

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Научная статья

УДК 620.92(470.45)

DOI 10.48012/1817-5457_2025_1_136-148

ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА АВТОНОМНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ НА БАЗЕ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ СОЛНЦА И ВЕТРА В ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аникеев Сергей Владимирович[✉], **Богданов Сергей Иванович**, **Коннов Игорь Олегович**
ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, Волгоград, Россия
anikeevvlg@yandex.ru

Аннотация. Сокращение запасов ископаемого топлива и рост экологических проблем стимулируют развитие возобновляемых источников энергии. Для России, где более 50 % удаленных территорий зависят от дизельных генераторов, внедрение гибридных систем критически важно для снижения затрат, повышения энергонезависимости, что может способствовать снижению начальной стоимости продукта и позволит ускорить освоение удаленных от энергосетей территорий. Цель исследования – оценка потенциала, определение сезонной динамики и возможной эффективности использования автономных энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии ветра и солнца в Волгоградской области. На основе данных NASA о почасовых показателях скорости ветра и солнечной радиации за 12 лет рассчитана удельная мощность воздушного потока и среднечасовая солнечная радиация для 34 районов региона. Выполнен анализ распределения времени генерации энергии по градиациям: отсутствие выработки, работа только ветровых/солнечных установок, генерация от обоих источников энергии. В результате исследования было выявлено, что в среднем по региону максимальная одновременная генерация наблюдается летом и составляет 48,3 %, минимальная – зимой (24,7 %), доля простоя системы варьирует от 4,1 % до 4,7 % и выпадает на осенний период, среднегодовое время одновременной работы от обоих источников – 36,1 %. При этом в летние месяцы доминирует солнечная энергия, а зимой ветровая. В итоге среднее суммарное время простоя гибридной системы составляет 3,7–4,3 суток в сезон, что возможно скомпенсировать резервированием. Это также подтверждает возможность их использования для энергоснабжения малых предприятий и АПК при условии интеграции с накопителями или другими источниками.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, ресурсы возобновляемой энергетики, потенциал возобновляемой энергетики, ветроэнергетика, солнечная энергетика.

Для цитирования: Аникеев С. В., Богданов С. И., Коннов И. О. Оценка потенциала автономных энергетических комплексов на базе совместного использования энергии солнца и ветра в Волгоградской области // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 1 (81). С. 136–148. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_1_136-148.

Актуальность. Вопросы, связанные с постоянным сокращением ископаемого топлива и увеличением проблем экологического характера, мотивируют весь мир на развитие более глубокого использования энергетических ресурсов и более системное и масштабируемое внедрение возобновляемых источников энергии (ВИЭ), которые в основном базируются на преобразовании энергии солнца, ветра, водных потоков, геотермальных ресурсов и энергии биомассы. Основными задачами совместного использования чистой энергетики и топлива на основе процессов сгорания являются: уменьшение влияния негативного фактора на окружающую среду и торможение

климатических изменений при покрытии растущего энергетического спроса; более рациональное и глубокое использование ископаемого топлива и снижение темпов его потребления при постоянном сокращении существующих запасов; снижение стоимости выработки энергии за счет уменьшения затрат на транспортировку и распределение энергии; снижение затрат от потерь во время передачи на большие расстояния; повышение энергетической независимости и безопасности за счет децентрализации энергообеспечения. Однако экономическая эффективность использования возобновляемых природных ресурсов варьирует в зависимости от множества таких факторов, как экономиче-

ские условия, наличие и качество ископаемого топлива, региональные и сезонные особенности и проч. [9, 15].

В странах Западной Европы, США, Австралии в освоении и развитии возобновляемых источников энергии существует система льгот для стимулирования развития и внедрения возобновляемой энергетики, во многих странах на законодательном уровне прописано целевое потребление возобновляемых источников энергии в общем энергобалансе страны. Запуск станций на возобновляемой энергии значительно превосходит аналогичный показатель для станций на ископаемом топливе, при этом обслуживание для чистых станций в основном дешевле.

Также существенным препятствием является инвестиционный показатель окупаемости, который может составлять несколько десятков лет, в зависимости от масштабов и вариации энергетической установки, воздействующих внешних факторов, влияющих на выработку энергии. С позиции макроэкономики Россия обеспечена в достаточной мере энергоресурсами на основе углеводородов, но, несмотря на данный статус, энергетическая ситуация в регионах требует повышения энергонезависимости, часть регионов имеет энергодефицитный статус, так как требуется привоз топлива из более обеспеченных данным ресурсом регионов.

Недостаточно высокий уровень применения (глубина проработки) топливно-энергетических ресурсов и технологический цикл «добыча-производство-потребление-отходы» увеличивает количество ресурсозатрат для производства условной единицы продукции. Основу энергетического сектора страны составляют в основном тепло-, гидро- и атомные электростанции, на долю которых приходится более 95 % рынка энергии. При этом в России активно применяется технология БиоТЭС, ее показатель значительно выше общемирового в процентном соотношении, так же, как и доля малых ГЭС значительно превышает этот показатель по миру, но общие темпы развития ВИЭ отстают от общемировых [4, 7, 13].

Оценка потенциала возможного использования различных возобновляемых ресурсов должна быть одной из основных составляющих программы по подготовке и реализации развития более масштабного внедрения ВИЭ с учетом их вклада в достижение конкретных целей. Более масштабное внедрение возобновляемой энергетики в перспективе может обеспечить быстрое экономическое и техническое

развитие регионов и страны в целом. Малая энергетика в России в значительной степени зависит от дизельных генераторов и дизельных электростанций, которые обеспечивают автономное электроснабжение на территориях, удаленных и изолированных от общих электросетей, которые составляют более 50 % страны. Эти генерирующие энергостанции в основном работают на завозном ископаемом топливе, однако использование данных источников энергии обходится значительно дороже для получения киловатт-часа вырабатываемой мощности, чем в централизованных энергосетях.

Снижение использования и уменьшение зависимости от привозного топлива становится важной задачей. Одним из эффективных путей решения этой проблемы является использование возобновляемых источников энергии. Внедрение гибридных энергокомплексов, например, ветро-солнечно-дизельных или солнечно-гидро-дизельных установок, как дополнение генерирующих мощностей на основе ископаемого топлива, так и полностью на источниках возобновляемой энергии, способно значительно сократить потребление углеводородного топлива, повысить энергетическую эффективность для выработки киловатт-часа и снизить себестоимость единицы получаемой мощности.

Однако существующие на рынке автономные энергосистемы на базе ВИЭ часто ограничены в возможностях расширения и интеграции новых источников генерации, что связано с различиями в параметрах вырабатываемой электроэнергии. Недостаток универсальных решений для объединения различных типов энергетических установок в единую систему с эффективным управлением препятствует развитию малой энергетики. Решение этой проблемы является важной научно-технической задачей, направленной на повышение надежности и экономической эффективности энергоснабжения в отдаленных и автономных зонах, с экономической и технической точки зрения, автономные системы обладают также значительным минусом в плане аккумуляции энергии в моменты ее избыточной выработки относительно потребления для последующего использования в дефицитный период.

Наиболее перспективной моделью для таких зон является создание автономных энергетических комплексов, включающих интеграцию ветровых и солнечных электростанций в топливные системы электроснабжения. Эти гибридные системы способны повысить надежность энергоснабжения и снизить зависимость

от ископаемого топлива. Различные варианты сочетания электростанций: ветряных энергоустановок (ВЭУ), фотоэлектрических систем генерации энергии (ФЭУ) и мини-гидроэлектростанций могут отличаться по составу оборудования и техническим характеристикам, но в целом их использование позволит существенно увеличить долю возобновляемой энергии в энергетическом балансе регионов и сократить расходы на производство электроэнергии [2, 6].

Цель работы – оценка потенциала, определение сезонной динамики и возможной эффективности использования автономных энергетических комплексов на основе возобновляемых источников энергии ветра и солнца в Волгоградской области.

Материал и методы исследования. Комбинирование различных возобновляемых источников энергии, таких как солнечные и ветровые установки, которые подвержены колебаниям выработки, с традиционными источниками, независимыми от погодных условий, позволит создать стабильную энергетическую систему с высоким уровнем надежности и долгосрочной экономической эффективностью. Применение возобновляемых источников может быть оптимизировано за счет перекрытия временных интервалов потребности в электроэнергии и хранения излишков выработанной энергии в аккумуляторных системах, что позволит использовать избыточную энергию в период ее нехватки, тем самым минимизируя зависимость от дополнительных источников.

В случае, когда возобновляемые установки временно не производят энергию и ранее накопленный запас энергии исчерпан, подключение резервных бензиновых или дизельных генераторов обеспечит бесперебойное электроснабжение. Этот подход не только гарантирует бесперебойную работу системы, но и позволяет снизить расходы на топливо, минимизируя время работы резервных генераторов. Таким образом, такой энергокомплекс становится высокоэкономичным решением, позволяющим рационально использовать топливные ресурсы и стабильно поддерживать нагрузку при низких затратах в долгосрочной перспективе [8, 14].

Использование солнечной энергии накладывает ряд сложностей в проектировании, как, например, количество вырабатываемой энергии в зависимости от чистоты солнечных панелей, так и использование различных методов позиционирования панелей для получения

более эффективного результата работы в составе комплекса. Также продолжительность светового дня накладывает ряд ограничений на использование, несмотря на то, что ведутся разработки для улучшения солнечных панелей, чтобы они могли вырабатывать энергию и в ночное время. Например, данные исследования представлены в работе Мандея из университета Мериленд: при идеальных условиях с 1 м^2 возможно получить 50 Вт, и в данный момент ведется работа над усовершенствованием этого вида панелей для дальнейшего массового производства. Это приводит к необходимости компенсации данного источника в неактивный период [5, 10, 12, 16-17].

Скорость ветра и плотность воздуха являются динамически изменяющимися величинами, в частности, плотность воздуха зависит от температуры и давления, что является микроклиматическими показателями в определенный период времени. Энергия ветра, используемая в генерации, также является источником непостоянной энергии и зависит от сезонности, движения воздушных масс, микрорельефа территории и наличия водоемов, что приводит к необходимости ее резервирования. На выработку энергии при помощи ветрогенерации также влияет продолжительность непрерывного ветра для более эффективного преобразования [1, 3, 11].

Источником первоначальных данных для анализа послужили данные из почасовой электронной базы NASA на уровне 50 м, что является приемлемой высотой для установок средней мощности при использовании ВЭУ [18].

Расчет удельной мощности воздушного потока производился по формуле:

$$N_{уд} = \rho Vc^3/2,$$

где ρ – плотность воздуха (при нормальных условиях равна $1,2041$), кг/м^3 ; Vc – средняя скорость ветра, м/с .

Данные после обработки почасовых показателей за последние 12 лет представлены в таблице 1.

Выбор места для установки автономной энергетической системы критически важен, поскольку качество и количество вырабатываемой энергии зависит от внешних природных факторов, которые должны находиться в определенных пределах и соотношениях, чтобы взаимокompенсация источников была полной и сводилась к минимуму использования энергии, получаемой из углеводородов.

Таблица 1 – Характеристика районов Волгоградской области

Показатель	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Алексеевский район													
Vc, м/с	7,0	7,3	7,2	6,8	5,9	5,6	5,3	5,5	6,0	6,5	6,6	7,2	6,4
Pc, Вт·ч/м ²	42	87	140	185	241	271	257	227	158	88	42	27	147
Нуд, Вт	204	233	227	193	123	105	90	102	132	166	176	221	159
Быковский район													
Vc, м/с	7,0	7,3	7,2	6,8	5,9	5,6	5,3	5,5	6,0	6,5	6,6	7,2	6,4
Pc, Вт·ч/м ²	42	87	140	185	241	271	257	227	158	88	42	27	147
Нуд, Вт	204	233	227	193	123	105	90	102	132	166	176	221	159
Волгоград													
Vc, м/с	6,9	7,2	7,5	7,0	6,1	5,7	5,6	5,9	6,2	6,4	6,6	7,0	6,5
Pc, Вт·ч/м ²	42	82	132	198	247	288	266	237	171	105	52	33	154
Нуд, Вт	197	229	249	205	135	112	103	125	141	160	173	207	166
Волжский													
Vc, м/с	6,8	7,2	7,3	6,9	6,1	5,8	5,6	6,0	6,2	6,5	6,5	6,9	6,5
Pc, Вт·ч/м ²	42	82	132	198	247	288	266	237	171	105	52	33	154
Нуд, Вт	189	222	239	202	139	117	104	128	141	162	168	198	164
Городищенский район													
Vc, м/с	6,9	7,3	7,4	6,9	6,1	5,7	5,5	5,9	6,2	6,5	6,6	7,0	6,5
Pc, Вт·ч/м ²	42	82	132	198	247	288	266	237	171	105	52	33	154
Нуд, Вт	199	232	245	201	135	114	102	125	143	163	174	207	166
Даниловский район													
Vc, м/с	7,2	7,5	7,4	7,0	6,1	5,7	5,4	5,8	6,1	6,6	6,7	7,2	6,6
Pc, Вт·ч/м ²	42	88	142	189	243	275	258	228	156	90	42	28	148
Нуд, Вт	222	249	246	210	134	111	95	115	138	174	180	225	169
Дубовский район													
Vc, м/с	6,8	7,2	7,3	6,9	6,1	5,8	5,6	6,0	6,2	6,5	6,5	6,9	6,5
Pc, Вт·ч/м ²	43	88	137	194	246	281	260	232	164	98	48	31	152
Нуд, Вт	189	222	239	202	139	117	104	128	141	162	168	198	164
Еланский район													
Vc, м/с	7,1	7,4	7,4	7,0	6,0	5,7	5,4	5,7	6,1	6,6	6,7	7,2	6,5
Pc, Вт·ч/м ²	42	87	140	185	241	271	257	227	158	88	42	27	147
Нуд, Вт	214	247	242	208	131	111	95	109	136	175	178	223	167
Жирновский район													
Vc, м/с	7,2	7,5	7,5	7,2	6,2	5,8	5,5	5,8	6,1	6,8	6,7	7,3	6,6
Pc, Вт·ч/м ²	42	88	142	189	243	275	258	228	156	90	42	28	148
Нуд, Вт	228	253	252	220	144	116	100	120	139	186	184	231	176
Иловлинский район													
Vc, м/с	7,0	7,3	7,3	6,9	6,0	5,6	5,4	5,8	6,1	6,5	6,6	7,1	6,5
Pc, Вт·ч/м ²	44	85	134	188	242	277	259	231	164	95	46	29	150
Нуд, Вт	205	235	237	196	129	107	96	116	140	162	176	214	163
Калачевский район													
Vc, м/с	7,0	7,3	7,5	7,0	6,0	5,7	5,6	5,9	6,2	6,5	6,7	7,1	6,5
Pc, Вт·ч/м ²	44	80	130	193	243	282	261	236	170	103	51	31	152
Нуд, Вт	206	236	251	204	133	112	106	126	145	163	180	215	169
Камышинский район													
Vc, м/с	6,8	7,1	7,3	7,0	6,1	5,8	5,5	6,0	6,1	6,5	6,5	6,9	6,5
Pc, Вт·ч/м ²	42,0	87,9	141,8	188,7	243,2	274,7	257,9	228,3	156,3	90,3	42,3	27,7	148,4
Нуд, Вт	190,0	218,9	233,8	206,3	139,9	115,3	99,5	128,0	136,2	168,8	167,3	198,3	163,3
Киквидзинский район													
Vc, м/с	7,1	7,4	7,3	7,0	6,0	5,7	5,4	5,6	6,1	6,6	6,7	7,2	6,5
Pc, Вт·ч/м ²	42	87	140	185	241	271	257	227	158	88	42	27	147
Нуд, Вт	213	247	239	204	129	110	93	106	136	174	180	227	166
Клетский район													
Vc, м/с	7,0	7,3	7,3	6,8	5,9	5,6	5,4	5,7	6,1	6,4	6,6	7,1	6,4
Pc, Вт·ч/м ²	44	85	134	188	242	277	259	231	164	95	46	29	150
Нуд, Вт	204	232	232	191	123	103	94	109	137	159	176	216	160
Котельниковский район													
Vc, м/с	7,1	7,2	7,4	6,9	6,0	5,7	5,7	6,0	6,3	6,5	6,8	7,2	6,6
Pc, Вт·ч/м ²	42	77	128	198	244	279	266	238	175	110	54	33	154

Продолжение табл. 1

Показатель	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Котельниковский район													
Нуд, Вт	216	228	245	197	131	113	110	132	150	168	191	229	172
Котовский район													
Ус, м/с	7,1	7,4	7,4	7,1	6,1	5,7	5,4	5,8	6,1	6,6	6,7	7,2	6,6
Рс, Вт·ч/м ²	42	88	142	189	243	275	258	228	156	90	42	28	148
Нуд, Вт	218	244	247	213	140	114	97	120	137	177	179	222	171
Кумылженский район													
Ус, м/с	6,9	7,2	7,2	6,8	5,9	5,5	5,3	5,6	6,0	6,5	6,6	7,1	6,4
Рс, Вт·ч/м ²	44	85	134	188	242	277	259	231	164	95	46	29	150
Нуд, Вт	200	229	226	187	122	103	90	104	132	162	174	219	157
Ленинский район													
Ус, м/с	6,7	7,1	7,4	6,9	6,1	5,7	5,5	5,9	6,1	6,4	6,5	6,9	6,4
Рс, Вт·ч/м ²	42	82	132	198	247	288	266	237	171	105	52	33	154
Нуд, Вт	184	215	239	201	137	113	101	124	137	155	165	195	160
Михайловский район													
Ус, м/с	7,0	7,3	7,3	6,8	5,9	5,6	5,3	5,6	6,1	6,5	6,6	7,1	6,4
Рс, Вт·ч/м ²	42	87	140	185	241	271	257	227	158	88	42	27	147
Нуд, Вт	203	232	231	192	124	104	91	107	134	163	176	217	159
Нехаевский район													
Ус, м/с	7,1	7,4	7,3	6,8	5,9	5,6	5,4	5,6	6,1	6,6	6,7	7,3	6,5
Рс, Вт·ч/м ²	45	85	137	184	244	270	258	225	158	86	41	28	147
Нуд, Вт	213	243	231	193	123	107	93	105	134	171	182	233	163
Николаевский район													
Ус, м/с	7,0	7,4	7,3	6,9	5,9	5,6	5,3	5,6	6,1	6,6	6,7	7,2	6,5
Рс, Вт·ч/м ²	42,1	86,8	140,4	185,4	241,5	271,5	257,5	226,8	158,0	88,3	41,7	26,8	147,2
Нуд, Вт	210,2	243,0	233,5	198,0	125,2	107,7	91,5	104,4	134,2	173,5	179,2	228,9	163,4
Новоаннинский район													
Ус, м/с	7,0	7,4	7,3	6,9	5,9	5,6	5,3	5,6	6,1	6,6	6,7	7,2	6,5
Рс, Вт·ч/м ²	42	87	140	185	241	271	257	227	158	88	42	27	147
Нуд, Вт	210	243	233	198	125	108	92	104	134	174	179	229	163
Октябрьский район													
Ус, м/с	7,1	7,3	7,5	7,0	6,1	5,8	5,7	6,0	6,3	6,5	6,8	7,2	6,6
Рс, Вт·ч/м ²	42	77	128	198	244	279	266	238	175	110	54	33	154
Нуд, Вт	217	238	257	210	137	117	110	132	150	168	190	229	175
Ольховский район													
Ус, м/с	7,1	7,5	7,4	7,0	6,1	5,7	5,5	5,9	6,2	6,6	6,7	7,2	6,6
Рс, Вт·ч/м ²	43	88	137	194	246	281	260	232	164	98	48	31	152
Нуд, Вт	218	250	246	209	137	113	99	122	144	173	182	223	171
Палласовский район													
Ус, м/с	6,9	7,2	7,2	7,0	6,2	5,7	5,6	6,0	6,1	6,6	6,5	6,9	6,5
Рс, Вт·ч/м ²	44	92	146	194	250	280	261	231	156	93	45	30	152
Нуд, Вт	201	222	228	205	145	113	105	130	138	172	165	201	165
Руднянский район													
Ус, м/с	7,2	7,5	7,4	7,1	6,1	5,7	5,4	5,8	6,1	6,7	6,7	7,2	6,6
Рс, Вт·ч/м ²	42	88	142	189	243	275	258	228	156	90	42	28	148
Нуд, Вт	221	250	246	213	136	113	97	115	136	178	179	225	170
Светлоярский район													
Ус, м/с	6,7	7,1	7,4	6,9	6,1	5,7	5,5	5,9	6,1	6,4	6,5	6,9	6,4
Рс, Вт·ч/м ²	42	82	132	198	247	288	266	237	171	105	52	33	154
Нуд, Вт	184	215	239	201	137	113	101	124	137	155	165	195	160
Серафимовичский район													
Ус, м/с	7,0	7,3	7,3	6,8	5,9	5,6	5,4	5,6	6,1	6,4	6,7	7,2	6,4
Рс, Вт·ч/м ²	44	85	134	188	242	277	259	231	164	95	46	29	150
Нуд, Вт	209	236	234	191	124	103	95	107	137	161	178	225	161
Среднеахтубинский район													
Ус, м/с	6,7	7,1	7,4	6,9	6,1	5,7	5,5	5,9	6,1	6,4	6,5	6,9	6,4
Рс, Вт·ч/м ²	42	82	132	198	247	288	266	237	171	105	52	33	154
Нуд, Вт	184	215	239	201	137	113	101	124	137	155	165	195	160
Старополтавский район													
Ус, м/с	6,8	7,1	7,2	7,0	6,2	5,7	5,5	5,9	6,0	6,6	6,5	6,8	6,4

Окончание табл. 1

Показатель	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Старополтавский район													
P_c , Вт·ч/м ²	44	92	146	194	250	280	261	231	156	93	45	30	152
$N_{уд}$, Вт	190	212	227	206	142	112	99	124	131	172	164	193	161
Суровикинский район													
V_c , м/с	6,9	7,2	7,4	6,9	6,0	5,7	5,6	5,9	6,2	6,4	6,7	7,0	6,5
P_c , Вт·ч/м ²	43,9	80,0	130,1	193,1	243,4	282,3	261,5	235,7	170,4	103,5	51,3	30,8	152,2
$N_{уд}$, Вт	202,0	229,4	240,2	194,8	130,2	110,3	105,4	123,6	145,3	161,2	178,3	210,9	165,3
Урюпинский район													
V_c , м/с	7,0	7,4	7,3	6,8	5,9	5,6	5,4	5,6	6,0	6,6	6,7	7,3	6,5
P_c , Вт·ч/м ²	42	87	140	185	241	271	257	227	158	88	42	27	147
$N_{уд}$, Вт	210	242	231	192	122	107	93	103	133	175	180	234	163
Фроловский район													
V_c , м/с	7,1	7,4	7,4	6,9	6,0	5,7	5,4	5,8	6,2	6,5	6,7	7,2	6,5
P_c , Вт·ч/м ²	44	85	134	188	242	277	259	231	164	95	46	29	150
$N_{уд}$, Вт	212	242	240	202	132	109	97	116	142	168	180	220	167
Чернышевский район													
V_c , м/с	6,9	7,2	7,3	6,8	5,9	5,6	5,6	5,9	6,2	6,4	6,6	7,1	6,5
P_c , Вт·ч/м ²	44	80	130	193	243	282	261	236	170	103	51	31	152
$N_{уд}$, Вт	202	228	234	190	127	107	103	121	144	159	177	212	163

Примечание: V_c – средняя скорость ветра на высоте 50 м, м/с; P_c – среднечасовая солнечная радиация в сутки, Вт·ч/м²; $N_{уд}$ – удельная мощность воздушного потока, Вт.

По информации различных поставщиков и производителей, ветроустановка начинает выработку электроэнергии при скорости ветра от 3 м/с, при этом в большинстве установок номинальным показателем является 10 м/с. Для каждого района данные обработаны с целью определения долевого распределения вре-

мени, в течение которого отсутствует генерация энергии от солнца и ветра (при скорости ветра ниже 3 м/с). Были вычислены пропорции времени, когда генерация энергии осуществляется только одним источником возобновляемой энергии, и процент времени, когда работают оба источника. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Помесячное распределение возобновляемых энергоресурсов

Градации по использованию, %*	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Алексеевский район													
1	4,1	4,0	3,7	4,1	4,6	4,0	5,4	5,1	5,2	4,0	4,1	4,6	4,4
2	71,7	61,5	53,8	46,6	38,6	36,1	36,1	41,9	48,8	59,7	67,4	76,7	53,3
3	2,9	3,1	4,4	5,1	9,2	9,2	12,0	10,6	6,9	3,4	2,3	1,9	5,9
4	21,2	31,3	38,0	44,2	47,7	50,7	46,5	42,4	39,0	32,8	22,9	16,7	36,1
Быковский район													
1	4,3	3,5	2,9	4,0	4,4	3,6	5,6	3,8	5,3	4,2	4,3	5,1	4,2
2	76,0	68,8	62,2	56,5	52,3	54,5	53,4	58,7	58,6	67,5	72,2	77,8	63,2
3	2,7	3,1	4,1	6,1	9,6	9,6	11,7	7,5	7,3	4,2	2,6	2,5	5,9
4	22,6	31,6	38,0	43,5	47,2	48,5	46,0	45,5	38,8	33,1	24,6	18,9	36,5
Волгоград													
1	4,5	4,5	3,9	3,6	4,5	3,6	3,7	3,6	5,0	4,8	4,2	5,0	4,2
2	70,1	61,3	54,7	47,0	38,9	38,3	38,8	43,7	48,8	57,7	64,7	72,8	53,1
3	2,5	3,4	3,1	5,3	8,9	9,6	9,8	7,4	6,0	4,1	3,0	2,4	5,5
4	22,8	30,8	38,3	44,2	47,6	48,5	47,7	45,3	40,1	33,3	24,8	19,7	36,9
Волжский													
1	4,1	3,5	4,0	4,2	4,4	2,9	4,1	3,6	4,7	4,0	4,3	4,9	4,1
2	70,5	62,2	54,6	46,4	39,1	39,0	38,5	43,7	49,2	58,6	64,7	73,0	53,3
3	2,7	3,2	3,6	6,3	8,6	9,1	10,1	8,0	6,1	4,5	2,9	2,5	5,6
4	22,6	31,1	37,9	43,2	48,0	49,0	47,5	44,7	40,1	33,0	24,9	19,6	36,8
Городищенский район													
1	4,2	3,6	3,7	4,2	4,5	3,5	4,5	3,8	4,6	3,9	4,1	4,8	4,1
2	70,4	62,1	54,9	46,4	38,9	38,5	38,0	43,5	49,3	58,6	64,8	73,1	53,2
3	2,4	3,2	3,4	5,5	8,4	9,2	10,1	8,7	5,5	4,0	2,8	2,3	5,5

Продолжение табл. 2

Градация по использованию, %*	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Городищенский район													
4	22,9	31,0	38,0	43,9	48,2	48,9	47,5	44,0	40,6	33,4	25,1	19,7	36,9
Даниловский район													
1	3,8	3,9	3,4	3,7	4,7	4,1	5,7	4,7	5,0	4,2	4,1	4,4	4,3
2	71,5	61,7	54,2	46,7	38,4	37,7	36,5	42,2	49,4	59,3	67,9	75,4	53,4
3	2,3	3,3	4,2	4,8	9,0	8,7	11,2	8,4	6,9	3,6	2,2	2,4	5,6
4	22,4	31,1	38,2	44,8	48,0	49,7	46,7	44,8	38,9	32,9	22,6	17,9	36,5
Дубовский район													
1	4,0	3,5	3,9	4,2	4,3	3,0	4,0	3,6	4,8	4,1	4,4	4,9	4,1
2	70,5	61,8	54,0	46,2	38,8	39,0	38,3	43,5	49,2	58,7	65,2	73,8	53,3
3	2,8	3,2	3,6	6,3	8,6	9,1	10,1	8,1	6,0	4,5	2,8	2,5	5,6
4	22,5	31,5	38,5	43,4	48,2	49,0	47,6	44,9	40,1	32,8	24,4	18,8	36,8
Еланский район													
1	3,6	3,7	3,8	3,4	4,6	3,8	5,0	4,6	5,2	4,4	4,4	4,3	4,2
2	72,2	61,8	53,7	47,3	38,6	36,4	36,6	42,4	48,9	59,3	67,2	77,0	53,5
3	2,5	3,0	4,4	4,9	9,5	8,5	11,4	9,1	6,8	3,7	2,5	2,0	5,7
4	21,6	31,4	38,1	44,4	47,4	51,4	47,1	43,9	39,0	32,5	22,7	16,6	36,3
Жирновский район													
1	3,7	3,8	3,6	3,4	4,2	4,2	5,4	3,9	5,4	3,4	4,8	3,8	4,1
2	71,6	61,7	54,0	47,0	38,9	37,6	36,8	42,9	48,9	60,0	67,1	76,0	53,5
3	2,0	3,2	4,1	4,2	8,1	8,5	10,7	7,6	7,1	3,2	2,0	2,2	5,2
4	22,8	31,2	38,3	45,4	48,8	49,8	47,2	45,6	38,7	33,3	22,8	18,1	36,8
Иловлинский район													
1	4,2	4,3	4,1	4,1	4,1	4,2	4,9	3,9	4,5	3,8	3,9	4,9	4,2
2	71,1	61,4	53,9	46,6	39,3	36,6	37,3	43,6	49,6	59,5	66,0	74,3	53,3
3	2,5	3,4	3,3	5,9	8,7	9,7	10,7	9,4	5,4	3,8	2,3	2,3	5,6
4	22,2	30,9	38,8	43,5	47,8	49,6	47,2	43,1	40,4	32,9	24,5	18,4	36,6
Калачевский район													
1	4,7	5,1	3,9	4,1	4,7	3,9	4,3	4,0	5,2	4,8	4,4	5,1	4,5
2	70,0	61,1	54,4	46,7	39,0	37,6	38,2	43,7	48,7	57,6	64,6	72,9	52,9
3	2,5	3,5	3,2	5,1	8,6	9,9	9,7	7,6	6,0	4,1	2,9	2,2	5,5
4	22,7	30,4	38,4	44,1	47,5	48,6	47,7	44,7	40,1	33,5	24,9	19,7	36,9
Камышинский район													
1	4,4	3,5	2,9	4,0	4,3	3,6	5,4	3,8	5,4	4,3	4,5	5,1	4,3
2	70,9	62,1	54,7	46,4	38,8	38,2	36,7	43,0	48,8	59,2	67,5	74,7	53,4
3	2,6	3,1	4,1	6,1	9,6	9,6	11,9	7,5	7,2	4,1	2,3	2,5	5,9
4	22,1	31,3	38,3	43,5	47,4	48,7	46,0	45,7	38,5	32,4	22,4	17,8	36,2
Киквидзинский район													
1	3,5	3,6	3,5	3,7	4,7	3,7	5,3	4,9	5,2	4,2	4,3	4,5	4,3
2	72,4	61,9	53,9	47,0	38,6	36,4	36,2	42,1	48,8	59,6	67,3	76,9	53,4
3	2,6	3,0	4,3	4,9	9,1	8,9	11,5	9,9	6,6	3,7	2,4	1,9	5,7
4	21,4	31,4	38,2	44,3	47,7	51,0	47,1	43,2	39,2	32,5	22,7	16,7	36,3
Клетский район													
1	4,2	4,2	3,9	4,1	4,5	4,6	5,1	4,8	4,8	3,9	4,3	5,1	4,4
2	71,1	61,5	54,1	46,6	38,8	36,1	37,1	42,8	49,2	59,4	65,6	74,2	53,0
3	2,6	3,5	3,6	6,0	9,2	10,2	11,2	9,9	5,7	4,0	2,5	2,3	5,9
4	22,1	30,8	38,5	43,3	47,3	49,1	46,8	42,6	40,1	32,6	24,3	18,4	36,3
Котельниковский район													
1	4,8	5,3	4,4	4,2	4,3	4,3	4,9	4,0	5,4	5,0	4,8	5,7	4,8
2	69,6	60,9	54,0	46,6	39,9	37,5	37,8	43,7	48,2	56,6	63,4	71,1	52,5
3	2,6	4,5	4,1	5,8	9,0	10,4	10,1	7,6	6,1	4,2	3,1	2,4	5,8
4	22,9	29,4	37,7	43,5	46,7	47,7	47,2	44,5	40,1	34,2	25,4	20,8	36,7
Котовский район													
1	3,6	3,6	3,3	3,8	4,6	3,8	5,5	4,4	5,2	4,2	4,3	4,3	4,2
2	71,6	62,0	54,4	46,7	38,6	38,0	36,6	42,4	49,2	59,2	67,6	75,5	53,5
3	2,1	3,1	4,1	5,1	8,4	9,1	11,6	7,8	6,9	3,5	2,1	2,3	5,5
4	22,6	31,3	38,3	44,5	48,5	49,2	46,3	45,4	38,8	33,0	22,7	18,0	36,6
Кумылженский район													
1	4,5	4,2	3,9	4,1	4,4	4,3	5,6	5,1	5,1	4,0	4,4	4,3	4,5

Продолжение табл. 2

Градация по использованию, %*	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Кумылженский район													
2	70,8	61,4	54,1	46,5	39,0	36,4	36,5	42,4	49,0	59,3	65,5	75,0	53,0
3	2,7	3,3	4,0	5,6	8,9	9,4	11,9	10,4	5,9	3,8	2,6	2,2	5,9
4	22,0	30,9	38,0	43,7	47,7	49,9	46,0	42,2	39,9	32,8	24,2	18,4	36,3
Ленинский район													
1	4,9	4,3	3,9	3,5	4,4	3,2	3,7	3,8	4,9	4,9	4,3	5,5	4,3
2	69,7	61,4	54,8	47,1	39,0	38,7	38,8	43,6	48,8	57,7	64,6	72,5	53,1
3	2,7	3,5	3,4	5,8	9,0	9,3	10,2	7,7	6,5	4,8	3,1	2,5	5,7
4	22,6	30,7	38,0	43,6	47,5	48,8	47,3	45,0	39,7	32,6	24,8	19,6	36,7
Михайловский район													
1	4,4	4,4	3,7	4,1	4,5	4,2	5,3	5,1	5,1	4,0	4,3	4,8	4,5
2	71,5	61,2	53,8	46,6	38,7	36,0	36,3	42,0	48,9	59,7	67,3	76,5	53,2
3	2,9	3,2	3,8	6,0	9,5	9,4	11,8	9,7	6,2	3,6	2,4	2,2	5,9
4	21,2	31,1	38,7	43,3	47,3	50,5	46,7	43,2	39,7	32,6	22,8	16,4	36,1
Нехаевский район													
1	3,5	3,4	3,6	3,6	4,5	3,9	4,6	5,1	5,3	4,1	4,4	4,2	4,2
2	70,9	62,1	53,8	46,9	38,9	35,7	36,6	42,0	49,6	60,1	67,4	75,0	53,2
3	2,4	3,0	4,1	4,8	9,1	9,2	11,3	10,1	6,2	3,4	2,1	1,6	5,6
4	23,0	31,4	38,5	44,7	47,6	51,4	47,6	42,7	38,7	32,2	22,8	19,1	36,6
Николаевский район													
1	3,6	3,6	3,8	3,7	4,8	3,8	5,0	5,0	5,3	4,2	4,7	4,6	4,3
2	72,2	61,9	53,7	47,1	38,5	36,3	36,6	42,1	48,7	59,6	66,9	76,7	53,4
3	2,7	3,1	4,4	4,8	8,9	9,5	11,7	10,2	6,7	3,5	2,4	1,9	5,8
4	21,4	31,3	38,0	44,4	47,9	50,4	46,8	42,8	39,1	32,7	22,8	16,7	36,2
Новоаннинский район													
1	3,6	3,6	3,8	3,7	4,8	3,8	5,0	5,0	5,3	4,2	4,7	4,6	4,3
2	72,2	61,9	53,7	47,1	38,5	36,3	36,6	42,1	48,7	59,6	66,9	76,7	53,4
3	2,7	3,1	4,4	4,8	8,9	9,5	11,7	10,2	6,7	3,5	2,4	1,9	5,8
4	21,4	31,3	38,0	44,4	47,9	50,4	46,8	42,8	39,1	32,7	22,8	16,7	36,2
Октябрьский район													
1	4,9	5,0	4,0	3,7	4,3	3,8	4,7	3,9	5,3	5,3	4,4	5,2	4,5
2	69,5	61,2	54,3	47,1	39,9	38,1	38,1	43,8	48,3	56,4	63,8	71,6	52,7
3	2,4	3,8	3,2	5,0	8,8	10,2	9,7	7,4	5,9	4,1	2,8	2,3	5,5
4	23,1	30,0	38,5	44,2	46,9	47,9	47,5	44,8	40,3	34,2	25,6	20,8	37,0
Ольховский район													
1	3,9	4,0	3,6	3,7	4,1	4,0	5,2	4,2	4,3	3,6	3,7	4,4	4,1
2	70,8	61,3	54,4	46,7	39,2	38,0	37,2	42,9	49,6	59,2	65,9	74,3	53,3
3	2,4	3,1	3,7	5,6	8,5	8,6	10,4	8,0	5,8	3,4	2,3	2,3	5,4
4	23,0	31,6	38,4	44,0	48,2	49,4	47,3	45,0	40,2	33,8	24,9	19,1	37,1
Палласовский район													
1	5,1	3,9	2,8	4,0	4,5	4,2	4,3	3,3	5,5	4,6	4,9	4,7	4,3
2	70,1	61,5	54,7	46,2	38,6	37,4	37,9	43,3	48,7	58,9	66,2	73,9	53,1
3	2,6	3,1	4,4	6,2	8,4	9,8	10,6	8,2	7,4	4,4	2,5	2,8	5,9
4	22,1	31,5	37,9	43,7	48,5	48,7	47,2	45,2	38,4	32,0	23,1	18,7	36,4
Руднянский район													
1	3,9	3,8	3,8	3,4	4,6	4,1	5,3	4,0	5,2	3,9	4,8	3,9	4,2
2	71,4	61,7	53,8	47,0	38,5	37,7	36,9	42,8	49,0	59,5	67,1	75,8	53,4
3	2,4	3,3	4,3	4,4	9,1	8,5	11,0	8,4	6,8	3,6	2,2	2,2	5,5
4	22,4	31,1	38,1	45,2	48,0	49,8	46,9	44,8	38,8	32,9	22,6	18,0	36,6
Светлоярский район													
1	4,9	4,3	3,9	3,5	4,4	3,2	3,7	3,8	4,9	4,9	4,3	5,5	4,3
2	69,7	61,4	54,8	47,1	39,0	38,7	38,8	43,6	48,8	57,7	64,6	72,5	53,1
3	2,7	3,5	3,4	5,8	9,0	9,3	10,2	7,7	6,5	4,8	3,1	2,5	5,7
4	22,6	30,7	38,0	43,6	47,5	48,8	47,3	45,0	39,7	32,6	24,8	19,6	36,7
Серафимовичский район													
1	4,2	4,0	3,8	3,8	4,8	4,5	5,2	5,5	4,7	3,9	4,4	4,6	4,5
2	71,0	61,7	54,2	46,9	38,5	36,3	37,0	41,9	49,3	59,3	65,4	74,7	53,0
3	2,7	3,5	3,8	5,5	8,6	9,8	11,2	9,7	5,4	4,2	2,6	2,1	5,7
4	22,0	30,8	38,2	43,8	48,0	49,6	46,8	42,8	40,5	32,5	24,3	18,5	36,5

Окончание табл. 2

Градация по использованию, %*	Месяц												Год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Среднеахтубинский район													
1	4,9	4,3	3,9	3,5	4,4	3,2	3,7	3,8	4,9	4,9	4,3	5,5	4,3
2	69,7	61,4	54,8	47,1	39,0	38,7	38,8	43,6	48,8	57,7	64,6	72,5	53,1
3	2,7	3,5	3,4	5,8	9,0	9,3	10,2	7,7	6,5	4,8	3,1	2,5	5,7
4	22,6	30,7	38,0	43,6	47,5	48,8	47,3	45,0	39,7	32,6	24,8	19,6	36,7
Старополтавский район													
1	5,2	4,1	3,1	3,9	4,3	4,5	4,9	3,9	6,0	4,8	5,0	4,9	4,6
2	70,1	61,2	54,5	46,3	38,8	37,1	37,3	42,7	48,1	58,7	66,0	73,7	52,9
3	2,9	3,7	4,6	6,1	8,7	10,1	11,8	7,6	7,9	4,2	2,4	2,7	6,1
4	21,8	30,9	37,7	43,7	48,3	48,4	46,2	45,9	38,0	32,2	23,2	18,7	36,3
Суровикинский район													
1	4,8	4,2	4,4	4,4	4,5	4,3	4,8	4,5	5,4	4,6	4,9	5,2	4,7
2	69,9	62,0	54,0	46,3	39,2	37,2	37,7	43,2	48,4	57,7	64,1	72,9	52,7
3	2,7	3,8	3,6	5,2	8,3	11,0	9,8	8,3	6,3	4,4	2,8	2,3	5,7
4	22,5	30,0	38,1	44,0	47,8	47,6	47,7	44,1	39,7	33,2	24,9	19,6	36,6
Урюпинский район													
1	3,9	3,5	3,8	3,8	4,6	3,8	4,7	4,9	5,3	4,1	4,9	4,5	4,3
2	71,9	62,0	53,7	46,9	38,7	36,4	36,9	42,2	48,8	59,6	66,6	76,8	53,4
3	2,6	3,2	4,3	5,0	9,3	9,8	11,2	10,3	6,4	3,6	2,3	1,7	5,8
4	21,5	31,3	38,1	44,3	47,6	50,1	47,3	42,8	39,3	32,6	22,9	16,9	36,2
Фроловский район													
1	4,1	4,4	3,7	4,0	4,1	4,1	5,0	4,7	4,4	3,8	3,8	4,5	4,2
2	71,2	61,2	54,4	46,7	39,4	36,7	37,1	42,8	49,6	59,5	66,1	74,8	53,3
3	2,5	3,1	3,5	5,6	9,1	9,0	11,0	8,7	6,1	3,5	2,2	2,4	5,6
4	22,2	31,2	38,5	43,7	47,5	50,3	46,9	43,8	39,8	33,2	24,6	18,3	36,7
Чернышевский район													
1	4,7	3,6	4,5	4,2	4,5	4,3	4,7	4,7	4,9	4,5	4,9	5,5	4,6
2	70,0	62,6	53,9	46,5	39,3	37,2	37,8	43,0	48,9	57,8	64,1	72,6	52,8
3	2,8	3,9	3,8	5,2	8,3	11,8	10,3	8,3	6,3	4,5	2,7	2,3	5,8
4	22,4	30,0	37,8	44,1	47,9	46,7	47,2	44,0	39,7	33,1	25,0	19,6	36,5

Примечание: *1 – отсутствие выработки энергии от ВИЭ; 2 – генерация осуществляется только ветровыми установками при отсутствии солнечной генерации; 3 – работа идет только за счет солнечных станций; 4 – электричество генерируется с помощью обоих источников.

Результаты исследования и обсуждение.

Данные, представленные в исследовании, позволяют провести всесторонний анализ динамики применения автономных систем электроснабжения, использующих возобновляемые источники энергии, в частности, солнечную и ветровую. В результате проведенного анализа стало очевидно, что максимальная степень использования обоих типов возобновляемых источников одновременно наблюдается в весенне-летний период, данные временные промежутки характеризуются минимальным количеством дней с отсутствием производительности от обеих систем, что существенно улучшает показатели надежности комплексного электроснабжения. В летний период, когда продолжительность солнечного дня увеличивается (достигает максимума в июне), возрастает доля использования солнечной энергии. Это способствует снижению зависимости от ветровой энергии, поскольку в эти месяцы средние показатели скорости ветра заметно снижаются, а солнечная активность до-

стигает своего пика. Это явление прослеживается практически на всей территории региона, что указывает на его независимость от локальных климатических и географических особенностей отдельных районов. Осенне-зимний период, напротив, характеризуется уменьшением светового дня, что способствует переходу на ветровую энергетику как основной источник. В этот сезон наблюдается существенное увеличение средней скорости ветра по сравнению с летними месяцами, что компенсирует снижение выработки солнечных электростанций. Наибольший процент использования энергии от ветровых установок достигается в декабре, когда световой день становится самым коротким в году, совпадая с зимним солнцестоянием. Это обусловлено тем, что ветровые установки в эти периоды становятся практически единственным стабильным источником возобновляемой энергии на всей территории региона. Таким образом, рассматриваемая система электроснабжения демонстрирует закономерное распределение долей

использования солнечной и ветровой энергии в зависимости от сезонных условий. Эти данные подтверждают высокую зависимость эффективности использования солнечной и ветровой энергии от сезонных климатических характеристик, что необходимо учитывать при разработке стратегий применения ВИЭ для обеспечения автономного электроснабжения (табл. 3).

Таблица 3 – Среднесезонное распределение по региону

Градации по использованию, %	Сезон			
	зима	весна	лето	осень
1	4,5	4,1	4,5	4,7
2	71,2	48,3	40,9	59,9
3	2,8	6,2	10,0	4,4
4	24,7	44,6	48,3	33,1

Анализ собранных данных указывает на то, что каждый из возобновляемых источников энергии не может использоваться в качестве автономного источника питания для крупных потребителей. Однако комбинированное использование нескольких видов ВИЭ в едином энергетическом комплексе может позволить удовлетворить потребности различных категорий потребителей, адаптируясь под их требования и условия эксплуатации.

В частности, районы с самыми низкими значениями общего годового бездействия возобновляемых источников, что составляет 4,1 %, включают г. Волжский, Городищенский, Дубовский, Жирновский и Ольховский районы. Учитывая, что основную нагрузку на энергосистему области создают промышленные объекты, такие как химические и металлургические комплексы, которые отличаются высокой энергоемкостью, использование автономных энергетических установок на основе ВИЭ для их питания является нецелесообразным. Это связано с тем, что системы, работающие на основе ветровой или солнечной энергии, требуют значительных земельных площадей для размещения оборудования, тогда как установки на углеводородном топливе гораздо более компактны и лучше подходят для условий промышленного производства.

Ввиду этих факторов целесообразность применения автономных систем на базе ВИЭ возрастает в случае их комбинирования с резервными источниками, такими как дизельные электростанции или иные стабильные источники энергии, что обеспечивает надежное питание потребителей в условиях переменных нагрузок.

Вывод. Проведенное исследование показало, что среднее суммарное количество непроизведенного времени находится в пределах 3,7-4,3 суток в зависимости от сезона, что в годовом выражении является незначительным и может быть компенсировано за счет резервных источников или систем накопления энергии, так как данный период простоя протягивается в течение всего сезона, при этом время одновременной генерации от обоих источников энергии варьирует в зависимости от сезона от 23 в зимний период и до 44 суток в летний период, что может позволить скомпенсировать время простоя.

Автономные системы электроснабжения, которые возможно создать на основе ветроэнергетических установок и солнечных электростанций в составе комбинированного комплекса, вполне могут использоваться для обеспечения малых неэнергоёмких предприятий, таких как небольшие производственные объекты и малые предприятия агропромышленного комплекса, в том случае, когда предприятия допускают возможные кратковременные перебои в электроснабжении, или организовать резервирование их питания в случае необходимости. К тому же расположение большинства таких объектов поблизости от жилых зон влечет за собой ряд ограничений по использованию территорий для установки данных систем. Это объясняется тем, что возобновляемые источники, такие как солнечные панели и ветровые турбины, требуют значительно больше пространства для производства эквивалентной мощности по сравнению с более компактными углеводородными комплексами, работающими на традиционном топливе.

Благодаря проведенной комплексной оценке можно подобрать оптимальные варианты расположения энергетических установок, рассчитать их необходимое количество и определить подходящие размеры для каждого конкретного случая, это позволит формировать индивидуальные проекты, адаптированные под каждого потребителя, обеспечивая баланс между его потребностями, доступными территориальными возможностями и характеристиками потребляемой мощности.

Список источников

1. Васильев В. Ю., Титов Е. В. Обоснование развития подходов к расчету ветроэнергетических установок // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024. № 8 (238). С. 107-110. EDN: HUBYYG.
2. Возобновляемая энергетика за рубежом и в регионах России / Н. В. Антонов [и др.] // Географиче-

ская среда и живые системы. 2020. № 1. С. 85-99. EDN: SYTIXU.

3. Воронин С. М., Украинцев М. М. Эффективное использование ветроэнергетики в сельском хозяйстве России // Вестник аграрной науки Дона. 2021. № 4 (56). С. 55-63. EDN: QUGMMR.

4. Гусейнова С. М. Зарубежный опыт по производству и использованию альтернативной и возобновляемой энергетики // Азиатско-тихоокеанский регион: экономика, политика, право. 2024. Т. 26, № 1. С. 72-81. DOI: 10.24866/1813-3274/2024-1/72-81. EDN: AVJSVP.

5. Даус Ю. В., Юдаев И. В. Об оценке валового потенциала солнечной энергии на сельских территориях // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 107. С. 4-13. EDN: GKGWFD.

6. Лебедева М. А. Особенности развития северных регионов на основе использования альтернативной энергетики // Научный результат. Экономические исследования. 2021. № 2. С. 13-24. EDN: JMYJDF.

7. Мартыненко Т. В., Коноплева В. Д. Политика Российской Федерации в области возобновляемой энергетики: современное состояние, законодательная база и перспективы развития // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки. 2022. № 1. С. 127-132. DOI: 10.22394/2079-1690-2022-1-1-127-132. EDN: FZNSDH.

8. Обухов С. Г., Давыдов Д. Ю., Белоглазкин А. О. Инженерная методика проектирования систем электроснабжения автономных энергоэффективных зданий на основе возобновляемых источников энергии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2023. № 1. С. 30-42.

9. Оценка влияния внедрения возобновляемых источников энергии на стоимость электроэнергии в регионе / П. Ю. Бучацкий [и др.] // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2023. № 4(331). С. 22-32. DOI: 10.53598/2410-3225-2023-4-331-22-32. EDN: MAOUTM.

10. Преобразование солнечной энергии в электрическую / А. Я. Абдурахмонов [и др.] // Вестник Таджикского национального университета. Серия Естественных Наук / Паёми Донишгоњи милли тољикистон. Бахши Илмҳои Табиӣ. 2019. № 1-1. С. 163-168. EDN: HQUZUI.

11. Применение автономных систем электроснабжения на возобновляемых источниках энергии для снижения аварийности сельхозтехники в агропромышленных районах России / Е. В. Гусарова [и др.] // Вестник аграрной науки Дона. 2022. № 2 (58). С. 81-91. EDN: AUNGDF.

12. Снижение генерации электрической энергии солнечными модулями в условиях запыленности местности / И. М. Кирпичникова [и др.] // iPolytech Journal. 2023. № 1. С. 83-93. EDN: URBKSQ.

13. Туралина А. Г., Кавун К. А. Возобновляемая энергетика как инновационный фактор развития

мировой экономики // Вестник Донецкого национального университета. Серия В. Экономика и право. 2021. № 3. С. 309-316. EDN: TRHFPE.

14. Чебоксаров В. В., Кузнецов П. Н. Гибридные ветро-солнечные морские энергетические установки // Строительство и техногенная безопасность. 2020. № 18 (70). С. 67-81. EDN: XLGWFG

15. Шарифуллин, Д. В. Зарубежный опыт использования ВИЭ для регионов России // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Экономика и управление. 2023. Т. 9, № 3. С. 119-124. EDN: DYHPRA.

16. Юдаев И. В., Попов М. Ю., Попова Р. В. Автономная теплица, функционирующая на возобновляемых энергоресурсах // Вестник аграрной науки Дона. 2020. № 1 (49). С. 33-42. EDN: YFKBKG.

17. Nighttime Photovoltaic Cells: Electrical Power Generation by Optically Coupling with Deep Space. Tristan Deppe, Jeremy N. Munday. ACS Photonics. 2020; 7(1): 1–9.

18. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) | Data Access Viewer (DAV) [Электронный ресурс]. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (дата обращения: 06.10.2024).

References

1. Vasil'ev V. Yu., Titov E. V. Obosnovanie razvitiya podxodov k raschetu vetroe`nergeticheskix ustanovok // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024. № 8 (238). S. 107-110. EDN: HUBYYG.

2. Vozobnovlyaemaya e`nergetika za rubezhom i v regionax Rossii / N. V. Antonov [i dr.] // Geograficheskaya sreda i zhivy'e sistemy. 2020. № 1. S. 85-99. EDN: SYTIXU.

3. Voronin S. M., Ukrainev M. M. E`ffektivnoe ispol`zovanie vetroe`nergetiki v sel'skom hozyajstve Rossii // Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2021. № 4 (56). S. 55-63. EDN: QUGMMR.

4. Gusejnova S. M. Zarubezhny`j opy`t po proizvodstvu i ispol`zovaniyu al'ternativnoj i vozobnovlyaemoj e`nergetiki // Aziatsko-tixookeanskij region: e`konomika, politika, pravo. 2024. Т. 26, № 1. S. 72-81. DOI: 10.24866/1813-3274/2024-1/72-81. EDN: AVJSVP.

5. Daus Yu. V., Yudaev I. V. Ob ocenke valovogo potenciala solnechnoj e`nergii na sel'skix territoriyax // AgroE`koInzheneriya. 2021. № 107. S. 4-13. EDN: GKGWFD.

6. Lebedeva M. A. Osobennosti razvitiya severny`x regionov na osnove ispol`zovaniya al'ternativnoj e`nergetiki // Nauchny`j rezul'tat. E`konomicheskie issledovaniya. 2021. № 2. S. 13-24. EDN: JMYJDF.

7. Marty`nenko T. V., Konopleva V. D. Politika Rossijskoj Federacii v oblasti vozobnovlyaemoj e`nergetiki: sovremennoe sostoyanie, zakonodatel`naya baza i perspektivy` razvitiya // Gosudarstvennoe i municipal`noe upravlenie. Ucheny`e zapiski. 2022. № 1. S. 127-132. DOI: 10.22394/2079-1690-2022-1-1-127-132. EDN: FZNSDH.

8. Obuxov S. G., Davy`dov D. Yu., Beloglazkin A. O. Inzhenernaya metodika proektirovaniya sistem e`lektrosnabzheniya avtonomny`x e`nergoe`ffektivny`x zdaniy na osnove vozobnovlyaemy`x istochnikov e`nergii // Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov. 2023. № 1. S. 30-42.

9. Ocenka vliyaniya vnedreniya vozobnovlyaemy`x istochnikov e`nergii na stoimost` e`lektroe`nergii v regione / P. Yu. Buchaczkiy [i dr.] // Vestnik Ady`gejskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 4: Estestvenno-matematicheskie i texnicheskie nauki. 2023. № 4(331). S. 22-32. DOI: 10.53598/2410-3225-2023-4-331-22-32. EDN: MAOUTM.

10. Preobrazovaniyesolnechnoje`nergii v`lektricheskuyu / A. Ya. Abduraxmonov [i dr.] // Vestnik Tadzhikskogo nacional`nogo universiteta. Seriya Estestvenny`x Nauk / Paemi Donishgo`ni millii to`likiston. Baxshi Ilm`hoi Tabii. 2019. № 1-1. S. 163-168. EDN: HQEUZI.

11. Primenenie avtonomny`x sistem e`lektrosnabzheniya na vozobnovlyaemy`x istochnikax e`nergii dlya snizheniya avarijnosti sel`xoztexniki v agropromy`shlenny`x rajonax Rossii / E. V. Gusarova [i dr.] // Vestnik agrarnoy nauki Dona. 2022. № 2 (58). S. 81-91. EDN: AUHGDF.

12. Snizhenie generacii e`lektricheskoy e`nergii solnechny`mi modulyami v usloviyax zapy`lennosti mestnosti / I. M. Kirpichnikova [i dr.] // iPolytech Journal. 2023. № 1. S. 83-93. EDN: URBKSQ.

13. Turalina A. G., Kavun K. A. Vozobnovlyaemaya e`nergetika kak innovacionny`j faktor razvitiya mirovoj e`konomiki // Vestnik Doneczkogo nacional`nogo universiteta. Seriya V. E`konomika i pravo. 2021. № 3. S. 309-316. EDN: TRHFPE.

14. Cheboksarov V. V., Kuznecov P. N. Gibridny`e vetro-solnechny`e morskije`nergeticheskie ustanovki // Stroitel`stvo i texnogennaya bezopasnost`. 2020. № 18 (70). S. 67-81. EDN: XLGWFG.

15. Sharifullin, D. V. Zarubezhny`j opyt ispol`zovaniya VIE` dlya regionov Rossii // Ucheny`e zapiski Kry`mskogo federal`nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. E`konomika i upravlenie. 2023. T. 9, № 3. S. 119-124. EDN: DYHPRA.

16. Yudaev I. V., Popov M. Yu., Popova R. V. Avtonomnaya teplicza, funkcioniruyushhaya na vozobnovlyaemy`x e`nergoresursax // Vestnik agrarnoy nauki Dona. 2020. № 1 (49). S. 33-42. EDN: YFKBKG.

17. Nighttime Photovoltaic Cells: Electrical Power Generation by Optically Coupling with Deep Space. Tristan Deppe, Jeremy N. Munday. ACS Photonics. 2020; 7(1): 1–9.

18. NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) | Data Access Viewer (DAV) [E`lektronny`j resurs]. URL: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (data obrashheniya: 06.10.2024).

Сведения об авторах:

С. В. Аникеев , аспирант, <https://orcid.org/0009-0005-1297-7980>;

С. И. Богданов, кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-3111-2895>;

И. О. Коннов, аспирант, <https://orcid.org/0009-0002-1129-3286>

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ, пр. Университетский, 26, Волгоград, Россия, 400002
anikeevvlg@yandex.ru

Original article

ASSESSING THE POTENTIAL OF AUTONOMOUS ENERGY COMPLEXES BASED ON SOLAR AND WIND ENERGY CO-UTILIZATION IN THE VOLGOGRAD REGION

Sergei V. Anikeev , **Sergey I. Bogdanov**, **Igor O. Konnov**

FSBEI HE Volgograd SAU, Volgograd, Russia
anikeevvlg@yandex.ru

Abstract. *The depletion of fossil fuel reserves and the growing environmental challenges are driving the development of renewable energy sources. For Russia, where over 50 % of remote territories rely on diesel generators, the adoption of hybrid energy systems is critically important for reducing costs, enhancing energy independence, and potentially lowering the initial product costs, thereby accelerating the development of areas disconnected from centralized power grids. The aim of this study is to assess the potential of autonomous energy complexes based on renewable wind and solar energy sources, determine their seasonal dynamics, and evaluate their efficiency in the Volgograd region. Using NASA data about hourly wind speed and solar radiation measurements over 12 years – the specific power of the air flow and the average hourly solar radiation were calculated for 34 districts in the region. Additionally, an analysis of energy generation distribution was conducted, categorizing it into: no generation, operation of only wind/solar installations, and simultaneous generation from both sources. The research results have revealed that, on average across the region, the maximum simultaneous generation from both sources occurs in summer, reaching 48.3 %, while the minimum is observed in winter at 24.7 %. The system downtime varies from 4.1 % to 4.7 %, peaking in the autumn. The annual average time of simultaneous operation from both energy sources is 36.1 %, with solar energy dominating in the summer months and wind energy prevailing in winter. Ultimately,*

the average total downtime of the hybrid system amounts to 3.7–4.3 days per season, which can be compensated for through backup systems. This confirms the feasibility of using such systems for powering small enterprises and agricultural complexes, provided they are integrated with energy storage or other supplementary sources.

Key words: renewable energy sources, renewable energy resources, renewable energy potential, wind energy, solar energy.

For citation: Anikeev S. V., Bogdanov S. I., Konnov I. O. Assessing the potential of autonomous energy complexes based on solar and wind energy co-utilization in the Volgograd Region. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2025; 1 (81): 136-148. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_1_136-148.

Authors:

S. V. Anikeev[✉], Postgraduate student, <https://orcid.org/0009-0005-1297-7980>;

S. I. Bogdanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-3111-2895>;

I. O. Konnov, Postgraduate student, <https://orcid.org/0009-0002-1129-3286>

FSBEI HE Volgograd SAU, 26 Universitetskiy prospect St., Volgograd, Russia, 400002

anikeevvlg@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 07.02.2025; одобрена после рецензирования 10.02.2025;

принята к публикации 03.03.2025.

The article was submitted 07.02.2025; approved after reviewing 10.02.2025; accepted for publication 03.03.2025.

Научная статья

УДК 631.363.21

DOI 10.48012/1817-5457_2025_1_148-155

ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА ВХОДНОГО ПАТРУБКА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДРОБИЛКИ ЗЕРНА ДКР-1

Булатов Сергей Юрьевич¹[✉], Нечаев Владимир Николаевич², Сергеев Александр Георгиевич³, Шамин Анатолий Евгеньевич⁴, Шлыков Алексей Евгеньевич⁵

^{1,2,4,5}ГБОУ ВО НГИЭУ, Княгинино, Россия

³ООО «ДОЗА-АГРО», Нижний Новгород, Россия

¹bulatov_serгей_urevich@mail.ru

Аннотация. В сельскохозяйственных организациях с малым поголовьем скота приготовление комбикорма осуществляют на комбикормовых агрегатах малой производительности, в их состав входят молотковые дробилки с вентилятором. Одним из главных недостатков таких агрегатов является невысокая производительность из-за дополнительных затрат энергии на перемещение воздушного потока. Главным в дробилках с вентилятором, на наш взгляд, является поиск оптимального режима работы, при котором аэродинамические показатели вентилятора будут соответствовать потенциалу решета дробилки. Выдвинута гипотеза, что выровнять подачу зерна с помощью эжектора с целью равномерной загрузки решета можно за счет подбора оптимального диаметра входного патрубка дробилки. В работе рассмотрена актуальная задача по оценке влияния диаметра входного патрубка молотковой дробилки зерна ДКР-1 на ее производительность и энергопотребление. Исследования дробилки ДКР-1 проводили в составе линии для приготовления комбикорма. Для изучения влияния аэродинамических характеристик на ротор дополнительно устанавливались загнутые лопатки. Проведена серия опытов, в результате которых определено, что при диаметре отверстий решета 6 мм и диаметре материалопровода, меньшем 70 мм, происходит завал дробилки, что приводит к резкому снижению ее производительности. Дополнительные эксперименты с установленными на ротор лопатками диаметром 420 мм показали, что производительность дробилки ограничена диаметром материалопровода при его диаметре менее 70 мм. При исследовании диаметров всасывающих материалопроводов уста-