

транспортируемом по замкнутому контуру потоке мелких частиц. Технология предназначена для использования в энергетических ПГУ (на воздушном дутье) и для производства жидкого топлива и химических продуктов (на кислородном дутье). В 2007 г. на ее базе велась работа по двум крупным проектам (285 и 560 МВт электрической мощности) с планируемыми сроками запуска в эксплуатацию в 2010–2013 гг.

Остальные ныне действующие газификаторы с кипящим слоем (но не топки полного сгорания), работающие в основном на воздушном дутье, в энергетике предназначены для газификации биомассы. Новое применение кипящий слой находит в активно разрабатываемых в настоящее время процессах частичной газификации, являющихся весьма перспективными с точки зрения получения КПД угольной электростанции до 46 % по низкой теплоте сгорания.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГИДРО- И ВЕТРОЭНЕРГЕТИКИ В АГРАРНЫХ РАЙОНАХ БЕЛАРУСИ

Оганезов И.А., к.т.н., доцент, Трусъ Ю.А., ст. преподаватель

Энергетика Беларуси является жизнеобеспечивающей системой, базовым элементом, гарантирующим целостность и эффективность работы всех отраслей и субъектов отечественной экономики. В государствах, имеющих дефицит собственных энергоресурсов, к которым относится и Республика Беларусь, уделяется большое внимание использованию традиционных источников получения электроэнергии, при этом не упускается из виду и потенциал возобновляемых ресурсов, в частности гидроэнергетических и ветроэнергетических, которые являются экологически безопасными и общедоступными в аграрных районах.

Государственная программа строительства в 2011–2015 годах гидроэлектростанций в Республике Беларусь, утвержденная постановлением Совета Министров Республики Беларусь 17 декабря 2010 года № 1838, главными задачами ставит повышение уровня энергетической безопасности страны путем замещения импортируемых топливно-энергетических ресурсов возобновляемыми источниками энергии, а также снижение экологической нагрузки, обусловленной деятельностью топливно-энергетического комплекса. Ожидается, что выполнение программы позволит к 2015 году достигнуть выработки электроэнергии за счет ГЭС в размере 0,510 млрд кВт·ч в год, а годовая экономия ТЭР по отношению к 2009 году составит 120 тыс. т у.т.

В настоящее время в республике эксплуатируется 41 ГЭС суммарной мощностью 16,1 МВт, которые в 2009 году выработали 44 млн кВт·ч электроэнергии. Самая крупная из действующих ГЭС — Осиповичская — введена в эксплуатацию в 1953 году на реке Свислочь. Ее мощность составляет 2,175 МВт.

Для определения оптимального места строительства гидроэлектростанции необходимо учитывать ряд факторов, и в первую очередь — мощность водотока N , кВт, которая прямо пропорциональна переменным величинам — напору воды H , м и ее расходу Q , м³/с в каждом рассматриваемом сечении (створе):

$$N_{вод} = 9,81 Q H$$

Преобразование потенциальной (реже кинетической) энергии потока с помощью гидроагрегата в электрическую сопровождается гидравлическими, механическими и электрическими потерями, то есть коэффициент полезного действия $\eta < 1$.

Возможный напор обусловлен:

- географическими характеристиками: средним уклоном русла реки и типом местности (горная или равнинная);
- социальными условиями: заселенность территории, наличие транспортных коммуникаций, линий электропередачи и других сооружений, подлежащих переносу или реконструкции.

Расход зависит от времени года, климата, аккумулирующей способности водосбора, количества осадков. Для инженерных расчетов в гидроэнергетике используются статистические данные многолетних наблюдений. При работе на бытовом стоке, то есть без

регулирования, годовая загрузка гидроэнергетического оборудования снижается до 3000–4000 ч, теряется значительная часть энергетического потенциала реки.

Водохранилище позволяет стабилизировать напор и расход. Полезный объем водохранилища заключен между отметками нормального подпорного уровня воды (НПУ) и уровнем мертвого объема (УМО). Водохранилище энергетического назначения сезонного или многолетнего регулирования позволяет равномерно загружать гидроэнергетическое оборудование и уменьшать пропускную способность и размеры водосброса.

Основной хозяйственный и экологический ущерб от водохранилища связан с затоплением и подтоплением (подъем уровня грунтовых вод). Водохранилища в границах естественных колебаний уровня не выходят за пределы долины и практически не имеют аккумулирующей емкости. Поступающие к створу ГЭС расходы направляются через гидроагрегаты, а в многоводный сезон, в половодье, реже в паводок излишки сбрасываются через водосливную плотину.

Для ГЭС Беларуси целесообразно создание водохранилищ преимущественно неглубокого, обычно суточного регулирования, характеризующихся коэффициентом емкости $\beta = (V/W_{ср}) < 0,3$,

где V — полезный объем водохранилища, определяемый как верхняя часть полного его объема V_0 , соответствующая призма сработки высотой, равной одной трети расчетного напора в створе гидроузла ГЭС; $W_{ср}$ — объем среднегодового стока.

По глубокководности приемлемы водохранилища, у которых при НПУ площадь пелагической (с глубинами более 2 м) части акватории превалирует над площадью литоральной (с глубинами менее 2 м) части, то есть

$$F_{>2} / F_{<2} > 1$$

По экологической приемлемости принят эколого-энергетический показатель, характеризующий отношения площади затопления водохранилища к установленной мощности ГЭС, га/кВт:

$$F/N_{уем} < 0,5.$$

Практически для всех запроектированных крупных гидроэлектростанций республики в качестве предельно допустимой отметки НПУ принята отметка прохождение весеннего половодья расчетной обеспеченности 0,5–1 % (повторяемость — один раз в 200 и 100 лет). Соответствующие этим отметкам территории находятся преимущественно в водозащитной зоне, где ограничено строительство и сельхозпроизводство, а существующие капитальные сооружения (мосты, водозаборы, портовые сооружения и городские набережные) рассчитаны на работу в условиях высоких уровней воды. Это позволяет значительно снизить капитальные затраты на вынос сооружений из зоны затопления, отселение жителей населенных пунктов, компенсацию сельхозпроизводителям. В городских условиях верхним пределом затопления может быть средний многолетний уровень. Водохранилищам гидроэнергетики наиболее соответствуют узкие речные долины (преимущественно бассейны Двины и Немана).

Стратегией развития энергетического потенциала Республики Беларусь, утвержденной постановлением Совета Министров № 1180 9 августа 2010 года, предусмотрены сооружение новых гидроэлектростанций, реконструкция и модернизация малых ГЭС, в том числе:

- строительство двух ГЭС на Двине суммарной мощностью 63 МВт (Полоцкая и Витебская) и двух на Немане, суммарной мощностью 37 МВт (Гродненская и Немановская);
- восстановление 10 действовавших и строительство 35 новых микро- и малых ГЭС.

Для установки гидроагрегатов на существующих (существовавших) водохранилищах и прудах целесообразно привлечение небольших проектных организаций, применение типовых проектов (проектных решений) на основе:

- сохранения существующего (существовавшего) уровня расхода режима и сложившейся экосистемы;
- использования существующей инфраструктуры и сооружений, прежде всего подпорных и водопропускных, автодорог и мостов (дает снижение сметной стоимости до 40 %);
- суточного регулирования водоема в соответствии с графиком нагрузки (число агрегатов не менее 2);
- применения унифицированных однотипных для данной ГЭС капсульных горизонтальных гидроагрегатов в комплекте с блоком электротехнического оборудования и автоматики отечественного производства,

- оснащения подводящего канала рыбозащитным устройством, например плавающим сетчатым рыбозаградителем;
- автоматизированной работы ГЭС с выдачей мощности в энергосистему.

Судоходный шлюз, совмещенный с рыбоходным шлюзом и водосливным пролетом (водослив с широким порогом), может не устанавливаться. Экспертизу проектов можно выполнять на местном (областном, районном) уровне. Эксплуатироваться ГЭС и водохранилище (пруд) должны одной организацией. Число часов использования гидроагрегатов, особенно на бытовом стоке, будет значительно меньше, чем для ГЭС на крупной реке, из-за остропикового гидрографа (графика изменения расхода во времени).

При строительстве ГЭС на крупных реках единичная мощность гидроагрегата должна соответствовать пропуску санитарного расхода. Величина и режим санитарных пропусков устанавливаются на основе специальных исследований. В отсутствие таковых санитарный пропуск для непересыхающих рек чаще всего принимается равным минимальному среднемесячному расходу воды с вероятностью превышения 95 %. Число агрегатов определяется соотношением среднегодового и санитарного расхода.

Для снижения стоимости ГЭС могут применяться современные материалы, конструкции и компоновочные решения, например:

- замена железобетонного крепления откосов гибким, в том числе с геосетками, травопосевом и посадкой кустарников (применено на Гродненской ГЭС);
- выполнение судоходного шлюза во 2-й очереди строительства или отказ от него вовсе. Роль судоходного шлюза, совмещенного с рыбоходным шлюзом, может выполнять ближайший к берегу водосливной пролет (водослив с широким порогом) длиной 40 м, шириной 12 м, глубиной 1,5 м для пропуска судов водоизмещением до 200 т (ожидаемое снижение сметной стоимости 7940 тыс. руб. в ценах 1991 года);
- размещение промывных галерей в плане поочередно с гидроагрегатами (при пропуске половодья за счет эжекции можно ожидать снижения минимального напора срабатывания турбин на 0,19 м, что равно сильно дополнительной мощности 0,76 МВт для Витебской ГЭС);
- замена водосливов практического профиля на водослив с широким порогом с отметкой низа на уровне дна реки (ожидаемый эффект — снижение числа водосливных пролетов до 20 %);
- использование существующих авто- и железнодорожных насыпей в качестве тела плотины (дамбы), мостовых пролетов в качестве водосливных (ожидаемое снижение сметной стоимости 180-420 руб. в ценах 1991 года/кВт, эффект от использования существующих дорог не подсчитывался);

- применение унифицированных гидроагрегатов и затворов, секционированных затворов по высоте (предложение ПИРУП «Белгипроводхоз») при максимальной ширине пролета 12 м.

Значительный эффект может дать снижение минимального напора гидроагрегата. Отечественные гидроагрегаты имеют существенное преимущество перед импортными (2 м против 4 м), но существенно проигрывают в мощности (максимум 1,1 МВт против 9,8 МВт) и расходе. Это сильно затрудняет их применение на крупных реках.

Существующие экологические и эколого-экономические показатели (режим водообмена, глубоководность, отношение площади затопления к установленной мощности) намечаемых к строительству крупных ГЭС соответствуют нормам. При регулировании допустимая нормативная скорость падения уровня составляет 0,3–1 м/сут, фактически она может достигать 1 м/сут при амплитуде 1–2,8 м. Для естественного русла Двины по водомерному посту Витебск, к примеру, скорость спада уровня в половодье достигает 0,204 м/сут. при амплитуде 10 м, в паводок 0,14 м/сут. при амплитуде 5,5 м. Заполнение водохранилищ предполагается до нормального подпорного уровня (НПУ) с 22 до 7 ч как минимум при одном работающем агрегате; сработка до уровня мертвого объема (УМО) — с 7 до 22 ч при максимальном включении агрегатов.

Ресурсы поверхностных вод нашей республики колеблются от 92,4 км³/год (многоводный год) до 37,2 км³/год (маловодный год (обеспеченность P = 95 %) и в среднем составляют 57,9 км³/год. Колебания этого показателя с 2003 по 2008 год в целом по Беларуси укладываются в этот диапазон и не свидетельствуют об истощении ресурсов. Вместе с тем при увеличении среднегодовой температуры воздуха на 2 °С отмечено снижение водности большинства рек до 20,6 %. Таким образом, климатические изменения способны ощутимо влиять и на гидроэнергетику.

Природные условия строительства гидроэлектростанций на территории Беларуси не способствуют созданию русловых водохранилищ глубокого регулирования. До 50 % годового стока рек приходится на два весенних месяца. Сброс излишков воды мимо турбин, то есть пропуск до 100 % расчетного расхода половодья (в рассматриваемом примере это 3350 м³/с) через водосливную плотину, требует значительных капитальных затрат на ее строительство и создание металлоемких затворов.

Половодье отрицательно влияет на экономические показатели ГЭС: выравнивание уровня в бьефах (до и после плотины) — снижение напора до 1 м и менее — приводит к остановке турбин из-за низких скоростей потока, недостаточных для пуска турбины, то есть гидроэлектростанции во время половодья мощность в энергосистему не выдают.

Для сезонного регулирования реки Двина в районе г. Витебска, например, необходима аккумуляция 2,3 млн м³ воды, что соответствует водохранилищу глубиной до 20 м, длиной 60 км и средней шириной 2-3 км; для годового регулирования — 2,55 млн м³.

Создание такого водохранилища сопряжено с постоянным затоплением населенных пунктов, больших площадей ценных сельхозугодий и лесов, высококатегорийных автодорог и мостов. Теоретически в рассматриваемом створе могла быть построена гидроэлектростанция установленной мощностью 40 МВт и напором 30 м, вырабатывающая не менее 300 млн кВт·ч электроэнергии в год. С учетом же ограничивающих факторов возможно строительство ГЭС такой же мощности и напором 10 м, вырабатывающей 138 млн кВт·ч электроэнергии в год.

Последние годы характеризуются сглаженным половодьем, что облегчает эксплуатацию и строительство гидроэлектростанций, сокращает холостые сбросы (мимо турбин). Экстраполируя данные ОАО «Укрэнергопроект» (Харьков) о водных ресурсах реки Двина, можно предположить, что в ближайшие 15–20 лет Беларусь попадает в маловодную фазу многолетних колебаний водности, что может неблагоприятно сказаться на выработке электроэнергии.

Поскольку гидроэнергетическое строительство на территории Беларуси выполняется в сложных условиях, оно связано с повышенными капитальными вложениями. В такой ситуации особенно важно сокращение сроков окупаемости строительства. Вместе с тем необходимо подчеркнуть, что гидроэлектростанции имеют преимущество перед тепловыми в маневренности, и это применяется повсеместно в мировой практике — они работают в пиковом режиме по диспетчерскому графику, используя время между пусками для накопления воды в водохранилище. Между тем существующие в нашей республике ГЭС фактически не влияют на покрытие суточного максимума нагрузки из-за незначительной мощности. Планируемые ГЭС рассчитываются на 4,5–5 тыс. ч (полупиковый режим), но также не смогут покрыть своей мощностью суточный пик нагрузки (800 МВт). Практический интерес может представлять суточное регулирование водохранилищ ГЭС с целью увеличения дневной мощности.

Необходимо отметить, что строительство водохранилища суточного регулирования обойдется дороже обычного, так как постоянные колебания уровня воды на 1–1,5 м требуют большего объема работ по подготовке ложа водохранилища. При условии введения раздельных тарифов для поставщика электроэнергии ГЭС будут иметь лучшие экономические показатели.

Заполнение ночного провала нагрузки энергосистемы 0–6 ч теоретически возможно за счет гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС). Подобная станция мощностью, например, 800 МВт (расход 100 м³/с, напор >800 м) может использовать в качестве верхового бассейна Солигорское водохранилище при колебаниях уровня в нем 0,15 м, а низового — подземные выработки калийных месторождений.

Применение гидроагрегатов большой единичной мощности, низкие эксплуатационные затраты, комплексное использование гидроузлов, длительный срок эксплуатации основного оборудования позволяют создавать гидроэлектростанции с приемлемыми экономическими показателями.

Ветер как энергетический источник характеризуется большой изменчивостью скоростей и направлений движения воздушных масс. Это приводит к изменению кинетической энергии ветрового потока в больших пределах даже в относительно короткие промежутки времени: от нулевой энергии при штилях и до во много раз превышающей среднегодовую — в периоды ураганных усиления скорости ветра. Как следствие, электростанции ветровой энергии имеют высокие капитальные затраты на единицу установленной мощности.

троэнергия, вырабатываемая ветроэнергетической установкой (ВЭУ), отличается непостоянством напряжения и частоты тока.

Малая плотность воздуха является причиной относительно низкой концентрации энергии в потоке, приходящейся на 1 м^2 площади его поперечного сечения. В связи с этим, чтобы получить ощутимую мощность, необходимо использовать ВЭУ с достаточно высокой установленной мощностью (1,5–2,5 МВт и более), имеющие лопасти ветротурбины большого диаметра (90–110 м) и установленные на высоте 80–100 м и более от поверхности земли. В Республике Беларусь, к сожалению, использование энергии ветра пока находится на крайне низком уровне: общий объем установленной мощности не превышает 3 МВт.

В соответствии с требованиями евростандартов, регламентирующих технико-экономическое обоснование инвестирования внедрения ВЭУ, определяющим параметром для прогноза баланса и показателей эффективности ветроэнергетики являются сведения о ветроэнергетическом потенциале (ВЭП) зон внедрения ВЭУ. ВЭП территории рассчитывается разными методами и в зависимости от выбранного метода приобретает разный смысл. Так, валовой потенциал ветровых ресурсов (ВЭР) рассчитывается как мощность ветрового потока без учета свойств и возможностей ВЭУ и для территории Республики Беларусь он оценен примерно в 220 млрд кВт·ч. Наиболее полную информацию о ВЭП территории представляет технический потенциал, определяемый типом ВЭУ, из которых формируется ветроэнергетическая станция (ВЭС). Эффективность использования энергии ветра зависит не только от потенциальных ресурсов ветра, но и от конструкции ветроэнергетической установки, выбора места ее сооружения, экономичности строительства и эксплуатации ВЭУ. По международным требованиям внедрение ВЭУ целесообразно, если скорость ветра на высоте установки ветротурбины составляет 5 м/с и более.

В настоящее время в связи с потеплением климата и устойчивым снижением средних годовых скоростей ветра, а также в связи с внедрением ВЭУ мощностью свыше 1,5 МВт и высотами расположения осей вращения ветротурбин 80–100 м и более над поверхностью земли назрела необходимость пересмотреть сведения как о ВЭП, так и о зонах (площадках) внедрения ВЭУ. На территории Республики Беларусь выбрано около 1840 площадок, которые обладают необходимым ветроэнергетическим потенциалом для размещения ВЭУ и ВЭС.

В рамках выполнения задания «Оценка ветроэнергетических ресурсов и разработка рекомендаций по выбору мест размещения ветроэнергетических установок на территории Республики Беларусь» Государственной научно-технической программы «Экологическая безопасность» проведены научные исследования для целей развития ветроэнергетики и разработан макет Атласа ветров Республики Беларусь.

В ходе исследований были использованы материалы радиозондирования атмосферы, полученные с помощью аэрологических наблюдений в городах Минск, Брест и Гомель (уровни 10–12 м, 100 и 200 м над поверхностью земли), а также высотные данные с телевизионной мачты в пос. Колодищи (высотный комплекс «Колодищи» с уровнями установки датчиков ветра 12, 25, 43, 113 и 145 м над поверхностью земли). На основе этой информации были построены графики распределения средних многолетних годовых скоростей ветра на различных высотах и определены коэффициенты пересчета средней многолетней скорости ветра на различных высотах от поверхности земли для всех пунктов приземных метеорологических наблюдений. Данные, полученные с телевизионной мачты в пос. Колодищи, использованы при построении карт-схем распределения средних скоростей ветра для различных высот на территории Республики Беларусь. По результатам проведенных исследований определен ВЭП с учетом годовой выработки электроэнергии ВЭУ установленной мощностью 2,5 МВт и построены карты-схемы его распределения по территории Республики Беларусь. В основу расчетов положены данные приземных наблюдений Государственной сети гидрометеорологических наблюдений: средняя многолетняя скорость ветра на высоте установки анеморумбометра (10–12 м от поверхности земли) и расчетные скорости ветра на высотах 80 и 100 м от поверхности земли с применением полученных переходных коэффициентов.

По итогам исследования с применением описанных методик около 1840 площадок, перспективных для установки ВЭУ мощностью 1,5–2,5 МВт, максимальный технический ВЭП территории Республики Беларусь, определенный с учетом годовой выработки элек-

троэнергии на площадке с одной ВЭУ и с коэффициентом ее полезного действия около 0,25, оценен примерно в 5,5–9,0 млрд. кВт·ч.

Первая ветроустановка в СНГ мощностью 1,5 МВт, была построена и запущена в мае 2011 г. около д. Грабники в Новогрудском районе Республики Беларусь. Она достигает в высоту 81 метра, а длина каждой ее лопасти — 40 метров. Производитель — китайская компания HEAG. Запуск ВЭУ приурочили к 80-летию создания белорусской энергосистемы. Данная площадка оказалась наиболее эффективной, так как среднегодовая скорость ветра здесь достигает 7 м/с. Ожидается, что данная ВЭУ, будет нести номинальную нагрузку около 3 месяцев в году, все остальное время — работать на «скользящих параметрах». Это позволит сэкономить порядка 30 млн руб. ежемесячно. Стоимость всего самого проекта составляет почти 13 млрд руб. Проектная мощность только одной такой ВЭУ — 3 млн. кВт·ч. Этого вполне достаточно, чтобы обеспечить население Новогрудка электроэнергией, или 10 % потребности в энергии всего Новогрудского района.

Таким образом, полученные данные позволяют сделать вывод о том, что Республика Беларусь обладает достаточным ветроэнергетическим потенциалом для экономически обоснованного внедрения ВЭУ. При строительстве комплексов на основе ВЭУ установленной мощностью 2,5 МВт потребуется меньшее количество площадок для достижения необходимой выработки электроэнергии и при этом сохраняется достаточное количество площадок для внедрения ВЭУ меньшей установленной мощности. С учетом особенностей рельефа и средних скоростей ветра наиболее перспективными для развития ветроэнергетической отрасли на территории Республики Беларусь являются районы с абсолютными отметками 200 м и более над уровнем моря. На этих территориях на высотах 80–100 м и выше от поверхности земли целесообразно располагать оси роторов ВЭУ установленной мощностью 1,5–2,5 МВт. Для территорий с абсолютными отметками ниже 200 м могут решаться локальные задачи выработки электроэнергии ВЭУ меньшей мощности.

Проведенная оценка ВЭП площадок для размещения ВЭУ в Дзержинском районе Минской области подтверждает правильность их выбора. Сооруженные в этом районе ВЭУ и ВЭС способны обеспечить планируемую выработку электроэнергии. Как показывают многолетние расчетные данные, полученные ближайшими пунктами приземных метеорологических наблюдений (в Дзержинском районе наблюдения не производятся), с учетом абсолютных отметок над уровнем моря и абсолютных отметок рельефа и применением предложенной методики расчета средние годовые фоновые скорости ветра на высоте 10 м от поверхности земли должны составлять не менее 4,0 м/с, расчетная же скорость на высоте 100 м — не менее 6,8 м/с.

Откорректированный подход к оценке ВЭП, правильное использование информации ближайших пунктов приземных метеорологических наблюдений при проведении мониторинга параметров ветра позволят избежать грубых ошибок при обосновании энергоэффективности внедрения ветроэнергетического оборудования. Эти вопросы освещены в макете Атласа ветров Республики Беларусь. В нем также представлены разнообразные статистические материалы по параметрам ветра, описаны методические требования к расчетам и оценке ВЭП, адаптированные для условий Республики Беларусь. Создание и применение Атласа ветров Республики Беларусь будет способствовать обеспечению современного технологического уровня при выборе и оценке площадок размещения ВЭУ и ВЭС на территории аграрных районов нашей страны, снижению финансовых и временных затрат на проектирование ВЭУ и ВЭС и выбор конкретных мест их размещения.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЯСНОЙ ОТРАСЛИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

С.В. Основин, к.с.-х.н, доцент, М.С. Назарова, ст. преподаватель

Главным рычагом экономической политики мясной отрасли должна стать заинтересованность товаропроизводителей в результатах своего труда и эффективном производстве. Положительным фактором прошедшего периода следует считать то, что руководителями, специалистами хозяйств и многими фермерами были приобретены неплохие