

Методологические проблемы развития техники

ФОРМИРОВАНИЕ ТЕОРИИ ПАРОВОЙ МАШИНЫ

В. Л. ГВОЗДЕЦКИЙ

В анналах историко-технических изысканий не много можно встретить объектов, которые исследовались бы столь всесторонне и длительно, как паровая машина. Причины тому довольно веские. Исторически так сложилось, что с самого начала своего развития паровая машина перешагнула границы непосредственных производственно-технологических функций. Она стала не только феноменом науки и техники, но и вторглась в пределы политики, экономики, культуры, философии. Широта ареала паровой машины предопределила длительность и разноплановость ее изучения. Одно из главных мест здесь, бесспорно, занимают работы по историко-энергетической проблематике, исследующие развитие собственно самих технических средств¹.

Вопросы формирования теории паровой машины изучались намного меньше. Это объясняется в значительной мере тем, что систематическое исследование технических наук, а теория паровой машины является их классическим воплощением, началось лишь в конце 60-х годов нашего столетия. Исследовательская проблематика в данной области далеко не исчерпана. Актуальность работ по вопросам становления теории паровой машины весьма велика. Особенно это относится к работам, в которых проблема исследуется, во-первых, не частично, а полностью и, во-вторых, не на хроникально-летописном, а на теоретическом уровне с раскрытием комплекса причинно-следственных связей, т. е. делается попытка создания методологизированной истории предмета, некоторой целостной модели его развития. Именно такая задача решается в данной работе.

Исторически генезис теории паровой машины связан, с одной стороны, с рядом естественнонаучных знаний и открытий с последующим их практическим воплощением, а с другой — с бурным развитием теплосиловых установок в период становления и упрочения машинно-фабричного производства. Зародившись на стыке паросиловой техники и фундаментальных познаний в области тепла и физических свойств пара, рассматриваемая научная сфера с первых же своих шагов обрела в определенном смысле статус связующего звена. Это положение, сохранявшееся и во все последующие периоды, полностью согласуется с общепринятой концепцией возникновения и развития технических наук в точке смыкания естественнонаучной теории и практики [1—3]. Констатация промежуточного положения теории паровой машины предполагает в методологическом плане ее обязательный анализ в единстве с проблемами развития как соответствующего естественнонаучного ареала, так и сопредельной производственной техники. Рассмотрение вопроса уместно начать с рубежа XVII и XVIII вв. — начала становления паросиловой техники.

¹ Конфедератов И. Я. Джемс Уатт. М.: Наука, 1969; Watkins G. and Buchanan R. A. Man and the steam engine. L.: Priory press, 1975; Von Tunzelmann G. Steam power and British industrialization to 1860. Oxford: Clarendon press, 1978; Lane, Peter. The industrial revolution. The birth of the modern age. L.: Weidenfeld — Nicolson, 1978.

1. Эпоха рецептурно-эмпирической практики

Возникновение потребности в теплоэнергетике относится ко времени становления и развития горнорудного производства. Именно в этой сфере наиболее остро проявилась ограниченность гидроэнергетики, ее локальный характер. Пути реализации потребности в новом виде энергии базировались на открытии и изучении в XVII в. атмосферного давления, способности жидкостей и газов расширяться при нагревании, возможности подъема воды давлением пара. Кроме того, в процессе многовековой строительной практики был накоплен значительный опыт конструирования различных механизмов, т. е. сформировалось эмпирическое техническое знание. Слияние воедино всех трех факторов и положило начало развитию теплоэнергетики.

Первый тепловой двигатель, получивший практическое применение, создал в 1698 г. англичанин Т. Севери. Его идеи в дальнейшем были развиты в машине Д. Папена. Значительным шагом в развитии парового двигателя стало сооружение водо-подъемной установки Ньюкомена — Коули, на которой впервые двигатель был отделен от насоса. Конструирование первых тепловых машин носило сугубо эмпирический характер, что находилось в соответствии с многовековой традицией сооружения различных механизмов на базе лишь практического опыта.

Однако уже на первых этапах развития тепловых установок их создатели используют отдельные эмпирически полученные расчетные зависимости. Так, по данным Папена, двигатель с ходом поршня равным 1200 мм и диаметром 610 мм мог поднять в минуту 3600 кг на высоту 1,2 м [4, с. 24]. Ньюкомен для вычисления давления воздуха на поршень разработал следующее правило: диаметр поршня надо возвести в квадрат, перед первой цифрой с конца полученного числа поставить запятую и справа приписать ноль. Тогда цифры до запятой дают давление в центнерах, а после запятой — добавку в английских фунтах [4, с. 32].

Говоря о последующем развитии расчетных приемов конструирования паровых машин, необходимо назвать имя английского изобретателя Дж. Смитона. Им впервые создание и изучение тепловых двигателей было поставлено в определенной степени на научную основу. Несоответствие размеров цилиндров и поршней в машинах, диспропорции между необходимым для нормальной работы двигателей количеством пара и тем, сколько его производили котлы, подвели английского изобретателя к мысли о проведении серии испытаний и выработке на их основе нормативных рекомендаций по конструированию и сооружению установок. В результате в 1772 г. Смитон составил матричную таблицу для машин мощностью 1,2—78 л. с. при диаметрах цилиндра 10—72 дюйма (т. е. 254—1824 мм). В соответствии с этой таблицей устанавливались количественные связи между мощностью, конструктивными размерами, полезной работой и расходом топлива [4, с. 37].

Зарождение расчетных приемов конструирования тепловых установок связано и с именем русского изобретателя И. И. Ползунова. В его докладной записке о проекте огнедействующей машины есть два раздела — «О вычитании силы» и «О сложении машины». В первом разделе в зависимости от усилий, действующих на поршни и необходимых на рукоятках мехов, определяются основные габаритные размеры. Во втором разделе было рассчитано количество металла, нужное для постройки машины. По словам И. Я. Конфедератова, биографа Ползунова, «расчет проведен методом, ничем не отличающимся от современного. Был подсчитан объем металла по размерам деталей... затем по удельному весу металла найдено его весовое количество. Подсчеты Ползунова сопровождаются технико-экономическими обоснованиями, показывающими... глубокое знание технологических и эксплуатационных факторов производства» [5, с. 129—130].

Огромный вклад в развитие теории паровой машины внес английский инженер и исследователь Дж. Уатт. Начав с работы по ремонту модели паровой машины Ньюкомена — Коули в университете в Глазго, ученый увенчал свой творческий путь созданием универсального теплового двигателя. Им были впервые разработаны и реализованы на практике такие важнейшие конструктивные и технологические решения, как отделение конденсатора от цилиндра двигателя, более раннее прекращение впуска пара в цилиндр и расширение пара на значительной части хода поршня, введение попеременной подачи пара с помощью золотника в различные полости цилиндра, приме-

нение махового колеса, центробежного регулятора скорости и так называемого «параллелограмма Уатта» для передачи движения от поршня к балансиру. Все эти нововведения были предопределены необходимостью совершенствования теплового двигателя и в первую очередь повышения его экономичности. Проблема улучшения эффективности паровой машины была успешно решена ученым. Как замечает И. Я. Конфедератов, «Уатт сделал главное дело своей жизни: снизил расход топлива в паровой машине в 2,7 раза» [6, с. 124]².

Что же конкретного внес Уатт в становление теории паровой машины? Уаттом выполнено немалое количество чертежей, которые являются проектно-конструктивными проработками как двигателей в целом, так и их отдельных узлов и деталей. В заявке на применение расширения пара в цилиндре паровой машины английским изобретателем впервые графически представлен запатентованный им процесс в виде диаграммы давления, изменяющегося по ходу поршня [6, с. 148]. Таким образом, Уаттом были заложены основы графического изображения функционирования тепловых двигателей и параметрического анализа изменения состояния рабочего тела.

Здесь же необходимо сказать и об изобретении Уаттом индикатора. Прибор был чрезвычайно прост и несовершенен и имел лишь отдаленное сходство с моделями более поздних образцов. Тем не менее Уатту принадлежит авторство идеи съема индикаторных диаграмм и первых опытов ее реализации. С помощью перемещающегося листа бумаги в зависимости от положения поршня и карандаша, вычерчивающего кривую давления, был найден простой и надежный метод оценки эффективности паровых машин (а позже и двигателей внутреннего сгорания), который со временем стал неотъемлемым и обязательным атрибутом как теоретического курса тепловых установок, так и практических приемов их контроля и анализа.

С одной стороны, изобретение Уаттом универсального двигателя, а с другой — огромный рост эффективности паровых установок и, как следствие этого, мощное снижение удельных расходов топлива предопределили чрезвычайно быстрое распространение паровых машин. Если до 1769 г. их было произведено всего 140, то к 1785 г. количество выпущенных двигателей удваивается [4, с. 66]. В дальнейшем темпы еще более возрастают. Это предопределило решение комплекса проблем, связанных с унификацией и стандартизацией размеров и конструкций агрегатов, выработкой норм их производства и организацией специализированной машиностроительной индустрии. В решении всех этих вопросов большую помощь Уатту оказал его компаньон — заводчик Болтон, имевший немалый инженерный опыт и коммерческие способности.

Для перехода от единичных разработок к поточно-массовому конструированию Уатт выработал целую систему формул. Не имея еще математической символики, они являли собой лишь словесное описание. Например, для определения необходимого расхода воды в котле предписывалось «умножить квадрат диаметра цилиндра на путь, проходимый поршнем в минуту в футах, и разделить полученное произведение на 288 000; частное дает количество воды, испаряемое в минуту в кубических футах» [4, с. 70]. Другой пример. Необходимое количество угля определялось по следующему правилу: «Расход угля на 1800 ходов машины равен произведению объема цилиндра в кубических футах на давление на поршень в фунтах на квадратный дюйм» [4, с. 70].

Эти и другие словесные формулы являли собой рецептурную систему норм и правил, хотя и правомерных лишь для машин Уатта, тем не менее позволявших в пределах данного конструктивного ареала систематизировать и унифицировать разработку и производство двигателей в соответствии с их геометрическими размерами и параметрами. Уатт составил рекомендательные таблицы основных групп заводских машин.

² Исследование Конфедератова, занимающее одно из видных мест в ряду трудов, посвященных жизни и деятельности замечательного английского инженера и исследователя, несомненно, является наиболее всесторонним и глубоким среди работ об Уатте, принадлежащих перу русских и советских ученых. Из зарубежных исследований необходимо выделить в первую очередь следующие: *Dickinson H. W., Jenkins Rhys. James Watt and the steam engine. Oxford, 1927; Dickinson H. W. James Watt craftsman and engineer Cambridge, 1935; Dickinson H. W., Vowles H. P. James Watt and the industrial revolution. London, 1945; Dale A. James Watt. Oxford, 1956.*

Для каждой группы были определены оптимальные величины мощности, диаметра цилиндра, хода и скорости поршня, числа оборотов, размеры махового колеса и насоса. Таким образом, мы можем говорить о разработке Уаттом вопросов выявления структурно-морфологических и функционально-технических характеристик машин. Причем те и другие находились в определенной зависимости друг от друга, были между собой соответствующим образом соотнесены и взаимосвязаны.

Много сил и времени уделял Уатт проблемам организации производства. Им были составлены инструкции по уходу за машиной с непрерывным вращательным движением, по сборке двигателей с подробным описанием последовательности установки каждой отдельной части, разработаны правила монтажа и эксплуатации паровых агрегатов.

В связи с развитием конструирования паровых машин и выходом их производства на серийно-промышленный уровень важнейшим стал вопрос о параметрической оценке двигателей, выработке единиц измерения, позволяющих определять количественную сторону тех или иных свойств и характеристик агрегатов. Одной из актуальнейших проблем была оценка мощности машин. И здесь Уатту принадлежит роль первопроходца. Естественно, что за единицу измерения необходимо было принять такую, которая допускала бы сравнение с наиболее широко применявшимися до тех пор двигателями. Мысль Уатта остановилась на конном приводе. Проводя опыты с рабочей лошади, ученый принял за единичную мощность 33 000 фунто-футов в минуту, что составляет в метрических мерах чуть более 75 кгм/с, и назвал ее лошадиной силой («Horse Power» — HP). Предложение ученого вскоре получило всеобщее признание: во Франции новая единица мощности стала обозначаться CV («Cheval a vapeur»), Германии — PS («Pferdestörke»), России — л. с. («лошадиная сила») [4, с. 71].

Характерной чертой творчества Уатта является его экспериментальная деятельность. Главной побудительной силой была низкая эффективность машин и как следствие этого большие расходы топлива. В целях совершенствования рабочих процессов тепловых двигателей ученый обратился к исследованию свойств водяного пара. Уатт экспериментально установил отношение величины удельного объема насыщенного пара при давлении 1 атм к удельному объему воды и получил при этом число 1800. Цифра сравнительно мало отличается от современных теплотехнических данных.

Уатт провел серию опытов по изучению теплоты парообразования, которые позволили с большой точностью определить значение исследуемой величины. При давлении в 1 атм теплота парообразования равнялась 549 ккал/кг.

Третье направление исследований Уатта состояло в определении взаимосвязи между давлением и температурой водяного пара. На основании эмпирических данных ученый построил кривые зависимости между параметрами пара. Интересно отметить, что результаты аналогичных опытов, проведенных в середине XIX в. А. Реньо, мало отличаются от данных Уатта, а в диапазоне 0,6—1,0 ата они полностью совпадают.

По целевым установкам изыскания Уатта носили производственно-прикладной характер. Исследования имели не научно-познавательную, а строго утилитарную направленность, вытекавшую из необходимости решения ряда практических вопросов. На основании результатов проведенных опытов были получены графические зависимости и выведены первые эмпирические формулы — рецепты, что содействовало становлению теории паровой машины.

Одновременно полученный фактический материал составил определенную основу для формирования естественнонаучного теоретического знания. Здесь необходимо отметить, что на первых этапах развития теории паровой машины переток знаний, научных импульсов шел от практики, а не к ней. Естественное отставало. Причем это касается как фактического материала, что уже отмечалось, так и концептуальных построений, гипотез, теорий. Большое значение для оживления естественнонаучной мысли имели изобретения Уатта.

«Основное теоретическое решение Уатта,— говорится в одной из биографий ученого,— завершение и теоретического, и реального цикла парового двигателя путем введения в паросиловую установку конденсатора... исходило из правильного понимания процесса парообразования и конденсации, как смены состояний одного и того же рабочего тела, переводимого по желанию конструктора из жидкого состояния в газообразное, а из газообразного в жидкое» [6, с. 71]. Другими словами, Уатт, введя

конденсатор, языком практики сформулировал важнейшее положение термодинамики о возникновении движущей силы повсюду, где имеется разность температур³.

Таким образом, с помощью практики было сказано то, что еще только предстояло изложить С. Карно в его знаменитом мемуаре. А пока что термодинамические положения не были осознаны и сформулированы. Функционирование паровых машин не рассматривалось как форма реализации естественнонаучных процессов природы и законов их протекания. Отсутствие термодинамической теории исключало возможность принципиально научного обоснования работы любой теплосиловой установки. Поэтому не было и не могло быть не только целостной теплотехнической теории, но и сформировавшейся науки о паровой машине.

При этом, однако, создателями первых паровых двигателей и особенно Уаттом были заложены отдельные большие массивы в основание будущей теории. Была создана рецептурная система конструирования, разработаны методы графической интерпретации и фиксации рабочих процессов, введены в практику единицы измерений важнейших параметров тепловых двигателей, проведены обширные эмпирические исследования свойств водяного пара.

Изыскания в области свойств пара, продиктованные производственными потребностями, впоследствии получили дальнейшее развитие. В изучение вопроса включалось все больше исследователей, в том числе и физиков (Дж. Дальтон, Ж. Гей-Люссак, П. Дюлонг, Ф. Араго и др.), которые рассматривали широкий круг вопросов, важнейшими из которых были связь между давлением и температурой, связь между удельным объемом и давлением, количество тепла, необходимое для нагревания жидкости и обращения ее в пар, закон изменения давления пара при увеличении объема.

На основании изысканий были составлены таблицы и построены графики, выведены формулы, что отличает данный период от времени Уатта. Все формулы отличались большой сложностью и плохо согласовывались с теплотехнической практикой. В результате они не получили широкого применения. Исключение составляет предложенная Т. Тредгольдом параметрическая зависимость между температурой и давлением. Формула Тредгольда $f = \frac{(t + 73)^6}{84}$, где f — давление в сантиметрах ртутного столба, а t — температура в градусах Цельсия, широко использовалась в начале XIX в. в теплотехнике, пока ей на смену не пришли более строгие зависимости.

Дальнейшее развитие получают вопросы нахождения функционально-технических и структурно-морфологических характеристик двигателей; совершенствуются методы определения размеров паровых машин, их работы, мощности и необходимого расхода топлива. Так, для нахождения мощности наиболее широко применялось следующее правило: умножить разность $6/10$ избыточного давления в котле над атмосферным и $0,4$ атмосферного давления на квадрат диаметра цилиндра (оба давления выражены в $\text{кг}/\text{см}^2$) и на скорость поршня в метрах в минуту. Произведение дает среднюю (эффективную) работу паровой машины в килограммо-метрах в минуту; для получения мощности паровой машины в лошадиных силах нужно разделить это произведение на число 4500 [4, с. 142]. Постепенно начинается переход от описательных рецептов к формализованной символике процедуры расчета определяемых величин, зарождаются основы математизации науки о паровой машине.

Разрабатывавшиеся формулы не являлись совершенными и универсальными. Каждая из них использовалась лишь в ареалах определенной группы теплосиловых установок. Так, для нахождения мощности стационарных паровых машин применялась следующая зависимость:

$$N = \frac{\sqrt[3]{\text{ход поршня (в футах)} \times \text{диаметр}^2 \text{ (в дюймах)}}}{47} \text{ л. с. [4, с. 143].}$$

³ Мысль о том, что Уатт впервые материализовал и воплотил на производстве основополагающую концепцию термодинамики, развита в ряде работ по истории науки. Так, Б. И. Иванов и В. В. Чешев отмечают, что «использование конденсатора (речь идет об установке Уатта — В. Г.) расчленило машину на ... нагреватель, рабочее пространство и холодильник. При этом ясно обнаружились основные факторы перехода тепловой энергии в механическую. Термодинамический процесс получил ... наглядное воплощение. Практика подошла к тому, что ... черты термодинамического процесса четко обозначились в действии паровой машины Уатта. Так через практику выделения объект научного исследования» [1, с. 102].

Для пароводных же двигателей использовалось иное выражение:

$$N = \frac{D^2}{27,28} \text{ л. с. } (D — \text{в дюймах}).$$

Эти и другие первые математические описания являли собой как бы отдельные островки зарождавшейся теории. Усилиями многих исследователей они постепенно объединяются и систематизируются. Здесь необходимо назвать Тредгольда и особенно Ж. Понселе, который с помощью введения уточняющих, поправочных коэффициентов решает проблему унификации формул с тем, чтобы их уже можно было использовать для различных категорий машин. Одновременно начинают разрабатываться вопросы динамики и прочности паровых машин.

Таким образом, в первые десятилетия XIX в. успешно развиваются отдельные направления теории паровых машин. Общей, объединяющей все эти ветви характеристикой являлась по-прежнему их полная производственно-эмпирическая детерминация. Это в свою очередь предопределяло, во-первых, их фрагментарность, а во-вторых, сугубо утилитарно-прикладное значение. Принципиальное изменение в теории паровой машины связано с именем французского инженера и исследователя С. Карно.

II. Идея термодинамических циклов — основа теории тепловых двигателей

Изыскания Карно первоначально были предопределены неудовлетворительными производственными характеристиками паровых машин и вытекавшей отсюда необходимостью снижения удельных расходов топлива и повышения КПД тепловых установок. В его знаменитой работе «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» [7] содержится обширный фактический материал о паровых двигателях, приводятся данные о потреблении топлива тепловыми установками, доказываются выгоды применения высоких давлений и расширения пара, эффективность использования машин многократного расширения. Однако отнюдь не в этом заключается главная ценность мемуара Карно.

В процессе экспериментальных исследований работы паровых машин и анализа их эффективности перед Карно встал вопрос о природе получения в паровой машине механической энергии, о естественнонаучной первооснове, физическом принципе действия теплового двигателя вообще. Исключительно важной представляется методологическая сторона решения поставленной исследователем проблемы. От анализа работы отдельных конкретных паровых машин Карно перешел к рассмотрению некоторой абстрактной теоретической модели, синтезирующей в себе все многообразие тепловых двигателей и их рабочих тел. «Чтобы рассмотреть,— писал Карно,— принцип получения движения из тепла во всей его полноте, надо его изучить независимо от какого-либо механизма, какого-либо определенного агента; надо провести рассуждения, приложимые не только к паровым машинам, но и ко всем мыслимым тепловым машинам, каково бы ни было вещество, пущенное в дело, и каким бы образом на него ни производилось воздействие» [7, с. 19]. Переход с конкретно-эмпирического уровня на уровень теоретических абстракций содействовал получению Карно ряда выводов, максимально широких и в научно-познавательном, и в утилитарно-прикладном планах.

В своей работе французский исследователь впервые сформулировал основополагающие принципы как общей теории тепловых двигателей, так и термодинамических законов в целом. Приведем несколько его высказываний. «Возникновение движущей силы,— отмечает Карно,— обязано в паровых машинах не действительной трате теплорода, а его переходу от горячего тела к холодному» [7, с. 20]. Чуть далее ученый замечает, что «...недостаточно создать теплоту, чтобы вызвать появление движущей силы: нужно еще добавить холод; без него теплота стала бы бесполезна» [7, с. 20]. И наконец, Карно декларирует: «Повсюду, где имеется разность температур, может происходить возникновение движущей силы» [7, с. 22]. Так был впервые сформулирован второй закон термодинамики. Помимо этого, Карно впервые вводит в научный оборот понятие кругового процесса, условий его обратимости, представление об идеальном цикле тепловых двигателей.

Концептуальные построения Карно получили дальнейшее развитие в работах Р. Клаузиуса, У. Томсона и других. Идея французского изобретателя, носившие в целом лаконично-тезисный характер, были детализированы, уточнены и частично исправлены. Так, понятие о двух источниках температур как необходимом условии получения работы было расширено и конкретизировано Клаузиусом за счет развития принципа перехода в работу части тепла, определяемой разницей температурно-тепловых уровней. Количество тепла на верхнем уровне больше количества тепла на нижнем уровне на величину полученной внешней работы. Другими словами, теплота Q_1 , заимствованная от источника высшей температуры, частично перейдет к источнику тепла низшей температуры Q_2 , а частично обратится в работу Q , т. е. $Q_1 = Q_2 + Q$ [8, с. 129]. Данный основополагающий постулат термодинамики опровергал как теорию теплорода, которой придерживался Карно, так и его ошибочную точку зрения, согласно которой совершение работы посредством тепла связано только с понижением температуры рабочего тела, но отнюдь не с трансформацией в работу некоторого количества теплоты.

Введенное впервые Карно понятие кругового процесса в дальнейшем углублялось и совершенствовалось. В отличие от французского исследователя, давшего лишь текстовое описание цикла, Б. Клапейрон применил его графическое изображение. Дальнейшее изучение кругового процесса, его теоретическое осмысление, графическая интерпретация и математическое описание содержатся в знаменитой работе Р. Клаузиуса «Механическая теория тепла» [8, с. 128—155]. В контексте рассматриваемого вопроса необходимо указать и на введение впервые Клаузиусом в научный оборот термина «энтропия» (от греческого слова *τεοτη* — превращение) — понятия, ставшего в дальнейшем краеугольной составляющей теплотехнических наук.

Большое значение для формирования теории паровой машины имеют вопросы связи между механическими и тепловыми явлениями, их соотносительности и взаимопревращения, а также попытки определения величины механического эквивалента тепла. Это поисковое направление, в разработку которого заметный вклад внес Карно, опирается на сложившуюся научно-производственную традицию исследований связи между затраченной теплотой и получаемой работой в паровой машине. Данный вопрос явился важнейшим фактором в деле открытия Ю. Р. Майером, Дж. Джоулем и Г. Гельмгольцем закона сохранения и превращения энергии и эмпирического нахождения окончательной величины механического эквивалента тепла, равного 427 кгм.

И, наконец, необходимо указать на исследования Карно в области свойств газов и водяных паров. Им рассмотрены функциональные зависимости между теплоемкостью, удельным объемом, температурой, давлением и другими параметрами для различных физических тел и процессов изменения их состояния в значительных интервалах исследуемых величин. В этом вопросе Карно был одновременно и продолжателем работ, характеризующих собой целое научное направление, и предшественником плеяды исследователей, среди которых наиболее заметное место занимает французский ученый Ренью. Ренью провел обширнейший цикл экспериментальных изысканий, результаты которых были опубликованы в трех больших томах Парижской Академии наук. Главное внимание Ренью сосредоточил на изучении свойств воды и водяного пара. Он исследовал плотность жидкости при разных температурах, давление и плотность насыщенного пара, теплоту жидкости, скрытую и полную теплоту испарения, а также свойства перегретого пара.

Большой фактический материал, представленный Ренью, а также подробное описание им экспериментальной процедуры явилось мощным импульсом для дальнейшего расширения работ в данном направлении. В трудах Г. Гирна, Р. Клаузиуса, У. Ренкина и У. Томсона поставлены и рассмотрены вопросы паросодержания, связи между изменением объема при парообразовании с величиной скрытой теплоты и другие. Большой вклад в разработку вопроса внес немецкий ученый Г. Цейнер. Он дал систематическое изложение всей теории паров, составил таблицы их свойств, оснастил тексты своих работ обширным графическим и математическим аппаратом [9].

Массив исследований, начавшийся изысканиями Карно, являет собой монолитный конгломерат теоретических и эмпирических изысканий. Здесь довольно трудно локализовать и четко разграничить естественнонаучную и собственно теплотехническую сферы. Открытие закона сохранения и превращения энергии, определение величины меха-

нического эквивалента тепла, изыскания в области природы пара и разработка его теории — все это, несомненно, важнейшие составляющие естественнонаучного ареала. Но вместе с тем эти естественнонаучные направления частично или полностью были детерминированы потребностями теплотехнической практики; в определенной мере их развитие носило опытно-прикладной характер. Целевые исследовательские установки не имели строгой научно-познавательной направленности и вытекали в большинстве своем из проблем производства, достоянием которого и становились результаты изысканий.

Для рассматриваемого нами развития теории паровой машины сущность изысканий Карно заключается в следующем. Они раскрыли естественнонаучный смысл процессов, протекающих в теплотехнических установках. Эпоха опытно-рецептурной практики создания паровых двигателей и вытекавшей отсюда локальности и многочисленности конструктивных предписаний логически подходила к концу. Изыскания Карно открывали принципиальную возможность разработки как универсальной теории паровой машины, пригодной для любого типа установок, так и теории всякого иного теплотехнического устройства, пока еще не созданного. И в этом плане мы можем говорить об опережении теорией практики.

В результате развития представлений о термодинамических циклах наука о паровой машине переходит с опытно-практического уровня на абстрактно-теоретический, позволяющий описывать любой теплосиловой объект. Графическое изображение циклов представляет собой схематизацию рабочего процесса, протекающего в паровой машине. Формализованное перенесение теплофизической реальности на бумагу открывало принципиальную возможность для широких изысканий в области строения и функционирования паросиловых установок и обеспечения расчетно-проектировочной деятельности по конструированию тепловых двигателей с заданными техническими параметрами. Но для этого необходимо было разработать целостную теорию паровых машин, основу и костяк которой являли уже проведенные изыскания в области тепловых циклов. Предпосылками для создания такой теории служили, во-первых, работы по данному вопросу многочисленных исследователей и в первую очередь Уатта и Карно; во-вторых, естественнонаучные достижения в сопредельных областях и, в-третьих, потребности интенсивно развивавшегося теплосилового производства.

III. Создание инженерно-расчетной теории паровой машины

Широко известно утверждение Энгельса о том, «что паровая машина была первым действительно интернациональным изобретением»⁴. Высказанное можно с полным основанием экстраполировать и на теорию паровой машины. Отмечая ее коллективное авторство, необходимо при этом персонально назвать Клаузиуса, Цейнера и особо Ренкина.

Касаясь вклада Ренкина в разработку исследуемого вопроса, уместно выделить два уровня. В метанаучном плане на примере деятельности Ренкина можно говорить о механизме создания технической теории на базе сопредельной физической теории и производственно-опытного знания. Техническая теория в отличие от физической менее абстрактна, она имеет дело не с природой, а с миром инженерии, главной задачей которого является описание и создание искусственных устройств [10, 11, 12, 13]. Одним из условий формирования технической теории на основе синтеза эмпирического знания и физической теории (что имеет место в случае паровой машины), взаимного обмена информацией между сообществами ученых и инженеров является наличие посредников, т. е. «ученых-инженеров» и «инженеров-ученых», принадлежащих одновременно к обоим сообществам. Усилиями таких исследователей формируются основные звенья технической теории. Универсальным исследователем, соединяющим в своем творчестве научную и практическую сферы, был, в частности, и Ренкин [14]⁵.

Главным вкладом Ренкина в саму теплотехническую область является создание основного корпуса теории парового двигателя [15]. Он соединил в единое целое: ли-

⁴ Маркс К., Энгельс Ф. // Соч. 2-е изд. Т. 20. С. 431.

⁵ Принадлежность одновременно к естественнонаучной и производственной областям характерна для Уатта, Карно и других «инженеров-ученых», стоявших у истоков теории паровой машины.

нию опытного конструирования установок, базирующуюся на эмпирически полученных Уаттом, Тредгольдом, Понселе и др. зависимостях между функционально-техническими и структурно-морфологическими характеристиками; теоретические разработки в области тепловых циклов, восходящие к исследованиям Карно естественнонаучных процессов, протекающих в двигателях; и, наконец, обширный комплекс знаний о свойствах воды и водяного пара.

При разработке теории Ренкин исходил из концепции идеального процесса в паровом двигателе. В основе представления о «цикле Ренкина» лежат следующие предположения. Для машин, работающих насыщенным паром: 1) давление пара во время впуска остается постоянным; 2) в цилиндрах без паровой рубашки расширение пара происходит по адиабате; 3) в цилиндрах с паровой рубашкой количество передаваемого из нее тепла к расширяющемуся пару таково, что пар остается сухим и насыщенным, а давление пара во время впуска остается постоянным и равным давлению конца расширения; 4) объемом воды можно пренебречь по сравнению с объемом пара [4, с. 198].

Значению разработки Ренкиным вопроса о теоретически совершенном тепловом двигателе дал исчерпывающую характеристику выдающийся русский ученый-теплотехник В. И. Гриневецкий. «Рассматривая,—отмечал он,—работу паровой машины в совершенно отвлеченных условиях, он (т. е. Ренкин.—В. Г.) дал выражение для термического коэффициента машины, работающей без потерь и осуществляющей идеальный процесс... Этот процесс, под именем процесса Ренкина, принимается теперь за идеал, за мерило совершенства действительного рабочего процесса машины. Указание это очень важно: только с помощью ясной и определенной мерки, какую теория паровых машин имеет в процессе Ренкина, можно точно судить о качестве работы с термической стороны действительной паровой машины, о недочетах в ее работе и их раз- мерах» [16, с. 47].

В плане проектно-инженерных задач Ренкин на основании уравнения теплового баланса дал расчетные зависимости между параметрами пара и его расходом — с одной стороны, и мощностью тепловой установки и ее основными конструктивными размерами — с другой. Однако использование расчетного аппарата Ренкина при проектировании и создании реальных установок давало неудовлетворительные результаты. Удельные расходы топлива в процессе эксплуатации двигателей намного превышали расчетные. Это объясняется тем, что на показателях эффективности реальных установок сказывался комплекс факторов, элиминированных Ренкиным при разработке теории идеальных паровых двигателей. Важнейшими из этих факторов были: наличие вредного пространства; неизбежные потери давления в паропроводах, паровых каналах и органах парораспределения; наличие теплообмена между паром и стенками машины и стенками и воздухом, а также наличие утечек пара; неполнота расширения пара; сжатие части отработавшего пара в цилиндре; предварение впуска свежего пара в цилиндр и выпуска отработавшего пара; неизбежные механические потери.

Потребности в уменьшении вредного влияния перечисленных факторов, повышении эффективности двигателей, устранении разрыва между эксплуатационными характеристиками установок и данными теории идеальных машин (по меткому замечанию В. И. Гриневецкого, «приближении действительности к идеалу») обусловили развитие нового этапа в становлении теории паровой машины. Он характеризуется развертыванием широкого фронта исследований тепловых двигателей. Как отмечает А. А. Радциг, это «...повело к созданию так называемой „практической“ или „экспериментальной“ теории паровой машины, которая выяснила важнейшие вопросы относительно экономии расхода пара в паровой машине и наметила ясные пути к ее усовершенствованию в отношении расхода пара» [4, с. 200].

Период формирования теории действительной паровой машины (так определил его В. И. Гриневецкий) приходится на время 60—80-х годов XIX в. и связан с именами целой плеяды ученых и инженеров-исследователей, среди которых наиболее выделяются Вилланс, Гирн, Донкин, Ишервуд, Кирш, Кларк, Нададь, Никольсон и Цейнер. В результате проведенных изысканий и практических рекомендаций паросиловая практика взяла курс на увеличение числа оборотов, ограничение расширения пара некоторым наивыгоднейшим пространством, уменьшение внутренних поверхно-

стей цилиндра и вредного пространства, использование паровой рубашки, введение перегрева пара и рост его начальных параметров.

Одновременно складывается корпус теории уже действительной паровой машины. Получает окончательное завершение разработка методов съема индикаторных диаграмм, их анализа и определения на основе понятия среднего индикаторного давления индикаторной мощности установки. Складывается система расчетов конструктивных размеров машин, где важную роль играют различные корректирующие коэффициенты, нормы, правила, полученные эмпирическим путем (поправка величины расхода свежего пара на его утечки и начальную конденсацию, степень сжатия, относительная величина вредного пространства, степень предварения впуска и выпуска и т. д.). С помощью выведенных эмпирически количественных зависимостей проектировалась индикаторная диаграмма, конфигурация которой в каждом конкретном случае определялась на основании накопленного практикой опыта.

Индикаторная диаграмма составляла основу конструктивного расчета. По площади, заключенной внутри ее контура, определялась работа, совершаемая в одной полости цилиндра машины паром, подведенным за один оборот (в случае идеального двигателя площадь индикаторной диаграммы, отнесенная к 1 кг поступившего в машину пара, равна площади PV -диаграммы цикла Ренкина)⁶. Для удобства вычислений площадь индикаторной диаграммы заменяли равноугловым, где основание — ход поршня, а высота — среднее индикаторное давление. На основании спроектированной индикаторной диаграммы определялись по заданной мощности основные размеры; в случае необходимости можно было решить и обратную задачу. Далее с помощью уравнений теплового баланса находились удельный и часовой расход пара. С введением понятий различных КПД (термического, электрического, относительного, внутреннего и т. д.), мощностей, энтропии, теплосодержания (позже энтальпии) приемы нахождения КПД паровых машин и удельных расходов пара в них принимают вид, который в дальнейшем уже не претерпевает коренных изменений.

В результате широкого проникновения математического аппарата и расчетных методов характернейшей чертой всех процедур конструирования становится абстрактно-формализованная символика. Вырабатывается механизм описания любой теплосилоустановки, свободный от индивидуальной заземленности, ориентации на конкретный объект. Тем самым создается широкая практическая возможность для инженерных изысканий в области строения и функционирования паровых двигателей и обеспечения расчетно-проектировочной деятельности по их конструированию. Важнейшим инженерно-проектировочным инструментом становятся термодинамические таблицы и диаграммы для водяного пара. Составленные впервые Цейнером, они в дальнейшем неоднократно уточнялись и совершенствовались.

Сформировавшаяся в основном во второй половине XIX в. теория паровой машины под влиянием запросов бурно развивавшегося теплотехнического производства в дальнейшем уточнялась и дополнялась. Завершение ее становления относится к концу XIX — началу XX вв. Формирование теории паровой машины — одна из ярчайших страниц в истории технических наук и с точки зрения фактографической экспозиции, и в плане теоретическо-методологической проблематики, создания концептуальных схем развития исследуемого предмета.

Литература

1. Иванов Б. И., Чешев В. В. Становление и развитие технических наук. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1977. 264 с.
2. Горохов В. Г. Особенности формирования технических наук // Вопр. истории естествознания и техники. 1984. № 1. С. 3—13.
3. Иванов Б. И., Волосевич О. М., Чешев В. В. Особенности возникновения и развития технических наук // Специфика технических наук. М.: ИИЕиТ АН СССР. 1974. С. 48—111.

⁶ При этом, однако, нельзя смешивать и отождествлять индикаторную диаграмму и PV -диаграмму цикла. В PV -диаграмме каждая точка характеризует состояние рабочего тела (воды, пара) в паросилоустановке, количество же рабочего вещества во всех точках и процессах, изображаемых в PV -диаграмме, неизменно (1 кг). В индикаторной диаграмме каждая точка дает лишь значение давления пара в цилиндре машины при данном положении поршня (или объеме, занимаемом паром) и относится к количеству пара в цилиндре, которое, вообще говоря, меняется от точки к точке [17, с. 260].

4. Радциг А. А. История теплотехники. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1936. 430 с.
5. Конфедератов И. Я. Иван Иванович Ползунов. М.; Л.: Госэнергоиздат. 1951. 296 с.
6. Конфедератов И. Я. Джеймс Уатт. М.: Наука, 1969. 224 с.
7. Карно С. Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу//Второе начало термодинамики. М.; Л.: ГНТИ. 1934. С. 15—70.
8. Клаузиус Р. Механическая теория тепла//Там же. С. 71—158.
9. Zeuner G. Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie. Lpz. 1866. 426 с.
10. Layton E. T. American ideologies of Science and Engineering//Technol. and Culture. 1976. V. 17. № 4. P. 682—698.
11. Bryant L. The Development of the Diesel Engine//Ibid. V. 17. № 3. P. 432—446.
12. Bryant L. The Role of Thermodynamics in the Evolution of Heat Engines//Technol. and Culture. 1973. V. 14. № 2. P. 152—165.
13. Cardwell D. S. L., Hills R. Thermodynamics and Practical Engineering in the Nineteenth Century//History Technol. 1976. V. 1. № 1. P. 1—20.
14. Chandnell D. F. The Harmony of Theory and Practice: The Engineering Science of W. G. M. Rankine//Technol. and Culture. 1982. V. 23. № 1.
15. Rankine W. Manual of the steam engine. L., 1897. 358 с.
16. Гринецкий В. И. Теория паровых машин. М., 1906. 130 с.
17. Общая теплотехника. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1948. 584 с.

ДОКУМЕНТЫ ОБЩЕСТВ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДОВ КАК ИСТОРИЧЕСКИЙ ИСТОЧНИК

Л. И. УВАРОВА

Источниковедческий анализ сохранившихся от прошлого реликтов проводится с той или иной степенью полноты при проведении любого исторического исследования. Известно, что ценность источника определяется прежде всего тем, в какой степени информация, заключенная в нем, отвечает задаче конкретного исследования. В этом смысле нам кажется правильным положение о том, что нет просто исторического источника, есть система источник — исследователь, определивший объект, предмет и цель своей исторической работы. Как справедливо отмечают исследователи вопросов исторического источника, выделение и соотнесение заключенной в источнике информации «возможны лишь тогда, когда социальный реликт вовлекается в сферу познавательной деятельности историка как объект его исследования и одновременно используется им в качестве источника знания и средства познания прошлого...» [1, с. 18].

Целевая заданность исторического источника, определяемая необходимостью отразить некий фрагмент реальности, детерминирует информацию. Но при этом сам исторический источник становится неотъемлемым компонентом этой реальности [2, с. 137]. Этот факт должен быть учтен при проведении исторических исследований. В многообразии связей явлений действительности заложена возможность преодоления избирательности отражения и возможность повышения информативности источников. Анализ взаимосвязей явлений объективного мира на основе непосредственно выраженной информации позволяет выявлять информацию скрытую [3, с. 70; 4, с. 76—77]. Скрытая информация, заключенная в любом документе, рассматриваемом в системе, не являющейся для него непосредственно целевой, объясняет те большие возможности, которые потенциально содержатся в различной документации.

Как известно, отбор документов на хранение в архивах представляет весьма сложную задачу, тесно связанную с задачей экспертизы их ценности. В процессе работы в государственных архивах выяснилось, что наибольшее внимание при отборе документов на хранение в области техники в прошлом было уделено документации, отражавшей конечный результат разработки конструкции технических средств в чертежах, т. е. на языке, наиболее емком и универсальном для техников. Это обстоятельство, вероятно, в определенной мере повлияло на развитие исторических исследований по технике и технической документации. Среди историко-технических работ наиболее представительными являются исследования развития конструкций различных классов машин, а среди работ по истории технической документации — исследования развития технического чертежа.

Однако необходимо признать, что как бы ни был важен конечный результат, он — лишь следствие определенных действий, методов, подходов, концепций, применение которых может привести не только к повторению этого результата, но и к выявлению чрезвычайно ценных, ранее не предвиденных качеств, характеристик объектов. Не будет преувеличением сказать, что методология той или иной деятельности составляет основу творчества и может служить многим поколениям исследователей и практиков.

При исследовании трудовых процессов в их историческом развитии ученые встречаются с большими трудностями при выявлении необходимой информации. Если перед исследователем стоит задача изучения деятельности в области техники, то непосредственно выраженной информации по этому вопросу часто получить невозможно. При проведении подобного рода исследований чрезвычайно важна информация, извлекаемая при анализе разных совокупностей документов, имеющих другое целевое назначение, но позволяющих получить необходимую информацию в результате сравнения, сопоставления и синтеза сведений, получаемых из источников разных систем.

Конкретно-прикладной источниковедческий анализ документов обществ машиностроительных заводов Московского промышленного района (начало XX в.) позволяет сделать выводы о большом их значении в качестве исторического источника. Мы рассмотрим эти документы с точки зрения возможности использования их для реконструкции процесса разработки технических средств в указанный период, а затем попытаемся сделать некоторые общие выводы об особенностях извлечения информации из источников, не имеющих прямого целевого совпадения с предметом того или иного исторического исследования.

* * *

Материальное производство, составляющее основу жизни любого общества, включает как один из главных своих компонентов создание всевозможных технических средств — станков, двигателей, агрегатов, приборов. Исходным пунктом сооружения любого технического объекта является разработка, т. е. деятельность, направленная на создание конструкции нового изделия, завершающаяся построением опытного образца или опытной партии.

По мере роста практических и научных знаний, развития материального производства, изменения производственных отношений разработка технических средств наполнялась новым содержанием, существенно расширялась, углублялась в отдельных своих составляющих. Изменение структуры разработки и характеристик ее элементов находит отражение в различных документах, совокупность которых позволяет судить о степени развитости этого вида деятельности общества, а опосредованно — о его материально-технической базе.

Документы фондов обществ машиностроительных заводов Московского промышленного района, хранящиеся в Центральном государственном историческом архиве г. Москвы, на примере разработки технических средств раскрывают ряд особенностей технического документирования и научно-технических документов в России начала XX в.

Появление новых моментов в разработке технических средств и ее организации определялось прежде всего социально-экономическими условиями развития страны в этот период. На рубеже двух столетий мировой капитализм, как показал В. И. Ленин, вступил в последнюю, империалистическую стадию, одной из характерных особенностей которой является господство капиталистических монополий в экономике. Для монополистического капитализма характерны колоссальный рост концентрации и централизации капитала и обобществление процесса производства. Этот процесс происходил и в России, хотя и с некоторым запозданием по сравнению с другими, более развитыми странами. «Что в России тоже капитализм стал монополистическим, — отмечал В. И. Ленин, — об этом „Продуголь“, „Продамет“, сахарный синдикат и пр. свидетельствуют достаточно наглядно»¹.

В фонде правления общества Коломенского машиностроительного завода содержатся документы, отражающие деятельность одного из таких монополистических

¹ Ленин В. И. Грозная катастрофа и как с ней бороться // Полн. собр. соч. Т. 34. С. 191.