СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРОБЛЕМЕ АДИАБАТИЧЕСКОГО ПАРООБРАЗОВАНИЯ

С. В. ПОЛОЖИИ

(Представлена проф. докт. техн. наук И. Н. Бутаковым)

В Томском политехническом институте разрабатывается проблема использования адиабатического парообразования в энергетике [1—7], проведены экспериментальные и теоретические исследования адиабатического парообразования [8—14]. Это направление в развитии науки имеет большое практическое значение в различных отраслях промышленности. Последнее обстоятельство требует анализа состояния и дальнейшей разработки научных исследований в этой области.

Адиабатическое парообразование, без подвода тепла в процессе изменения агрегатного состояния, обладает следующими особенностями: 1—образованием кинетической энергии потока в процессе парообразования, 2—распылением жидкой фазы, дисперсированием потока, 3—огромными скоростями генерации пара и дисперсирования потока.

Эти специфические свойства адиабатического парообразования позволяют, как показывают исследования, эффективно использовать этот процесс для практических целей, и прежде всего в энергетике: в паротурбинных КЭС и ТЭЦ, в парогазовых и атомных энергетических установках, в магнитогидродинамических установках при утилизации тепла плазмы. Значительная кинетическая энергия и высокая скорость процесса являются причиной применения адиабатического парообразования для ракет различного назначения. Удобным является этот процесс для струйных аппаратов. Дисперсирование потока с парообразованием в этом процессе используется для сушки вязких растворов. Эти же свойства предложено использовать для распыления вязких топлив в двигателях внутреннего сгорания. По этой же причине возможно использовать адиабатическое парообразование для реактивного двигателя скоростных судов на подводных крыльях. Наряду с этим приходится решать ряд вопросов, связанных с проявлением адиабатических фазообразований в технике: истечение нагретой воды, использование тепла непрерывной продувки на ТЭС, расширение влажного пара в паровых турбинах. Имеется ряд других областей, где ведутся работы по использованию свойств адиабатического парособразования: опреснение морской воды для промышленных целей, в пищевой промышленности и т. п. Этим, в частности, объясняется большой интерес к материалам ТПИ по исследованию адиабатического парообразования. Так, например, в 1963—64 гг. материалы исследований ТПИ по адиабатическому парообразованию запросили такие разнородные научно-исследовательские организации

нашей страны, как институт Теплоэнергетики АН УССР, институт технической теплофизики АН УССР, Азербайджанский институт нефти и химии, проблемная лаборатория по использованию морской воды в промышленности. Харьковский политехнический институт, Киевский институт пищевой промышленности и др.

Этот обзор практического использования адиабатического парообразования в настоящее время и в перспективе показывает на необходимость широкого развития научных исследований в этой новой области, соответствующей постановке этой проблемы как самостоятельного научного направления.

Исследователи впервые столкнулись с явлением адиабатического парообразования при определении расхода при истечении нагретой воды. Несмотря на большую давность и значительное количество исследований в данной области, фактически не удалось решить этот вопрос до настоящего времени [9, 10]. Это объясняется тем, что как в теоретических, так и в экспериментальных исследованиях не уделялось внимания изучению самого процесса адиабатического парообразования. Эти исследователи пытались решить эту задачу по аналогии с истечением однофазной жидкости. В таких экспериментальных исследованиях до предела ограничивалась задача изучения физической сущности процесса, его специфических особенностей и закономерностей. Опыты ставились весьма упрощенно, не основывались на правильной теоретической гипотезе. Исследователям оставались неизвестными изменение параметров процесса, энергия и скорость истечения потока, место зарождения паровой фазы и структура потока, количество образующегося пара и факторы, влияющие на эти процессы, и т. п. У исследователей этого вопроса не было представления об этом явлении как об адиабатическом парообразовании. Все это вынуждало идти по пути предположений, не имеющих ничего общего с действительной сущностью процесса [9, 10].

Подобное же наблюдается в исследованиях, связанных с адиабатической конденсацией, происходящей при расширении влажного пара в паровых турбинах [11—13]. Теперь известно неудовлетворительное состояние научных исследований потерь от влажности в паровых турбинах, несмотря на исключительную важность вопроса, большого размаха исследований и многолетнюю их историю. Здесь также не занимаются изучением физической сущности адиабатической конденсации, специфических условий протекания этого процесса, его кинетикой в сложных условиях расширения пара в проточной части турбины, не существовало даже термина «адиабатическая конденсация», как и термина «адиабатическое парообразование». Поэтому в теоретических и экспериментальных исследованиях потерь от влажности в паровых турбинах не изучались явления адиабатической конденсации. Вследствие этого, методика таких исследований не основывалась на выяснении физической сущности процесса, не предусматривала выявления действительных факторов и причин потерь от двухфазного состояния в экспериментальных турбинах.

В результате такого состояния теоретических и экспериментальных исследований в этой области в настоящее время неизвестно истинное значение потерь от влажности в действующих паровых турбинах. Все это удалось установить только на основании исследований этих явлений как адиабатических фазообразований, которые показали, что в экспериментальных одноступенчатых турбинах в опытах при переходе с перегретого на влажный пар нет условий для возникновения потерь от влажности. В этом случае зарождение и развитие жидкой фазы в соплах одноступенчатых турбин происходит по всему объему и носит микрока-

пельный характер, со скоростно-однородной структурой потока, не способной вызвать потерю от влажности пара. Эти теоретические выводы не согласовывались с опытными данными исследователей потерь от влажности, в которых устанавливалась пропорциональная зависимость величины потерь от содержания влаги в паре [11, 12]. Несоответствие таких опытных данных потерь от влажности нашим теоретическим выводам, основанным на изучении адиабатических фазообразований, поставило под сомнение правильность современной методики экспериментальных и теоретических исследований потерь от влажности и явилось причиной специального исследования этого вопроса [11—13]. Действительной причиной падения к.п.д. в опытных турбинах при переходе с перегретого на влажный пар является изменение физических и термодинамических свойств потока и нерасчетные условия работы одноступенчатой турбины на влажном паре, которые не учитывались в таких экспериментальных и теоретических исследованиях.

Такая критика современных исследований потерь от влажности в паровых турбинах не получила возражений от исследователей в данной области (МЭИ, ЛПИ, БИТМ, ХПИ). Эти исследователи не выступили по существу этой важной проблемы [12, 13].

Кинетическая энергия адиабатического парообразования с высокой эффективностью реализуется в расширяющихся (энергетических) испарительных элементах (ИЭ). В теоретическом случае величина кинетической энергии потока соответствует теплопадению k_2 насыщенной жидкости при изоэнтропическом сбросе давления и зависит от разности и интервала сброса давления [8—10, 14]. Эффективность реального процесса превращения теплопадения в кинетическую энергию потока при адиабатическом парообразовании, по опытным данным, даже при невысоких начальных давлениях близка к эффективности истечения пара из расширяющихся сопел [15, 16]. При этом степень совершенства этого процесса возрастает по мере увеличения интервала давления. Например, по нашим опытам, энергетический к.п.д. расширяющихся ИЭ при сбросе давления нагретой воды около одной атмосферы в вакуум составляет 0,60—0,70. По опытным данным Френцеля [15] при избыточном давлении к.п.д. расширяющихся ИЭ составляет 0,86—0,89. По экспериментам ЛПИ [16] при сбросе давления насыщенной воды в 30—40 бар до 1 бары к.п.д. равен 0,92—0,93. На основании этих экспериментальных исследований в ЛПИ пришли к выводу о высокой степени преобразования энтальпии в кинетическую энергию. Этот вывод вполне согласуется с нашими теоретическими и экспериментальными исследованиями этого вопроса [8, 9].

При данном интервале и величине сброса давления эффективность получения кинетической энергии всецело определяется геометрическими параметрами и типом испарительных элементов. Цилиндрические, коноидальные и диафрагменные ИЭ по степени совершенства процесса относятся к неэнергетическим ИЭ, процесс парообразования в которых протекает без существенного приращения кинетической энергии потока [10, 14]. Например, при сбросе давления при температуре в 95°C в вакуум скорость истечения из расширяющегося ИЭ составляет 187 м/сек, из цилиндрического — 28 м/сек, а коноидального — 32 м/сек при одной и той же скорости истечения из этих сопел холодной воды порядка 10 м/сек.

В настоящее время в зарубежных странах (Италия, США, ФРГ и др.) ведутся усиленные работы по использованию энергии адиабатического парообразования для создания реактивной тяги в ракетах (водяные ракеты) [17]. В Италии взят патент на изобретение, в котором

разработан рецепт особой жидкости, которая, вступая в реакцию с водой, в котле-баке ракеты за 0,3 сек повышает температуру воды до 300°C. Скорость истечения потока достигает 470 м/сек, что создает значительную тягу. Такие ракеты разрабатываются в качестве ускорителя (бустера) при взлете самолетов или запуске тяжелых ракет, а также в виде метеорологических ракет для обслуживания авиации и для связи на небольших расстояниях.

В ТПИ, как уже упоминалось, проведены значительные работы по использованию адиабатического парообразования в паротурбинных установках. Здесь же предложено применять адиабатическое парообразование для эжекторов паровых турбин, используя для этой цели продувочную воду котельных агрегатов. Замена паровых эжекторов на эжекторы продувочной воды котельных агрегатов устраняет на ТЭС расход свежего или отборного пара на создание вакуума в конденсаторах паровых турбин и на эквивалентную величину повышает производство электроэнергии и сокращает расход топлива. Использование адиабатического парообразования в паротурбинных установках позволяет преодолеть основные недостатки современного паросилового цикла [1].

В результате противоречий и недостатков современного паросилового цикла промышленные КЭС и ТЭЦ, а также другие типы паросиловых установок небольшой мощности находятся на низком техническом уровне развития и не имеют перспектив повышения тепловой экономичности. Это объясняется тем, что при современном способе парообразования повышение термического к.п.д. паротурбинных установок невозможно при сохранении низкого давления пара, благоприятного для эффективной работы паровых турбин невысокой мощности. Для сохранения относительного внутреннего к.п.д. паровых турбин на достаточно высоком уровне с повышением начального давления пара до сверхвысоких и закритических величин необходимо одновременно увеличивать мощность паровых турбин до сотен тысяч киловатт.

В паротурбинных установках огромной мощности, допускающих повышение давления до закритических величин по условию сохранения к.п.д. турбин, резко ухудшаются возможности внедрения сверхвысоких температур перегрева пара, необходимых для достижения высокой тепловой экономичности таких мощных ТЭС. В результате этого паротурбинные установки сверхвысоких давлений огромной мощности по начальным температурам резко отстают от газотурбинных установок. Сверхвысокие и закритические давления пара, необходимые в мощных паротурбинных установках только для повышения термического к.п.д. цикла, во всех других отношениях являются отрицательными.

Такие давления приводят к огромным расходам металла, особенно дорогих высоколегированных сталей, резкому удорожанию энергетического оборудования, к усложнению тепловых схем, применению повторных перегревов пара, сложной системы паропроводов, повышают требования к качеству воды и пара, снижают надежность эксплуатации и т. п. Использование таких давлений потребовало организации больших исследований и затрат материальных ресурсов на создание и освоение закритических давлений пара. Внедрение закритических давлений пара при сверхвысоких температурах в блочных установках большой мощности, как показала зарубежная практика, себя не оправдало. По существу, эти колоссальные усилия и затраты оказались огромным промышленным экспериментом, на основании которого практически убедились в нецелесообразности повышения тепловой экономичности за счет закритических давлений и сверхвысоких температур, требующих применения аустенитных сталей. Практически достигнутая экономия топлива

в таких установках в результате применения сверхкритических давлений с двойным промежуточным перегревом в $600\text{--}650^\circ\text{C}$ после трех-четырёх лет эксплуатации в США в большинстве случаев далеко не достигала расчетной величины при исключительно высокой стоимости оборудования таких станций [18, 19]. В результате этого в развитии энергетики в капиталистических странах произошла тенденция отхода от сверхвысоких температур перегрева пара, и начальная температура в строящихся и проектируемых блочных ТЭС снижена с $650\text{--}600^\circ\text{C}$ до $540\text{--}520^\circ\text{C}$. Известны большие трудности освоения и более низких параметров пара в СССР: 130 бар , $565,565^\circ\text{C}$ и 240 бар , $565,565^\circ\text{C}$. Сравнение технико-экономических показателей современных ГРЭС сверхвысоких параметров пара с ТЭС предшествующего периода малой мощности и более низких параметров, малоэкономичных и с высокими удельными расходами средств, приводит к положительной оценке развития энергетики по пути внедрения сверхвысоких параметров пара. Благодаря исключительно высокой концентрации производства электроэнергии в мощных блочных ГРЭС наряду с повышением тепловой экономичности достигается снижение удельных затрат на строительство и эксплуатацию таких установок. Но если произвести сравнение современных мощных ГРЭС закритических давлений с предполагаемыми установками той же мощности и тепловой экономичности, но низких давлений пара, то стало бы очевидным регрессивное значение разработки и внедрения современных ГРЭС.

Использование адиабатического парообразования в паротурбинных установках приводит к оптимальному типу ТЭС, устраняющему основные недостатки и противоречия современных паротурбинных ТЭС как малой, так и большой мощности. Этим определяется исключительная актуальность проблемы использования адиабатического парообразования в паросиловых установках, необходимость всемерного развития научных исследований для решения этой задачи. С этой целью в ТПИ длительное время проводятся теоретические и экспериментальные исследования по этой проблеме, расчетные, проектные и конструктивные работы, результаты которых частично уже опубликованы в настоящее время [1—14]. Проектными и расчетными работами выяснялись технико-экономические показатели ТЭС с адиабатическим парообразованием: к.п.д., удельный расход тепла и топлива, пара, металла и др. Рассматривались варианты как строительства новых ТЭС с адиабатическим парообразованием различных параметров пара, единичной и агрегатной мощности, типов и назначения, так и вопросы расширения и модернизации существующих КЭС и ТЭС. Проводилось также проектирование парогазовых и атомных электростанций. Проектировались и разрабатывались новые турбогенераторы с испарителями-генераторами, а также на базе существующих серийных турбин сверхвысокого давления цилиндров среднего и низкого давления, теплофикационных турбин невысокого давления. Разрабатывались водогрейные котлы различной мощности и температур перегрева пара и другое оборудование таких ТЭС.

В [1, 2, 4, 5] опубликованы некоторые данные теоретических исследований и проектных разработок паросиловых установок с адиабатическим парообразованием. В промышленных ТЭС внедрение адиабатического парообразования позволит на $30\text{--}100\%$ повысить их тепловую экономичность и одновременно резко сократить расход металла и стоимость энергетического оборудования таких ТЭС, а также повысить на $30\text{--}80\%$ мощность промышленных ТЭС. При этом внедрение адиабатического парообразования будет осуществляться на базе дешевого, хорошо

освоенного турбинного оборудования невысокого давления, строительства водогрейных котлов из углеродистой стали.

В большой энергетике при эквивалентной тепловой экономичности современным блочным ГРЭС сверхвысоких параметров пара представляется возможным при внедрении адиабатического парообразования в полтора-два раза снизить стоимость котельных агрегатов, резко сократить расход металла, особенно легированных сталей, стоимость и расход металла паровых турбин, регенеративной системы подогрева питательной воды, паропроводов, увеличить производственные мощности энергетической промышленности, темпы строительства энергетики и т. п.

В исследованиях адиабатического парообразования и условий работы турбин ИГ (испарителей-генераторов) удалось выявить основные закономерности и свойства процесса генерации пара и энергии в испарительных элементах и работы потока на турбинном колесе, которые оказались таковыми, что способны обеспечить эффективную и надежную работу турбин испарителей-генераторов.

Главная роль в обеспечении эффективной и надежной работы турбин ИГ принадлежит испарительным элементам, в которых с высоким к.п.д. происходит превращение теплопада в кинетическую энергию. Величина теплопада и скорость истечения потока в испарительных элементах обуславливают одноступенчатый активный принцип работы турбин испарителей-генераторов (при оптимальных отношениях U/C , 3000 об/мин, нормальных диаметрах диска и других благоприятных условиях), без которого невозможна надежная и эффективная работа таких турбин. Молекулярно-дисперсная структура потока, полученная в испарительных элементах, в свою очередь исключает возможность эрозии рабочих лопаток и потерь от влажности в таких одноступенчатых турбинах ИГ. Количество образующегося пара в испарительных элементах, объемные расходы пара низкого давления, физические и термодинамические свойства пара также являются благоприятными для использования его на рабочих лопатках турбинного колеса. Эти выводы о роли испарительных элементов в обеспечении надежной и эффективной работы турбин ИГ подтверждены экспериментально [3, 6, 15, 16, 20]. Удачным оказался в паротурбинных установках с адиабатическим парообразованием выбор невысокого давления в испарителе-генераторе, которое обеспечивает надежную и эффективную работу турбин ИГ, высокое значение относительного внутреннего к.п.д. паровых турбин даже малой мощности и термического к.п.д. цикла даже при невысоких температурах перегрева пара, улучшает условия работы и эффективность котельных агрегатов таких установок. Низкое давление пара в сочетании с высокой тепловой экономичностью паросиловых установок с адиабатическим парообразованием приводит к положительному технико-экономическому эффекту, к резкому снижению расхода металла и средств, первоначальных и текущих вложений, упрощает тепловые схемы ТЭС, основное и вспомогательное оборудование, снижает требования к воде и пару и т. п.

Безэрозийная и эффективная работа двухфазного потока на рабочих лопатках турбин испарителей-генераторов в настоящее время обоснована только теоретическим путем на базе экспериментальных исследований адиабатического парообразования, испарительных элементов и работы моделей лабораторных вакуумных турбин ИГ.

Теоретическое исследование движения двухфазного потока на выходе из испарительных элементов и в криволинейных каналах рабочего колеса позволило установить критический размер капелек жидкости, превышение которого приводит к изменению траекторий и скорости частичек жидкости, по сравнению с частичками пара, и к возникновению

потерь от влажности и эрозии рабочих лопаток. Этот критический размер капелек жидкости для условий работы турбин ИГ оказался в сотни раз больше, чем максимальные размеры капель жидкости в потоке турбин испарителей-генераторов. Эти теоретические выводы имеют большую достоверность, обеспеченную общим состоянием научных исследований движения двухфазного потока в проточной части газовых турбин, экспериментальными исследованиями и практикой эксплуатации газовых турбин твердого топлива [21, 22], на основании которых частички золы в несколько микрон имеют в проточной части турбин скорости и траектории движения газового потока, исключаящие потерю и эрозию от двухфазного состояния потока. Это подтверждается также нашими исследованиями действительных потерь в экспериментальных однодисковых паровых турбинах при переходе от перегретого к влажному пару [11, 12], экспериментальными исследованиями дисперсности потока при адиабатическом парообразовании. Теоретические и экспериментальные исследования самого последнего времени движения влажного пара [23] и конденсированной фазы в межлопаточных каналах [22] подтверждают наши выводы о влиянии критического размера — дисперсности двухфазного потока на потерю и эрозию от двухфазного состояния потока.

В результате этого комплекса теоретических и экспериментальных исследований, расчетных и проектных работ, проведенных в ТПИ, удалось положительно завершить первый этап работ по обоснованию прогрессивного значения использования адиабатического парообразования в теплоэнергетике и поставить вопрос о дальнейшей разработке и внедрении адиабатического парообразования в паротурбинные установки. С этой целью в ТПИ с одной из энергосистем Сибири заключена хозяйственная научно-исследовательская работа по использованию адиабатического парообразования на ТЭС, а также было предложено Государственному Комитету по энергетике и электрификации СССР заключить хозяйственную работу по разработке и внедрению адиабатического парообразования в паротурбинных установках.

Развитие научных исследований по проблеме использования адиабатического парообразования в паротурбинных установках протекало с большими трудностями, завершение работы затянулось на многие годы, невозможным оказалась постановка экспериментальных исследований турбин ИГ в диапазоне и условиях использования их в энергетике. Безрезультатными оказались попытки ТПИ организовать дальнейшее развитие и внедрение адиабатического парообразования в паротурбинных установках путем выполнения хозяйственной работы по этой проблеме с Госкомитетом по энергетике и электрификации СССР в 1965 году.

Эти трудности вызваны отрицательной позицией ряда ведущих ученых и научно-исследовательских организаций Москвы, занимающихся развитием современной энергетике, разработкой и внедрением сверхвысоких и закритических параметров пара. Эта отрицательная позиция группы ученых определяется как объективными, так и субъективными факторами и оказалась трудно преодолимой.

К объективным факторам относятся новизна этих исследований и наличие экспериментальных и теоретических исследований истечения нагретой жидкости, при котором проявляется адиабатическое парообразование, эрозии и потерь от влажности в паровых турбинах, при которых проявляется адиабатическая конденсация. Как в той, так и в другой области научные исследования проводились без изучения адиабатических фазообразований, правильного представления о физической сущности этих процессов, специфических особенностях и закономерности

стях адиабатического парообразования и адиабатической конденсации [8—14], и не только не способны были по этой причине на должном уровне решить эти задачи, но и дезориентировали научную общественность в правильной сущности адиабатических фазообразований. Такие исследования истечения нагретой воды, о которых уже говорилось, приводили к ошибочным выводам и представлениям о малой кинетической энергии потока, низкой степени совершенства и большой метастабильности процесса в испарительных элементах турбин ИГ, о невозможности реализации и непригодности адиабатического парообразования для паротурбинных установок (ЦКТИ, ЭНИН).

Еще более серьезной помехой являются теоретические и экспериментальные исследования потерь от влажности в опытных паровых турбинах, на основании которых оцениваются потери в действующих турбинах. Здесь также необходимо было вскрыть ошибочность методики таких исследований, непригодность таких опытных и теоретических данных для правильной оценки потерь от влажности в паровых турбинах [11, 12] и тем более — в турбинах ИГ.

Неосведомленность научно-технической общественности о явлениях адиабатического парообразования, его основных свойствах и закономерностях является другим объективным фактором. Этот фактор явился одной из причин некритического переноса потерь от влажности в паровых турбинах на турбины ИГ, механического подхода к этому вопросу, без анализа условий, физической сущности процесса и принципа работы турбин. отождествляя таким образом условия и работу паровых турбин с турбинами ИГ, такие ученые отрицают возможность создания эффективных и надежных турбин испарителей-генераторов и решение проблемы использования адиабатического парообразования в паротурбинных установках (ЦКТИ, ЭНИН, МЭИ). В отзыве МЭИ, например, отрицание эффективной и надежной работы турбин ИГ построено на аналогии с работой питательных насосов и судовых гребных винтов. Только отсутствием достаточного представления об адиабатическом парообразовании и условиях работы турбин ИГ можно объяснить появление такого отзыва. Отрицание экономических преимуществ паротурбинных установок с адиабатическим парообразованием: снижение расхода металла, стоимости энергетического оборудования и т. п. такими учеными производится на предположениях.

В качестве примера таких ненаучных, бездоказательных отрицаний проблемы использования адиабатического парообразования в паротурбинных установках можно привести заключение ЭНИН по предложению ТПИ о разработке и внедрении адиабатического парообразования в теплоэнергетику.

Фактическим материалам теоретических и экспериментальных исследований, проектным и конструктивным разработкам энергетического оборудования и ТЭС с адиабатическим парообразованием авторы заключения ЭНИН (д.т.н. Холодовский Г. Е. и инж. Абдрашитов И. И.) противопоставляют личные сомнения и бездоказательные утверждения, как например: «Работа основного элемента ИГ внушает сомнение»... «Неизбежны гидравлические удары, эрозия и износ лопаток со всеми вытекающими из этого последствиями»..., «снижение расхода металла в установке ИГ вызывает сомнение». Такие доводы не могут служить научным доказательством, опровергнуть материалы исследований в этой новой области. Кроме того, авторы заключения допускают грубое искажение материалов исследований статьи [1] для обоснования неприменимости адиабатического парообразования в мощных паротурбинных установках. В [1] приведено сравнение термических к.п.д. теоретических циклов

с ИГ и Ренкина различных параметров пара и, в частности, значение термического к.п.д. цикла Ренкина 180 бар, 550, 535°C и ИГ 80 бар, 550°C, значения которых равны. Чтобы опровергнуть это равенство термических к.п.д., авторы заключения произвели своеобразную проверку этих данных. В расчеты теоретических циклов Ренкина 180, 550/535° и ИГ 80, 550°C они ввели относительные внутренние к.п.д. ИГ и паровых турбин в произвольном толковании. Для турбин ИГ приняли к.п.д. равным 0,7, для паровых турбин цикла ИГ и Ренкина — 0,9, считая и к.п.д. цилиндра сверхвысокого давления также равным 0,9, что практически никогда не может иметь места, а для турбин малой мощности внутренней относительный к.п.д. при сверхвысоком давлении (ЦВД сверхвысокого давления) может иметь даже отрицательную величину. При такой произвольной и к тому же неправильной подстановке к.п.д. турбин при расчете теоретических циклов, в которых не учитываются потери в энергетическом оборудовании, авторы заключения исказили расчетные данные в [1], получив термический к.п.д. цикла Ренкина 180 бар, 550, 535°C на 3% выше, чем к.п.д. цикла ИГ 80 бар, 550°C, объявили ошибочность расчетов в [1] и пришли к выводу о неприменимости в ТЭС адиабатического парообразования. На основании такого заключения ЭНИН Госкомитет по энергетике и электрификации СССР отказался от заключения хоздоговора по разработке и внедрению адиабатического парообразования в паротурбинных установках.

Открытие адиабатического парообразования, его объективная сущность находятся в противоречии с современными научными исследованиями процессов, связанных с адиабатическим фазообразованием. Использование адиабатического парообразования в паротурбинных установках входит в противоречие с современным состоянием и развитием теплоэнергетики, вскрывает недостатки существующих паротурбинных установок, требует их устранения.

Решение совещания при ЭНИН по этой проблеме 21 ноября 1965 года направлено против такой возможности, против научных исследований и внедрения адиабатического парообразования в энергетику нашей страны, путем непризнания фактических материалов исследований ТПИ, необоснованных отрицаний, абстрактных выводов и даже ошибочных утверждений. Этим объясняется то, что негативное решение совещания при ЭНИН не было поддержано теплоэнергетиками ТПИ. Это решение совещания при ЭНИН не согласуется также с многочисленными заключениями и постановлениями научно-технических конференций и совещаний ТПИ, научных сессий вузов Западной Сибири, научных семинаров теплоэнергетиков вузов и промышленности Томска, Всесоюзного совещания по строительству мощных блочных ГРЭС в Сибири (г. Кемерово), научно-технического совета МВССО РСФСР, Совета теплоэнергетического факультета ТПИ, специальных дискуссий, отзывов отдельных ученых, рецензий на опубликованные работы по этой проблеме. Противники этих исследований, а также авторы и исследователи, которые подвергались критике в опубликованных работах по рассматриваемой проблеме, не выступили в печати со своими возражениями, не высказали своего отрицательного отношения к результатам исследований в ТПИ и не приняли участия в печати в дискуссии и обсуждении рассматриваемых вопросов.

Совещание при ЭНИН фактически признало высокое значение тепловой экономичности ПТУ с АП, по абсолютной величине в 32—34%. Это значение ПТУ с АП на 30—100% превышает тепловую экономич-

ность промышленных ТЭС в нашей стране, имеющих к.п.д. в пределах 15—25%.

Внедрение ПТУ с АП в промышленных ТЭС позволит на 30—100% повысить их тепловую экономичность, в несколько раз снизить удельный расход металла и стоимость энергетического оборудования промышленных ТЭС и в полтора—два раза повысить их мощность. Если учесть, что промышленные ТЭС в настоящее время расходуют более 33% топлива, сжигаемого на электростанциях страны, вырабатывают порядка 20% всей электроэнергии и составляют по установленной мощности 12% от всех ТЭС, а ТЭЦ—40%, то можно представить, какое огромное значение для народного хозяйства приобретает решение этой проблемы. Внедрение адиабатического парообразования в промышленную теплоэнергетику будет равносильно технической революции в этой отрасли энергетики.

Необходимо отметить также недостойные приемы, которыми пользуются противники этой проблемы в полемике по существу этой работы. Например, ЦКТИ расчетные данные о повышении к.п.д. промышленных ТЭС при внедрении ПТУ с АП на 30—100% распространяет на мощные ГРЭС сверхвысокого давления пара и такие абсурдные данные приписывает автору работ. ЦКТИ уже допустил ранее грубую ошибку в оценке ПТУ с АП, отрицая возможность эффективной работы испарительных элементов турбин ИГ по экспериментальным данным истечения нагретой воды из диафрагм и цилиндрических насадок, имеющих в литературе, в которых нельзя осуществить перевод теплопадения в кинетическую энергию потока. Теперь хорошо известна несостоятельность такого заключения ЦКТИ и по экспериментальным данным других авторов [15, 16], о которых уже говорилось.

Этот краткий обзор современного состояния исследований адиабатического парообразования и его практического использования, научного содержания критических замечаний и отзывов по этой проблеме и неудовлетворительной постановки экспериментальных и теоретических исследований потерь от влажности в паровых турбинах, а также истечения нагретых жидкостей показывает на необходимость дальнейшего развития и соответствующей постановки научных исследований в этой области, координации этих исследований, проведения научно-технических совещаний и конференций по проблеме адиабатического парообразования в целом.

Важным в дальнейших научных исследованиях по этой проблеме является создание фундаментальной теории адиабатических фазообразований, раскрытие молекулярной природы основного закона адиабатического парообразования [13]. На базе такой теории представилось возможным более эффективно решать задачи практического использования адиабатического парообразования в различных отраслях техники.

Важным результатом исследований кафедры ТЭУ ТПИ является открытие адиабатического парообразования как объективно существующего процесса природы, познание свойств и закономерностей которого имеет большое значение для практики.

В природе имеется значительное количество мест, где наглядно протекает адиабатическое парообразование и, почти повсеместно, где имеется возможность получения этого процесса. Вопрос идет о тех огромных запасах нагретых подземных вод в природе, которые уже разведаны, и тех, которые ждут своего открытия. В Сибири открыты океаны таких высокосжатых нагретых подземных вод. Вот те естественные резервуары, «водогрейные котлы» — источники адиабатического парообразования в природе.

В местах естественного прорыва толщи земли адиабатическое парообразование наглядно протекает в виде гейзеров — истечения подземной нагретой воды с образованием пара, кинетической энергии и дисперсированного потока. Миллионы лет протекает этот процесс в природе и только в настоящее время он открыт как адиабатическое парообразование, исследованы его особенности и свойства, изучены его закономерности и намечены пути широкого использования адиабатического парообразования в энергетике и других отраслях техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. С. В. Положий. Паросиловые установки с адиабатическим парообразованием. Изв. вузов СССР — Энергетика, № 1, 1965.
2. С. В. Положий. Применение нового способа парообразования в паросиловых установках. Удостоверение о регистрации № 19405, 1960, Аннотации научно-исследовательских работ ТПИ, вып. 3, Томск, 1967.
3. С. В. Положий. Испарители-генераторы паросиловых установок с адиабатическим парообразованием. Тезисы докладов Второй научной сессии вузов Зап. Сибири, Омск, Изв. ТПИ, том 150, 1965.
4. С. В. Положий. Повышение эффективности промышленных ТЭС посредством применения адиабатического парообразования, Изв. ТПИ, том 150, 1967.
5. С. В. Положий. Сибири — дешевые и экономичные электростанции. Томск, Красное Знамя, № 134, 1964.
6. С. В. Положий. Теоретическое и экспериментальное обоснование применения адиабатического парообразования в теплоэнергетике. Тезисы докладов Первой сессии вузов Зап. Сибири, выпуск, 2, Томск, 1963.
7. С. В. Положий. Циклы паросиловых установок с адиабатическим парообразованием. Тезисы докладов Всесоюзной конференции, Теплофизические свойства, новые схемы и циклы ТЭУ, Одесса, 1964.
8. С. В. Положий. Экспериментальное исследование энергии адиабатического парообразования под вакуумом. Удостоверение о регистрации № 29529, 1962. Аннотации научно-исследовательских работ ТПИ, вып. 3, Томск, 1965.
9. С. В. Положий. О процессе парообразования при истечении нагретой воды. Изв. вузов СССР — Энергетика, № 2, 1960.
10. С. В. Положий. К вопросу расчета параметров потока при адиабатическом парообразовании. Изв. ТПИ, том 125, 1964.
11. С. В. Положий. К вопросу влияния влажности пара на к.п.д. турбинной ступени. Изв. вузов СССР — Энергетика, № 2, 1962.
12. С. В. Положий. Еще раз к вопросу о влиянии влажности пара на к.п.д. турбинной ступени, Изв. вузов СССР — Энергетика, № 3, 1963.
13. С. В. Положий. К вопросу о кинетике процесса конденсации пара в турбинной ступени. Изв. вузов СССР — Энергетика, том 137, 1965.
14. С. В. Положий. Экспериментальное исследование адиабатического парообразования при течении в насадках. Изв. вузов СССР — Энергетика, № 9, 1963.
15. О. Френцль. Strömung Verdampfen den Wassers in Düsen. «Maschinenbau und Wärmewirtschaft», № 2, 1956.
16. А. В. Зысин. Комбинированные парогазовые установки. ГЭИ, 1962.
17. Ракету движет... кипяток. За рубежом, № 17, 23—29 апреля, 1965.
18. С. Л. Зильберштейн. Зарубежные турбогенераторы большой мощности (500 мвт и выше) и тенденции развития паротурбостроения за рубежом. Энергомашиностроение, № 8, 9, 1964.
19. А. Э. Гельтман, А. Б. Поляк. Опыт эксплуатации блоков со сверхвысокими параметрами пара за рубежом. Энергомашиностроение, № 10, 1964.
20. П. Д. Лебедев, М. И. Верба, Б. И. Леончик. Некоторые закономерности распыливания перегретой жидкости. Изв. вузов СССР — Энергетика, № 10, 1959.
21. К. В. Олесевич. Определение траекторий частиц золы в межлопаточном канале газовых турбин. Научные записки ОПИ, том 44, 1962. Износ элементов газовых турбин при работе на твердом топливе. Машгиз, 1959.
22. Э. А. Марчик. Движение конденсированной фазы в межлопаточных каналах ступени осевой газовой турбины. Теплоэнергетика, № 10, 1965.
23. И. И. Кириллов, Х. Х. Циглер. Течение влажного пара в стационарных турбинных решетках. ЛПИ, 1965.