



Дирижабль как средство развития континентальной ветроэнергетики

Транспортная инфраструктура и ветроэнергетика

За ближайшее десятилетие использование энергии ветра в мире возрастёт многократно: если к началу второй декады XXI века общая мощность ветроэлектростанций (ВЭС) составляла около 160 ГВт, то к 2020 году по реалистичным прогнозам Европейской ветроэнергетической ассоциации (EWEA) она достигнет 1000 ГВт. В некоторых странах ветроэнергетика уже сегодня вносит заметный вклад в общий энергетический баланс: в Дании - 24%, в Португалии - 15%, в Испании - 14%, в Ирландии - 10%, в Германии - 9% [1]. По общей мощности установленных ВЭС в мире с большим отрывом лидируют США - 35 ГВт, Германия - 26 ГВт и Китай - 25 ГВт [2].

В первую очередь успешное развитие ветроэнергетики объясняется продуманной политикой государств, однако фундаментом для него служит развитая транспортная инфраструктура. Ведь ветроэнергетические установки (ВЭУ) – это одни из самых крупных инженерных сооружений, и минимизация затрат при их транспортировке и монтаже представляет серьёзную организационно-техническую задачу. Об этом свидетельствуют разрозненные данные о размерах и массе основных компонентов ВЭУ, представленные различными

производителями и собранные в таблице 1.

Мощность ВЭУ прямо зависит от площади, ометаемой ротором, т.е. возрастает в квадрате с увеличением длины лопастей. Удельные энергетические и стоимостные показатели ВЭУ мощностью в несколько МВт существенно выше, чем у агрегатов мощностью в десятки и сотни кВт, поэтому одна установка мегаваттного класса оказывается эффективней и надёжней целого леса малых ветряков. Однако сложность доставки крупногабаритных компонентов ВЭУ и монтажа гондолы и ротора массой 50-100 т на высоте около 100 м зачастую препятствует строительству мощных ВЭС в труднодоступных районах. По данным [3], общий объём груза, который необходимо доставить при перевозке турбины мощностью 2 МВт, составляет около 1500 м³, при этом масса отдельных частей может достигать 90 т, что требует применения специальных трейлеров и подъёмных механизмов, а также дорогостоящего дорожного сопровождения крупногабаритных грузов. Например, диаметр нижней секции стометровых конических башен превышает 5 м, что не позволяет провозить их в тоннелях и под мостами [3].

Особую проблему представляет транспортировка лопастей, длина которых достигает многих десятков метров. График на

Таблица 1

Производитель	Мощность ВЭУ, МВт	Лопасть		Ротор		Масса гондолы, т	Башня	
		Масса, т	Кол-во, шт	Масса, т	Диаметр, м		Масса, т	Высота, м
Vestas	0,85		3	10	52	22	55	60
Vergnet	1	4,5	2		62	65	78	70
Ecotecnia	1,3	5,8	3		62	63	126	70
Nordex	1,5	5,9	3	34	70		65	
Ecotecnia	1,67	5,6	3		74	67	132	70
Vestas	1,8		3	38	90	68	150	80
Ecotecnia	2	5,6	3		80	65		
Vestas	2		3	37	80	67	160	67
Siemens	2,3	10,3	3	62	101	82	170	80
Ecotecnia	3		3	53	100	105		90
REPower	5		3	120	126	290		

рис. 1, построенный по данным различных производителей, показывает зависимость массы лопастей от их длины. Масса лопастей ветровых турбин, несмотря на огромный размер, сравнительно невелика, поскольку их тонкостенные оболочки изготавливаются из композиционных материалов, армированных стекловолокном, углеродным волокном и высокопрочными синтетическими тканями и лентами. Благодаря многофакторной оптимизации структуры композита масса лопастей с ростом размера возрастает не в кубе, а примерно в квадрате. А поскольку мощность ВЭУ также зависит от квадрата длины лопасти, то между массой лопастей и мощностью наиболее распространённых трёхлопастных турбин имеется грубая линейная связь: на каждый мегаватт мощности требуется около 10 т лопастей. Таким образом, при строительстве ветропарка установленной мощностью 100 МВт необходимо доставить порядка 1000 т лопастей, каждая из

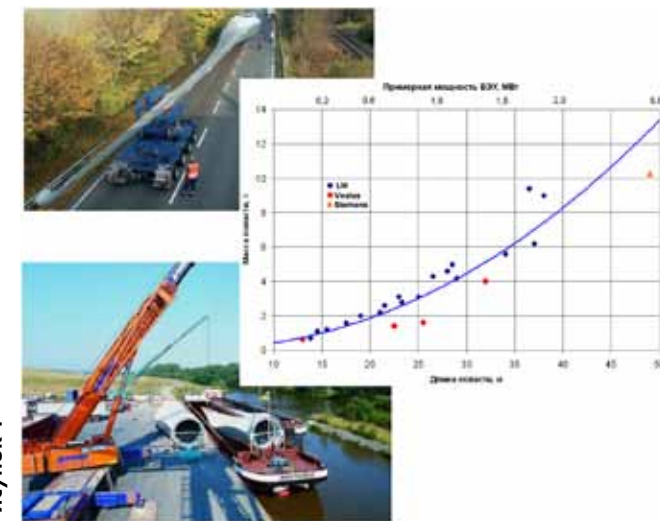


Рисунок 1

которых является длинномерным неделимым грузом.

Страны, широко использующие энергию ветра, объединяет наличие морского побережья с высоким ветровым потенциалом. Хотя морские ветроэлектростанции вырабатывают всего порядка 10% добываемой из воздуха энергии, прибрежные ВЭС не менее эффективны, и к тому же доставка наземных ВЭУ преимущественно выполняется экономичным морским и речным транспортом. Показательно, что в Дании, обладаю-

the Airship

In 10 years the usage of wind energy in the world will increase dramatically. Today the general capacity of the wind-power plants is about 160 GW. Till 2020 it will be 1000 GW ...

The wind energy potential is great in Russia, but nowadays it isn't used totally, the role of special wind-power plants is not more than 10 MW.

Today in the sky there are only few hundreds airships, but every year their number increases in 2 times. It means that the epoch of wind power and airships is coming.

щей развитой сетью каналов, стоимость транспортировки составляет всего около 1-1,5% общей стоимости ВЭУ (данные EWEA). Этот фактор наверняка сыграл положительную роль в успешном развитии датской ветроэнергетики, тогда как, например, в США доставка нередко увеличивает общую стоимость ВЭУ на 25% и более [3,4].

В Китае также имеется протяжённое морское побережье, вдоль которого, по данным China Wind Power Center, концентрируется значительная часть ВЭС. Остальные станции рас-



Рисунок 2

положены в промышленно развитых континентальных районах, а отдельные ветропарки в пустынных частях страны также привязаны к транспортным коммуникациям (рис. 2). Постройка крупных ВЭС нередко требует прокладки новых дорог, что может быть экономически оправдано при установке десятков турбин в ветропарках, но в случае единственного крупного агрегата недопустимо повышает общую стоимость проекта. К тому же оптимальное место размещения ВЭС определяется метеорологической и аэрологической обстановкой и далеко не всегда располагается вблизи магистралей, поэтому практическая невозможность доставки резко сужает возможности применения наиболее эффективных крупных ветровых турбин. Таким образом, транспортная инфраструктура, послужившая фундаментом интенсивного развития ветроэнергетики, ныне превращается в основной фактор, ограничивающий предельную мощность ВЭУ. По мнению Mott McDonald - ведущей международной консалтинговой компании в области энергетики - предельная мощность установок ограничена несколькими мегаваттами именно вследствие «условий планирования и доступа», и лопасти более мощных наземных ветровых турбин, возможно, потребуются производить по частям в целях обеспечения их транспортировки [5]. Однако имеется во всех отношениях более эффективное решение, которому и посвящён данный обзор.

Континентальные ветра России

Ветровой потенциал России огромен, но сегодня, вслед-

Таблица 2

	Модель	Объём, тыс. м3	Размеры, м	Грузопод., т	Мощность ДУ, кВт	Экономичность, т*км / кВт*ч
Дирижабли	Cargo Airship	930	L360, D76	500		
	Skyship	800	D213, H63	400	30000	
	Skyship R-40	118	L180, D37	58	3400	2,4
	Skyship R-150	132	L175, D41	75	5200	2,0
	Titan	1400	D235	900	8800	14,3
	Pegase (ретранслятор)	2700	D300, H75	30		
	Martin Marietta	264	L239, D50	82		
	Ren Skyship	45	L128, D25	22,6		
	Д-1	27,5	L42, D13	14	1200	1,6
	Д-4	220	L168, D50	120		
Комбинированные дирижабли	ОКБВ	65	L115	20-30	5200	0,7
	Megalifter	210	198x35x64, размах кр. 162	104	74000	0,2
	Aereon-340		103x78	125	16000	1,1
	Dinosaure	3,35	31x26x8	2	220	1,3
	Heli-Stat	28,3	105x34x57	24	4 вертолёт	
	Heli-Stat III	101		68	19000 (4 верт.)	0,5
	Zeppelin	47		67	6400	1,5
	Kawasaki		90x61x32	30	8120	0,5
	Lightspeed-60	62,7	L144, D30	45		
	Helicostat	2x1,5	L26	3	530	0,8
	Helicostat II	3	35x35x14	3	960	0,4
	Aerostat	30	L71, H34	18,5	10600	0,2
	Thermoskyship		D65	10	4400	0,3
Aerocrane	97	D57	82	9120	1,3	

годня, когда человечество на горьком опыте познало опасности «мирного атома» и всё шире использует возобновляемые источники энергии, приоритетными грузами для дирижаблей должны стать не реакторы, а ветроагрегаты.

Помимо транспортных дирижаблей, разрабатывались неподвижные аэростаты для ретрансляции радиосигналов, освещения территорий и даже для выработки электроэнергии. В [14] излагается концепция тропопаузных ветроэлектростанций - ТВЭС, в которых применяется аэростат-носитель с жестким корпусом из композиционных материалов, поднимающий на высоту 10 км ВЭУ мощностью 2 МВт, соединённую с землей тросом-кабелем. Ветер на такой высоте характеризуется постоянством и высокой скоростью (20-25 м/с). Использование его энергии позволило бы стабильно снабжать электричеством труднодоступные районы, стройки, создавать очаги интенсивного земледелия и т.д. Геоостационарные дирижабли разрабатываются и сегодня – например, высотная аэростатическая платформа «Беркут», получающая энергию от солнечных батарей, будет способна парить на высоте свыше 20

км в течение полугода [15].

Приведенные в табл. 2 данные показывают, что проектировались преимущественно дирижабли грузоподъемностью в десятки и даже сотни тонн - ведь именно крупные воздушные корабли обладают всем комплексом качеств и возможностей, превращающих их в незаменимое транспортное средство. Дирижабли должны обеспечить [14]:

- » экономичные воздушные безаэродромные перевозки крупногабаритных и тяжелых грузов на дальние расстояния;
- » объединение воздушно-транспортных и грузо-монтажных работ с воздуха;
- » качественный скачок в уровне безопасности и надежности воздушных перевозок;
- » многократную экономию авиационного топлива и сокращение выбросов продуктов сгорания;
- » практически полную всепогодность и регулярность сообщений;
- » возможность доставки грузов и пассажиров из любой точ-

ки в любую точку;

- » резкое снижение уровня шума летательного аппарата.
- Хотя, как показывают рис. 4 и табл. 2, по показателю экономической эффективности комбинированные дирижабли на порядок уступают аэростатическим, они обладают настолько существенными эксплуатационными преимуществами, что их применение сулит в ряде случаев больше выгод. К основным достоинствам дирижаблей, использующих подъемную силу винтов и аэродинамических поверхностей, относятся:
- » меньший объем и размеры корпуса;
 - » хорошая управляемость во всем диапазоне скоростей;
 - » удобство обеспечения продольной балансировки;
 - » точное управление подъемной силой при выработке топлива и погрузочно-разгрузочных операциях без применения балласта.

По-видимому, именно комбинированные дирижабли должны стать средством развития континентальной ветроэнергетики. Несмотря на очевидные достоинства дирижаблей, во второй половине XX века они оказались на обочине прогресса, тогда как самолётостроение бурно развивалось. В этом немалую роль сыграла холодная война - ведь плавучие небесные тихоходы настолько отстают от крылатых ракет и сверхзвуковых бомбардировщиков, имеют настолько ограниченное военное значение, что могут считаться исключительно мирными летательными аппаратами. Подавляющая часть перечисленных проектов осталась нереализованной и лишь некоторые оказались доведены до лётных испытаний масштабных прототипов. Однако накопленный энтузиастами воздухоплавания ценный опыт конструирования, оптимизации и оценки экономической эффективности аэростатических летательных аппаратов различных схем сформировал фундамент для развития дирижаблестроения XXI века.

А ведь именно в нынешнем столетии человечеству, по мнению множества футурологов и экспертов, предстоит совершить смену цивилизационной парадигмы, прекратить безудержную потребительскую гонку по экспоненте, стабилизировать

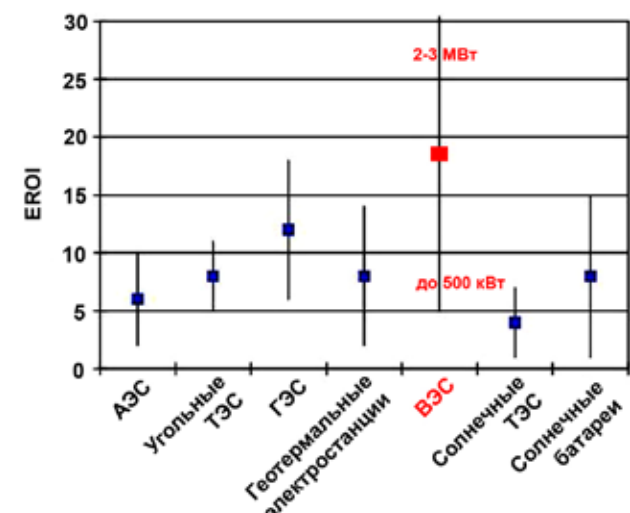


Рисунок 5

потребление всех ресурсов и производство продукции, повсеместно перейти к возобновляемым источникам энергии и радикально сократить нерациональные энергозатраты. Знаком грядущих перемен служит стремительное увеличение мощностей ВЭС и возрождение воздухоплавания. Сегодня в небе Земли плавает всего несколько сотен кораблей, но с начала века ежегодно число их удваивается. Такие темпы роста означают, что наступит эпоха ветроэнергетики и дирижаблей.

Эпоха ветроэнергетики и дирижаблей

Хотя строительство ВЭС не сулит быстрой прибыли, по рентабельности производства энергии ветроэнергетика оказывается наиболее выгодным способом генерации электричества. Для оценки энергетической рентабельности служит критерий EROI (Energy Returned on Energy Invested), представляющий отношение полученной энергии к энергозатратам на её производство [16, 17]. Несмотря на большой разброс значений EROI, вычисленных разными авторами, за последние десятилетия наблюдается систематическое снижение критерия при-



**ПРОИЗВОДСТВО
СОВРЕМЕННЫХ
ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ
МАТЕРИАЛОВ
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА
И ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

www.vpt-group.ru

Адрес: 445020
Самарская обл,
г. Тольятти,
ул. Белорусская, 13

тел/факс:
8 (8482) 637-321, 63-85-50
e-mail: vpt@vpt-grup.ru

менительно к производству энергии при сжигании каменного угля и природного газа [17] и возрастание EROI для ВЭС (последнее объясняется увеличением критерия с ростом их мощности [16]).

Рис. 5, где представлены значения EROI для разных способов получения энергии [16], показывает, что крупные ВЭУ оказываются наиболее рентабельными генераторами (и не производят к тому же парниковых и токсичных газов). Именно поэтому размеры ВЭУ растут настолько быстро, что возникла очевидная нужда в дирижаблях как средстве радикального

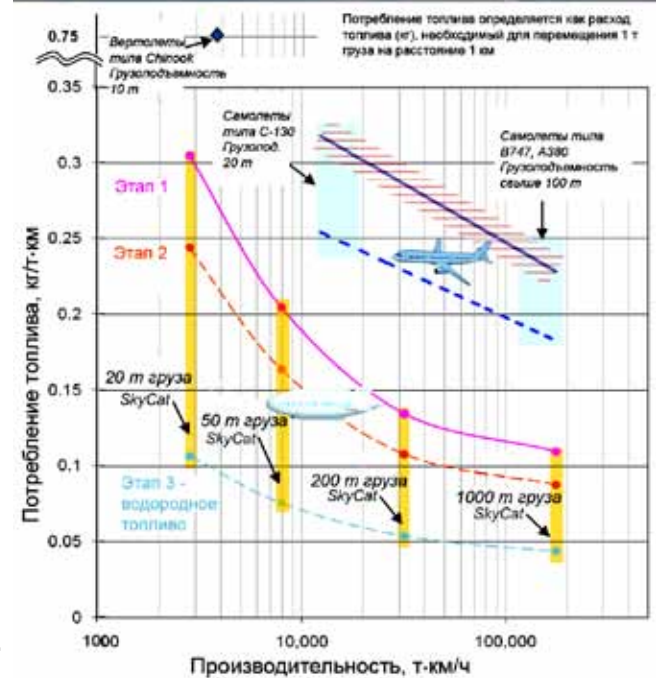


Рисунок 6

сокращения транспортных энергозатрат и дальнейшего повышения EROI. Можно сказать, что огромные лёгкие воздушные турбины и огромные лёгкие воздушные корабли рождены друг для друга!

Сегодня при создании дирижаблей применяется богатый опыт, накопленный самолёто- и ракетостроителями за прошедшие десятилетия. Дирижабль XXI века почти целиком строится из лёгких и надёжных композиционных материалов. Расчёты каркаса на прочность, как и аэродинамические расчёты, выполняются для всех мыслимых режимов полёта посредством численного моделирования, благодаря чему уже на этапе проектирования удаётся выявить и устранить слабые

места, оптимизировать конструкцию летательного аппарата. Винтовые и струйные двигатели обеспечивают полную управляемость дирижабля во всём диапазоне скоростей, включая режим висения, чему способствует компьютерная система управления. Всё это гарантирует безопасность и безотказность дирижабля, а с экономической точки зрения - максимальное время его пребывания в воздухе, т.е. эффективную эксплуатацию.

Немного заглядывая вперёд, можно прогнозировать широкое применение в дирижаблестроении информкомполитов и механокомполитов. Многочисленные датчики, внедрённые в материал, будут посылать системе управления сигналы о состоянии каркаса и оболочки, а по ответным командам механокомполитные элементы станут непрерывно перераспределять напряжения, устранять опасные механические нагрузки. Дирижабль с помощью лидаров сможет осуществлять непрерывный мониторинг окружающей атмосферы, чтобы компенсировать аэродинамические возмущения посредством регулирования работы двигателей и коррекции курса. Имеющий множество нервных связей и мышц, обла-



Рисунок 7

дающий зрением, дирижабль станет подобен живому существу, выбирающему в бурлящей атмосфере самую выгодную и безопасную траекторию.

В обозримом будущем на смену газовым турбинам придут то-

пливные элементы, не имеющие фундаментального ограничения Карно на КПД. И это - не бумажные проекты на неопределённую перспективу, а рабочие планы компаний, строящих современные дирижабли.

Например, английская фирма Hybrid Air Vehicles разрабатывает типоразмерный ряд комбинированных двухкорпусных дирижаблей SkyCat грузоподъёмностью от 20 до 1000 т. Имеющие мягкую оболочку и стеклопластиковые «лыжи», аппараты способны совершать посадку на землю и на воду, а в полёте - использовать аэродинамическую подъёмную силу, возникающую при обтекании корпуса. На рис. 6 показано, как с увеличением объёма возрастает производительность дирижабля и насколько при этом сокращается расход топлива на транспортировку груза. Если нынешняя техническая база обеспечивает потребление от 100 до 300 г топлива на



Рисунок 8

тоннокилометр, то применение водородной двигательной установки позволит втрое сократить энергозатраты [18]!

В докладе [18] на примере доставки труб общей массой 80 т для магистральных газо- и нефтепроводов показано, что стоимость тоннокилометра у дирижабля SkyCat оказывается примерно на 30% ниже, чем при транспортировке санным путём (не говоря уж о вертолётах). К тому же прокладка тысячекилометровых дорог по снегу и льду во многих районах становится проблематичной вследствие глобального потепления [19]. Данные выводы вполне справедливы и для доставки ветроагрегатов массой порядка 100 т в северные районы.

Канадская фирма SkyHook International в 2007 г. заключила соглашение с корпорацией Boeing о постройке комбинированного дирижабля JHL-40, коммерческая эксплуатация которого согласно детально разработанному плану должна начаться в 2014 г. (рис. 7). Незагруженный дирижабль обладает

нейтральной плавучестью, а 40 т груза поднимает в воздух двигательная установка. Это обеспечивает компактность и высокую маневренность аппарата, однако и дальность полёта «вертолета» без дозаправки оказывается сравнительно невелика - около 300 км.

Подобная схема предлагалась ещё в 1970-е годы фирмой Kawasaki Heavy Industries и другими разработчиками [7], но дирижабль JHL-40 имеет ряд запатентованных отличий. Главное же, что он создаётся на базе современных технологий и материалов в кооперации с гигантом самолётостроения. В докладе [20] представлены технико-экономические расчёты лётных и эксплуатационных характеристик JHL-40 с учётом метеорологических условий северной Канады и показано, что дирижабль сможет находиться в воздухе около 260 дней в году. Наряду с обслуживанием нефтепромыслов, магистральных трубопроводов и объектов горнодобывающей промышленности, в качестве основных задач для дирижабля указано сооружение ветропарков. Однако данные табл. 1 показывают, что грузоподъёмность JHL 40 позволяет обеспечить лишь доставку лопастей и монтаж роторов ВЭА мощностью 1-2 МВт, а для полного обеспечения строительства крупных ВЭС необходимы дирижабли грузоподъёмностью порядка 100 т и выше, обладающие большей дальностью автономного полёта.

Именно такие воздушные корабли разрабатывает американская компания Worldwide Aeros Corp., в качестве основного их предназначения определившая доставку лопастей и строительство мощных ветроагрегатов. Фирма, основанная в СССР в годы перестройки, с начала 90-х успешно развивается в США и выпускает широкий ряд аэростатов и дирижаблей с мягкой оболочкой. В перспективном жёстком дирижабле Aircraft для регулирования подъёмной силы предлагается использовать наполненные гелием баллоны переменной объёма. Система совместного регулирования аэростатической подъёмной силы и вектора тяги винтов должна обеспечить взлёт, полёт, посадку и выполнение погрузочно-разгрузочных операций без применения балласта [21]. Данное решение позволит существенно повысить экономичность и увеличить дальность транспортировки грузов.

Проект Aircraft разбит на три этапа разного уровня реализуемости (рис. 8). На первом этапе строится дирижабль, способный перемещать 60 т груза на расстояние свыше 5000 км. Этого достаточно для доставки ВЭУ мегаваттного класса в любые труднодоступные районы. В конструкции дирижабля широко используются композиционные материалы, а в системе управления - самая современная авионика.

Далее планируется применить ряд усовершенствований и построить дирижабли грузоподъёмностью 300 и 600 т, способные обеспечить лопастями целый ветропарк либо доставить и смонтировать несколько крупных ВЭУ. Наконец, в более отдалённой перспективе предполагается создать гигантский дирижабль грузоподъёмностью 1200 т, оснащённый водо-

Литература и источники

14. А. Поппер. О проекте системы аэростатического освоения атмосферы / Киев. Монографія. №1, 2003.
 15. Г. Е. Верба, П. А. Пономарев, С. В. Фадеев. Дирижабли и аэростаты: комплекс. Современное состояние и перспективы / Летат. общерос. нац.-техн. журн. 2008, № 5.
 16. J. Kubiszewski, S. Cleveland. EROEI (Energy Return on Investment) for wind energy / The Ecologist. June 7, 2007.
 17. Голоскокая А. Н. Критерий сравнения эффективности традиционных и альтернативных энергоресурсов / Электронный научный журнал «Инженерное дело». 2011. № 1.
 18. Gordon Taylor. Hybrid Airships: A Green Solution to Canada's Transport Challenge / Доклад командой компании Hybrid Air Vehicles, Ltd на 5-м Международном симпозиуме "Airships to the Arctic". Seattle, WA, 2009.



Рисунок 9

родной двигательной установкой. Такой летательный аппарат станет мощным инструментом развития континентальной ветроэнергетики.

Выбор диктует экономика

Экономическая эффективность применения дирижаблей доказана для транспортировки самых разных грузов:

- » буровых установок, опор ЛЭП [7],
- » минерального сырья, древесины, труб большого диаметра [20, 22],
- » природного газа и жидкого топлива [7, 23, 24],
- » спасательного оборудования, гуманитарной помощи [25],
- » тяжелого промышленного оборудования [26],
- » контейнеров через океан [13],
- » скоропортящихся тропических фруктов [27].

Анализ эксплуатационных показателей убеждает, что дирижабль является высокоэкономичным и универсальным транс-

портным средством, причём требует сравнительно с любыми другими видами транспорта минимальных затрат на наземную инфраструктуру. Однако чтобы воспользоваться этими преимуществами, дирижабль необходимо сначала создать! Насколько оправдано его применение для российской ветроэнергетики с учётом затрат на разработку и строительство совершенно нового летательного аппарата? Отечественная компания «Авгурь - РосАэроСистемы», выпускающая аэростаты и мягкие дирижабли объёмом в несколько тысяч кубометров, в 2014 г. планирует поднять в воздух комбинированный дирижабль «Атлант-30» грузоподъёмностью 14 т, а двумя годами позже - «Атлант-100», способный перенести свыше 50 т груза на расстоянии до 2000 км (рис. 9). Дирижабли, построенные в арктическом исполнении, будут оснащены системой предотвращения обледенения и окажутся способными совершать посадку на снег и на воду. В докладе [28] разработчики указывают, что затраты на про-

ектирование «Атланта-100» составят 51 млн евро и строительство первого образца потребует 40 млн евро, т.е. суммарные инвестиции в первый дирижабль грузоподъёмностью 50 т окажутся порядка 100 млн евро. Сравним эту цифру с ожидаемой стоимостью российских ВЭС, которые планируется построить с 2015 по 2020 год.

При весьма скромных темпах ввода мощностей ВЭС порядка 1 ГВт в год, предусмотренных вышеуказанным постановлением правительства, за данный период будут построены ветропарки суммарной мощностью порядка 5 ГВт. По данным EWEA, к 2020 г. удельная стоимость ветроагрегатов составит по минимальной оценке 1 млн. евро на 1 МВт установленной мощности, т.е. инвестиции только в оборудование достигнут 5 млрд евро.

В этом случае стоимость разработки и строительства дирижабля типа «Атлант-100» не превысит 2% стоимости ВЭС, введённых в эксплуатацию за пятилетие, без учёта прочих инвестиций в ветроэнергетику. Поскольку доставка ВЭУ в континентальные районы наземным транспортом может увеличить их стоимость более чем на четверть, то строительство 50-тонного дирижабля оказывается безусловно прибыльным, и в первую очередь - для транспортировки лопастей. Но справится ли он с поставленной задачей?

Ветроэлектростанции общей мощностью 5 ГВт потребуют около 50 тыс. т лопастей. Пусть половина из них будет доставлена по воздуху, тогда общая масса груза составит порядка 25 тыс. т, что за 5 лет потребует выполнить около 500 рейсов, или порядка 100 рейсов в год. При средней скорости полёта 120 км/ч дирижабль за сутки преодолевает свыше 2000 км, поэтому при доставке оборудования ВЭС в радиусе 1-2 тыс. км данный режим эксплуатации представляется весьма напряжённым, но выполнимым. Этого, при условии рационального размещения заводов по выпуску основных компонентов ВЭС, достаточно для обеспечения оборудованием ветропарков по всей России (рис. 9). Помимо доставки новых агрегатов, подобный дирижабль успешно решит позднейшую задачу возврата выработавших ресурс стеклопластиковых лопастей на утилизацию. Стоимость транспортировки, по данным [28], не превысит 0,33 евро/т-км, т.е. в среднем примерно 20 тыс. евро на один рейс, что составляет всего несколько процентов от стоимости ветроагрегата мегаваттного класса. Это ещё раз доказывает экономическую эффективность дирижабля, который к тому же во многих случаях оказывается безальтернативным транспортным средством. Более того, доставка дирижаблем должна выполняться гораздо быстрее, дешевле и надёжней, чем при использовании обычной транспортной цепочки, включающей железную дорогу, грузовое судно и автомобиль [12, 28] и создающей для крупногабаритных компонентов ВЭУ высокие транспортные риски [3].

Перевозка ветроагрегатов по воздуху предусматривает всемерное сокращение их массы. Вопрос оптимизации массы и стоимости башни заслуживает отдельного рассмотрения,

однако очевидно, что в случае воздушной транспортировки предпочтительней окажутся ферменные стеклопластиковые конструкции, а не стальные или железобетонные трубы. Вероятно, именно ферменные башни из композитов помогут дотянуться до высотных ветров в глубине континента.

Немалое влияние на экономичность воздушных перевозок оказывает и доступность гелия. Россия имеет самые богатые на планете месторождения лёгкого газа, и система обеспечения им дирижаблей должна стать существенным звеном не только отечественной, но и мировой инфраструктуры воздухоплавания.

Приведённые оценки показывают, что для развития российской ветроэнергетики одного 50-тонного дирижабля если и достаточно, то лишь на самом начальном этапе. Скорей его использование можно рассматривать как пилотный проект, который позволит за несколько лет наработать опыт эксплуатации и подготовить к началу третьего десятилетия XXI века техническую и нормативную базу для широкого применения дирижаблей грузоподъёмностью порядка 100 т и выше, чтобы к середине столетия поднять до среднемирового уровня вклад ветра в энергетический баланс страны.

М.Ю. Ощепков
к.т.н., директор по науке инжиниринговой фирмы
ПОЛИТЕРМО
moschepkov@yandex.ru

РЕКЛАМА

ОАО «Авангард», 21500, Смоленская область, город Сафоново, ул. Октябрьская, дом 78.

Тел.: (48142) 3-42-32, 3-42-45

E-mail: info@avangard-plastik.ru
http://www.avangard-plastik.ru

Литература и источники

19. Вугль Френкель, А. Дирижабль и его роль / Минин В. Ф. - Москва: Авиационное издательство, 2007.

20. Kamenin L. G. et al. The Arkhivok N.V. Arctic: A New Way to Transport Heavy Equipment to Remote Locations. An Analysis of Transportable Coast Service and Sustainability / Доклад, Transport Institute of University of Manitoba на 5-м Международном симпозиуме "Arktika to the Arctic", Seattle, WA, 2009.

21. Emond Frenkel, The Arkhivok N.V. Arctic: A New Way to Transport Heavy Equipment to Remote Locations. An Analysis of Transportable Coast Service and Sustainability / Доклад, Transport Institute of University of Manitoba на 5-м Международном симпозиуме "Arktika to the Arctic", Seattle, WA, 2009.

22. Вугль Френкель, Ф. Дирижабль и его роль в развитии авиации в Арктике / Доклад, Transport Institute of University of Manitoba на 5-м Международном симпозиуме "Arktika to the Arctic", Seattle, WA, 2009.

23. Вугль Френкель, А. Дирижабль и его роль в развитии авиации в Арктике / Доклад, Transport Institute of University of Manitoba на 5-м Международном симпозиуме "Arktika to the Arctic", Seattle, WA, 2009.

24. А. Поляков. Аэростатический способ транспортировки большого количества газообразного и жидкого топлива / Киев: Монгольфьеры, №2, 2004.

25. J. Collignon, Sustainable Humanitarian Air Service for Emergency Relief / Доклад, World Food Program на 5-м Международном симпозиуме "Arktika to the Arctic", Seattle, WA, 2009.

26. Paul D. Lapan, Moving Heavy Equipment to Remote Locations: An Analysis of Transportable Coast Service and Sustainability / Доклад, Transport Institute of University of Manitoba на 5-м Международном симпозиуме "Arktika to the Arctic", Seattle, WA, 2009.

27. Barry E. Frenkel, Richard P. Bellack, Alfred J. Phillips, Economics of Airships for Perishable Food Trade / Доклад, Transport Institute of University of Manitoba на 5-м Международном симпозиуме "Arktika to the Arctic", Seattle, WA, 2009.

28. Gennady Verba, Atlant - The Future Technology for Northern Areas Development / Доклад, компания «RosAeroSistemy» на 5-м Международном симпозиуме "Arktika to the Arctic", Seattle, WA, 2009.