

на себя внимание, что при $\omega_a \neq 0$ плотность зарядов ρ/ρ_k имеет везде конечное значение, в то время как при $\bar{\omega}_a = 0$ плотность зарядов у анода стремится к бесконечности.

Следует отметить, что полученные выражения для движения ионов справедливы для случая, когда скорость ионов у анода меньше, чем у катода ($\bar{\omega}_a = \omega_a / \omega_k < 1$ и $u_a < u_k$), так и для случая, когда скорость у анода больше, чем у катода ($\omega_a > 1$ и $u_a > u_k$).

Таким образом, полученные рассуждения позволяют сделать следующие выводы:

1. Проектирование движителей ионов озона должно осуществляться с учетом соотношения начальной и текущей скорости движения ионов, их расположения по отношению к аноду и катоду, а также напряженности электрического поля и плотности зарядов.

2. По мере увеличения начальной скорости ионов происходит возрастание плотности тока. Удаление ионов от анода сопровождается умень-

шением потенциала, ростом напряженности поля и уменьшением плотности зарядов.

3. Устройство электростатического движителя должно быть выполнено таким образом, чтобы скорость ионов озона на выходе из укоряющего электрода оказалась максимальной.

Список литературы

1. Андреев С.А., Судник Ю.А., Петрова Е.А. Ресурсосберегающее автономное теплоснабжение объектов АПК // Международный научный журнал. — 2011. — № 5. — С. 83–91.
2. Отопительный котел: пат. РФ № 119860 / С.А. Андреев, Ю.А. Судник, Е.А. Петрова, Д.А. Нормов. — Опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24.
3. Отопительный котел: положительное решение ФИПС РФ / С.А. Андреев, Ю.А. Судник, Е.А. Петрова, Н.И. Гурецкий. — № 2012153818 от 13.12.2012.
4. Фаворский О.Н., Фишгойт В.В., Янговский Е.И. Основы теории космических электрореактивных двигательных установок: учеб. пособие для вузов; под ред. О.Н. Фаворского. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высшая школа, 1978. — 384 с.

УДК 620:9

Е.А. Муравлёва

С.П. Рудобаишта, доктор техн. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.И. Горячкина

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ФЕРМЕРСКОГО ДОМА НА ОСНОВЕ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

На территории страны находится большое число обособленных фермерских домов, удаленных от энергосистем регионального или федерального значения, так значительная часть северо-восточной территории Российской Федерации не охвачена централизованным электроснабжением [1]. Снабжение обособленных фермерских домов необходимой электроэнергией в таких регионах осуществляется в большинстве случаев с помощью дизель-генераторов и полноценное энергообеспечение данных потребителей требует большого объема топлива, доставка которого чрезвычайно дорога [2]. Применение ветровых электроустановок малой мощности можно рассматривать как вариант, позволяющий снизить затраты на электроснабжение обособленных фермерских домов.

Энергетический потенциал ветра на территории России составляет около 10 млн т условного топлива в год. Скорость ветра является случайной переменной, изменяющейся по поверхности Земли, высоте и времени, тем не менее среднестатистические ветроэнергетические характеристики доста-

точно стабильны по отдельным регионам и периодам времени [3].

Для исследования эффективности электроснабжения фермерского дома на основе ветроэлектрической установки малой мощности было выбрано 11 регионов России, расположенных в районе городов Псков, Санкт-Петербург, Астрахань, Сочи, Красноярск, Чита, Якутск, Салехард, Петропавловск-Камчатский, Владивосток, Екатеринбург.

Потенциал ветроэнергетики в указанных регионах распределен не равномерно. Существуют регионы с достаточно высоким среднегодовым показателем: скорость ветра v вблизи таких городов, как Владивосток, равна 14,8 м/с, Петропавловск-Камчатский — 14,7 м/с. В то время как в регионе города Сочи средняя годовая скорость ветра не превышает 1,9 м/с, что является наименьшим показателем из представленных регионов. Средними показателями среднегодовой скорости ветра обладают регионы вблизи Пскова (6,2 м/с), Санкт-Петербурга (12 м/с), Астрахани (11,2 м/с), Красноярска (7,8 м/с), Читы (8,9 м/с), Якутска (5,4 м/с), Сале-

Таблица 1

Диаметр ветроколеса турбины и стоимость ВЭУ

Город	v_{min} , м/с	D , м	S , р.
Псков	4,5	9,3	784 455
Санкт-Петербург	9,5	3,0	253 050
Астрахань	8,8	3,4	286 790
Сочи	1,6	44,0	3 711 400
Красноярск	5,3	7,3	615 755
Чита	5,7	6,6	556 710
Якутск	2,6	21,3	1 796 655
Салехард	5,1	7,7	649 495
Петропавловск-Камчатский	8,9	3,4	286 790
Владивосток	9,2	3,2	269 920
Екатеринбург	10	2,8	236 180

Таблица 2

Средняя стоимость одного метра лопасти ветроколеса ВЭУ отечественных и зарубежных фирм производителей

Производители	P_r , р.
Зарубежные	
Southwest Windpower	27 055
ООО «Украинская альтернативная энергетика»	37 412
J. Vornay	39 187
ООО «Запорожье»	60 149
Winder	105 079
Landmark Alternative	131 533
Отечественные	
RKraft	46 042
ЗАО «Ветроэнергетическая компания»	57 419
ООО «МикроАрт»	80 357
Windenergy Company	85 608
ООО «ИнжИнвестСтрой»	97 740
ООО «ГРЦ-Вертикаль» (SRC Vertical)	139 854

харда (9,9 м/с), Екатеринбурга (12,3 м/с). При выборе ВЭУ необходимо руководствоваться показателями той местности, в которой планируется установка оборудования.

Скорость ветра — важнейший элемент в проектировании и использовании ветроустановки. В общем случае при среднегодовой скорости ветра более 4 м/с на высоте 10 м (на этой высоте на метеостанциях устанавливаются анемометры — приборы, измеряющие скорость ветра) возможно эффективное применение ветроустановок, а ветер с меньшей скоростью годится для водоподъемных устройств. Для ветроустановок, подключенных к сетям электроснабжения, приемлемой минимальной скоростью ветра является 6 м/с [4]. Возможная вырабатываемая мощность пропорциональна кубу скорости ветра и квадрату диаметра ветроколеса. Это означает, что при удвоении скорости ветра возможная вырабатываемая мощность увеличивается в 8 раз. Даже небольшое увеличение скорости ветра приводит к значительному увеличению мощности.

Введем обозначения: ВЭУ — ветровые электроустановки; СО — срок окупаемости, лет; ДЗ — денежные затраты, р.; ЭК — экономия денежных средств, р.; P_r — стоимость 1 м ветроколеса, р.; v — средние годовые показатели скорости ветра, м/с.

Индексы: Э25 — при централизованном электроснабжении фермерского дома за 25 лет эксплуатации; ВЭУ25 — при электроснабжении фермерского дома с помощью возобновляемых источников энергии за 25 лет эксплуатации; ДГ25 — при электроснабжении фермерского дома с помощью дизель-генератора за 25 лет эксплуатации.

Требуемый диаметр ротора ВЭУ с учетом проектируемой мощности ветроустановки $P = 3$ кВт (именно такая мощность, как показали расчеты, требуется для бытового электроснабжения фермерского дома) и скорости ветра в различных регионах России был рассчитан необходимый диаметр ветроколеса по формуле [5]:

$$D = \sqrt{\frac{4P}{\xi \pi v_{min}^3 \rho \eta_{ред} \eta_{ген}}}, \quad (1)$$

где ξ — коэффициент использования энергии ветра (в номинальном режиме для быстроходных ветряков достигает максимум $\xi_{max} = 0,4...0,5$), безмерная величина; D — диаметр ротора, м; v_{min} — минимальная скорость воздушного потока в году, м/с; $\rho = 1,25$ — плотность воздуха, кг/м³; $\eta_{ред} = 0,9$ — КПД редуктора, %; $\eta_{ген} = 0,95$ — КПД генератора, %; P — мощность установки, кВт.

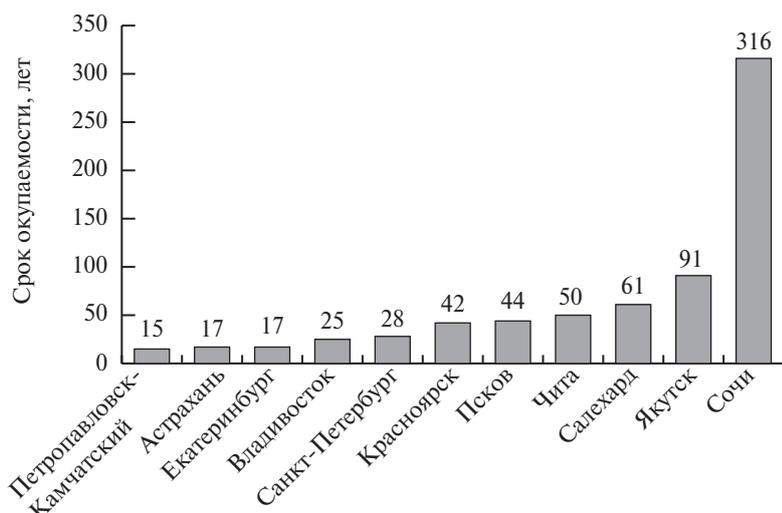
Результаты расчета диаметра ветроколеса ВЭУ (D , м) и стоимость установки (S , р.), при средней стоимости 1 м ветроколеса $P_r = 84 350$ р. приведены в табл. 1.

Показатель P_r был определен в результате анализа рынка ВЭУ, который показал, что существует большое разнообразие как зарубежных, так и оте-

чественных фирм-производителей ВЭУ (табл. 2). По проведенным авторами подсчетам средняя стоимость 1 м лопасти зарубежных ВЭУ составляет 84 350 р., в то время как отечественные производители выпускают ВЭУ средней стоимостью 122 664 р. за 1 м лопасть ветроколеса.

Наиболее дешевую продукцию выпускает фирма Southwest Windpower, США, 27 055 р./м. Из отечественных фирм-производителей наименьшая стоимость ВЭУ у компании RKraft — 46 042 р.

Минимальный диаметр ветроколеса ВЭУ, позволяющий покрыть расходы на электроснабжение обособленного фермерского дома, составляет $D = 2,8$ м в районе Екатеринбурга и максимальный диаметр $D = 44$ м в регионе вблизи города Сочи (см. табл. 1).



Срок окупаемости ВЭУ в различных климатических условиях России

Срок окупаемости ВЭУ (СО, р.) прямо пропорционален длине лопасти ветроколеса, так как стоимость установки возрастает от ее габаритов и обратно пропорционален экономии средств, полученных от отказа в использовании централизованного электроснабжения (рисунок).

Проведенные расчеты показали (см. рисунок), что наименьший срок окупаемости в регионах с наиболее высокими показателями скорости ветра Петропавловска-Камчатского СО = 15 лет (Астрахань, Екатеринбург СО = 17 лет). Наибольший срок окупаемости в регионах с городами Сочи и Якутск СО = 316 лет и СО = 91 год. Таким образом, срок окупаемости ВЭУ в регионах со скоростью ветра ниже 4 м/с настолько велик, что установка не окупится до истечения срока эксплуатации, который составляет 25 лет [5].

Очевидно, использование ВЭУ целесообразно только в тех регионах, срок окупаемости установки в которых не превышает 25 лет, а именно вблизи городов Петропавловск-Камчатский, Астрахань и Екатеринбург. Использование ВЭУ по сравнению с централизованным электроснабжением в районах этих городов принесет прибыль 186 210 р., 138 424 р. и 112 936 р. в течение срока эксплуатации установки (табл. 3).

Несмотря на то, что в большинстве регионов срок окупаемости ВЭУ превышает срок ее эксплуатации, намного целесообразнее использовать ВЭУ в качестве источника электроснабжения по сравнению с дизель-генераторной установкой или питанием

от централизованного источника электроснабжения. Для обоснования этого утверждения были проведены расчеты денежных затрат (ДЗ) при использовании различных источников электроснабжения, результаты которых приведены в табл. 3.

Электрификация фермерского дома в районе города Пскова с помощью централизованного электроснабжения будет составлять $ДЗ_{Э25} = 444\ 925$ р., в то время как затраты на применение ВЭУ будут ниже и составляют $ДЗ_{ВЭУ25} = 339\ 530$ р. В регионе Санкт-Петербурга электрификация фермерского дома в течение 25 лет с помощью ВЭУ обойдется в $ДЗ_{ВЭУ25} = 30\ 575$ р., экономия денежных средств (ЭК) составляет

$ЭК = 191\ 900$ р., по сравнению с получением энергии от централизованного источника электроснабжения. Экономия денежных средств от использования ВЭУ также наблюдается в регионах около городов: Астрахань (ЭК = 138 424 р.), Красноярск (ЭК = 112 045 р.), Чита (ЭК = 3590 р.), Петропавловск-Камчатский (ЭК = 186 210 р.), Екатеринбург (ЭК = 112 936 р.). В связи с тем, что в регионе вблизи города Владивосток срок окупаемости ВЭУ составляет 25 лет, то она окупится непосредственно перед истечением срока эксплуатации и экономия денежных средств будут равняться 0.

Вблизи городов Сочи и Якутска нецелесообразно применение ВЭУ, так как затраты на электрификацию с их помощью в 11,7 и 2,6 раз превышают затраты на централизованное электроснабжение объектов. При отсутствии централизованной электрификации объекта вблизи города Сочи эко-

Таблица 3

Денежные затраты на электрификацию индивидуального фермерского дома за 25 лет с помощью различных вариантов электроснабжения

Город	Электричество	ВЭУ	Дизель-генератор
	ДЗ _{Э25} , р.	ДЗ _{ВЭУ25} , р.	ДЗ _{ДГ25} , р.
Псков	444 925	339 530	1 805 175
Санкт-Петербург	222 475	30 575	1 812 175
Астрахань	432 575	+138 424	1 670 350
Сочи	293 875	3 417 525	1 693 125
Красноярск	363 900	251 855	1 815 100
Чита	280 150	276 560	1 910 800
Якутск	491 625	1 305 030	2 166 450
Салехард	267 650	381 845	1 724 625
Петропавловск-Камчатский	465 525	+186 210	2 217 225
Владивосток	265 850	0	2 037 450
Екатеринбург	352 925	+112 936	1 791 750

номически выгоднее использовать дизель-генераторную установку. По сравнению с ВЭУ она позволит сэкономить $\Delta K = 1\,724\,400$ р. за 25 лет использования оборудования. В районе города Якутска выгоднее использовать ВЭУ, так как затраты на использование дизель-генератора (из-за высоких цен на топливо) превышают затраты на использование ВЭУ на 861 420 р. в расчете на 25 лет.

Заключение

Применение ВЭУ на территории России позволяет сэкономить денежные затраты на отопление по сравнению с централизованным электроснабжением и дизель-генератором практически во всех представленных регионах, за исключением регионов вблизи городов Сочи, Якутск и Салехард. Применение ВЭУ в течение 25 лет вблизи городов Петропавловск-Камчатский, Астрахань и Екате-

ринбург позволит получить прибыль 186 210 р., 138 424 р. и 112 936 р. соответственно.

Список литературы

1. Перминов Э.М., Козлов Б.М. Состояние работ по нетрадиционной энергетике в РАО «ЕЭС России». Энергосбережение в сельском хозяйстве: тр. 2-й Международной научно-технической конференции. — М.: ГНУ ВИЭСХ, 2000. — Ч. 2. — 50 с.
2. Елистратов В.В. Мониторинг развития возобновляемой энергетики в мире и России // Академия энергетики. — 2008. — № 2. — С. 22–44.
3. Рудобашта С.П. Теплотехника. — М.: КолосС, 2010. — 600 с.
4. Кашкаров А.П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. — М.: ДМК Пресс, 2011. — 144 с.
5. Кривцов В.С., Олейников А.М. Неисчерпаемая энергия: кн. 2. Ветроэнергетика: учеб. пособие. — Харьков: Изд-во Политехн. ун-та, 2004. — 520 с.

УДК 631.5:634.721

А.А. Цымбал, доктор с.-х. наук

Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина

Д.О. Хорт

Всероссийский селекционно-технологический институт садоводства и питомниководства Россельхозакадемии

ОСВОЕНИЕ ПРИНЦИПОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ УРОЖАЯ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ПРОЕКТИРОВАНИИ АГРОТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЧЕРНОЙ СМОРОДИНЫ

Многолетние исследования и обобщение результатов работ по фотосинтезу, минеральному питанию, водному режиму, продуктивности растений позволили академику ВАСХНИЛ И.С. Шатилову обосновать общие экологические, биологические и агротехнические условия программирования урожая сельскохозяйственных культур, сформировав десять принципов программирования [1]. Из них пять предназначены для определения величины возможного урожая на основе следующих факторов:

- приход фотосинтетически активной радиации (ФАР) и использование ее посадками;
- биоклиматические показатели;
- влагообеспеченность посадок;
- фотосинтетический потенциал посадок;
- потенциальные способности к продуктивности культуры.

Другие составляют технологическую схему программированного возделывания культур:

- разработка системы удобрения с учетом эффективного плодородия почвы;
- разработка комплекса агротехнических мероприятий для каждой культуры в отдельности;

- всесторонний учет и правильное применение основных законов и закономерностей земледелия и растениеводства;
- разработка конкретных мер по борьбе с болезнями и вредителями растений;
- использование ЭВМ для определения оптимального варианта агротехнических комплексов, обеспечивающих получение высокого урожая.

Применительно к возделыванию черной смородины с учетом результатов научно-экспериментальных исследований в области ягодоводства можно принять, что получение запланированного урожая обеспечивается на основе учета и управления такими основными факторами, как особенности сорта, приход ФАР в течение вегетационного периода, структура посадок (в частности, густота и пространственное размещение растений), наличие базового и дополнительно необходимого в почве набора удобрений, температура воздуха, влажность почвы, достаточность используемых агроприемов, степень механизации технологических процессов и применение экономически оправданных технических средств [2].