

## ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ ТА СИСТЕМИ

УДК 620.92

**В.П. КАЯН, А.Г. ЛЕБЕДЬ**

### **ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА**

***Аннотация.** Представлен анализ изменений глобальной температуры Земли и интенсивности глобальной эмиссии углекислого газа и их последствий за последние десятилетия. Проанализировано влияние на эти параметры сжигания ископаемого топлива и внедрения в экономику возобновляемой энергетики. Предложена конструкция созданного в Украине ветроротора Дарье с прямыми управляемыми лопастями, показавшего при испытаниях в 1,5 раза большую эффективность ( $C_p = 0,45$ ), чем у существующих на сегодня лучших мировых аналогов ( $C_p = 0,3$ ).*

***Ключевые слова:** температура, эмиссия углекислого газа, уровень воды в океанах, ископаемое топливо, возобновляемая энергетика, ветроустановки.*

То, что климат на Земле меняется, и не в лучшую сторону, знают уже, наверное, все. Но что конкретно происходит в действительности, в чем это проявляется, что нам грозит и что надо делать? Самое главное – резко ускорилось повышение средней глобальной температуры Земли, что влечет за собой множество опасных последствий.

**1. Повышение глобальной температуры.** Так, в январе 2016 г. по данным спутниковых измерений превышение среднемесячной температуры на  $3^{\circ}\text{C}$  наблюдалось в Западной Европе, Средней Азии и северо-западной Африке.

В Longyearbyen, на норвежском арктическом острове, повышение температуры достигло пика (на  $6,6^{\circ}\text{C}$ ) 2 января, в то время как средняя величина температуры в течение нормального января составляет  $-15,3^{\circ}\text{C}$  (данные от норвежского Метеорологического Института) [1].

В феврале 2016 г. превышение средней за месяц температуры на  $3\text{--}4^{\circ}\text{C}$  наблюдалось по всей центральной и восточной Европе, а на всей Земле это превышение составило  $1,35^{\circ}\text{C}$ . Февраль 2016 г. был, бесспорно, самым горячим рекордным февралем для планеты, который удивил даже ученых климата, которые близко контролируют глобальные температурные данные. Если в 2014–2015 гг. превышение средней глобальной температуры Земли над уровнем 1951–1980 гг. составляло примерно  $0,7\text{--}0,8^{\circ}\text{C}$ , то в первые месяцы 2016 г. это превышение составило уже более  $1^{\circ}\text{C}$  [2]. Самой большой областью аномальной теплоты в феврале была Арктика, которая также имела рекордно низкие площади морского льда в течение и января, и февраля.

Согласно базе данных NOAA (Национальная Океаническая и Атмосферная Администрация при Министерстве торговли США), март 2016 г. оказался на целых  $1,22^{\circ}\text{C}$  более теплым, чем средняя величина температуры марта 20-го столетия ( $12,7^{\circ}\text{C}$ ), так же как и на  $0,32^{\circ}\text{C}$  выше предыдущего рекорда в марте, полученного в 2010 г. [3].

Предыдущие шесть месяцев (октябрь 2015 г. – март 2016 г.), как показано в базах данных и NOAA, и NASA, имели весь набор рекордов и определены как самые теплые с 1880 г. Март 2016 г. также отметил одиннадцатый последовательный месяц, когда превышался ежемесячный температурный рекорд и шестнадцатый последовательный месяц, в котором ежемесячная глобальная температура оценена среди трех, самых теплых в соответствующих им месяцах в базе данных NOAA.

За 1 кв. 2016 г. глобальная температура на земном шаре оказалась уже на  $0,3^{\circ}\text{C}$  выше, чем за этот же период 2015 г. Столь стремительный рост глобальной температуры наблюдается уже второй год подряд (температура 2015 г. в эти же сроки была на  $0,2^{\circ}\text{C}$  выше, чем в 2014 г.) [3].

Апрель 2016 г. был на  $1,11^{\circ}\text{C}$  выше средних чисел глобальных температур за 1951–1980 гг., делая его вновь рекордным, согласно новым данным от NASA. Добавим, что на Аляске и в северной части России температуры этого месяца были более чем на  $4^{\circ}\text{C}$  выше обычных. В середине месяца также отмечены местные температурные рекорды в Азии (Индия –  $46^{\circ}\text{C}$ , Таиланд –  $44,3^{\circ}\text{C}$ , Камбоджа –  $42,6^{\circ}\text{C}$ , Лаос –  $42,3^{\circ}\text{C}$ , Вьетнам –  $41,8^{\circ}\text{C}$ , Филиппины –  $39,4^{\circ}\text{C}$ ). Это был также седьмой последовательный месяц, который устанавливал глобальные температурные рекорды [4].

На рис. 1 представлена диаграмма (источник NOAA) изменения отклонения средней глобальной температуры за последние 115 лет (осреднение по данным за 5 лет) от средней глобальной температуры 20 столетия, равной  $13,9^{\circ}\text{C}$  [5].

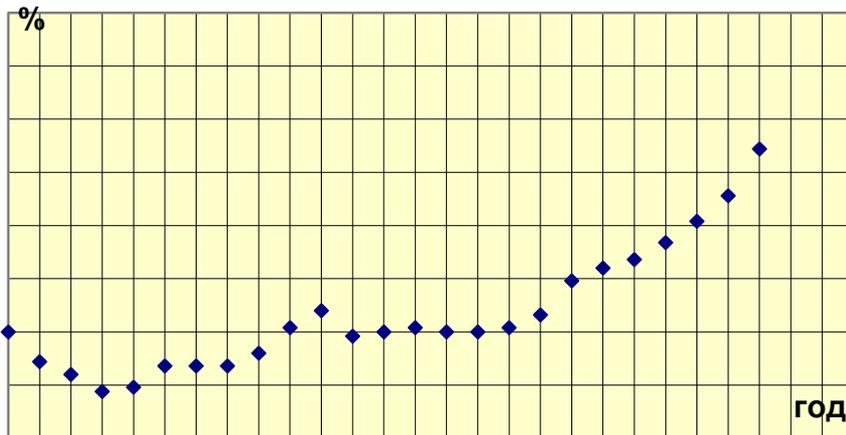


Рис. 1 – Диаграмма отклонений средней глобальной температуры (осредненной по данным за 5 лет) от средней глобальной температуры 20 столетия (ордината 0)

Научное сообщество сейчас в большинстве своем уверено, что 2016 г. станет самым горячим и рекордным в этом отношении годом, и как никогда согласно с тем, что если мир продолжит сжигать ископаемое топливо

в прежнем объеме, увеличение средней глобальной температуры на 2°C наверняка будет уже достигнуто к середине столетия, и к 2100 г. мы могли бы увидеть это увеличение уже на целых 5°C [6]. Исследования и расчеты показывают, что повышение глобальной температуры на 2°C привело бы к намного большим пожарам, более интенсивным ураганам, сокращению важных зерновых пищевых культур, чрезвычайной засухе, продолжению арктического таяния, значительному повышению уровня океанов и увеличению мощных ливней и наводнений, что мы можем наблюдать уже и в наше время.

И последнее. Ученые из Университета штата Виктория в Канаде провели подсчеты того, что случилось бы с Землей, если бы мир продолжал сжигать уголь, нефть и газ без усилий ограничить эмиссию [7]. При этом сценарии содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере достигло бы 2000 частиц на миллион к 2300 г. (сейчас 400 на миллион). Выброшенные в виде CO<sub>2</sub> в атмосферу 5 трлн т углерода подняли бы глобальную температуру на 6,5–9,5°C относительно средней температуры 20 века. Арктика же, которая уже нагревается быстрее чем остальная часть мира, увидела бы повышение температур по крайней мере на 14,7°C, а может быть и на 19,5°C.

Кроме того, нельзя обойти стороной воздействие повышения глобальной температуры на здоровье людей. Доклад «*Воздействия Изменения климата на Человеческое Здоровье в США: Научная Оценка*», опубликованный в апреле 2016 г., приходит к выводу, что повышающиеся температуры в ближайшие годы будут способствовать увеличенному риску для человеческого здоровья, а именно:

- смерть от высокотемпературного удара, особенно в летние месяцы;
- хронические и острые дыхательные проблемы;
- переносимые ветром возбудители болезней, таких как Западный Нильский вирус и болезнь Льюе, так же как и появление новых болезнетворных микроорганизмов;
- химические токсины в пищевой цепи;
- последствия для умственного здоровья и т. д. среди унылого перечня других рисков [8].

Согласно данным Метеорологического Департамента Индии (IMD) в стране, начиная с 2001 г., продолжается неуклонное повышение среднегодовой температуры, что вызвано, по мнению генерального директора IMD Л.С. Ратора, “чрезмерным использованием энергии и эмиссией углекислого газа, а также такими факторами, как урбанизация и индустриализация” [9]. В 2015 г. волна высокой температуры, которая сопровождалась к тому же слабыми муссонными ливнями, забрала жизни приблизительно 2500 жителей Индии. Острая нехватка воды в центральных областях Индии и длительные засухи вызывают растущую безнадежность у фермеров, что уже за 5 месяцев 2016 г. привело почти к 400 самоубийствам среди фермеров.

**2. Угроза таяния ледников и повышения уровней океана.** Быстрое повышение температуры на земном шаре, особенно в приполярных областях, привело соответственно к усиленному таянию их ледяных покровов. В результате площадь льда в северных морях была ниже среднего уровня и составила 13,5 млн км<sup>2</sup>, что на 1 млн км<sup>2</sup> ниже среднего уровня за 30 лет

(1981–2010 гг.). Арктика – это район, в котором происходят самые драматические изменения за несколько прошлых десятилетий. Как отметила К. Пистоун из Исследовательского центра Ames NASA, «тающий арктический морской лед является не только признаком глобального потепления, но и важным вкладчиком в это потепление из-за эффекта альбедо» [10], т. е. когда арктический морской лед тает, более темная океанская вода поглощает больше солнечной энергии и нагревается. Это, в свою очередь, заставляет таять еще больше морского льда.

Кроме того, арктический лед сильно помолодел. Так, если 30 лет назад молодой (годовой) лед занимал только 37% от всей площади арктического ледового бассейна, а старый (5-летний) – 30%, то сегодня эти цифры уже 68 и 3% соответственно, т.е. площадь 5-летнего льда уменьшилась в 10 раз [3].

То же самое происходит и с ледниками Гренландии. Каждый год они теряют около 290 млрд т льда, что обусловлено не только повышением температуры в этом регионе, но и изменением структуры поверхностного слоя ледников, так называемого фирна, произошедшего от экстремального таяния в 2011–2015 гг. Кроме того, ученые из Географического Департамента Университета в Шеффилде установили, что на острове увеличилась сфера действия погодных систем высокого давления, которая оставалась постоянной по Острову Гренландия с 1980-х годов, что существенно воздействовало на чрезвычайную погоду и изменение климата в регионе [11]. Как пояснил руководитель исследований проф. Э. Ханна, наиболее часто это происходит из-за сильного арктического нагрева и изменений в атмосферных потоках в последние годы. Это отражает увеличение дестабилизации атмосферных погодных систем в конце осени и в начале зимы, что может быть связано, по крайней мере частично, с драматическим снижением площади морского льда в арктической области.

Понуждаемое истощением полярных льдов, изменение климата фактически изменяет путь оси вращения Земли. Тающие ледники Гренландии вносят также свой вклад в изменение движения полюсов. Остров Гренландия и Антарктида вместе теряют больше чем 400 млрд т льда ежегодно, меньшие ледники во всем мире также теряют свою массу, внося свой вклад в изменение климата и положение оси вращения Земли [12].

Установлено, что если до 2000 г. направление дрейфа Северного полюса было в сторону Гренландии и Восточной Канады, то уже в 2004–2015 гг. направление дрейфа сместилось значительно восточнее и сейчас точка Северного полюса дрейфует в сторону Британских островов и Пиренейского полуострова.

Быстрое таяние пласта материкового льда Антарктиды всегда виделось как своего рода сценарий Судного Дня, поскольку это может привести к повышению уровня океанов на несколько метров. Одной из причин этого является то, что большая часть материкового льда лежит на земле и его нагрев происходит и сверху, и снизу.

Ученые из Университета в шт. Массачусетс, США, разработали виртуальные модели для лучшего понимания того, каковы же будут уровни открытого моря в течение предыдущей эры более высоких температур. Используя эти модели, они нашли, что повышающиеся уровни парникового газа в атмосфере могут вызвать безудержное таяние Антарктического льда, которое одно только могло бы повысить уровни морей на более чем 1 м

к концу столетия [13]. Кроме того, используя это моделирование для прошлых эпох Земли, ученые пришли к выводу, что значительно более высокий уровень воды в мировом океане (на 6–9 м) относительно сегодняшнего дня был вызван именно безудержным таянием Антарктического льда в Плиоценовую эпоху (3 млн лет назад) и в Межледниковый период (около 120 тыс. лет назад). «Если бы Западный Антарктический Ледник растаял, то это могло бы добавить от 4 до 7 м к повышению уровня моря, и такие цифры создают потенциал для ряда крупномасштабных катастроф» – утверждают они. Если же эмиссия CO<sub>2</sub> будет продолжаться по-прежнему, то ученые считают, что повышение уровня морей может достигнуть величины 15 м к 2500 году...

**3. Эмиссия углекислого газа продолжается.** Количество углекислого газа в планетарной атмосфере непосредственно влияет на глобальную температуру Земли, и если оно увеличивается, то растет и средняя глобальная температура. В доиндустриальную эпоху содержание CO<sub>2</sub> в атмосфере было стабильным и составляло 280 частиц на миллион. За предыдущее столетие планетарная температура повысилась на 1°C. Однако сейчас в атмосфере уже 400 частиц CO<sub>2</sub> на миллион и повышение среднегодовой температуры ускорилось.

Еще в 1979–1983 гг. американский Нефтяной Институт руководил целевой научной группой по изучению изменения климата. Согласно данным одного из ученых, который работал в этой группе, результаты были изъяты из рук ученых и быстро похоронены и забыты, пока репортеры не открыли их вновь только в прошлом (2015) году [14]. Уже в конце 1980-х руководители в компаниях по добыче ископаемого топлива хорошо знали, что горящие нефть, газ и уголь могут вызвать необратимое и опасное изменение климата.

По данным ООН жизнедеятельность городов также почти на 75% связана с эмиссией CO<sub>2</sub>. В настоящее время 54% населения Земли живет в городах, и ожидается, что к 2050 г. эта цифра повысится до 70%. Согласно мнению учёных, стоимость бездействия по предотвращению изменения климата может составить более \$44 трлн к 2060 г.

Согласно предварительному анализу данных Международного Агентства Энергетики (IEA) за 2015 г., количество углерода, эмитируемого всемирным сектором энергетики, в течение второго года подряд оставалось неизменным. Отмечено, что за эти более чем 40 лет, с тех пор как отслеживается углеродистая эмиссия, это только четвертый период, во время которых эмиссия останавливалась или уменьшалась. Первые три срыва отмечались как раз в течение кризисных периодов в мировой экономике, а именно: 1 – второй нефтяной кризис (1980–1984 гг.); 2 – распад Советского Союза (1991–1994 гг.); 3 – Глобальный экономический кризис (2008–2009 гг.). За эти 40 лет глобальная эмиссия выросла более чем вдвое – от почти 16 Гтн CO<sub>2</sub> в 1975 г. до более чем 32 Гтн в 2015 г. [15].

В то же время в течение 2000–2014 гг. более 20 стран показали рост ВВП при одновременном снижении эмиссии CO<sub>2</sub>. Например, в США в 2010–2012 гг. связанная с производством энергии эмиссия углекислого газа уменьшилась на 6% – от 5,58 до 5,23 млрд т (рис. 2), в то время как валовой внутренний продукт вырос на 4% – от 14,8 до \$15,4 трлн [16].

Здесь, как ни странно, одним из лидеров является Украина (эмиссия -29%, ВВП +49%). Кроме того, здесь стоит отметить такие страны, как Венгрия (-24% и +29%), Словакия (-22 и +75), Румыния (-22 и +65), Великобритания (-20 и +27), Франция (-19 и +16) и Чехия (-14 и +40).

В США в 2015 г. (по сравнению с 2005 г.) наибольшее снижение эмиссии CO<sub>2</sub> произошло в секторе промышленности (на 240 млн т), а наименьшее – в секторе транспорта (на 120 млн т) [14]. На основании долларowego ВВП в 2015 г., Соединенные Штаты использовали на 15% меньше энергии на единицу ВВП и произвели на 23% меньше связанной с энергетикой эмиссии CO<sub>2</sub> на единицу ВВП, по сравнению с энергией и эмиссией в долларовом ВВП в 2005 г.

Разъединение роста ВВП и эмиссии CO<sub>2</sub> во множестве стран демонстрирует и увеличивающуюся распространенность и выполнимость перехода к более чистым способам экономической деятельности.

Одним из мировых лидеров по величине годовой эмиссии CO<sub>2</sub> в последние десятилетия был Китай (рис. 2). Однако недавние данные показали, что и в Китае эмиссия CO<sub>2</sub> была ниже в 2015 г., чем в предыдущем году, и что, возможно, она уже достигла максимума в 2014 г.

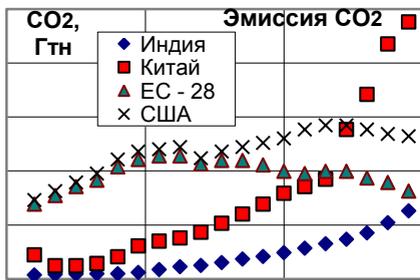


Рис. 2 – Изменение величины эмиссии CO<sub>2</sub> крупнейших стран-эмитентов за 60 лет

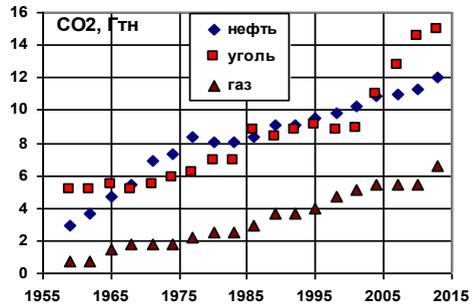


Рис. 3 – Изменение величины мировой эмиссии CO<sub>2</sub> от сжигания ископаемого топлива за 60 лет

Снижение эмиссии в Китае в значительной степени приписывается снижению спроса на энергию, поскольку Китай начал постепенно отходить от дешевых производства и экспорта. Высокие уровни инвестиций в низкоуглеродистую энергетику и снижение угольного потребления также внесли свой вклад в уменьшение эмиссии. Кроме того, и США, и Евросоюз также последние 5 лет ежегодно уменьшают количество вредных выбросов в атмосферу (рис. 2).

Наибольшими эмитентами CO<sub>2</sub> на Земле являются промышленность, производство электричества, сельское хозяйство и транспорт. Ежегодная эмиссия в основном каждый год увеличивалась и тесно связана с мировым валовым продуктом. И главный фактор степени изменения эмиссии CO<sub>2</sub> – увеличение потребления угля и нефти (рис. 3).

Ученые-климатологи однозначно пришли к выводу, что сдержать драматическое изменение климата Земли можно только путем существенного уменьшения эмиссии CO<sub>2</sub>. Один из эффективных способов сделать это, кроме уменьшения использования ископаемого топлива, – извлечь CO<sub>2</sub> из продуктов сгорания и сохранить его. Но для этого нужно потратить миллиарды долларов США на исследования и разработку установок, способных сделать это. Однако за последние 7 лет ассигнования на работы в этом направлении были резко снижены и в США, и в Канаде, и в Великобритании [18].

На пути к цели резкого сокращения эмиссии CO<sub>2</sub> есть много путей, и какой из них окажется наиболее эффективным, показать может только опыт.

**4. Кризис ископаемого топлива.** Представленные на рис. 3 данные убедительно показывают, что необходимо обратить серьезнейшее внимание на сегодняшний кризис климата, и чтобы удержать глобальное потепление ниже 2°C, необходимо существенно сократить добычу ископаемого топлива, и существующая сегодня инфраструктура энергетики должна быть изменена.

“Нам совершенно ясно: мы должны оставить по крайней мере 80%, если не больше, ископаемого топлива зарезервированным в земле” – сказал Payal Parekh, управляющий директор [350.org](http://350.org), общественного движения «Keep It In the Ground (Оставить это в земле)» [19]. “Сообщества во всем мире испытывают на собственном опыте последствия изменения климата и ущерба, причиненного промышленностью ископаемого топлива. Наша задача – добиться, чтобы мир вырвался на свободу от ископаемого топлива и ускорил изменения для справедливого перехода к 100-процентному использованию возобновляемой энергетики”.

К сожалению, в 2015 г. мировая экономика все еще сожгла 5,5 млрд т угля, что только немного ниже рекордной цифры 2013 г. Однако процесс пошел, и одним из самых значащих событий в последние годы стал крах мировой угольной промышленности с множеством компаний, подошедших к грани банкротства, и падением их объединенной рыночной стоимости в США более чем на 90%. Стоимость экономики и акций частных нефтяных компаний упала не настолько много, но они были вынуждены сокращать расходы на новые исследования и сокращать платежи.

Китай, имеющий самую большую в мире эмиссию углекислого газа, недавно объявил о планах закрытия в связи с избыточным 1 млрд т угля около 1000 шахт и наложил трехлетний мораторий на ввод в эксплуатацию новых шахт. Кроме того, правительство объявило, что Китай мог бы в конечном счете закрыть 5600 из его 10760 угольных шахт, проводя политику, которая запрещает эксплуатировать шахты с ежегодным объемом добычи меньше чем 90 000 т [20]. Китай также рассматривает вопрос о том, чтобы сократить 1,8 млн рабочих мест в угольном и металлургическом секторах.

По сообщению Национального Бюро статистики Китая, доля мощностей электростанций, работающих на угле, достигла максимума в 79% в 2011 г. и уменьшилась до 70% в 2015 г. Эти новые данные показывают, что страна серьезно намерена сократить производство электроэнергии от сжигаемого угля, чтобы закончить это десятилетие с долей ниже 60%. Это подтверждает цели китайского правительства достигнуть к 2030 г. доли в 50–55% для производства энергии от угля [21].

В энергетике США потребление ископаемого топлива также неуклонно сокращается. Так, в 2012 г. энергоустановки на газе и угле составили уже менее 50% от всех введенных за год мощностей, а в 2015 г. 68% новых производств по генерированию энергии относились уже к возобновляемой энергетике [22].

С 11 мая 2016 г. в электрическую сеть Великобритании больше не поступает электричество от источников, сжигающих уголь. К 2025 году использование угля в Великобритании будет прекращено повсеместно.

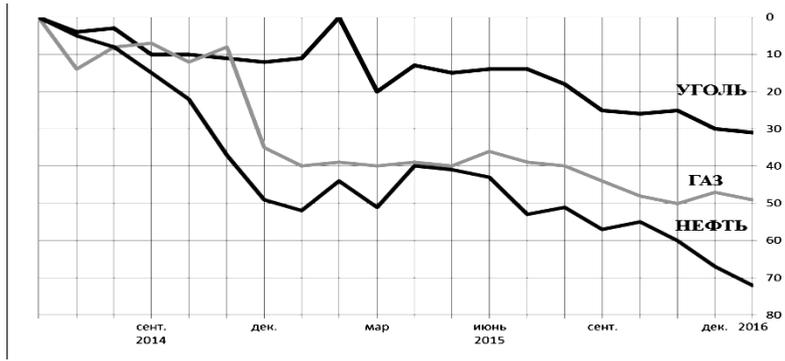


Рис. 4 – Снижение мировых цен на ископаемое топливо в % по отношению к цене середины 2014 года

Доклад *«Тигры Азии: Регулирование угля, климата и потребности в энергии»* утверждает [23], что четыре азиатские экономические системы с самым большим в мире производством энергии от сжигаемого угля, Китай, Индия, Индонезия и Вьетнам, вероятно значительно сократят строительство запланированных ранее угольных производств. Доклад делает вывод, что количество шахт, которое будет построено фактически в следующие пять лет, значительно меньше запланированной 1000 и, вероятно, лежит ближе к 500.

Это объясняется тем, что и Индия, и Китай построили больше угольных шахт, чем им было необходимо, и лидируют по производствам, которые используются всё меньше и меньше времени, что в свою очередь уменьшает их доходность. В Китае коэффициент использования шахт упал от 60% в 2011 г. до ниже чем 50% в 2015 г.; а в Индии этот коэффициент упал от пика в 78% в 2008 г. до ниже 65% в 2015 г., и эта тенденция, вероятно, продолжится.

Стремительно падающие цены на все виды ископаемого топлива (рис. 4) подвигли Саудовскую Аравию объявить о планах основать фонд суверенного богатства в размере \$2 трлн, начав с 2017 г. распродавать государственные нефтяные активы (5% акций корпорации «Арамко») в подготовке к миру без нефти [24]. “Это позволит нам разносторонне развивать наши инвестиции так, чтобы в течение 20 лет мы стали экономикой и государством, которое не зависит главным образом от нефти” – сказал принц Мохаммед, 30-летний сын Короля Саудовской Аравии Салмана.

«Факт, что они пробуют отсоединить богатство страны от нефтяных доходов, будет замечен многими как еще один признак того, что конец нефтяного века приближается быстро. Если нефтяные титаны ищут стратегию выхода, не все так хорошо в секторе ископаемого топлива» – сказал Чарли Кроник, старший советник по климату в Гринпис Великобритании. Чистое потребление нефти в передовых индустриальных странах уже понизилось от 50 млн баррелей в день в 2005 г. до 45 млн баррелей в 2014 г.

И последнее. На майском (2015 г.) Саммите стран большой семерки лидеры этих стран впервые установили крайний срок для окончания предоставления субсидий добыче ископаемого топлива, говоря о правительственной поддержке добычи угля, нефти и газа, которые должны

закончиться к 2025 г. [25]. Они пригласили все страны присоединиться к ним в устранении “неэффективных субсидий ископаемого топлива” в течение десятилетия. Одной из причин такого решения можно считать Заявление Международного валютного фонда, который оценил, что финансовая правительственная поддержка добычи и использования ископаемого топлива приводит к увеличению ущерба от загрязнения и изменения климата до \$5,3 трлн в год. Это больше, чем общее количество денег, которое тратится за год на всей Земле на защиту человеческого здоровья.

**5. Парижское соглашение.** Обращаясь к глобальной угрозе изменений климата и действиям, которые необходимы для их предотвращения или смягчения, представители 196 государств Земли прибыли в декабре 2015 г. на 21-ю Конференцию Стран-Участниц (COP21), прошедшую в Париже как часть Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций по Изменению климата (UNFCCC) [26].

Надо отметить, что это не первая попытка уменьшить влияние последствий промышленной революции на состояние экологии Земли. Ученые-климатологи подавали сигналы тревоги еще в конце 1980-х, и переговоры о структуре соглашения по остановке глобального потепления начались еще в 1992 г. на Встрече на высшем уровне лидеров Земли в Рио. Кроме того, еще в 2009 г. на встрече в Копенгагене более чем 100 стран в рамках COP15 договорились об общих шагах по недопущению повышения глобальной температуры Земли более чем на 2°C в 21 столетии. Однако стремительное повышение этой температуры за последние пять лет заставило вновь обратиться к этой теме.

Парижское Соглашение предусматривает общие усилия всех стран Земли, целью которых является недопущение катастрофического изменения климата путем сокращения эмиссии углекислого газа до чистого ноля к 2100 г., переходя от использования ископаемого топлива в пользу более зеленой энергетики с использованием глобально солнечной и ветровой энергии [1].

Это Соглашение показывает нашу готовность действовать, и хотя необходимы намного большие изменения, но одно из обязательных условий Парижского соглашения требует пятилетних прозрачных планов действия, которые должны будут разработать каждое государство-подписант, чтобы дать толчок к необходимым шагам.

Украина также находится среди стран-подписантов, и украинский парламент ратифицировал это соглашение 14 июля 2016 г., став 20-й страной (только 20-й!), сделавшей это. С сожалением надо отметить, что среди выступавших в парламенте лиц не оказалось ни одного, кто упомянул бы при этом возобновляемую энергетику.

Доктор Йоханес Ерпелайнен из Колумбийского Университета (США) определяет три главных критерия, которые могут помочь построить реалистичную политику, позволяющую реализовать постулаты этого соглашения [27]:

- политика сохранения климата должна вести технологические и политические преобразования в одно и то же время;
- технологические преобразования означают поощрение низкоуглеродистых технологий, делая их более конкурентоспособными относительно ископаемого топлива;

– политическое преобразование означает, что каждая маленькая победа в этом направлении должна быть выполнена так, чтобы выстроить политическую поддержку идее сохранения климата в каждом избирательном округе, в каждой стране.

Генеральный секретарь ООН Пан Ги Мун на конференции в Париже заявил, что «производство и использование энергии ответственны более чем за половину полной эмиссии углекислого газа на земном шаре». Он отметил, что «технологии использования возобновляемой энергии становятся все более дешевыми и конкурентоспособными, и многие люди впервые получают доступ к энергии благодаря солнечным панелям, ветротурбинам и минигидроэлектростанциям» [28]. Там же (на конференции) была запущена Африканская Инициатива Возобновляемой Энергетики, предусматривающая инвестицию \$5 млрд на африканском континенте в течение 2016–2020 гг.

Критики предупреждают, что определенные цели Парижского соглашения по сокращению эмиссии CO<sub>2</sub> являются слишком низкими, что темп их выполнения является слишком медленным и потерпело неудачу предложение о том, чтобы установить штрафы за несоблюдение соглашения.

В соглашение климата включены положения, которые признают критическую роль, которую гражданское общество должно играть в том, чтобы заставить это Соглашение работать. Оно обращается к гражданам с просьбой повысить их усилия и действия поддержки, чтобы уменьшить эмиссию CO<sub>2</sub>. Это сигнализирует о требовании ко всем нам, чтобы быть активно занятыми в преобразовании нашего мира от находящегося во власти ископаемого топлива к тому, который движется к возобновляемой энергетике. В то время как эти слова не составляют призыв к революции, ясно, что и ООН, и мировые лидеры признают, что ранее участие гражданина в решении проблем глобального потепления отсутствовало. Успех или неудача соглашения находятся на плечах всех людей Земли.

**6. Возобновляемая энергетика.** В январе 2016 г. Международное агентство по возобновляемой энергетике провело в Абу-Даби, столице ОАЭ, международные дебаты по результатам Парижского Саммита 2015 г. Генеральный секретарь ООН Пан Ги Мун подчеркнул, что «возобновляемая энергия безгранична и будет всегда, и чем больше экологически чистых производств энергии мы будем строить, тем дешевле будет такая энергия» [29]. Там же государственный министр энергетики Германии Р. Бак сказал, что возобновляемая энергия становится все дешевле и берет верх над энергией из традиционных источников, и наиболее безопасной и эффективной по цене сегодня становится энергия от ветра и солнца [30]. Недавний опрос общественного мнения показал, что 87% хотели бы получать энергию от солнечных электростанций, 78% – от ветровых и только 8% – от ядерных.

В 2015 г. во всем мире было инвестировано в возобновляемую энергетику \$286 млрд, или на 7% больше, чем в 2014 году, из них 44% проинвестировано в солнечную энергетику, 35% – в ветроэнергетику и 11% – в энергетику на биомассе, и в это же время инвестиции в новые производства энергии, сжигающие уголь, нефть и природный газ, составили \$253 млрд. Кроме того, 2015 г. был первым, когда инвестиции в возобновляемую энергетику были больше в развивающихся странах, чем в промышленно развитых – \$156 млрд против 130 [31] (\$118 млрд только в ветровую и солнечную). Вложенные за

последние 12 лет в мире в развитие возобновляемой энергетики \$2,3 трлн привели к тому, что за последние 6 лет себестоимость энергии от ветровых электростанций снизилась на 60%, а от солнечных – на 82%.

Однако рост инвестиций в чистую энергетику наблюдается не везде. Европа, когда-то мировой лидер в расходах на возобновляемую энергетику, уменьшила свои инвестиции из-за экономического застоя. В прошлом году Европа осуществила самые малые инвестиции в возобновляемую энергетику, начиная с 2006 г. Европа вытеснена Китаем, как новым мировым лидером,двигающим вперед возобновляемую энергетику. Китай потратил рекордные \$103 млрд на развертывание инфраструктуры экологически чистого вида энергии в прошлом году. Это на 17% больше, чем в предшествующем году, и почти столько, сколько США и объединенная Европа затратили вместе. Расходы в США повысились на 7,5% в 2015 г. до \$56 млрд [32].

В 2015 г. возобновляемая энергетика, исключая большие гидроэлектростанции, все еще представляет меньшинство во всемирной полной установленной мощности энергетики (приблизительно одна шестая, или 16,2%), но эта величина продолжает расти (от 15,2% в 2014 г.). Тем временем фактическое электричество, произведенное возобновляемой энергетикой, составило уже 10,3% мирового генерирования в 2015 г. (от 9,1% в 2014 г.) [31].

Китай установил в 2015 г. два мировых рекорда – ввел в эксплуатацию новые ветроустановки общей мощностью 30,5 ГВт и новые солнечные электростанции мощностью 16,5 ГВт. В то же время потребление угля в Китае снизилось почти на 5%. Общая мощность ветроустановок в Китае к концу 2015 года достигла 145 ГВт, что почти вдвое выше, чем имеется у США (75 ГВт), и более чем втрое выше, чем у Германии (43 ГВт). В 2016 г. Китай планирует ввести в действие ветроустановки мощностью 24 ГВт и солнечные электростанции на 18 ГВт с одновременным существенным снижением использования угля [33].

В Индии мощность ветроустановок к началу 2016 г. достигла 26 ГВт. Индия объявила о планах создания ветростанции на 170 МВт, где будет 85 2МВт-х ветроустановок. Солнечная энергетика Индии начала 2016 г. с 7% сокращения тарифов до 6,5 с США за кВт-час, причем за последние 5 лет эти тарифы снизились на 80%! Индия объявила об инвестициях \$11 млрд в течение 2016–2020 гг. для установки 30 млн ирригационных насосов на солнечной энергии [33].

Производство электричества в США от ветровых и солнечных электростанций выросло в 2015 г. на 20,7 МВт-час по сравнению с 2014 г. В то же время генерирование электричества от ископаемого топлива снизилось на 18 МВт-час [34]. Производство энергии от возобновляемых источников в 2015 г. составило 12,8% от всей произведенной в стране энергии (от угля – 33%, от природного газа – 32,5%). А вот по величине всех введенных в действие в 2015 г. новых энерго мощностей электростанции на возобновляемых источниках составили 69%.

В Германии в 2015 г. производство энергии от возобновляемых источников составило уже 32,5% от всего объема произведенной энергии (10% в 2005 г. и 4,5% в 1995 г.), причем более 42% этой энергии обеспечила ветроэнергетика [35]. Отметим, что уже сейчас северные немецкие земли Мекленбург-Померания и Шлезвиг-Гольштейн работают на 100-процентной чистой возобновляемой энергии, главным образом на ветровой.

Доля мощностей возобновляемой энергетики в британском генерировании электричества повысилась до рекордных 24,7% в 2015 г. по сравнению с 19,1% в предыдущем году, согласно новым данным Министерства энергетики и Изменения климата (DECC) [36]. Возобновляемая энергетика Великобритании произвела 83,3 ТВт-час электричества в 2015 г., что на 29% больше, чем в 2014 г. Производство электричества от ветростанций в стране увеличилось в 2015 г. на 53,7% и составило 40,4 ТВт-час. Великобритания закончила 2015 г. с 30 ГВт установленной мощности возобновляемой энергетики с увеличением по сравнению с 2014 г. на 4 ГВт.

Наиболее впечатляют успехи в развитии возобновляемой энергетики такой маленькой страны, как Дания. Еще в начале 1970 г. 92% энергетики Дании работало на импортируемой нефти. Сегодня более 40% электричества в Дании – от возобновляемой энергетики, и страна стремится достигнуть 50% к 2020 г. и 100% к 2035 г. Дания также планирует уменьшить к 2020 г. эмиссию CO<sub>2</sub> ниже уровня 1980 г. [37].

Сейчас на территории страны расположено более 300 ветроустановок, общей мощностью 5 ГВт, которую за следующие 5 лет собираются увеличить на 0,5 ГВт. Мощность оффшорных ветростанций на расстоянии около 2 км от берега составляет около 1,3 ГВт, и за эти же 5 лет эту мощность планируют увеличить на 1 ГВт. Уникальность страны состоит также и в том, что за последние 30 лет потребление энергии практически не изменилось, а национальный валовой продукт вырос вдвое. Сейчас цель Дании состоит в том, чтобы уменьшить потребление электроэнергии к 2020 г. на 74% относительно 2010 г. Стоит отметить, что с 2013 г. в Дании запрещено использовать для отопления новых зданий нефть или газ.

И в заключение отметим, что в Украине сейчас общая мощность установок возобновляемой энергетики не превышает 1% от всех энергетических мощностей.

**7. Роторы Дарье с прямыми управляемыми лопастями.** Сегодня в мире наиболее распространены ветроэнергетические установки (ВЭУ) с горизонтальной осью вращения ветродвигателя с установленной мощностью от сотен ватт до нескольких мегаватт. Такие ВЭУ требуют для установки вертикальных башен высотой от 10 до 150 м, механизмов для ориентирования площади вращения ветроротора перпендикулярно направлению ветра и значительных участков земной поверхности, в несколько раз превышающих величину ометаемой площади ветроротора. В то же время ВЭУ с вертикальной осью вращения ветроротора (типа ротора Дарье с прямыми лопастями) имеют такие достоинства, как независимость функционирования от направления действия ветрового потока, возможность перехода от консольного крепления оси ветроротора к двухопорному, возможность размещения потребителя энергии (электрогенератор, насос) в основании ветроустановки, упрощение конструкции лопастей и их крепления, возможность размещения ветророторов небольшой мощности (до 5 кВт) на крышах зданий [38]. Одним из главных недостатков ветророторов с ВОВ с жестко фиксированными относительно горизонтальных траверс лопастями является высокая скорость ветрового потока, при которой происходит самозапуск ротора во вращение, и большие вибрации на валу.

Известно, что наличие у ветроротора Дарье механизма управления положением лопастей дает возможность повернуть лопасти относительно

траверс таким образом, чтобы изменить величину и направление действия возникающей на них аэродинамической силы так, что появится возможность самозапуска ротора даже при малых (порядка 2–3 м/сек) скоростях ветра. Кроме того, правильное управление положением лопастей позволяет значительно улучшить рабочие характеристики такого ветроротора, снизить в несколько раз нагрузки на вал ветроротора [39–40].

Следует отметить, что еще в 80–90-е года прошлого века в мире было зарегистрировано несколько десятков патентов на механизмы управления лопастями ротора Дарье, однако нигде никогда не упоминалось о законах управления лопастью. Нашей задачей было, во-первых, создать такой механизм управления лопастями, который минимизировал бы потери внутри ветроротора, и, во-вторых, определить оптимальное положение лопасти в каждой точке ее круговой траектории, которое бы обеспечило максимальную эффективность ветроротора. Эта задача решалась как конструктивными разработками, так и компьютерными расчетами, учитывающими многопараметричность нестационарного обтекания лопастей [39, 41].

В 2003–2013 гг. нами были созданы как малые модели с исследованием их работы в гидролотке [45–46], так и 3 крупных макета ветророторов, прошедших испытания в аэродинамической трубе [41–43].

Прямая вертикальная лопасть с симметричным профилем NACA 0015 устанавливалась на горизонтальной траверсе на оси, расположенной в центре давления профиля на нижнем торце лопасти, а управление лопасти на траектории её вращения происходило специальным механизмом управления, который был двух типов. Механизм управления № 1 состоял из круговой дорожки, с которой с помощью пары роликов и дополнительной оси была связана лопасть. Дорожка имела возможность перемещаться относительно оси вращения ветроротора вдоль направления продольной оси гидролотки (или аэродинамической трубы), в результате чего появлялся некоторый эксцентриситет  $e$  между центром вращения ветроротора и центром вышеупомянутой круговой дорожки [39, 42]. В механизме управления № 2 дорожка была выполнена профилированной таким образом, что поворот лопастей на траверсе выполнялся по определенному закону так, что на большей части как наветренной, так и подветренной частей круговой траектории на лопасти выдерживался определенный оптимальный угол атаки, величина которого зависела от формы профиля и числа Рейнольдса [41–43].

Наиболее удачным оказался последний ветроротор с механизмом управления № 2, который проходил испытания и доработку в 2012–2013 гг. Для определения оптимальных углов атаки на профиле лопасти этого ветроротора было проведено компьютерное моделирование обтекания ветроротора при различных режимах работы. Моделирование производилось методом дискретных вихревых особенностей в нелинейной нестационарной постановке [44]. Используемый метод компьютерного моделирования позволяет проследить развитие во времени вихревого течения в следе за ветроротором и получить как мгновенные, так и интегральные динамические характеристики ветроротора. Задавая различные законы управления лопастями, можно при тех же геометрических параметрах ветроротора в достаточно широких пределах изменять величину производительности ветроротора, а следовательно, и решать задачу оптимизации закона управления для заданной геометрии ветроротора и коэффициента

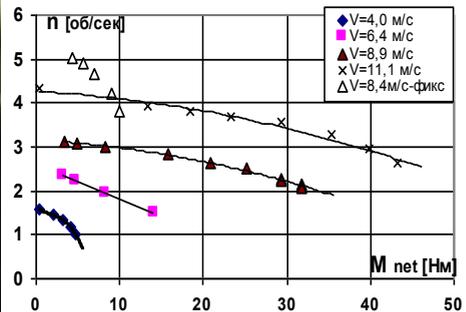
быстроходности. При этом наличие численной визуализации течения позволяет лучше понять физику происходящих процессов и выявить закономерности, которые не могут быть выявлены одними лишь инструментальными измерениями.

Ветроротор (рис. 5) имел следующие параметры: длина лопасти  $l_{\text{лоп}} = 1,6$  м, длина хорды лопасти  $b = 0,25$  м, удлинение лопасти  $\lambda = l_{\text{лоп}}/b = 6,4$ , радиус кругового вращения лопасти  $R = 0,7$  м, средний диаметр управляющей дорожки  $D = 0,4$  м, площадь рабочего сечения  $S = l_{\text{лоп}} 2R = 2,24$  м<sup>2</sup>, коэффициент заполнения  $\sigma = 3b/2R = 0,54$ . Лопасти были выполнены из углепластика, и одна лопасть весила 2,7 кг.

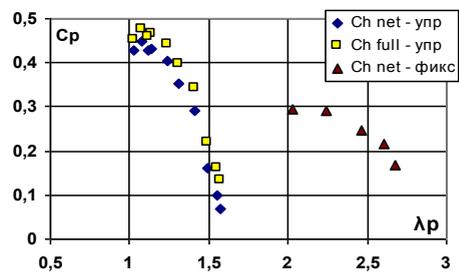
Нижний конец вала уходил под пол аэродинамической трубы, где на валу размещался диск с 60 отверстиями для измерения скорости вращения ветроротора, и вал через редуктор с коническими шестернями соединялся с электромагнитной порошковой тормозной муфтой (мод.14.512.08.1.2). Диапазон задаваемых муфтой тормозных моментов составлял 3÷80 Нм с шагом 2 Нм. Во время работы ветроротора скорость воздушного потока измерялась в двух точках – перед ветроротором на расстоянии  $2,5R$  от вертикальной оси ветроротора и за ветроротором на расстоянии  $1,5R$  от оси. При начальной нагрузке на валу в 3 Нм (сопротивление невключенной муфты) ветроротор самозапускался при скорости ветрового потока  $V = 2,5 \div 2,8$  м/сек, без нагрузки – при  $V = 1,8 - 2$  м/сек.



Рис. 5 – Ветроротор-3 (2012 г.) с механизмом управления № 2 в аэродинамической трубе НАУ



а)



б)

Рис. 6 – Зависимости скорости вращения ветроротора  $n$  от величины момента  $M_{\text{net}}$  на валу при  $V = \text{var}$  (а) и зависимости величин коэффициента  $C_p$  от величины коэффициента быстроходности  $\lambda_p$  при скорости ветрового потока  $V = 9$  м/сек (б)

Зависимость скорости вращения ветроротора  $n$  от величины полезного момента  $M_{net}$  на валу при различных скоростях ветрового потока  $V$  представлена на рис. 6,а. Максимальные мощности на валу получены при наименьших скоростях вращения ветроротора. Управление лопастями позволяет получить на валу вращающий момент, почти в три раза превосходящий момент, создаваемый ротором с жестко фиксированными лопастями, хотя при этом почти вдвое снижается скорость вращения ветроротора.

Это хорошо видно на рис. 6,б, где максимум эффективности ротора с управляемыми лопастями получен при коэффициенте быстроходности  $\lambda_p = 1,1$ , а максимум эффективности ротора с жестко фиксированными лопастями получен при коэффициенте  $\lambda_p = 2,1$ , в то же время величина коэффициента  $C_{p_{net}}$  у ротора с управляемыми лопастями почти в 1,5 раза выше, чем у того же ветроротора с жестко фиксированными лопастями (механизм управления снят). При жестком креплении лопастей угол установки лопастей составлял  $8^\circ$ , что согласуется с данными, полученными в Институте МакМастер в Канаде [45] при продувке ветроротора с размерами  $H \times D = 3 \times 2,5$  м (экспериментально  $C_{p_{full}}$  был получен там не более 0,33).

**Выводы.** Таким образом, применение у ветророторов с вертикальной осью вращения простого в конструктивном и технологическом плане механизма управления (№ 2) прямыми лопастями позволит эффективно использовать его даже при малых (4–6 м/сек) скоростях ветра, снизить величину ветровой нагрузки на вал ветроротора и уменьшить его вибрации, значительно улучшить рабочие характеристики ветроротора. Это позволяет надеяться, что энергоустановки с роторами описанной конструкции будут весьма эффективными при использовании как в воздушных, так и в водных потоках (речных, морских) в качестве генераторов энергии мощностью 5–10 КВт для индивидуальных хозяйств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Record surge in 2016 temperatures adds urgency to climate deal, say scientists // Reuters, March 14, 2016, <http://newsdaily.com/2016/03/record-surge-in-2016-temperatures-adds-urgency-to-climate-deal-say-scientists/#py4mhV1b2h27bFAr.99>
2. A. Thompson February blows away global heat record // <http://reneweconomy.com.au/2016/february-blows-away-global-heat-record-60678>
3. J. Masters and B. Henson NOAA: Last Month Was by Far the Planet's Warmest March Since Record Keeping Began // Weather Underground, April 20, 2016. <http://ecowatch.com/2016/04/20/noaa-march-2016>
4. NASA: Last Month Was Warmest April Ever Recorded, Marking Seven Months of New Highs // Climate Nexus, May 16, 2016. <http://ecowatch.com/2016/05/16/april-hottest-on-record/>
5. D. Leitch Why we must 'think global, act local' on climate change // May 20, 2016. <http://reneweconomy.com.au/2016/thinking-global-acting-local-27532>
6. G. M. Schwartz Science and Politics Clash as Humanity Nears Climate Change Tipping Point // <http://ecowatch.com/2016/03/13/climate-change-tipping-point/>
7. K. B. Tokarska, N. P. Gillett, A. J. Weaver, V. K. Arora and M. Eby The climate response to five trillion tonnes of carbon // Nature Climate Change. – May 23, 2016. <http://nature.com/articles/doi:10.1038/nclimate3036>
8. N. Prupis Surgeon General's Warning: We Must Act on Climate // Common Dreams, April 5, 2016. <http://ecowatch.com/2016/04/05/impacts-of-climate-change/>

9. A. Germanos India Records Highest Temperature Ever: 123.8 Degrees Fahrenheit // Common Dreams, May 22, 2016. <http://ecowatch.com/2016/05/22/india-heat-wave/>
10. D. Appell Will the Arctic Be Ice-Free Within the Next Two Decades? // Yale Climate Connections, May 17, 2016. <http://ecowatch.com/2016/05/17/arctic-ice-free-climate-change/>
11. Climate change and extreme weather linked to high pressure over Greenland // <https://www.sheffield.ac.uk/news/nr/climate-change-arctic-extreme-weather-uk-study-1.571126>
12. Melting Ice Sheets Is Changing How the Earth Rotates – NASA // Climate Nexus, April 11, 2016. <http://ecowatch.com/2016/04/11/climate-change-earths-rotation/>
13. R. M. De Conto & D. Pollard Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise // Nature. – 531, – P. 591–597 (Publ. 31 March 2016) doi:10.1038/nature17145
14. M. Mann The Wall Street Journal, Climate Change Denial and the Galileo Gambit // <http://ecowatch.com/2016/03/28/michael-mann-climate-denial/>
15. L. McCauley Worldwide Shift to Renewable Energy Played ‘Critical Role’ in Stalling Carbon Emissions // Common Dreams, <http://ecowatch.com/2016/03/17/renewables-reduce-carbon-emissions/>
16. N. Aden 21 Countries That Reduced Carbon Emissions While Growing Their GDP // World Resources Institute, April 6, 2016. <http://www.wri.org/blog/2016/04/roads-decoupling-21-countries-are-reducing-carbon-emissions-while-growing-gdp>
17. O. Milman Carbon dioxide emissions from US energy sector fall 12% since 2005 // The Guardian, May 9, 2016. <https://www.theguardian.com/environment/2016/may/09/carbon-dioxide-emissions-united-states-coal-gas-energy-industry-decline>
18. T. Radford Carbon Capture: ‘Only Realistic and Affordable Way to Dramatically Reduce Emissions’ // Climate News Network. <http://ecowatch.com/2016/01/22/carbon-capture-investment-needed/>
19. Break Free: Stop Dirty Fossil Fuels, Expedite Transition to 100% Renew. Energy // [350.org](http://www.350.org). Greenpeace. March 9, 2016. <http://ecowatch.com/2016/03/09/break-free-from-fossil-fuels/>
20. J. James China Closing 1,000 Coal Mines In 2016 As Surplus Drives Down Prices // <http://www.hngn.com/articles/181508/20160223/china-closing-1-000-coal-mines-2016-surplus-drives-down.htm>
21. T. Buckley New China energy data: coal imports down a further 10% // March 14, 2016. <http://reneweconomy.com.au/2016/new-china-energy-data-coal-imports-down-a-further-10-30570>
22. B. Walsh Renewable Energy Is Trouncing Fossil Fuels // Associated Press. – 02/04/2016. [http://www.huffingtonpost.com/entry/renewable-energy-fossil-fuels\\_us-56b3770de4b04f9b57d899c8](http://www.huffingtonpost.com/entry/renewable-energy-fossil-fuels_us-56b3770de4b04f9b57d899c8)
23. Asian coal boom: climate threat or mirage? // <http://eciui.net/press-releases/2016/asian-coal-boom-climate-threat-or-mirage>
24. B. Hubbard and S. Reed Saudis Moving to Reduce Dependence on Oil Money // New York Times, April 1, 2016. [http://www.nytimes.com/2016/04/02/world/middleeast/saudi-aramco-mohammed-bin-salman-public-fund.html?ref=energy-environment&\\_r=0](http://www.nytimes.com/2016/04/02/world/middleeast/saudi-aramco-mohammed-bin-salman-public-fund.html?ref=energy-environment&_r=0)
25. K. Mathiesen G7 nations pledge to end fossil fuel subsidies by 2025 // The Guardian, May 27, 2016. <http://www.theguardian.com/environment/2016/may/27/g7-nations-pledge-to-end-fossil-fuel-subsidies-by-2025>
26. G. M. Schwart Science and Politics Clash as Humanity Nears Climate Change Tipping Point // <http://ecowatch.com/2016/03/13/climate-change-tipping-point/>
27. J. Urpelainen A model of dynamic climate governance: dream big, win small // International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics. – May 2013. – Vol. 13. – Iss.2. – pp. 107–125.
28. COP21: saving energy 'triple win,' Ban says, as \$5 billion Africa plan launched at climate summit // Dec.7, 2015/ <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=52755#>.
29. Renewable energy is limitless and will last forever, says Ban at global debate // Jan.17, 2016. <http://www.un.org/apps/news/story.asp?NewsID=53023#.Vr2aEk-jm1x>

30. G. Parkinson Germany says solar and wind have won technology race // Jan.26, 2016. <http://reneweconomy.com.au/2016/germany-says-solar-and-wind-have-won-technology-91713>
31. Renewable energy investments: Major milestones reached, new world record // Mar.24, 2016. <https://www.sciencedaily.com/releases/2016/03/160324104513.htm>
32. Solar and Wind Just Did the Unthinkable // <http://www.bloomberg.com/news/articles/2016-01-14/solar-and-wind-just-did-the-unthinkable>
33. T. Buckley Wind and solar records tumble as China and India accelerate energy transition // Jan.22, 2016. <http://reneweconomy.com.au/2016/69425>
34. Z. Shahan US Wind & Solar Electricity Generation Grew By 20,659 MWh In 2015 // [http://cleantechica.com/2016/03/13/us-wind-solar-electricity-generation-grew-by-20659-mwh-in-2015-2015-us-electricity-generation-report/?utm\\_source=Wind+News&utm](http://cleantechica.com/2016/03/13/us-wind-solar-electricity-generation-grew-by-20659-mwh-in-2015-2015-us-electricity-generation-report/?utm_source=Wind+News&utm)
35. C. Morris German retail power rate stable as share of renewables increases // March 10, 2016. <http://reneweconomy.com.au/2016/german-retail-power-rate-stable-as-share-of-renewables-increases-57717>
36. P. Tisheva UK reaches 24.7% renewable power share in 2015 // Mar 31, 2016. <http://renewables.seenews.com/news/uk-reaches-24-7-renewable-power-share-in-2015-519245>
37. L. Guevara-Stone A small country goes big with renewables: Denmark's goal to be fossil-free // March 3, 2016. <http://reneweconomy.com.au/2016/a-small-country-goes-big-with-renewables-denmarks-goal-to-be-fossil-fuel-free-85027>
38. Дзензерский В.А., Тарасов С.В., Костюков И.Ю. Ветроустановки малой мощности. – Київ: Наукова думка, 2011. – 590 с.
39. Довгий С.А., Каян В.П., Кочин В.А., Лебедь А.Г. Исследование влияния активного управления прямыми лопастями на рабочие характеристики ветроротора Дарье // Прикладная гидромеханика. – 2010. – 12. – №3. – С. 12–23.
40. Kayan V. Darrieus Turbine with Controlled Blades: The Perspective Converter of Hydrokinetic Energy // Open Journal of Renewable Energy and Sustainable Development, CA, USA. – 2014. – v. 1. – No. 2. – P. 9–23.
41. Гринченко В.Т., Каян В.П. Оптимизация характеристик ветроротора Дарье с прямыми управляемыми лопастями // Доповіді НАН України. – 2015. – № 6. – С. 37–45.
42. Каян В.П., Лебедь А.Г. Оптимизация рабочих характеристик полномасштабного макета ветроротора Дарье с прямыми управляемыми лопастями // Прикладная гидромеханика. – 2010. – 12. – № 4. – С. 26–35.
43. Каян В.П., Лебедь А.Г., Чмовж В.В. Оптимизация рабочих характеристик ветроротора Дарье с прямыми лопастями // Відновлювальна енергетика. – 2011. – № 1. – С. 43–54.
44. Довгий С.А., Голубев С.А., Лебедь А.Г., Черний Д.И. Математические, вычислительные и технологические решения для выявления и использования нелинейных закономерностей в ветроэнергетике // Методы дискретных особенностей в задачах мат. физики: Труды XV Международного симпозиума (МДОЗМФ–2011), 2011. – С. 175–180.
45. Fiedler A.J., Tullis S. Blade Offset and Pitch Effects on a High Solidity Vertical Axis Wind Turbine // Wind Engineering. – 2009. – v. 33. – No. 3. – P. 237–246.

*Стаття надійшла до редакції 15.11.2016*