

287.5 Д237.2
К-26
436981-у7



АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНСЬКОЇ РСР

РАДА НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ПРОПАГАНДИ

436981-у7

Г. В. КАРПЕНКО
Кандидат технічних наук

**ВІТЕР
ТА ЙОГО
ЕНЕРГЕТИЧНЕ
ВИКОРИСТАННЯ**

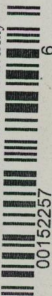
ВИДАВНИЦТВО АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНСЬКОЇ РСР
КИЇВ • 1948



Ціна 2 крб.

к. с. р. 2209-1

V.N. Karazin Kharkiv National University



00152257

6

9
/
80



0 4237.2

АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНСЬКОЇ РСР

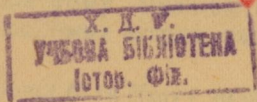
РАДА НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ПРОПАГАНДИ

Г. В. КАРПЕНКО
Кандидат технічних наук

551.5
k26

ВІТЕР
ТА ЙОГО
ЕНЕРГЕТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ

436981-92.



ВИДАВНИЦТВО АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНСЬКОЇ РСР

КИЇВ • 1948

77

8 67

к. физ. наук - БДУ.

Відповідальний редактор
чл.-кор. АН УРСР Б. Д. Грозін.

79

ВСТУП

У мореплаванні вітер використовувався як рушійна сила з давніх-давен, і протягом багатьох сторіч це був єдиний спосіб використання енергії вітру.

Але, за деякими твердженнями, вже за 3000 років до нашої ери вітер почали використовувати для вітряних млинів. Так, коло Олександрії в Єгипті досі ще залишились вітряки з кам'яними баштами, викладеними, як гадають, 3000 років тому. Вважають, що крила цих млинів мали вигляд окремих вітрил, схожих на вітрила парусних суден.

На одному з островів біля Криту знайдені стародавні млини з крилами у вигляді трикутного вітрила. За деякими відомостями, в Персії, за часів каліфа Омара, себто в VII ст., вже існували дерев'яні млини з пристосуванням для повороту крил у напрямі вітру.

За часів феодалізму вітер, поряд з водою, стає основною енергетичною базою. Згідно з одним договором, що зберігся, в Німеччині в 833 р. існував вітряний млин. Документи підтверджують також, що вітряки існували у Франції та Англії в XII ст., в XIV ст. вони поширилися на Італію, Голландію і Іспанію. Вітряки прийшли на територію теперішнього СРСР з Ірану раніш, ніж у Західну Європу, де вони поширилися лише з часів хрестових походів на Схід.

Як каже Карл Маркс, вітряки, що з'явилися в Західній Європі, викликали „серйозну боротьбу між дво-

рянством, попами та імператором з-за того, кому же з них трьох „належить“ вітер“¹.

Дійсно, водяний млин зміцнював владу феодала і посилював політичну децентралізацію феодального володіння. Вітер, навпаки, був одним з тих важелів, за допомогою якого королівська влада могла боротися з натуральною замкненістю феодального володіння, тому що він існував скрізь і дозволяв ставити вітряки незалежно від місцевих умов.

У XVIII ст. вітряні двигуни найбільш поширилися в Голландії, яка стає класичною країною вітряків.

Карл Маркс каже, що нестача водопадів для використання їх у гідравлічному двигуні та необхідність боротьби з лишками води примусила голландців застосовувати вітер в широких розмірах як рушійну силу. Крім того вітряний двигун стає в той час головною енергетичною установкою централізованих мануфактур у суконному та паперовому виробництві, у мукомельній та лісопильній справі і т. ін. Вітряний двигун стає основною енергетичною базою загальнодержавного значення.

Дійсно, в 1648 р. голландський інженер Легватер склав проект осушення Гаарлемського озера за допомогою 160 величезних вітряних водочерпалок, щоб збільшити майже вдвоє площу голландського землеробства. Цей проект не був здійснений, проте він свідчить про ту величезну вагу, що її мав вітряний двигун на той час.

Треба зазначити, що, пізніше, після осушення багатьох земельних ділянок, в Голландії працювало багато вітряних установок, які, за словами Карла Маркса, „захистили від зворотного перетворення на багно двох третин країни“².

Як приклад застосування в ті часи вітродвигунів можна навести те, що в XVII ст. біля Лондона було побудовано кілька лісопильних заводів з приводом від вітродвигунів, причому один вітродвигун заміняв працю 20 дорослих чоловіків, що працювали доти з допомогою ручних пил.

Вітер не тільки використовували у вітродвигунах, але й намагалися використати його як рушійну силу

¹ К. Маркс, Капітал, т. I, Партиздат, 1936, стр. 303, прим. 93.

² Там же.

для сухопутнього екіпажу (колісного чи санного). У 1726 р. Французька академія наук розглядала проект вітряного плуга, крила якого весь час обертались в бік ві ру. Тоді ж було складено багато різних проектів самохідних екіпажей, що повинні були рухатись за допомогою вітрил.

Вітряні двигуни існували майже без змін до другої половини минулого сторіччя. Особливо великі зміни внесені в них після опрацювання великим російським ученим М. Є. Жуковським теоретичних питань використання сили повітряного потоку. На підставі робіт М. Є. Жуковського його найближчі учні розробили низку вітчизняних конструкцій вітродвигунів дуже високої якості.

В ХХ ст. вітряні двигуни почали застосовуватись, крім млинарства, водопостачання та осушення заболочених місцевостей, ще й для різних сільськогосподарських потреб, наприклад, для виготовлення кормів худобі, для молотби, підготовки мінеральних добрив, дроблення солі, як енергетична база для невеликих деревообробних та металообробних майстерень і для зв'язку.

До першої імперіалістичної війни в Росії існувало до 250 000 вітряків, виробнича спроможність яких на рік становила 3,5 мільярда пудів зерна. Великий Ленін¹ в „Начерку плану науково-технічних робіт“ Російської академії наук відзначав важливість використання вітродвигунів у сільському господарстві. Перед Вітчизняною війною тисячі колгоспів збудували свої вітряні млини та крупорушки, наявність яких дає велику користь колгоспові, звільняючи тягло й людей від роботи, пов'язаної з далекими перевозками зерна до механічних (парових) млинів. Наша радянська наука дала колгоспам можливість збудувати власними силами поліпшені з аеродинамічного погляду дерев'яні крила, які рухали млин при швидкості вітру 3,5—4 м на секунду (коли хитаються тільки гілки дерев). Такий млин міг працювати до 250 днів на рік (замість 100 днів, протягом яких працюють старі селянські вітряки) і, маючи розмах крил в 12 метрів, міг перемолоти 300—350 т зерна на рік, для переробки якого при тепловому двигуні треба б витратити понад 4000 кг рідкого палива.

¹ В. И. Ленин, Сочинения, т. XXII, стор. 434.

Крім того в роки сталінських п'ятирічок було організовано заводське виробництво різних марок металічних вітродвигунів вітчизняної конструкції, експлуатація яких довела їх високу якість.

Вітчизняна війна привела майже до суцільного знищення вітряних двигунів по всіх тимчасово окупованих німцями територіях. Німецько-фашистські варвари, руйнуючи наші міста й села, зруйнували також млинарське господарство на селі. Цілі райони України лишилися без жодного млина. При німцях населення змушене було розтирати зерно камінням та товкти його в ступах.

Секретар ЦК КП(б)У товариш М. С. Хрущов у своїй доповіді на VI Сесії Верховної Ради УРСР, що відбулася в Києві в березні 1944 р., дав, зокрема, вказівки, якими шляхами має йти відбудова млинарського господарства УРСР. Товариш Хрущов сказав: „Дуже велику шкоду заподіяли німці млиновому господарству. Вони руйнували, палили, висаджували в повітря всі млини, в тому числі і вітряні... Нам треба зараз приступити до відбудови зруйнованого млинового господарства. В містах треба будувати великі сучасні млини з електродвигунами або дизелями. В селах треба особливо увагу приділити будівництву вітряків. Треба всемірно використовувати дарову енергію, яку ми можемо одержати за рахунок використання вітру“.

Після Вітчизняної війни на Україні залишилось усього коло 4000 вітряків. На найближчий час треба побудувати не менше 20 000 вітродвигунів тільки для колгоспних млинів і ще тисячі вітродвигунів для інших потреб сільського господарства.

За підрахунками академіка О. В. Вінтера, СРСР потребує зараз відбудови млинарських вітродвигунів, щоб їх загальна кількість досягла 250—300 тисяч одиниць, усього потужністю на 1—1,5 млн. кіловат¹. Він вказує далі, що енергія вітру повинна стати енергетичним джерелом не тільки для млинарства, а й для різних культурно-побутових потреб сільського населення, для забезпечення тисяч сільських лікарень, клубів, шкіл та читалень світлом, радіо- та кіноустановками.

Для різних інших галузей сільськогосподарського виробництва акад. Вінтер вважає за необхідне устатку-

¹ „Правда“ за 22 грудня 1945 р.

вання близько мільйона вітродвигунів загальною потужністю 7—8 млн. квт.

Ці вітродвигуни повинні бути використані також для зрошення та водопостачання особливо посушливих районів нашої країни.

Для потреб радіозв'язку в Арктиці, для рибної харчової промисловості, за підрахунками акад. Вінтера, потрібно буде також більше мільйона вітродвигунів від 1 до 25 кіловат, загальною потужністю 3—4 млн. квт.

Таким чином, каже акад. Вінтер, загальна енергетична потужність вітродвигунів для нашої країни має досягти 10—12 млн. квт, з яких 70% обслуговуватиме сільськогосподарські потреби країни.

Треба відзначити, що тепер в США, де досить давно вже використовують вітроенергетичні установки, загальна потужність їх доходить лише до 6 млн. квт.

Особливо багато вітродвигунів потрібно для степових районів нашої країни, і зокрема України, де невістачає місцевого палива, а водні ресурси обмежені.

Перевага енергії вітру в тому, що вона невичерпна і є скрізь, а вітродвигуни прості і майже не потребують догляду. Проте треба вміти використовувати цей даровий і приступний вид енергії з мінімумом витрат на капітальне будівництво, користуючись найдешевшими місцевими матеріалами і власними силами при будівництві. Треба вміти вибирати тип вітряного двигуна, найпридатніший для даних умов, і місце його встановлення, яке б забезпечило максимальне використання енергії вітру.

Для всього цього треба поширити знання з вітровикористання серед широких мас нашої країни. Наша брошура має метою допомогти в поширенні цих знань, подаючи основні поняття про вітрову енергію та її застосування.

ВІТЕР

Виникнення вітру

Вітром називають переміщення повітря поблизу земної поверхні, притому звичайно переміщення горизонтальне.

Вітер виникає тому, що на земній поверхні є різниця в тисненні повітря. Стається це звичайно від того,

що в двох сусідніх місцях на Землі температура неоднакова, причому внизу повітря тече з холодніших місць до тепліших, а вгорі навпаки. Треба відзначити, що тиснення розподіляється по земній кулі неоднаково: біля тропіків та полюсів воно вище, ніж по інших місцях Землі. В холодну пору року тиснення над континентами більше, ніж над океанами, влітку ж—навпаки. Звідси виникають так звані сезонні вітри—мусони, які дмуть зимою з холодної суші на тепле море, а літом з моря на сушу. Ці вітри особливо розвинуті в Індії та на Далекому Сході. Між субтропічними широтами і екватором дмуть більш-менш постійні вітри, що звуться пасатами. В наших широтах вітри не мають такого постійного напрямку й сили і залежать від проходження циклонів; проте слід відмітити, що в нас більш за все спостерігаються західні та північно-західні вітри, особливо влітку.

Добовий хід вітру

Нерівномірне тиснення по земній поверхні викликане нерівномірним нагрівом поверхні Землі Сонцем. Це має значення і для окремих місцевостей, викликаючи горизонтальне переміщення повітря, себто вітер. Так, наприклад, удень температура земної поверхні вища за температуру моря, тому нагріте повітря, як більш легке, підіймається вгору, і на його місце приходить холодне повітря з моря. Отже, вдень вітер дме з моря на сушу. Вночі напрям вітру змінюється: вода стає теплішою за суходіл, бо він стигне швидше, і це викликає зворотний напрям вітру. Такий вітер біля моря, що протягом доби змінює свій напрям, зветься „бризом“ і належить до місцевих вітрів, що не поширюються далі як на 30—40 км від берега.

Таке ж явище спостерігається в гірських місцевостях, де вдень віють вітри в гори, а вночі в долини. Таким чином ми бачимо, що на протязі доби напрям та швидкість вітру змінюються,—це зветься добовим ходом вітру. Звичайно найменша швидкість в тру спостерігається в нічні години, а після сходу сонця вітер починає посилюватися, досягає максимуму в полуденний час і потім знову стихає. Влітку та в ясні дні добовий хід буває більший, ніж узимку або в похмурі дні. Дуже великий добовий хід вітру спостерігається

в пустелях та в степах, де вночі немає зовсім вітру, а вдень часто виникають бурі. Для центральних районів СРСР вітер досягає найбільшої сили після полудня, а надвечір він стихає.

Річний хід вітру

На протязі року швидкість та напрям вітру так само змінюються, — це зветься річним ходом вітру. В Європейській частині СРСР та в усій Північній Європі найбільші вітри спостерігаються взимку. На Північному Уралі і в Сибіру, на Далекому Сході, на узбережжі Каспійського, Аральського морів і Байкалу найбільші вітри віють влітку.

В гірських місцевостях найбільші вітри звичайно спостерігаються в середині зими, а найменші влітку.

Циклони

Є ще вітри, викликані пересуванням вздовж земної поверхні велетенських вихорів, що зуться „циклонами“. Вони утворюються в д зіткнення рухомих повітряних мас різної температури та різних інших властивостей. Найбільш виразні циклони виникають звичайно в тропічних країнах. Велетенські маси повітря, що мають у поперечнику 150—200 км, обертаються з величезною швидкістю, причому що ближче до центра циклону, то обертання повітря швидше, але в самому центрі спостерігається абсолютний спокій та знижене тиснення. Обертаючись з величезною швидкістю, циклон посувається вздовж поверхні землі з тропічних країн у помірні. Одночасно він розширюється до кількох тисяч кілометрів у поперечнику, зате сила його при цьому знижується. Швидкість руху циклонів різна. Спостерігались випадки, коли циклон за добу проходить віддаль у 1600 км, і, з іншого боку, випадки, коли циклон майже не рухався зовсім. Звичайна швидкість циклонів близько 600 км на добу, причому взимку цей рух швидший, а влітку повільніший. До Української РСР циклони здебільшого приходять з Атлантичного океану, через Середземне і Чорне моря.

Циклони супроводяться великими дощами або снігопадами. Дощі ці бувають іноді настільки сильні й

довготривалі, що річки виходять з берегів, викликаючи повідь. Так, наприклад, в листопаді 1890 р. в Німеччині під впливом дуже повільного циклону випало так багато дощу, що всі річки Західної та Південної Німеччини виступили з берегів і затопили надбережні місцевості; не встигла вода ще спасти, як морози скували її, і покрили землю на багато кілометрів товстою кригою, що заподіяло великої шкоди господарству.

Виникнення циклонів не є закономірним, як виникнення „бризів“ та „мусонів“.

Смерч

В смерчах вихровий рух повітря відбувається в значно менших розмірах, ніж у циклонах. Смерч—дуже загрозливе явище, яке може призвести до руйнування будівель, а серед них і вітродвигунів. Смерчі є досить звичайним явищем в теплих країнах, та іноді вони трапляються і в СРСР. Так, величезний смерч пройшов у 1917 р. від Балтійського моря на 1500 км у напрямі на північний схід через теперішню Карело-Фінську РСР і Кольський півострів. На своєму шляху він залишив смугу в $1\frac{1}{2}$ —2 км завширшки поламаного лісу і зруйнував багато дерев'яних будівель. Швидкість, з якою просувався цей смерч, досягала 100 км на годину.

Напря́м вітру

Основними властивостями, що характеризують вітер, є його напрям і швидкість; остання поєднується з поняттям про його силу. Напря́м вітру визначається за тим боком, з якого він дме; приміром, вітер, що дме з півночі, зветься північним, з заходу—західним, з північного сходу—північно-східним і т. д.

З метою визначення напрямку вітру використовують коло горизонту, поділене на 360 градусів або ж на кілька однакових частин—румбів (найчастіше на 16 румбів).

Для використання енергії вітру необхідно знати його переважний напрям, але в одній і тій самій місцевості напрям вітру змінюється день у день, іноді протягом доби і навіть протягом години. Проте для кожної місцевості є певний переважний напрям вітрів, що панує в ту або іншу пору року. На Україні, наприклад, весною

найчастіше віють вітри східних напрямів, а восени—східних і західних.

Напрямок вітру залежить від висоти над поверхнею землі, причому в помірних широтах вітри при збільшенні висоти намагаються стати західними.

Сила вітру та її визначення

Сила вітру пропорціональна його швидкості, тому звичайно ці два поняття вважаються за тотожні, а прилади для їх визначення носять загальну назву вітромірів, або анемометрів. Силу вітру можна визначити також за такими зовнішніми ознаками, як шелест листя, хитання гілок тощо. Зрозуміло, що цей останній спосіб дає лише наближені дані про силу вітру. Спостереження за напрямом та силою вітру провадили ще в глибоку давнину, але до XIX ст. не існувало загальноприйнятої методи для визначення її. Лише в 1805 р. англійський адмірал Бофорт, на підставі зовнішніх ознак, спостережуваних у природі, склав таблицю для визначення сили вітру. Спочатку ця таблиця була основана на кількості та характері вітрил, що їх корабль може нести при різних силах вітру. У таблиці швидкість вітру оцінювалась 12 балами: кожному з них відповідають певні швидкості вітру і тиснення його в кілограмах на квадратний метр поверхні (див. табл. 1).

Розглядаючи таблицю, слід замітити, що вітер у 8 балів має швидкість від 15 до 18 м на секунду, себто являє собою бурю. Рух вітру при такій швидкості не можна використати з якою-небудь виробничою метою. Вітер ураганної сили, який оцінюється в 12 балів, у наших широтах буває рідко, але кожного разу він завдає багато шкоди. Так, у вересні 1924 р. у Ленінграді вітер досягав швидкості 45 м/сек, нагнав воду з Фінської затоки і викликав величезну повідь у Ленінграді. Такий вітер тисне на кожний квадратний метр з силою близько 140 кг, яка може зруйнувати будівлю, зірвати дах, зруйнувати цегляний димар.

В нашій країні бувають ще більші вітри; вони спостерігаються біля Новоросійська і мають назву „борà“. Ці вітри досягають такої великої сили, що іноді скидають з пристані в море навантажені товарні вагони. Щоб скинути товарний вагон з рейок, потрібний тиск вітру до 300 кг на 1 кв. м.

Таблиця 1

Шкала для наближеного визначення швидкості та сили вітру

Швидкість вітру м/сек	Бали	Характеристика вітру	Видимі ознаки
0 — 0,5	0	Спокій	Дим підіймається вертикально або майже вертикально, листя нерухомі
0,6 — 1,7	1	Тихий	Прапорець не може визначити напрямку вітру, але вітер уже відчувається
1,8 — 3,3	2	Легкий	Відчувається подув вітру в обличчя, листя шелестять, прапорці починають підніматися
3,4 — 5,2	3	Слабкий	Листя й тонкі гілки дерев увесь час колихаються, прапорець розвівається
5,3 — 7,4	4	Повільний	Вітер збиває пил, приводить у рух тонкі гілки дерев
7,5 — 9,8	5	Свіжий	Хитаються тонкі стовбури дерев, на воді з'являються хвилі з гребінцями
9,9 — 12,4	6	Сильний	Хитаються товсті сучки дерев, гудуть телеграфні дроти, важко носити відкритий парасоль
12,5 — 15,2	7	Міцний	Хитаються стовбури дерев, згинаються великі гілки, відчувається помітний опір ходінню
15,3 — 18,2	8	Дуже міцний	Вітер ламає тонкі гілки й сухі сучки дерев, утруднює рух
18,3 — 21,5	9	Буря	Невеликі руйнування (вітер зриває димарі й черепицю)
21,6 — 25,1	10	Сильна буря	Значні руйнування, дерева вириваються з корінням
25,2 — 29,0	11	Лютий шторм	Великі руйнування
> 29	12	Ураган	Спустошуюча дія

Величезної руйнівальної сили досягають вітри в тропічних країнах, де вони виникають при проходженні циклонів. Там спостерігалися такі вітри, які руйнували цілі міста і завдавали великої шкоди і людських жертв. Великі вітри в наших широтах слабші за тропічні, зате, в протилежність тим, вони охоплюють значні простори.

В той час як сильні вітри приносять величезну шкоду людству, вітри з швидкістю до 10 м/сек можуть бути використані з енергетичною метою. При сучасному стані метеорології до 80% всіх бур, що

за 5 хвилин. Свати лиха людству, можуть бути заздалегідь одержані. Метеорологічні станції реєструють швидкість, тривалість дії та напрям вітру. Всі ці відомості дуже потрібні тому, хто бажає використати силу вітру з енергетичною метою. До метеорологічних станцій слід звертатися за всіма довідками, які будуть потрібні при будівництві вітродвигуна в тій або тій місцевості.

Вітроміри

Найпростіший прилад для визначення швидкості та напрямку вітру є флюгер, показаний на рис. 1.

Металічна дошка 1 флюгера хитається коло горизонтальної осі 2, закріпленої на вертикальному стрижні 3. Флюгарка 4 повертає стрижень так, що дошка завжди встановлюється перпендикулярно до напрямку вітру. Тиснення вітру (відповідно до швидкості його) відхиляє дошку на якийсь кут. Величина кута відхилення визначається дугою 5 з вісьмома штифтами. Кожному штифтові відповідає певна швидкість вітру (див. табл. 2). Стрижень 6 з кулькою 7 обертається разом з флюгаркою і показує напрям вітру (в нижній частині флюгера нерухомо закріплено 8 стрижнів, що показують сторони горизонту,—це й дає можливість визначати напрям вітру).

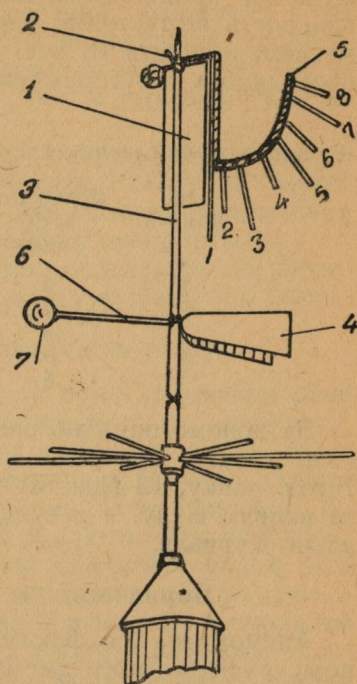


Рис. 1. Флюгер Вільда.

Флюгер треба встановлювати на достатній висоті (10 м і вище), щоб навколишні будинки і споруди не перешкоджали вільному руху повітря до нього.

Більш досконалий анемометр Фуса. Це вітрячок з чотирма півкулями. Вітер обертає вітрячок. Через те, що він більше тисне на вгнуті поверхні півкуль, ніж

на опуклі, вітрячок обертається тим більша швидкість вітру. Вітрячок сполучається з циферблатом, який показує число метрів, що їх вітрячок пройшов за певний час. Щоб встановити швидкість вітру, треба число метрів, заміряне анемометром, поділити на час у секундах, протягом якого провадилось спостереження.

Таблиця 2

Знаходження швидкості вітру за допомогою флюгера

№ штифта	Швидкість вітру м/сек	№ штифта	Швидкість вітру м/сек
1	0	6	10
2	2	7	14
3	4	8	20
4	6		
5	8	Більше 8	Понад 20

За допомогою флюгерів та анемометрів метеорологічні станції звичайно 4 рази на добу: о 1 год. ночі, 7 год. ранку, 13 год. та 19 год. вечора вимірюють силу та напрям вітру, а результати вимірів вносять у спеціальні журнали.

Поривчастість та сталість вітру

Анемометр, або флюгер, постійно перебуває у змінному русі, бо вітер дме із змінною швидкістю і часто змінює свій напрям. Детальне спостереження за вітром показало, що він віє окремими поштовхами, іноді відокремленими один від одного проміжками повного штилю. Це явище спостерігає кожний з нас, коли він дивиться на прапорець, що тріпочеться на вітрі. Воно зветься поривчастість вітру.

Крім цих коливань, у швидкості та напрямі вітру, що відбуваються за дуже короткий час, спостерігаються, як ми вже казали вище, зміни швидкості та напрямку вітру протягом доби, що зветься добовим ходом вітру, або протягом року, що зветься річним його ходом.

Моментальна та середня швидкість вітру

Відрізняють моментальну та середню швидкість вітру; моментальною, або дійсною, зветься швидкість, виміряні за короткі відрізки часу від кількох секунд

до 5 хвилин. Середньою зветься така швидкість вітру, яку ми одержуємо, виводячи середньоарифметичну величину з моментальних або зміряних за короткі відрізки часу швидкостей.

Таким чином одержують середню швидкість вітру за добу, за місяць або за рік. Щоб одержати середньодобову швидкість вітру, треба скласти всі виміри моментальних швидкостей за добу й поділити суму на кількість вимірів.

Середньомісячна швидкість одержується шляхом складання середньодобової швидкості вітру за місяць і ділення цієї суми на число днів місяця. Аналогічним шляхом одержується середньорічна швидкість.

Як показують спостереження, середньорічна швидкість вітру на Україні дорівнює приблизно 4,5 м/сек.

Вплив висоти на швидкість вітру

На швидкість і сталість вітру дуже впливають різні перепони та перешкоди на його шляху, як, наприклад, горби, ліси, будівлі тощо. Чим вище ми підіймаємося над землею поверхнею, тим сильнішим та більш сталим стає вітер як за швидкістю, так і за напрямом, бо зменшується тертя повітря об землю та різні перепони. Наприклад, виміри на вершині Ейфелевої башти, яка має висоту близько 300 м, показали, що швидкість вітру тут приблизно в 3,5 раза більша, ніж у підніжжя башти. Це підтверджується і спостереженнями, проведеними в Ленінграді, де біля поверхні землі середньорічна швидкість вітру дорівнює 4,6 м/сек, а на висоті 150 м—5,7 м/сек. Зміна швидкості вітру найбільша на протязі перших 60—70 м від поверхні землі. Зміна швидкості відбувається аж до верхньої границі тропосфери (10 км), де швидкість вітру досягає максимуму. З переходом до стратосфери ця швидкість починає знижуватись. Вплив висоти на швидкість вітру треба враховувати при спорудженні вітроенергетичних установок.

Повторюваність вітру

Дуже важливою властивістю вітру є його повторюваність. Ця величина показує, скільки годин на протязі місяця або року вітер дме з даною моментальною швидкістю.

Російський учений М. М. Поморцев на підставі великої кількості спостережень встановив закономірність повторюваності в залежності від середньорічної швидкості вітру. На підставі цієї закономірності складено таблицю повторюваності різної швидкості вітру (див. табл. 3).

Таблиця 3

Кількість годин на рік, в які віє вітер даної швидкості, залежної від середньорічної швидкості (за М. М. Поморцевим)

Моментальна швидкість м/сек	Середньорічна швидкість, м/сек									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	2230	876	500	307	175	87	52	44	18	0
1	3600	2020	1030	630	376	228	149	88	62	18
2	2190	2590	1700	1070	684	420	262	187	140	70
3	653	2020	1990	1445	1006	700	462	334	228	180
4	87	873	1710	1630	1310	963	700	492	350	280
5	—	330	1050	1445	1445	210	930	685	500	394
6	—	51	525	1070	1310	1320	1100	876	700	520
7	—	—	193	640	1050	1223	1180	1030	840	684
8	—	—	62	315	700	1000	1120	1100	960	788
9	—	—	—	152	376	700	963	1033	1000	876
10	—	—	—	52	183	438	720	886	960	896
11	—	—	—	26	70	262	500	700	850	876
12	—	—	—	—	52	131	312	516	700	796
13	—	—	—	—	20	52	170	350	520	688
14	—	—	—	—	—	26	70	220	368	520
15	—	—	—	—	—	—	36	115	250	420
16	—	—	—	—	—	—	18	61	157	290
17	—	—	—	—	—	—	16	26	87	193
18	—	—	—	—	—	—	—	17	52	131
19	—	—	—	—	—	—	—	—	18	79
20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	61

При користуванні цією таблицею знаходять у горизонтальних рядках середньорічну швидкість вітру (наприклад, 4 м/сек), а в вертикальних—скільки годин на рік віє вітер, що відповідає різним моментальним швидкостям (наприклад, для середньорічної швидкості 4 м/сек—307 годин буде штиль, 630 годин віятиме вітер з моментальною швидкістю 1 м/сек, 52 години вітер з моментальною швидкістю 10 м/сек тощо).

Вітроенергетичний кадастр

Щоб мати загальну оцінку вітрових ресурсів тієї чи іншої території, на підставі спостережень метеорологічних станцій складають так званий вітроенергетичний кадастр. На географічній карті накреслюються для різних пунктів обчислені за багато років середні швидкості вітру. Середня багаторічна швидкість вітру та його головні напрями характеризують кожний пункт на карті у вітровому відношенні і дуже допомагають при проектуванні вітроустановок. Для СРСР така детальна карта складена російським ученим М. Красовським.

ЕНЕРГІЯ ВІТРУ

Рухоме тіло має енергію, що називається живою силою, або кінетичною енергією. Ця енергія залежить від ваги рухомого тіла і ще більшою мірою від його швидкості. Кількість кінетичної енергії визначається добутком маси тіла m на його швидкість v в квадраті, поділену на 2, тобто $\frac{mv^2}{2}$.

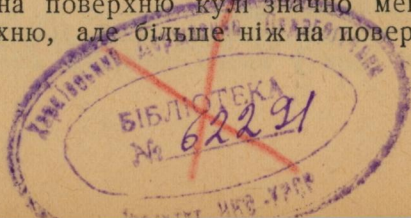
Вітер, тобто рухоме повітря, також має кінетичну енергію тим більшу, чим він сильніший, тобто чим більше його швидкість.

Тиснення вітру

Вітер віддає свою енергію, або живу силу, зустрічаючи на своєму шляху будь-який предмет, на який він дме з певною силою, намагаючись його пересунути. Сила тиснення вітру на якусь поверхню залежить від його швидкості і від величини поверхні. Тиснення вітру зростає значно більше, ніж зростає швидкість. Підраховано, що при $v=4-5$ м/сек тиснення вітру дорівнює $2,7$ кг/м², при $v=6-7$ м/сек— 5 кг/м², а при $v=10-11$ м/сек— 13 кг/м².

Слід відзначити, що тиснення вітру залежить від форми поверхні тіла, на яке він дме. З досвіду відомо, що тиснення вітру на поверхню кулі значно менше, ніж на плоску поверхню, але більше ніж на поверхню циліндра.

Х. Д. В.
РАЙОНА БІБЛІОТЕКА
ІСТОП. ОДЖ.



Робота вітру

Робота, яку може зробити вітер, що дме на якусь поверхню, провадиться за рахунок живої сили, тобто робота вітру залежить від добутку $\frac{mv^2}{2}$. За одну секунду через поверхню в F м² пройде маса рухомого повітря, яка дорівнюватиме

$$m = F \cdot \rho \cdot v,$$

де ρ —густина повітря;
 v —його швидкість.

Таким чином можна написати, що *робота за 1 сек (або потужність, що її має потік вітру)* дорівнює

$$\Pi_0 = F \cdot \rho \cdot v \cdot \frac{v^2}{2} = F \cdot \rho \cdot \frac{v^3}{2}.$$

З формули видно, що енергія (потужність) потоку вітру прямо пропорційна до куба його швидкості, тобто при збільшенні швидкості вітру вдвоє потужність потоку зростає в 8 разів, а при збільшенні її втричі—в 27 разів тощо.

З цієї ж формули видно, що потужність потоку вітру залежить від величини поверхні, на яку дме вітер, у першому степені, тобто при збільшенні поверхні в кілька разів потужність збільшується у стільки ж разів.

Використання енергії вітру

Вітродвигуни не можуть використати всієї енергії повітряного потоку. Теоретично встановлено, що найдосконаліший вітродвигун (який зовсім не мав би втрат енергії) міг би використати лише 59% енергії вітрового потоку або, як кажуть, коефіцієнт використання енергії вітру ідеальним вітродвигуном дорівнює: $k_1 = 0,59$. На практиці навіть найкращі вітродвигуни використовують ще менший процент енергії вітру в зв'язку з тим, що є втрати енергії на тертя й на утворення завихрень повітря.

Тому що повітря легке, тобто його густина мала, живої сили у нього небагато, енергія його має дуже

низький потенціал або, як кажуть, вона мало концентрована.

Це значно утруднює використання цієї енергії; вітро, двигуни, навіть найбільшого розміру, можуть дати, порівняно з гідравлічними або тепловими двигунами, відносно невелику потужність. Справді, якщо порівняти повітря з водою, то 1 м^3 води важить 1000 кг, а 1 м^3 повітря близько 1,25 кг. Тому, щоб мати однакової потужності вітряний і водяний двигун, треба перший зробити в багато разів більшим проти другого, що добре видно з формули для визначення потужності повітряного потоку.

Тепер звичайно будують вітродвигуни, які розвивають потужність максимум до 150 кінських сил. Отже, виходить, що вітродвигуни покликані в основному постачати енергію підприємствам, які потребують невеликої потужності.

Важливо ще мати на увазі, як ми казали вище, що вітер дме не завжди з однаковою силою і двигуни, що використовують енергію вітру, весь час дають різну потужність. Зміна швидкості вітру в тричотири рази на протязі кількох хвилин стається дуже часто, а це, як ми говорили вище, викликає зміну потужності, що її несе з собою потік вітру, в третьому степені,— тобто при зміні швидкості в три рази енергія вітру змінюється в 27 разів. Це примушує використовувати вітродвигуни тільки в таких виробництвах, де непостійність подачі енергії не може спричинити зриву технологічного процесу.

Акад. О. В. Вінтер, зважаючи на непостійність вітрової енергії, рекомендує враховувати при використанні її з технологічною метою не певну потужність, а ту кіл. кість роботи, яку можна одержати від вітродвигуна за певний час без витрати палива або еквівалентної кількості гідроенергії.

Енергетичні ресурси вітру

Маючи негативні властивості, вітрова енергія вигідно відрізняється від усіх інших видів енергії тим, що запаси її величезні і практично невичерпні.

Далі, ця енергія не потребує транспорту — енергія вітру сама з'являється туди, де вона потрібна.

Кількісно, в світовому масштабі, енергія вітру, що віє при земній поверхні, порівняно до інших видів енергії займає друге місце після вугілля. В табл. 4 наведено дані процентного відношення запасів різних видів енергії світу та СРСР до загальної кількості енергії.

Таблиця 4¹

Види енергії	% до загального запасу	
	для світу ²	для СРСР
Вугілля	51,7	52,9
Вітер	38,8	36,5
Вода	3,5	6,9
Нафта	0,1	0,3
Інші види палива	5,9	3,4
Всього	100,0	100,0

Треба відзначити, що кількість енергетичних ресурсів вітру для таблиці вираховувалась, виходячи з середньої його швидкості в 4 м/сек, що справедливо тільки для вітрів, які віють безпосередньо коло поверхні землі. Коли ж урахувати вітри, що віють на певній висоті над землею, то запаси вітрової енергії значно збільшаться². Так, за даними Центрального вітроенергетичного інституту, для СРСР, при середній швидкості вітру в 8 м/сек, яка спостерігається на певній висоті, загальна кількість енергії вітру перевищуватиме решту разом узятих енергетичних ресурсів країни в шість разів.

Зараз використовується дуже незначна частина світового запасу вітрової енергії—лише 0,02% від загальної її кількості. В основному енергія вітру використовується як місцевий енергетичний ресурс для виробництв, що не потребують постійної подачі енергії.

¹ За даними Лондонської енергетичної конференції.

² Вважають, що енергія повітряних потоків значно перевищує всі інші енергетичні ресурси. На утворення повітряних течій витрачається біля 6% сонячної енергії, що досягає земної поверхні.

Безперечно, в недалекому майбутньому енергія вітру використовуватиметься не тільки для місцевих потреб. В нашій країні розроблено декілька дуже цікавих проектів районних вітроелектричних станцій, потужність яких досягає 10 000 квт. Загальний вигляд одної з таких станцій показаний на рис. 2.

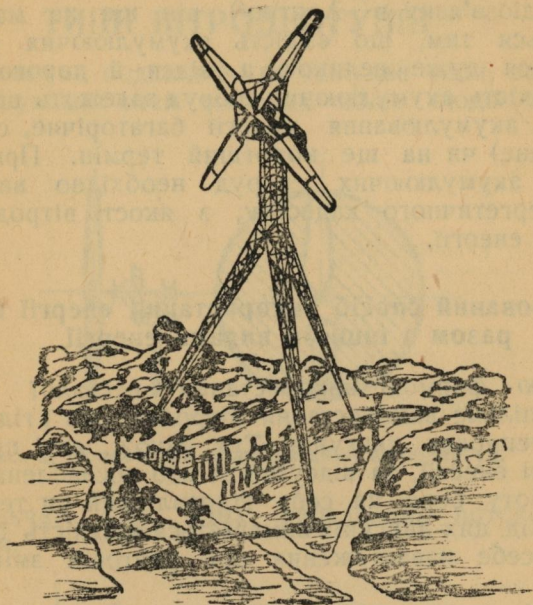


Рис. 2. Загальний вигляд вітроенергетичної станції.

Акумулявання енергії

В зв'язку з несталістю вітрової енергії і неможливістю забезпечити безперебійну подачу її для виробництва, яке потребує постійної потужності, дуже важливим питанням є акумулявання енергії, одержаної за рахунок вітру. Існує багато різних методів акумулявання енергії і серед них гідравлічний, коли за допомогою вітродвигунів, у час, коли віють сильні вітри, вода подається в якийсь резервуар, розташований на височині, і накоплюється там у великій кількості. В час, коли немає вітру або ж він слабкий,

вода з резервуара подається на водяну турбіну, яка і створює необхідну для виробництва потужність¹. Другий метод—електричний—полягає в тому, що при сильних вітрах заряджаються електричні акумулятори, а коли вітри слабкі, ці акумулятори віддають свою енергію виробництву.

Акумуляування енергії вітру—дуже дорогий спосіб використання цієї енергії, і широкого застосування (крім радіозв'язку в Арктиці) він ще не має. Це пояснюється тим, що ємкість акумуляуючих споруд виявляється дуже великою, а звідси й дорогою. Потрібна ємкість акумуляуючих споруд залежить від того, чи буде акумуляування енергії багаторічне, сезонне (внутрірічне) чи на ще коротший термін. При розрахунку акумуляуючих споруд необхідно виходити з вітроенергетичного кадастру, з якості вітродвигуна та витрат енергії.

Кооперований спосіб використання енергії вітру разом з іншими видами енергії

Вдалою формою використання несталої енергії вітру є спільне використання вітродвигунів і гідравлічних або теплових двигунів. Тут також, як і при акумуляуванні енергії, за відсутності або послаблення сили вітру роботу бере на себе гідравлічний чи тепловий двигун. Від цих двигунів вимагається здатність швидко взяти на себе навантаження при раптовій зміні сили вітру².

Для сільських місцевостей розроблені проекти³ використання тракторів як енергетичного резерву до вітромлина та крупорушки. При відсутності вітру до млина під'їздить трактор, який починає працювати як двигок і через дуже просту трансмісію приводить у рух жорна чи крупорушку. Наявність великої кіль-

¹ Цей метод розроблений російським ученим професором М. В. Погоржельським.

² В Данії існує ціла сітка допоміжних вітроелектричних установок, які працюють спільно з невеликими електричними станціями. Таке кооперування у використанні енергії теплової й вітрів і дало до 50% річної економії палива, що раніш витрачалося на теплових електростанціях.

³ Один з таких проектів розроблено в Інституті енергетики АН УРСР.

кості тракторів у нашому соціалістичному сільському господарстві робить цей варіант спільного використання вітроподвигунів і тракторів дуже корисним. У цьому випадку вітроподвигун може взяти на себе постачання енергії при молотьбі, яка в основному провадиться за рахунок теплових двигунів,—це дасть значну економію палива.

ТИПИ ВІТРОДВИГУНІВ

Вітроподвигуни поділяють на такі два типи, залежно від розташування осей вітрових коліс щодо потоку повітря:

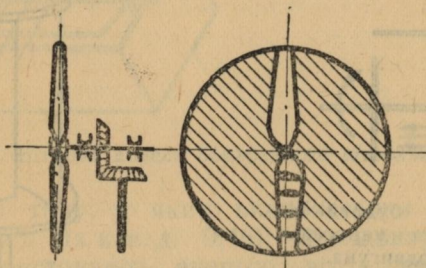


Рис. 3. Крильчатий швидкохідний вітроподвигун.

I—крильчаті, вісь яких паралельна потокові повітря,

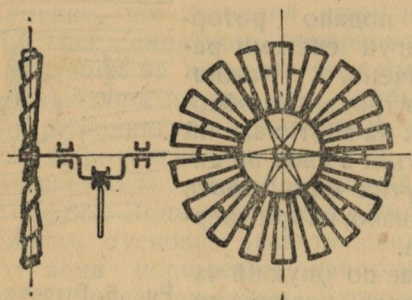


Рис. 4. Крильчатий тихохідний вітроподвигун.

II—карусельні, роторні (вітроподвигун Кажинського) і барабанні, вісь яких перпендикулярна потокові повітря.

Крильчаті вітродвигуни бувають швидкохідні—малоплатеві (рис. 3) і тихохідні—багатооплатеві (рис. 4).

На рис. 5 подано в спрощеному вигляді вітродвигун карусельного типу. Цей вітродвигун обертається на вертикальній осі і потребує встановлення щита, що закриває ло-

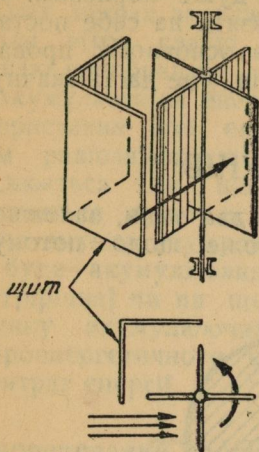


Рис. 5. Схема будови вітрового колеса карусельного вітродвигуна.

паті, які обертаються проти вітру, так щоб вітер дув тільки на одну половину колеса.

На рис. 6 подано роторний вітродвигун системи радянського вченого Кажинського. Цей вітродвигун обертається також на вертикальній осі і складається з двох півциліндрів, зсунутих один проти одного, приблизно, на три чверті їх діаметра.

Вітер ковзає по опуклій частині півциліндра, повною силою тисне на вгнуту частину другого півциліндра і цим змушує його обертатися.

На рис. 7 зображено барабанний вітродвигун, укріплений на горизонтальній осі, який, як і карусельний,

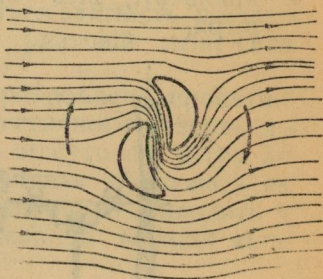
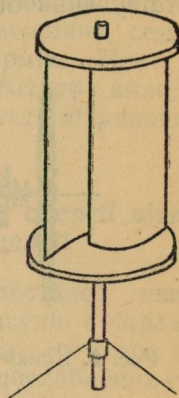


Рис. 6. Вітрове колесо роторного вітродвигуна системи Кажинського

потребує щита для захисту частини лопатей від дії вітру.

Дослідження показали, що найбільш досконалими є вітродвигуни першої групи, тобто вітродвигуни

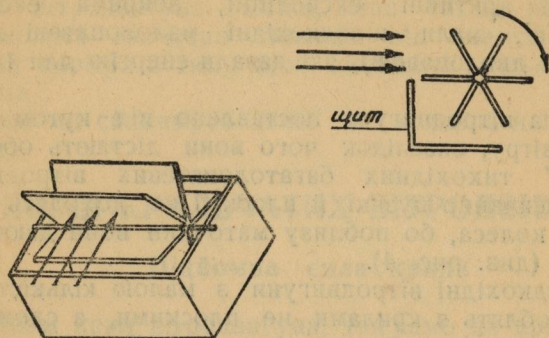


Рис. 7. Вітрове колесо барабанного вітродвигуна.

крильчатого типу, у яких використання енергії вітру доходить 46% (іх к. к. д. 0,46); вітродвигуни ж другої групи використовують енергію вітру значно гірше: роторний на 24%, карусельний на 10%, а барабанний усього на 8%.

Для однієї і тієї ж потужності вітродвигуни другої групи в кілька разів більші розміром за двигуни крильчатого типу. Вони тихохідні і не витримують бурі. Підраховано, що тиснення вітру на вітродвигун другої групи (за винятком роторного) в 50 разів перевищує тиснення на вітродвигун крильчатий тієї ж потужності; зважаючи на все це, найбільшого поширення набули вітродвигуни крильчатого типу.

Крильчаті вітродвигуни з великою кількістю лопатей тихохідні і мають великий пусковий момент (див. далі, стор. 37 та 38). Вони зручні для обертання робочих машин з великим пусковим навантаженням, наприклад, при піднятті води поршневим насосом, коли робота починається під навантаженням. Багатолопатеві вітродвигуни звичайно роблять з 12—64 крилами, і вони мають часто кривошипно-шатунний привод (див. рис. 4).

Малолопатеві вітродвигуни крильчатого типу — швидкохідні і мають малий пусковий момент. Ці вітро-

двигуни особливо придатні для потреб електрифікації, бо електрогенератор не потребує великих пускових моментів.

Малолопатеві вітродвигуни звичайно роблять з 2—6 крилами, і здебільшого вони мають привод з конічних зубчастих коліс (див. рис. 3).

Наші арктичні експедиції, зокрема експедиція Папаніна¹, мали швидкохідні малолопатеві двигуни (частіше дволопатеві), які давали енергію для їх радіостанцій.

Крила вітродвигуна поставлено під кутом до напрямку вітру, внаслідок чого вони дістають обертовий рух. У тихохідних багатолопатемих вітродвигунах крила звичайно вузькі й плоскі і не доходять до маточини колеса, бо поблизу маточини вони дають мало користі (див. рис. 4).

Швидкохідні вітродвигуни з малою кількістю крил часто роблять з крилами не плоскими, а схожими на крило літака (рис. 8—переріз крила). Така форма крила дає вищий коефіцієнт використання енергії вітру, бо тут менші завихрення повітря за крилом. Міцність такого крила більша, ніж плоского, а це дає можливість припустити більшу колову швидкість на зовнішньому обводі вітроколеса, ніж у багатолопатевого вітродвигуна.

Вітродвигуни обох цих типів можна з успіхом застосовувати для млинів, крупорушок, для зрошення, освітлення, вентиляції і радіозв'язку, а також для одержання енергії в кустарних механічних і деревообробних майстернях.

Вітродвигуни другого типу, за винятком роторних, практичного застосування не мають. Роторні вітродвигуни системи Кажинського застосовують для водопостачання, зрошування тощо.

Позитивною якістю роторного вітродвигуна системи Кажинського, незважаючи на його низький коефіцієнт використання енергії вітру, є те, що він починає працювати при швидкості вітру 0,5 м на секунду, в той час як крильчаті вітродвигуни працюють лише починаючи від швидкості вітру 3,5—4 м на секунду; крім того у цього вітродвигуна дуже проста трансмісія

¹ Експедиція Папаніна мала вітродвигун системи українського вченого С. Перлі.

(привод від ротора до робочого вала в багатьох випадках зовсім не потрібний).

Крильчаті вітродвигуни добре працюють в інтервалі швидкостей від 4 до 10 м/сек. При збільшенні вітру понад 10 м/сек. швидкість обертання крил робиться такою великою, що може спричинитися до руйнування вітродвигуна. Отже, при таких швидкостях вітроколесо звичайно ставлять під якимсь кутом до потоку повітря з тим, щоб зменшити кількість його обертів¹.

Далі ми спинимося лише на крильчатих вітродвигунах.

ТЕОРІЯ КРИЛЬЧАТИХ ВІТРОДВИГУНІВ

Підйомна сила крила

Лопаті крил вітродвигуна, так само як крила літака, використовують підйомну силу повітряного потоку, що набігає на крила.

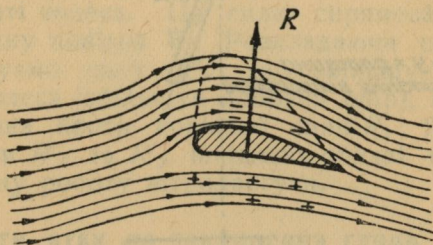


Рис. 8. Виникнення підйомної сили на крилі.

Щоб з'ясувати поняття про підйомну силу, розглянемо крило літака (рис. 8). Потік повітря, що набігає на крило, поділяється на дві частини — верхню й нижню, які, перейшовши крило, знову зливаються. Як видно з рисунка, верхній частині потоку (за той же час) доводиться проходити більший шлях, ніж нижній, тобто

¹ В СРСР розроблені спеціальні відцентрово-аеродинамічні регулятори на лопатях крил, які підтримують постійне число обертів крил при збільшенні швидкості вітру понад 10 м/сек. Ці регулятори застосовані на швидкорушних вітчизняних вітродвигунах Д-12, Д-18.

швидкість повітря над крилом більша, ніж швидкість його під крилом, через що над крилом утворюється знижене

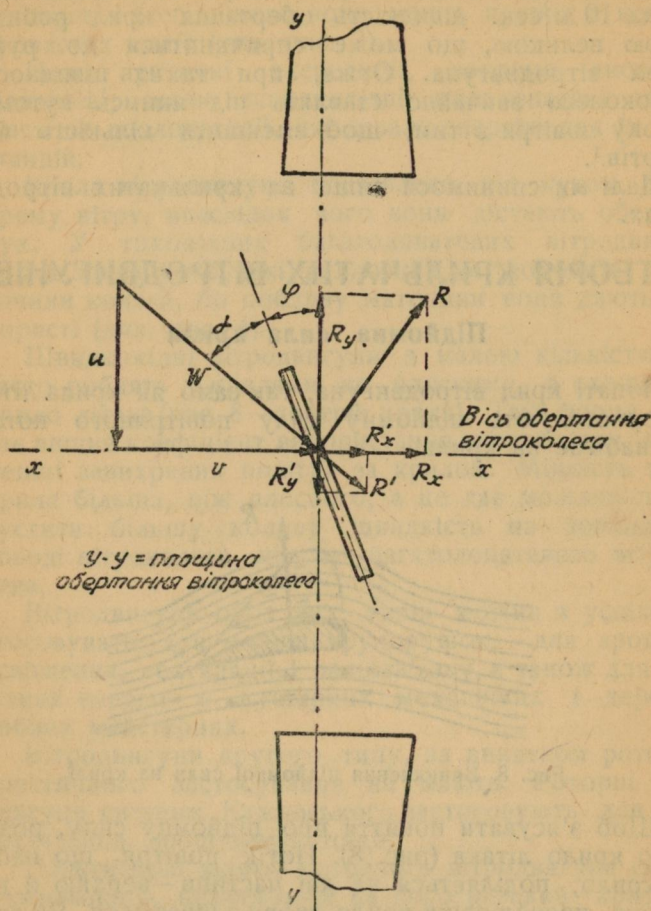


Рис. 9. План швидкостей повітряного потоку та схема сил, що діють на лопаті вітроколеса.

тиснення, а під крилом—підвищене. Ця різниця тиснення обумовлює появу підйомної сили, яка на рисунку позначена літерою R .

Швидкості на крилі

Розглянемо тепер лопаті крил вітродвигуна, накреслені на рис. 9. Хай вітер має швидкість v . Крила обертаються в площині $y-u$ з коловою швидкістю u в даній точці крила (що відстоїть на віддаль r від осі), в зв'язку з чим вітер набігає на лопаті крил не з швидкістю v , а з відносною швидкістю W , що одержується від складання швидкості вітру v та швидкості обертання крил в даній точці u .

Сили на крилі

Як бачимо з попереднього, на лопаті крил діє повітряний потік з швидкістю W , який викликає підйомну силу R . Розкладемо цю силу на дві: корисну силу R_y , яка обертає лопаті вітроколеса, і шкідливу силу R_x , що зсовує вітроколесо вздовж по валу і викликає тертя в опорах вала. Сила R_x має назву „лобовий опір“.

Крім цих сил, виникає ще сила R' від тиснення вітру на лопаті колеса. Ця сила спрямована вздовж напрямку y потоку повітря W . Розкладаючи цю силу по осях, одержуємо силу R'_x , що збільшує тиснення вздовж осі колеса (збільшує лобовий опір), і силу R'_y , яка спрямована проти корисної сили R_y . Як бачимо, обидві ці сили R'_x та R'_y шкідливі, обидві вони зменшують корисну роботу вітродвигуна.

Кути атак та заклинення глиць

Величини всіх цих сил залежать від кута атаки повітряного потоку α і кута заклинення глиць¹ вітроколеса φ . Тре а нагадати, що колова швидкість u різна в різних точках по довжині лопатей вітроколеса і залежить від віддалення цих точок від осі його обертання $x-x$. Звідси виходить, що й відносна швидкість W , з якою вітер набігає на лопаті вітроколеса, різна в рі них точках і по величині, і по напрямку, тобто при зміні u змінюється кут атаки α , причому в точках крила біля осі, де колова швидкість мала,

¹ Глицями звуться у селянських вітряках дерев'яні бруски, встановлені на певному віддаленні одна від одної в мах вітроколеса. До глиць кріпляться обшивки колеса (див. далі, рис. 11).

кут атаки виходить великим, а що далі до кінця крила, кут α все зменшується й може навіть дорівнювати нулю або стати негативним (у цьому разі кінець крил буде гальмувати їх власний рух).

Збільшення кута атаки α викликає зменшення корисної сили R_y та збільшення лобового опору. Як показує теорія й практика, найбільше значення корисної сили R_y одержується при сталому куті атаки по всій довжині крила, який лежить у межах від 2 до 6° , залежно від профілю лопатей крила.

Гвинтоподібна форма крила

Щоб дотримуватись найвигіднішого кута атаки по всій довжині крила, треба, як це видно з рис. 9, при

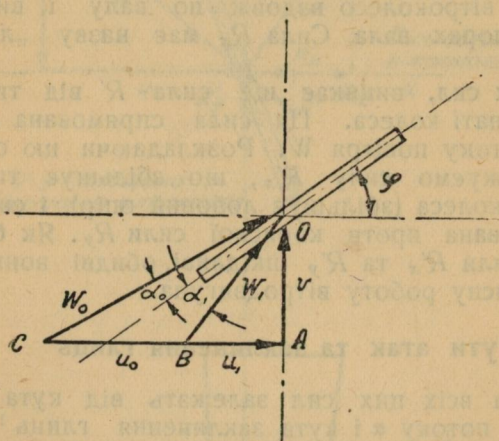


Рис. 10. Схема, що ілюструє роботу довгих простих крил.

Позначення на рисунку такі:

- $OA = v$ — швидкість в тру;
- $AB = u_1$ — колова швидкість крила на його початку;
- $OB = W_1$ — відносна швидкість вітру на початку крила;
- $AC = u_0$ — колова швидкість на кінці крила;
- $OC = W_0$ — відносна швидкість вітру на кінці крила.

збільшенні колової швидкості u по довжині крила зменшувати кут заклинення глиць φ . Таким чином, лопаті крил набувають гвинтоподібної форми, причому

глиці біля вала заклинені під великими кутами, а на кінцях крил — під малими.

Гвинтоподібна форма крил дає можливість значно краще використати енергію вітру, ніж при простих крилах, в яких глиці заклинювалися під сталим кутом по всій довжині крила. Такі крила були в звичайних селянських вітряках, причому в деяких випадках, коли вони були довгі, кінці крил не допомагали виконувати роботу, а навпаки гальмували її. Такий випадок показано на рис. 10, де лопаті крил закріплені по всій довжині під сталим кутом φ .

Як бачимо з рисунка, на кінці крила вітер дме з протилежного боку робочої його частини з відносною швидкістю W_0 і гальмує його рух.

Профіль перерізу крила

Для кращого використання енергії вітру велике значення має профіль перерізу лопатей крил. З аеродинаміки відомо, що різні профілі крил ставлять різний опір повітряному потоку. Плоскі крила, що мають переріз у вигляді прямокутника (як це показано на рис. 9) ставлять значно більший опір, ніж крила з так званим обтічним профілем (показаним на рис. 8). Це пояснюється тим, що у плоского крила може спостерігатися відрив струмків повітря та його завихрення при сходженні з лопатей крил, на що витрачається певна кількість енергії вітру. У обтічного профілю зриву струмків повітря та його завихрення не спостерігається.

Особливо велику користь дає обтічний профіль у швидкохідних вітродвигунах.

Як видно з рис. 8, обтічний профіль вітроколеса має важку для виконання форму, особливо при гвинтоподібності лопатей крил. В зв'язку з цим відомий радянський віротехнік Є. Фатеев запропонував гвинтоподібні крила з напівобтічним профілем, показані на рис. 11а і 11б¹. В табл. 5 наведено пояснення до цього рисунка.

¹ На рис. 11 показані крила колгоспного вітряка із діаметром крил 16 м, запроєктованого Інститутом енергетики Академії наук УРСР.

Як видно з рис. 116, крило має не плоский переріз, а схожий з обтічним. Дійсно, зустрічає потік повітря тупий носок крила, а сходить повітря з гострого його кінця. Ця форма профілю крила дає менші аеро-

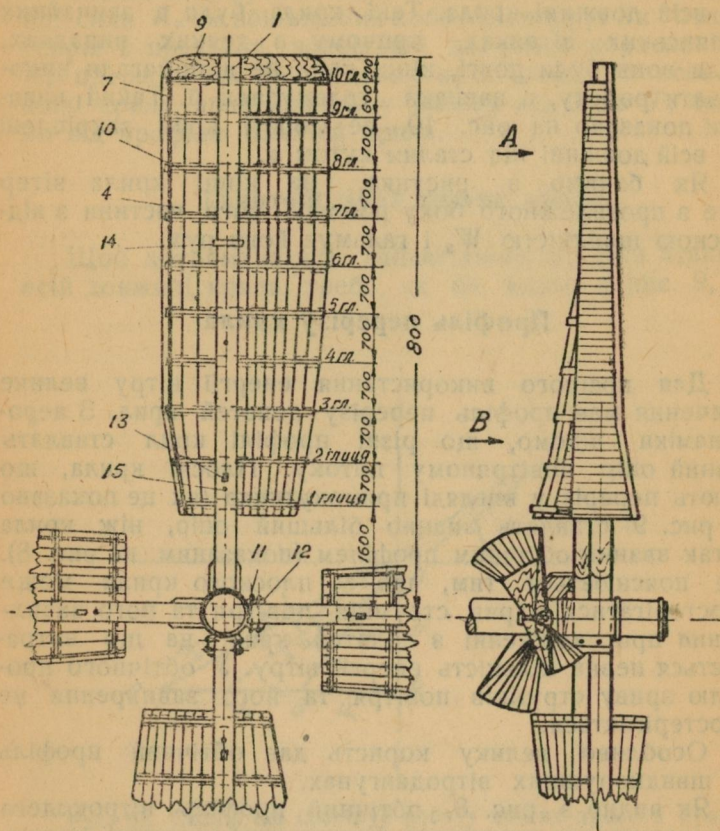


Рис. 11а. Крила вітряного млина з напівобтічним профілем.

динамічні втрати, ніж плоска його форма, і в той же час виготовлення таких крил значно легше, ніж виготовлення крил з аеродинамічним профілем.

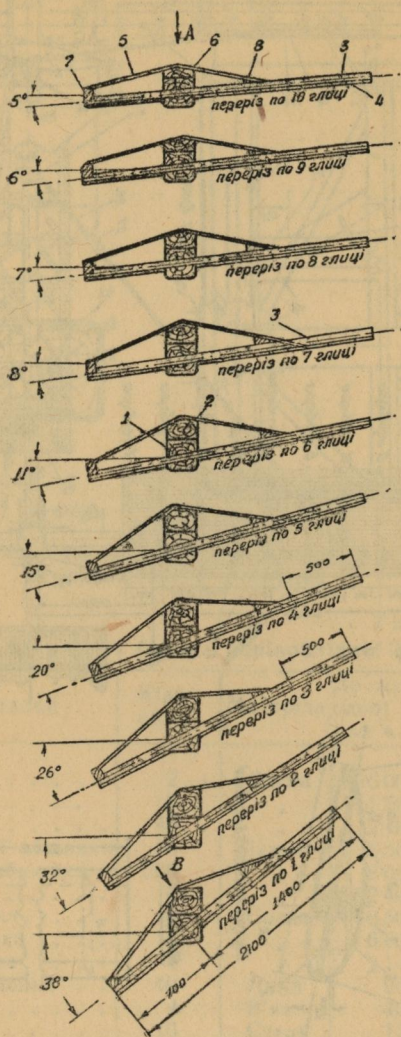


Рис. 116. Переріз крила вітряного млина з напівобтічним профілем.

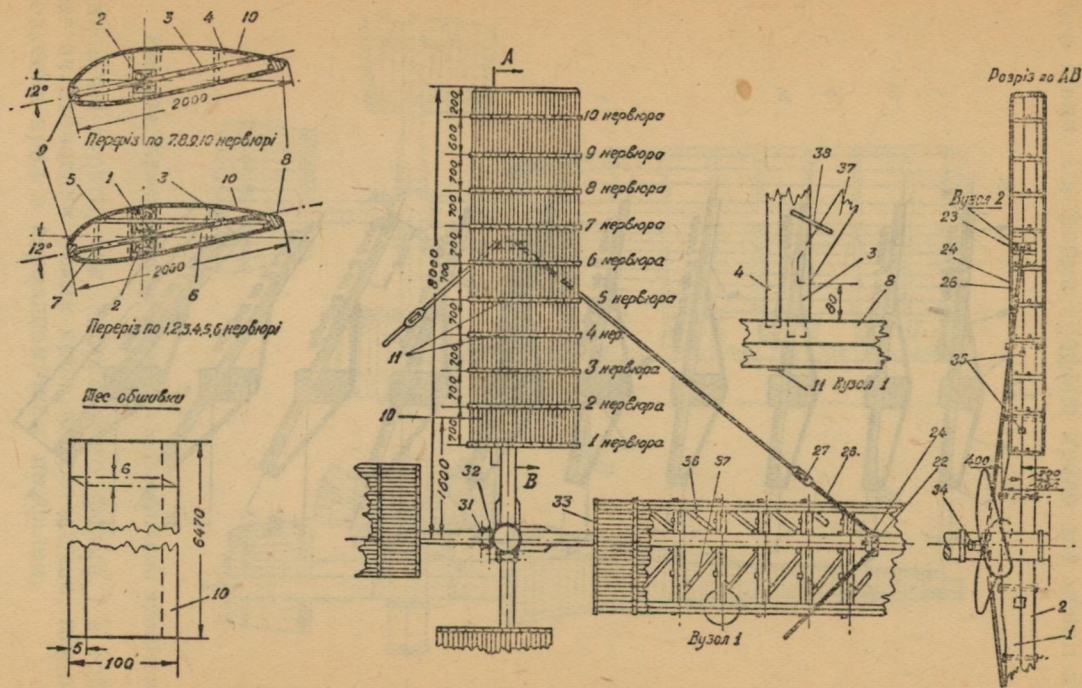


Рис. 12а. Крила вітряного млина з обгнним аеродинамічним профілем.

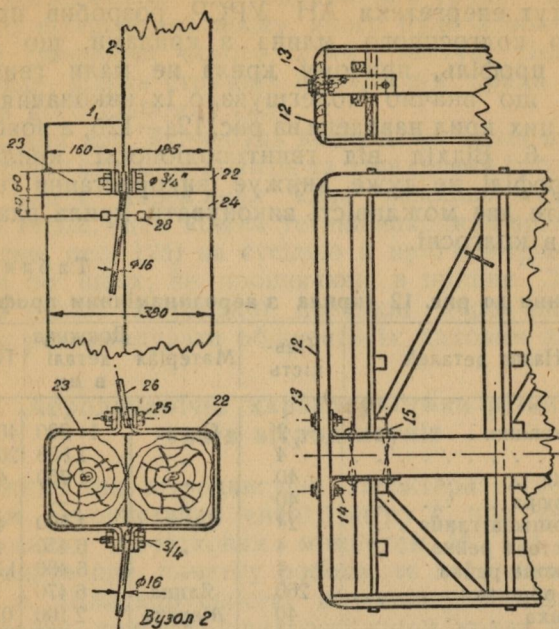


Рис. 126. Деталі крила "овітряного млина з обтічним аеродинамічним профілем.

Таблиця 5

Пояснення до рис. 11 (крила напівобтічної форми)

№ деталей	Назва деталей	Кількість	Матеріал	Довжина одної деталі в мм	Переріз
1	Мах крила	2	Сосна	16 000	200 × 200
2	Підмашник	2	"	11 200	200 × 200
3	Глиця	40	"	2 100	70 × 50
4	Тес передньої обшивки	56	Ялина	6 500	6 × 180
5	Тес задньої обшивки .	300	"	8 500	6 × 18
6	Косяк	4	"	2 400	100 × 200
7	Носкова рейка	4	Сосна	6 500	60 × 70
8	Хвостова рейка	4	"	6 500	60 × 70
9	Кінцева дошка	4	"	2 100	10 × 200
10	Поперечна планка	40	Липа	900	10 × 40
11	Щока	4	В'яз	400	120 × 50
12	Костиль	16	Сталь	120	16 × 16
13	Шип	8	Дуб або береза	80	40 × 80
14	Хомут	4	Сталь	120	5 × 40
15	Болт з гайкою	8	"	250	16

Інститут енергетики АН УРСР розробив проект¹ вітряного колгоспного млина з крилами, що мають обтічний профіль, причому крила не мали гвинтоподібності, що значно полегшувало їх виконання. Конструкція цих крил наведена на рис. 12а—12б, а пояснення на табл. 6. Відхід від гвинтоподібності крила при цьому профілі не дуже знижує використання енергії вітру, зате дає можливість виконувати крила власними силами в колгоспі.

Таблиця 6

Пояснення до рис. 12 (крила з аеродинамічним профілем)

№ деталі	Назва деталей	Кількість	Матеріал	Довжина деталі в мм	Переріз
1	Підмашник	2	Сосна	11 200	400 × 200
2	\ax	4	"	7 850	200 × 200
3	Глиця	40	"	1 750	45 × 70
4,6,7	Нервюра	40	"	—	—
5	Допоміжна глиця	24	Сосна	1 500	45 × 70
8	Хвостова рейка	4	"	6 450	40 × 110
9	Носкова рейка	4	"	6 450	115 × 55
10	Тес обшивки	260	"	6 470	6 × 100
11	Планка	40	Ялина	2 100	0,3 × 20
12	Кінцева дошка	4	Сосна	2 000	400 × 30
13	Болт з гайкою	8	Сталь	150	12
14	Скоба	8	"	400	60 × 5
15	Костиль	16	"	1 0	15
22	Хомут передній	4	"	580	10 × 60
23	Хомут задній	4	"	530	10 × 60
24	Обруч	4	"	1 170	40 × 5
25	Болт	8	Сталь	100	25
26	Розтяжка	4	"	7 600	16
27	Тендер	4	"	250	100 × 50
28	Костиль	16	"	120	16 × 16
34	Клин	4	Дуб	600	30 × 20
35	Шип	12	"	100	40 × 100
36	Підкос малий	30	Сосна	80 ¹⁾	50 × 50
37	Підкос великий	36	"	1 000	50 × 50
38	Скоба	36	Сталь	100	6

Вплив якості поверхні крила

Як показують досліди, поверхня крил повинна бути гладкою, без будь-яких щілин або виступів. В Центральному аерогідродинамічному інституті в Москві прове-

¹ В розробці цього проекту брали участь тт. Фатеев, Кармішин, Шаманін, автор цих рядків та ін. Див. брошуру автора „Вітряні млини“, вид. 1946 р.

дено дослідження в аеродинамічній трубі¹ крила обтічного профілю, на носку якого було зроблено дуже малий (заввишки всього 2 мм) виступ. Цей виступ викликав відрив струмків повітря від крила і значно знизив його підйомну силу.

Щілини або які-небудь виступи на крилі приводять до відриву струмків повітря та завихрення його. В зв'язку з цим у дерев'яних крил важливо так обшити крило тесом, щоб кожна тесина находила зрізаним боком (див. рис. 12а) на сусідню й щоб повітряний потік ковзав по швах, не проникаючи в щілини. Для одержання рівної та гладкої поверхні дерев'яних крил можна рекомендувати обшивати їх даховим залізом.

Аеродинамічні характеристики різних типів вітродвигунів

Кожний тип вітродвигунів характеризується коефіцієнтом використання енергії вітру k , про який ішла мова вище, початковим моментом M , що його дає вітродвигун при початку роботи, та його швидкорухністю z . Швидкорухністю вітродвигуна називається відношення колової швидкості кінця крила до швидкості вітру, тобто

$$z = \frac{u_0}{v}.$$

У тихохідних, багатолопатевих вітродвигунів швидкорухність z звичайно дорівнює 1—2, а у швидкісних — малолопатевих — від 5 до 9, тобто колова швидкість кінця крила швидкісного вітродвигуна перевищує швидкість вітру, що дме на вітроколесо в 5—9 разів.

На рис. 13 наведена діаграма, яка дає аеродинамічні характеристики швидкохідного трилопатевого вітродвигуна (суцільна лінія) й тихохідного 18-лопатевого (пунктирна лінія). Ця діаграма показує, в залежності від швидкорухності z (відкладеної по горизонтальній осі), зміну коефіцієнта використання енергії вітру k та початкового моменту M .

Із діаграми видно, що тихохідні багатолопатеві ві-

¹ Аеродинамічна труба — це такий прилад, в якому створюються різні повітряні потоки для дослідження в них профілей крил літаків, вітродвигунів тощо.

тродвигуни мають нижчий максимальний коефіцієнт використання енергії вітру, зате значно більший початковий момент у порівнянні з швидкохідними вітродвигунами, цим і пояснюється застосування тихохідних

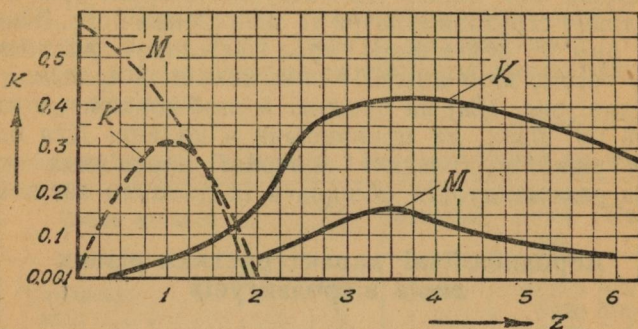


Рис. 13. Порівняння аеродинамічних характеристик швидкохідного та тихохідного вітродвигуна.

вітродвигунів для роботи з машинами, які починають роботу під навантаженням, наприклад, при роботі з поршневыми насосами.

Визначення потужності вітродвигуна

Вітер тисне на крила вітродвигуна і примушує їх обертатися. Сила тиснення вітру тим більша, чим більша його швидкість і чим більша поверхня, на яку він тисне; у вітродвигуні цією поверхнею є так звана „обмахувана поверхня“ (на рис. 3 заштрихована площа кола). На стор. 18 ми наводили формулу для визначення потужності повітряного потоку, що проходить через поверхню F , такого вигляду:

$$\Pi_0 = F \cdot \rho \cdot \frac{v^3}{2}.$$

Підставляючи в цю формулу „обмахувану поверхню“ вітродвигуна, яка дорівнює $F = \frac{\pi D^2}{4}$ (де D —діаметр вітроколеса), знайдемо потужність повітряного потоку, що проходить через „обмахувану поверхню“ для нормальної густоти повітря $\rho = 0,125$. Після відповідних

перетворень (для обчислення потужності в кінських силах) формула набуде вигляду

$$P_0 = 0,000654 \cdot D^2 \cdot v^3.$$

Як це було з'ясовано вище, вітродвигун може використати лише частину цієї енергії повітряного потоку, тому потужність в кінських силах на валу вітрокоlesa дорівнюватиме

$$P_k = 0,000654 \cdot k \cdot D^2 \cdot v^3,$$

де P_k — потужність вітродвигуна на крилі;
 k — коефіцієнт використання енергії вітру;
 D — діаметр вітрового колеса, в метрах;
 v — швидкість вітру, в метрах на секунду.

Таким чином потужність крильчатого вітродвигуна залежить від швидкості вітру в третьому степені і від діаметра крил колеса у другому степені. Якщо, наприклад, швидкість вітру збільшується в 2 рази, то робота, передана вітродвигунові, зростає у 8 разів ($2 \times 2 \times 2$); при збільшенні діаметра колеса в 2 рази робота збільшується в 4 рази (2×2) і т. д.

Наведемо два приклади:

1 приклад. Знайти потужність вітродвигуна при швидкості вітру $v = 3$ м/сек і діаметрі вітрокоlesa $D = 16$ м, якщо коефіцієнт використання енергії вітру $k = 0,3$. Густість повітря нормальна (0,125).

$$P_k = 0,000654 \cdot k \cdot D^2 \cdot v^3 = 0,000654 \cdot 0,3 \cdot 16^2 \cdot 3^3 = 1,35 \text{ к. с.}$$

2 приклад. Знайти потужність того самого вітродвигуна, що і в першому випадку, якщо швидкість вітру збільшилась до 8 м/сек, а коефіцієнт використання вітру і густість повітря лишились незмінними.

$$P_k = 0,000654 \cdot k \cdot D^2 \cdot v^3 = 0,000654 \cdot 0,3 \cdot 16^2 \cdot 8^3 = 25,7 \text{ к. с.}$$

Описаним способом визначається потужність на крилах вітродвигуна. Потужність на валу робочої машини менша внаслідок втрат на тертя у приводі (трансмисії) вітродвигуна. Для визначення потужності на валу робочої машини потужність на крилах помножують на коефіцієнт корисної дії (к. к. д.) привода (трансмисії). К. к. д. менший від одиниці; величина його залежить від того, які втрати в підшипниках, у зубчастих колесах та в інших деталях трансмісії вітродвигуна. Отже, потужність на валу робочої машини дорівнює $P_v = P_k \cdot \eta$, де η — коефіцієнт корисної дії (к. к. д.) трансмісії.

Користуючись цією формулою, можна за заданою потужністю робочої машини визначити необхідну потужність двигуна (тобто потужність на крилах).

У звичайних селянських млинах втрати в трансмісіях досягають 25—40%, тобто η дорівнює від 0,75 до 0,6.

Подаємо необхідні потужності для машин різних виробництв, які можуть обслуговуватися вітродвигуном.

Таблиця 7

Необхідні потужності вітродвигуна для машин різних виробництв

№ п/п	Назва машини	Необхідна потужність в к. с. на валу робочої машини
1	Млин на 1 жорно $\Phi 6/4$ аршина	11—12
2	Просорушка	4
3	Крупорушка для ячменю й вівса	4
4	Сепаратор для очищення зерна	3
5	Просів борошна (бурат)	1
6	Маслоробка	0,3—0,5
7	Сепаратор великий	1
8	Січкарня (ширина ножів 30 мм)	2
9	Макуходробарка (50 × 60)	0,5
10	Картоплемийка	0,5
11	Токарний верстат по дереву	0,25
12	Токарний верстат по металу	0,5
13	Стрічкова пилка	1
14	Точильний камінь ($\Phi 1000$ мм)	0,25
15	Вентилятор до ковальського горна	0,25
16	Насос для подачі води на висоту 10 м	0,5
17	Насос для подачі води на висоту 40 м	1,5

Якщо пригадати, що потужність людини в середньому 0,1, а коня або вола в приводі—0,5 к. с., то слід використовувати енергію вітру навіть для таких машин, як сепаратор, що потребують малої потужності.

Для характеристики вітродвигуна звичайно обчислюється його потужність при швидкості вітру 8 м/сек, яка часто дається без вказівок на швидкість вітру.

Робочі характеристики вітродвигуна

При виборі робочої машини та трансмісії до неї від вітроколеса треба мати на увазі, що вітродвигун може працювати з максимальною потужністю при даній швидкості вітру тільки при певних числах обертів

вітроколеса. Для того, щоб з'ясувати, які числа обертів вітроколеса найвигідніші при даній швидкості вітру, будують так звані робочі характеристики вітродвигунів, які складаються з діаграми залежності потужності

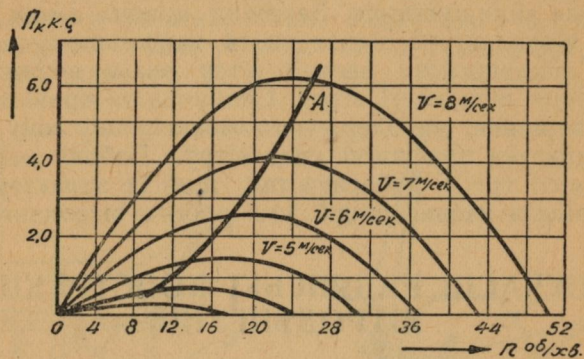


Рис. 14. Робоча характеристика 18-лопатевого вітродвигуна ТВ-8.

вітродвигуна від числа обертів вітроколеса при певній швидкості вітру.

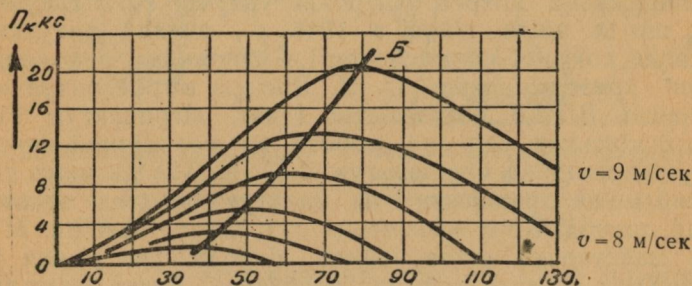


Рис. 15. Робоча характеристика трилопатевого універсального вітродвигуна Д-12.

На рис. 14 показана робоча характеристика тихохідного 18-лопатевого вітродвигуна „ТВ-8“, загальний вигляд якого показано на рис. 20.

На рис. 15 показана робоча характеристика швидкохідного трилопатевого універсального вітродвигуна „Д-12“, загальний вигляд якого показано на рис. 22.

На цих діаграмах (рис. 14 і 15) низка кривих дає

зміну потужності вітродвигуна в залежності від числа обертів вітроколеса для певних швидкостей вітру. Як видно з діаграм, для даної швидкості вітру при збільшенні числа обертів вітроколеса до певної межі збільшується потужність вітродвигуна, а після того вона починає зменшуватися. Вершини кривих зміни потужності вітродвигуна відповідають найбільшому коефіцієнту використання енергії вітру даним вітроколесом при даній швидкості вітру. Сполучивши кривими *A* та *B* ці вершини, ми одержуємо найвигіднішу зону роботи вітродвигуна при зміні сили вітру. Робочі машини й трансмісії треба добирати так, щоб їх характеристика відповідала найвигіднішій зоні роботи вітродвигуна.

СУЧАСНІ РАДЯНСЬКІ КОНСТРУКЦІЇ ВІТРОДВИГУНІВ

Тепер у Радянському Союзі виготовляються вітродвигуни двох типів—кустарні, матеріалом для яких служить, в основному, деревина, і заводські—з металу. До першого типу належать вітродвигуни, що їх колгоспи виготовляють власними силами, в основному для млинарських потреб. Вітродвигуни другого типу—це ті, що їх після війни, з 1946 р., почали випускати заводи союзної промисловості,—наприклад, рекомендовані комісією акад. О. В. Вінтера вітроелектричний агрегат ВД-3,5 потужністю 1 квт, вітродвигун ТВ-8 на 6 кінських сил для роботи на механічний привод і універсальний вітродвигун Д-12 на 12 кінських сил, який може працювати і на електричний і на механічний привод. Крім зазначених тут, багато заводів, МТС та майстерень виготовляють вітродвигуни різних радянських конструкцій, як, наприклад, низку конструкцій харківського інженера С. Перлі, Погорелова та ін.

Старі селянські вітряні млини

До першого типу вітродвигунів належать дуже поширені на селі вітряки старої конструкції. Ці селянські вітряні млини, зроблені з дерева, мають вітроколесо з 4 або 6 крилами. Ці ж селянські вітряки, своєю чергою, роблять двох типів: так звані козлові (рис. 16) і шатрові (рис. 17).

Щоб поставити козловий млин на вітер, тобто повернути крила під якимсь кутом у напрямі вітру (найбільша потужність буде тоді, коли площина обертання крил перпендикулярна до напрямку руху вітру), треба повернути руками всю будівлю млина з крилами і з усім млиновим устаткуванням. Повертають млин навколо дубового стовпа А (рис. 16), нерухомо закріпленого у фундаменті. У шатровому млині вся будівля

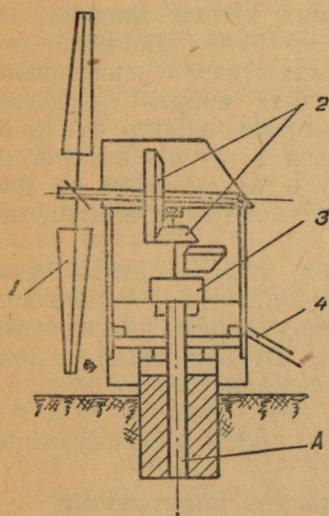


Рис. 16. Козловий селянський млин: 1—крила; 2—трансмiсія, 3—жорна; 4—верло; А—дубовий стовп.

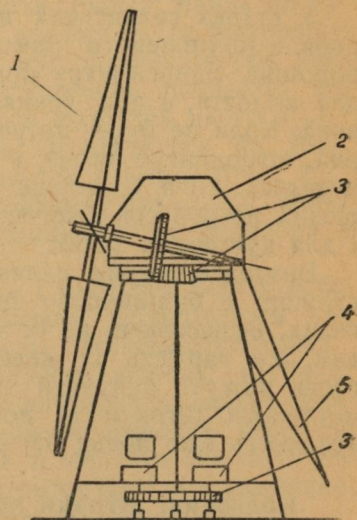


Рис. 17. Шатровий селянський млин: 1—крила; 2—шатро; 3—трансмiсія; 4—жорна; 5—верло.

нерухома, а для встановлення крил на вітер повертається руками тільки шатро з крилами. У зв'язку з цим козлові млини роблять невеликими, потужністю до 10 к. с., щоб їх легше було повертати; шатрові млини роблять більших розмірів, потужністю до 25 к. с., з діаметром крил до 24 м.

Як видно з рис. 16 і 17, селянські вітряки складаються: 1) з вітродвигуна (крил), 2) трансмісії (привода від вітродвигуна до борошномельної частини), 3) власне борошномельної частини (жорна).

Старі селянські вітряки мали такі вади: по-перше, вони починали працювати лише при швидкості вітру

4,5—5,5 м/сек, а їх вітродвигун мав дуже низький коефіцієнт використання вітрової енергії—навіть усього 0,1; по-друге, їх трансмісія мала низький коефіцієнт корисної дії, бо багато енергії пропадало на тертя в підшипниках і зубчастих колесах, які звичайно робилися з деревини; по-третє, помол був недоброякісний, бо при малому вітрі зерно погано мололось, а при великому борошно перегрівалось; борошно звичайно виходило з хру том.

У старих селянських вітряних млинах звичайно не робили поліпшеного помолу, не було також просіву борошна. Енергії вітру при малих втратах невистачало для молоття, а при великих вітрах енергії була зайвина. Коли не було потреби молоти, а вітер був добрий, вітродвигун стояв, і енергія вітру не використовувалась, хоча її можна було б використати як для різних потреб сільськогосподарського виробництва, так і для кустарних робіт.

Розповсюдження селянських вітряків старої конструкції й будівництво цих млинів тепер у багатьох селах, незважаючи на їх негативні якості, пояснюється тим, що вартість їх невелика, будова проста і колгоспи можуть будувати їх власними силами із своїх матеріалів. Вітряки ці досить довговічні (є такі, що працюють вже понад 100 років) і прості в експлуатації.

Колгоспні вітряки поліпшених конструкцій

Старі селянські вітряки можна значно поліпшити, не збільшуючи їх вартості й незначно ускладнюючи будівництво.

Щоб поліпшити вітродвигун селянського вітряка і підвищити його коефіцієнт використання енергії вітру, треба крило робити обтічної форми—обтічного профілю (див. рис. 12) і так його обшивати тесом, щоб воно було гладке й не мало щілин. Це значно зменшить втрати енергії вітру від утворення завихрень повітря. Можна зробити і так званий напівобтічний профіль крила (див. рис. 11), який також має добрий коефіцієнт використання енергії вітру.

Для підвищеного використання енергії вітру крилами вітродвигуна добре будувати їх не плоскими, як це робили раніш, коли площина крила була нахилена під якимсь сталим кутом до площини обертання вітро-

колеса, а з вигином поверхні крила по положистій гвинтовій лінії. Перерізи такого крила в різних місцях його довжини утворюють різні кути з площиною обертання вітроколеса. Робиться це для того, щоб потік повітря набігав на крило під однаковим, найбільш вигідним, кутом по всій довжині крила. Гвинтоподібність крила досягається укріпленням глиць під різними кутами до площини обертання вітроколеса (див. рис. 11).

Для підвищеного використання енергії вітру вітродвигуном треба також будувати башту млина не суцільно зашитою тесом, як у козлового та шатрового млинів, а з колод, укладених при будуванні так, щоб башта була гратчастою. Дослідження показали, що коефіцієнт використання енергії вітру від цього збільшується, притому потужність збільшується на 20%, коли за крилами немає суцільної стіни, і вітер, проходячи через обмахувану крилами поверхню, може вільно рухатись далі, не натрапляючи на перепону у вигляді башти млина.

Кошують поліпшені крила і гратчаста башта небагато, а ефективність вітродвигуна збільшується при них в 1,5–2 рази проти старого селянського вітряка.

Втрати в трансмісії селянського вітряка, які іноді становлять до 40% всієї його потужності, можна значно зменшити, якщо акуратно виготовляти дерев'яні зубчасті колеса і підшипники й перейти від існуючих конструкцій підшипників почасти на шарикопідшипники, почасти на підшипники спеціальних конструкцій.

Кінцеві опори дерев'яних валів треба обов'язково ставити на шарикопідшипники та підп'ятники, для чого в торець дерев'яного вала забивається сталевий шип, на який можна посадити шарикопідшипник. Шарикові опори тепер легко дістати, а шип можна зробити в колгоспній кузні.

Під час Вітчизняної війни Наркомзем СРСР видав брошуру „Как повысить производительность существующих ветряных мельниц“¹. В цій брошурі, складеній Є. М. Фатеевим, дано практичні вказівки щодо поліпшення крил, борошномельної частини старого селянського вітряного млина та пристосування його для виконання різних сільськогосподарських робіт.

Всесоюзний науково-дослідний інститут механізації

¹ Видання 1943 р.

та електрифікації сільського господарства (ВИМЭ) та Інститут енергетики Академії наук УРСР розробили декілька проєктів колгоспних вітряків з деревини¹ для виготовлення їх силами самих колгоспників.

У 1942-43 р. ВИМЭ розробив проєкти найпростіших вітряків „ВИМЭ Д-8“, „ВИМЭ Д-10“, „ВИМЭ Д-12“ (числа 8, 10, 12 показують на діаметр крил вітряка). Вітроколесо чотирилопатеве з напівобтічним аеродинамічним профілем. Башта ґратчаста. Ці вітряні млини виготовляються цілком з деревини (за винятком кріпильних деталей) власними силами колгоспів.

Пуск та зупинка вітродвигуна провадиться поворотом крил на вітер за допомогою важеля, як у старих селянських шатрових вітряків. Гальмування вітроколеса провадиться з допомогою колодкового гальма, що сидить на ободі ведучого зубчастого колеса.

Вітряки ВИМЭ будуються для борошномельної справи, але їх можна використати для інших с.-г. робіт, наприклад, для зерноочистки, молотьби, підготовки кормів тощо.

Вітряки ВИМЭ дешеві і, як показала експлуатація їх, працюють добре.

Інститутом енергетики АН УРСР, під керівництвом академіка Г. Ф. Проскури, запроектований великий млин—сільськопромисловий комбінат та колгоспний вітряний млин (див. рис. 18), обидва з крилами діаметром 16 м аеродинамічного обтічного (рис. 12) чи напівобтічного профілю.

Вітряк сільськопромисловий комбінат названий так тому, що за проєктом він має не тільки агрегати для переробки зерна, але й деякі пристрої для кустарного виробництва й виконання різних сільськогосподарських робіт. Млинарське господарство комбінату складається з двох жорен, сепаратора для зерна та бурата для борошна. Крім того на комбінаті устатковані крупорушки й просорушка².

Від головного вала є привод у допоміжне приміщення, де можуть бути встановлені молотарка або віялка, токарний верстат тощо.

¹ Див. брошури: „Простейшие ветряные мельницы типа ВИМЭ“, вид. 1944 р.; „Ветряные мельницы“ Е. М. Фатеева, вид. 1945 р.; „Вітряні млини“ Г. В. Карпенка, вид. 1946 р.

² Вітряк сільськопромисловий комбінат описаний автором у журналі „Колхозное производство“, 1945, № 1-2.

Коли вітру немає, в це приміщення можна поставити трактор, який приводитиме в рух машини.

Метою авторів проекту було максимально використати енергію вітру; в час, коли віють сильні вітри,

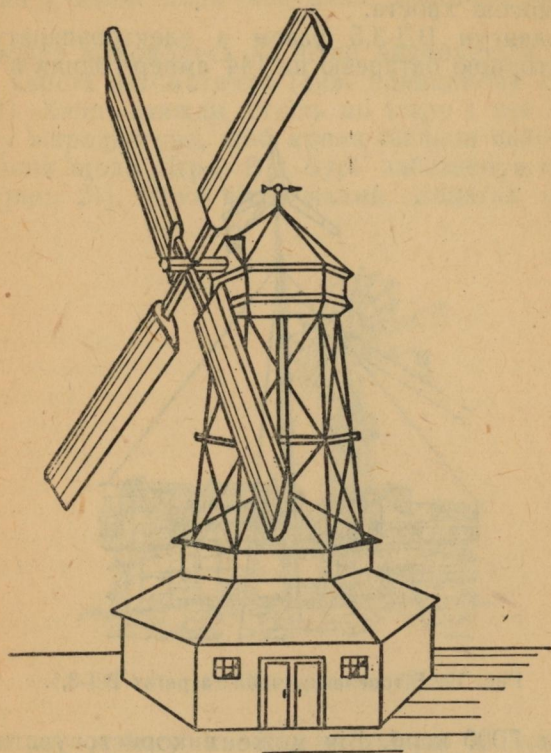


Рис. 18. Загальний вигляд колгоспного вітряка за проектом Інституту енергетики АН УРСР.

працює більша частина комбінату, коли вітри слабкі—тільки одна-дві машини.

Для заводського виробництва комісією акад. О. В. Вінтера у 1945 р. рекомендовано п'ять типів вітродвигунів, три з яких вже освоєно у виробництві.

Вітродвигун ВД-3,5

Один із рекомендованих вітродвигунів—швидкохідний трилопатевий вітроелектричний агрегат ВД-3,5 має діаметр крил у 3,5 м і число обертів близько 400 на хви-

лину (рис. 19). Вітродвигун разом з одноступневим редуктором і електрогенератором постійного струму потужністю в 1 квт укріплюється на дерев'яному стовпі. Поворот вітроколеса на вітер провадиться автоматично за допомогою хвоста.

Вітродвигун ВД-3,5 разом з електроапаратурою і акумуляторною батареєю на 144 ампер-години в 1947 р.

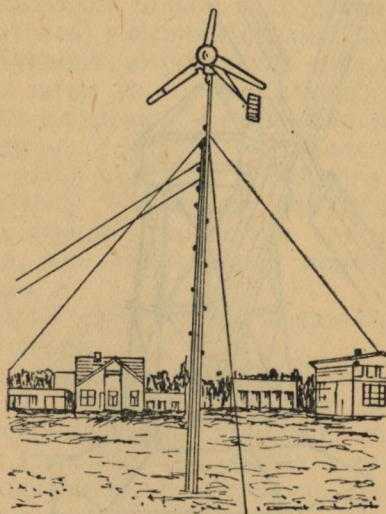


Рис. 19. Вітроелектричний агрегат ВД-3,5.

коштував 7000 карб. Він може використовуватись для електрифікації сільських клубів, шкіл, лікарень, для радіозв'язку тощо.

Вітродвигун ТВ-8

Вітродвигун ТВ-8 належить до тихохідних багатолопатевих вітродвигунів, потужністю 6 к. с., з діаметром крил 8 м.

Як ми вже казали вище, цей тип вітродвигуна має великий початковий момент, тому він може добре працювати на водопостачанні з поршневим насосом (вітродвигун ТВ-8 може подати з колодязя глибиною в 50 м до 10 куб. м води на годину).

Конструкція вітродвигуна видна з рис. 20. Вітроколесо, яке складено з 18 плоских сталевих лопатей, змонтовано на 15-метровій ґратчастій залізній башті. Трансмісія від вала вітроколеса до вертикального вала складена з однієї пари чавунних конічних зубчастих коліс.

Поворот вітроколеса на вітер виконується за допомогою хвоста автоматично (див. принципову схему на рис. 21). Хвіст завжди стоїть по вітру і так повертає головку вітродвигуна, щоб крила зайняли найвигідніше положення щодо вітру. Від бурі забезпечує бічна лопатка (рис. 21). Поки вітер малий, лопатка майже не

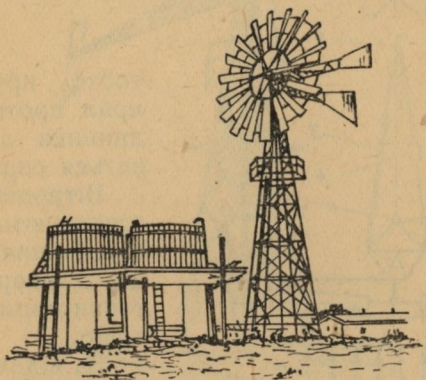


Рис. 20. Вітродвигун ТВ-8.

впливає на роботу хвоста; як тільки ж вітер посилиться і його тиснення на лопатку почне збільшуватись, остання потроху повертає головку вітродвигуна в неробоче положення. При силі вітру близько 3 балів бічна лопатка наполовину виводить його з робочого стану.

До хвоста й головки підв'язано на тросі тягар (вага його добирається спробним шляхом). Тягар перешкоджає повороту головки під впливом бічної лопатки. При дуже великому вітрі хвіст і бічна лопатка перемагають опір тягара і зближуються. Трос, на якому підвішено тягар, випростується, а крила стають у таке положення, що вітер дме на них з одного боку і не може поламати.

Тягар не може повернути хвіст, бо цей останній удержується на місці ланцюгом (рис. 21). Довжина ланцюга має бути така, щоб осі головного вала і хвоста при їх звичайному положенні збігалися. Бічну лопатку встановлюють так, як показано на рис. 21,

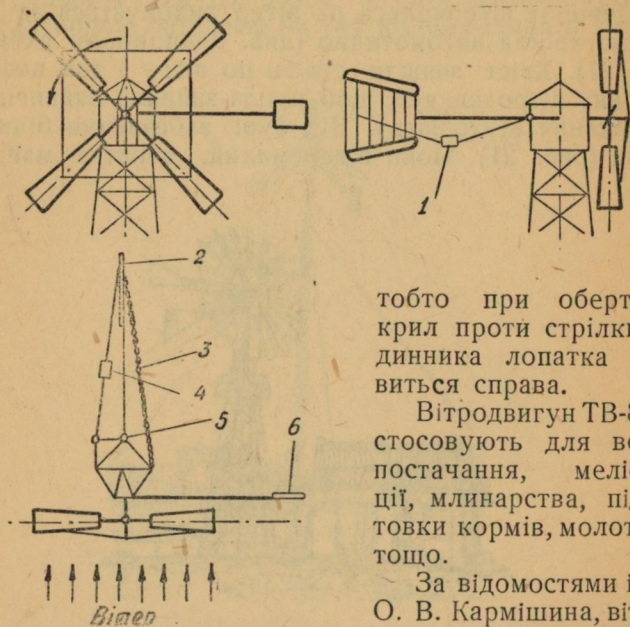


Рис. 21. Схема пристрою для повертання крил: 1 — тягар; 2 — хвіст; 3 — ланцюг; 4 — трос; 5 — шарнір; 6 — бічна лопатка.

тобто при обертанні крил проти стрілки годинника лопатка ставиться справа.

Вітродвигун ТВ-8 застосовують для водопостачання, меліорації, млинарства, підготовки кормів, молотьби тощо.

За відомостями інж. О. В. Кармішина, вітродвигун ТВ-8, який встановлено в Персіянівському учгоспі Ново-черкаського інженерно-меліоративного інсти-

туту, маючи резервний нафтовий двигун на 7 к. с., обслуговує: млин на одно жорно, бичову круподерню, відцентровий насос, циркулярну пилу, прес для цукрової тростини, вальцовий верстат для обробки крейди тощо. Всі ці машини підключалися через ременну трансмісію до вітродвигуна і працювали групами в міру потреби та в залежності від сили вітру.

Вітродвигун Д-12

Універсальний вітродвигун Д-12 (рис. 22) швидкохідний, трилопатевий, діаметр його вітроколеса 12 м,

розрахований на номінальну потужність 12 к. с. Цей вітродвигун має спеціальний устрій конструкції проф. Сабініна для виводу кінцевих частин крил з-під вітру, коли він перевищує певну швидкість.

Цей устрій дає вітроколесу можливість підтримувати постійне число обертів при різних вітрах, що необхід-

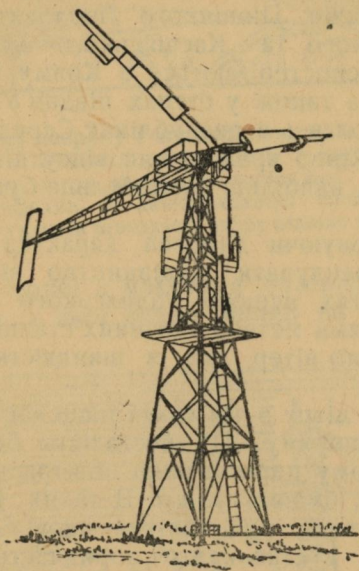


Рис. 22. Універсальний вітродвигун Д-12.

но при роботі з електрогенератором. Вітродвигун Д-12 може працювати як з механічним, так і з електричним приводом, чому він і названий універсальним.

Цей вітродвигун добре застосовувати для електрифікації, водопостачання (з відцентровим насосом), для млинарства, підготовки кормів тощо. Він набув великого поширення в Арктиці на станціях Головніпівнічморшляху, де кілька вітродвигунів цієї конструкції добре та безперервно працюють з 1935 р., обслуговуючи радіозв'язок та освітлення станцій.

В колгоспі „Нове життя“, Макарівського району, Київської області, вітродвигун Д-12 використовується для водопостачання з бурового колодязя глибиною близько 40 м для млинарства, підготовки кормів на колгоспній фермі та освітлення.

ВИБІР МІСЦЯ ДЛЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ВІТРОДВИГУНА

Дуже важливо вибрати для встановлення вітродвигуна таке місце, де вітер дме з найбільшою сталістю і має найбільшу швидкість.

В СРСР до районів з найсильнішими вітрами належить узбережжя Північного Льодовитого та Тихого океанів, Чорного та Каспійського морів і Байкалу. Сильні вітри спостерігаються в Криму, на узбережжі Білого моря, а також у степах півдня УРСР, Середньої та Нижньої Волги і в республіках Середньої Азії. В цих районах, особливо враховуючи відсутність у більшості з них палива, найбільш рентабельне будівництво вітродвигунів.

Але враховуючи даровий характер енергії вітру, можна рекомендувати будівництво вітродвигунів по всіх місцевостях нашого Радянського Союзу, де, за спостереженнями метеорологічних станцій, третину часу (раз на три дні) вітер дме з швидкістю понад 4 м в секунду.

Швидкість вітру в тій самій місцевості нестала щодо величини і напрямку. Ця несталість особливо велика там, де вільному пересуванню повітря перешкоджають горби, дерева, будівлі тощо. В таких місцях утворюються завихрення, рух повітря сповільнюється, вітер міняє напрям і стає надто поривчастим. Ясно, що в таких місцях встановлювати вітродвигуни не слід.

Найсильніше вітер дме на відкритому й рівному місці: тут він має і найбільшу сталість. При самій поверхні землі швидкість вітру невелика (внаслідок тертя повітряних потоків об землю), і вітер тут найбільш поривчастий. Як ми вже казали, чим вище від поверхні землі, тим більші швидкість і сталість вітру. Вітродвигун вигідно ставити на висоті 10—15 м над рівнем землі, де вплив тертя повітряних потоків об землю не такий великий, як біля самої землі.

Часто доводиться ставити вітродвигуни серед будинків і дерев. Треба врахувати вплив цих перепон на швидкість вітру. З практики відомо, що при набіганні вітру на перепону, особливо якщо вона обтічної форми (наприклад, горб), на вершині її швидкість вітру трохи підвищується. Тому рекомендується встановлювати вітродвигуни над будинками, силосними і водонапірними

баштами та іншими будівлями. Потужність вітродви-
гуна може тоді збільшитися на 15—20%.

Щоб з'ясувати вплив різних перепон на швидкість
та напрям вітру, було проведено низку дослідів в

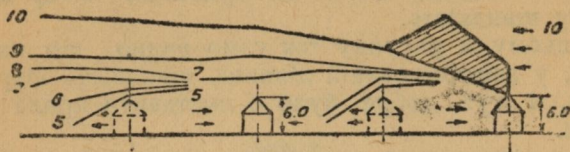


Рис. 23. Схема напрямку і швидкості вітру в забудованій місцевості. Будинки розташовані в шаховому порядку. Напрямок вітру зазначено стрілками, швидкість в м/сек — цифрами. В заштрихованій зоні над першим рядом будинків швидкість вітру більша за 10 м/сек.

аеродинамічній трубі з макетами будівель. На рис. 23
показана схема, з якої видно вплив на швидкість та

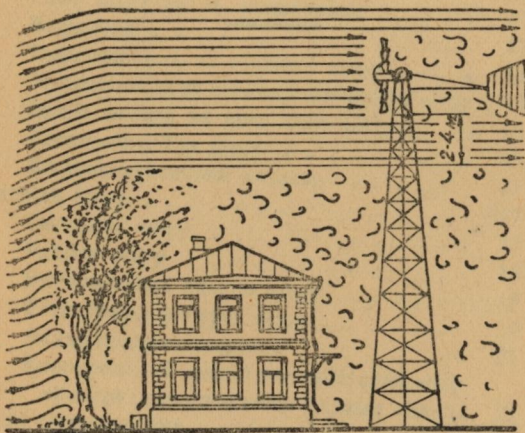


Рис. 24. Встановлення вітродвигуна серед будинків і дерев.

напрямок вітру ряду будинків, розташованих за шаховим
порядком. Напрямок вітру зазначено стрілками, а швид-
кість в метрах на секунду — цифрами.

Як показали досліди, за будівлями створюються
завихрення, особливо за другим та третім рядом буди-
вель. Швидкість вітру тут значно знижена; ці місця

мають назву затінених. Тут не можна ставити вітродвигунів. Вплив таких перешкод на швидкість вітру виявляється приблизно на віддалі, яка в 15 раз перевищує висоту перешкоди. Наприклад, якщо висота будинку 6 м, то на віддалі 90 м за будинком вітер ще має знижену швидкість.

На цьому ж рисунку так само видно, що над будинком, у заштрихованій ділянці, швидкість вітру підвищена, і тут добре було б поставити крила вітродвигуна.

Якщо вітродвигун доводиться ставити серед будинків або дерев, то нижній край вітроколеса має бути на 2—4 м вище від перепон, що стоять на шляху руху вітру. На рис. 24 показано, як у цьому разі слід встановлювати вітродвигун.

Не слід ставити вітродвигун у низинах, ярках, серед лісу. На рівних місцях найкраще ставити його на вершинах пологістих горбів.

ЗМІСТ

Вступ	3
Вітер	7
Виникнення вітру	7
Добовий хід вітру	8
Річний хід вітру	9
Циклони	9
Смерч	10
Напрямок вітру	10
Сила вітру та її визначення	11
Вітроміри	13
Поривчастість та сталість вітру	14
Моментальна та середня швидкість вітру	14
Вплив висоти на швидкість вітру	15
Повторюваність вітру	15
Вітроенергетичний кадастр	17
Енергія вітру	17
Тиснення вітру	17
Робота вітру	18
Використання енергії вітру	18
Енергетичні ресурси вітру	19
Акумуляування енергії	21
Кооперований спосіб використання енергії вітру разом з іншими видами енергії	22
Типи вітродвигунів	23
Теорія крильчатих вітродвигунів	27
Підйомна сила крила	27
Швидкості на крилі	29
Сили на крилі	29
Кути атаки та заклинення глиць	29
Гвинтоподібна форма крила	30
Профіль перерізу крила	31
Вплив якості поверхні крила	36

Аеродинамічні характеристики різних типів вітродвигунів	37
Визначення потужності вітродвигуна . .	38
Робочі характеристики вітродвигунів . .	40
Сучасні радянські конструкції вітродвигунів	42
Старі селянські вітряні млини	42
Колгоспні вітряки поліпшених конструкцій	44
Вітродвигун ВД-3,5	47
Вітродвигун ТВ-8	43
Вітродвигун Д-12	50
Вибір місця для встановлення вітродвигуна .	52



Г. В. Карпенко. Ветер и его энергетическое использование
(На украинском языке).

*Друкується за постановою Редакційно-видавничої ради
Академії наук Української РСР.*

Техредактор Н. Й. Муснік.

Коректор Н. П. Тимошок.

БФ 02549. Зам. № 972. Тираж 12 000 прим. Формат паперу
56×82. Друк. арк. 3,5. Обл.-вид. арк. 3,5. Зн. в 1 друк. арк. 40000.
Підписано до друку 2/VIII 1948 р.

Друкарня Видавництва АН УРСР, Київ, вул. Чудновського, 2.

ВИДАВНИЦТВО АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНСЬКОЇ РСР

Володимирська, 54.

Вийшли з друку

ВИДАННЯ РАДИ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ПРОПАГАНДИ АН УРСР

- В. Й. Білай, Запліснявіння кормів та боротьба з ним, 1947 р., стор. 32, ц. 1 крб.
- П. Є. Візір, Бринза, 1947 р., стор. 30, ц. 1 крб. 50 коп.
- П. А. Власюк, чл.-кор. АН УРСР, Марганець у системі живлення рослин, 1948 р., стор. 107, ц. 3 крб.
- З. С. Головянко, Д. Ф. Руднев, Д. Н. Стражеско, ДДТ в боротьбі з шкідливими тваринами, 1947 г., стр. 40, ц. 2 руб.
- Б. В. Гнеденко, чл.-корр. АН УССР, Как математика изучает случайные явления, 1947 г., стр. 74, ц. 5 руб.
- Ш. Г. Горделадзе, Планета Нептун (1846 — 1946), стр. 32, ц. 1 руб. 25 к.
- В. В. Данилевський, Народ-технік, 1948, стор. 37, ц. 1 крб. 25 коп.
- М. К. Гудзій, дійсн. чл. АН УРСР, Лев Толстой, 1947 р., стор. 68, ц. 2 крб.
- С. Ф. Кальфа, проф. і Шевалев В. Е., доц., Владимир Петрович Филатов, лауреат Сталинской премии, действ. член Академии наук Украинской ССР и Академии медицинских наук СССР (Краткий очерк жизни и творчества), 1946 г., стр. 48, ц. 3 руб.
- Г. В. Карпенко, канд. техн. наук, Виникнення та розвиток черв'ячної передачі, 1946 р., стор. 28, ц. 3 крб.
- Б. І. Клейн, проф., д-р мед. наук, Ілля Ілліч Мечніков (Життя та наукова діяльність), 1947 р., стор. 30, ц. 2 крб.
- М. А. Любинський, Кок-сагіз і каучук, 1947 р., стор. 62, ц. 2 крб.
- О. П. Маркевич, проф., Воші свійських тварин, 1947 р., стор. 60, ц. 5 крб.
- Н. Б. Медведєва, чл.-кор. АН УРСР, Гарячка, 1947 р., стор. 46, ц. 2 крб.
- В. А. Мовчан, проф., Короп (вирощування в ставках), 1947 р., стор. 92, ц. 5 крб.
- М. М. Підолічко і В. Й. Білай, Токсичні гриби на зерні хлібних злаків, 1946 р., стор. 64, ц. 8 крб.
- А. М. Павленко, Фізика і сільське господарство, 1948, стор. 59, ц. 2 крб.
- Л. А. Кульский, Улучшение качества питьевой воды, 1948, стор. 54, ц. 2 руб.
- Б. Д. Грозин, чл.-корр. АН УССР, Износ и механическая обработка металла, 1948 г., стр. 48, ц. 3 руб.

Зазначені книжки, а також всі видання Академії наук УРСР продаються у всіх обласних та районних книгарнях Укрнігкультторгу, Укоопкультторгу (Споживспілка), в кіосках «Союзпечати», а також у торговельному секторі Видавництва АН УРСР.