

де n_1 – безпечних операцій, забезпечуваних конструкцією агрегатів;
 n_3 – число безпечних операцій, забезпечуваних приладами безпеки;
 n_4 – число операцій, безпека яких здійснюється за рахунок впровадження організаційних заходів.

$$n_1 + n_2 + n_3 + n_4 = N, \quad (6)$$

Коефіцієнт технічної безпеки і коефіцієнт ризику знаходяться в межах від нуля до одиниці.

За наслідками аналізу повинні бути вироблені рекомендації щодо забезпечення безпеки як для розробника, так і для осіб, що здійснюють експлуатацію агрегату.

Для визначення коефіцієнта технічної безпеки і коефіцієнта ризику групи взаємозв'язаних в технологічному процесі агрегатів і систем K та R знаходиться сума всіх небезпечних і безпечних операцій і сума можливих операцій групи устаткування. Аналогічно поступають і при визначенні коефіцієнтів технічної безпеки і ризику всього технологічного устаткування підрозділу та ООДК – K_{Σ} і R_{Σ} .

Таким чином запропонований у даній статті метод оцінки безпеки агрегатів (систем) ТЗ та технологічного устаткування дозволяє оцінити ступінь безпеки окремих агрегатів, систем і всього устаткування гаража ВПС в цілому. Це дає можливість прогнозувати, при яких операціях можливі аварії і травми, розробити рекомендації щодо їх запобігання та зниження рівня небезпеки як для проектувальників і виробників, так і для персоналу, який експлуатує ці агрегати та системи.

Література

1. Про Концепцію розвитку ДПСУ на період до 2015 р : Указ Президента України №546/2006 від 19.06.2006 р.– К. : АДПСУ, 2006.
2. Браун Д.В. Аналіз і розробка систем забезпечення техніки безпеки / Браун Д.В. – М. : Машинобудування, 1979. – 312с.
3. Авдонькин Ф.Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей / Авдонькин Ф.Н. – М. : «Транспорт», 1985. – 215 с.
4. Ульман И.Е. Ремонт машин / Ульман И.Е. – М. : "Колос", 1982. – 356 с.

Надійшла 8.5.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Ковтун В.В.

УДК 629.114.3

Р.В. ЗІНЬКО

Національний університет «Львівська політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ ГРАФІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ РОБОТИ АВТОНОМНОЇ ТИХОХІДНОЇ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Запропоновано використання графів для дослідження роботи автономної тихохідної вітроенергетичної установки, яка призначена для роботи в умовах слабких та помірних потоків повітря. Розрахункова схема формується на основі графу структури конструктивної схеми машини. Далі записується граф структури рівнів узагальнених координат математичної моделі. Це дозволяє записати математичну модель відповідної складності залежно до поставлених завдань досліджень. Рівняння дають змогу дослідити і прогнозувати режим її роботи за різних умов навантажень вітру, а також відбору потужності.

The use of counts is offered for research of work of the autonomous slow windenergy station which is intended for work in the conditions of weak and moderate streams of air. A calculation chart is formed on basis the count of structure of structural chart of machine. The count of structure of levels of connections of the generalized co-ordinates of mathematical model is farther written down. It allows to write down the mathematical model of the proper complication dependently to the put tasks of researches. Equalizations enable to probe and forecast the mode of its operations at different terms of loadings of wind, and also to the power takeoff.

Ключові слова: структурні схеми, структурний синтез механізмів, графи структури зв'язків узагальнених координат автономна вітроенергетична установка, електродинамічне гальмо, оптимальний контроль.

Вступ. У світі все актуальнішою стає проблема енергетичного забезпечення. Вона переплітається з питаннями екології та ощадливого використання наявних ресурсів. Серед альтернативних джерел енергії особливе місце належить енергії повітряних мас, яка досить широко використовується у світовій практиці.

Специфікою повітряних потоків (ПП) України є їхня відносно мала питома потужність, що не дозволяє широко використовувати досвід світової практики будівництва вітроенергетичних установок (ВЕУ). Саме через це актуальна розробка дешевих ВЕУ малої одиничної потужності, які працюють при слабких середньорічних вітрах. Вони можуть бути важливими для малих підприємств з малоенергоємними технологічними процесами, виступати альтернативою лініям електропередач для розвитку зеленого туризму, готельного бізнесу в горах і за межами міст.

Аналіз останніх досліджень. У роботах [1–4] розглянуто принцип дії профільованих поворотних лопатей вітроколеса (ВК) у потоці повітря. У роботах [5, 6] запропоновано класифікація вітрогенераторів з урахуванням тенденцій їх розвитку. Проведено порівняння характеристик вітрогенераторів з лопатями гвинтового і вітрильного типу. Визначено потужність, яку відбирає ділянка лопаті елементарної площі тихохідного вітроколеса вітрильного типу. У роботі [7] для виявлення залежності розподілу швидкості вітру за обметаною площею ВК залежно від частоти обертання ВК проводилися експериментальні дослідження зміни швидкості вітру в площині обертання ВК в натурних умовах. У роботі [8] розроблено і досліджено на імітаційній моделі алгоритм управління, що забезпечує максимальну потужність ВЕУ в схемі «генератор–випрямляч–інвертор» зі змінною частотою обертання генератора.

Мета статті. На прикладі дослідження роботи ВЕУ обґрунтувати методику запису математичної моделі з використанням графів.

Основний матеріал. Для забезпечення роботи ВЕУ в характерних режимах потрібно розв’язати задачу балансу потужності – під час довільного електроспоживання, забезпечити умови роботи електричного генератора у широкому діапазоні зміни швидкості вітру. Можливий варіант розв’язання задачі полягає у використанні тихохідного вітроколеса з пружинним регулятором повороту лопатей та електродинамічного гальма. Застосування у конструкції ВЕУ тихохідного вітроколеса дає можливість використання їх у районах з малими і середніми швидкостями вітрових потоків, а також встановлення їх безпосередньо біля житлових будинків. Пружинний регулятор, окрім функції регулювання, забезпечує захист лопатей вітроколеса від ушкоджень під час шквальних поривів вітру.

При проектуванні автономної ВЕУ постають два завдання. По-перше, забезпечення умов роботи електричного генератора під час великих швидкостей або поривах вітру водночас з малим або відсутнім відбором генерованої потужності. По-друге, підтримання енергозабезпечення за умови малої швидкості вітру або шттилю. Ці проблеми можна розв’язати комплексно, використовуючи у ланці передачі потужності від вітроколеса до споживача контур зворотного зв’язку з елементом регулювання зворотного перенаправлення потужності та акумулятора електричної енергії. Кількість потужності, відібраної від вітрового потоку для збереження загального балансу потужності здійснюється за допомогою пружинного регулятора, який змінює кут повороту лопатей вітроколеса відносно напрямку вітру. Структурна схема ВЕУ з електродинамічним гальмом і пружинним регулятором вітроколеса зображена на рис. 1.

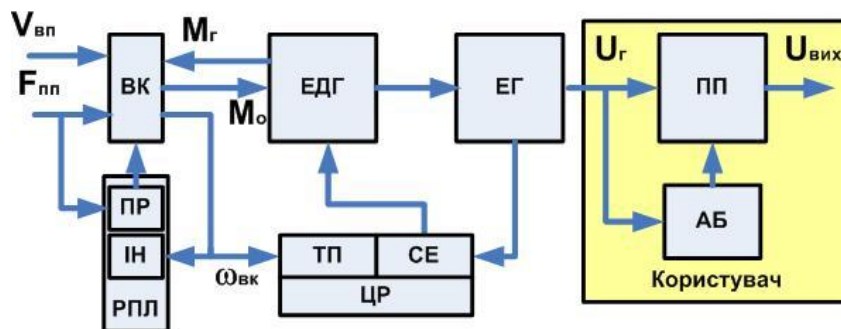


Рис. 1. Структурна схема ВЕУ:

ВК – вітроколесо; ЕДГ – електродинамічне гальмо; ЕГ – електричний генератор;
 ПП – проміжний перетворювач; РПЛ – регулятор положення лопаті; ПР – пружинного регулятор; ІН – інерційний регулятор;
 СЕ – силовий елемент; АБ – акумуляторна батарея; ТП – тахоперетворювач; ЦР – центральний регулятор

На структурній схемі вітровий потік зі швидкістю $V_{вп}$ діє на вітроколесо ВК. Обертний момент M_o через вал електродинамічного гальма ЕДГ передається на електричний генератор ЕГ. Вироблена електрична енергія проміжним перетворювачем ПП формується у якісну синусоїдну напругу $U_{вих}$, що передається споживачам. Невелика надлишкова потужність використовується для заряджання акумуляторної батареї АБ, яка за відсутності генерованої потужності створює резервне енергозабезпечення. Під час порушення балансу потужності, що виявляється у перевищенні норми вихідної напруги U_r

електричного генератора ЕГ або у перевищенні розрахункової швидкості обертання $\omega_{вк}$ вітроколеса ВК з тахоперетворювача ТП та вихідних виводів електричного генератора ЕГ, ва центральний регулятор ЦР надходять сигнали. Центральний регулятор ЦР виробляє керуючий сигнал для силового елементу СЕ, який частину вихідної потужності електричного генератора ЕГ передає електродинамічному гальму ЕДГ. Електродинамічне гальмо створює додатковий гальмівний момент M_r на валу вітроколеса ВК, стабілізуючи швидкість його обертання за рахунок розвертання лопатей супроти опору елементів пружинного регулятора ПР. Побудована на підставі структурної схеми автономна ВЕУ, розрахована на середньостатистичну швидкість вітру для місця її монтування, може забезпечити надійне й якісне генерування електричної енергії.

Запишемо кінематичну схему ВЕУ з використанням графів її структури [9]. Під графом структури конструктивної схеми машини розуміємо такий граф, який показує зв'язками елементів машини з

урахуванням її будови і зовнішніх впливів. Елемент схеми – ланка – відображається кружком, а жорсткий кінематичний зв'язок між двома елементами – прямою лінією, пружний зв'язок – хвилястою (рис. 2).

Для визначення складності моделі і її структури скористаємося графом структури рівневих зв'язків координат математичної моделі [10,11]. Під графом структури зв'язків узагальнених координат математичних моделей розуміємо такий граф, який показує перелік узагальнених координат у математичних моделях і зв'язки між ними. Для відображення рівня залежностей одних узагальнених координат від інших ці координати розміщують за рівнями залежності і позначають ці рівні послідовно знизу вгору, починаючи з нульового.

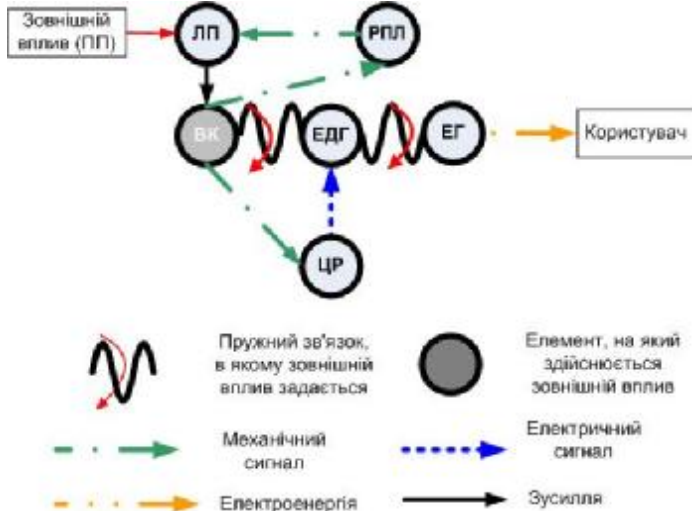


Рис. 2. Граф структури механічної частини ВЕУ

Структура рівнів зв'язків між узагальненими координатами представлена на рис. 3. На нульовому рівні знаходяться три абсолютні координати $f_{вк}$, $f_{ед}$ і $f_{ег}$.

Розрахунок та конструювання автономної ВЕУ, які здійснюються за наперед заданими технічними характеристиками відповідно до умов території їх монтажу, неможливі без аналізу типових режимів роботи. Номінальні параметри ВЕУ розраховуються за умов генерування номінальної потужності при середніх річних швидкостях вітру $V_{ВПном}$. Перевіркові розрахунки на надійність здійснюються за критичними умовами або особливими режимами. Параметри режимів задаються в узагальнену систему рівнянь для розрахунку основних характеристик та для конструктивних розрахунків. Аналізуючи умови роботи автономних ВЕУ, можна розрізнити чотири характерні режими: мінімальний, номінальний, надлишковий і критичний.

Під час мінімального режиму швидкість вітрового потоку $V_{ВП}$ недостатня для створення мінімально можливої робочої напруги на виводах електричного генератора ЕГ. Енергозабезпечення споживачів підтримується завдяки заряду акумуляторних батарей АБ, а тривалість роботи у такому режимі T_p визначається ємністю акумуляторної батареї Q_{AB} та середнім струмом споживання I_{cn} :

$$T_p = \frac{Q_{AB}}{I_{cn}} \quad (1)$$

За заданими значеннями T_p та I_{cn} визначається ємність акумуляторної батареї АБ.

Номінальний режим відповідає розрахунковій середньостатистичній швидкості вітру. Відібрана вітроколесом потужність дорівнює номінальній і напруга U_g на виводах електричного генератора ЕГ дорівнює номінальній напрузі $U_{г.ном}$ струм I_{AB} заряду чи розряду акумуляторної батареї АБ та струм $I_{ед}$ живлення електродинамічного гальма ЕДГ дорівнюють нулеві. Тобто в узагальнену систему рівнянь підставляються значення:

У графах структури зв'язків узагальнених координат використовували такі позначення:

- i -а узагальнена координата 0-го рівня, що відповідає абсолютній координаті;
- i -а узагальнена координата j -го рівня, що відповідає відносній координаті;
- підпорядкований зв'язок (напрямок підпорядкування узагальнених координат показує стрілка: i -а координата j -го рівня залежності підпорядкована i -й ($j-1$)-го рівня залежності)

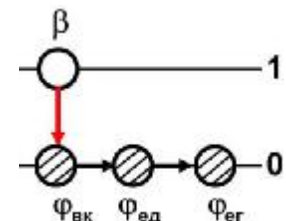


Рис. 3. Граф структури рівнів зв'язків між узагальненими координатами проектованої математичної моделі

$$\begin{cases} V_{вн} = V_{вн.мом} \\ w_{вк} = \frac{df_{вк}}{dt} w_{вк.мом} \\ U_{\zeta} = U_{\zeta.мом} \\ I_{\zeta} = I_{сн} \\ I_{АБ} = I_{ЕД} = 0 \end{cases} \quad (2)$$

Надлишковий режим характеризується вищою від номінальної швидкістю $V_{вн}$ вітру, але такою, яка не виходить за межі можливих розрахункових значень. У такому режимі швидкість обертання $w_{вк}$ вітроколеса більша від номінального значення, напруга U_{ζ} генератора дає можливість створити струм іде заряду акумуляторної батареї АБ, а надлишковий струм генератора передається в електродинамічне гальмо ЕДГ; гальмівний момент та дія вітрового потоку стискають пружинні елементи, розвертають лопаті під меншим кутом повороту до вітрового потоку, наближаючи швидкість обертання вітрового колеса до номінального значення:

$$\begin{cases} V_{вн} > V_{вн.мом} \\ w_{вк} \geq w_{вк.мом} \\ U_{\zeta} \geq U_{\zeta.мом} \\ I_{\zeta} = I_{сн} + I_{АБ} + I_{ЕД} \end{cases} \quad (3)$$

Критичний режим відповідає шквальним поривам вітру зі швидкістю вітрового потоку $V_{кр}$. Під час різкого зростання кутової швидкості $w_{вк}$ обертання вітроколеса центральний регулятор ЦР повністю відкриває силовий елемент СЕ, і вся генерована потужність електричного генератора ЕГ передається на електродинамічне гальмо ЕДГ, яке створює максима явний гальмівний момент M_g на валу вітроколеса. Вітровий потік, діючи на лопаті вітроколеса, долає опір пружинних елементів, повертаючи їх площини за напрямком вітрового потоку. Швидкість обертання вітроколеса і напруга на виводах електричного генератора менші від номінальних значень. Енергоспоживання здійснюється від акумуляторної батареї АБ. В узагальнену систему рівнянь підставляються значення розрахункових величин:

$$\begin{cases} V_{вн} = V_{кр} \\ w_{вк} < w_{вк.мом} \\ U_{\zeta} \geq U_{\zeta.мом} w_{вк} \\ I_{\zeta} = I_{ЕД} \\ I_{сн} = I_{АБ} \end{cases} \quad (4)$$

Регулювання потоків потужності у ВЕУ здійснюється пружинним регулятором та електродинамічним гальмом, момент опору якого є функцією кутової швидкості $w_{вк}$ обертання його ротора і струму $I_{ЕД}$, що протікає по обмотках статора. Напруга на виводах генератора залежить від кутової швидкості обертання ротора, струму збудження та вихідного струму. Тому загальний момент опору на валу вітроколеса описується степеневими функціями другого порядку від кутової швидкості $w_{вк}$ та інших параметрів. Використовуючи рівняння Лагранжа другого роду, можна записати рівняння руху лопатей: вітроколеса, швидкості обертання вітроколеса, роторів електродинамічного гальма і генератора у вигляді (5).

$$\begin{cases} I_{л} \frac{d^2\beta}{dt^2} = -C_{л}(\beta - \beta_{л}) + 2\pi\rho V_{вн} h_{л} \cdot \int_0^R (V_{вн} \cos(\gamma_2 + \beta) - \frac{R}{r} \sin(\gamma_2 + \beta)) dr \\ I_{к} \frac{d^2f_{к}}{dt^2} = -C_{к2}(f_{к} - f_{eд}) + M_{вк} \cdot I_{eд} \frac{d^2f_{eд}}{dt^2} = -C_{к2}(f_{к} - f_{eд}) - \\ - C_{\zeta.e2}(f_{eд} - f_{e2}) - A_{eд} \frac{df_{eд}}{dt} i_{eд} \\ I_{e2} \frac{d^2f_{e2}}{dt^2} = -C_{eд.e2}(f_{e2} - f_{eд}) - A_{e2} \frac{df_{e2}}{dt} i_{e2} \\ \frac{M_{вк} - M_{eд}}{U_{\zeta}} \frac{df_{e2}}{dt} = i_{e2} + i_{сн} + i_{eд} + i_{АБ} \\ M_{вк} = 2\pi\rho V_{вн} \int_0^R r^2 (V_{вн} \cos(\gamma_2 + \beta) - \frac{R}{r} \sin(\gamma_2 + \beta)) \sin(\gamma_2 + \beta) dr \\ M_{eд} = C_M w_{BK} i_{eд} \\ U_{\zeta} = C_E w_{BK} i_{3б} - i_{e2} R_0 \end{cases} \quad (5)$$

де I_L, I_K, I_{ED}, I_{EG} – моменти інерції відповідно лопатей, вітроколеса, роторів електродинамічного гальма і електричного генератора відносно власних осей обертання;

b, j_K, j_{ED}, j_{EG} – відповідно кути повороту лопатей відносно маху, вітроколеса, роторів електродинамічного гальма і електричного генератора відносно власних осей обертання;

C_L – жорсткість пружинного елемента зворотного руху лопатей;

$C_{KT}, C_{ED,EG}$ – відповідно жорсткості пружних елементів, за допомогою яких з'єднані між собою вітро-колесо з електродинамічним гальмом та електродинамічне гальмо з електричним генератором;

b_n – початковий кут установлення лопатей;

ρ – питома маса повітря;

V_{en} – швидкість потоку повітря;

h_L – плече рівнодіючої сили дії потоку повітря на лопать відносно осі маху;

$R_{вн}, R_{зв}$ – відповідно внутрішня та зовнішня довжини лопатей;

r – змінний радіус; θ_r – кут профілю лопаті на відстані r ;

A_{ED}, A_{EG} – зовнішні механічні параметри відповідно і електродинамічного гальма й електричного генератора;

M_{BK}, M_{ED} – відповідно обертальний і та гальмівний моменти вітроколеса та електродинамічного гальма;

$i_{EG}, i_{ED}, i_{AB}, i_{СП}$ – миттєві значення струмів відповідно електричного генератора, електродинамічного гальма, акумуляторної батареї та навантаження ВЕУ;

U_G – напруга на виводах електричного генератора;

C_M, C_E – конструкційні постійні електродинамічного гальма та електричного генератора відповідно;

R_o – опір силової обмотки електричного генератора.

Подана система рівнянь (5) є математичною моделлю роботи автономної ВЕУ, що є набором взаємопов'язаних нелінійних диференціальних рівнянь, аналітичний розв'язок яких є проблематичним. Тому для її числового розв'язку був розроблений пакет прикладних програм "WindMod".

Результати числового моделювання представлені на графіках (рис. 4-5) значення теоретичної потужності, напруги на клеммах випрямляча представлені при різних інтервалах варіювання регульованих параметрів та різних режимах роботи ВЕУ.

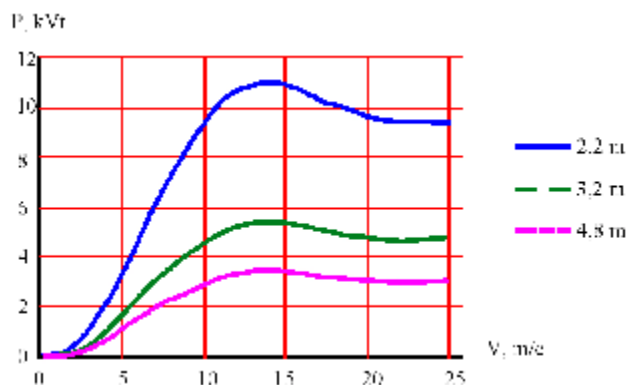


Рис. 4. Залежність потужності на валу вітроколеса від швидкості вітру і радіуса вітроколеса при постійній частоті обертання

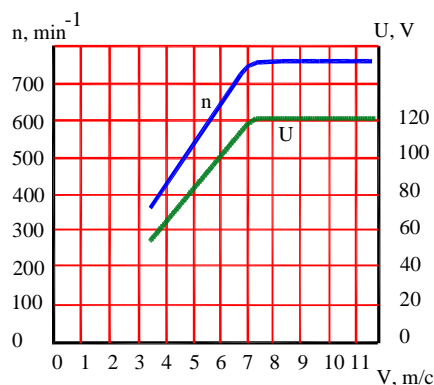


Рис. 5. Характеристика режиму без навантаження: n – частота обертання; U – напруга на виході випрямляча

Висновки. Запропонована методика створення математичних моделей з використанням графів необхідної складності дозволить швидко і якісно описувати фізичні процеси роботи ВЕУ. Використовуючи математичну модель, можна з достатньою для виробництва точністю розрахувати характеристики електродинамічного гальма, пружинних елементів і центрального регулятора відповідно до параметрів ВК автономної ВЕУ та умов її роботи, що дозволяє підвищити ефективність її використання на 5-18 % залежно від зони використання на теренах України. Створені програми чисельного аналізу дозволяють автоматизувати ці розрахунки, проаналізувати роботу ВЕУ на всіх режимах її експлуатації.

1. Кудлик М. Оптимальні швидкість обертання тихохідного колеса та профіль його лопатей за критерієм максимального відбору потужності зі слабких потоків повітря / М. Кудлик, І. Лозовий // Вісн. Національного університету «Львівська політехніка». – Львів. – 2001. – С. 63–67.
2. Кудлик М. Вплив профілю лопаті тихохідного вітроколеса, орієнтації та швидкості його обертання та відбір ним потужності з потоку повітря / М. Кудлик, І. Лозовий // Вісн. Національного університету «Львівська політехніка». – Львів. – 2002. – С. 72–78.
3. Лозовий І. Моделювання роботи лінійно-профільованої лопаті вітроколеса з горизонтальною віссю обертання / І. Лозовий, М. Кудлик // Сб. тр. ІУ Международной научно-практической конференции «Современные проблемы геометрического моделирования». Ч. 2. Мелитополь, 1997. – С. 96–97.
4. Лозовий І. Взаємодія повітряного потоку з робочими лопатями горизонтально-осьового вітроколеса та аналіз впливу їх геометрії на ефективність його роботи / І. Лозовий, В. Придиба, М. Кудлик // Машинознавство. – 1998. – № 9–10. – С. 17–20.
5. Моделювання роботи вітроенергетичної установки з лопатями постійного профілю на радіусі вітроколеса / [Р.В. Зінько, М.Б. Кудлик, Т.І. Круць, І.С. Лозовий] / III Міжнародна науково-технічна конференція "Комп'ютерні науки та інформаційні технології" (CSIT-2008). 25–27 вересня 2008 року НУ «ЛП». – С. 269 – 272.
6. Зінько Р.В. Особливості роботи вітряків з лопатями вітрильного типу / Р.В. Зінько // Науковий вісник НЛТУУ: збірник науково-технічних праць. – Львів : НЛТУУ. – 2011. – С. 101–111.
7. Сарбасов Д.Д. Исследование распределения скорости ветра по ометаемой площади ветроколеса [Електронний ресурс] / Сарбасов Д.Д. – Режим доступу : http://www.rusnauka.com/27_OINXXI_2011/Tecnic/3_92920.doc.htm
8. Санкевич С.А. Разработка алгоритма управления ветроэнергетической установкой, обеспечивающего максимально высокую механическую мощность турбины [Електронний ресурс] / С.А. Санкевич, А.М. Треш. – Режим доступу : www.polytech.poltava.ua/statti/Tezi_2011/0226.pdf
9. Зінько Р.В. Структурний аналіз плоских схем автовантажотранспортувальних машин. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах / Р.В. Зінько, І.С. Лозовий. – 2001. – № 3. – С. 141 – 143.
10. Зінько Р.В. Графи структуры зв'язків узагальнених координат для автовантажотранспортувальних машин та методика побудови математичних моделей / Р.В. Зінько, І.С. Лозовий // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2001. – Вип. 1. – С. 29–33.
11. Черевко Ю.М. Використання графів структури зв'язків для аналізу механічних систем з пружно зчленованими елементами / Ю.М. Черевко, Р.В. Зінько, І.С. Лозовий // Автошляховик України. – 2009. – № 4. – С. 12–15.

Надійшла 22.5.2012 р.

Статтю представляє: к.т.н. Шпак Я.В.

УДК 622.24.05

О.М. СЕМЕГЕН, З.М. ОДОСІЙ

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

АНАЛІЗ РОБОТИ БУРОВИХ ШАРОШКОВИХ ДОЛІТ ТА ШЛЯХИ ПОКРАЩЕННЯ ЇХ КОНСТРУКЦІЙ

Розглянуто актуальність проблеми підвищення довговічності та працездатності бурових шарошкових доліт. Проведено аналіз причин виходу з ладу бурового інструменту в цілому та його елементів зокрема: спрацювання підшипників і заклинювання опор, спрацювання озброєння та інші випадки. Встановлено, що довговічність бурового інструменту в основному визначається механічними і абразивними властивостями гірських порід, параметрами режиму буріння та конструктивними особливостями бурового інструменту, тобто долото ефективно працює, якщо його тип, конструкція і режими відпрацювання відповідають руйнуванню конкретних порід. На основі результатів аналізу, намічено шляхи покращення конструкції з метою підвищення надійності та довговічності бурового інструменту.

In the article considered the relevance of increasing longevity and performance drilling roller bits. The causes of breakdown of drilling bits are analyzed in general and its elements such as: bearings wear, deterioration of adopted bits and other cases. Established that the longevity of drilling bits is mainly determined by mechanical and abrasive properties of rocks, setting drilling and design features of drilling bit. That is drilling bit works effectively if its type, construction and setting drilling correspond to the destruction of specific rocks. On the basis of analysis was offered approach the design to improve reliability and longevity of drilling bits.

Ключові слова: шарошкове долото, озброєння долота, опора долота, вибій свердловини, твердосплавні і фрезеровані зубки, довговічність.

Вступ