порядка 3 часов при световом потоке 4000 Лм и 38 Вт потребляемой мощности [4; 6].

Экономичность электропотребления зависит от большого числа факторов. Действительно высокой её можно назвать только при условии применения источников питания с устройствами коррекции мощности, без которых коэффициент мощности с трудом достигает 0,5.

Использование светодиодных светильников, подключённых от солнечных батарей, в качестве полноценного освещения (без внешнего источника питания) находит всё большее применение в местах, где отсутствует возможность электроснабжения. Комплекс освещения АОС (автономная осветительная система) – устройство, состоящее из аккумуляторной батареи, контролера заряда-разряда, светодиодного светильника 12 В [4].

Возможность формирования кривой силы света вторичной оптикой, установленной на светодиод, даёт возможность применения прибора освещения наиболее эффективно к местным условиям. Данное преимущество позволяет получить направленный поток света и освещать только то, что необходимо, избегая потерь на освещение стен и перекрытий помещения, например склада. При этом достигается равномерная засветка, не слепящая глаза и не создающая тёмных (мёртвых) зон.

Стабильная работа светильника в диапазоне напряжений 110–300 В (в зависимости от типа источника питания и его характеристик) [6].

При этом существенные отклонения напряжения от номинального приводят к ускоренному износу электронного блока питания, а при некачественном блоке питания – к ускоренной деградации светодиода.

Проведённый анализ характеристик электрических источников света и светильников и детальный анализ светодиодных светильников раскрывает очевидные их преимущества и перспективы использования. Однако у них есть и определённые недостатки.

Одним из главных недостатков светодиодных светильников является их стоимость. С другой стороны, за счёт экономии электроэнергии и срока службы светодиодов вложенные средства быстро окупаются, это снижает данный недостаток и делает его не таким значительным.

Негативной особенностью светодиодных светильников является то, что в их состав входит импульсный источник питания. В нашей стране только в последнее время становится заметным влияние импульсного потребления и вызванные им проблемы. Это приводит к вредному, а иногда и опасному искажению сетевого тока в виду импульсного потребления. Таким образом сетевой ток становится несинусоидальным, появляются высшие гармоники тока и напряжения. Генерируются токи не только обратной, но и нулевой последовательности чередования фаз, что особенно негативно сказывается на работе трёхфазных систем. Проблема искажения сетевого тока довольна обширна и изучается многими институтами, потому как импульсные источники входят в состав не только светильников, но и практически любой офисной и бытовой техники.

Выводы. На основании проведённого анализа характеристик электрических источников света можно заключить, что светодиодные светильники имеют множество преимуществ по сравнению с другими источниками света.

В то же время существующие недостатки и проблемы, как, например, импульсность потребления тока, являются разрешимыми. Учитывая столь низкое электропотребление и возможности регулирования цветовой температуры и потребляемой мощности в широком диапазоне, становится очевидным, что именно светодиодные светильники имеют наибольшие перспективы широкого применения.

Литература

1. Производственное светотехническое объединение / [Электронный ресурс]. URL: http://www.alb.ru/articles/dimming (дата обращения 10.03.16).
2. Индукционная лампа как альтернатива светодиодной / [Электронный ресурс]. URL: http://electrik.info/main/news/389-indukcionnaya-lampa-kak-alternativa-svetodiodnoy.html (дата обращения 18.03.16).
3. Бугров В.Е., Виноградов К.А. Оптоэлектроника светодиодов. СПб.: Национальный исследовательский университет, 2013. 174 с.
4. Светодиодные светильники — шаг в будущее / [Электронный ресурс]. URL: http://www.diy.ru/post/6240 (дата обращения 15.02.16).
5. Естественное и искусственное освещение СНиП 23-05-2010. Министерство регионального развития Российской Федерации. 2010. 76 с.
6. Тайны филаментных светодиодных ламп / [Электронный ресурс]. URL: http://market.elec.ru/nomer/56/tajny-filamentnyh-svetodiodnyh-lamp (дата обращения 19.03.16).

Аппроксимация зависимости коэффициента использования энергии ветра от быстроходности ветротурбины ветроагрегатов сельскохозяйственного назначения

***В.Г. Петько**, д.т.н., профессор, **И.А. Рахимжанова**, к.с.-х.н., **В.А. Шахов**, д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ*

Ветер является одним из перспективных и доступных источников энергии. Преобразование энергии ветра в механическую, а затем в электрическую осуществляется с помощью ветроагрегатов с вертикальной или горизонтальной осью вращения ветротурбины. В сельском хозяйстве чаще всего используются ветроагрегаты с горизонтальной осью вращения.

Эффективность ветроагрегата, определяемая в значительной степени эффективностью ветротурбины, будет тем выше, чем большая часть энергии ометаемого турбиной ветрового потока будет передана на её вал. Эта часть определяется, как известно, коэффициентом использования энергии ветра ξ, равного отношению мощности на валу к мощности ветрового потока:

$$\xi = M\omega / \rho S \frac{V^3}{2}, \qquad (1)$$

где M – момент на валу ветротурбины, Нм;

ω – угловая скорость вала ветротурбины, $с^{-1}$;

ρ – плотность воздуха, $кг/м^3$;

S – площадь поперечного сечения ометаемого ветрового потока, $м^2$;

V – скорость ветра, м/с.

Материал и методы исследования. На холостом ходу, когда момент сопротивления M_c вращению вала ветротурбины равен нулю, момент, развиваемый ветротурбиной, также равен нулю, а угловая скорость равна угловой скорости идеального холостого хода, или, иначе, синхронной угловой скорости:

$$\omega_c = \frac{V}{R} Z_c, \qquad (2)$$

где R – радиус ветротурбины, м;

Z_c – синхронная быстроходность, показывающая, во сколько раз линейная скорость конца лопасти ветротурбины на холостом ходу $V_{лс}$ больше скорости ветра ($Z_c = V_{лс} / V = \omega_c R / V$).

Коэффициент использования энергии ветра на холостом ходу ветротурбины также равен нулю.

С увеличением нагрузки угловая скорость ω ветротурбины уменьшается от ω_c и в предельном случае до нуля, а её относительное значение ($\omega^* = \omega / \omega_c$) – от 1 до 0. Соответственно быстроходность

$$Z = \frac{\omega R}{V} = \frac{\omega^* \omega_c R}{V} = \frac{\omega^* \frac{V}{R} Z_c R}{V} = \omega^* Z_c, \qquad (3)$$

связанная, как видно по выражению (3), с относительной угловой скоростью для каждой конкретной ветротурбины, однозначно также уменьшается от Z_c до нуля. Коэффициент использования энергии ветра при этом увеличивается, достигает максимального значения и далее, снижаясь, становится снова равным нулю при нулевой частоте вращения. Работа ветроагрегата будет происходить с наибольшей отдачей энергии в том случае, если регулировать загрузку ветротурбины так, чтобы при любой скорости ветра она работала с угловой скоростью, соответствующей максимальному значению коэффициента использования ветра [1]. Ранее предложено простое техническое устройство, реализующее данный принцип регулирования, наиболее приемлемое именно для ветроагрегатов малой и средней мощности, получивших наибольшее распространение в сельской местности [2].

Зависимость коэффициента использования энергии ветра от быстроходности, а следовательно, и от относительной угловой скорости для конкретной ветротурбины снимается экспериментально. Например, для трёхлопастной ветротурбины она имеет вид, представленный на рисунке 1 [3].

Однако представление по результатам эксперимента такой зависимости в графической или табличной форме существенно затрудняет её использование для анализа эффективности ветротурбины, работающей в различных режимах при изменяющихся скоростях ветра и при различной плотности распределения этих скоростей. Поэтому весьма целесообразно получить достаточно точное аналитическое выражение этой зависимости. Поскольку она имеет куполообразную форму, наиболее просто и точно это можно сделать, если предположить, что аппроксимируемая кривая данной зависимости, лежащая в пределах от нуля до Z_c ($\omega^* = 1$), является положительным полупериодом несинусоидальной периодической функции, симметричной относительно начала координат. Полупериод лежит, в свою очередь, в пределах от 0 до 180° (от 0 до π радиан).

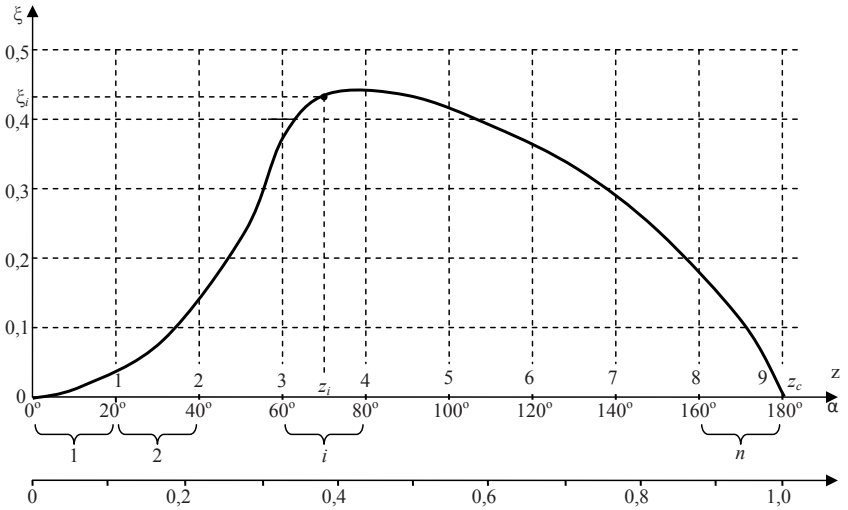


Рис. 1 – Зависимость коэффициента использования энергии ветра от быстроходности и относительной угловой скорости для трёхлопастной ветротурбины

Такая функция, как известно, может быть аппроксимирована рядом Фурье с равными нулю косинусоидами и постоянной составляющей [4]:

$$\xi(\alpha) = B_1 \operatorname{Sin}\alpha + B_2 \operatorname{Sin} 2\alpha + \\ + B_3 \operatorname{Sin} 3\alpha + \ldots + Bk \operatorname{Sin} k\alpha + \ldots \quad (4)$$

В данном случае $\alpha = 180\ Z / Z_c = 180\omega^*$. При этом коэффициенты многочлена Фурье находятся по выражению [5]:

$$B_к = \frac{1}{\pi}\int_0^{\pi} \xi(\alpha)\sin\ k\alpha\ d\alpha. \quad (5)$$

Интеграл, входящий в выражение, берётся приближённым графоаналитическим методом. С этой целью полупериод разбивается, как показано на рисунке 1, на n равных участков. По графику экспериментальной зависимости $\xi_э = f(z)$ определяется значение $\xi_{эi}$, соответствующее значению z_i, лежащему в середине i-го участка, а следовательно, и соответствующее значению α_i, равному $180z_i / n$ ($z_i\pi/n$). Для каждого из i-х участков для k-той гармоники определяется значение функции $b_{ki} = \xi_{эi} \operatorname{Sin} k\alpha_i$, стоящей под знаком интеграла, и далее амплитуда k-той гармоники:

$$B_k = \frac{2}{n}\sum_{i=1}^{n} b_{ki}. \quad (6)$$

Результаты исследования. Схема и результаты расчёта амплитуд гармоник для зависимости $\xi_э = f(z)$, приведённой на рисунке 1, иллюстрируются таблицей.

Искомая аппроксимирующая зависимость ξ_{aki} формируется из k первых членов ряда Фурье (4) путём подстановки амплитуд этих гармоник, полученных в результате расчёта. При этом достаточное количество членов ряда диктуется необходимой точностью аппроксимации. Она может быть оценена средней ошибкой аппроксимации в узловых точках, выраженной в процентах от максимальной величины $\xi_{эmax}$:

$$\delta_k\% = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{|\xi_{эi} - \xi_{aki}|}{\xi_{эmax}}\right)\frac{100\%}{n}. \quad (7)$$

В последней строке таблицы приведены результаты расчёта ошибки по приведённой формуле. Так, при аппроксимации исходной функции тремя членами ряда Фурье, средняя ошибка $\delta_3\% = 5{,}58\%$, а при аппроксимации семью членами она снижается уже до 0,7%.

Степень совпадения кривых аппроксимируемой зависимости $\xi(z)$ и аппроксимирующих зависимостей, представленных тремя $\xi_{a3}(z)$ и семью $\xi_{a7}(z)$ членами ряда Фурье, наглядно просматривается на графике (рис. 2). Если кривая $\xi_{a3}(z)$ даёт заметное расхождение с кривой $\xi(z)$, то кривая $\xi_{a7}(z)$ почти полностью её покрывает. Значения этой аналитической зависимости ($\xi_{a7i} = f(z_i)$) в узловых точках приведены в последнем столбце таблицы.

Угол $\alpha = 180\omega^* = 180\omega/\omega_c = 180\omega R/(Vz_c)$. Заменив его в выражении (4) аппроксимирующей зависимости этим значением, получим зависимость коэффициента использования энергии ветра от двух независимых переменных, полностью характеризующих режим работы ветротурбины: угловой скорости вала ветротурбины и скорости ветра ($\xi = f(\omega, V)$).

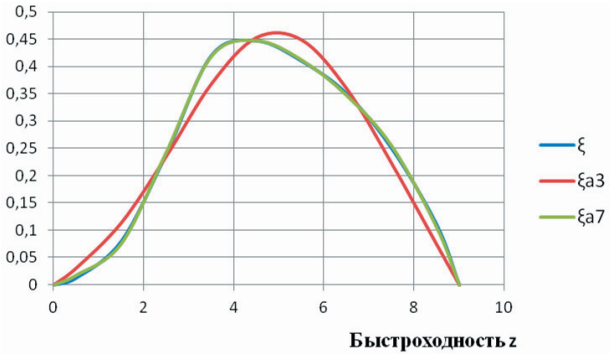


Рис. 2 – Графики аппроксимируемой $\xi(z)$ и аппроксимирующих $\xi_{a3}(z)$ и $\xi_{a7}(z)$ зависимостей

Схема и результаты расчёта амплитуд гармоник

k =					1	2	3	4	5	6	7	
i	z_i	ω_i^*	α_i, град	$\xi_{эi}$	$b_{ki} = \xi_{эi} \operatorname{Sin} k\alpha_i$							ξ_{a7i}
					b_{1i} ×100	b_{2i} ×100	b_{3i} ×100	b_{4i} ×100	b_{5i} ×100	b_{6i} ×100	b_{7i} ×100	
1	0,5	0,055	10	0,013	0,226	0,445	0,65	0,84	0,995	1,13	1,22	0,018
2	1,5	0,167	30	0,08	4,0	6,93	8,0	6,93	4,0	0	-4,0	0,076
3	2,5	0,278	50	0,24	18,4	23,64	12,0	-8,21	-22,6	-20,8	-4,17	0,243
4	3,5	0,389	70	0,42	39,5	27,0	-21,0	-41,4	-7,29	36,4	32,17	0,418
5	4,5	0,500	90	0,447	44,7	0	-44,7	0	44,7	0	-44,7	0,447
6	5,5	0,611	110	0,41	38,5	-26,4	-20,5	40,4	-7,12	-35,5	31,4	0,412
7	6,5	0,722	130	0,35	26,8	-34,5	17,5	12,0	-32,9	30,3	-6,08	0,347
8	7,5	0,833	150	0,25	12,5	-21,7	25,0	-21,7	12,5	0	-12,5	0,254
n	8,5	0,944	170	0,11	1,91	-3,76	5,5	-7,07	8,43	-9,53	10,34	0,105
$B_k = \frac{2}{n}\sum_{i=1}^{n} b_{ki} =$					0,414	-0,0627	-0,039	-0,040	0,0017	0,00443	0,00821	⇑
$\delta_k\% =$					11,37	7,57	5,58	1,46	1,45	1,26	0,70	⇗

Выводы. Пользуясь полученной по изложенной методике аналитической зависимостью, можно определить как вручную, так и с помощью программ, реализуемых на компьютере, момент и мощность на валу ветротурбины, а также энергию, переданную на генератор за определённый промежуток времени при различных скоростях ветра. Это в свою очередь позволит установить закономерности изменения этих величин в переходных режимах работы ветроагрегатов, оценить влияние на уровень напряжения и тока в сельскохозяйственной электрической сети при работе на эту сеть генератора ветроагрегата.

Литература

1. Петько В.Г. Оптимизация степени загрузки ветроагрегата при различных скоростях ветра / В.Г. Петько, И.А. Рахимжанова, В.В. Пугачёв, А.С. Петров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014. № 4 (48). С. 76–79.
2. Патент 2454565 Российская Федерация, Ветроэлектрический агрегат / В.Г. Петько, Н.А. Маловский, А.А. Митрофанов, А.В. Красников; Заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВПО ОГАУ, опубл. 27.06.2012. 2 с.: ил.
3. Фатеев Е.М. Ветродвигатели и ветроустановки. М., 1948. С. 163.
4. Мансуров Н.Н., Попов В.С. Теоретическая электротехника. Изд. 9-е, исправл. М.-Л., 1965. С. 541–542.
5. Бермант А.Ф., Араманович И.Г. Краткий курс математического анализа для втузов. Изд. 4-е, перераб. и дополн. М., 1966. С. 706, 720–723.

Обоснование формы лопасти смесителя кормов

***В.В. Новиков**, к.т.н., профессор, **А.Ю. Титов**, аспирант,*
***А.С. Грецов**, к.т.н., ФГБОУ ВО Самарская ГСХА*

В настоящее время при производстве комбикормов особое место занимает качество смешения исходных компонентов смеси. Анализ устройств для смешения компонентов свидетельствует, что качество однородности смеси определяется перемешиванием компонентов и их взаимодействием в процессе с рабочими органами смесителя. Основным недостатком существующих смесителей кормов является расслоение смесей, т.е. некачественное смешивание компонентов.

К разрабатываемым смесителям предъявляются жёсткие требования по качеству приготавливаемого корма, особенно при приготовлении концентрированных кормов. Их пищевая ценность и сбалансированность по питательным элементам достигается высокой равномерностью смешения компонентов этих кормов [1].

В Самарской ГСХА разработана конструкция смесителя кормов, позволяющая повысить качество смешения смеси за счёт того, что процесс смешивания происходит в результате движения частиц корма в бункере смесителя по кругу путём захвата их поочерёдно каждой из лопастей, что позволяет значительно увеличить объём перемещения частиц. Будет происходить смещение близлежащих к лопасти слоёв относительно остальных при вращательном движении ротора, и частицы корма будут иметь разные импульсы (рис. 1). Это способствует гомогенизации материала: движение различных по массе частиц будет хаотичным.

Смеситель состоит из бункера 1, разделённого перегородками 2 на отсеки для различных компонентов, причём перегородки расположены вдоль оси смесителя. Снизу бункера установлен гравитационный дозатор, выполненный в виде заслонки 3. Бункер 1 жёстко закреплён к корпусу смесителя, выполненного в виде горизонтального цилиндра, в котором расположен вал 4 с рабочими органами, выполненными в виде криволинейных лопастей 5. Подача готовой смеси из смесителя регулируется заслонкой 7. Привод вала смесителя 4 осуществляется электродвигателем 6.

Устройство работает следующим образом. Исходные компоненты засыпаются в отсеки, разделённые перегородками 2, выставленные на основании расчётов. При открывании заслонки 3 гравитационного дозатора они ссыпаются в корпус смесителя, где подхватываются лопастями 5, приводимыми в движение электродвигателем 6 через вал 4, перемешиваются и одновременно транспортируются к выгрузному окну, регулируемому заслонкой 7. Готовая смесь выгружается через выгрузное отверстие.

Степень однородности смеси обеспечивается разницей абсолютных скоростей частиц смеси [2–4]. В простейшем варианте это обеспечивается плоской радиально ориентированной лопастью (или набором лопастей), когда окружные скорости контактирующих частиц, разноудалённых от оси вращения, также будут разными [5].

Однако смесительный эффект радиально ориентированных лопастей недостаточно высок в связи с тем, что зона высоких окружных скоростей (верхней части лопасти) довольно мала. Таким образом, возникает задача увеличения окружных скоростей лопасти путём изменения её конфигурации [6].

Тривиальным решением был бы наклон лопасти на некоторый угол относительно радиального. Очевидно, что длина участка лопасти с высокими окружными скоростями при этом увеличивается. Тем не менее значительно большего эффекта можно достичь путём изменения формы лопасти посредством увеличения её кривизны.

Поиск такой кривой представляет достаточно сложную задачу. Дело в том, что из множества соответствующих кривых необходимо выбрать ту, которая в достаточной степени обеспечивала бы решение поставленной задачи [7, 8]. Задача сводится к тому, чтобы определить кривую с максимально протяжённой активной (наиболее удалённой от оси вращения) частью. Нетрудно видеть, что верхняя