)}} \times \frac{1}{U_n} \right]^2 \end{aligned} \quad (2.41)$$

Підставляючи рівняння (2.39), (2.40) до виразу (2.36) для ΔP_{mp} , маємо:

$$\Delta P_{mp} = 3R_2' \left[\sqrt{\frac{\mu M_n \cdot (v - v_k)}{(1 - v_k)}} \times \sqrt{\frac{\omega_0 [(R_1(1 - v) + R_2')^2 + X_k^2(1 - v)^2]}{3R_2'(1 - v)}} \times \frac{(1 - v)}{\sqrt{(R_1(1 - v) + R_2')^2 + X_k^2(1 - v)^2}} \right]^2. \quad (2.42)$$

Під час роботи двигуна зі змінною частотою залежно від закону частотного

керування вирази для I_2' , I_μ і ΔP_m будуть мати різний вигляд:

$$\frac{U}{f} = C_1; I_2' = I_{2n} \cdot \frac{M(v)}{M_n} = I_{2n} \cdot \frac{\mu(v - v_k)}{1 - v_k}; I_\mu = I_{\mu n}$$

$$\Delta P_m = 3R_1 \left(\left(I_2' \cdot \frac{\mu(v - v_k)}{1 - v_k} \right)^2 + I_\mu^2 \right) + 3R_2 \left(I_2' \cdot \frac{\mu(v - v_k)}{1 - v_k} \right)^2; \quad (2.43)$$

$$\frac{U}{f^2} = C_2; I_2' = I_{2n} \cdot \frac{M(v)}{M_n} \cdot \frac{f_n}{f} = I_{2n} \cdot \frac{\mu(v - v_k)}{1 - v_k} \cdot \frac{1}{k_f}; I_\mu = I_{\mu n} \cdot k_f$$

$$\Delta P_m = 3R_1 \left(\left(I_{2n} \cdot \frac{\mu(v - v_k)}{1 - v_k} \cdot \frac{1}{k_f} \right)^2 + (I_{\mu n} \cdot k_f)^2 \right) + 3R_2 \left(I_{2n} \cdot \frac{\mu(v - v_k)}{1 - v_k} \cdot \frac{1}{k_f} \right)^2. \quad (2.44)$$

Робота електропривода вигідна за того варіанта керування, де відсутнє перевантаження АД за гріючими втратами.

Приклад виконання самостійної роботи

Для асинхронного двигуна з параметрами:

- номінальна потужність двигуна – 800 кВт;
- ККД – 0,95;
- лінійна напруга – 6 кВ;
- синхронна частота обертання – 1000 об/хв;
- номінальне ковзання – 1,4 %;
- струм статора номінальний – 94,5 А;
- активний опір статора – 0,512 Ом;
- активний приведенний опір ротора – 1,08 Ом;
- індуктивний опір розсіювання – 6,735 Ом,

визначити сумарні гріючі втрати потужності у системі асинхронного регульованого електропривода турбомеханізму з механічною характеристикою

вигляду $M_{нас} = \mu \cdot M_n \frac{v - v_k}{1 - v_k}$ (де $\mu = 1.0$ – коефіцієнт завантаження електричної

машини; M_n – номінальний момент турбомеханізму; $\nu = \frac{n}{n_n}$ – відносна поточна частота обертання; ν_k – відносна критична частота обертання двигуна регульованого турбомеханізму, що визначає крайню нижню межу необхідного діапазону регулювання) для різних варіантів керування – частотного керування із законами $\frac{U}{f} = C_1$; $\frac{U}{f^2} = C_2$ і фазового керування зміною величини подаваної напруги до статорних затискачів ЕД. Втрати в сталі та механічні втрати вважати незмінними. Розрахунок зробити для значень відносної частоти обертання $\nu = 1.0$, $\nu = 0.95$ і $\nu_k = 0.91$. Виконати обґрунтування доцільності застосування тієї чи іншої схеми регульованого ЕП турбомеханізму.

Розв'язок

Для досліджуваного двигуна:

$$\Delta P_{\Sigma} = \frac{P_n \cdot (1 - \eta_n)}{\eta_n} = \frac{800 \cdot (1 - 0.95)}{0.95} = 42 \text{ кВт.}$$

Тоді: $\Delta P_m = 0.59 \cdot 42 = 24.7 \text{ кВт}$, $\Delta P_c = 0.35 \cdot 42 = 14.7 \text{ кВт}$, $\Delta P_{\text{мех}} = 0.06 \cdot 42 = 2.5 \text{ кВт}$.

Припустимо, що втрати у сталі змінюються незначно і дорівнюють $\Delta P_c = \Delta P_n = 14.7 \text{ кВт}$.

За виразами (2.36, 2.41, 2.42) розраховуємо втрати у міді:

- для $\nu = 1.0$ $\Delta P_{\text{мр}} = \Delta P_{\text{мс}} \approx 7.4 \text{ кВт}$; $\Delta P_m \approx 14.8 \text{ кВт}$;
- для $\nu = 0.95$ $\Delta P_{\text{мр}} \approx 18 \text{ кВт}$; $\Delta P_{\text{мс}} \approx 10.4 \text{ кВт}$; $\Delta P_m \approx 28.4 \text{ кВт}$;
- для $\nu_k = 0.91$ $\Delta P_{\text{мр}} = 0 \text{ кВт}$; $\Delta P_{\text{мс}} \approx 1.9 \text{ кВт}$; $\Delta P_m \approx 1.9 \text{ кВт}$.

Криві зміни втрат у міді АД наведено на рис. 2.13.

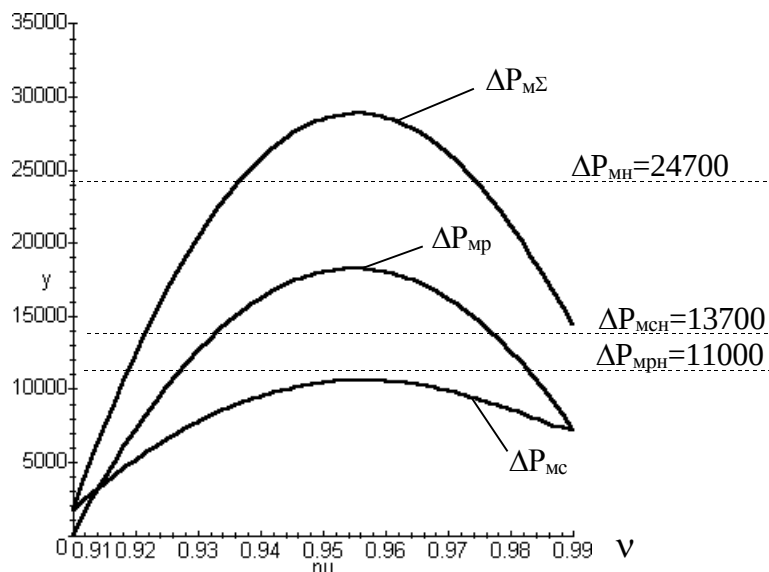


Рисунок 1.13 – Зміна втрат у міді під час регулювання швидкості
змінною фазної напруги статора

Для закону частотного керування $\frac{U}{f} = C_1$ втрати у міді:

- при $s = 1.0$ $\Delta P_m \approx 35,6 \text{ кВт}$;
- при $s = 0.95$ $\Delta P_m \approx 8,4 \text{ кВт}$;
- при $s_k = 0.91$ $\Delta P_m \approx 1,1 \text{ кВт}$.

Для закону частотного керування $\frac{U}{f^2} = C_2$ одержимо:

- при $s = 1.0$ $\Delta P_m \approx 35,6 \text{ кВт}$;
- при $s = 0.95$ $\Delta P_m \approx 7,7 \text{ кВт}$;
- при $s_k = 0.91$ $\Delta P_m \approx 1,1 \text{ кВт}$.

Залежність втрат у міді за різних законів частотного керування наведено на рис. 2.14.

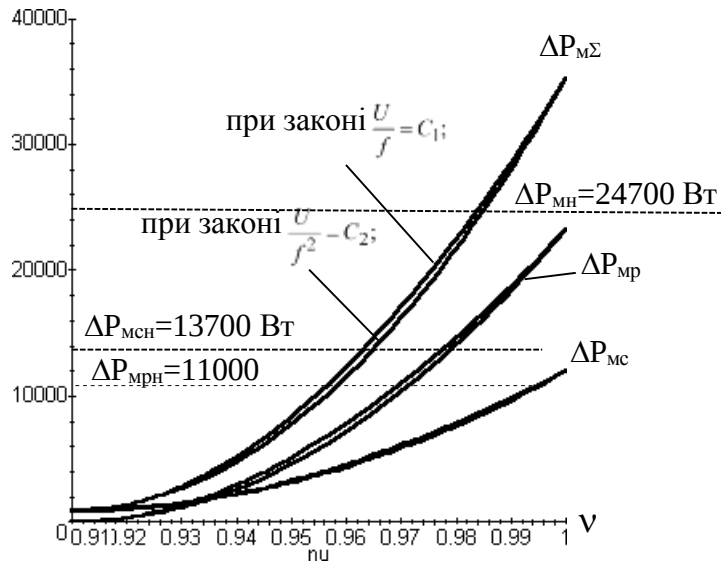


Рисунок 1.14 – Залежність втрат у міді двигуна від швидкості при частотному керуванні при $\mu=1.0$

На рис. 1.15 наведено графіки зміни сумарних втрат в АД.

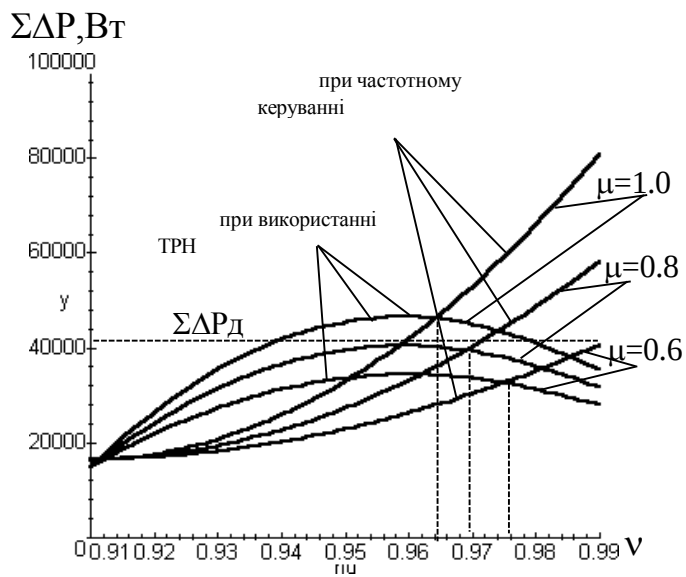


Рисунок 1.15 – Залежність сумарних втрат від швидкості

Завдання до теми

Визначити сумарні гріючі втрати потужності у системі асинхронного регульованого електропривода турбомеханізму з механічною характеристикою виду:

$$M_{nac} = \mu \cdot M_n \frac{v - v_k}{1 - v_k},$$

для різних варіантів керування: частотного керування із законами $\frac{U}{f} = C_1$;

$\frac{U}{f^2} = C_2$ і фазового керування зміною величини подаваної напруги до статорних

затискачів ЕД. Втрати у сталі й механічні втрати вважати незмінними.

Розрахунок зробити для значень відносної частоти обертання $v = 1.0$, $v = 0.95$ і $v_k = 0.91$. Виконати обґрунтування доцільності застосування тієї чи іншої схеми регульованого ЕП турбомеханізму. Дані для розрахунку наведено у додатку И.

Примітка. Для розв'язання задачі необхідно мати уявлення про визначення гріючих втрат в асинхронному електроприводі при зміні частоти обертання електричного двигуна та різних коефіцієнтах завантаження електричної машини зі змінним моментом на валу.

Контрольні запитання

1. Що розуміють під статичними законами керування ЕД?
2. Назвіть основні частотні закони керування АД.
3. У чому полягає суть фазового керування АД?
4. Як визначають втрати в АД при номінальному режимі?
5. Які складові визначають втрати у міді й сталі?
6. Як змінюються втрати при різних коефіцієнтах завантаження машини?
7. За отриманими залежностями дати оцінку роботи асинхронного двигуна за мінімумом гріючих втрат для різних законів керування.

Література: [11, С. 34–47, 29, С. 108–119; 22, С. 33; 15, С. 58–66, 76–89; 24, С. 7–87].

Практичне заняття № 5

Тема. Розрахунок механічної характеристики та потужності електропривода відцентрового вентилятора

Мета: вивчення особливостей роботи вентиляторних установок на аеродинамічну мережу та набуття навичок розрахунку й побудови механічної характеристики вентилятора.

Рекомендації щодо виконання

Відцентровими вентиляторами називають машини для переміщення чистих газів і сумішей газів з дрібними твердими матеріалами. Характерною ознакою відцентрового вентилятора є підвищення тиску за рахунок роботи відцентрової сили газу, що рухається в робочому колесі від центра до периферії [37].

Відцентрові вентилятори поширені в промисловості та комунальному господарстві для вентиляції будинків, відсмоктування шкідливих речовин у технологічних процесах. У теплоенергетичних установках відцентрові вентилятори застосовуються для подачі повітря в топкові камери парогенераторів, переміщення паливних сумішей у системах пилоприготування, відсмоктування димових газів і транспортування їх в атмосферу.

Вентилятор характеризується, крім напору H , який він розвиває, об'ємною подачею Q , повним η і статичним $\eta_{ст}$ ККД і потужністю N . При зміні частоти обертання вала вентилятора і температури подаваного газу всі ці величини змінюються. На рис. 1.15 наведено універсальні характеристики відцентрових вентиляторів.

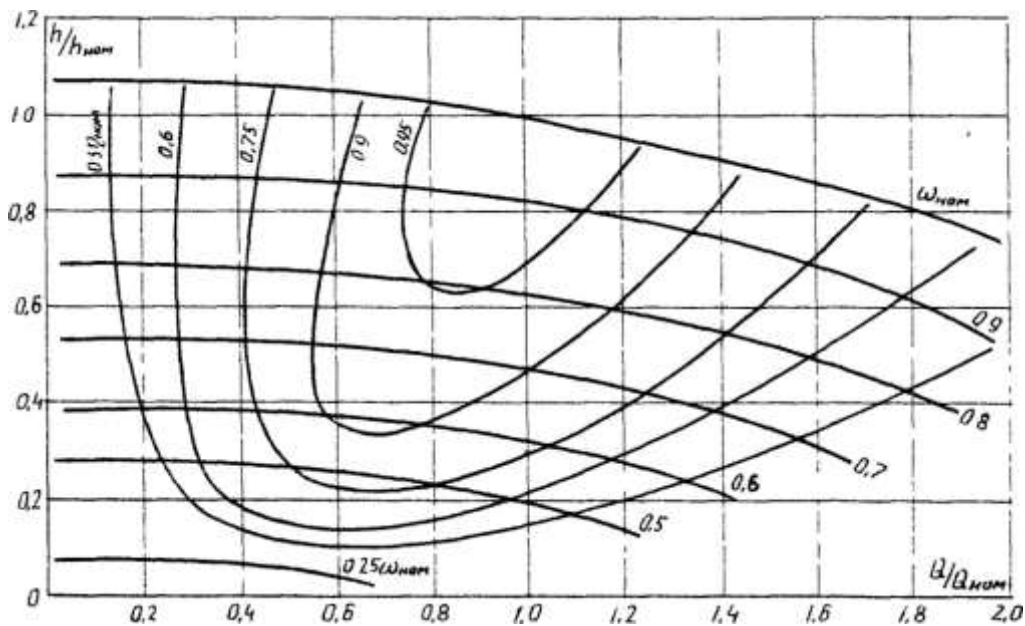


Рисунок 1.15 – Універсальні $H - Q$ характеристики відцентрових вентиляторів

У повній корисній енергії, яка передається вентилятором потокові газу, істотну частку складає кінетична енергія. Тому оцінка ефективності вентилятора повним ККД є недостатньою. Для оцінки вентиляторів з боку створюваного ними статичного напору введений статичний ККД $\eta_{ст}$. Таким чином, вентилятори характеризуються двома ККД: повним і статичним. Очевидно, $\eta_{ст} < \eta$. Орієнтовно $\eta_{ст}$ менше η на 20–30 %.

Підставою для вибору вентилятора є найбільша подача Q і напір H , що він повинен створювати, працюючи в заданій системі повітро- або газопроводів. Потужність приводного двигуна вентилятора беруть із запасом, що враховує можливе відхилення режиму від розрахункового, зменшення ККД вентилятора і старіння ізоляції двигуна в процесі тривалої експлуатації.

Механічну характеристику вентилятора можна розрахувати за виразом:

$$M_{ст} = \frac{HQ}{\eta\omega}, \quad (2.45)$$

де H – напір, Па; Q – подача, м³/с; η – ККД вентилятора; ω – кутова швидкість вентилятора. Для переводу тиску можна скористатись виразом: 1 Па = 0,102 мм. вод. ст. (кгс/м²).

Характеристика магістралі, що підключена до вентилятора, має вигляд:

$$H_{mag} = k_{mag} Q^2.$$

Більш просто механічну характеристику можна розрахувати, використовуючи закони пропорційності [54, 66], з урахуванням яких вираз (2.45) набуде вигляду:

$$M_{cvt} = \frac{H_{ном} Q_{ном}}{\eta_{ном} \omega_{ном}} \left(\frac{\omega_f}{\omega_{ном}} \right)^2. \quad (2.46)$$

Діапазон регулювання кутової швидкості вентилятора, що забезпечує задане регулювання продуктивності, пропорційний діапазону регулювання подачі:

$$D = \omega_{ном} / \omega_{min} = Q_{ном} / Q_{min}. \quad (2.47)$$

Номінальна потужність приводного двигуна вентилятора, кВт:

$$P_{ном} \geq P_{cv} = \frac{H_{ном} Q_{ном}}{\eta_{ном}} 10^{-3}. \quad (2.48)$$

Приклад виконання самостійної роботи

Для відцентрового вентилятора з технічними даними $H_{ном} = 260$ мм.вод.ст., $Q_{ном} = 30000$ м³/год, $\eta_{ном} = 0,56$, $Q_{min} / Q_{ном} = 0.4$, $\omega_{ном} = 151$ с⁻¹ розрахувати й побудувати залежність моменту опору від кутової швидкості.

Розв'язок

За виразом (2.46) отримаємо:

$$M_{cvt} = \frac{260 \cdot 8,33}{0,102 \cdot 0,56 \cdot 151} \left(\frac{\omega_f}{151} \right)^2 = 0,011 \omega_f^2.$$

На рис. 2.16 наведено залежність моменту опору від кутової швидкості.

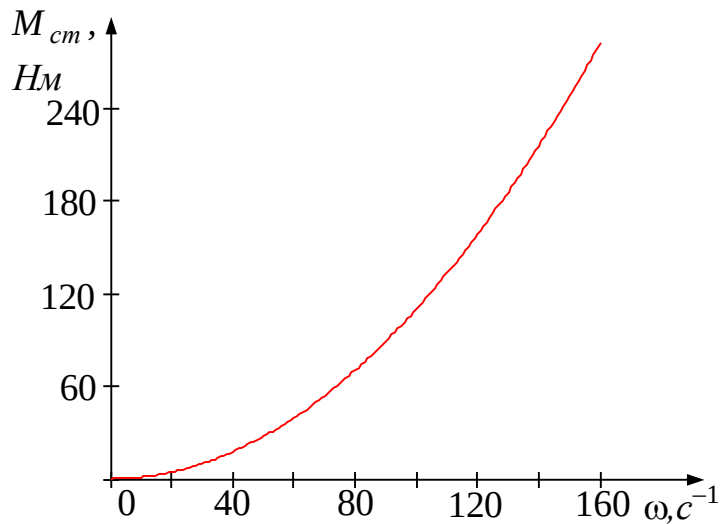


Рисунок 1.16 – Залежність моменту опору від кутової швидкості

Діапазон регулювання кутової швидкості, що забезпечує задане зниження подачі:

$$D = Q_{ном} / Q_{min} = 10 / 4 = 2.5.$$

Номінальна потужність приводного двигуна:

$$P_{ном} \geq P_{ср}$$

$$\text{де } P_{ср} = \frac{H_{ном} Q_{ном}}{\eta_{ном}} 10^{-3} = \frac{260 \cdot 8,33}{0,102 \cdot 0,56} 10^{-3} = 37,9 \text{ кВт.}$$

За довідником [31] вибираємо асинхронний приводний двигун серії 4A200L4У3 з номінальною потужністю 45 кВт.

Завдання до теми

Для відцентрового вентилятора, технічні дані якого наведено у додатку К:

- розрахувати й побудувати залежність моменту опору від кутової швидкості;
- визначити діапазон регулювання кутової швидкості, що забезпечує задане зниження подачі;
- розрахувати номінальну потужність приводного асинхронного двигуна.

Примітка. Для розв’язання задачі необхідно знати особливості роботи вентиляторів на аеродинамічну мережу, основні залежності між напором,

продуктивністю, потужністю та моментом відцентрового вентилятора при зміні частоти обертання приводного двигуна.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення відцентрового вентилятора.
2. У яких галузях народного господарства застосовують відцентрові вентилятори?
3. Якими параметрами характеризується відцентровий вентилятор?
4. Як розрахувати потужність приводного двигуна відцентрового вентилятора?
5. Який вигляд має механічна характеристика вентилятора?
6. Якими параметрами характеризується комунікаційна магістраль, на яку працює вентилятор?

***Література:** [29, С. 161–164, С. 169–173; 24, С. 43–53; 15–17, С. 131–156;].*

РОЗДІЛ 2 ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Загальні питання

1. ТПМ називаються:

- а) механізми, що виконують ряд операцій різного характеру в тому чи іншому технологічному процесі;
- б) механізми, що виконують однотипні операції у технологічному процесі;
- в) механізми, що виконують різноманітні операції технологічного циклу.

2. Вибрати механізми, робочий процес яких складається з повторюваних однотипних циклів:

- а) механізми безперервної дії;
- б) механізми відцентрового типу;
- в) механізми циклічної дії;
- г) механізми конвеєрного типу;
- д) механізми потоково-транспортної системи.

3. Які механізми належать до підйомно-транспортних машин:

- а) конвеєри;
- б) компресори;
- в) крани;
- г) насоси;
- д) промислові маніпулятори;
- е) вертикальні підйомні установки;
- ж) відцентрові вентилятори;
- к) канатні дороги;
- л) роторні екскаватори.

4. Вибрати механізми, які входять до групи машин безперервної дії:

- а) ескалатори;
- б) крани;
- в) конвеєри;
- г) насосні установки;

- д) ліфти;
- е) вентиляторні установки;
- ж) металообробні верстати;
- к) компресори;
- л) прокатні стани;
- м) центрифуги;
- н) сепаратори;
- п) шахтні підйомні установки.

5. Вибрати механізми, які входять до групи механізмів циклічної дії:

- а) ескалатори;
- б) ліфти;
- в) конвеєри;
- г) насосні установки;
- д) компресори;
- е) крани;
- ж) вентиляторні установки;
- к) металообробні верстати;
- л) центрифуги;
- м) прокатні стани;
- н) сепаратори;
- п) преси;
- р) шахтні підйомні установки.

6. У якому режимі працюють електроприводи механізмів циклічної дії:

- а) у короткочасному режимі;
- б) у номінальному тривалому режимі;
- в) у повторно-короткочасному режимі;
- г) у переміжному режимі;
- д) пункти (а) і (б).

7. Залежність приведенного до валу двигуна статичного моменту від швидкості руху виконавчого органа робочої машини – це:

- а) навантажувальна діаграма;
- б) інерційна характеристика;
- в) тахограма;
- г) електромеханічна характеристика;
- д) кутова характеристика.

8. Характерною особливістю повторно-короткочасного режиму роботи механізмів циклічної дії є:

- а) періоди незмінного номінального навантаження чергуються з періодами неробочого ходу двигуна;
- б) короткочасні періоди навантаження чергуються з періодами відключення машини;
- в) періоди реверсу чергуються з періодами незмінного номінального навантаження;
- г) незмінне постійне навантаження;
- д) перевищення температур усіх частин машини досягає свого сталого значення.

9. Згідно з емпіричним виразом $M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x$ показник

ступеня $x = 1$ характеризує:

- а) механізми з моментом опору, що не залежить від швидкості;
- б) механізми з лінійно зростаючою механічною характеристикою;
- в) механізми з нелінійно зростаючою механічною характеристикою;
- г) механізми з нелінійно спадаючою механічною характеристикою;
- д) усі перераховані види механізмів.

10. Згідно з емпіричним виразом $M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x$ показник

ступеня $x \geq 1$ характеризує:

- а) механізми з моментом опору, що не залежить від швидкості;
- б) механізми з лінійно зростаючою механічною характеристикою;
- в) механізми з нелінійно зростаючою механічною характеристикою;

г) механізми з нелінійно спадаючою механічною характеристикою;

д) усі перераховані види механізмів.

11. Згідно з емпіричним виразом $M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x$ показник

ступеня $x > 1$ характеризує:

а) підйомну лебідку, кран;

б) генератор постійного струму незалежного збудження при постійному зовнішньому навантаженні;

в) вентилятори, насоси;

г) фрезерні, розточувальні верстати;

д) усі перераховані види механізмів.

12. Згідно з емпіричним виразом $M_c = M_0 + (M_{сн} - M_0) \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^x$ показник

ступеня $x = 0$ характеризує:

а) підйомну лебідку, кран;

б) генератор постійного струму незалежного збудження при постійному зовнішньому навантаженні;

в) вентилятори, насоси;

г) фрезерні, розточувальні верстати;

д) компресори.

13. Тахограмою швидкості двигуна або робочої машини називають залежність:

а) $\omega = f(t)$;

б) $M = f(\omega)$;

в) $\omega = f(M)$;

г) $\omega = f(I)$;

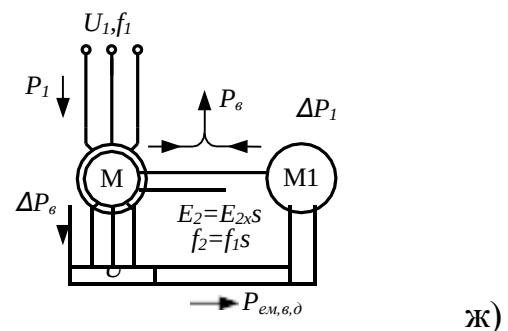
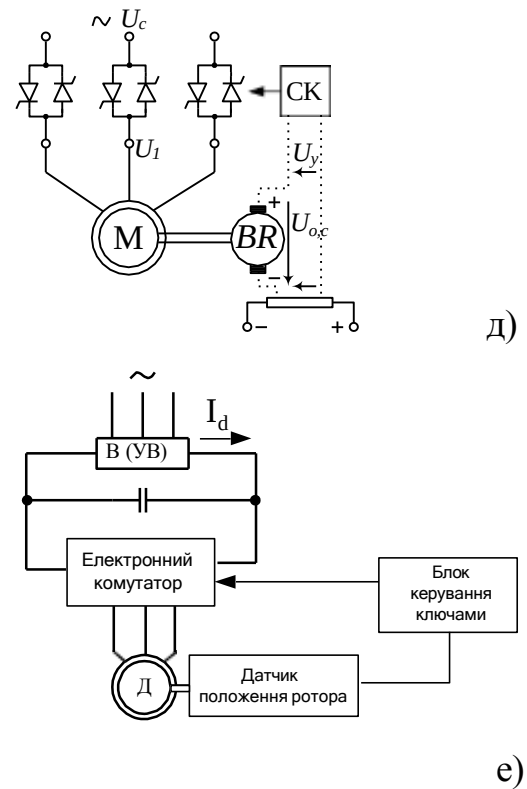
д) усі відповіді правильні.

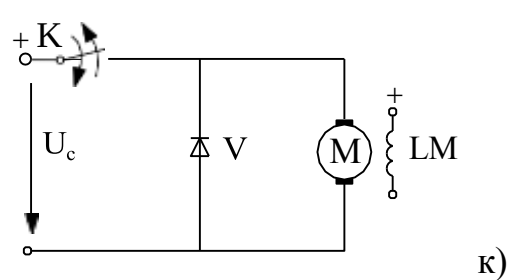
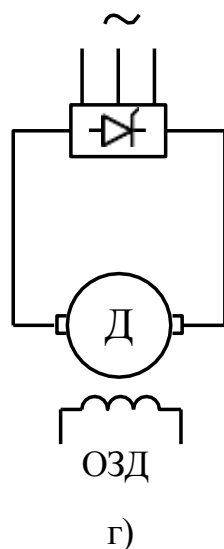
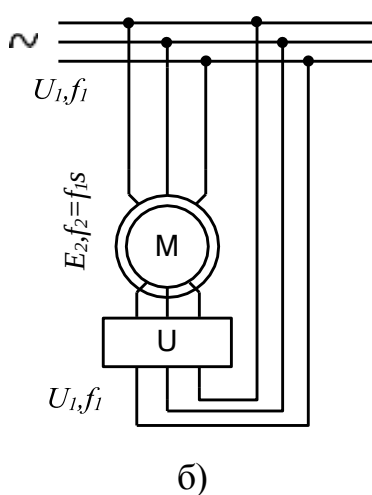
14. Визначити, при яких значеннях коефіцієнта завантаження рекомендовано:

- 1) $0 \leq k_3 < (0,4...0,5)$;
- 2) $(0,4...0,5) \leq k_3 < 0,75$;
- 3) $(0,7...0,75) \leq k_3 < 0,9$.

Diagram a) shows a three-phase bridge rectifier circuit. The input is a three-phase AC supply, indicated by a tilde symbol and three lines. The rectifier consists of a top block labeled 'В' (a three-phase diode bridge) and a bottom block containing a full-bridge rectifier with four thyristors. A DC link capacitor is connected between the two blocks. The output of the rectifier is connected to a three-phase motor, represented by a circle with a tilde inside.

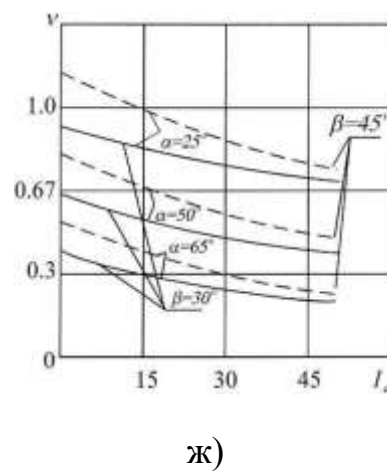
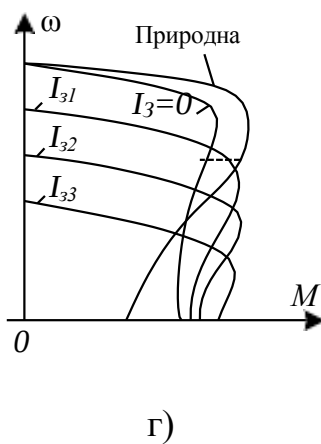
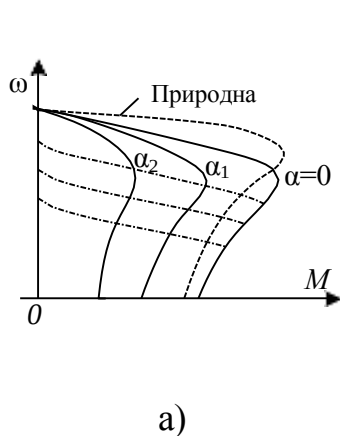
Diagram б) shows a three-phase bridge rectifier circuit with a different topology. The input is a three-phase AC supply. The rectifier consists of a top block labeled 'KB' (a three-phase diode bridge) and a bottom block labeled 'AI' (a three-phase diode bridge). A DC link inductor is connected between the two blocks. The output of the rectifier is connected to a three-phase motor, represented by a circle with a tilde inside. Additionally, there are three parallel DC voltage sources connected to the output lines of the rectifier.

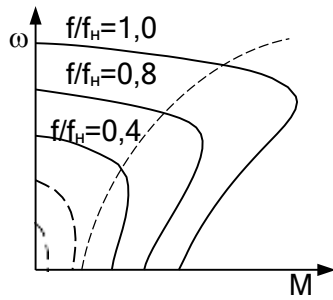




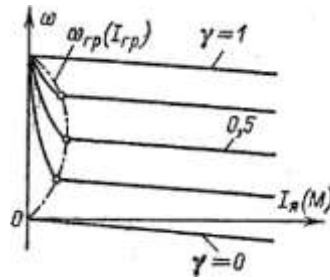
- 1) тиристорний регулятор напруги–асинхронний двигун (ТРН–АД);
- 2) електричний асинхронний вентильний каскад (АВК) та асинхронний машинно-вентильний каскад (АМВК);
- 3) електромеханічний АМВК;
- 4) частотно-регульований привод з автономним інвертором струму (АІС–АД);
- 5) частотно-регульований привод з автономним інвертором напруги (АІН–АД);
- 6) вентильний двигун (ВД);
- 7) тиристорний перетворювач–двигун постійного струму (ТП–Д);
- 8) широтно-імпульсний перетворювач–двигун постійного струму (ШПІ–Д).

16. Визначити, який з рисунків механічних характеристик відповідає перерахованим нижче системам регульованого електропривода:

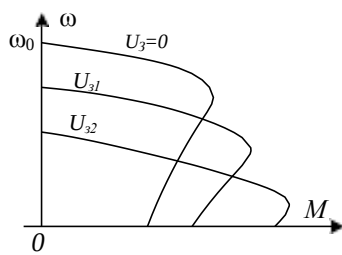
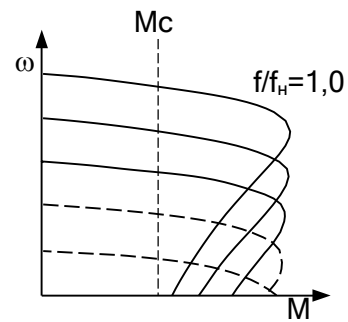




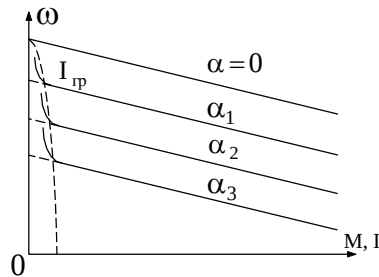
б)



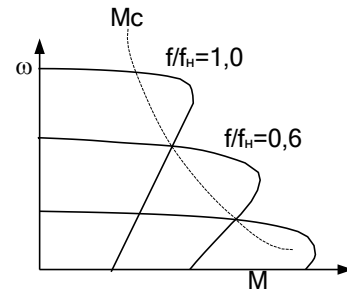
д)



в)



е)



к)

- 1) тиристорний регулятор напруги–асинхронний двигун (ТРН–АД);
- 2) електричний асинхронний вентильний каскад (АВК) та асинхронний машино-вентильний каскад (АМВК);
- 3) електромеханічний АМВК;
- 4) частотно-регульований привод з автономним інвертором струму (АІС–АД);
- 5) частотно-регульований привод з автономним інвертором напруги (АІН–АД);
- 6) вентильний двигун (ВД);
- 7) тиристорний перетворювач–двигун постійного струму (ТП–Д);
- 8) широтно-імпульсний перетворювач–двигун постійного струму (ШІП–Д).

17. Визначити, який з діапазонів регулювання швидкості відповідає перерахованим нижче системам регульованого електропривода:

- а) до 1,5:1 залежно від потужності електропривода;
- б) діапазон регулювання частоти обертання вала двигуна –до 20:1 при зміні навантаження в діапазоні від 0 до $M_{ном}$;
- в) до 10:1 за наявності фазного ротора та зворотного зв'язку за частотою обертання;
- г) від 10:1;

д) (1000–10000):1;

е) до 2:1;

ж) до 1:10000;

к) до 1:10000 та вище.

1) тиристорний регулятор напруги–асинхронний двигун (ТРН–АД);

2) електричний асинхронний вентильний каскад (АВК) та асинхронний машинно-вентильний каскад (АМВК);

3) електромеханічний АМВК;

4) частотно-регульований привод з автономним інвертором струму (АІС–АД);

5) вентильний двигун (ВД);

6) тиристорний перетворювач–двигун постійного струму (ТП–Д);

7) широтно-імпульсний перетворювач–двигун постійного струму (ШПП–Д).

18. Вибрати недоліки регулювання частоти обертання зміною величини напруги, що підводиться:

а) зниження перевантажувальної здатності;

б) збільшення в даному габариті двигуна тривалої допустимої потужності;

в) незначний діапазон регулювання частоти обертання;

г) пункти (а), (б);

д) усі відповіді правильні.

19. Недоліки регулювання частоти обертання зміною числа пар полюсів при багатошвидкісному двигуні:

а) неможливість плавно змінювати обороти;

б) великий діапазон регулювання швидкості;

в) неекономічність;

г) складність в управлінні та експлуатації;

д) усі відповіді правильні.

20. Навантажувальною діаграмою двигуна або робочої машини називають таку залежність:

а) $I = f(t)$;

б) $M = f(t)$;

- в) $P = f(t)$;
- г) $M = f(\omega)$;
- д) пункти (а), (б) і (в).

Автоматизований електропривод механізмів безперервної дії

АЕП конвеєрних установок

1. Якими технічними параметрами характеризуються конвеєрні установки:

- а) напір, продуктивність, частота обертання, ККД;
- б) швидкість руху, довжина стрічки, продуктивність, ККД;
- в) висота підйому, швидкість; тривалість включення, ККД;
- г) точність зупинки; швидкість переміщення, вантажопідйомність, ККД;
- д) точність обробки, стійкість інструменту, частота обертання, ККД?

2. Де виникають сили опору руху, які не залежать від натягу робочого органа конвеєра:

- а) на прямолінійних горизонтальних і похилих ділянках;
- б) на ділянці між натяжною станцією і барабаном;
- в) на ділянці між відвідним канатом і шківом;
- г) на ділянці між канатами і валом?

3. Які сили виникають на ділянках вигину тягового елемента конвеєра:

- а) сили опору руху, що залежать від натягу тягового елемента;
- б) сили опору руху, не залежні від натягу тягового елемента;
- в) сили тертя;
- г) динамічні навантаження;
- д) сили натягу тягового елемента?

4. Перерахуйте основні вузли стрічкового конвеєра:

- а) стрічка, несуча конструкція, приводна станція, натяжна станція, приводний і натяжний барабани, завантажувальна воронка, бункер;
- б) текстильна прогумована стрічка, набір ланцюгів, підймальна лебідка,

редуктор, поліспаст;

в) несуща конструкція, система натягу, робочі лопаті, направляючий апарат.

5. Приводний двигун ланцюгових конвеєрів повинен розташовуватися:

- а) після ділянки з найбільшим навантаженням;
- б) після ділянки з найменшим навантаженням;
- в) до ділянки з найбільшим навантаженням;
- г) до ділянки з найменшим навантаженням;
- д) у кінці всіх ділянок конвеєра незалежно від навантаження.

6. Конвеєри строго транспортного призначення:

- а) мають дві швидкості руху;
- б) мають одну незмінну швидкість руху;
- в) мають одну регульовану швидкість руху;
- г) можуть мати кілька швидкостей;
- д) вимагають регульований електропривод.

7. Вибрати вимоги до ЕП конвеєрних установок:

- а) забезпечення регулювання швидкості двигуна в порівняно широких межах;
- б) формування підвищеного пускового моменту;
- в) забезпечення реверсування електропривода і його роботи в двигунному і гальмівному режимі;
- г) регулювання частоти обертання у межах 3:1;
- д) забезпечення плавності пуску й гальмування з надійним обмеженням прискорення і ривка;
- е) в основному тривалий режим роботи ЕП без реверсування;
- ж) обмеження динамічних навантажень механічного обладнання, обумовлених наявністю пружних зв'язків, зазорів у передачах.

8. Як визначається потужність приводної станції стрічкового конвеєра:

а)
$$P = k_3 \frac{F_{cm} v}{\eta_p} 10^{-3};$$

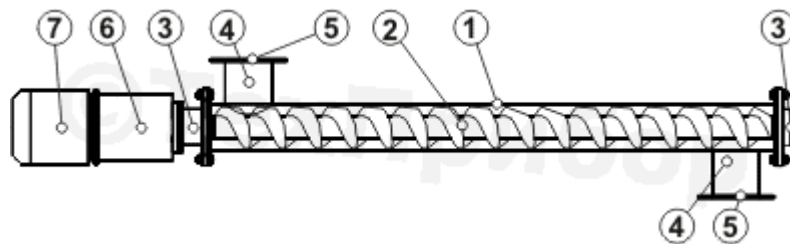
б)
$$P = \frac{g(m + m_0) \cdot v_{ном} \cdot 10^{-3}}{\eta_{ном}};$$

$$в) P = \frac{g \cdot F \cdot v \cdot 10^{-3}}{\eta};$$

$$г) P = \frac{Gv}{P_1};$$

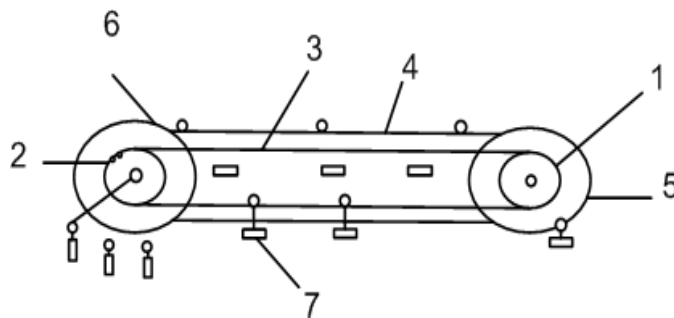
$$д) P = \frac{\rho g Q \cdot H}{\eta} \cdot 10^{-3}?$$

9. Перелічіть елементи кінематичної схеми гвинтового конвеєра відповідно їх номера на рисунку:



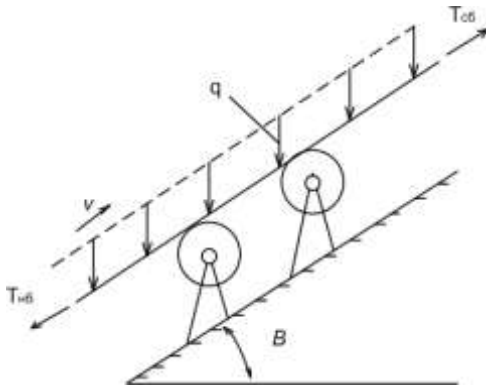
- | | |
|-----------------------------|---|
| а) корпус; | д) завантажувальний і розвантажувальний отвори; |
| б) гвинт; | е) приєднувальні фланці; |
| в) підшипникові опори; | ж) редуктор; |
| г) приводний електродвигун. | |

10. Розставте елементи кінематичної схеми канатної дороги, відповідно до їх порядкового номера на схемі:

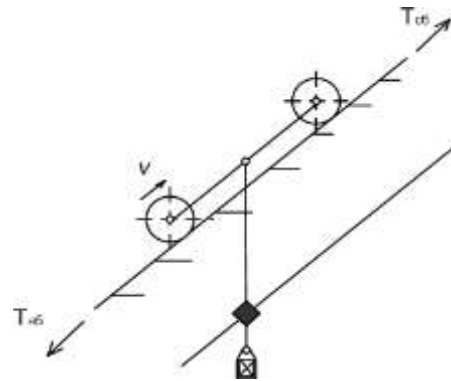


- | |
|--------------------|
| а) приводний шків; |
| б) натягувач; |
| в) опорні колії; |
| г) тяговий канат; |
| д) несучий канат; |
| е) вагонетка. |

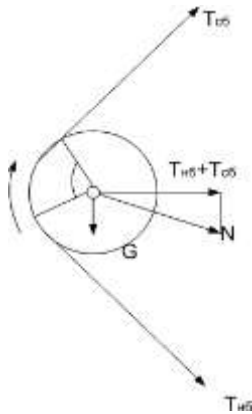
11. Підпишіть рисунки відповідно до проставлених цифр:



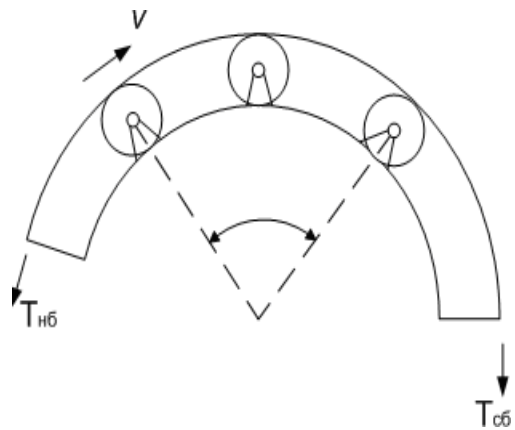
а)



б)



в)



г)

- 1) прямолінійні ділянки стрічкового конвеєра;
- 2) прямолінійні ділянки канатного та ланцюгового конвеєра;
- 3) ділянки вигину тягового елемента на блоці;
- 4) ділянки вигину тягового елемента на батареї роликів.

12. Які системи регулювання ЕП використовують у механізмах безперервного транспорту:

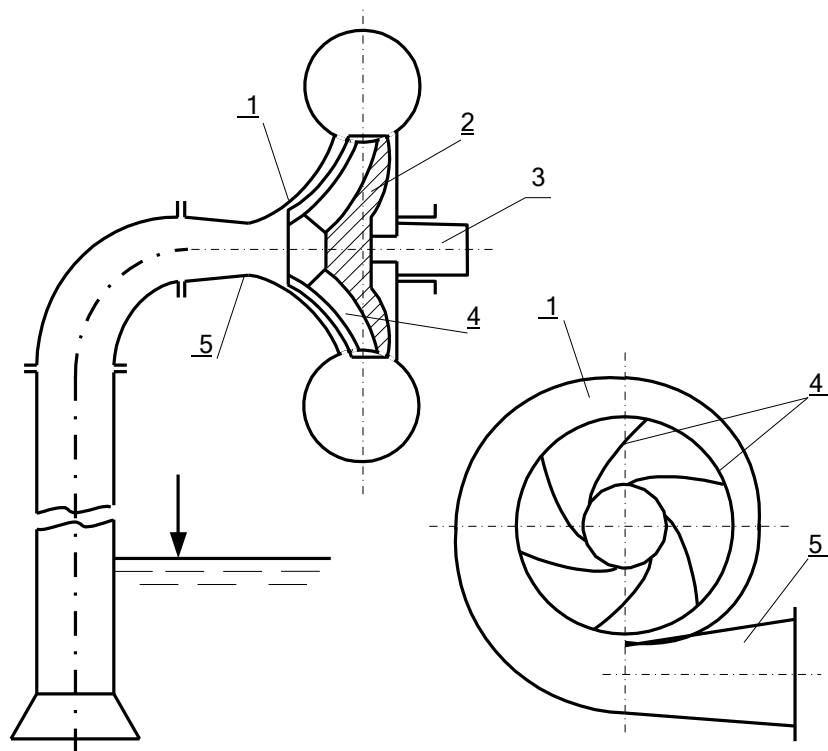
- а) ТРН–АД, ПЧ–АД, ТП–Д;
- б) АВК, ПЧ–СД, Т–Д;
- в) вентильний двигун, ТРН–АД, Г–Д?

АЕП турбомеханізмів

1. Які основні параметри насосних агрегатів:

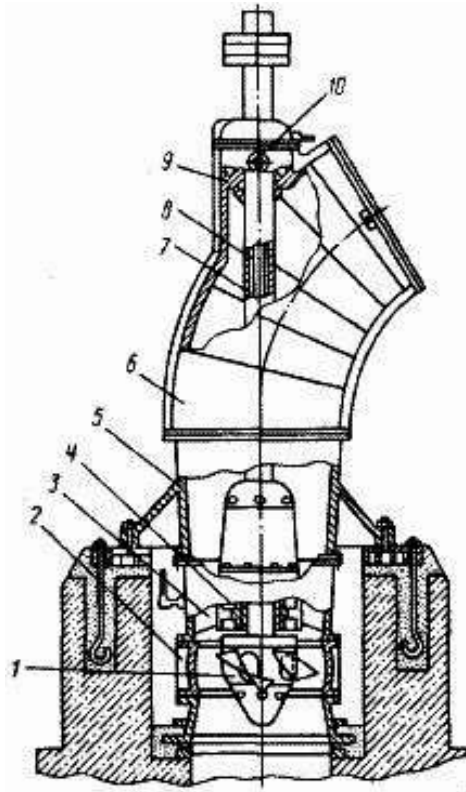
- а) тривалість вмикання;
- б) подача;
- в) швидкість перекачування;
- г) частота обертання;
- д) об'єм;
- е) коефіцієнт корисної дії;
- ж) стійкість;
- з) напір;
- к) потужність;
- л) швидкість переміщення?

2. Визначити елементи кінематичної схеми одноступінчастого відцентрового насоса відповідно до їх номера на рисунку:



- а) корпус;
- б) робоче колесо;
- в) вал;
- г) лопаті;
- д) патрубки.

3. Визначити елементи кінематичної схеми осьового насоса відповідно до їх номера на рисунку:



а) робоче колесо з поворотними лопатями;

б) сферична камера;

в) напрямний апарат;

г) нижня опора вала;

д) дифузор з лапами для кріплення до фундаменту;

е) корпус насоса;

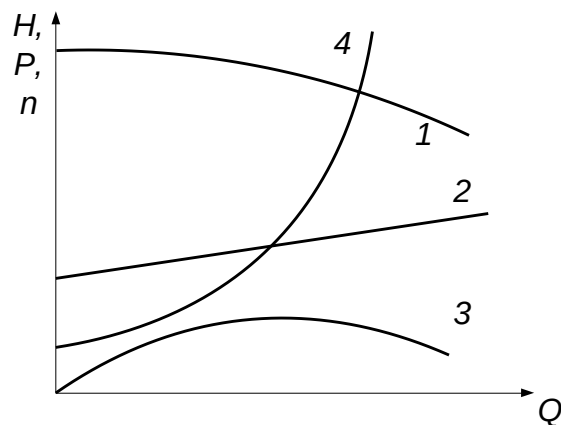
ж) вал;

к) шток привода механізму розвертання лопатей;

л) верхній напрямний підшипник;

м) механізм повороту лопатей.

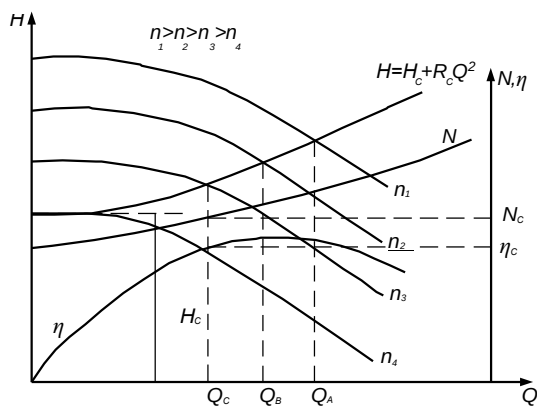
4. Розставте основні характеристики насосних агрегатів при роботі на гідромережу, відповідно до їх порядкового номера на схемі:



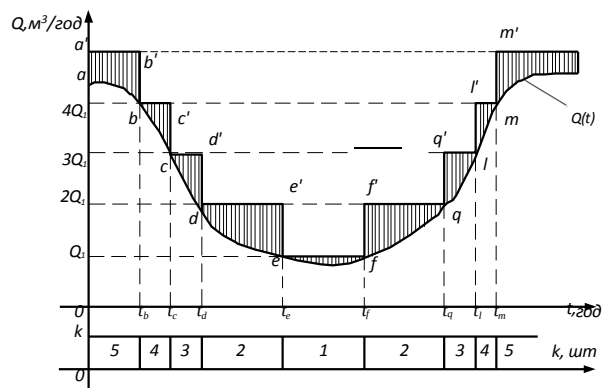
а) енергетична характеристика насоса;

- б) напірно-витратна характеристика насоса;
- в) потужнісна характеристика насоса;
- г) напірно-витратна характеристика гідромережі.

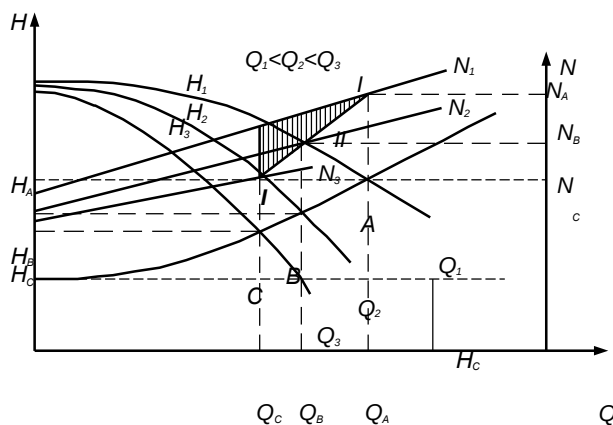
5. Визначити метод регулювання продуктивності відповідно до запропонованої нумерації:



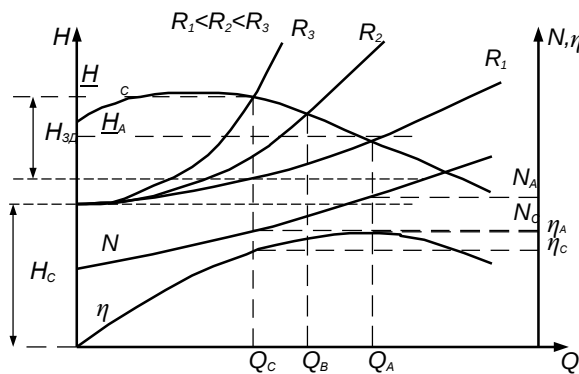
а)



в)



б)



г)

- 1) регулювання продуктивності НУ впливом на турбомеханізм;
- 2) регулювання продуктивності насоса дроселюванням;
- 3) регулювання продуктивності насоса зміною частоти обертання;
- 4) зміна продуктивності НУ числом паралельно працюючих турбомеханізмів.

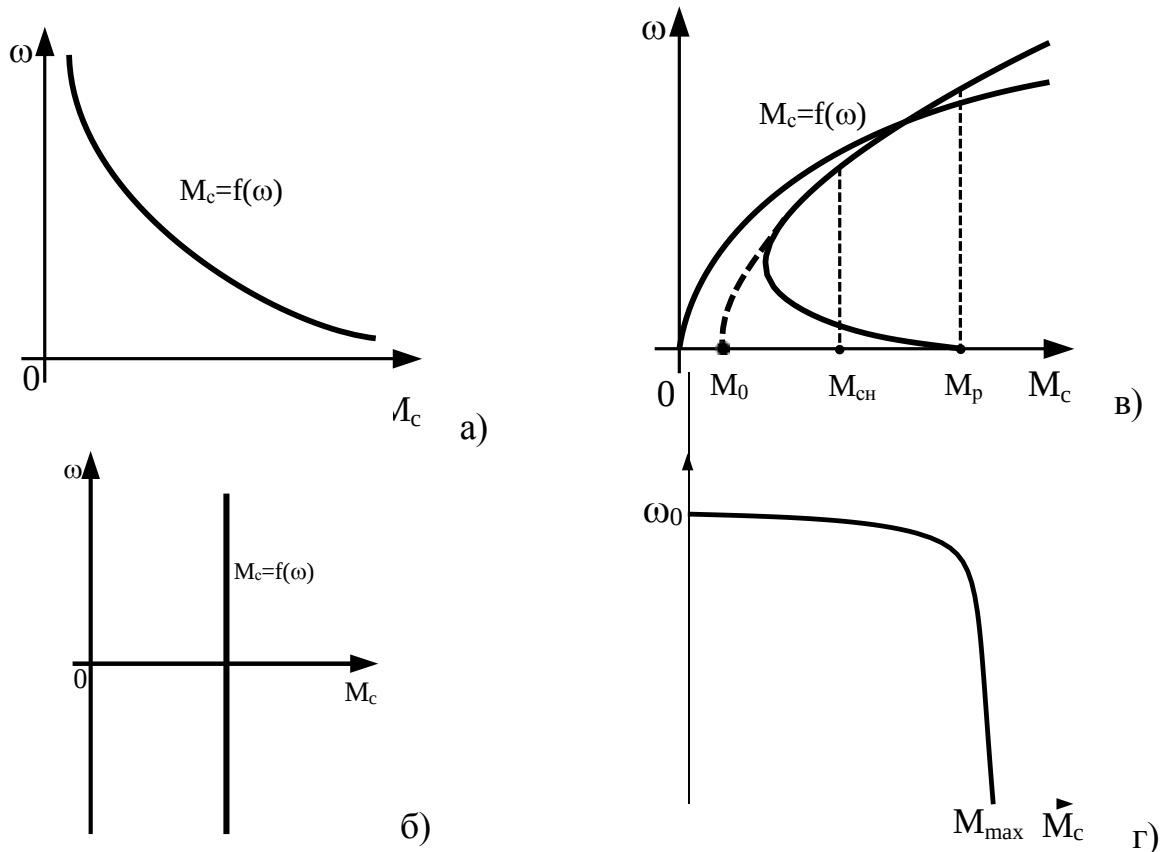
6. Вибрати математичний опис, який відповідає напірно-витратній H-Q характеристиці насоса й гідромережі за наступних умов:

- а) $H = H_c + R_c Q^2$;
- б) $H = A_2 v^2 + B_2 v Q + C_2 Q^2$;
- в) $H = A_2 v^2 + C_2 Q^2$ або $H = H_0 v^2 - R_6 Q^2$;

г) $H = R_c Q^2$.

- 1) характеристика Н-Q гідромережі за відсутності протитиску;
- 2) характеристика Н-Q насоса з вираженим максимумом;
- 3) характеристика Н-Q гідромережі з урахуванням протитиску;
- 4) характеристика Н-Q насоса полого.

7. Який вигляд має механічна характеристика насоса?



8. Вибрати математичний опис, який відповідає механічній характеристиці різних видів турбомеханізмів:

а) $M_c(\omega) = M_0 + k\omega^2$;

б) $M_c(\omega) = M_0 + k\omega^p$;

в) $M_c(\omega) = M_0 + (M_{сн} - M_0) \cdot (\omega/\omega_H)^p + M_p e^{-\beta_1 |\varphi_\Sigma|}$.

- 1) механічна характеристика турбомеханізму, що працює на трубопровідну мережу з протитиском;
- 2) механічна характеристика вентилятора;
- 3) механічна характеристика турбомеханізму з урахуванням параметрів

середовища.

9. Визначити механізм, якому відповідає показник ступеня p у математичному описі механічної характеристики турбомеханізму

$$M_c(\omega) = M_0 + k\omega^p.$$

а) $p = 2$;

б) $p = 2 \div 2.5$;

в) $p = 3 \div 4$;

г) $p = 5 \div 7$.

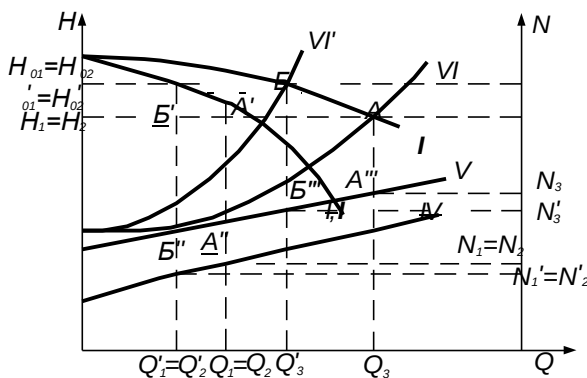
1) для вентиляторів;

2) для турбокомпресорів;

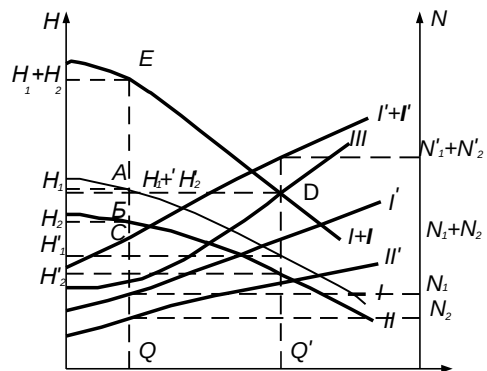
3) для насосів, причому значення p залежить від протитиску мережі;

4) для дробарок, млинів.

10. Вибрати схему включення насосних агрегатів відповідно до приведених графіків напірно-витратних характеристик насосної установки:



а)



б)

1) паралельне з'єднання відцентрових насосів;

2) послідовне з'єднання відцентрових насосів.

11. Розташуйте у правильній послідовності порядок запуску й зупинки насосного агрегата:

а) залити насос та всмоктувальний трубопровід перекачуваною рідиною;

б) повільно закрити засувку на напірному трубопроводі, переводячи насос на неробочий хід;

в) увімкнути приводний двигун та дати йому можливість набрати необхідну

частоту обертання;

г) вимкнути приводний двигун;

д) закрити засувку на вході насоса;

е) поступово відкрити засувку з боку нагнітання до одержання необхідної подачі.

1) запуск насосного агрегата;

2) зупинка насосного агрегата.

12. Як розраховується потужність насоса:

а)
$$P = \frac{g \cdot F \cdot v \cdot 10^{-3}}{\eta};$$

б)
$$P = \frac{\rho g Q \cdot H}{\eta} \cdot 10^{-3};$$

в)
$$P = \frac{Gv}{P_1};$$

г)
$$P = \frac{g(m + m_0) \cdot v_{ном} \cdot 10^{-3}}{\eta_{ном}};$$

д)
$$P = k_3 \frac{F_{cm} v}{\eta_p} 10^{-3}.$$

13. Вибрати вимоги до ЕП насосних установок:

а) реверсна робота двигуна;

б) формування підвищеного пускового моменту;

в) забезпечення мінімального часу перехідних процесів;

г) тривала робота електропривода з великою кількістю годин роботи в році;

д) як правило регулювання швидкості у діапазоні 2:1;

е) забезпечення високої точності позиціонування за кожною координатою;

ж) забезпечення вентиляторної механічної характеристики.

14. Визначити, який вид трубопровідної арматури відноситься до:

а) запірно-регулювальної;

б) запобіжної.

1) крани пробкові й кульові;

2) вентилі;

- 3) засувки;
- 4) приймальні, зворотні й запобіжні клапани;
- 5) поворотні затвори;
- 6) поплавково-запірні й регулювальні клапани;
- 7) повітряні вантузи.

15. Знайти, яке з визначень відповідає аварійним перехідним процесам у насосних комплексах:

- а) кавітаційний зрив у роботі насоса;
- б) помпажні режими;
- в) пуск на спорожнений трубопровід;
- г) раптове відключення електромашини від енергосистеми без відділення насоса від напірного водоводу;
- д) кавітація.

1) спостерігається в трубопроводах, робочих колесах насосів, на лопастях гідравлічних турбін і приводить до вібрацій, шумів, ерозійного руйнування матеріалу, зміни експлуатаційних характеристик насосного і трубопровідного устаткування;

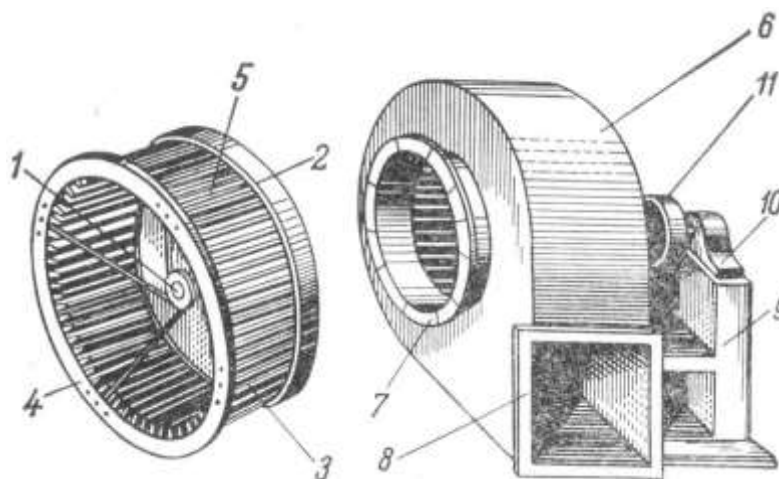
2) виникає при зниженні дійсного кавітаційного запасу порівняно з необхідним при даній подачі;

3) основними параметрами, що характеризують протікання цього процесу, є тиск у напірному трубопроводі при гідравлічному ударі та витрата зворотного струму води, розгінна частота обертання і час її досягнення, пульсації тиску і розвиток кавітаційних явищ у проточному тракті, вібрація гідромеханічного устаткування і будівельних конструкцій насосної станції;

4) супроводжується різкою зміною подачі від найбільшого значення до нуля, напір коливається в значних межах, спостерігаються гідравлічні удари, шум і вібрація всієї машини і трубопроводів.

5) різке збільшення тиску в трубопроводах при раптовій зупинці рідини, що рухається в них.

16. Визначити елементи кінематичної схеми відцентрованого вентилятора відповідно до їх номера на рисунку:

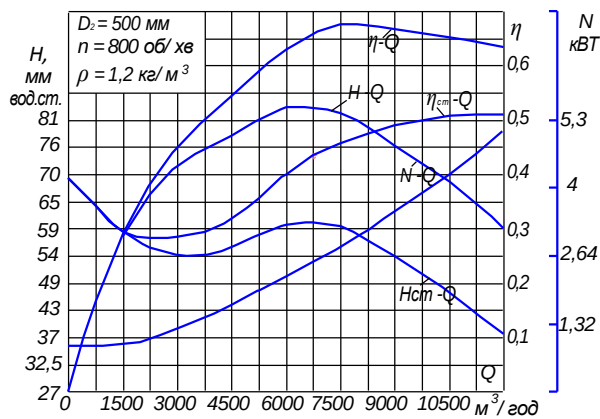


- | | |
|--------------------|--------------------------------------|
| а) лита маточина; | е) шків привода вентилятора; |
| б) основний диск; | ж) лита або зварна станина; |
| в) робочі лопатки; | к) робоче колесо; |
| г) лопатеві ґрати; | л) фланці кріплення всмоктувальної й |
| д) підшипники; | напірної труб. |

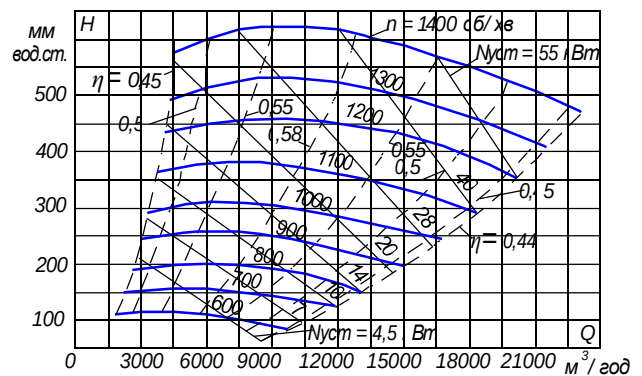
Назвіть основні параметри вентиляторів:

- а) частота обертання;
- б) напір;
- в) об'ємна продуктивність;
- г) об'ємна подача;
- д) швидкість роботи;
- е) повний і статичний ККД;
- ж) потужність;
- к) число ступенів рухливості;
- л) похибка позиціонування робочого органа;
- м) номінальна вантажопідйомність.

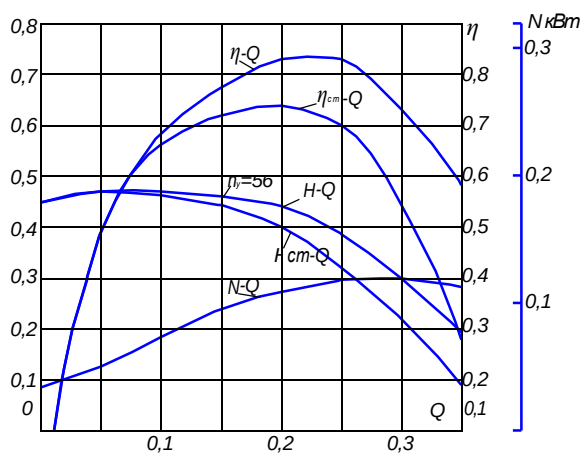
17. Визначити, які з наведених на рисунках типи характеристик вентилятора відповідають правильним:



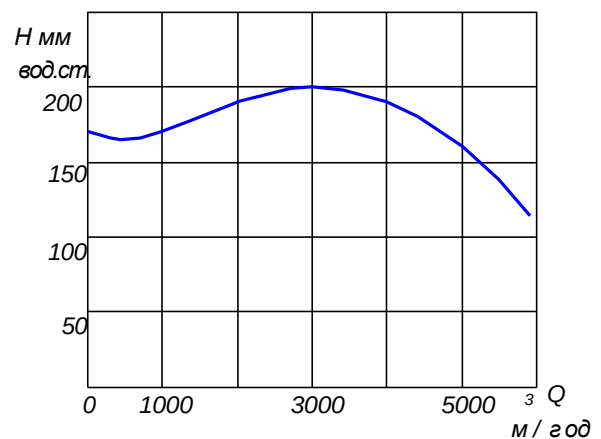
а)



б)



в)



г)

- 1) характеристика вентилятора сідлоподібної форми;
- 2) розмірна характеристика вентилятора при $n=\text{var}$;
- 3) розмірна характеристика вентилятора при $n=\text{const}$;
- 4) безрозмірна характеристика вентилятора.

18. Як розраховується потужність приводного двигуна вентилятора:

а)
$$P = \frac{g(m + m_0) \cdot v_{ном} \cdot 10^{-3}}{\eta_{ном}};$$

б)
$$P = \frac{g \cdot F \cdot v \cdot 10^{-3}}{\eta};$$

в)
$$P = m \frac{\rho Q H g}{1000 \eta \eta_n};$$

г)
$$P = \frac{G v}{P_1};$$

$$\text{д) } P = k_3 \frac{F_{cm} v}{\eta_p} 10^{-3}.$$

19. Які способи регулювання подачі вентиляторів здійснюються:

- 1) впливом на характеристику турбомеханізму;
- 2) впливом на характеристику гідромережі;
- а) зміною частоти обертання вала вентилятора;
- б) дроселюванням на вході й виході вентилятора;
- в) регулювання віджиманням всмоктуючих клапанів;
- г) напрямними апаратами різних конструкцій на вході.

20. Вибрати тип компресорних агрегатів відповідно до їх призначення:

- 1) поршньові;
- 2) гвинтові;
- 3) ротаційні.
- а) машини, які стискають повітря зворотно-поступальним рухом поршня у циліндрі.
- б) машини, які стискають повітря за допомогою роторів, які обертаються в різні сторони.
- в) машини, які стискають повітря пластинами, що обертаються.

21. Якими параметрами характеризується компресорна установка:

- а) повна продуктивність;
- б) об'ємна продуктивність;
- в) питома продуктивність;
- г) масова продуктивність;
- д) відведена продуктивність;
- ж) приведена продуктивність.

22. Як розраховується момент поршневого компресора:

$$\text{а) } M = \frac{k_p (m + m_0)}{i \cdot \eta} \cdot \frac{(\mu D_u + 2 f)}{D_k};$$

$$\text{б) } M = \frac{Fr}{k_{к.ц.}} \frac{\sin(\omega t + \beta)}{\cos \beta};$$

$$в) M = \frac{Fr}{k_{к.ц.}} \frac{\sin(\omega t + \beta)}{\cos\beta};$$

$$д) M = \frac{2F_{mp}}{Di_{пм} \eta_{пм}}.$$

23. Виберіть вимоги до ЕП поршневих машин:

- а) електроприводи механізмів зі змінним навантаженням працюють в тривалому або перемінному режимах, реверсування не потрібно;
- б) двигуни з підвищеним моментом інерції, які дозволяють зменшити коливання швидкості ротора;
- в) забезпечення реверсування електропривода і його роботу в двигунному і гальмівному режимі;
- г) регулювання швидкості не потрібно або потрібно в обмежених межах;
- д) мінімальний час перехідних процесів;
- е) швидкодія, тобто здійснення рухів виконавчих механізмів з високими швидкостями і малою похибкою позиціонування;
- ж) коливання моменту двигуна за цикл не повинно перевищувати відношення $M_{\max} / M_{\min} < 1, 2 \div 1,3$;
- к) момент, що розвивається двигуном при пуску, повинен бути не менше $1,2 M_n$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жигулін О. А., Махмудов І. І., Жигуліна Н. О. Підйомно-транспортні машини: Навчальний посібник. Ніжин, 2020. 150 с.
2. Поліщук М. М., Ткач М. М. Робототехнічні системи: проектування і моделювання [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 112 с.
3. Електропривод: підручник / Ю. М. Лавріненко, О.С. Марченко, П. І. Савченко, О. Ю. Синявський, Д. Г. Войтюк, В. П. Лисенко; За ред. Ю.М. Лавріненка. Київ: Видавництво «Ліра-К», 2009. 504 с.
4. Гідравлічні і аеродинамічні машини / [М. І. Колотило, О. М. Романюк, Г. П. Вербицький, та інш.] Кіровоград, 1997. 176 с.
5. Павленко Т. П., Донець О. В., Петренко О. М. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. Конспект лекцій (для студентів усіх форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка). Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. 132 с.
6. Будівельна техніка: Довідник. Режим доступу: <https://budtehnika.pp.ua/ekspluatatsiya-budivelnikh-mashyn/ekspluatatsiya-ekskavatoriv/>.

7. Khayal Osama. Introduction to hydraulic systems, Nile Valley University, 2017, 63 p.
8. Колб А. А., Колб А. А. Теорія електроприводу: Навч. посібник. Дніпропетровськ: НГУ, 2006. 511 с
9. Кошель С. О., Ковальов Ю., Манойленко О. П. Проектування промислових роботів та маніпуляторів. Київ: Видавництво «Центр навчальної літератури» 2019. 256 с.
10. Поліщук М. М., Ткач М. М. Робототехнічні системи: проектування і моделювання [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 112 с.
11. Матвієнко М. П. Пристрої цифрової електроніки: навчальний посібник. Київ: Ліра-К, 2021. 392 с.
12. Джеджула В. В. Вентиляція та кондиціювання громадських об'єктів: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2021. 71 с.
13. Баладінський В. Л., Русан І. В., Гаркавенко О. М., Вольтерс О. Ю. Пристрої та механізми вантажопідйомних машин: Навчальний посібник. Київ: КНУБА, 2005. 136 с.
14. Насосні та повітродувні станції : навч. посібник / Т. О. Шевченко, Ю. В. Ярошенко, М. М. Яковенко, В. М. Беляєва; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків: ХНУМГ, 2014. 195 с.
15. Тугай А. М., Орлов В. О. Водопостачання: підручник. Київ: Знання, 2009. 735 с
16. Жигулін О. А., Махмудов І. І., Жигуліна Н. О. Підйомно-транспортні машини: Навчальний посібник. Ніжин, 2020. 150 с.
17. Григоров О. В., Петренко Н. О. Вантажопідйомні машини: навч. посібник. Харків: НТУ «ХПІ», 2005. 304 с.
18. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник/ Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О.І. Київ: Кондор, 2005. 408 с.
19. Електропривод: Начальний посібник /О. М. Закладний, В. В.

Прокопенко, О. О. Закладний. Київ: НТУУ «КПІ», 2007 316 с.

20. Підйомно-транспортні машини. Розрахунки підймальних і транспортувальних машин. Підручник / В.С. Бондарев, О.І. Дубінець, М.П. Колісник та ін. Київ: Вища шк., 2009. 734 с.

21. ДСТУ 4132–2002 Насоси відцентрові загальнопромислового застосування. Вимоги до проектування, виготовлення, постачання, монтажування та експлуатування. Звід правил. Київ, Держспоживстандарт України, 2002. 30 с.

22. Автоматизація технологічних процесів підземних гірничих робіт. Підручник/А. В. Бубліков, М. В. Козарь, С. М. Проценко та ін., під заг. ред. В. В. Ткачова. Дніпро: Національний гірничий університет, 2012. 304 с.
23. Бобух А.О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: навч. посібн. Харків: ХНАМГ, 2006. 185 с.
24. Павленко І. І., Мажара В. А. Роботизовані технологічні комплекси: Навчальний посібник. Кіровоград: КНТУ, 2010. 392 с
25. Системи регулювання параметрів та підвищення ефективності роботи насосних, вентиляторних та компресорних установок: навч. посібник Т. В. Коренькова, П. В. Лузан, Д.А. Михайличенко, А. Л. Перекрест, О. О. Сердюк. Кременчук: КДПУ, 2006. 152 с.
26. Коренькова Т. В. Насоси. Особливості включення. Характеристики насосів і режимів енергоспоживання при перемінній швидкості обертання. навч. посібник. Кременчук: КДПУ, 2002. 56 с.
27. Коренькова Т. В. Техніко-економічне обґрунтування ефективності використання системи ТРН-АД в електроприводі насосних установок з паралельним включенням турбомеханізмів. Кременчук: КДПУ, 2002. 36 с.
28. Холоменюк, М.В. Компресорні установки: навч. посібник. Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. – 51 с.
29. Мілейковський В. О., Котелков Л. М. Вентиляція індивідуального житлового будинку. Дніпро: Середняк Т. К., 2018. 156 с.
30. СНіП 2.04.05-91. Опалення, вентиляція і кондиціонування./ за наказом Держбуду України від 20 грудня 2000 року № 290, введено в дію з 1 січня 2001 року (Діє як міждержавна).
31. Срібнюк С. М. Гідравлічні та аеродинамічні машини. Основи теорії та застосування. Київ: Центр учбової літератури, 2022. 328 с.
32. Тугай А. М., Орлов В. О. Водопостачання: підручник. Київ: Знання, 2009. 735 с
33. Шевчук С. П., Попович О. М., Світлицький В. М. Насосні, вентиляторні та пневматичні установки. К.: НТУУ «КПІ», 2010. 308 с.

ВИСНОВКИ

У більшості випадків електроприводи типових агроенергетичних механізмів є досить енергоємними споживачами, тому важливим завданням є визначення режимів роботи електромеханічного обладнання, які сприятимуть збереженню енергоресурсів. Аналіз сучасного виробничого устаткування показує швидкий розвиток регульованих електроприводів та комп'ютерних засобів автоматизації, що викликано необхідністю підвищення продуктивності технологічного обладнання та якості продукції.

Основні тенденції розвитку автоматизованих електроприводів типових промислових механізмів включають:

Активне застосування регульованих електроприводів у промисловості, транспорті та комунальному господарстві.

Інтенсивну заміну нерегульованих електроприводів на регульовані в енергоємному обладнанні (наприклад, насоси, компресори, повітродувки) для максимального енергозбереження.

Поширення систем керування електроприводом, побудованих за блочно-модульним принципом.

Комп'ютеризацію електроприводів механізмів, агрегатів та комплексів.

Впровадження систем діагностики, обслуговування та візуалізації технологічних процесів.

Для успішного засвоєння дисципліни студент повинен мати базові знання в галузі технічної механіки, теорії конструкційних матеріалів, електричних машин і апаратів, основ електротехніки, теорії автоматичного керування, основ електроприводу, керування електроприводами. Компетенції, знання та уміння, одержані в процесі вивчення дають можливість студентам та майбутнім спеціалістам самостійно здійснювати розробку та модернізацію електроприводів, вибір та налагодження електрообладнання, проектування систем автоматизації. Компетентності, розвинені на освітньому компоненту, необхідні для вивчення багатьох освітніх компонентів професійної підготовки, в тому числі переддипломної практики.

Даний освітній компонент надає можливість здобувачам вищої освіти набути компетентностей та поглибити програмні результати навчання освітньої програми щодо вивчення основ теорії та принципів технічної реалізації автоматизованих електроприводів, призначених для обладнання та установок машинобудівельної галузей промисловості та сільського господарства. Розглядає тенденції сучасного розвитку електромашинобудування. Формування у студентів міцних знань, вмінь і навичок принципів побудови та практики використання автоматизованих електроприводів виробничих механізмів і технологічних комплексів, здійснення їхнього синтезу та аналізу, а також експериментальне вивчення характеристик елементів автоматизованого електроприводу.

ДОДАТКИ Д

Таблиця Д.1 – Технічні дані стрічкових конвеєрів

№ в-та	AB, м	BC, м	β_1 , °	β_2 , °	Q, т/год	V м/с	α , °	$q_0/q_{ном}$	μ	C_{Π}	C_H
1	10	2	35	4	16	0,2	180	0,08	0,3	0,04	0,035
2	20	3	30	5	32	0,3	185				
3	30	5	25	6	40	0,4	190				
4	40	10	20	7	64	0,45	195				
5	50	30	25	8	24	0,5	200				
6	60	20	20	9	36	0,6	205				
7	70	15	15	10	48	0,8	210				
8	80	10	10	11	80	1,0	215				
9	100	200	10	0	920	2,0	220	0,10	0,25	0,03	0,025
10	200	150	12	0	830	1,8	200				
11	300	100	14	0	510	1,6	180				
12	400	50	16	0	450	1,4	190				
13	500	40	18	0	480	1,5	195				
14	600	30	20	0	450	1,7	200				
15	700	20	20	0	575	1,8	205				
16	800	15	24	0	640	2,0	180				
17	900	20	24	-10	3200	2,5	190	0,12	0,2	0,02	0,015
18	950	25	22	-9	3800	3,0	195				
19	1000	30	20	-4	4500	3,5	200				
20	1100	40	18	-6	5100	4	205				
21	1200	50	16	-8	6400	5	210				
22	1300	100	14	-10	7700	6	215				
23	1400	150	12	-12	9000	7	220				
24	1500	200	10	-15	10000	8	225				

Паспортні характеристики і технічні показники насосів

Варіант 1

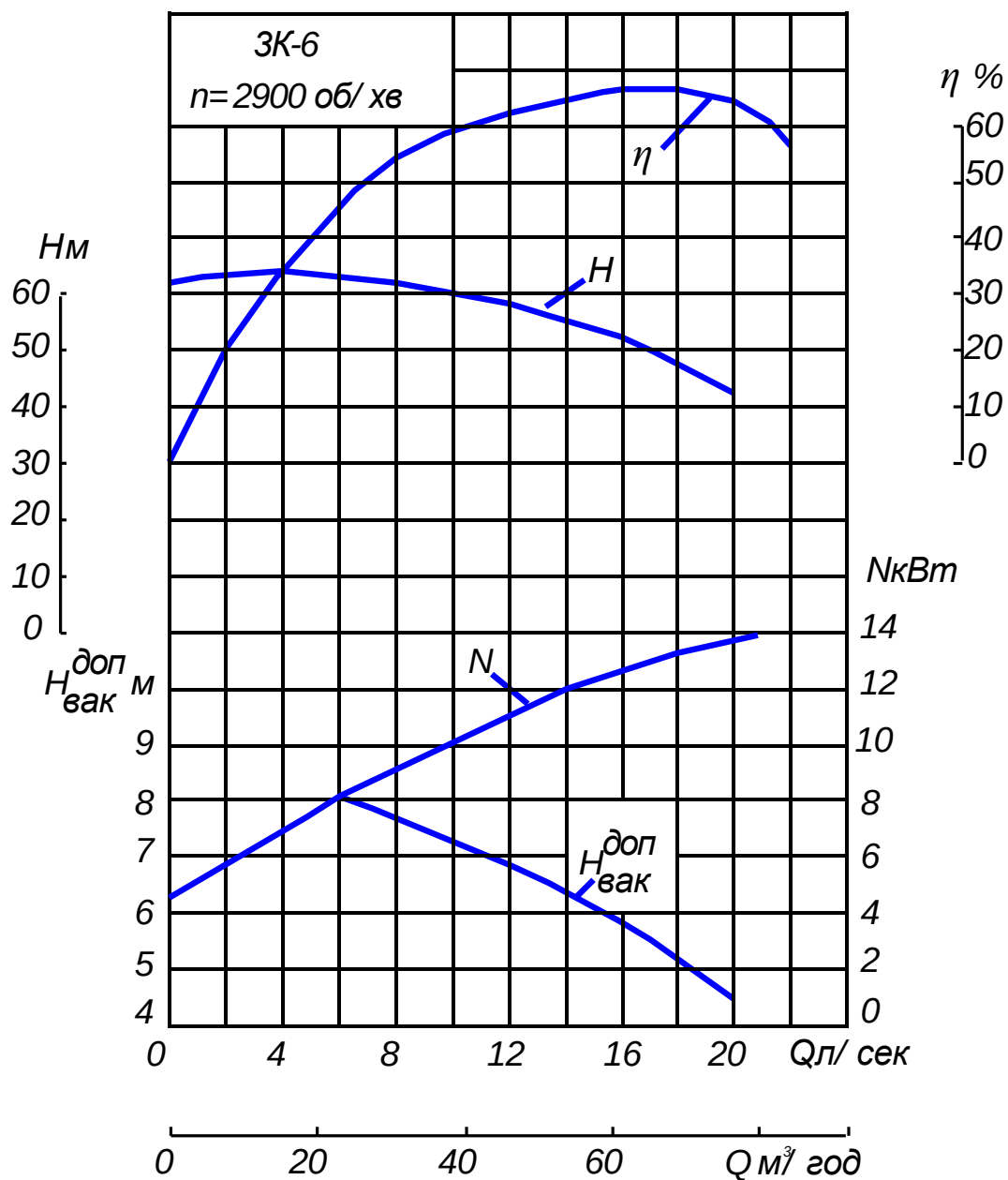


Рисунок Е.1 – Паспортні характеристики насоса 3К-6

Таблиця Е.1 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q , $м³/год$	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
3К-6	30	62	2900	9,4	54,4	218

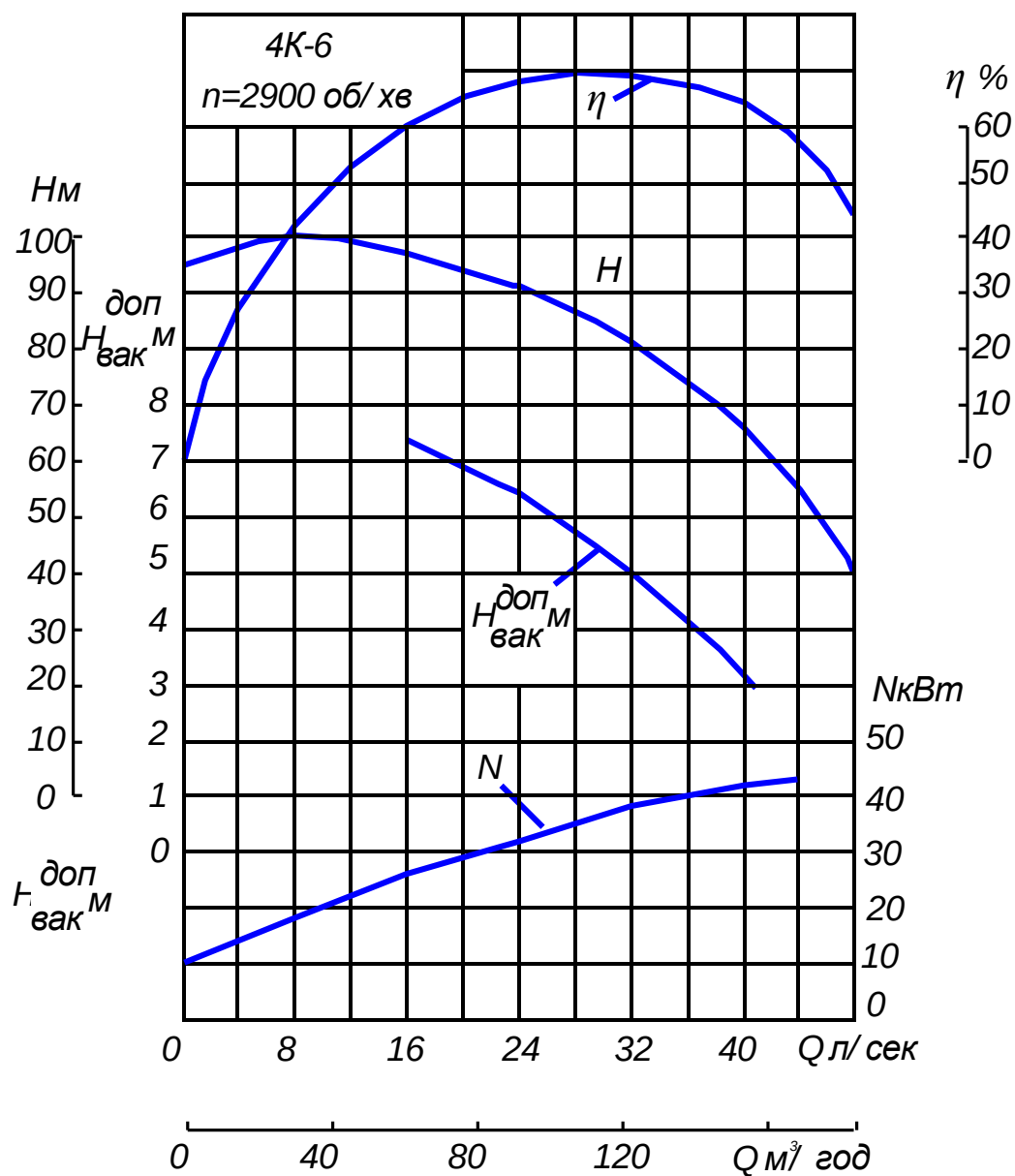


Рисунок Е.2 – Паспортні характеристики насоса 4К-6

Таблиця Е.2 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q, м³/год	Повний напір H, м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
4К-6	65	98	2900	28	63	272

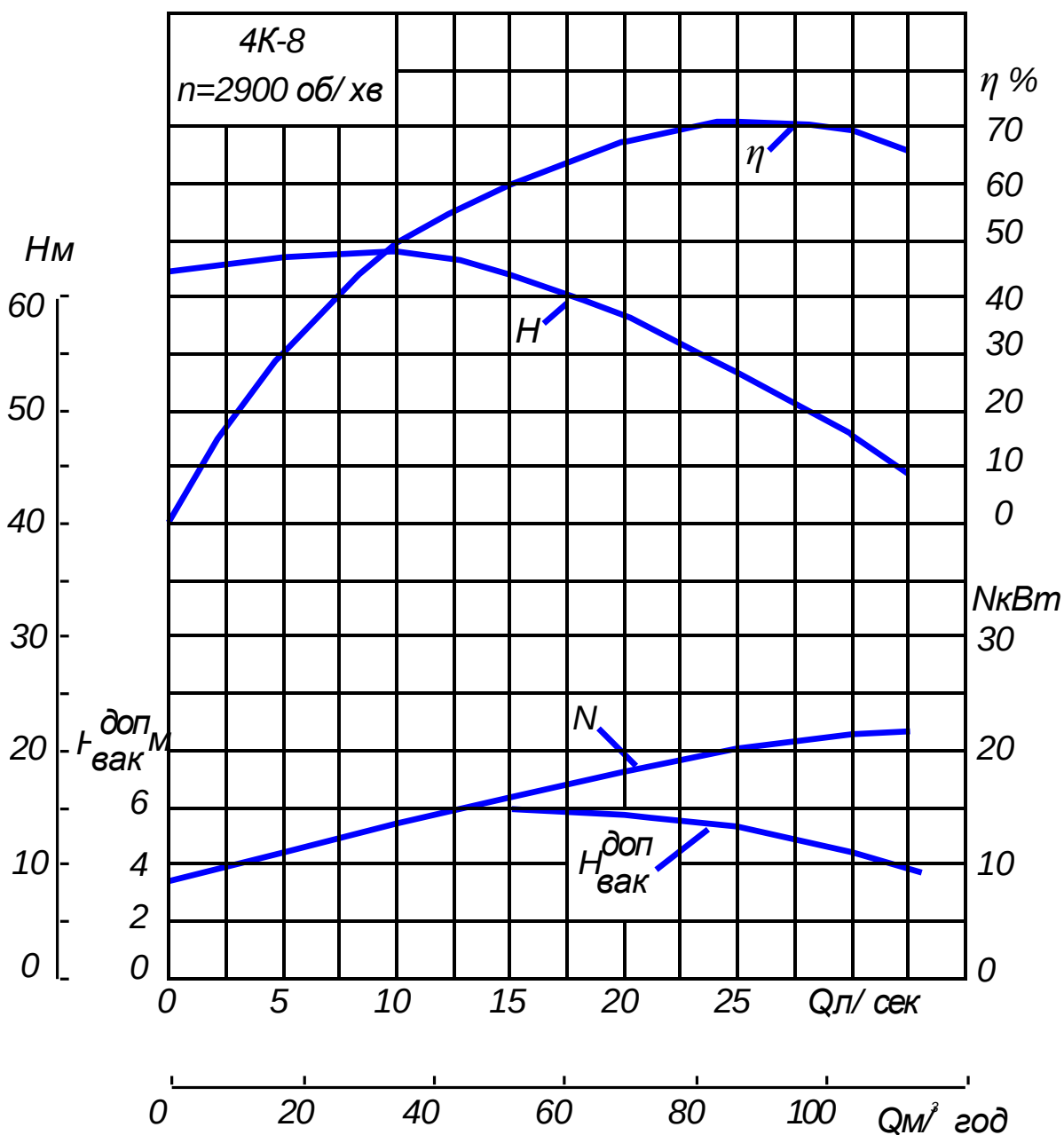


Рисунок Е.3 – Паспортні характеристики насоса 4К-8

Таблиця Е.3 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q , $\text{м}^3/\text{год}$	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
4К-8	70	59	2900	17,5	65,5	218

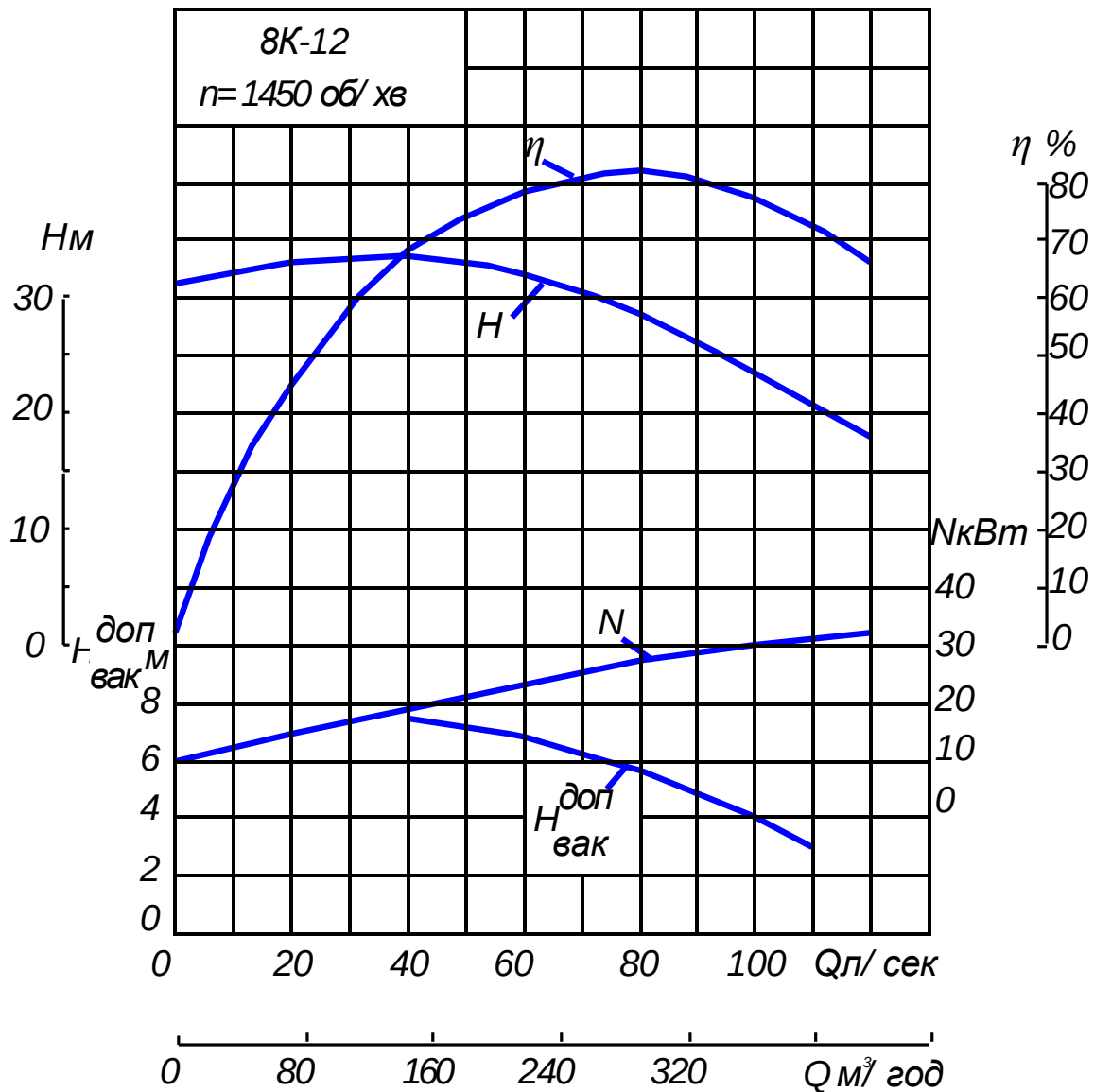


Рисунок Е.4 – Паспортні характеристики насоса 8К-12

Таблиця Е.4 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q , м³/год	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
8К-12	220	32	1450	23,6	80	315

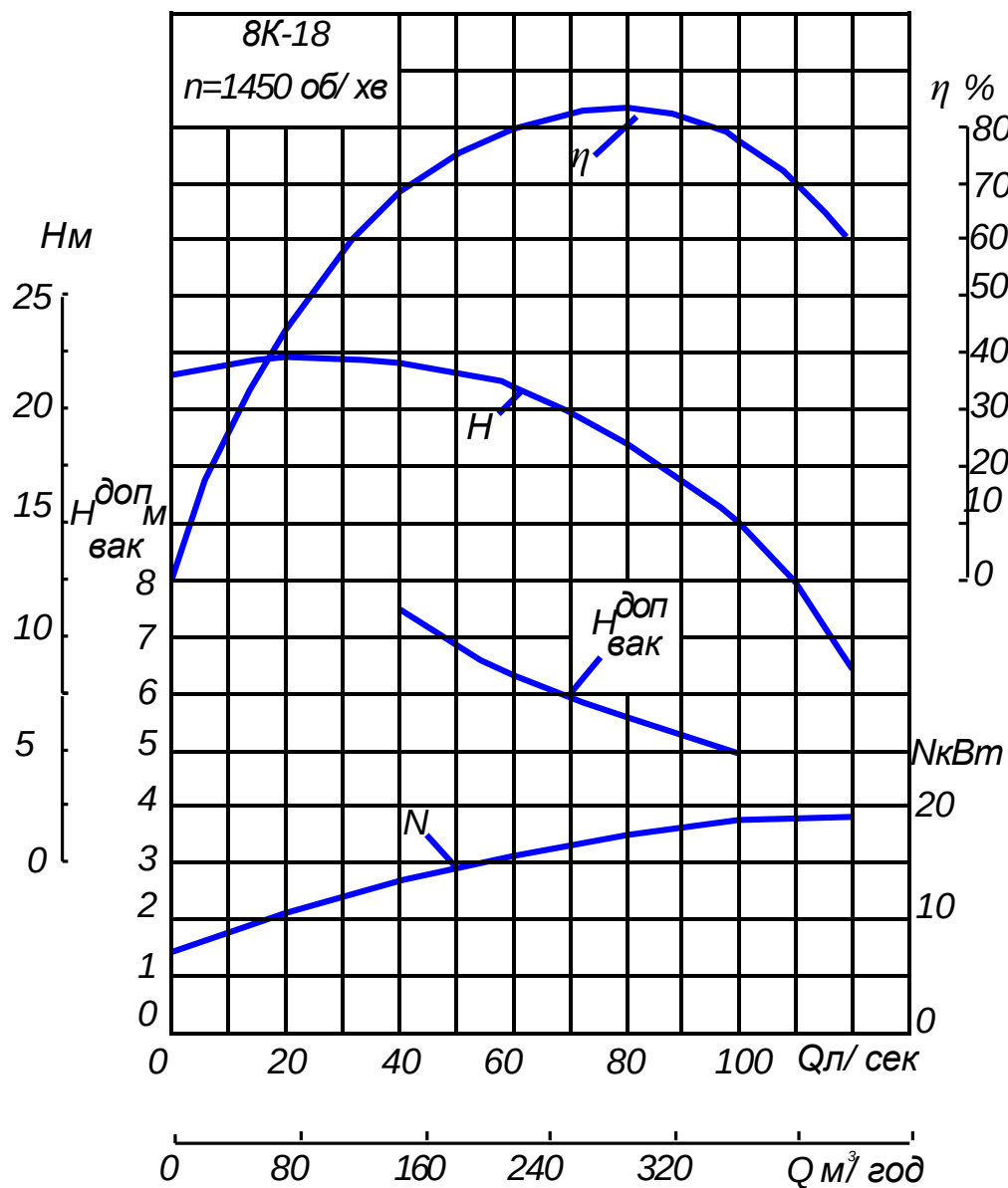


Рисунок Е.5 – Паспортні характеристики насоса 8К-18

Таблица Е.5 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q, м³/год	Повний напір Н, м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
8К-18	220	20,7	1450	15,6	80,5	268

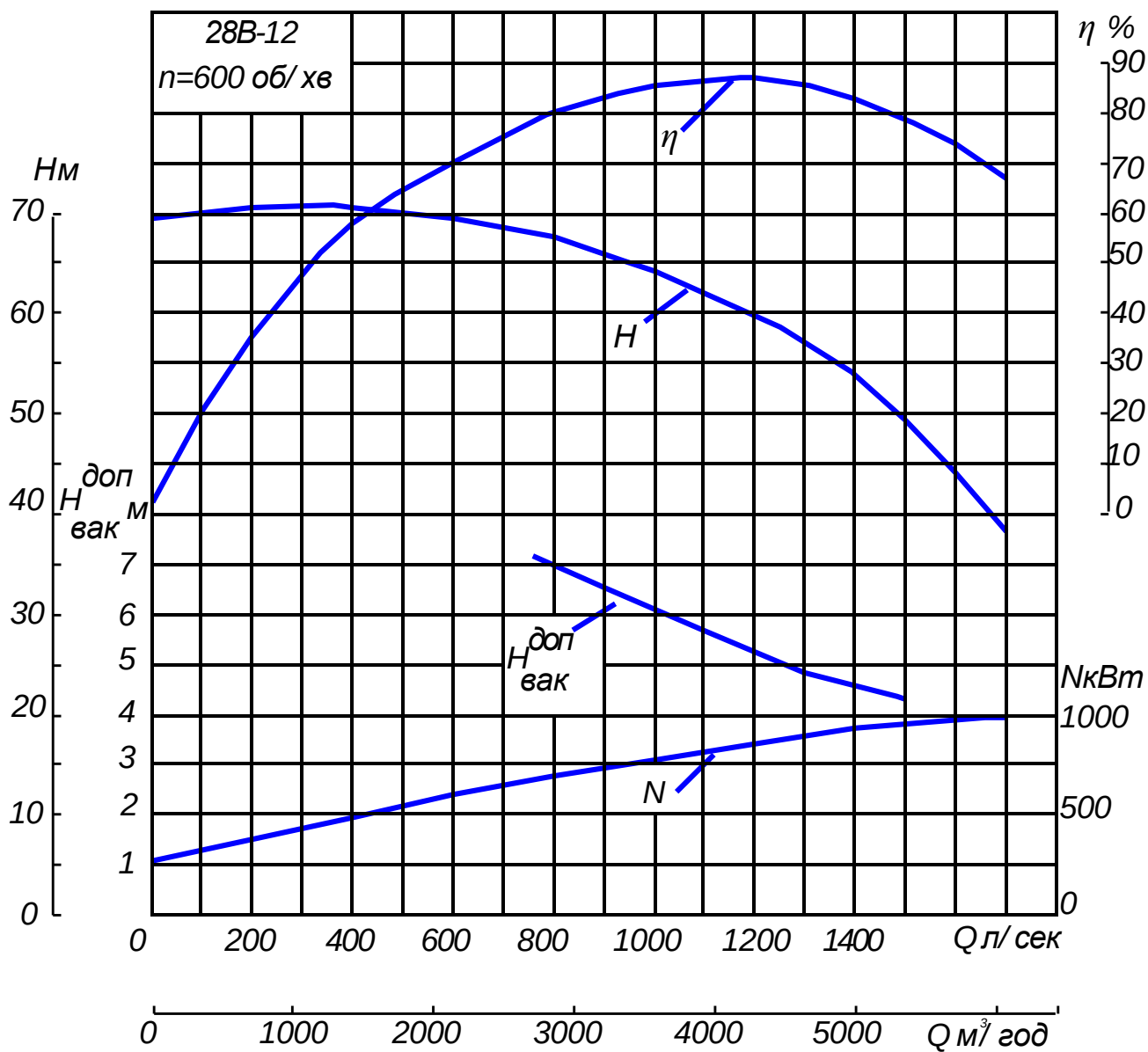


Рисунок Е.6 – Паспортні характеристики насоса 28В-12

Таблиця Е.6 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q , м³/год	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
28В-12	3500	65,5	600	744	84,5	1100

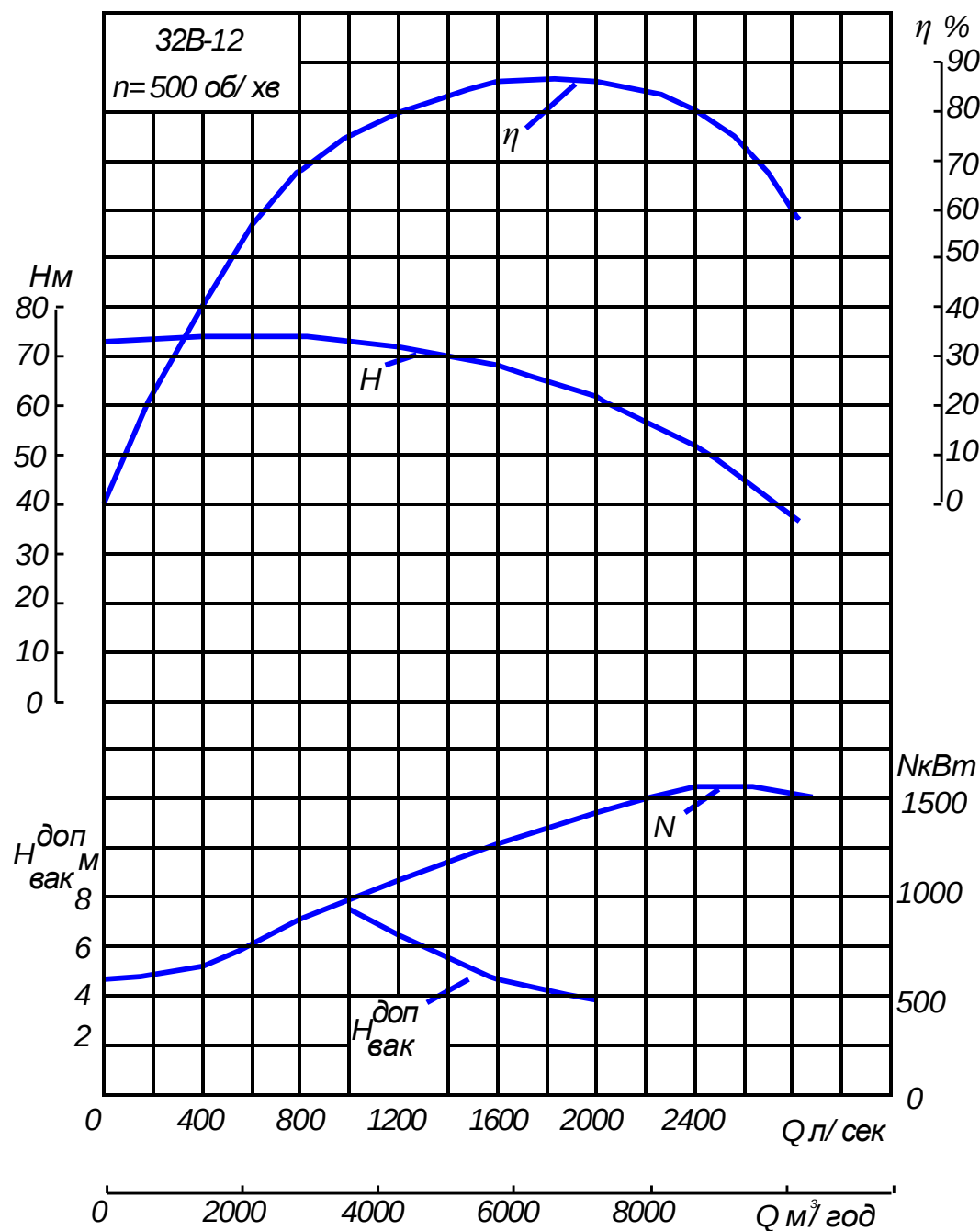


Рисунок Е.7 – Паспортні характеристики насоса 32В-2

Таблица Е.7 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q , м³/год	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
32В-12	5000	72	500	1200	82	1360

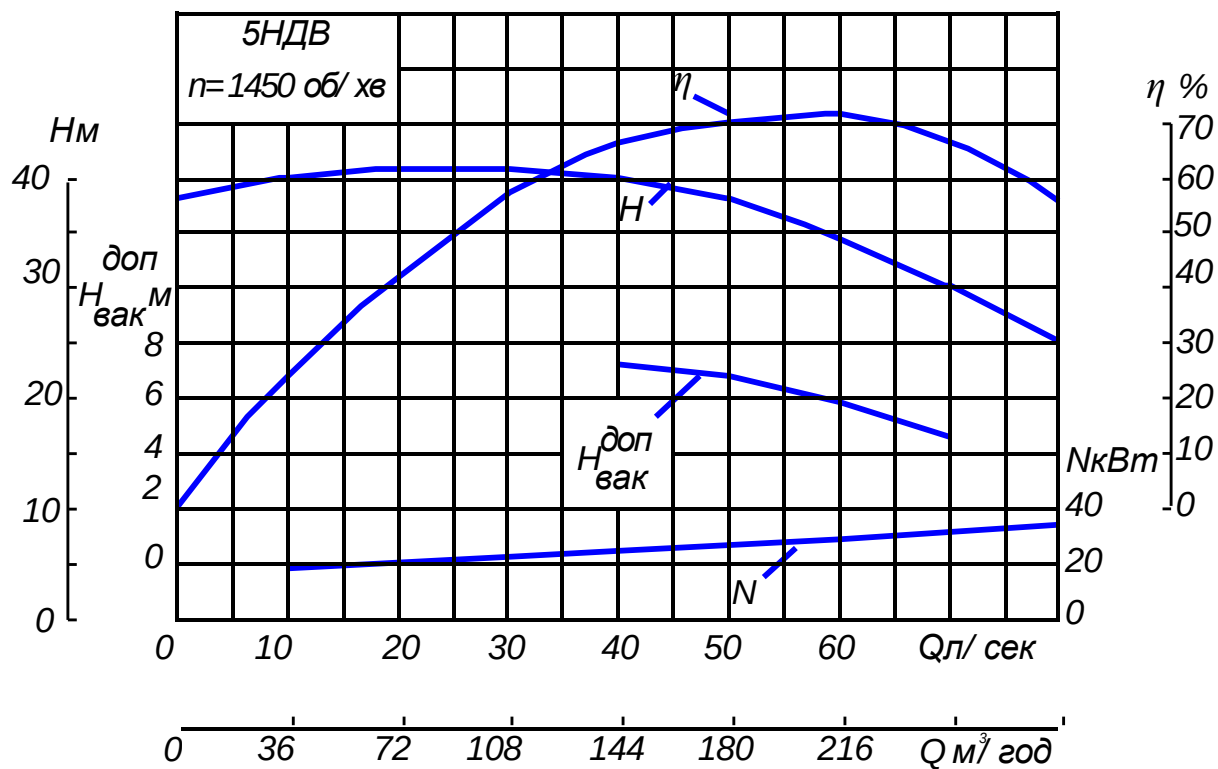


Рисунок Е.8 – Паспортні характеристики насоса 5НДв

Таблиця Е.8 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q , $\text{м}^3/\text{год}$	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
5НДв	250	31	1450	31,6	68	350

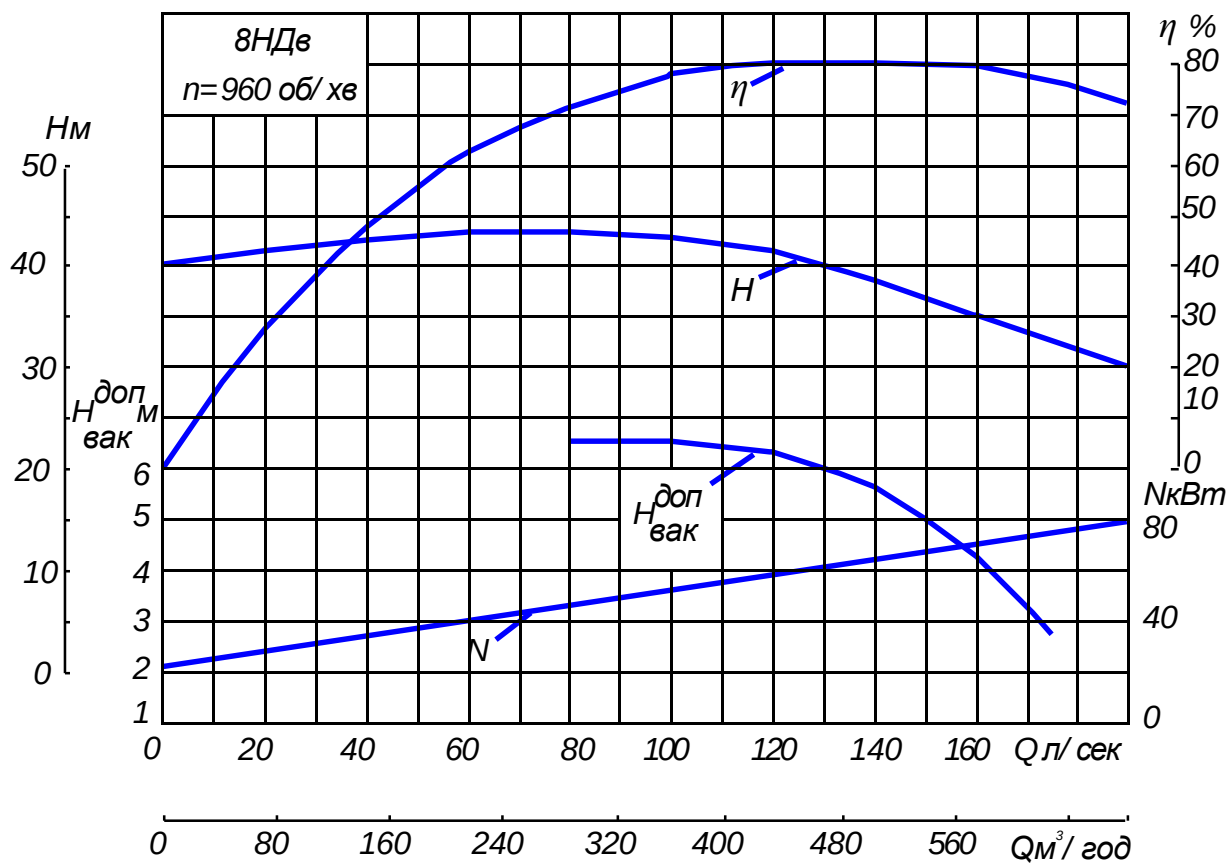


Рисунок Е.9 – Паспортні характеристики насоса 8НДв

Таблиця Е.9 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q $\text{м}^3/\text{год}$	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
8НДв	600	35	960	72	79	525

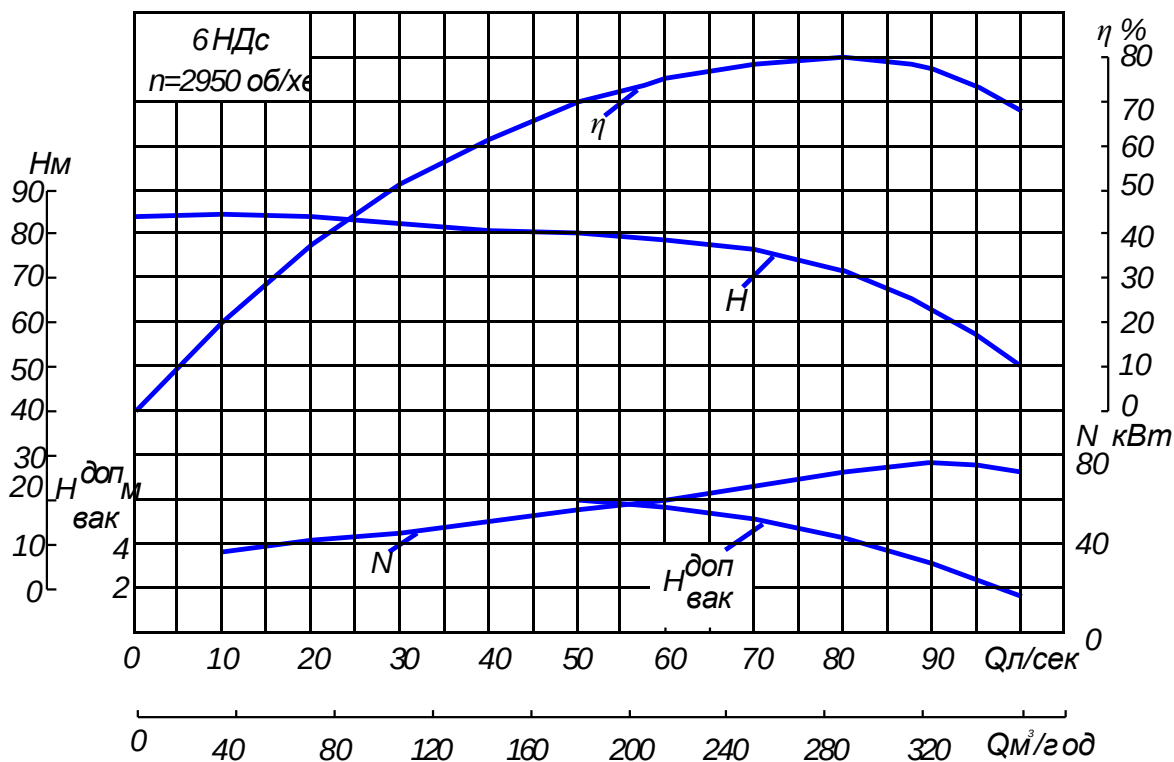


Рисунок Е.10 – Паспортні характеристики насоса 6НДс

Таблиця Е.10 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q , м³/год	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
6НДс	330	64	2950	77,4	76	242

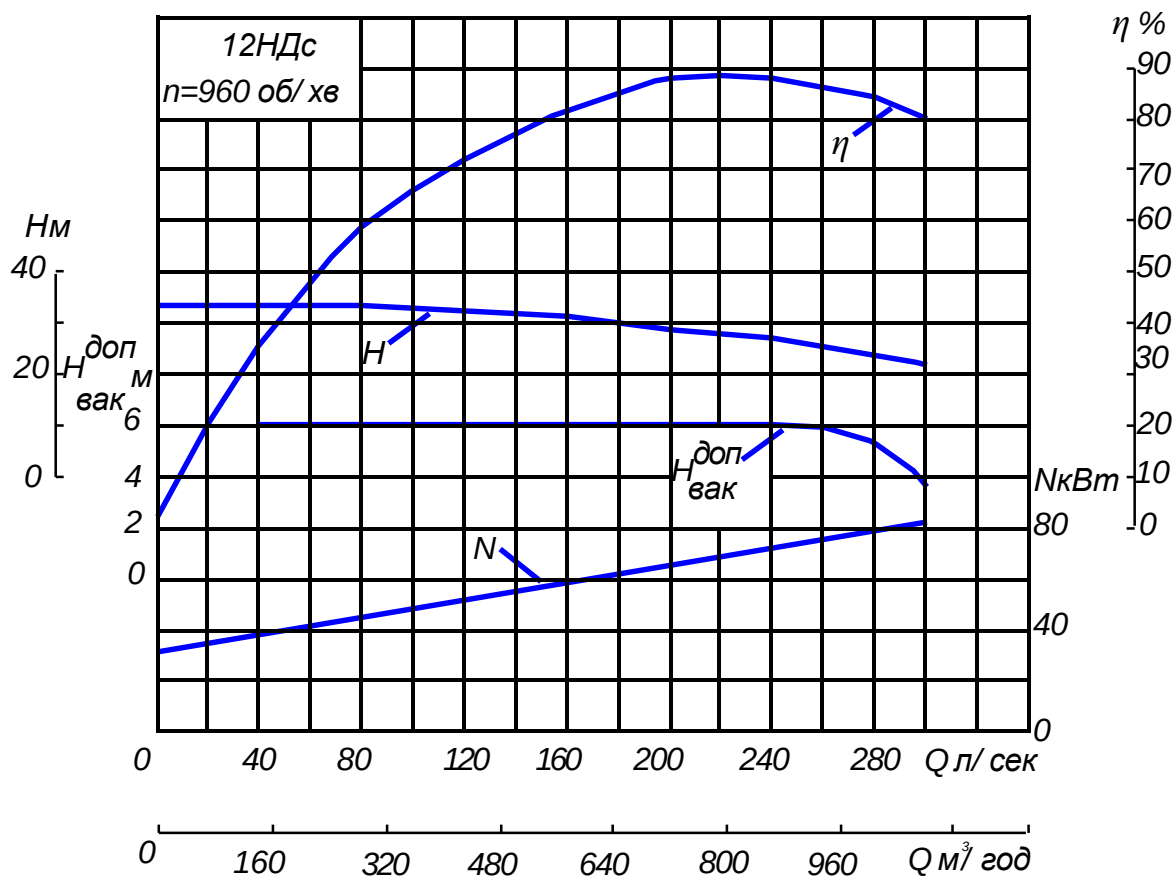


Рисунок Е.11 – Паспортні характеристики насоса 12НДс

Таблиця Е.11 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q , $\text{м}^3/\text{год}$	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
12НДс	800	28	960	70	87	460

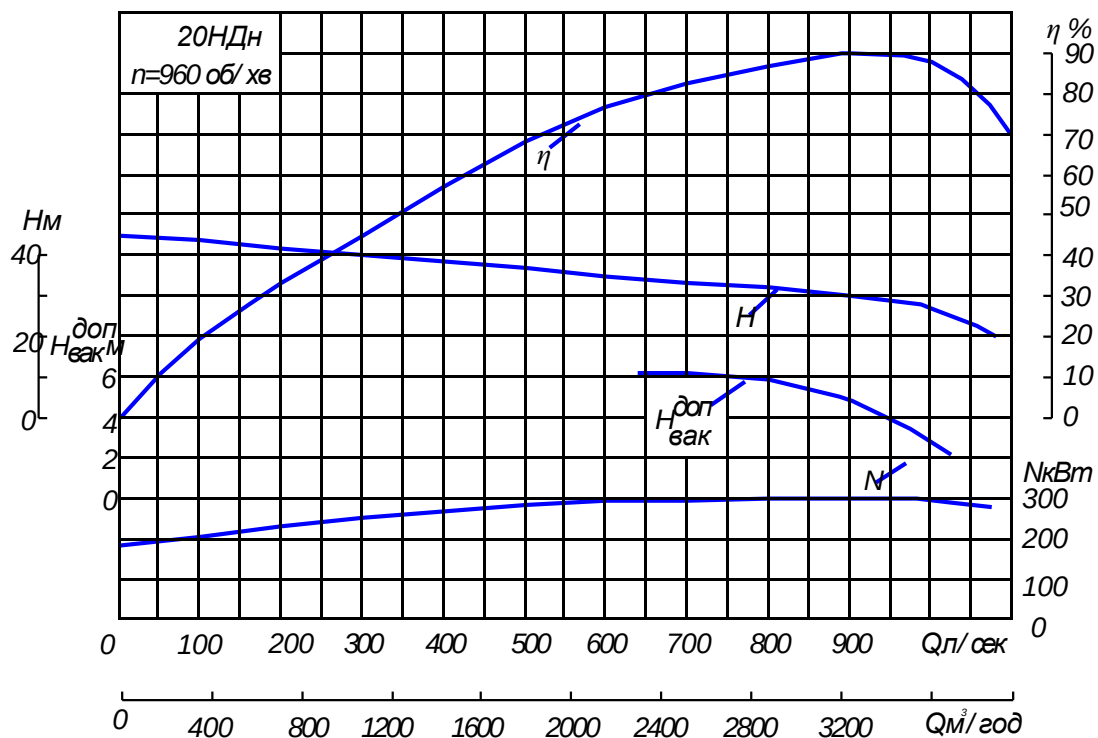


Рисунок Е.12 – Паспортні характеристики насоса 20НДн

Таблиця Е.12 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q $\text{м}^3/\text{год}$	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
20НДн	3420	32	960	308	89	550

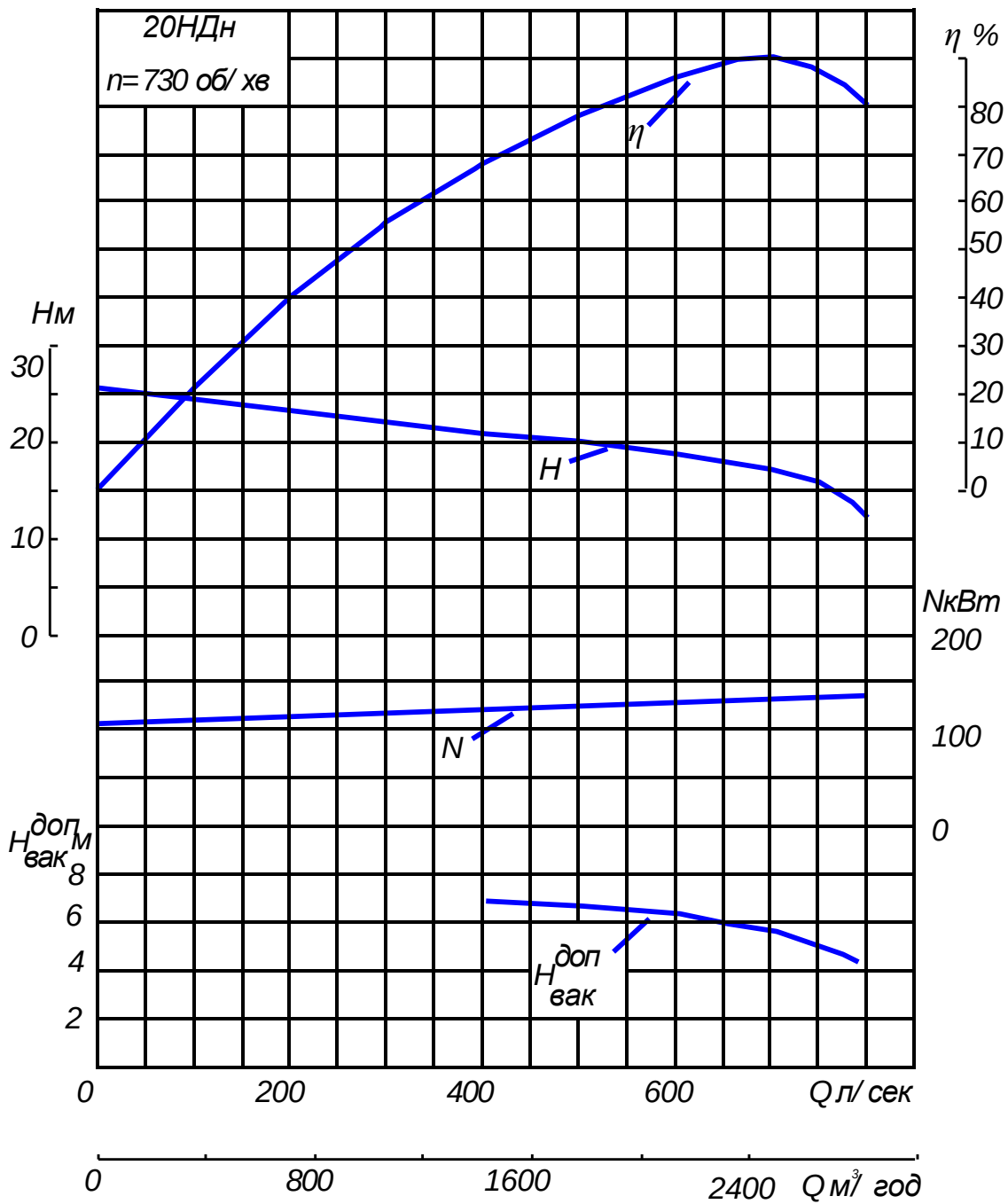


Рисунок Е.13 – Паспортні характеристики насоса 20HДН

Таблица Е.13 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q, м³/год	Повний напір H, м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
20HДН	2500	17,5	730	132	89	550

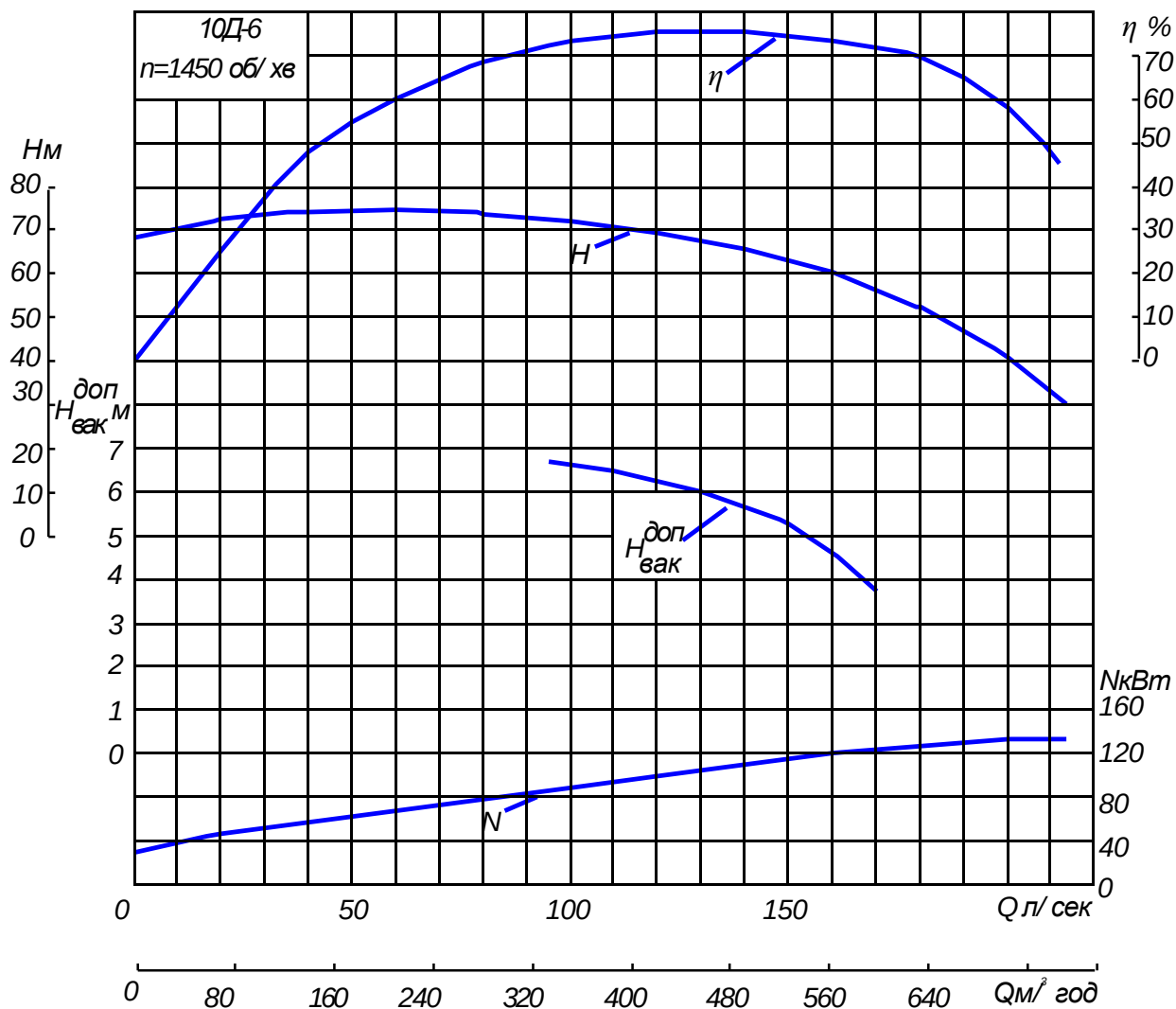


Рисунок Е.14 – Паспортні характеристики насоса 10Д-6

Таблица Е.14 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q м³/год	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
10Д-6	400	70	1450	102	75	465

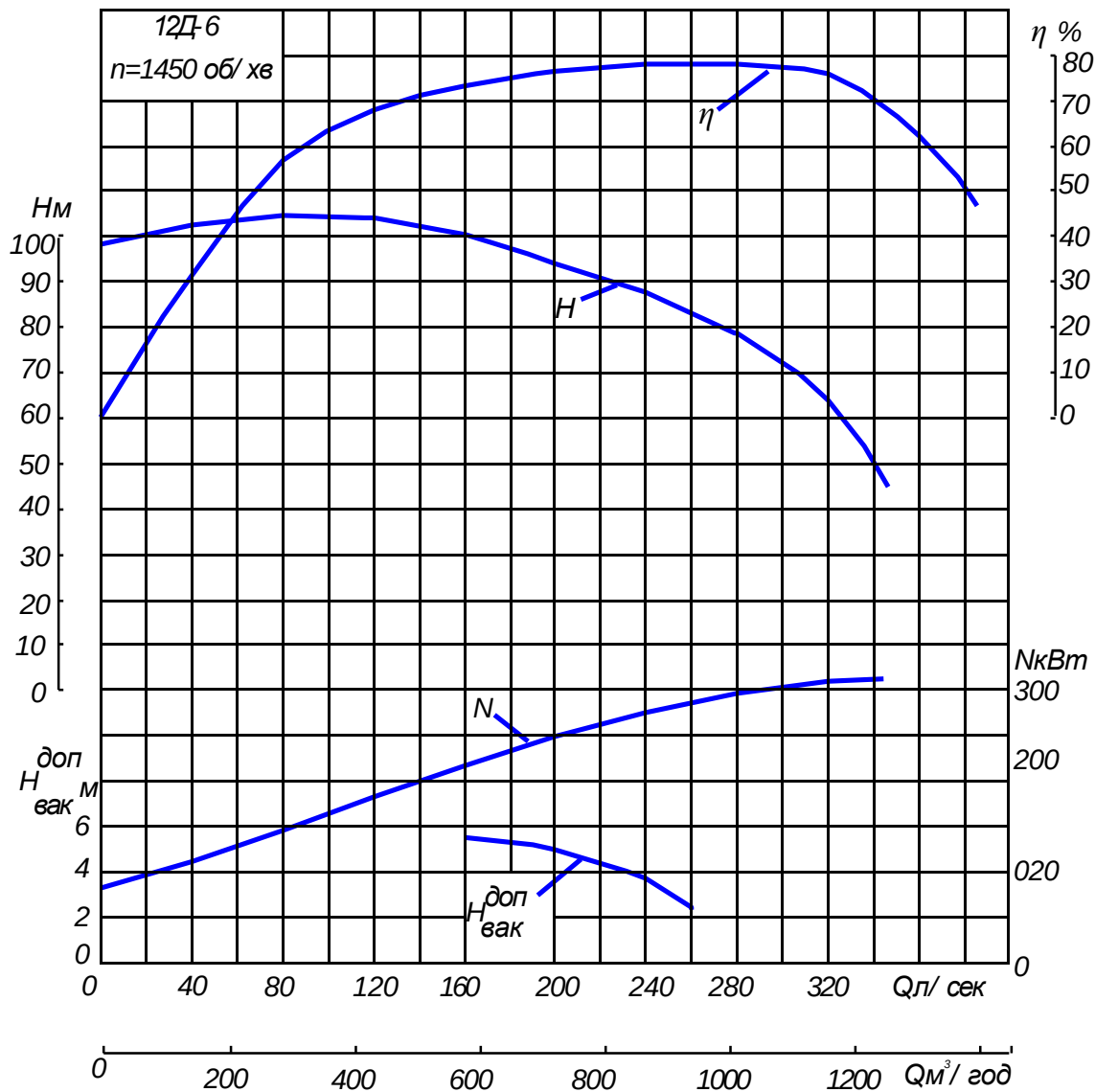


Рисунок Е.15 – Паспортні характеристики насоса 12Д-6

Таблиця Е.15 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q , м³/год	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
12Д-6	650	97	1450	228	75	546

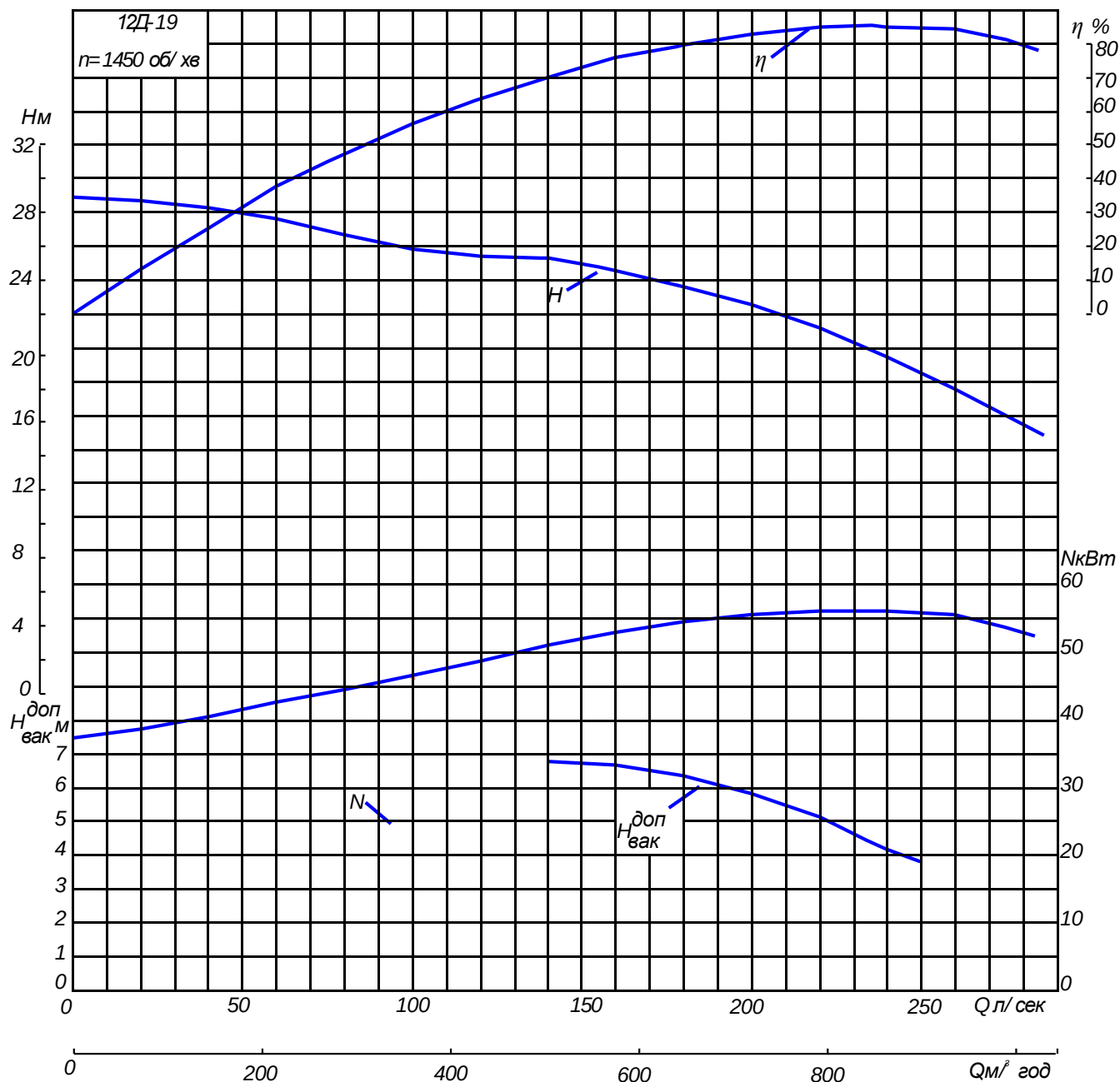


Рисунок Е.16 – Паспортні характеристики насоса 12Д-19

Таблица Е.16 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q м³/год	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого коласа D
12Д-19	620	24	1450	52,5	77	300

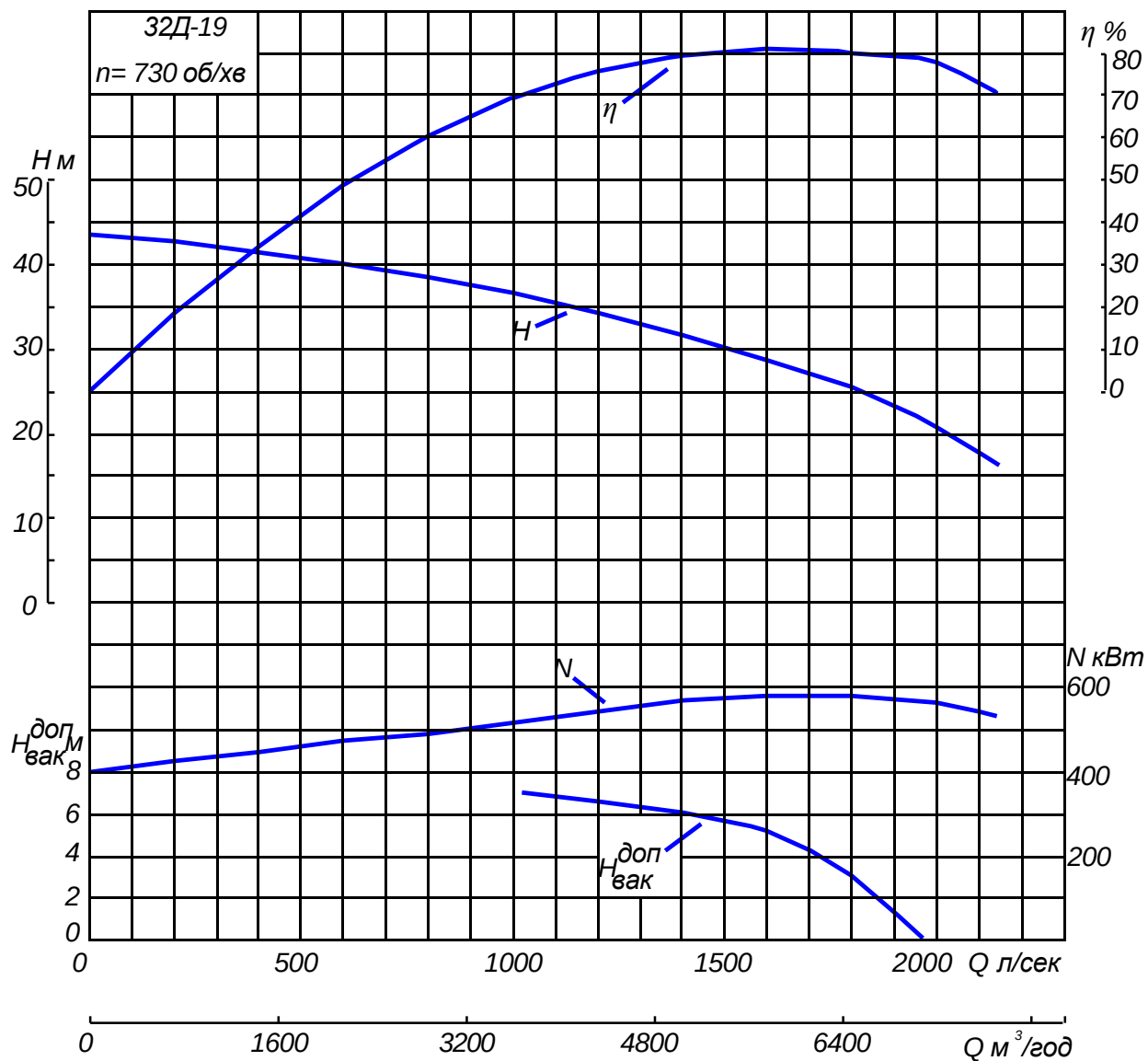


Рисунок Е.17 – Паспортні характеристики насоса 32Д-19

Таблиця Е.17 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q $\text{м}^3/\text{год}$	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
32Д-19	4700	33	730	542	78	740

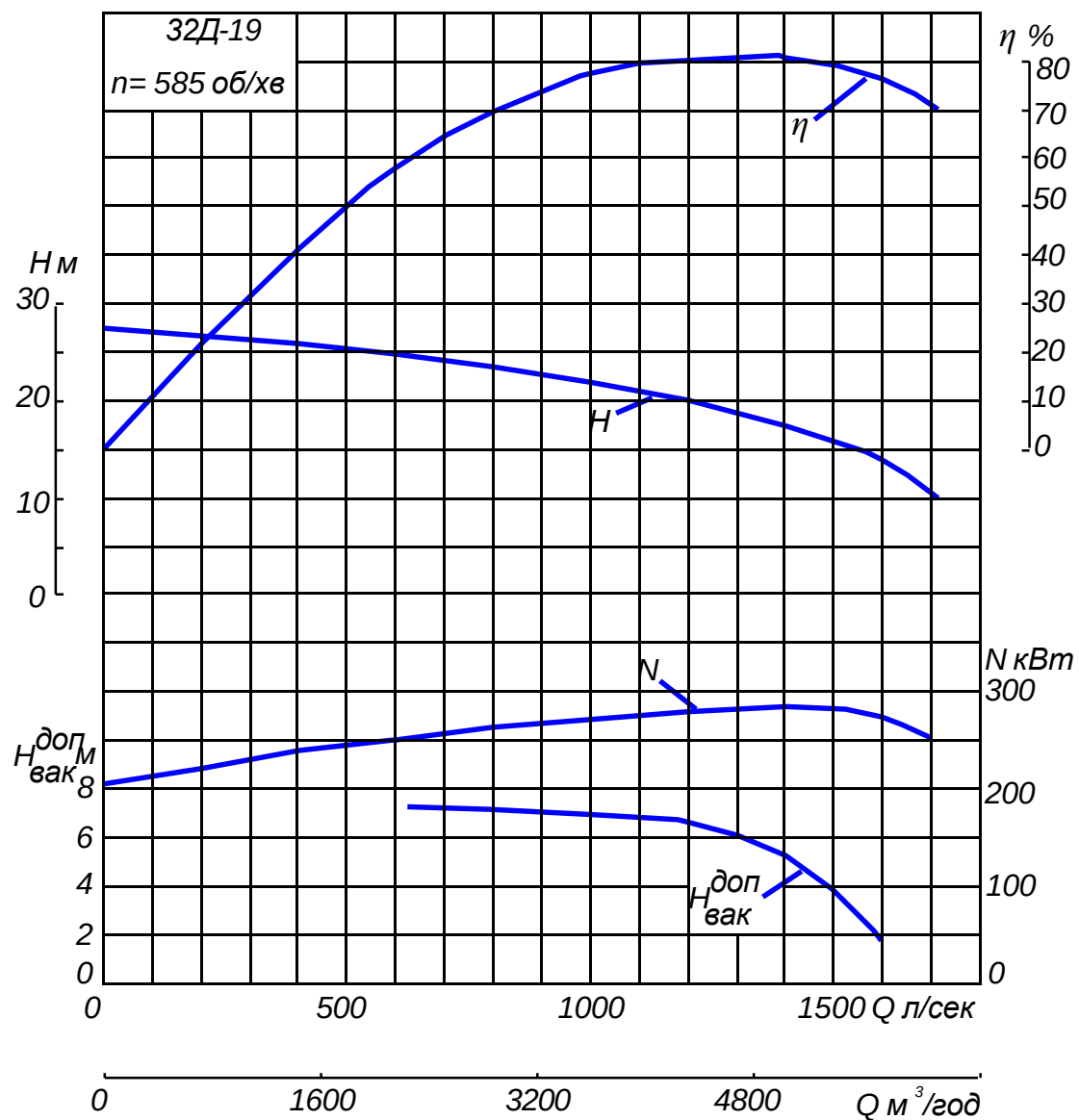


Рисунок Е.18 – Паспортні характеристики насоса 32Д-19

Таблиця Е.18 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q м³/год	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
32Д-19	3800	21	585	280	78	740

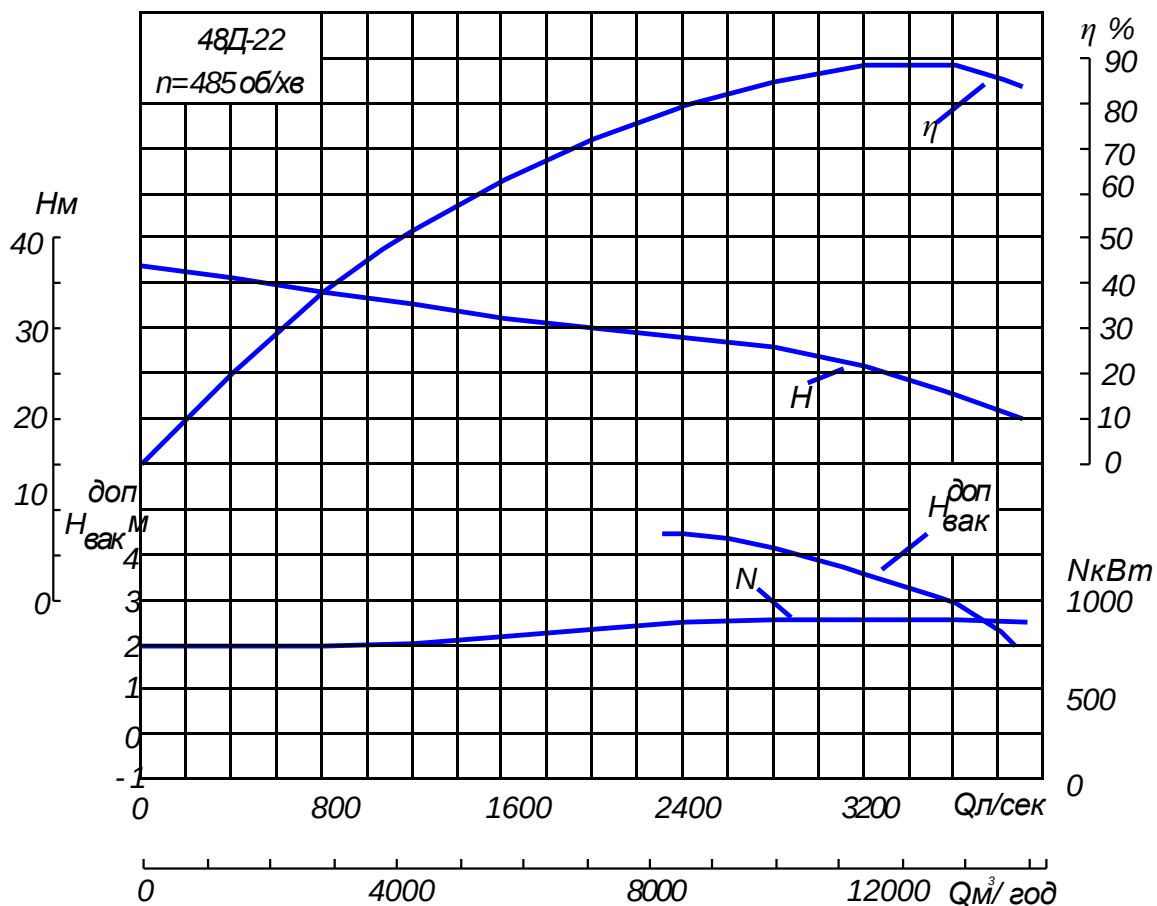


Рисунок Е.19 – Паспортні характеристики насоса 48Д-22

Таблиця Е.19 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q , $\text{м}^3/\text{год}$	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
48Д-22	9000	28,5	485	874	80	985

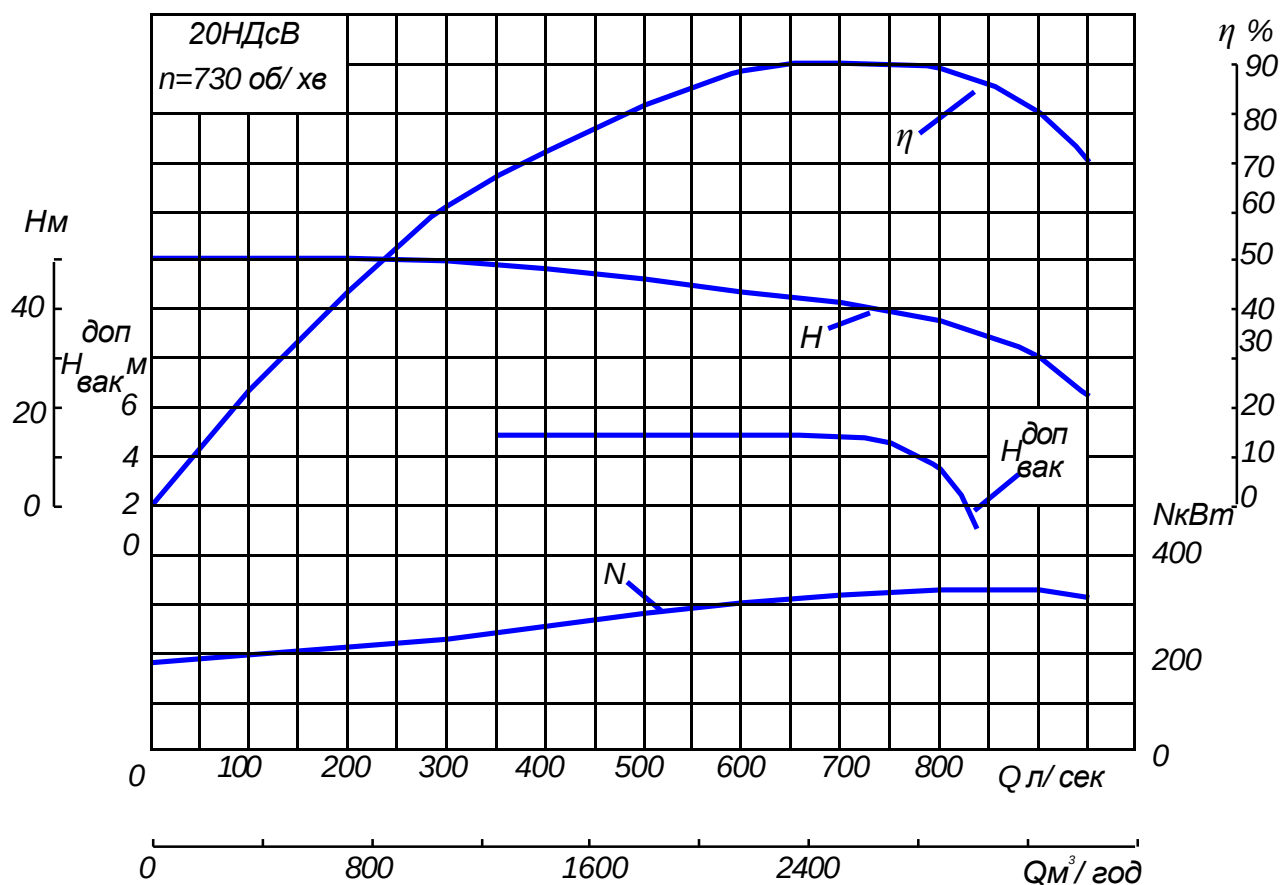


Рисунок Е.20 – Паспортні характеристики насоса 20НДсВ

Таблиця Е.20 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача $Q, м^3/год$	Повний напір $H, м$	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
20НДс	2700	40	730	328	90	765

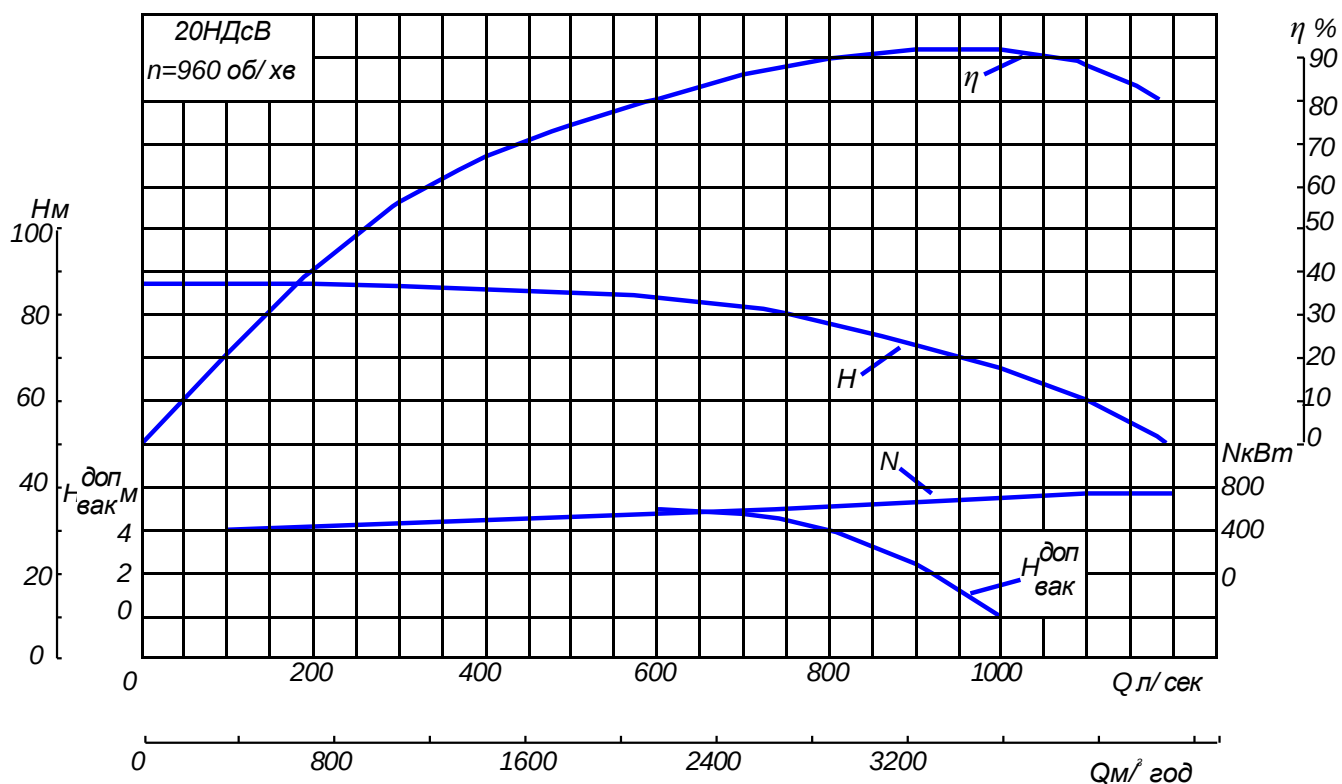


Рисунок Е.21 – Паспортні характеристики насоса 20HДсВ

Таблиця Е.21 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q м³/год	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
20HДс	3420	71	960	725	91	765

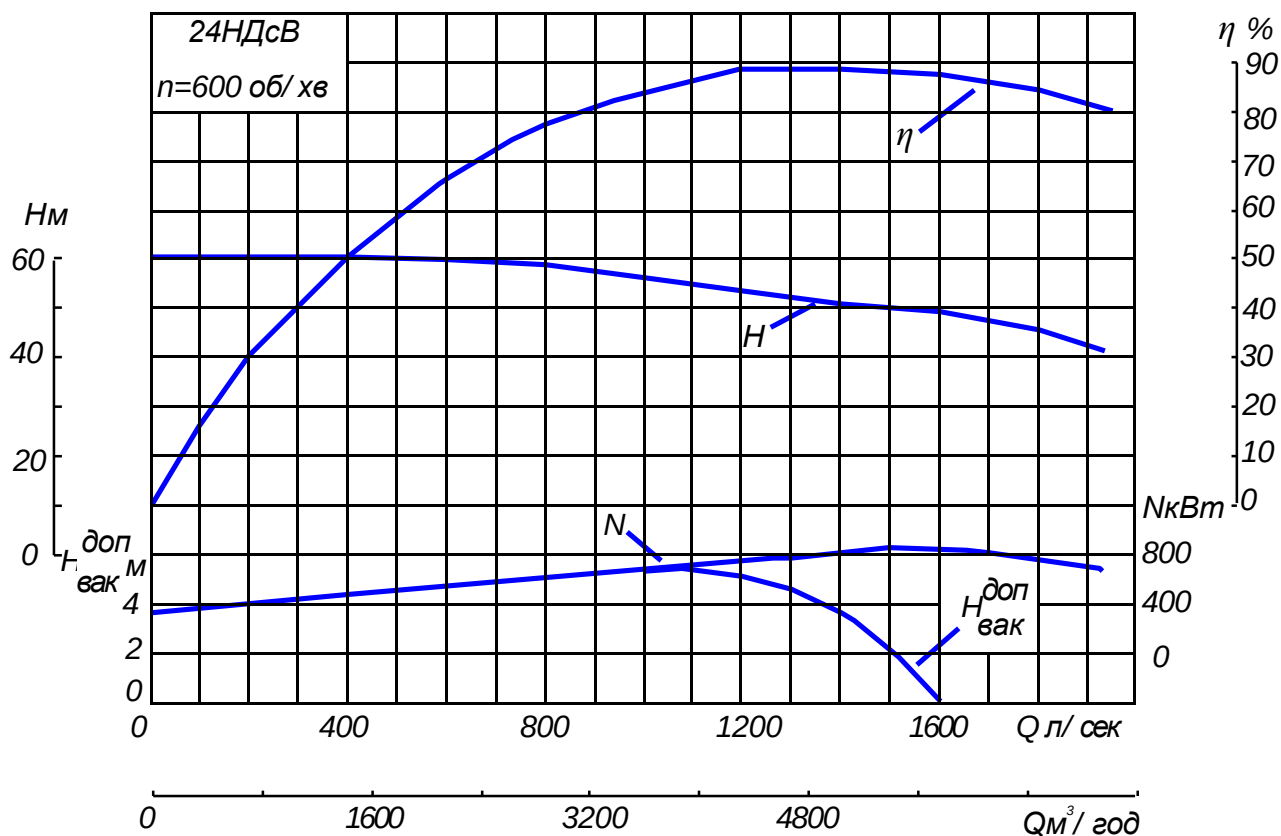


Рисунок Е.22 – Паспортні характеристики насоса 24НДсВ

Таблица Е.22 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q $\text{м}^3/\text{год}$	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
24НДс	5200	50	600	830	89	990

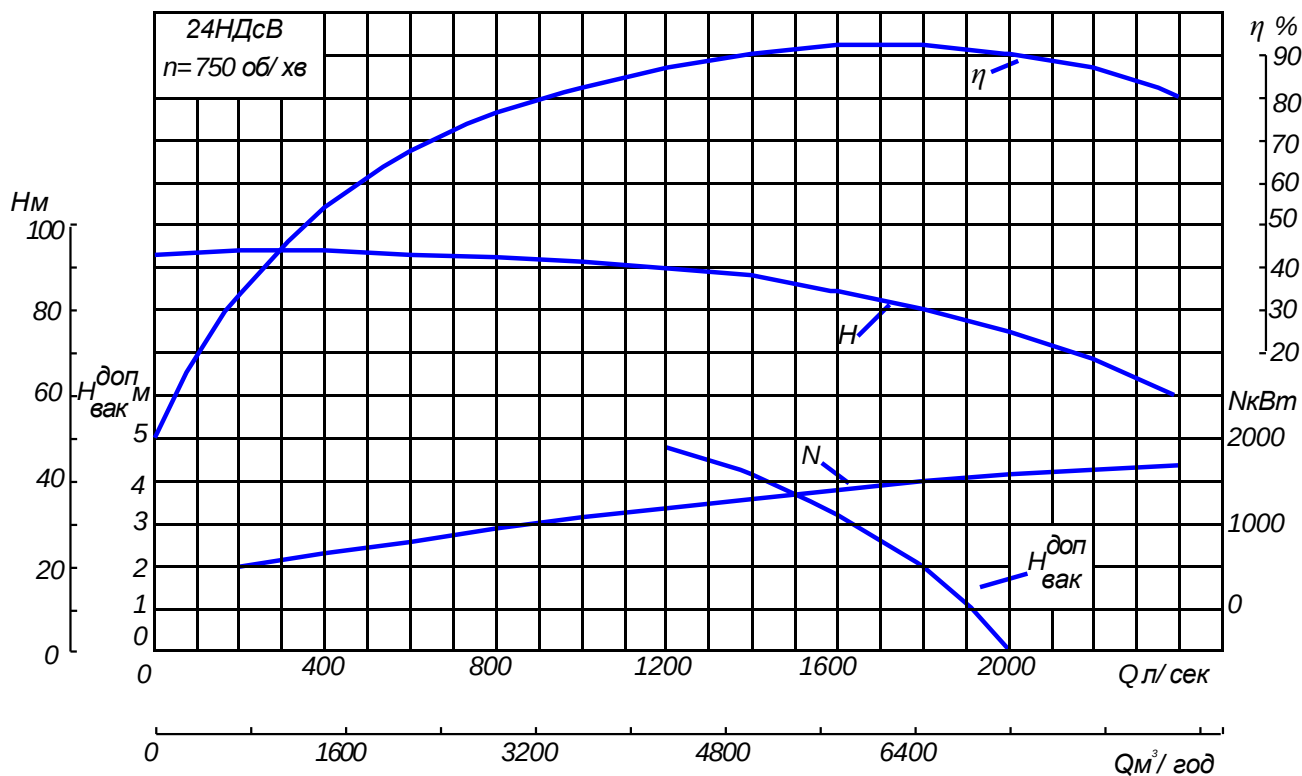


Рисунок Е.23 – Паспортні характеристики насоса 24HDcB

Таблица Е.23 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q м³/год	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
24HDc	6500	79	750	1500	92	990

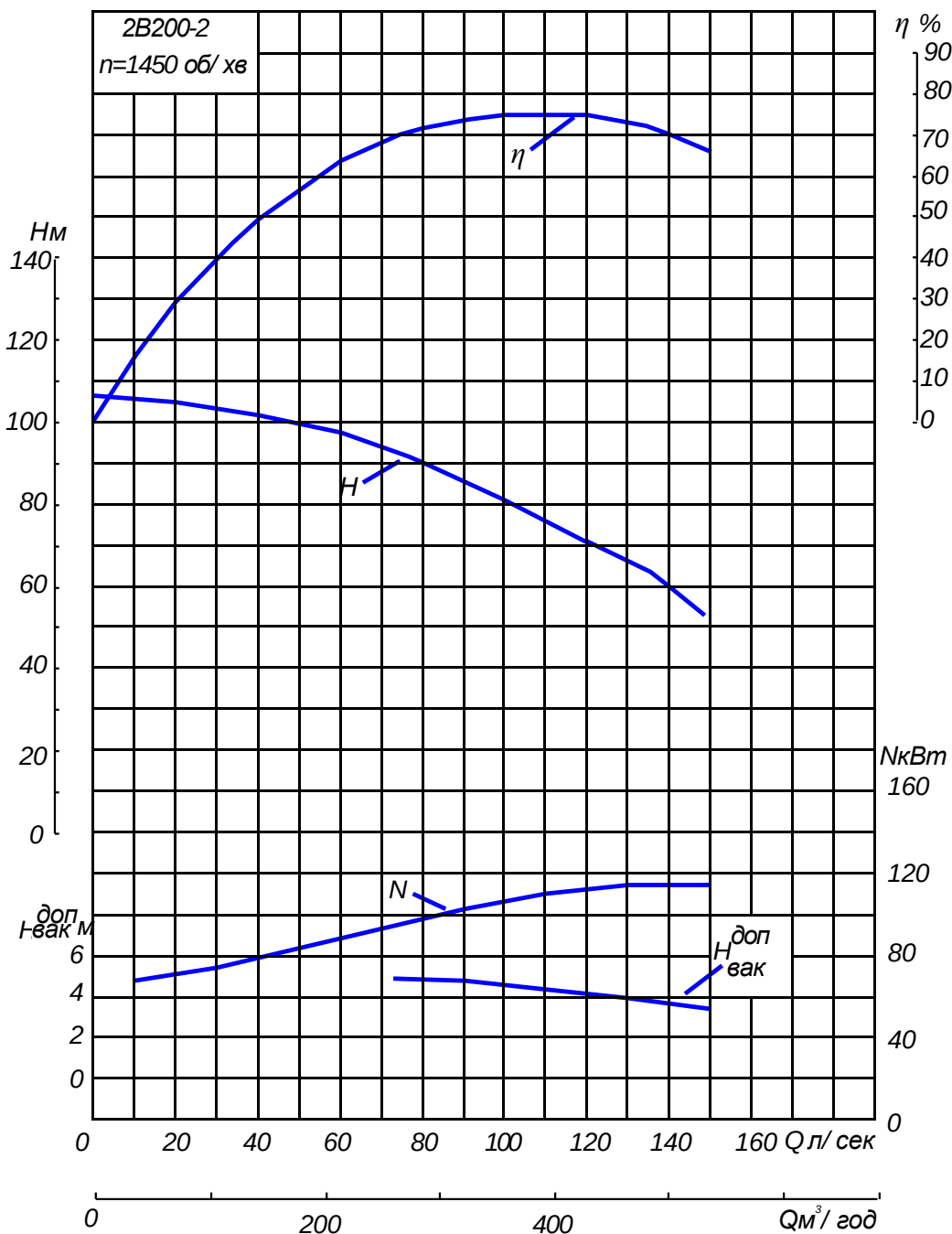


Рисунок Е.24 – Паспортні характеристики насоса 3В-200×2

Таблица Е.24 – Технічні показники відцентрового насоса

Марка насоса	Подача Q , м³/Год	Повний напір H , м	Число обертів n за хвилину	Потужність N на валу насоса, кВт	ККД насоса, %	Діаметр робочого колеса D
3В-200×2	250	92,5	1450	92	70	390

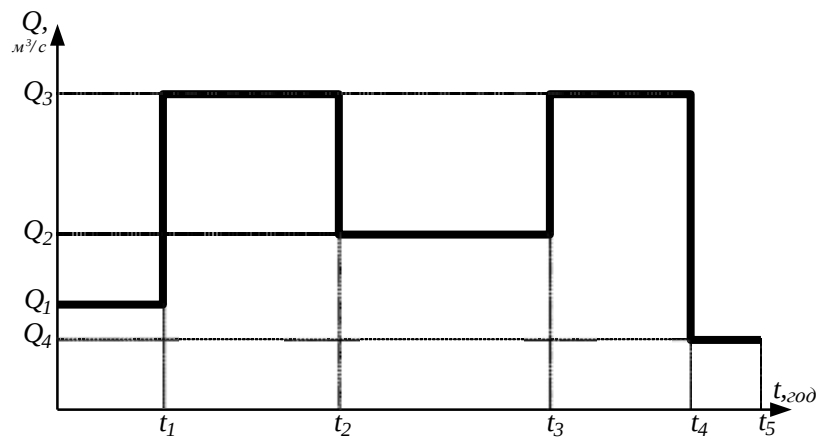


Рисунок Ж.1 – Добовий графік витрати води

ДОДАТОК Ж

Таблиця Ж.1 – Параметри водоспоживання

№ пор.	$Q_1,$ $\text{м}^3/\text{с}$	$Q_2,$ $\text{м}^3/\text{с}$	$Q_3,$ $\text{м}^3/\text{с}$	$Q_4,$ $\text{м}^3/\text{с}$	$t_1,$ год	$t_2,$ год	$t_3,$ год	$t_4,$ год	$t_5,$ год
1	$0,3 Q_H$	$0,4 Q_H$	Q_H	$0,2 Q_H$	6	9	15	21	24
2	$0,25 Q_H$	$0,5 Q_H$	Q_H	$0,21 Q_H$	6	10	16	22	24
3	$0,2 Q_H$	$0,41 Q_H$	Q_H	$0,22 Q_H$	6	9	15	21	24
4	$0,28 Q_H$	$0,49 Q_H$	Q_H	$0,23 Q_H$	6	10	16	22	24
5	$0,32 Q_H$	$0,42 Q_H$	Q_H	$0,24 Q_H$	6	9	15	21	24
6	$0,34 Q_H$	$0,48 Q_H$	Q_H	$0,25 Q_H$	6	10	16	22	24
7	$0,27 Q_H$	$0,43 Q_H$	Q_H	$0,26 Q_H$	6	9	15	21	24
8	$0,24 Q_H$	$0,47 Q_H$	Q_H	$0,27 Q_H$	6	10	16	22	24
9	$0,22 Q_H$	$0,44 Q_H$	Q_H	$0,28 Q_H$	6	9	15	21	24
10	$0,3 Q_H$	$0,46 Q_H$	Q_H	$0,29 Q_H$	6	10	16	22	24
11	$0,25 Q_H$	$0,45 Q_H$	Q_H	$0,3 Q_H$	6	9	15	21	24
12	$0,2 Q_H$	$0,4 Q_H$	Q_H	$0,31 Q_H$	6	10	16	22	24
13	$0,28 Q_H$	$0,5 Q_H$	$0,9 Q_H$	$0,32 Q_H$	6	9	15	21	24
14	$0,32 Q_H$	$0,41 Q_H$	$0,9 Q_H$	$0,2 Q_H$	6	10	16	22	24
15	$0,34 Q_H$	$0,49 Q_H$	$0,9 Q_H$	$0,21 Q_H$	6	9	15	21	24
16	$0,27 Q_H$	$0,42 Q_H$	$0,9 Q_H$	$0,22 Q_H$	6	10	16	22	24
17	$0,24 Q_H$	$0,48 Q_H$	$0,9 Q_H$	$0,23 Q_H$	6	9	15	21	24
18	$0,22 Q_H$	$0,43 Q_H$	$0,9 Q_H$	$0,24 Q_H$	6	10	16	22	24
19	$0,3 Q_H$	$0,47 Q_H$	$0,9 Q_H$	$0,25 Q_H$	6	9	15	21	24
20	$0,25 Q_H$	$0,44 Q_H$	$0,9 Q_H$	$0,26 Q_H$	6	10	16	22	24
21	$0,2 Q_H$	$0,46 Q_H$	$0,9 Q_H$	$0,27 Q_H$	6	9	15	21	24
22	$0,28 Q_H$	$0,45 Q_H$	$0,9 Q_H$	$0,29 Q_H$	6	10	16	22	24
23	$0,32 Q_H$	$0,4 Q_H$	$0,9 Q_H$	$0,28 Q_H$	6	9	15	21	24
24	$0,34 Q_H$	$0,5 Q_H$	$0,9 Q_H$	$0,3 Q_H$	6	10	16	22	24

ДОДАТОК І

Параметри асинхронних двигунів

Таблиця И.1 – Параметри асинхронних двигунів

№ вар- та	P_n , кВт	n_n , об/хв	n_0 , об/хв	I_n , А	η_n , %	$\cos\varphi_n$	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_\kappa}{M_n}$	R_1 , Ом	x_1 , Ом	R_2' , Ом	x_2' , Ом
1	110	2940	3000	206	91	0,89	7	1,2	2,2	0,018	0,1	0,014	0,11
2	132	2940	3000	247	91,5	0,89	7	1,2	2,2	0,015	0,085	0,011	0,09
3	160	2943	3000	294	92	0,9	6,5	1	1,9	0,011	0,07	0,009	0,09
4	200	2943	3000	365	92,5	0,9	7	1	1,9	0,007	0,05	0,007	0,08
5	250	2943	3000	459	92,5	0,9	7	1	1,9	0,006	0,04	0,005	0,06
6	315	2940	3000	564	93	0,91	7	1	1,9	0,005	0,035	0,004	0,04
7	132	982	1500	241	93	0,89	6	1,2	1,9	0,0209	0,1093	0,0155	0,1275
8	160	982	1500	291	93,5	0,89	6	1,2	1,9	0,0174	0,0831	0,0121	0,1057
9	200	984	1500	358,2	94	0,9	6,5	1,2	1,9	0,0015	0,0737	0,0098	0,086
10	250	984	1500	447,7	94	0,9	6,5	1,2	2	0,0103	0,0541	0,0074	0,0639
11	110	735	750	208,4	93	0,86	5,5	1,2	1,9	0,0296	0,1478	0,0211	0,19
12	132	735	750	250,1	93	0,86	5,5	1,2	1,9	0,0264	0,1232	0,0185	0,1671
13	160	737	750	301,5	93,5	0,86	5,5	1,1	1,9	0,0175	0,0949	0,0124	0,124
14	200	737	750	374,9	94	0,86	5,5	1,1	1,9	0,0123	0,0793	0,01	0,1056
15	110	589	600	218,3	92	0,83	5,5	1	1,8	0,0302	0,1411	0,0212	0,1814
16	132	589	600	260,5	92,5	0,83	5,5	1	1,8	0,0253	0,1182	0,0186	0,152
17	110	489	500	235,3	92	0,77	5,5	1	1,8	0,0262	0,1309	0,0215	0,187
18	110	2952	3000	208	93	0,88	7	1,2	2,2	0,0264	0,0994	0,0190	0,1481
19	132	2943	3000	244	93	0,88	7	1,2	2,2	0,0243	0,0902	0,018	0,1352
20	160	2958	3000	287	94	0,9	6,5	1,2	2,2	0,0169	0,0843	0,0115	0,0997
21	200	2958	3000	356	94,5	0,9	6,5	1,2	2,2	0,013	0,0569	0,0087	0,0742
22	250	2964	3000	440	94,5	0,91	6,5	1	1,9	0,0085	0,05	0,006	0,06
23	315	2970	3000	549	94,5	0,92	6,5	1	1,9	0,004	0,0349	0,0044	0,044
24	400	2970	3000	693	95	0,92	6,5	1	1,9	0,0041	0,0263	0,0031	0,0349
25	45	962	1000	89,75	86,5	0,88	6,5	1,9	2,1	0,0639	0,1498	0,1150	0,1940

Таблиця К.1 – Технічні дані відцентрових вентиляторів

<i>Номер варіанта</i>	<i>$h_{\text{ном.}}$ мм вод.ст.</i>	<i>$Q_{\text{ном.}}$ $\text{м}^3/\text{год}$</i>	<i>$\eta_{\text{ном}}$</i>	<i>$Q_{\text{min}}/Q_{\text{ном}}$</i>	<i>$\omega_{\text{ном.}}$ рад/с</i>
1	30	7500	0,40	0,35	148
2	40	7000	0,42	0,30	
3	50	6000	0,43	0,25	
4	60	5000	0,43	0,20	
5	70	5500	0,46	0,18	
6	80	4500	0,45	0,30	
7	90	4000	0,46	0,35	
8	100	3000	0,44	0,40	
9	300	5500	0,48	0,50	100
10	400	6000	0,50	0,60	
11	500	8000	0,52	0,65	
12	600	10000	0,54	0,55	
13	700	12000	0,56	0,40	
14	800	14000	0,58	0,45	
15	900	16000	0,60	0,35	
16	1000	18000	0,64	0,40	
17	120	80000	0,56	0,60	151
18	140	75000	0,57	0,70	
19	160	70000	0,55	0,65	
20	180	60000	0,56	0,60	
21	200	50000	0,60	0,55	
22	220	45000	0,58	0,50	
23	240	40000	0,57	0,45	
24	260	30000	0,56	0,40	

ЛІТЕРАТУРА

- 1) Електропривод: Підручник / Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, П.І. Савченко, О.Ю. Синівський, Д.Г. Войтюк, В.П. Лисенко; За ред.. Ю.М. Лавріненка. Видавництво «Ліра- К». – К., 2009. – 504 с.
- 2) Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній.: Підручник. За ред.. Є.Л. Жулая. К. – Вища освіта. 2001. – 288 с.
- 3) Марущак Я.Ю .Синтез електромеханічних систем з послідовним та паралельним корегуванням: Навчальний посібник. – Львів, Видавництво НУ „Львівська політехніка”, 2004. – 312 с.
- 4) Практикум з електропривода / В.С.Олійник, О.С.Марченко, Є.Л.Жулай, Ю.М.Лавріненко.
- 5) Електропривод: Навчальний посібник / О. Ю. Синявський, П. І. Савченко, В. В. Савченко, Ю. М. Лавріненко, В. В. Козирський, Ю. М. Хондола, І. П. Ільчов; За ред.. О. Ю. Синявського. – К.: Аграр Медіа Груп, 2013. 586 с.
- 6) Грабко В.В. Електропривод підприємств АПК: навч. Посіб. / В.В. Грабко, С.М. Левицький. – Вінниця, ВНТУ, 2012. – 198 с.

Методична

- 7) Електропривод виробничих машин і механізмів / Рясна О.В., Лисенко В.В., Тимошенко Г.А. Методичні вказівки до практичних занять для здобувачів галузі знань 14 «Електрична інженерія», спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка», другого (магістерського) рівня вищої освіти (денної та заочної форми навчання). – Суми, СНАУ, 111 с.
- 8) Електропривод виробничих машин і механізмів Конспект лекцій для здобувачів денної і заочної форм навчання по спеціальності 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» ос «Магістр» /Суми, 2024 рік, 100 с.

Рясна Ольга Василівна
Лисенко Віта Василівна
Тимошенко Григорій Андрійович

Електропривод виробничих машин і механізмів

Методичні вказівки до практичних занять

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет,
вул. Г. Кондратьєва, 160

Підписано до друку: травень 2024 р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman Сур
Тираж: 50 примірників. Замовлення № _____ Ум. друк. арк. 4,6.
