

ТЕХНОЛОГИИ ПРОМЫШЛЕННОГО INTERNET ПОВЫШАЮТ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

В.Н. Рысина (ФИЦ «Информатика и управление» РАН)

Рассмотрены проблемы ветроэнергетики, применение технологий промышленного Internet для оптимизации работы ветроэнергетических установок (ВЭУ) и ветроэлектростанций (ВЭС), пакет программ Wind PowerUp компании General Electric и его применение для контроля и управления ВЭУ и ВЭС, дистанционные центры управления ВЭС, виртуальные модели ветропарков, эффективность технологий промышленного Internet.

Ключевые слова: ветроэнергетика, ветроэлектростанция, ветроэнергетическая установка, промышленный Internet, дистанционный центр управления, цифровой ветропарк.

Ветровая энергетика быстро развивается практически во всех регионах мира. За период 2000...2014 гг. общемировая установленная мощность всех ветрогенераторов выросла в 20 раз и к началу 2015 г. составила 369,6 ГВт [1]. Безусловными достоинствами ветроэнергетики являются неисчерпаемость ресурса, быстрота возведения ветроэнергетических установок (ВЭУ) и отсутствие вредных выбросов в атмосферу. Вместе с тем ветроэнергетика сталкивается с целым рядом специфических проблем, оказывающих негативное воздействие на эффективность работы ветроэлектростанций (ВЭС).

Проблемы управления ветроэлектростанциями

Одна из основных проблем производства ветроэнергии — переменчивость силы и направления ветра. ВЭУ не может функционировать при слишком слабом ветре, а сильные порывы ветра могут ее разрушить. Кроме того, изменение силы ветра препятствует равномерной выработке энергии. Проблема непостоянства ветра, как правило, решается сооружением резервных хранилищ энергии, которые принимают избыточную энергию, выработанную при сильном ветре, и отдают энергию при отсутствии или недостаточной силе ветра.

Проблема слабого ветра часто решается за счет увеличения высоты башни ВЭУ и длины лопастей турбины, что увеличивает площадь ветрозахвата и позволяет вырабатывать больше электроэнергии даже при малой скорости ветра. Стремление повысить эффективность турбин за счет удлинения лопастей приводит к тому, что размеры турбин постоянно увеличиваются. Диаметр ротора ветротурбин достигает ≥ 150 м, а высота ВЭУ может достигать до 200 м. Но увеличение ветрозахвата увеличивает нагрузку на ВЭУ, в связи с чем возникает необходимость укрепления конструкции, что приводит к ее удорожанию. Помимо этого возникает и другая проблема: увеличение площади ветрозахвата требует увеличения расстояния между ВЭУ с тем, чтобы предотвратить

взаимное влияние завихрения воздушных потоков (турбулентности). ВЭУ устанавливаются на расстоянии, равном 5...15 диаметров ротора, и поэтому удлинение лопастей приводит к значительному расширению общей площади, занимаемой ВЭС, особенно если ВЭС включает ≥ 100 ВЭУ.

Занятия больших территорий на суше можно избежать с помощью строительства оффшорных ВЭУ. Производительность морских ВЭУ выше наземных из-за большей силы ветра, но возведение морских ВЭУ обходится дороже, в том числе из-за возрастающих расходов на их обслуживание.

Большие площади ВЭС и большая высота современных ВЭУ делают затруднительным и затратным применение некоторых традиционных методов контроля, таких как обход, визуальный контроль, ручной съем данных с измерительных приборов и т.д. То же можно сказать о профилактических и ремонтных работах, которые должны проводиться на значительной высоте и поэтому требуют особой квалификации персонала, привлечения специального подъемного и транспортного оборудования и иных средств. Все это приводит к удорожанию ветроэнергии.

В районах с оптимальными погодными условиями себестоимость ветроэнергии может быть даже ниже себестоимости энергии, получаемой традиционными способами. Но в других местах ветроэнергетика не выдерживает конкуренции с традиционной энергетикой. В связи с низкой эффективностью ветроэнергетики в отдельных регионах даже ставится вопрос о более эффективном использовании больших площадей, занятых ВЭС.

Таким образом, актуальной задачей, стоящей перед значительным числом ветроэнергетических компаний, является снижение себестоимости энергии за счет увеличения эффективности ВЭУ и оптимизации работы ВЭС, а также роста производства энергии без расширения занимаемых площадей. Важное место в решении этих задач отводится внедрению различных методов и средств автоматизации систем

контроля и управления ВЭС, реализации проектов управления ВЭС в удаленном режиме.

Роль технологий промышленного Internet

Разнообразие факторов, которые требуется учитывать при выработке ветровой энергии, в том числе расположение объектов управления на больших территориях и нередко в труднодоступных местах, а также сложность проведения и высокая стоимость ремонтных работ делают ВЭС «благодарным» объектом для применения технологий промышленного Internet.

Промышленный Internet предполагает подключение к корпоративным сетям или сети Internet встроенных в оборудование датчиков, которые автоматически собирают и пересылают в эти сети данные о состоянии оборудования и выполнении им своих функций. Собранные данные анализируются и сравниваются с архивом накопленных данных с помощью специально разработанных аналитических методов, что позволяет не только выявить неисправности, но и оценить степень износа и сделать прогноз о возможных отказах оборудования, а также выработать рекомендации по оптимизации процесса производства.

Технологии промышленного Internet значительно расширяют возможности контроля и управления производством, причем позволяют выполнять эти функции в значительной степени дистанционно и практически в режиме реального времени.

Наиболее полно принципы промышленного Internet реализуются ветроэнергетическими компаниями в кооперации с крупными производителями ветротурбин, которые не только разрабатывают программные решения под конкретные технические задачи, но и предоставляют услуги по созданию интегрированных систем контроля и управления ВЭС, а также по осуществлению такого контроля и управления для энергетических компаний в удаленном режиме. К числу таких компаний относится General Electric (GE). Компания последовательно внедряет основные положения концепции «Промышленный Internet» на собственных предприятиях и предприятиях своих клиентов. При этом постоянно растут объемы информации, автоматически собираемой и обрабатываемой создаваемыми системами, увеличивается число контролируемых параметров и эффективность аналитических средств, предлагаемых компанией. Рассмотрим используемые GE методы повышения эффективности производства ветроэнергии.

Пакет программ GE Wind PowerUp

Последние программные продукты GE для ветроэнергетики созданы на основе платформы Predix, разработанной специально для реализации концепции промышленного Internet. Платформа позволяет собирать, передавать и анализировать большие массивы данных и работать с ними как на ИТ-оборудовании предприятия-клиента, так и в облаке.

В 2013 г. на базе Predix был разработан специальный пакет программ для ветроэнергетики Wind PowerUp, который может быть адаптирован для всех моделей турбин, выпускаемых GE [2].

В число задач, которые помогает решить этот пакет, входят:

- оценка технического состояния ВЭУ;
- настройка ВЭУ для получения максимальной отдачи от энергии ветра;
- обеспечение обмена информацией между разными ВЭУ внутри ВЭС.

Для сбора данных на каждой ВЭУ (внутри ротора, в генераторе, на лопастях ветроколеса) размещаются 50...120 датчиков в зависимости от размера турбины. Эти датчики способны собирать большие объемы информации, включая загрузку электросети, погодные условия (температура воздуха, сила и направление ветра), скорость вращения приводного механизма, положение лопастей, углы наклона гондолы (в которой размещены коробка передач, генератор, управляющий контроллер, тормоз), температуру смазочного масла, различные аэродинамические показатели и др.

Все собранные данные передаются в БД ВЭС и в БД центров дистанционного управления. При этом предварительно часть данных обрабатывается на уровне каждой ВЭУ. Программа сбора и передачи данных разрабатывается в соответствии с моделью турбины, решаемыми задачами, возможностями сети передачи данных и принимающих информацию серверов.

Информация может поступать в контроллер ВЭУ каждые 40 мс. Это, прежде всего, данные о силе и направлении ветра, о потребности в электроэнергии. На этом уровне проводится анализ данных, необходимый для настройки в режиме реального времени положения лопастей турбины, зарядки аккумуляторных батарей и преобразования переменного тока в постоянный.

На более высокие уровни управления разные группы данных поступают с разной периодичностью и в разном объеме. Например, каждые 160 мс в центральный контроллер ВЭС поступает около 30 единиц данных, необходимых для прогнозирования в реальном времени выработки энергии. Это данные о загрузке турбин, погодных условиях и потребности электросети.

С меньшей периодичностью (1 раз в секунду), но в большем объеме (200 единиц данных) в центральный контроллер поступают данные, необходимые для анализа технического состояния турбины, который проводится в режиме, близком к реальному времени. Это данные о любых отклонениях параметров работы турбины от нормы, о скачках в выработке энергии и т. д.

С интервалом в 1 мин все данные передаются на уровень центров дистанционного управления, контролирующих несколько ВЭС, где осуществляется общий контроль и более глубокий анализ работы

каждой ВЭУ и ВЭС, сравнение получаемых данных с накопленным архивом, вырабатываются рекомендации по устранению неисправностей и обеспечению бесперебойной работы оборудования, оптимизации процесса производства.

При возникновении нештатных ситуаций интервалы передачи данных могут сокращаться.

Программный пакет Wind PowerUp может применяться на всех уровнях анализа. Он дает возможность регулировать выход энергии, постоянно настраивая ВЭУ на оптимальный режим работы, контролирует все основные функции и настройки, от которых зависит производительность турбины, в том числе: крутящий момент и частоту вращения приводного механизма, определяющих напряжение генератора, разворот и углы наклона лопастей турбины, от которых зависит скорость вращения ротора. Под контролем находится также положение привода гондолы турбины, который используется для коррекции направления ротора при изменениях направления ветра, и другие показатели.

Анализ данных о техническом состоянии турбин, погоде и нагрузке электросети делают возможным прогнозировать выработку энергии каждой ВЭУ на период до часа и регулировать работу ВЭУ в соответствии с полученными прогнозами, что способствует решению проблемы плавной подачи энергии.

ПО также позволяет турбинам обмениваться информацией о наступлении определенных событий, в частности, об изменении силы и направлении ветра. Выбрав оптимальный режим настройки, например, изменив разворот лопастей, первая отреагировавшая на погодные изменения турбина посылает сигнал другим турбинам, что позволяет им подготовиться к этому событию, заранее развернув лопасти в нужном направлении. Такого рода предупреждения позволяют избежать сильного давления ветра на лопасти и замедлить их износ.

Пакет программ Wind PowerUp постоянно обновляется. Уже после выхода первой версии в него было добавлено приложение Wind Plant Wake Management. Приложение помогает решать проблему турбулентности, возникающей, когда турбины «просыпаются», то есть начинают вращаться после простоя, особенно при сильных порывах ветра. В этом случае лопасти турбины создают помехи в воздухе для других турбин, находящихся сзади, что отрицательно влияет на выработку энергии. Этих помех можно избежать, если заставить турбины не забирать весь ветер, а «поделиться» им с другими турбинами. С помощью этого приложения в центральном контроллере ВЭС анализируются данные о погоде, силе и направлении ветра, а также текущей нагрузке турбин и вырабатываются инструкции по их наиболее оптимальной настройке, максимально снижающей потери от турбулентности и повышающей тем самым общий КПД ВЭС.

Первые установки пакета программ Wind PowerUp были сделаны на турбинах мощностью 1,5 МВт и диа-

метром ротора 77 м (серия GE 1.5–77). Энергетическая компания E.ON Climate & Renewables (Германия) установила это ПО на своих 469 ВЭУ, что сразу же дало рост производительности турбин на 4% [3]. Для ветропарка такого размера это равнозначно установке 19 дополнительных ВЭУ, что важно не только с точки зрения экономии на капитальных затратах, но и с точки зрения экономии площадей, занятых ВЭС.

Гораздо больший эффект можно получить от применения того же пакета программ на моделях турбин большей мощности, в частности, на модели GE 1.5–120 с номинальной мощностью 2,5 МВт и диаметром ротора 120 м, выпущенной в 2013 г. Высота башни ВЭУ с такой турбиной — 140 м. По мнению GE и независимых экспертов, эта турбина в сочетании с приложениями Wind PowerUp является наилучшим воплощением идей промышленного Internet в области ветровой энергетики. GE называет эту турбину «великолепной» [4].

Высокая башня и большой диаметр ротора уже дают этой турбине преимущества по сравнению с предшествующими моделями. Такие ВЭУ могут быть установлены в лесистой местности и обеспечивать выход энергии даже при слабом ветре.

Помимо этого, турбина имеет важную технологическую особенность: она оснащена индивидуальной аккумуляторной батареей для временного хранения избыточной энергии. Это натриевые батареи Durathon, которые также разработаны и производятся на заводах GE. Загрузка резервных батарей осуществляется в автоматическом режиме в зависимости от выработки и потребления электроэнергии и контролируется специальным приложением. Наличие таких батарей помогает решить задачу плавного электроснабжения в условиях переменчивости ветра и, кроме этого, снимает необходимость создавать большие хранилища энергии на уровне ВЭС, а в ряде случаев позволяет вообще отказаться от таких хранилищ, что снижает расходы на содержание ветропарков.

На «великолепной турбине» размещается 120 датчиков (почти в 2 раза больше, чем на предшествующих моделях), с помощью которых можно получать намного больше данных о состоянии и работе турбины, и, что более важно, для обработки этих данных используются обновленные алгоритмы.

По оценкам экспертов, изменения в конструкции турбины и применение усовершенствованных аналитических методов обеспечивают прирост выработки электроэнергии на 15% [5].

Центры дистанционного управления

К началу 2015 г. в мире насчитывалось около 25 тыс. установленных ветротурбин, произведенных GE. Более 12 тыс. из них контролировались в удаленном режиме центрами дистанционного управления [5]. В GE функционирует три таких центра: два в США и один в Китае. Главный из них находится в г. Скенектади штата Нью-Йорк, в здании, где раз-

мещается персонал подразделения GE по возобновляемой энергии (GE Renewable Energy). В управлении Центра находятся более 6 тыс. турбин, расположенных в США и Бразилии.

В центры дистанционного управления круглосуточно поступает информация по каждой ВЭУ, находящейся под его контролем. Техники центров отслеживают данные о работе каждой ВЭУ по мониторам, на которые выводятся поступающие от ВЭС данные. Их задача — выявлять сбои в работе турбин.

Первоочередной оперативной задачей инженеров центров является анализ данных о произошедших сбоях и выявление их причин с помощью имеющихся в их распоряжении программ. При необходимости к этой работе может привлекаться персонал GE, проектировавший турбины, и разработчики используемых для анализа алгоритмов, что является безусловным преимуществом центров дистанционного контроля, принадлежащих компании, которая разработала и выпустила турбины.

Когда причина отказа найдена, проблема устраняется либо в удаленном режиме, либо «вручную». В среднем центры дистанционного управления GE фиксируют 4,8 отказов оборудования в месяц. Половина выявленных неисправностей устраняется в удаленном режиме [5]. При невозможности устранить неисправность дистанционно персонал центров дает инструкции техническому персоналу ВЭС о наилучших способах решения проблемы. При этом центры следят за погодными условиями в местах проведения ремонтных работ на башнях ВЭУ, особенно за скоростью и направлением ветра и движением грозовых фронтов. Если грозовой фронт приближается к месту нахождения технических специалистов ВЭС, им посылается сигнал о прекращении работ.

Вторая задача инженерного персонала — определение степени износа и прогнозирование отказов оборудования. С этой целью анализируются данные об уже произошедших отказах или более мелких зафиксированных неполадках, сигналы о любом отклонении технического состояния оборудования ВЭУ от стандартного. Анализируется также архив данных по аналогичным моделям турбин и моделируется возможное поведение турбины, исходя из условий, создавшихся на текущий момент. На основании такого анализа делаются выводы о необходимости превентивных ремонтов, профилактики или замены турбины. Соответствующие отчеты передаются руководству ВЭС.

БД GE позволяет сотрудникам центра опираться на большой массив данных, поскольку здесь уже собрано 4 тыс. Гб информации о всех когда-либо выпущенных и установленных ветровых турбинах GE. По мере дальнейшего накопления данных в БД возможности системы предсказывать события в еще большей степени возрастут.

Третья группа задач, решаемых инженерами центров дистанционного управления — оптимизация работы каждой турбины и каждой ВЭС с учетом как

Мы живем в эпоху, когда расстояние от самых безумных фантазий до совершенно реальной действительности сокращается с невероятной быстротой.

Максим Горький

ежедневно поступающих данных, так и накопленных архивов. При решении этой задачи учитывается наибольшее число факторов, влияющих на производительность ВЭУ, включая срок службы и техническое состояние турбин, погодные условия региона, в котором располагается ВЭС, рельеф местности, потребности местной электросети и др.

Для решения многих задач в дистанционных центрах управления используется все тот же пакет программ Wind PowerUp, но не только.

Относительно новое приложение Wind Control решает проблему уменьшения отрицательных эффектов частых включений и отключений ВЭС, связанных с изменениями запросов электросети. ВЭС может получать требования о прекращении подачи энергии, например, в ночное время, когда уменьшается спрос потребителей, или по каким-то иным причинам. Эта проблема становится все более острой для ВЭС в связи с общим ростом производства ветроэнергии. Большое число включений и отключений является причиной более быстрого износа турбин и повышения затрат на ремонтные работы.

С помощью приложения Wind Control осуществляется постоянный мониторинг изменения потребности электросети в энергии. Каждая ВЭУ оповещается об изменении потребности и получает команды об уменьшении или увеличении выпуска энергии. Эти команды выполняются автоматически. При увеличении потребности приложение равномерно распределяет нагрузку между турбинами, а при снижении понижает обороты турбин до минимума, решая задачу по возможности не отключать ВЭС. Это же приложение используется при выходе из строя отдельных турбин для распределения нагрузки между другими ВЭУ [5].

Цифровой ветропарк

В ближайшей перспективе GE намеревается использовать новую форму дистанционного контроля и управления ВЭС — цифровой (или виртуальный) ветропарк (Digital Wind Farm). «Цифровые двойники» достаточно широко используются многими компаниями, в том числе и GE, при проектировании новых продуктов или предприятий. Но в данном случае GE собирается использовать цифровую модель и после пуска ВЭС для оптимизации ее работы [6].

В период проектирования ВЭС виртуальная модель будет использоваться для выбора оптимальной конфигурации ВЭС, в наибольшей степени соответствующей розе ветров и рельефу местности, на которой будет располагаться ВЭС, то есть для опреде-

ления места установки каждой ВЭУ, оптимальной мощности турбин, размера и скорости вращения ветроколеса, высоты башни ВЭУ и т. д.

После запуска ВЭС цифровой ветропарк будет постоянно перерабатывать данные, поступающие с реальной ВЭС, и в соответствии с результатами анализа вырабатывать рекомендации по повышению ее продуктивности. Цифровой ветропарк будет работать на обновленной версии пакета программ Wind PowerUp. Модель будет включать голограммные изображения турбин.

GE считает, что цифровые двойники турбин и ВЭС помогут повысить выработку энергии ВЭС на 20% и принести дополнительную прибыль в 100 млн. долл. США в течение жизненного цикла ВЭС с общей мощностью турбин в 100 МВт [7].

Заключение: эффективность применяемых технологий

Применение технологий промышленного Internet в ветроэнергетике приносит реальную дополнительную прибыль тем, кто их использует. Выше были приведены данные по росту продуктивности ветротурбин на 4...15%. Есть и другие выгоды, такие как сокращение операционных издержек за счет сокращения внеплановых простоев оборудования и затрат на ремонт. Наконец, применение этих технологий продлевает срок службы оборудования и позволяет компаниям экономить на капитальных затратах. Вот некоторые дополнительные цифры.

По данным исследований, проведенных Национальной лаборатории США по возобновляемым источникам энергии (The National Renewable Energy Laboratory — NREL), в случае постоянного контроля технического состояния, проведения своевременно техобслуживания и упреждающих ремонтов сроки простоев ВЭУ сокращаются в среднем на 14 дней в год [8]. Эти же факторы по данным аналитической компании Wikibon продлевают срок службы турбин, который составляет 18...20 лет, в среднем на 3 года, что снижает ежегодные затраты на производство энергии на 17% для каждой турбины [9].

В заключение приведем мнение генерального директора крупнейшей энергетической компании Италии Enel S.p.A Франческо Стараче, высказанное в ходе прошедшего в октябре 2015 г. в Лондоне саммита по вопросам финансирования развития энергетики. Он считает, что затраты на применение

новых технологий сбора и анализа больших массивов данных и использование результатов такого анализа для повышения эффективности ВЭС настолько невелики по сравнению с другими затратами энергетических компаний, а эффект от их использования настолько значим, что можно считать полученную таким образом дополнительную прибыль очень легкими деньгами. В компании Enel за счет применения таких технологий удалось существенно повысить эффективность ветропарков и срок службы ветротурбин [10].

Список литературы

1. Global Statistics/Global Wind Energy Council. 2015/<http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>.
2. Zachary Shahan. GE Boosting Wind Turbine Output Up To 5% With PowerUp, Industrial Internet Technology / Clean Technica. 2013. October 9. <http://cleantechnica.com/2013/10/09/ge-wind-turbine-output-powerup-industrial-internet/>.
3. E.ON Achieves More Output from 469 Wind Turbines through GE's Wind PowerUp Services / Windfare. 2014. October 13. <http://w3.windfair.us/wind-energy/news/16707-e-on-achieves-more-output-from-469-wind-turbines-through-ge-s-wind-powerup-services>.
4. Kent Harrington. GE Births the World's Most "Brilliant" Wind Turbine / American Institute of Chemical Engineers. 2013. February 7 // <http://www.aiche.org/chenelect/2013/02/ge-births-worlds-most-brilliant-wind-turbine>.
5. Bethany Bump. GE looks to PowerUp turbines with new software/The Daily Gazette. 2014. February 16//<http://www.dailygazette.com/news/2014/feb/16/ge-looks-powerup-turbines-new-software/?print>.
6. Stacey Higginbotham. GE uses holograms and the industrial internet to make wind farms 20% more efficient /Fortune. 2015. May 19. <https://fortune.com/2015/05/19/ge-holograms-wind/>.
7. Wind in the Cloud? How the Digital Wind Farm Will Make Wind Power 20 Percent More Efficient / GE Reports/ 2015. May 19. <http://www.gereports.com/post/119300678660/wind-in-the-cloud-how-the-digital-wind-farm-will>.
8. James Campbell. Smart maintenance on the rise/Plant Services. 2015. Aug 17, 2015. <https://www.plantservices.com/articles/2015/smart-maintenance-on-the-rise/?show=all>.
9. Jeff Kelly. The Industrial Internet and Big Data Analytics: Opportunities and Challenges / Wikibon / 2013. September 16. http://wikibon.org/wiki/v/The_Industrial_Internet_and_Big_Data_Analytics:_Opportunities_and_Challenges.
10. Anna Hirtenstein. Big Data Squeezing More Power From Wind Signals Next Investments / Bloomberg Business. 2015. October 12. <http://www.bloomberg.com/news/articles/2015-10-12/big-data-squeezing-more-power-from-wind-signals-next-investments>.

Рысина Валерия Николаевна — канд. экономич. наук, ведущий научный сотрудник

ФИЦ «Информатика и управление» РАН.

Контактный телефон (499) 135-43-25.

E-mail: valrys@yandex.ru

Оформить подписку на журнал "Автоматизация в промышленности" вы можете:

- **в России** — в любом почтовом отделении по каталогу "Газеты. Журналы" агентства "Роспечать" (подписной индекс **81874**) или по каталогу "Пресса России" (подписной индекс **39206**).
- **в странах СНГ и дальнего зарубежья** — через редакцию (www.avtprom.ru).

Все желающие, вне зависимости от места расположения, могут оформить подписку, начиная с любого номера, прислав заявку в редакцию или оформив анкету на сайте www.avtprom.ru
В редакции также имеются экземпляры журналов за прошлые годы.