

УДК 621.311

# Методические подходы к технико-экономическому обоснованию развития генерирующих источников на базе возобновляемых энергоресурсов



**Существующая централизованная система энергообеспечения страны начала развиваться более 50 лет назад, когда взамен мелких дизель-генераторных электростанций начали строиться крупные паротурбинные электростанции – КЭС и ТЭЦ. В настоящее время в состав энергосистемы входят три КЭС: Лукомльская, Березовская и Минская ТЭЦ-5 (вначале планировалась как атомная ТЭЦ, а затем, после чернобыльской аварии, на станции был введен агрегат К-330 и она стала конденсационной) и более десятка крупных ТЭЦ. В соответствии с Государственной программой развития Белорусской энергосистемы проводится ряд мероприятий по модернизации и вводу новых генерирующих источников.**

Наиболее значимым мероприятием является ввод трех парогазовых блоков мощностью по 427 МВт каждый на Лукомльской и Березовской ГРЭС, на Минской ТЭЦ-5, а также ввод газотурбинной установки (ГТУ) мощностью 121 МВт на Гродненской ТЭЦ и др. Введен ряд возобновляемых источников энергии. Ввод в 2020 г. АЭС усилит централизованную систему энергоснаб-

жения страны, тем более что она будет обеспечивать покрытие значительной части суточного графика электрической нагрузки (прежде всего его базовой части). Важной тенденцией современного развития энергетики во многих странах мира является развитие возобновляемой энергетики. В связи с этим актуальной является задача обоснования строительства генерирующих источников на базе

В статье освещаются методические основы оценки эффективности строительства генерирующих источников с учетом таких факторов, как экология, энергобезопасность, социальная значимость и др. Выделяются три варианта подходов. Первый – сооружение генерирующего объекта в составе энергосистемы, второй – сооружение у потребителя, третий – строительство независимым производителем. Даются количественные значения удельных величин экологического ущерба и ущерба от нарушения надежности. Отмечаются особенности инвестирования данных объектов. Применительно к ГЭС освещаются особенности учета сопряженных затрат и косвенных эффектов.

возобновляемых энергоресурсов и интеграции их в существующую систему энергообеспечения, включающую в себя станции на углеводородном и ядерном (с 2019 г.) топливе.

К возобновляемым энергоресурсам относятся ветер, солнце, биомасса, гидроресурсы, геотермальная энергия. Каждый из них имеет особенности, которые накладывают свой отпечаток на методику оценки эффективности их применения. В настоящее время выполнены расчеты экономической эффективности строительства энергетических объектов на базе энергии ветра и солнца, гидроресурсов, биомассы с использованием традиционных методов расчета, то есть на основе сопоставления инвестиционных затрат в них с достигаемым экономическим эффектом, во многих случаях показывают их недостаточную экономическую эффективность. В большинстве случаев это объясняется высокой стоимостью строительства этих объектов и недостаточной высокой энергоотдачей от них. Особенно это характерно для ветровых и солнечных генерирующих источников, удель-

ная стоимость которых составляет несколько тысяч долл./кВт установленной мощности, а энергоотдача характеризуется величиной не более 1 000–3 000 ч использования установленной мощности. Так, для ВЭУ мощностью 600 кВт, установленной в д. Занарочь, коэффициент использования мощности составляет в среднем 19 %, а для ВЭУ под Новогрудком (1,5 МВт) он заметно выше – 30 % и больше. Это означает, что в Занарочи удельная выработка составляет примерно 1 700 кВт·ч/кВт установленной мощности в год, а под Новогрудком – более 2 500 кВт·ч/кВт. Для солнечных установок этот показатель для Беларуси (если ориентироваться на опыт Германии, где интенсивность солнечного излучения примерно такая же, как у нас) составляет примерно 1 000 кВт·ч/кВт, а удельная стоимость установок выше, чем для ВЭУ. При этих данных эффективность солнечных установок оказывается еще меньше, чем ветровых.

Между тем развитие этих генерирующих источников в ряде стран мира приняло огромные масштабы. Развитие производства энергии на основе ВИЭ особенно актуально в странах, не обеспеченных собственными ископаемыми энергоресурсами (природный газ, нефть, уголь). Хотя в последние годы в связи с истощением запасов традиционных энергоресурсов к возобновляемой энергетике усиливается внимание и со стороны стран, обеспеченных запасами ископаемого топлива на достаточно большой период. В связи с глобализацией мировой энергетики обеспечение энергоресурсами многих стран, не имеющих собственных ископаемых энергоресурсов, осуществляется поставками нередко из весьма удаленных регионов мира. Даже в пределах одной страны, обеспеченной собственными ископаемыми энергоресурсами, поставка их из одних регионов в другие (например, в России поставка в европейские регионы из восточных) требует значительных затрат. Это повышает привлекательность развития ВИЭ в слабо обеспеченных ископаемыми энергоресурсами регионах, что относится в полной мере к Беларуси.

Таким образом, сама жизнь диктует необходимость развития генерации энергии на основе возобновляемых энергоресурсов. Данное обстоятельство требует более глубокого анализа методов расчета эффективности, в частности на предмет учета в расчетах таких факторов, как экологичность, надежность, энергобезопасность, социальная значимость и др. Важен учет сопряженных затрат, связанных с сооружением

генерирующих источников на базе ВИЭ и косвенных эффектов, проявляющихся в скрытом виде.

Методические подходы к оценке эффективности должны дифференцироваться в зависимости от того, кто является владельцем генерирующего источника на базе возобновляемых энергоресурсов. Возможны три варианта подхода.

Первый вариант предполагает, что генерирующий источник строит ГПО «Белэнерго» и он, наряду с другими генерирующими источниками, входит в состав энергосистемы, работая параллельно с ними. Режим работы такого источника должен подчиняться экономическим и режимным интересам энергосистемы. Если речь идет о ветровых и солнечных установках, то, учитывая случайный характер величины генерируемой ими мощности, они будут включаться в работу при подходящих погодных условиях, замещая выработку электроэнергии на тепловых электростанциях энергосистемы. Экономический эффект будет выражаться в экономии топлива на станциях энергосистемы. Эта экономия должна определяться на основе удельного расхода топлива на замыкающих станциях энергосистемы, в качестве которых принимается до ввода АЭС Лукомльская ГРЭС, участвующая в покрытии полупиковой и пиковой нагрузок энергосистемы. При этом удельный расход должен определяться по отношению к полезному отпущенной потребителям электроэнергии, то есть с учетом потерь

энергии в сетях. Такой подход обосновывается тем, что генерация на базе возобновляемых энергоресурсов относится к категории рассредоточенной, распределенной генерации, и поэтому она будет размещаться, как правило, рядом с потребителями энергии или недалеко от них, вследствие чего потери энергии в сетях будут незначительны. Так, если удельный расход на паротурбинных агрегатах Лукомльской ГРЭС принять равным 0,314 г у.т./кВт·ч, то указанный удельный расход составит  $0,314 \times 0,1 = 0,0314$  г у.т./кВт·ч, где 0,1 – удельные потери энергии в сетях (10 %). Если предполагать, что в качестве замыкающих после ввода АЭС будут использоваться газотурбинные установки, то удельный расход следует принять на основе этих станций.

Второй вариант – это сооружение генерирующей установки потребителем энергии (предприятием, организацией и т. д.) как своего собственного энергисточника. Назначение такого источника – замещение энергии, покупаемой от централизованной системы энергоснабжения, своей собственной с целью снижения затрат на энергию, используемую на предприятии. Поскольку данный генерирующий источник является частью энергохозяйства предприятия, то последнее не покупает энергию от него, а получает по себестоимости ее производства. Такая себестоимость значительно ниже (примерно в 3–4 раза) тарифа на электроэнергию, продаваемую



энергосистемой. Именно этим объясняется экономическая выгода предприятия-потребителя в сооружении таких установок.

Третий вариант – сооружение генерирующей установки независимым производителем энергии для продажи ее в энергосистему и получения прибыли. Экономический эффект зависит от разницы между себестоимостью производства и ценой, по которой эта энергия покупается энергосистемой. С целью стимулирования создания таких установок цены на энергию от нее устанавливаются на уровне, обеспечивающем экономическую выгодность развития таких локальных источников энергии. При высоких тарифах на энергию строительство объекта может оказаться экономически невыгодным для энергосистемы. Должны быть найдены компромиссные решения между интересами потребителя и энергосистемы.

Можно назвать и четвертый вариант – как совмещение 2-го и 3-го. В этом случае избыток энергии у потребителя может продаваться в энергосистему. Методические подходы должны дифференцироваться по видам рассматриваемых объектов.

При технико-экономическом обосновании строительства гидроэлектростанций (ГЭС) нередко в качестве инвестиционных затрат принимаются инвестиции в гидроэнергетический комплекс. Между тем ГЭС с регулируемым водохранилищем является частью сложного гидроэнергетического

комплекса, в состав которого входят плотина, дамбы, шлюзовые и подпорные сооружения и т. д. Этот комплекс имеет многоцелевое назначение: обеспечение водой ГЭС, судоходство, ирригация, орошение, рыбоводство, зона отдыха и др. Отнесение стоимости всего комплекса на ГЭС существенно увеличивает ее стоимость. В силу многоцелевого назначения комплекса такой подход считается неправомерным. Отнесение стоимости отчуждаемых сельскохозяйственных и лесных земель на ГЭС также удорожает стоимость последней. В итоге при таком увеличении стоимости ее строительство может оказаться экономически невыгодным мероприятием.

В связи с вышесказанным весьма важной является задача правильной оценки стоимости ГЭС с учетом многоцелевого характера гидроэнергетического комплекса, объективной оценки стоимости отчуждаемой земли и экономически обоснованного способа отнесения этой стоимости или части ее на ГЭС. К ГЭС относятся в первую очередь трансформаторная подстанция, электрогенераторы и гидротурбины, та часть стоимости плотины, где расположена ГЭС. Стоимость отчуждаемых земель, затраты на переселение из зоны затопления и др. не должны в полном объеме относиться к стоимости ГЭС. С учетом этого конкурентоспособность ее по сравнению с тепловыми электростанциями повышается. При сравнении ГЭС с ТЭС следует учитывать также отсутствие для ГЭС выбросов загрязняющих веществ в окру-

жающую среду, что также способствует повышению ее конкурентоспособности. Повышается уровень энергобезопасности страны, так как страна частично освобождается от необходимости импортировать дорогое топливо.

Рассмотрим особенности оценки экономической эффективности ветровых и солнечных установок. Поток ветровой энергии представляет собой случайный процесс, и величина потока в каждый момент времени – случайная величина, хотя нужно признать наличие корреляционной связи между величинами потоков в разные моменты времени. Можно считать, что эта связь очень высока между величинами потоков в соседние моменты времени (если интервал времени принимать равным, например, 1 ч).

Поток солнечной энергии также может рассматриваться как случайный процесс, но в отличие от ветра величина его в ночное время равна нулю. Она равна нулю также в облачную погоду. В течение дня при отсутствии облаков поток солнечной энергии изменяется, увеличиваясь с утра от нуля до полуденного максимума и снижаясь до нуля к вечернему времени.

Исходя из этих особенностей, генерация электрической энергии представляет собой также случайный процесс, и ее величина определяется в каждый момент времени величиной ветрового и светового потоков. Генерация электрической энергии происходит тогда, когда дует ветер и светит солнце. С учетом указанных особенностей генерации эти



источники нельзя рассматривать в качестве устойчивого электроснабжения потребителей, так как при изменении погоды и времени суток (для солнца) генерация может оказаться равной нулю. Для потребителей, которые постоянно потребляют электроэнергию в течение суток, эти источники не могут служить основными ее поставщиками. Они могут применяться вместе со строительством генерирующих источников на ископаемом топливе или вместе с существующей централизованной системой электроснабжения. Когда дует ветер и светит солнце, потребитель получает энергию от ВИЭ, когда же нет ветра и солнца, энергия поступает от генератора, работающего на ископаемых энергоресурсах или от централизованной системы электроснабжения. В этом случае возобновляемые источники играют роль энергоресурсосберегающего мероприятия, поэтому развитие энергетики на базе ветра и солнца в существующей системе электроснабжения следует рассматривать в качестве энергоресурсосберегающего мероприятия. Исходя из этого, оценка эффективности их применения должна осуществляться на основе определения сравнительной эффективности альтернативы на базе невозобновляемых энергоресурсов. Если ВИЭ строится для нового потребителя, то одновременно с целью резервирования строится генерирующая установка на ископаемом топливе или же подводится линия электропередачи к потребителю от централизованной системы электроснабжения.

В настоящее время в Беларуси обеспечена 100-процентная электрификация экономики страны. Это означает, что сооружение ВИЭ может рассматриваться как энергоресурсосберегающее мероприятие. Его эффект определяется как экономия топлива в энергосистеме за отпуск электроэнергии потребителю, то есть эффект выражается замещением производства электроэнергии за тепловых станциях производством на ветровой или солнечной установке. Как рассчитать эту экономию? Ведь расход топлива зависит от структуры генерирующих мощностей, а последняя изменяется даже в течение суток по мере изменения суммарной электрической нагрузки. По сути, нужно рассматривать замыкающие станции в каждый момент времени, которые будут разгружаться при включении в сеть ВИЭ. Для этого следует рассмотреть весь суточный график нагрузки – от 0 до 24 ч. В ночное время в отопительный период в покрытии нагрузки с 2020 г. участвуют АЭС и теплофикационные мощности ТЭЦ.



Другим источникам нет места, так как предлагаемая мощность превышает размер потребления. Для обеспечения баланса предполагается использование электродельных, которые будут потреблять избыточную мощность. Участие ВИЭ в ночное время в покрытии суточного графика нагрузок исключается.

Существенным фактором, благоприятствующим развитию ветровой и солнечной энергетики, является их экологичность. Однако экономической оценки этого фактора не существует, поэтому субъектам хозяйствования невыгодно устанавливать у себя ВИЭ. При установке их в составе энергосистемы эффект обуславливается экономией топлива на конденсационных станциях энергосистемы, производство электроэнергии на которых будет замещаться ветряной и солнечной энергией. При установке ВЭУ и СЭУ у потребителей энергии эффект будет выше, чем в энергосистеме, так как будут экономиться не только затраты топлива в энергосистеме, но и затраты на передачу и распределение энергии в сетях. Если в первом случае экономия определяется стоимостью топлива, то во втором – величиной тарифа на электроэнергию от энергосистемы для потребителей. При сооружении ВЭУ и СЭУ независимым инвестором с целью продажи электроэнергии в сеть энергосистемы и получения прибыли величина эффекта будет определяться величиной тарифа на энергию, продаваемую от ВЭУ и СЭУ в энергосистему. В данном случае с целью окупаемости инвестиционных затрат в возобновляемую энергетику требуется применение высоких тарифов, что нередко экономически невыгодно для энергосистемы.

В 2015 г. вместо Киотского протокола принято Парижское соглашение, регла-

ментирующее выбросы загрязняющих веществ в окружающую среду. Беларуси понадобится субсидирование производства экологически чистой электроэнергии. Это означает, что часть инвестиций в строительство ВЭУ и СЭУ должно принимать на себя государство, что повысит коммерческую эффективность вложения инвестиций, будет стимулировать развитие возобновляемой энергетики. В связи с этим при экономическом сопоставлении генерирующих источников на возобновляемой энергии и традиционных энергоресурсах следует принимать во внимание возможность снижения удельной стоимости возобновляемых источников благодаря компенсации со стороны государства части инвестиционных затрат. Применительно к ВЭУ и СЭУ должна быть разработана методика определения экономической целесообразности размера компенсации. Может оказаться целесообразным использование показателя удельного ущерба окружающей среде и здоровью человека, измеряемого отношением величины ущерба от сжигания топлива на электростанциях в денежных единицах измерения на 1 руб. сжигаемого топлива. По экспертным российским оценкам, его величина оценивается как 0,75 руб. на 1 руб. сжигаемого топлива. Данный показатель нуждается в обосновании для условий Беларуси с учетом того, что основным видом топлива, используемым на тепловых электростанциях, является природный газ. В России, помимо газа, используется уголь и жидкое топливо. С точки зрения экологии газ чище, чем уголь или жидкое топливо, однако он является, как уголь и жидкое топливо, причиной выброса парниковых газов, на снижение которых нацелены международные нормативные акты.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дайнеко, А. Е. Энергоэффективность экономики Беларуси / А. Е. Дайнеко, Л. П. Падалко, В. М. Цилибина. – Белорусская наука, 2016. – 262 с.

2. Падалко, Л. Электроэнергетика Беларуси: энергоэкономические особенности развития / Л. Падалко // Энергетика и ТЭК. – 2018. – № 1.

In the article are illuminated the systematic the bases of the estimation of the effectiveness of the building of the generating sources taking into account such factors as ecology, energy-safety, social significance and other. Three versions of approaches are separated. The first construction of the generating object in the composition of power system, the second – construction in factory, the third – building by the independent producer. The quantitative values of the specific values of ecological damage, damage from the disturbance of reliability are given. The special features of the investment of data of objects are noted. In connection with hydroelectric power station are illuminated the special features of the calculation of the combined expenditures and indirect effects.

Таким образом, учет таких факторов, как экология и социальная значимость, означает определение народно-хозяйственной (государственной) социально-экономической эффективности. Поскольку речь идет не об эффективности субъекта хозяйствования, то часть затрат, связанных с сооружением и эксплуатацией данного объекта, должно взять на себя государство. Эта поддержка должна проявляться либо в субсидировании строительства объекта, либо в применении повышенных тарифов на электроэнергию, которую продает рассматриваемая генерирующая установка.

Существенным фактором, благоприятствующим развитию возобновляемой энергетики, является повышение надежности электроснабжения. Сооружение генерирующих источников на базе возобновляемых энергоресурсов имеет целью, как правило, не подключение новых потребителей, а повышение эффективности их электроснабжения за счет замещения централизованно поставляемой электроэнергии. Одновременно с этим обеспечивается также повышение надежности электроснабжения, так как потребитель получает возможность потреблять электроэнергию от двух независимых источников. При аварии на ЛЭП от энергосистемы потребитель получает электроэнергию от возобновляемого источника, а при выходе из строя ВИЭ он получает электроэнергию из энергосистемы.

Энергосистема и ВЭУ резервируют друг друга. Для количественного учета этого фактора необходимо знание пока-

зателя удельного ущерба, который умножается на величину аварийного недоотпуска энергии, и полученная величина экономического ущерба включается в состав экономического критерия наряду с капитальными и эксплуатационными затратами. В советское время величина удельного ущерба для выполнения технико-экономических расчетов с учетом надежности принималась равной 0,7 руб./кВт·ч, в то время как средний тариф на электроэнергию был на уровне 2 коп./кВт·ч. Представляется, что в нынешних условиях его величина может быть принята равной отношению ВВП к объему потребляемой в стране электроэнергии, что будет соответствовать примерно 2 долл./кВт·ч. Разумеется, это средняя грубая оценка, однако она может быть использована как инструмент для выбора оптимального варианта с учетом приближенной экономической оценки надежности.

Нередко ставится вопрос об учете фактора энергобезопасности. Заметим, что энергобезопасность страны – это защищенность ее от угроз, которые могут привести к ограничению или прекращению энергообеспечения. Применительно к отдельным потребителям энергии она характеризуется показателем надежности. Понятие «надежность» в каком-то смысле является синонимом понятия «энергобезопасность». Можно сказать, что требование обеспечения энергобезопасности страны применительно к отдельным потребителям трансформируется в требование обеспечения на-

дежности энергоснабжения. Повышение надежности энергоснабжения каждого отдельного потребителя способствует повышению уровня энергобезопасности страны.

Социальный фактор проявляется в том, что в результате появления генерации на базе ВИЭ создаются новые рабочие места. Экономический эффект проявляется за пределами коммерческих интересов предприятия, построившего генерирующий источник. Это требует субсидирования сооружения таких источников из местных бюджетов, что также снижает коммерческую стоимость объекта для инвестора. Конкретная методика количественной оценки данного фактора зависит от того, кто инвестировал в данный объект и кто является его владельцем. Это может быть либо энергосистема, либо частный инвестор, либо орган местного управления.

В органах государственного управления должны быть сформированы экологические фонды, за счет которых можно было бы финансировать строительство экологически важных объектов.

**Леонид ПАДАЛКО,**  
доктор экономических наук,  
профессор Института экономики  
НАН Беларуси,

**Людмила ФИЛЯНОВИЧ,**  
кандидат технических наук,  
доцент БНТУ

(Статья поступила в редакцию 05.03.2018 г.)

