

существенных изменений до новой технической революции, произошедшей с появлением компьютерной техники в конце XX столетия.

**П.И. Черноусов, Н.А. Коротченко, О.В. Голубев**  
*Московский институт стали и сплавов*  
(Москва)

### **ОСНОВОПОЛОЖНИК ПРИКЛАДНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

*«Хочется, чтобы открытия служили всем, и жаль, что зачастую они остаются бесполезными. Но есть способ устранить это, который, к несчастью, пока ещё мало распространён. Если метод однажды дал хорошие результаты, нужно его применять на практике как можно шире. Будучи многократно повторен, он кроме прямой пользы даст нам добавок более глубокое знание».*

*Р.-А.Ф. де Реомюр. «Искусство превращения железа в сталь».*  
Труд 6-й.<sup>629</sup>

В 2008 г. исполнилось 325 лет со дня рождения Рене-Антуана Фершо де Реомюра. Это событие осталось практически незамеченным металлургическими средствами массовой информации. Авторы считают своим долгом, хотя бы кратко напомнить о жизненном пути и научных достижениях великого ученого-металлурга.

Плиний XVIII в. – именно так называли французского ученого-естествоиспытателя Рене-Антуана де Реомюра многие его современники, впоследствии его также сравнивали с Фрэнсисом Бэконом<sup>630</sup>, отдавая тем самым дань многогранности его таланта и широте его взглядов и увлечений. Остается только восхищаться, как человек, получивший первоначально юридическое образование, смог оставить значимый след во многих областях естественных наук. Впрочем, в то время наука была гораздо более однородной, чем сейчас, и многие талантливые ученые занимались наукой вообще, а не отдельными ее направлениями, многие из которых только-только начинали зарождаться. И все же научные итоги жизни Реомюра не могут не поражать. На его счету работы по математике (за которые он был избран членом Парижской Академии Наук), разработка технологии производства французского фарфора, открытия в области зоологии, создание термометрической шкалы и фундаментальные работы в области чёрной металлургии.

Рене-Антуан Фершо де Реомюр (*René Antoine Ferchault De Réaumur*) родился 28 февраля 1683 г. в г. Ла-Рошель на атлантическом побережье Франции в дворянской семье. Семья Фершо происходила из области Вандеи (*Vendée*) в Долине Луары. Жан Фершо, дед Рене-Антуана, сборщик таможенных пошлин, купил в 1620 г. часть поместья Реомюр, став таким образом «мсье де Реомюром». Отец будущего ученого, Рене Фершо,

<sup>629</sup> Работы Реомюра состоят из отдельных частей (Memoires), касающихся определенных аспектов рассматриваемых вопросов, о чем подробно написано в тексте статьи. Термин «Memoire» имеет различные варианты перевода – диссертация, доклад, научное исследование, мемуары, воспоминания, записки (учёных обществ). В данной статье этот термин переводится как «(научный) труд»

<sup>630</sup> René Antoine Ferchault De Réaumur from *Science and Its Times*. ©2005-2006 Thomson Gale, a part of the Thomson Corporation

занимал весьма почетную должность советника в суде Ла-Рошели. Некоторое время Рене-Антуан посещал колледж Ордена иезуитов в Пуатье, а в 1699 г. он и его брат Жан-Оноре переехали в Бурж, где жил их дядя по материнской линии, каноник<sup>631</sup> Габриэль Бушель. Здесь юные рошле, как называют во Франции уроженцев Ла-Рошели, в течение трех лет обучались праву под присмотром своего дяди. В 1702 г. новоиспеченный юрист Рене-Антуан Фершо де Реомюр отправился в Париж<sup>632</sup>.

Помимо права и сопутствующих наук во время учебы в Бурже Реомюр изучал также математику, к которой он имел большую склонность настолько большую, что по приезде в Париж продолжил свои занятия совместно с кузеном, Шарлем-Жаном-Франсуа Эно (*Hénault*) – будущим председателем Парижского суда и членом Академии наук. В течение трех лет молодой Реомюр изучал геометрию (во Франции, особенно в то время, это фактически являлось синонимом математики) под руководством некоего Гине, после чего тот познакомил его с Пьером Вариньоном (*Varignon*) – математиком и механиком, членом Академии наук. Вариньон стал другом и учителем Реомюра, кроме того, он помог ему поступить в Академию на должность «слушателя геометрии» (*élève géomètre*) (12 марта 1708 г.) – что-то вроде младшего научного сотрудника, ассистента.

Первый свой доклад на заседании Академии Реомюр сделал 19 мая 1708 г. в возрасте 25 лет. Доклад этот был посвящен обобщению метода построения кривой третьего порядка, циссоиды Диоклеса. В последствии Реомюр выступал в Академии еще дважды 4 мая и 4 июня 1709 г. с докладами о разработке теории построения конхонд, кривых четвертого порядка. В своих выкладках молодой Реомюр активно использовал анализ бесконечно малых, что было для геометрии ново, а также ввел понятие «несовершенной развертки»<sup>633</sup>.

К сожалению, а, может быть, к счастью, на этом Реомюр фактически закончил свои работы в области математики – став активным членом Академии наук, он открыл для себя множество проблем, которые требовали решения, и бросали вызов его пытливому уму. В те годы Парижская Академия наук приближалась к своему пятидесятилетию. Она была основана в правление Людовика XIV, в 1666 г., вскоре после того, как в должность генерального контролера (министра) финансов вступил Жан-Батист Кольбер. Он-то и способствовал развитию Академии, перед которой с самого основания ставилась задача практического применения полученных знаний на благо государства. За полвека существования Парижская Академия наук успела наладить систематический надзор за развитием ряда искусств и ремесел. В этой работе с большим энтузиазмом принял участие и Реомюр.

Остановимся на структуре Академии наук Франции начала XVIII в. более подробно, чтобы понять, что представляли собой те должности, которые занимал в разные годы Реомюр. В 1699 г. Людовик XIV ввел

<sup>631</sup> Соборный священник в католической и англиканской церквах

<sup>632</sup> Michael Walters. *A Concise History of Ornithology*, Yale University Press (New Haven, Connecticut). 2003. 255 p.

<sup>633</sup> Шушурин С.Ф. *Ирония славы, или чему равен градус Реомюра* // Химия и жизнь. №9. 1983. С. 79 – 83

регламент Академии наук, оставлявший за ним привилегию назначать её членов, по представлению Академии. Президента и вице-президента также назначал король из числа почётных членов. Всего в состав Академии входили 70 членов<sup>634</sup>: 10 почётных членов (*honoraires*). Они назначались королём из числа дворянства и духовенства, и должны были являться подданными французского монарха (*régnicoles*<sup>635</sup>), а также обладать значительными познаниями в области математики и физики. Именно из их числа король назначал Президента и вице-президента Академии. 20 пансионеров (*pensionnaires*) (которым выплачивался пансион): по 3 чел. на каждую область знаний – по геометрии (*géomètres*), астрономии (*astronomes*), механике (*mécaniciens*), анатомии (*anatomistes*), химии (*chimistes*), ботанике (*botanistes*); а также секретарь (*secrétaire*) и «вечный казначей» (*trésorier perpétuels*).

Собственно пансионеры и обеспечивали повседневную работу Академии. 20 ассоциированных членов: 12 французских подданных (*régnicoles*) (по 2 на каждую дисциплину) и 8 «вольных» (*libres*) – независимо от специальности, в том числе иностранцы. На практике почти все места ассоциированных членов были заняты иностранными учёными. 20 слушателей, прикрепленных к пансионерам соответствующей специальности. Изначально их было пятеро, и в их обязанности входила подготовка экспериментов и оформление бумаг. Кроме того, согласно регламенту 1699 г., для поддержки связей с французскими и зарубежными учёными члены Академии должны были приглашать членов-корреспондентов. В скором времени члены-корреспонденты стали прикрепляться не к самой Академии, а к отдельным пансионерам.

Начиная с 1700 г. из числа 18 пансионеров (т.е. без секретаря и казначея) выбирались директор и помощник директора – ответственные должностные лица, замещающие Президента и вице-президента в случае их отсутствия. Директор и помощник директора назначались Президентом и вице-президентом ежегодно. В таком виде, с незначительными изменениями, Академия существовала на протяжении всей жизни Реомюра, до реформы Лавуазье в 1785 г.

Итак, Реомюр вступил в ряды Академии в 1708 г. в возрасте 25 лет на должность слушателя геометрии к пансионеру Пьеру Вариньону. С этого момента он принимал самое активное участие в работе Академии. После первых трех докладов по аналитической геометрии 1708 – 1709 гг. он выступает в 1710 г. с тремя докладами из области естественных наук. 14 мая 1711 г. Реомюр занимает освободившееся после смерти Луи Карре (*Louis Carré*) место пансионера механики (*pensionnaire mécanicien*). Исполняя обязанности пансионера, он в разные годы, с 1713 по 1753, 10 раз назначался помощником директора и 11 раз – директором. На протяжении 17 лет, с 1713 по 1731 гг. он занимал поочередно эти посты практически ежегодно.

<sup>634</sup> *In memoriam - Repères historiques*. Исторический раздел официального сайта Академии Наук Института Франции. Режим доступа: <http://www.academie-sciences.fr>

<sup>635</sup> Вышедший из употребления французский юридический термин, обозначающий «натуральных» жителей монархии в противоположность иностранцам и инородцам. Наиболее подходящим современным термином можно считать «подданный», хотя оно и имеет несколько более широкий охват.

В это же время Реомюр регулярно публикует работы и выступает с докладами по зоологии, которую он считал делом всей своей жизни, не переставая заниматься ею до самой смерти, одновременно с работами в других областях. А работ этих было немало – в 1715 г. регент Филипп Орлеанский поручает Академии наук подготовить фундаментальный труд «Описание искусств и ремёсел» (*Description des Arts et des Métiers*). Этот труд, с проектом которого впервые выступил Кольбер, был уникален по своим масштабам – за период с 1761 по 1788 г. было издано 113 томов. В Описании содержалась информация о всех существовавших на тот момент во Франции промышленных и кустарных производствах. Издание было великолепно иллюстрировано гравюрами работы Жана-Эли Бертрана (*Jean Elie Bertrand*). Его редактором стал, по поручению Академии, Реомюр.

К сожалению, фундаментальность Описания сыграла с ним злую шутку. Дело в том, что в то же время группа передовых французских ученых и общественных деятелей под руководством Дидро (*Denis Diderot*) и Д'Аламбера (*Jean le Rond d'Alembert*) готовила к изданию «Энциклопедию, или толковый словарь наук, искусств и ремёсел» (*Encyclopédie, ou dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*). Помимо описания собственно искусств, наук и ремёсел, «Энциклопедия» содержала статьи, отражающие идеи Просвещения. Именно это и обеспечило популярность «Энциклопедии», гораздо более широкою, чем у официального государственного издания, которым являлось «Описание». Между тем, в «Энциклопедии» приведены в сокращенном виде многие статьи из «Описания», а также широко использовались копии гравюр<sup>636</sup>. Возможно, это было простым плагиатом, возможно, некоторые авторы, в первую очередь члены Академии наук, сотрудничали с обоими изданиями, но, вероятнее всего, имели место оба факта.

В период с 1711 г. по 1723 г. Реомюром были проведены обширные исследования в рамках работы над «Описанием». Он изучал искусство волочения золотых нитей, производство анкерных скоб, изготовление булавок, зеркал, искусственного жемчуга, обработку кровельного сланца, золочение кожи, эксплуатацию месторождений железной руды; он исследовал месторождения, добычу и происхождение бирюзы, сделал даже небольшое минералогическое открытие, доказав, что некоторые камни, принимавшиеся за драгоценные, представляют собой окаменелые зубы ископаемых животных<sup>637</sup>.

Именно в эту серию входили работы Реомюра по металлургии, активно поддерживаемые регентом Филиппом Орлеанским. По этому направлению с 1720 по 1722 гг. Реомюром были представлены 12 трудов, объединённых в изданную в 1722 г. книгу «Искусство превращения ковкого железа в сталь и искусства умягчения чугуна»<sup>638</sup> (*L'Art de convertir*

<sup>636</sup> John R. Pannabecker. Diderot, the Mechanical Arts, and the Encyclopédie: In Search of the Heritage of Technology Education. *Journal of Technology Education*. Vol. 6 No. 1, Fall 1994

<sup>637</sup> Michael Walters. *A Concise History of Ornithology*, Yale University Press (New Haven, Connecticut). 2003. 255 p.; Шушурин С.Ф. *Ирония славы, или чему равен градус Реомюра* // Химия и жизнь. №9. 1983. С. 79 – 83

<sup>638</sup> Полное название -- «Искусство обращать ковкое железо в сталь и искусство умягчать (отжигать) чугун, или изготовлять изделия из чугуна, столь же законченные, как изделия из ковкого железа» (*L'art*

*le Fer Forgé en Acier et l'Art d'Adoucir le Fer Fondu*). За исследования в области металлургии железа регент назначил Реомюру пенсию в 12 тыс. ливров в год. Этот пенсион был использован Реомюром для организации лаборатории в парижском предместье Сент-Антуан, где он проводил большую часть исследований и разместил свою коллекцию<sup>639</sup>.

Заинтересовавшись в ходе работ по металлургии вопросами измерения температуры, Реомюр разрабатывает методику измерений и термометр собственной конструкции, а также в 1725 г. издаёт труд, в котором описывает свои работы в этом направлении. В 1734 и 1736 г. Реомюр публикует первые тома наиболее объёмного своего труда «Естественная история насекомых» (*Memoires pour servi a l'histoire naturelle des insectes*). Последующие его работы, в большинстве своём, были посвящены зоологии. Последний, шестой том «Истории насекомых», увидел свет в 1742 г.

Работы Реомюра в области металлургии железа положила начало его связям с Россией. Экземпляр своего труда Реомюр послал Петру I, с которым встречался в 1717 г. во время его пребывания в Париже. Пётр настолько заинтересовался этим трудом, что решил перевести его на русский язык. Реомюр был очень обрадован и в письме в Россию от 27 февраля 1725 г. (адресованном Л.Л. Блюментросту<sup>640</sup>) предложил оказать помощь в переводе. Но со смертью Петра это его начинание было забыто.

В 1736 г. Реомюр послал петербургским академиком два первых тома своего труда о насекомых с просьбой дать оценку его произведения, подчёркивая, что «их корпорация является авторитетнейшим судьей, когда речь идет о новейших научных достижениях». Ответом Реомюру явилось письмо Корфа<sup>641</sup> (от 5 августа 1737 г.), где он сообщал, что члены Петербургской Академии наук были очень польщены «весьма ценным даром», преподнесенным Реомюром, и его весьма любезным отзывом об их деятельности. «По этому случаю, – говорилось в письме, – высокое уважение, которое наши академики всегда питали к Вашим работам и которое разделял покойный император Петр I, основатель этой корпорации, побудило их, по единодушному согласию, предложить Вам звание почётного академика». Реомюр высоко ценил честь, оказанную ему Петербургской Академией (членом Лондонского королевского общества он был избран лишь через год). Всего же Реомюр был членом, по крайней мере, пяти европейских Академий наук<sup>642</sup>.

К экспериментам в области металлургии Реомюр приступил в 1715 г. Они были посвящены, главным образом, производству стали путем цементации ковкого железа. Этот выбор был обусловлен тем, что, Франция не имела собственного производства стали, и импортировала её из

---

*de convertir le fer forgé en acier et l'art d'adoucir le fer fondu, ou de faire des ouvrages de fer fondu aussi jms que de fer forgé*)

<sup>639</sup> The general biographical dictionary. Vol. XXVI. London. 1816.

<sup>640</sup> Лаврентий Лаврентьевич Блюментрост (*Laurentius Blumentrost*) (1692 – 1755) – первый президент Петербургской Академии наук (ныне – Российской академия наук) (с 7 декабря 1725 г. по 6 июня 1733 г.), лейб-медик Петра I.

<sup>641</sup> Барон Иосанн Альбрехт Корф (1697 – 1766 г.) – действительный тайный советник, президент Академии наук (с 1734 по 1741 гг.), дипломат.

<sup>642</sup> Грехова Г.И., Гендриков В.Б. Первые французские учёные – почётные члены Петербургской Академии наук. Вестник РАН №4. 1974. С. 67.

Германии и Англии (французские производители занимались лишь поверхностным упрочнением – «осталиванием» – готовых железных изделий). Применялся процесс цементации путем науглероживания при высокой температуре ковкого железа в прутках, улакованного с подходящим источником углерода в герметичные ящики. Технология отшлифовывалась практикой, и не имела под собой никакой научной основы. Каждый производитель имел свои собственные секреты, и ревностно охранял их от посторонних.

Попытки произвести качественную цементированную сталь во Франции окончились неудачей. Реомюр писал: «Королевский двор был удручён в особенности тем, что в последние три-четыре года французы и иностранцы, которые, в надежде схватить удачу за хвост, представлялись владельцами настоящего секрета передела железа в сталь. Однако плодов их труда видно не было... к тем, кто обещал превратить железо Королевства в сталь, относились едва ли не как к искателям философского камня». Таким образом, эта задача, к решению которой приступил Реомюр, имела большое значение для металлургической промышленности Франции, а также подогревала научный интерес самого исследователя.

Следует отметить, что в то время, когда Реомюр приступил к своим экспериментам, научная картина мира существенно отличалась от современной. Дело в том, что углерод, играющий основную роль в процессе цементации и превращения железа в сталь, а стали в чугуны, был открыт А. Лавуазье только в конце 1780-х гг. Во времена же Реомюра господствовала теория *флогистона*. Настоящая природа огня также была неизвестна.

Флогистонная теория горения была создана именно для описания процессов обжига металлов. Основой для нее послужили представления о горении как о разложении тела. Феноменологическая картина обжига металлов была хорошо известна: металл превращается в окалину, масса которой больше массы исходного металла (В. Бирингуччо ещё в 1540 г. показал, что масса свинца увеличивается после прокаливания); кроме того, при горении имеет место выделение газообразных продуктов неизвестной природы. Целью химической теории стало рациональное объяснение этого феномена, которое можно было бы использовать для решения конкретных технических задач.

Создателями теории флогистона считаются немецкие химики Иоганн Иоахим Бехер и Георг Эрнст Шталь. Суть теории флогистона (опубликована в 1703 г.) можно изложить в следующих основных положениях. Существует материальная субстанция, содержащаяся во всех горючих телах – флогистон (от греч. *φλογιστος* – горючий). Горение представляет собой разложение тела с выделением флогистона, который необратимо рассеивается в воздухе. Вихреобразные его движения, выделяющегося из горящего тела, и представляют собой видимый огонь. Извлекать флогистон из воздуха способны лишь растения. Эта субстанция всегда находится в сочетании с другими веществами и не может быть выделен в чистом виде; наиболее богаты флогистонном веществом, сгорающие без остатка. Флогистон обладает отрицательной массой.

Процесс обжига металла в рамках теории флогистона можно отобразить следующим подобием химического уравнения: *Металл = Окалина + Флогистон*

Для получения металла из окалина или руды, согласно теории, можно использовать любое тело, богатое флогистоном (т.е. сгорающее без остатка) – древесный или каменный уголь, жир, растительное масло и т.п.: *Окалина + Тело, богатое флогистоном = Металл*.

Теория флогистона позволила, в частности, дать приемлемое объяснение процессам выплавки металлов из руды, состоящее в следующем: руда, содержание флогистона в которой мало, нагревается с древесным углем, который очень богат флогистоном; он при этом переходит из угля в руду, и образуются богатый этой субстанцией металл и бедная флогистоном зола.<sup>643</sup>

Таким образом, для производства чугуна требуется добавить флогистон к железной руде (которая является чистым элементом). Для получения ковкого железа надо добавить еще большее количество флогистона, а сталь является железом, насыщенным флогистоном. Данная теория со временем была распространена на любые процессы горения. Во второй половине XVIII в. она завоевала среди химиков практически всеобщее признание. Возможно, Реомюр был первым, кто приступил к решению задачи практической металлургии с научных позиций, добился успеха, и опубликовал полученные результаты для всеобщего пользования.<sup>644</sup>

Реомюр разработал новаторскую экспериментальную методику. Для сравнения различных источников углерода он изготовил несколько идентичных образцов из ковкого железа. По этой причине все образцы были вырезаны из одной заготовки. Для их науглероживания он спроектировал специальные цементационные камеры. Обратив внимание на исключительную важность режима нагрева, описал это в своих трудах, приложив чертежи и описание лабораторных печей, позволяющих с большой точностью регулировать условия процесса.

После проведения серии экспериментов, заключающихся в нагревании железа до определенной температуры в присутствии инертных веществ, таких как мел, глинозем и т.д. Реомюр исключил возможность того, что длительный нагрев сам по себе является достаточным условием превращения железа в сталь. После этого он приступил к систематическому исследованию влияния различных материалов на процесс цементации стали. Им было изучено влияние множества веществ (таких как соки различных растений, соли, жиры, углерод животного и растительного происхождения, зола и т.д.).

По результатам проведенных исследований, Реомюр пришёл к выводу, что наилучший эффект достигается при использовании смесей, состоящих из измельченного древесного угля и сажи в качестве основы и

<sup>643</sup> Левченков С.И. *Краткий очерк истории химии*. Учебное пособие для студентов химического факультета РГУ (ЮФУ). 2007

<sup>644</sup> Schotsmans J.P. A pioneer of experimental metallurgy: Monsieur de Reaumur. *Journal of Historical Metallurgy Society*. 24/2, 1991.

добавок некоторых солей<sup>645</sup>. По результатам проведённых экспериментов Реомюр сделал следующие выводы: а) наиболее эффективными карбюризаторами являются древесный уголь, сажа и обугленная кожа; б) некоторые соли, которые сами по себе не оказывают эффекта, несколько усиливают действие обычных источников углерода; в) сам по себе огонь не превращает железо в сталь; г) превращение происходит только когда «железо становится мягким», т.е. выше определенной температуры; д) из некоторых видов железа получается более качественная сталь, чем из других.

Реомюр впервые четко установил тот факт, что превращение железа в сталь происходит постепенно, начиная с верхних слоев поверхности металла во внутренние области массы металла. Наблюдая за распространением превращения от края образца к его центру, Реомюр пришел к мысли, что мелкозернистое железо обладает лучшими свойствами, поскольку содержит больше пустот, через которые могут проникать посторонние вещества. Несмотря на такое чрезмерное упрощение, Реомюр, фактически, описал процесс диффузии.

Затем он попытался понять, что попадает в железо, что делает его сталью. Взвешивая с возможной точностью кусочки железа до и после превращения, он наблюдал увеличение массы примерно на 0,4%, опровергнув, тем самым, господствующие представления об очищении (уменьшении массы) стали при цементации. Затем он попытался определить причины этого увеличения. Это было очень непросто без применения химического анализа, особенно с учётом того, что углерод как элемент еще не был известен. Из своих предшествующих экспериментов Реомюр нашёл, что причиной этого могут быть сернистые соединения и летучие соли (в то время сернистыми назывались все горючие материалы, в том числе углеродсодержащие). Объяснение Реомюра заключалось в том, что огонь, который содержит в себе только сернистые материалы, проникает в железо через пустоты, оставляя в нём некоторые негорючие продукты. Он провёл аналогии с сажой, накапливающейся в дымовых трубах, которая «смешана с огнем и, тем не менее, остается весьма горючей»<sup>646</sup>.

Таким образом, проведя скрупулезные исследования, Реомюр сформулировал основополагающие представления о роли углерода в процессе превращения железа в сталь. По Реомюру «...основой [сплавов железа] является чистая железная субстанция, соединённая с большим или меньшим количеством сернисто-солевой материи, причём больше всего её содержится в чугунах и меньше всего в ковком железе, в стали содержится среднее количество. ...добавляя сернисто-солевую материю в мягкое железо, можно получить сначала сталь, а затем чугун». Взгляды Реомюра были далеко не сразу оценены и восприняты специалистами и учёными. Потребовалось почти столетие для того, чтобы особая роль углерода в сплавах железа стала очевидной и общепринятой. В одном из популярных

<sup>645</sup> Dr. Federico Giolitti. *The cementation of iron and steel*. 1-st edition. New York. 1915.

<sup>646</sup> Schotsmans J.P. A pioneer of experimental metallurgy: Monsieur de Reaumur. *Journal of Historical Metallurgy Society*. 24/2, 1991; Dr. Federico Giolitti. *The cementation of iron and steel*. 1-st edition. New York. 1915

учебников по металлургии железа середины XIX в. отмечалось: «Свойства железа в различных его металлических соединениях зависят от многих тел (химических элементов), среди которых углерод играет столь важную роль, что рассматривается отдельно в теории железа; действие же других тел ограничивается только изменением свойств металла, уже охарактеризованного углеродом».

Реомюр не стал пророком цементации в своём отчестве – результатом его работ с удовольствием воспользовались соседние страны, но не Франция. На протяжении XVIII в. экономика Франции была, преимущественно, аграрной. Хозяевами большинства промышленных предприятий были землевладельцы, интересовавшиеся, главным образом, финансовыми аспектами своего предприятия, нежели техническими вопросами, которые обычно оставались в руках мастеров, работающих согласно традициям. Были, конечно, и исключения, такие как Бушу (*Bouchu*), владелец металлургического предприятия в Воксхолле (*Maître de forge at Vauxheulle*), который выражал восхищение работами Реомюра, однако и он не внедрил его рекомендации на практике.

Во Франции проблемы с обеспечением производства древесным углем не привели к внедрению новых технологий, как это случилось в Англии. Напротив, из-за этого стало невозможно увеличивать производство железа и внедрять процесс цементации, потребляющей большое количество древесного угля. Производство низкокачественной стали или «земляной стали» (*acier à terre*) вполне удовлетворяло потребности сельского хозяйства. Достаточное количество производимого литья и ковкого железа отвечало потребностям военного и внутреннего рынка. К тому же два экономических фактора препятствовали увеличению производства стали. Процентная ставка по кредитам была очень высока (в два раза выше, чем в Англии), что ограничивало возможности инвестирования. В то же время курс валюты был таков, что ввозить импортную сталь было относительно дешево. Таким образом, производство стали на месте приносило меньший доход, чем продажа рядовых железных изделий.

Зато буквально через несколько лет после публикации работ Реомюра расцвело производство цементированной стали в Германии, Англии и Швеции. Став всеобщим достоянием, труды Реомюра нарушили монополию отдельных производителей, овладевших секретом производства, впервые в истории металлургии появилась теоретическая основа, опираясь на которую, можно было наладить производство. Ньюкасл и Шеффилд стали ведущими центрами производства цементированной стали в Англии. Производство осуществлялось в печах, спроектированных на основе принципов, изложенных Реомюром. Железные заготовки в виде длинных, тонких брусков прямоугольного сечения помещались в камеры из огнеупорных материалов, и плотно засыпались порошком угля. Обогрев производился снаружи камеры теплом продуктов сгорания топлива. Загрузка достигала 10 т железа, процесс занимал 5 – 6 дней с момента нагрева камеры до необходимой температуры. Изготавливаемая таким образом сталь получила название

томлёной стали (англ. – *blister steel* – пузырчатая сталь, из-за газовых пузырьков на поверхности металла<sup>647</sup>).

Описанной выше «теории науглероживания железа» Реомюру было бы вполне достаточно, чтобы вписать свое имя в историю научной металлургии, но он разработал еще первую в истории научно обоснованную методику определения качества стали по структуре излома. Следует отметить, что попытки классификации металлов (в основном цветных) в зависимости от излома предпринимались и до Реомюра, однако они носили локальный характер и широкого распространения не получили. Для изучения изломов Реомюр использовал увеличительное стекло и микроскоп<sup>648</sup>. Реомюр использовал изломы для характеристики протекания процесса цементации, изучая явления, и в наше время представляющие интерес для металлургов: «пузырение», пережог, хрупкий и древесный изломы железа, стали и чугуна. В 1724 г. Реомюр опубликовал исследование изломов литого металла, в том числе гравюры, иллюстрирующие изломы слитков сурьмы и свинца<sup>649</sup>.

В 10-ой части «Искусства превращения ковкого железа в сталь и умягчения чугуна» Реомюр вводит революционную для своего времени концепцию контроля качества металла. Он был впечатлен тем фактом, что ремесленник имеет единственный способ определить качество стали – изготовить из нее инструмент и испытать его. Учёный придерживался того мнения, что испытание качества небольших образцов возможно и очень полезно как для производителей стали, так и для производителей инструмента.

Проанализировав различия между хорошей и плохой сталью, он пришел к выводу, что для оценки должны быть использованы три характеристики: зернистость («*la grainure*»); твердость послековки; пластичность («*le corps*»). Для оценки твердости Реомюр рекомендовал испытание, основанное на использовании эталонных материалов для определения твердости методом царапания. Семиступенчатая шкала относительной твердости Реомюра почти на сто лет опередила предложенную в 1812 г. Карлом Фридрихом Моосом (*Mohs*) десятиступенчатую шкалу.

Для оценки пластичности Реомюр разработал специальное устройство, позволяющее измерить насколько закаленный отрезок проволоки способен изогнуться, прежде чем сломается. Для корректного сравнения необходимо было соблюсти следующие два условия: образцы должны были иметь идентичные размеры. Это достигалось путем пропускания их через один и тот же волок; образцы должны быть закалены при одинаковой температуре. Это реализовывалось путем их совместного нагрева в ванночке с жидким свинцом – предшественнице печей с солевой ванной.

<sup>647</sup> Dr. Federico Giolitti. *The cementation of iron and steel*. 1-st edition. New York. 1915

<sup>648</sup> Простейший дулинзовый микроскоп с увеличением в 3-10 раз был изготовлен в Нидерландах в 1590 г. братьями Янсен. Усовершенствование оптики позволило Антони ван Левенгуку в 1674 г. изготовить линзы с увеличением, достаточным для проведения простых научных наблюдений.

<sup>649</sup> *History of Fractography* from ASM metals handbook, Vol. 12: Fractography. 9<sup>th</sup> edition. 1987

Для изучения свойств чугуна Реомюр спроектировал и построил специальную лабораторную вагранку. Систематические исследования позволили учёному разработать процесс отжига чугуна с получением ковкого чугуна («умягчения»).

В 1725 г. Реомюр представил в Академию наук работу под названием «Начала искусства производства белой (лужёной) жести». До этого времени технология производства белой жести не была известна во Франции, а сама жесь импортировалась из Германии, которая была фактически монополистом в этом производстве за счёт того, что немецкие металлурги строжайше охраняли секрет её производства. Основная проблема состояла в удалении частиц окалины, которыми всегда бывает покрыта поверхность листов железа. Они представляют собой тонкие пластинки оксидов железа, которые не позволяют олову равномерно покрыть поверхность железа. Реомюр обнаружил, что если листы железа поместить в воду, подкисленную большим количеством отрубей (ржаную воду), а затем поместить в печь, для образования тонкого слоя ржавчины. В результате такой обработки частички окалины отслаиваются от поверхности железа и могут быть легко удалены при зачистке песком. После этого листы погружаются в расплавленное олово, покрытое тонким слоем сала для предотвращения окисления, легко, таким образом, подвергаясь лужению.

В результате объяснения Реомюром этого процесса, он был очень быстро налажен во многих регионах Франции. Примерно в то же время первые мануфактуры по производству белой жести появились и в Англии. Английская белая жесь была внешне гораздо более привлекательна, чем немецкая, поскольку железные листы получались методом прокатки, а не плющилась под молотом, как в Германии. По этой причине её поверхность была более гладкой, и английская жесь быстро завоевала лидирующие позиции /13/.

Наконец, ещё одной работой Реомюра в области металлургии было описание и рекомендации по усовершенствованию якорного производства. Эта работа была представлена в виде доклада для Академии наук под названием «Производство якорей» («Fabrique des ancres») в 1723 г. Этот доклад вошёл впоследствии и в «Описание искусств и ремёсел», и в «Энциклопедию» Дидро.

Научная работа Реомюра была по заслугам оценена как его современниками, так и последующими поколениями специалистов. Уже в 1734 г. Э. Сведенборг в книге «*De Ferro*» полностью воспроизвел труды Реомюра в части превращения железа в сталь и в части описания тропи<sup>650</sup>, используемых при производстве железа в Южной Франции. Жарс (*Jares*) (1732 – 1769) «Сочинении о Железе и Стали» (*Dissertation sur le Fer et l'Acier*) наряду с восхищением работами Реомюра высказывает удивление, что их результаты не имеют видимого практического применения во Франции. В начале XIX в. работы Реомюра были высоко оценены Ассенфратцем (*Hassenfratz*) в произведении «Производство железа»

<sup>650</sup> Тропка – дутьевое приспособление оригинальной конструкции, используемое для подачи воздуха при производстве железа в каталонских горнах.

(*Siderotechnic*) за его осмысление роли углерода и классификацию железа на основе структуры излома. К тому времени все, что Реомюр предсказал ранее, было научно доказано с помощью химического анализа. Даже в 1864 г., при рассмотрении процесса науглероживания пруткового железа в Части II «Металлургии» (*Metallurgy*), Джон Перси (*John Percy*) высоко оценивал эксперименты Реомюра, «отчеты о которых достойны того, чтобы быть внимательно прочитанными в наши дни».

Работы в области металлургии поставили перед Реомюром проблему точного определения температуры. Именно исследования в этой области сделали его имя широко известным даже в наши дни. Мало кто слышал про металлурга Реомюра или про зоолога Реомюра, но про термометр Реомюра слышали многие.

Первой работой Реомюра на эту тему была отдельная публикация, относящаяся, видимо, к 1725 г. и посвященная принципам конструирования термометров со сравнимыми шкалами. 15 ноября 1730 г. Реомюр выступил в Парижской Академии наук с первым сообщением о результатах своих термометрических работ. Впоследствии он выступал с лекциями на эту тему в течение 1730 и 1731 г. еще восемь раз. Основные результаты его исследований по термометрии изложены в трех трудах, опубликованных в период до 1734 г.

В самых солидных энциклопедиях (например, в Большой Советской Энциклопедии) написано, что в 1730 г. Реомюр предложил температурную шкалу, названную его именем, что один градус этой шкалы равен  $1/80$  разности температур кипения воды и таяния льда (то есть градус Реомюра равен  $5/4$  градуса Цельсия), что она вышла из употребления.

Отметим, что к тому моменту, когда Реомюр приступил к термометрическим исследованиям, уже существовал термоскоп Галилея, термометры флорентийских академиков и термометрическая шкала Фаренгейта. Кроме того, существовала уже шкала петербургского академика Ж. Делиля, выбравшего в качестве реперной (опорной) точки одну-единственную величину – температуру кипения воды. Несмотря на всё это, в термометрии оставался ряд основополагающих недоработанных пунктов, связанных с выбором реперных точек. Считалось, например, что даже при неизменном давлении вода может кипеть при разных температурах. Реомюр начал с того, что перед лицом авторитетной академической комиссии это заблуждение опроверг. Далее, анализируя выполненные в 1724 г. работы Фаренгейта, он остался недоволен расплывчатым выбором опорных точек (за нуль принималась температура охлаждающей смеси, за 100 градусов – температура человеческого тела). Не понравились Реомюру и ранее применявшиеся термометрические жидкости – вода и ртуть. Он остановился на винном спирте (возможно, потому, что спирт легче заливать в тонкие трубки).

Термометр Реомюра представлял собой припаянную к круглой колбочке тонкую трубку с залитым в неё спиртом, по мере возможности очищенным от воды и растворенных газов. В своём труде Реомюр особо оговаривает, что его жидкость содержала не более 5% воды (тщательной перегонкой спирт можно довести до 96 процентной чистоты). Трубка не запаивалась, а лишь была заткнута замазкой на основе скипидара. Таким

образом, Реомюр никак не мог измерить с помощью спирта температуру кипения воды (якобы вторую опорную точку), поскольку спирт кипит при более низкой температуре.

В трудах Реомюра описаны опыты, в ходе которых он медленно нагревал свой термометр с помощью водяной бани, доводил в нем спирт до кипения, потом охлаждал, затем снова нагревал. По-видимому, делал он это, чтобы убедиться в постоянстве температуры кипения спирта. На самом деле опорная точка была у Реомюра всего одна: температура таяния льда. А за величину градуса он принял такое изменение температуры, при котором объем спирта возрастает или убывает на 1/1000. Таким образом, термометр Реомюра был, по существу, большим пикнометром. Коэффициент объемного расширения 96%-ного спирта составляет 0,001081/градус Цельсия. Градус же Реомюра можно получить, разделив 0,001 на 0,00108. Получается, что он равен 0,926 градуса Цельсия. А вовсе не 1,25, как принято считать. Дело, видимо, обстояло так.

Стремясь удовлетворить возрастающий спрос, французские ремесленники приступили к массовому изготовлению термометров Реомюра. Но у них уже был опыт в изготовлении ртутных барометров, и они решили знакомую им технологию использовать при изготовлении новомодных приборов. Спирт заменили ртутью, термометры стали меньше и удобнее. В 40-е гг. до Франции дошли образцы термометров Цельсия, в которых было две опорные точки. Изготовителям было гораздо проще разбить небольшое расстояние, на которое поднимался столбик ртути при переходе воды от замерзания к кипению, на некоторое количество частей, чем каждый раз рассчитывать уровни подъема термометрической жидкости. Поэтому, видимо, они и обозначили точку кипения воды числом 80, которым шкала Реомюра заканчивалась, потому что выше начинал кипеть спирт. Так и возникла «шкала Реомюра», которая дожила до середины двадцатого века.

Еще при жизни Реомюра были проведены измерения точки кипения воды в градусах его шкалы (ведь со спиртовым термометром это было невозможно). Измерения дали величины от 100 до 110 градусов. Если использовать современные данные, то для точки кипения воды в градусах Реомюра получается значение 108. В 1772 г. в качестве стандартной была принята температура кипения воды, равная 110 градусов Реомюра. Но разнотой продолжался еще 22 года, до 12 жерминаля II года революционного календаря (1 апреля 1794 г.), когда в связи с введением во Франции метрической системы, по предложению минералог и метеоролог Рене-Жюста Гаюи, было утверждено в качестве стандартного значение 100 – фактически, принято то, что уже называли шкалой Цельсия.

Начиная с 1734 г., Реомюр в течение пяти лет публиковал отчеты об измерениях температур воздуха с помощью предложенного им прибора в различных местностях, от центральных районов Франции до индийского порта Пондишери, однако позднее термометрию забросил. Настолько, что, когда в 1742 г. Жан-Пьер Кристен демонстрировал в Лионе ртутный термометр собственной конструкции, Реомюр даже не приехал<sup>651</sup>.

<sup>651</sup> Шушурин С.Ф. *Ирония славы, или чему равен градус Реомюра* // Химия и жизнь. №9. 1983. С. 79-83

С 1717 г. Реомюр изучал секреты изготовления фарфора. Это искусство также не было известно во Франции, да и вообще в Европе, за исключением Саксонии, а фарфоровые изделия привозили из Китая и Японии. Для начала он изучил и сравнил между собой образцы привозного фарфора и их имитации, изготовленные во Франции и других европейских странах. Реомюр убедился, что настоящий фарфор остаётся в неизменном виде даже при максимальной температуре, которой он мог достигнуть, в то время как европейские подделки даже при более низкой температуре плавилась и превращались в стекло. Из этого учёный заключил, что настоящий фарфор, в отличие от имитации, представляет собой композицию двух компонентов, один из которых позволяет материалу выдерживать воздействие высоких температур, а второй при достаточном нагреве плавится, образуя стекло.

Этот второй компонент и придаёт фарфору полупрозрачность, в то время как другой обеспечивает его огнеупорность. Эти выводы подтвердились, после того, как падре д'Энтреколле (*d'Entrecolles*) – французский миссионер в Китае, прислал в Академию наук свои труды с последовательным описанием производства в китайских фарфоровых мастерских. Два вещества, которые употреблялись в производстве, назывались *kaolin* и *petunse*. Первый в настоящее время носит название фарфоровой глины (или каолин), а второй представляет собой порошкообразный белый полевой шпат. Полевой шпат «остекловывается» при высоких температурах, а каолин придаёт фарфору замечательную огнеупорность<sup>652</sup>.

Получив образцы сырья, используемого для производства фарфора, тайно вывезенные из Китая, Реомюр определил его минеральный состав. Через некоторое время близ французских городов Лимож и Вьерзон были найдены сырьё аналогичного состава, а трудами Пьера-Жозера Макера и Жана Элло, графа де Мийи, было налажено производство французского фарфора. Проводя опыты по получению фарфора, Реомюр изготовил керамику, которая получила его имя - «реомюров фарфор». Поверхность излома этой керамики имела фарфоровый вид, а после полировки приобретала приятный глянец. Однако промышленное изготовление этого материала налажено не было<sup>653</sup>.

И всё же главным делом своей жизни Реомюр считал зоологию. В 1715 г., когда полным ходом шли опыты, связанные с металлургией, увидела свет его работа, посвященная изучению вещества, придающего блеск рыбьей чешуе. Через год вышла в свет монография о формировании жемчужин в раковинах моллюсков. Реомюр интересовался пурпуром и описал строение моллюсков, вырабатывающих эту краску. Он пытался наладить изготовление шелка из паутины, изготовил и представил в Академию наук пару чулок из паутинового шелка и паутинные перчатки, однако сделанные им расчёты показали, что производительность этого способа чрезвычайно низка для промышленного применения. В 1734 – 1742 гг. Реомюр выпустил в свет шесть томов уже упомянутой

<sup>652</sup> Thomas Thomson. *The history of chemistry*. Vol. 1. London. 1830.

<sup>653</sup> The general biographical dictionary. Vol. XXVI. London. 1816.

«Естественной истории насекомых» («Трудов, которые могут быть полезными при изучении жизни насекомых»). Он собрал материал еще для четырех томов, но не опубликовал его.

По свидетельствам современников, Реомюр был доброжелателен, великодушен и в высшей степени бескорыстен. Исполняя обязанности интенданта Королевского военного Ордена святого Людовика с 1735 г. до самой смерти, он жертвовал положенное ему по должности жалование на благотворительность. Между прочим, эта должность по социальному статусу была эквивалентна титулу графа<sup>654</sup>.

Что касается личной жизни Реомюра, то она была небогата на события. Он не был беден, всю жизнь прожил холостяком — следовательно, его учёным занятиям ничто не мешало. Здоровье у него было крепкое. Только в 1754 г. обнаружили признаки нарушения мозгового кровообращения — головокружения, временная потеря речи. В связи с этим Реомюр решил покинуть Париж и купил за 5000 ливров у вдовы Фантель де Ланьи право на проживание в её замке Ла Бермондьер<sup>655</sup> на западе Франции (провинция Мэн, ныне — департамент Майенн (*Mayenne*)). Туда он переехал в 1755 г. Во время одной из верховых прогулок 6 сентября 1757 г. у него повторился приступ болезни и он упал с лошади. Падение усилило болезнь, и полтора месяца спустя, 17 октября, Реомюр скончался. Похоронен он на церковном кладбище деревушки Сен-Жюльен-де-Терру<sup>656</sup>.

Таким образом, являясь основоположником прикладной металлургической науки, Реомюр наглядно показал её преимущество перед простым обобщением ремесленного опыта, сравнительно легко раскрыв секреты, тщательнейшим образом охраняемые зарубежными производителями. Будучи патриотом своей Родины, он старался всеми силами развить её промышленность, сделать конкурентоспособной её продукцию, и не его вина, что объективные экономические законы не позволили ему в полной мере осуществить задуманное.

**А.В. Чуриков**

*Магнитогорский государственный университет  
(Магнитогорск)*

## **НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ МЫСЛЬ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЧЕЛЯБИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Советский Союз в 30-е гг. совершил значительный прорыв в области науки и образования. В столице и регионах возникли новые высшие учебные заведения технической и гуманитарной направленности.

<sup>654</sup> René Antoine Ferchault De Réaumur from *Science and Its Times*. ©2005-2006 Thomson Gale, a part of the Thomson Corporation; Thomas Thomson. *The history of chemistry*. Vol. 1. London. 1830.

<sup>655</sup> В литературе встречаются весьма противоречивые сведения об этом замке. Версия о том, что это было родовое имение Реомюра, и там он проводил большую часть своих экспериментов, представляется маловероятной — дела Академии не позволили бы ему проводить столько времени вне Парижа, да и сам замок находится достаточно далеко от Вандев, откуда, как уже было отмечено, происходила семья Фершо. Также можно прочитать, что замок достался ему по наследству или был подарен другом. Скорее всего, замок принадлежал Томасу Фантель де Ланьи (*Thomas Fantel de Lagny*) — французскому математику и члену Академии наук, который вполне мог быть другом Реомюра. Фантель де Ланьи умер в 1734 г. и, таким образом, Реомюр вполне мог снять замок у его вдовы в 1755 г.

<sup>656</sup> Шушурин С.Ф. *Ирония славы, или чему равен градус Реомюра* // Химия и жизнь. №9. 1983. С. 79-83.