

А.И. АБДУЛЛАЕВ, д.т.н., проф., заведующий каф. ДМ И ПТМ АзТУ,
Баку, Азербайджан;

А.М. НАДЖАФОВ, д.т.н., доцент каф. ДМ И ПТМ АзТУ;

А.А. САЛАМОВ, аспирант каф. ДМ И ПТМ АзТУ

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ ВЕТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Представлены результаты исследования по установлению функциональной взаимосвязи между диаметром ветроколеса, скоростью ветра и диаметром начальной окружности шестерни тяжело-нагруженной ступени мультипликатора ветрогенератора, а также по оценке его технического уровня с новым конструктивным решением пакетного мультипликатора.

Ключевые слова: ветрогенератор, пакетный мультипликатор.

Актуальность задачи. Ветер является одним из важных, но пока еще мало используемых источников энергии, запасы которого неисчислимы. Поэтому рациональное и повсеместное использование энергии ветра должно стать один из основополагающих факторов экономики топлива.

Ветроагрегаты, преобразующие энергию ветра в механическую в основном состоят из ветроколеса, передаточного механизма и рабочего органа. В качестве передаточного механизма, как правило, используется как редуктор, так и мультипликатор. В ветродвигателях рабочим органом является генератор [1, 2].

На кафедре "Детали машин" Азербайджанского Технического Университета разработаны, изготовлены и испытаны принципиально новые конструктивные решения трех- и пятиступенчатых одно- и двухпоточных редукторов (мультипликаторов) на двух валах. В указанных механических системах исключены из состава промежуточные валы и соответствующие подшипники качения, зубчатые колеса и блоки шестерен установлены на ведущем и ведомом валах [3]. Уменьшение количества конструктивных элементов при этом влечет за собой повышение надежности системы.

Цель работы. Для рационализации и обеспечения научного и методологического единства ветродвигателей существенное значение имеет разработка и правильный выбор передаточных механизмов по критериям их качества [4].

С целью анализа качественных показателей и оценки нагрузочных характеристик основных элементов нового конструктивного решения ветродвигателя установлена функциональная взаимосвязь между диаметром ветроколеса – D , скоростью ветра – V и диаметром начальной окружности шестерни тяжело-нагруженной ступени мультипликатора из условия равенства кинетической энергии, созданной ветроколесом и мощности генератора данной механической системы, которая имеет вид

$$d_{wl}^* = f(D, V) = CD^{2/3}V. \quad (1)$$

Здесь

$$C = k_d \left[\frac{3.75\rho\eta_1 V^3 \eta^* uk_{H\beta}(u \pm 1)}{\Psi_{bd} [\sigma_H]^2 n^*} \right]^{1/3}; \quad k_d = \left[(z_H z_E z_\varepsilon)^2 2k_{HV} \right]^{1/3}; \quad \eta^* = \frac{C_p}{\eta_{II} \eta_M \eta_T};$$

z_H – коэффициент, учитывающий форму сопряженных поверхностей зубьев;

© А.И. Абдуллаев, А.М. Наджафов, А.А. Саламов, 2013

z_E – коэффициент, учитывающий механические свойства материалов сопряженных зубчатых колес; z_ε – коэффициент, учитывающий суммарную длину контактных линий; k_{HV} – коэффициент динамической нагрузки; $k_{H\beta}$ – коэффициент неравномерности распределение нагрузки по длине зубьев; η_1, u – соответственно к.п.д. зубчатой передачи и передаточное отношение тяжело-нагруженной ступени мультипликатора; $\psi_{bd} = b_w/d_{w1}^*$ – коэффициент ширины шестерни относительно ее диаметра; $[\sigma_H]$ – допускаемое контактное напряжение при расчете на контактную выносливость; C_p – коэффициент использования энергии ветра ветродвигателем; D – диаметр ветроколеса; V – номинальная скорость ветра.

Выражение (1) дает возможность унифицировать все параметры и создать семейство ветродвигателей. При этом все геометрические параметры, в частности длина, ширина и высота мультипликатора выражается через обобщенный параметр d_{w1}^* , что является предпосылкой для оценки технического уровня ветродвигателя [5].

На основании обобщенной формулы (1) вычислены основные параметры нового конструктивного решения мультипликатора, таблица 1.

Таблица 1 – основные параметры нового конструктивного решения мультипликатора

D	d_{w1}^*	d_{w2}^*	b_{w1}	a_w	L	B	H	V^*
3	51,8	235,5	51,8	143,65	379,15	90,65	235,5	0,0081
4	62,75	285,3	62,75	174,025	459,32	109,8	285,3	0,0144
5	72,8	331	72,8	201,9	532,9	127,4	331	0,0225
6	82,2	373,76	82,2	227,98	601,74	143,85	373,76	0,0323
7	91	413,78	91	252,39	666,17	159,25	413,78	0,0439
8	99,6	452,9	99,6	276,25	729,15	174,3	452,9	0,0575
9	107,7	489,7	107,7	298,7	788,4	188,47	489,7	0,0727
10	115,6	525,63	115,6	320,6	846,23	202,3	525,63	0,0900
15	151,4	688,4	151,4	419,9	1108,3	264,95	688,4	0,2021
18	171	777,5	171	474,25	1251,75	299,25	777,5	0,2912
20	183,48	834,3	183,48	508,9	1343,2	321	834,3	0,35972
25	212,9	968	212,9	590,45	1558,45	372,57	968	0,56205
30	240,43	1093,23	240,43	666,83	1760,06	420,75	1093,23	0,80958
35	266,45	1211,55	266,45	739	1950,55	466,3	1211,55	1,10195
40	291,26	1324,36	291,26	807,81	2132,17	509,7	1324,36	1,43927
45	315	1432,3	315	873,65	2305,95	551,25	1432,3	1,82067
50	338	1536,9	338	937,45	2474,35	591,5	1536,9	2,24937
55	360	1637	360	998,5	2635,5	630	1637	2,71801
60	381,66	1735,4	381,66	1058,5	2793,9	668	1735,4	3,23882
65	402,6	1830,6	402,6	1116,6	2947,2	704,55	1830,6	3,80115
70	422,97	1923,2	422,97	1173,08	3096,28	740,2	1923,2	4,40771
75	442,94	2014	442,94	1228,5	3242,5	775,14	2014	5,06197
80	462,3	2102	462,3	1282,15	3384,15	809	2102	5,75481

Примечание: $k_d=780\text{МПа}^{-0,5}$; $\rho=7800,0\text{кг/м}^3$; $\eta_1=0,975$; $\eta_r=0,95$; $\eta^*=0,3516$; $\psi_{bd}=1$; $k_{H\beta}=1,04$; $u=4,547$; $[\sigma_H]=1244\text{МПа}$; $n=1800\text{мин}^{-1}$

Технический уровень ветродвигателя оценивается путем сравнения количественного параметра, отражающего соотношение затраченных средств и полученного результата.

"Результатом" для ветродвигателя является его нагрузочная способность, в качестве характеристики которой принимается мощность генератора,

$$P_G = 0,481 \cdot 10^{-3} D^2 V^3 C_p . \quad (2)$$

Объективной мерой затраченных средств является масса ветродвигателя, в которой практически интегрирован весь процесс его проектирования.

Поскольку рассматривается ветродвигатель с новым конструктивным решением передаточного механизма, предварительной мерой затраченных средств принимается масса мультипликатора. Поэтому за критерий технического уровня можно принять отношение массы мультипликатора к мощности генератора. Этот критерий характеризует расход материалов для изготовления мультипликатора на получение требуемой мощности генератора,

$$\gamma = \frac{m}{P_G} , \quad (3)$$

где P_G – мощность генератора, кВт; m – масса мультипликатора, кг.

При этом масса мультипликатора определяется согласно выражения

$$m = \varphi \cdot \rho \cdot L \cdot B \cdot H , \quad (4)$$

где φ – коэффициент заполнения корпуса мультипликатора, в нашем случае $\varphi=0,32$; ρ – плотность металла, для стали $\rho=7800\text{кг/м}^3$; L, B, H – соответственно длина, ширина и высота мультипликатора.

Применительно к новому конструктивному исполнению мультипликатора $L = 0.5(1 + 3u)d_{w1}^*$; $B = 1.75\psi_{bd}d_{w1}^*$; $H = ud_{w1}^*$, следовательно

$$m = 0.875\varphi\rho\psi_{bd}u(1 + 3u)(d_{w1}^*)^3 , \quad (5)$$

где $u = (u_\Sigma)^{1/k}$ – передаточное отношение одной ступени мультипликатора; k – количество ступеней мультипликатора.

Предварительная оценка технического уровня осуществляется путем подстановки (2) и (5) в соотношение (3). При этом получаем обобщенную аналитическую формулу для оценки технического уровня ветродвигателей,

$$\gamma = 1,8191 \cdot 10^3 \frac{4\rho_1\psi_{bd}u(1 + 3u)(d_{w1}^*)^3}{V^3 D^2 C_p} . \quad (6)$$

Принимая в выражении (6) $\rho=7800\text{кг/м}^3$; $\psi_{bd}=1$; $V=13,0\text{м/с}$; $C_p=0,29$; $u = (u_\Sigma)^{1/3} = 94^{1/3} = 4,547$ получим более упрощенную формулу для оценки технического уровня ветродвигателя нового конструктивного исполнения,

$$\gamma = 475 \cdot 10^3 D^{-2} (d_{w1}^*)^3 . \quad (7)$$

Оценка технического уровня ветродвигателя с новым конструктивным решением мультипликатора произведена в сравнении с техническим уровнем ветроэнергетического агрегата "Nordex S70-1500" при следующих данных [6, 7]:

- мощность генератора 1500кВт;
- общее передаточное отношение мультипликатора $u_\Sigma=94$;
- диаметр ветроколеса $D=70\text{м}$;
- к.п.д. генератора 0,95;

- частота вращения вала генератора $n^* = 1800 \text{ мин}^{-1}$;
- масса мультипликатора 14000 кг.

Согласно этих данных технический уровень существующего мультипликатора ветроагрегата "Nordex S70-1500"

$$\gamma_C = \frac{m}{P_r} = \frac{14000}{1500} = 9,3333 \text{ кг/кВт.}$$

При диаметре ветроколеса $D = 70 \text{ м}$ согласно таблице 1, диаметр начальной окружности шестерни тяжело нагруженной ступени нового конструктивного исполнения мультипликатора $d_{\text{вл}}^* = 0,423 \text{ м}$.

Согласно выражению (7) технический уровень нового конструктивного исполнения мультипликатора

$$\gamma_H = 475 \cdot 10^3 \cdot 70^{-2} \cdot 0,423^3 = 7,337 \text{ кг/кВт.}$$

Таким образом, расход материалов для изготовления мультипликатора нового конструктивного исполнения на получение требуемой мощности генератора существенно уменьшается,

$$\Delta\gamma = \frac{\gamma_C - \gamma_H}{\gamma_C} \cdot 100\% = \frac{9,3333 - 7,377}{9,3333} \cdot 100\% = 21,39\% .$$

Выводы. На основании полученных результатов установлено, что применение нового конструктивного решения мультипликаторов в ветродвигателях при прочих равных условиях повышает их надежность и технический уровень и существенно снижает расходы материала на их изготовление.

Список литературы: 1. *Шедтер Я.Н.* Ветроэнергетические агрегаты. – М.: Машиностроение, 1972. – 248с. 2. *Харитонов В.П.* Автономные ветроэлектрические установки. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280с. 3. *Абдуллаев А.И., Наджафов А.М.* Трехступенчатый двухпоточный цилиндрический редуктор. Евразийский патент №017053В1, F16H 1/20 ЕАПО, Москва, 2012, Бюллетень №9, 4с. 4. *Наджафов А.М.* Поискное конструирование механического привода штанговых насосов. – Баку: изд-во аппарата ММ, 2008. – 254с. 5. *Абдуллаев А.И., Гасымов Р.М., Наджафов А.М., Саламов И.А.* Системный вероятностный расчет новой конструкции мультипликатора ветроэнергетического агрегата // Вестник машиностроения. – 2012. – №12. – С.27-30. 6. www.nordex-online.com/fileadmin/MEDIA/Produktinfos/EN/Nordex_S70-S77_I.pdf. 7. www.stork-gears.com/spotlight_windenergy_windturbine_gearbox_brands.php.

Поступила в редакцию 03.05.2013

УДК 621.548

Оценка технического уровня ветродвигателей / А.И. Абдуллаев, А.М. Наджафов, А.А. Саламов // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Проблеми механічного приводу. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2013. – №41(1014). – С.3-6. – Бібліогр.: 7 назв.

Представлені результати дослідження щодо встановлення функціонального взаємозв'язку між діаметром вітроколеса, швидкістю вітру і діаметром початкового кола шестерні важконавантаженого ступеня мультиплікатора вітрогенератора а також по оцінці його технічного рівня з новим конструктивним рішенням пакетного мультиплікатора.

Ключові слова: вітрогенератор, пакетний мультиплікатор.

Here is reviewed the results of research to establish of functional correlation between diameter of wind wheel, wind speed and diameter of pitch circle of heavy loaded gear stage of multiplier of windmill and also estimation of technical level of windmill with new constructive decision of package multiplier.

Keywords: windmill, package multiplier.