

# Металлургия и время

Энциклопедия



ОБЪЕДИНЁННАЯ  
МЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ  
КОМПАНИЯ

© ЗАО «Объединённая Metallургическая Компания»

Ю.С. Карабасов, П.И. Черноусов,  
Н.А. Коротченко, О.В. Голубев

# Металлургия и время

## Энциклопедия

Том 3. В авангарде инноваций.  
Промышленная революция и индустриализация



# Содержание

6

## Глава 1. 200 лет пути к совершенству

Почему это актуально? ♦ Происхождение угля ♦ Классификация углей ♦ Уголь для коксования в кучах ♦ Кучное коксование ♦ Проблемы кучного коксования ♦ «Шаумбургские стойла» ♦ Ульевые печи ♦ Коксовые батареи ♦ Коксовые печи Джонса ♦ Прогресс ульевых печей ♦ Шихта для коксования ♦ Ретортные и щелевые печи ♦ Печь братьев Аппольт ♦ Печи с горизонтальными камерами коксования ♦ Вертикалы ♦ Коксовая печь Коппе ♦ Улавливание продуктов коксования ♦ Регенеративные печи Отто-Хоффмана ♦ Фасонный кирпич Семет-Сольвея ♦ Регенераторы Копперса ♦ Чередующиеся вертикалы ♦ Динасовые огнеупоры ♦ Промежуточный финиш ♦ Коксовыталкиватели ♦ Установки сухого тушения кокса

28

## Глава 2. Бизнес - ангелы Джеймса Уатта

Почему это актуально? ♦ Бирмингем – город скульптур ♦ «Продавцы коров» - «золотые ребята» ♦ Обо всём по порядку ♦ Паровой котел Папена ♦ Паровой насос кузнеца Ньюкомена ♦ Джеймс Уатт ♦ Универсальный предприниматель Джон Робак ♦ Карронский завод ♦ Гений, ангел и посредник ♦ Тернии и соблазны ♦ Мэтью Болтон ♦ Демпинг – эффективный маркетинговый ход для «прорывных» инноваций ♦ Универсальная паровая машина ♦ Уильям Мёрдок ♦ Ключ к успеху заключался в кузнечной работе ♦ «Лунное общество»

44

## Глава 3. Прорыв в индустриальную цивилизацию

Почему это актуально? ♦ Прорывные инновации для Промышленных революций ♦ Металлургия железа накануне прорыва ♦ Такие разные инноваторы ♦ Железное кольцо на горле прогресса ♦ Кричные технологии индустриальной эпохи ♦ Крупповские черти ♦ Генри Бессемер – «британский самородок» ♦ Первые изобретения и жизненный опыт ♦ Маленькое эльдорадо Бессемера ♦ Универсальный изобретатель ♦ Артиллерийский капитан в роли оракула ♦ Свежий взгляд гениального «дилетанта» ♦ Отталкиваясь от Реомюра ♦ Направление прорыва ♦ Основополагающие патенты ♦ Вулкан в лаборатории ♦ Триумф, демпинг и детские болезни ♦ От лабораторных опытов к промышленной технологии ♦ Бессемеровский чугун ♦ Раскисление стали ♦ Шлифовка технологии ♦ Ферромарганец ♦ Сталь завоёвывает мир ♦ Рельсовая война ♦ Бои тяжеловесов ♦ Большое эльдорадо Бессемера ♦ Бессемер после стали

66

## Глава 4. Победа над фосфором

Почему это актуально? ♦ «Национальные» особенности технологии бессемерования ♦ Крепкий орешек ♦ Первосвященник английской металлургии ♦ Основная футеровка ♦ Научное обоснование ♦ Перфекционизм как тормоз прогресса ♦ Самый знаменитый клерк 19-го века ♦ Двойная жизнь судейского писаря ♦ Братская поддержка ♦ Патент за пальто и шампанское ♦ Удачное знакомство ♦ Знаменитость мирового масштаба ♦ Слава и смерть ♦ «Энтузиаст человеколюбия» ♦ Сталь для Deutsches Reich ♦ Миксер ♦ Томасшлак

76

## Глава 5. Индустриальная династия

Почему это актуально? ♦ Начало династии ♦ «Монетизация» технических знаний ♦ Первая английская экспедиция Вильгельма Сименса ♦ Британия навсегда ♦ Первые шаги всемирной корпорации ♦ Залог успеха фирмы - квалификация сотрудников ♦ Вернер фон Сименс ♦ Карл фон Сименс ♦ Фридрих Сименс ♦ Возрождение теплоты как цель жизни ♦ Регенератор ♦ Газогенераторы для «самопожигающих» печей ♦ «Король чистого эксперимента» ♦ Путь в металлургию ♦ Литая сталь Реомюра и Ухациуса ♦ Безуспешные попытки ♦ Луи Ле Шателье ♦ «Буаг и Рамбур» ♦ Форшамбо ♦ Эмиль Мартен ♦ Печь Сименсов, технология Мартенов ♦ Секреты Мартенов ♦ «Варка стали» ♦ Политическое мифотворчество ♦ Сталеплавильный процесс Сименса ♦ «Прямой» процесс Сименса ♦ Приём против лома ♦ «Морской» металл

- 100** Глава 6. Эпоха железных сплавов  
Почему это актуально? ♦ Предпосылки научных инноваций ♦ Исследования сплавов железа ♦ Начало промышленного производства легированной стали ♦ Тигельное производство ферросплавов ♦ Производство ферросплавов в вагранках ♦ Доменное производство ферромарганца, ферросилиция и феррохрома ♦ Проблемы производства доменных ферросплавов ♦ Преимущества получения ферромарганца в электропечах ♦ «Дредноуты» и «крупповские пушки»
- 114** Глава 7. Железная скоба, чугунная колонна, стальная балка  
Почему это актуально? Индийские железные колонны ♦ Китайские чугунные пагоды ♦ Греческие железные пироны ♦ Русские кованые затяжки ♦ Малые архитектурные формы эпохи абсолютизма ♦ Кованые решетки в стиле ампир и рококо ♦ Строительный материал Промышленной революции ♦ Невьянская башня ♦ Чугунные мосты ♦ Мосты из ковкого железа ♦ Чугунные и железные мосты в России ♦ Стальные мосты ♦ Здания на чугунном каркасе ♦ Александрийский театр ♦ Исакиевский собор ♦ Символ архитектуры эпохи Промышленной революции ♦ «Хрустальный дворец» ♦ Хрустальная гора и вокзал св. Панкраса ♦ Железобетон ♦ Башня Эйфеля ♦ Стальная каркасная конструкция ♦ Чикагская архитектурная школа ♦ Небоскрёбы ♦ «Вулворт билдинг» ♦ Нержавеющая корона Крайслер билдинг ♦ «Самолетоустойчивый» Эмпайр ♦ Гармония гуманитарных и технических знаний
- 144** Глава 8. Железная дорога в единую Европу  
Почему это актуально? ♦ Колея каменная и деревянная ♦ Чугунные дороги Коалбрукдейла ♦ Рельсы чугунные и железные ♦ Первый паровоз ♦ Великий самоучка Стефенсон ♦ Мировая железнодорожная паутина ♦ Вторичная металлургия и металлургические картели ♦ Дорога в единую Европу
- 152** Глава 9. Флагман эпохи легированных сталей  
Почему это актуально? ♦ Зарождение броненосного флота ♦ Корабль – черепаха «кобуксон» ♦ «Бомбические орудия» генерала Пексана ♦ Индустриализация артиллерийского производства ♦ Союз пара и стали ♦ «Слава» и «Воитель» ♦ «Монитор» – «дедушка» броненосного флота ♦ Странный бой с судьбоносными последствиями ♦ Катаная и кованая броня ♦ Бездымные пороха и закаленные снаряды ♦ Броня «сэндвич» (1871) ♦ Цитадельные броненосцы (1874) ♦ Броня «компаунд» (1876) ♦ Казематные, барбетные, башенные броненосцы (1876) ♦ Стальная броня «Ле Крезо» (1881) ♦ Нитроцеллюлозные пороха ♦ «Никелевая» броня (1891) ♦ Бронебойный наконечник Макарова (1893) ♦ Скорострельная пушка Шнейдера ♦ «Харвеевская» броня (1894) ♦ «Крупповская» броня (1900) ♦ Дредноут ♦ Бронева индустрия ♦ Конструкционные решения ♦ Корни научно-технической революции
- 172** Глава 10. Печь Эру открывает эру электрометаллургии  
Почему это актуально? ♦ Научный фундамент ♦ Из научной лаборатории в производство ♦ Рудовосстановительные электропечи ♦ Трёхфазные электропечи ♦ Новая эра литой стали ♦ Индукционные печи ♦ Металлургия электропечных ферросплавов
- 184** Приложение. Легендарные Боги-кузнецы  
Сефланс ♦ Вулкан ♦ Гоибниу ♦ Вёлунд ♦ Ильмаринен
- 190** Приложение. Вулканы девятнадцатого столетия  
Рычажные молоты в эпоху Промышленной революции ♦ Аристократическая фамилия ♦ Модель для Модлея ♦ Между каналом и железной дорогой ♦ Ось для «Great Britain» ♦ «Преждевременное» изобретение ♦ Паровой молот Несмита ♦ Паровой копер и «паровая рука» ♦ Мужественное решение ♦ Символ Промышленной революции ♦ Гидравлические прессы ♦ Штамповочный пресс Газвелла ♦ Ковочный пресс Витворта
- 200** Рекомендуемая литература
- 204** Указатель имен и названий
- 214** Хронологическая таблица

## Глава 1

# 200 лет пути к совершенству

Как только стало известным, и было оценено по достоинству то обстоятельство, что при достаточно высокой температуре можно получать кокс прекрасного качества из менее спекающихся углей – все усилия изобретателей были направлены к тому, чтобы построить печи, в которых получалась бы возможно более высокая температура.

**Промышленность и техника. Энциклопедия промышленных знаний.  
Том 5. Горное дело и металлургия. 1901**





**С**НАЧАЛОМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАМЕННОГО УГЛЯ для производства кокса было установлено, что далеко не все угли способны дать кокс, пригодный для доменной плавки. Кроме того, первоначально применяемый способ кучного коксования, доставшийся новому топливу «по наследству» от древесного угля не позволял использовать в металлургии угольную мелочь и измельченный уголь (концентрат), подвергнутый обогащению – отделению сопутствующей (пустой) горной породы. Эти два обстоятельства дали толчок к началу двухвековой работы инженеров-конструкторов, результатом которой стало создание в начале XX в. технологии производства кокса, сохранившейся в общих чертах до нашего времени.

### ПОЧЕМУ ЭТО АКТУАЛЬНО?

Мы живем в век инновационной индустрии, когда наука наравне с техникой определяет основные пути развития технологий и производств. Но откуда «берутся» инновационные технологии и можно ли прогнозировать их появление? Как можно предсказать научно-технический прорыв? Где, выражаясь языком стратегии, должен быть нанесён главный интеллектуальный удар? История коксохимического производства представляет собой нагляд-

ный пример эффективной реализации грамотного научного прогноза. Особый интерес представляет тот факт, что, активно развиваясь на протяжении 200 лет, технология производства кокса из каменного угля не претерпела значимых изменений (изменения касаются в основном внедрения автоматики и увеличения размеров печей). За 200 лет технология коксохимического производства фактически достигла совершенства.

### ПРОИСХОЖДЕНИЕ УГЛЯ

Уголь – это ископаемое топливо, образовавшееся из частей древних растений под землей без доступа кислорода. Угольная масса формируется в условиях, когда гниющий растительный материал накапливается быстрее, чем происходит его бактериальное разложение. Идеальная обстановка для этого создаётся в болотах, где стоячая вода, обеднённая кислородом и обогащенная органическими кислотами, препятствует жизнедеятельности бактерий, разрушающих погибшие растения. Так возникает торф – исходный материал для образования угля. Если затем происходит его захоронение под наносами, то торфяная масса под воздействием давления и температуры, теряя воду и газы, преобразуется в угольные пласты.



Таблица – Классификация каменных углей Л. Грюнера (сокращённый вариант)

Тип угля	Содержание углерода (общ.), % (масс.)	Выход летучих веществ при коксовании, % (масс.)	Выход кокса, % (масс.)	Свойства кокса (коксового остатка)
Сухие или длиннопламенные (песочные)	70-80	45-40	55-60	Пористый, рассыпчатый (песочный) или немного спёкшийся
Жирные длиннопламенные или газовые	80-85	42-32	60-68	Спёкшийся, но сильно вспученный
Жирные или кузнечные	84-89	32-26	68-74	Хорошо спёкшийся (сплавленный), средней плотности
Коксовые	88-91	26-18	74-82	Хорошо спёкшийся (сплавленный), очень плотный
Тощие или антрацитовые	90-93	18-10	82-90	Слабо спёкшийся
Антрациты	93-95	10-8	90-92	Порошок

В древних торфяных болотах, начиная с девонского периода (примерно 400 млн лет назад), накапливалось органическое вещество, из которого формировались ископаемые угли. Большинство промышленных месторождений каменного угля относится к этому периоду, хотя известны и более молодые месторождения.

На первой стадии процесса углеобразования торф превращается в бурый уголь с содержанием углерода 65—70 %. Углерод в углях находится в составе различных органических соединений, часть из которых при нагревании переходит в состав летучих веществ (летучий углерод), а часть остаётся в коксовом остатке (нелетучий углерод). Здесь и далее, если прямо не указано, о каком углероде идёт речь, имеется в виду их сумма (общий углерод).

Бурый уголь залегает на глубине примерно 1 км и содержит до 43 % влаги и до 50 % летучих веществ. При дальнейшем опускании на глубину до 3 км, из бурого угля образуется каменный уголь. Угли, которые к нашему времени стали каменными, начали образовываться в палеозое, преимущественно в каменноугольном периоде, примерно 300—350 млн. лет назад из остатков древовидных папоротников, хвощей и плаунов, произраставших в то время в огромных количествах, а также первых голосеменных растений. Содержание углерода в каменном угле, в зависимости от его сорта, составляет от 75 до 95 %, они содержат до 12 % влаги и до 32 % летучих веществ.

Самый древний из ископаемых углей – антрацит – образуется из каменного угля при дальнейшем повышении температуры и давления на глубине до 6 км. Он содержит около 95 % (масс.) углерода, и имеет наиболее высокую степень «углефикации».

### КЛАССИФИКАЦИЯ УГЛЕЙ

Для процесса коксования определяющее значение имеет то обстоятельство, что каменные угли с разной степенью

углефикации существенно различаются по свойствам. До изобретения коксования, при использовании углей непосредственно в виде топлива, достаточно было знать: может ли уголь гореть печак или очагах? Бурый уголь сложно поджечь из-за высокого содержания влаги, а антрацит – из-за высокой плотности и практически полного отсутствия летучих веществ. При использовании каменного угля в качестве сырья для производства кокса потребовались специальные знания о его поведении в процессе коксования и влиянии на свойства получаемого продукта.

Одной из первых научных классификаций углей с точки зрения пригодности для коксования стала классификация известного французского металлурга Луи Грюнера. Конечно, к настоящему времени созданы более подробные и всеобъемлющие классификации, однако, для того чтобы иметь представление о свойствах каменных углей и понять логику развития процессов коксования, этой классификации вполне достаточно. Из неё хорошо видно, как меняется поведение угля при коксовании с увеличением содержания углерода и снижением выхода летучих веществ.

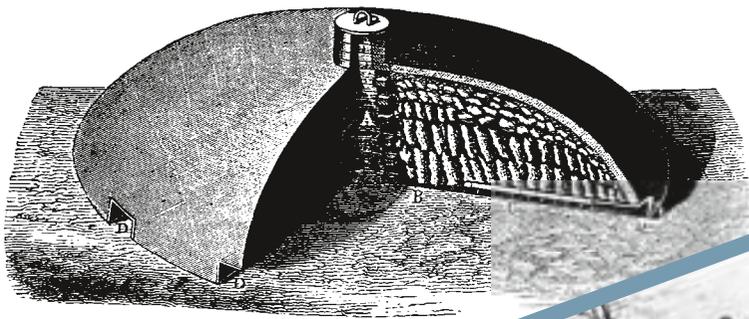
### УГОЛЬ ДЛЯ КОКСОВАНИЯ В КУЧАХ

В начале использования каменных углей для производства кокса технология коксования мало чем отличалась от выжига в кучах древесного угля. Источником тепла было сжигание части угля и выделяющихся из него летучих веществ в слое коксующего угля, что требовало ограниченного, но постоянного притока воздуха внутрь кучи для поддержания горения.

Человеку, знакомому с современным коксохимическим производством, может показаться необычным и даже невероятным, что коксующиеся угли, ко-



ЭММАНУЭЛЬ-ЛУИ  
ГРЮНЕР



Куча для коксования каменного угля  
по А. Ледебуру

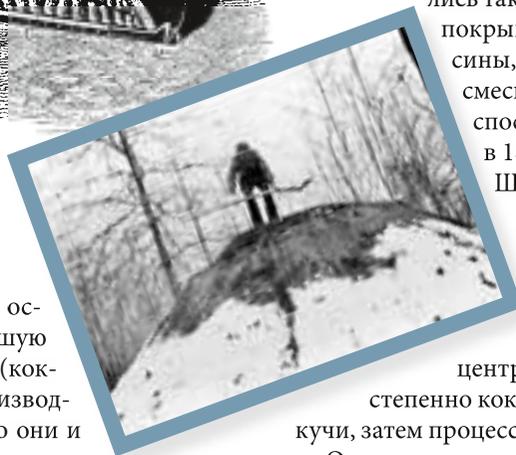
торые в наши дни представляют основу технологии и имеют наибольшую ценность – жирные и коксовые (коксующиеся) – в то время для производства кокса не использовались. Но они и не могли использоваться, поскольку при нагревании спекались в монолитную массу, что делало невозможным приток воздуха в кучу и дальнейший ход процесса.

Для коксования в кучах лучше всего подходил кусковый неспекающийся или слабо спекающийся уголь с низким выходом летучих веществ. Можно было использовать и уголь с высоким выходом летучих веществ, но при этом, во-первых, существенно уменьшался выход кокса, а во-вторых снижалась производительность, потому что для получения кускового кокса требовалось уменьшать скорость коксования.

### КУЧНОЕ КОКСОВАНИЕ

Каменноугольный кучной кокс производился либо рядом с местом его использования, либо рядом с местом добычи угля, таким образом, пропала необходимость перемещать и обустроить заново площадку для кучи (ток), как это имело место при выжиге древесного угля. Ток для коксования представлял собой стационарную выложенную кирпичом площадку с кирпичной трубой в центре. Так как уголь в куче был сложен более плотно, чем дрова, и воспламенялся труднее, то труба должна была обеспечить тягу более сильную, чем при обугливания древесины.

Для зажигания кучи в трубу помещали древесную стружку на высоту около полуметра, а вокруг трубы размещали около кубического метра стружки и мелких кусков дерева. После этого начинали укладку угля. Самые крупные куски складывали ближе к трубе; из них же складывали расположенные в подошве кучи радиальные каналы для зажигания и подвода воздуха, которые иногда дополняли кольцевыми каналами.



По мере удаления от трубы и от подошвы размер кусков уменьшался, поэтому в этой части каналы выкладывали из кирпича, причём боковые кирпичи ставили с зазором для обеспечения прохода воздуха и газов. Помимо подошвы, каналы, ведущие к трубе, выкладывались также в верхней части кучи. Сверху куча покрывали, как и при обугливания древесины, плотным слоем коксового мусора – смеси порошкового кокса с землёй (такой способ изоляции был впервые применён в 1801 г. на заводах Муиркирк и Клайд в Шотландии).

Зажигание производили через трубу или через горизонтальные каналы в подошве, помещая в центр кучи куски раскалённого угля. От стружки и дерева загорался уголь в центре кучи, а затем вблизи каналов. Постепенно коксованию подвергалось всё основание кучи, затем процесс распространялся к верхней её части.

О ходе коксования судили по виду выходящего из кучи пламени. По мере перемещения области коксования, ту часть кучи, где процесс уже завершился, покрывали коксовым мусором от предыдущих операций, который хорошо уплотняли для предотвращения доступа воздуха. Когда область коксования доходила до верха кучи, закладывали каналы в основании (если они ещё не завалились сами по себе). Сигналом к окончанию процесса был голубой цвет выходящего из трубы пламени, трубу закрывали и замазывали, а кучу оставляли примерно на сутки. После этого начинали разборку кучи, причём с подветренной стороны, чтобы предотвратить возгорание кокса. Тушение раскаленного кокса осуществляли водой.

Обычно куча имела в высоту 1,5–2 м, диаметр 3 м и вмещала 10–30 т угля. Продолжительность коксования составляла 6–8 суток. Выход кокса не превышал 65 % от массы угля, поскольку часть угля и кокса сгорала для обеспечения нагрева и из-за неизбежного поступления в кучу воздуха.

Помимо круглых куч коксование иногда осуществляли в «длинных кучах» или «хребтах». Такие кучи не имели кирпичных труб, каналы для газов организовывали путём специальной укладки угля; зажигание производилось сверху, и коксование шло, соответственно, сверху вниз.

### ПРОБЛЕМЫ КУЧНОГО КОКСОВАНИЯ

Помимо высоких требований к свойствам углей, что существенно ограничивало сырьевую базу, и больших потерь, кучное коксование обладало и другими существенными недостатками: практически полным отсутствием возможности управления процессом и нестабильностью свойств производимого кокса. Ещё одной проблемой

было образование «невыстробованной» угольной мелочи, количество которой могло достигать 50 % от массы добываемого угля, и которая практически не находила применения.

Кучное коксование приводило к задымлению окрестных населённых пунктов и, естественно, вызвало протесты жителей и администрации. В европейских странах это делало проблему совершенствования технологии коксования весьма насущной. Например, в Германии в 1832 г. коксовое производство перешло под контроль горного ведомства, которое систематически ужесточало требования к воздействию на окружающую среду, что в итоге привело к внедрению полуоткрытых, а затем и закрытых коксовых печей.

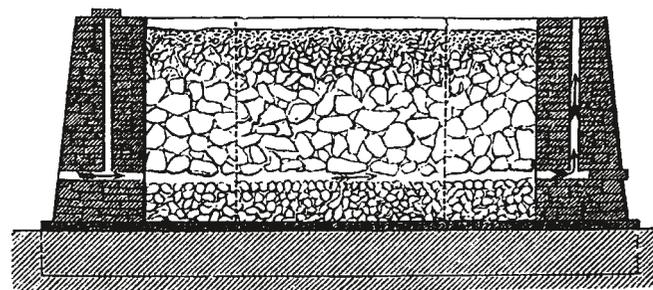
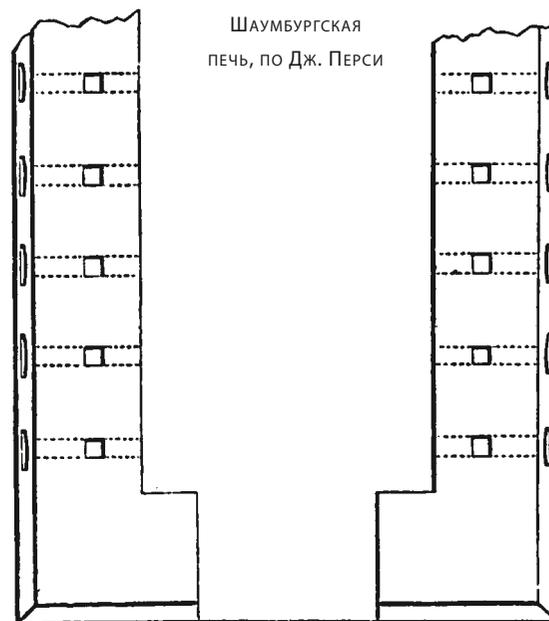
Несмотря на указанные недостатки, долгое время кучное коксование было единственным способом получения из каменного угля топлива для доменной плавки. Способ кучного коксования практически прекратил своё существование лишь в середине XIX в., но вблизи шахт, где добывали подходящий уголь (угольные копи в графстве Стаффордшир (Великобритания) и Верхней Силезии (Германия)), а также в случае нехватки коксовых печей (например, завод в Серене (Бельгия)), он использовался до конца XIX в.

### ШАУМБУРГСКИЕ СТОЙЛА

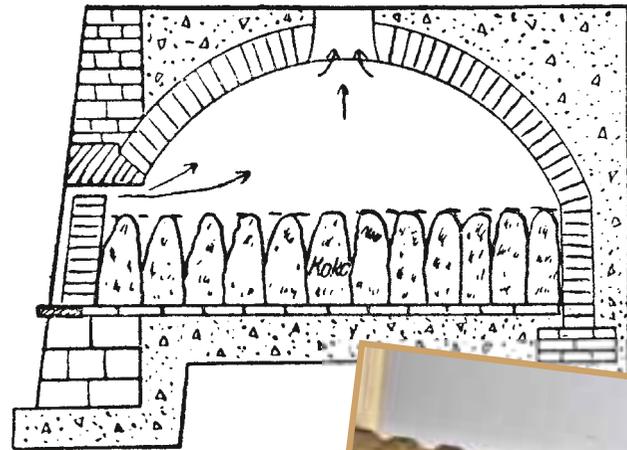
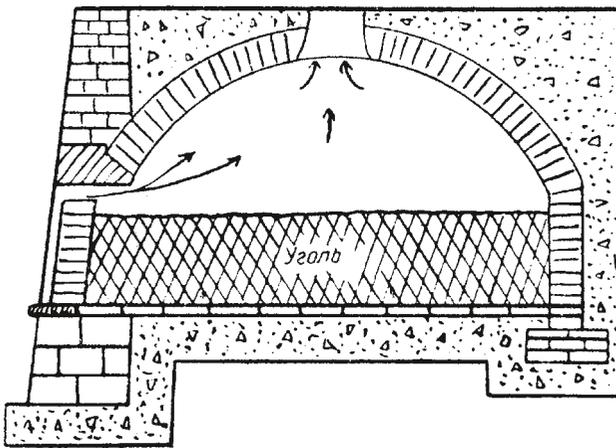
Для решения проблем кучного коксования были разработаны печи полуоткрытого типа (куча считается открытой печью), представлявшие собой две параллельные кирпичные стены, между которыми загружали увлажнённый мелкий уголь. Во второй четверти XIX в. в Европе получили широкое распространение печи такого типа, получившие названия шамбургских печей (также использовались названия: шамбургские стойла и стойловая печь). Своё название они получили, потому что были впервые описаны в литературе в 1851 г. Брандом, управляющим металлургического завода в Гляйвице в княжестве Шаумбург-Липпе (Верхняя Силезия).

Шаумбургская печь представляла собой две параллельные кирпичные стены длиной 8—20 м и высотой 1—1,6 м, расположенные на расстоянии 1,5—2,3 м друг от друга. Торцовые части стен клались на сухую (без раствора) и разбирались каждый раз перед выгрузкой кокса. В стенах были предусмотрены вертикальные каналы для создания тяги и удаления газообразных продуктов коксования и горизонтальные каналы для поступления воздуха.

Увлажнённый уголь загружали слоями, каждый слой тщательно утрамбовывали. Поскольку коксованию в таких печах подвергали мелкий спекающийся уголь, то требовалось решить проблему поступления воздуха внутрь угольной массы. С этой целью при загрузке в уголь помещались деревянные шесты, которые извлека-



Коксовые печи шамбургского типа (17×4×2,5 м) на коксовом заводе в г. Сиджин, пров. Ляонин, Китай, 2006 г.



Разрез ульевой печи поздней конструкции:  
слева – после загрузки угля, справа – после окончания коксования

лись через отверстия в кладке после окончания загрузки. Затем утрамбованный уголь покрывали слоем глины и через отверстия в кладке в каналы вводили раскалённый уголь.

Интенсивность процесса можно было регулировать с помощью открытия и закрытия вытяжных труб. Кроме того, «оператор» такой печи должен был постоянно поддерживать каналы в рабочем состоянии, поскольку они могли быть перекрыты обвалившимися или спёкшимися кусками угля, что привело бы к ухудшению хода процесса.

Коксование продолжалось в течение 4—7 дней. Выход кокса составлял 50—55 % от массы угля. Столь низкий выход кокса по сравнению с кучным коксованием объясняется тем, что использовались угли с более высоким выходом летучих веществ.

В период своего наивысшего развития шаумбургские печи имели размеры до 27 м в длину, до 4,5 м в ширину и более 2 м в высоту. Такие размеры позволяли коксовать до 150 т угля. Наиболее широкое распространение мощные стойловые печи получили на заводах Южного Уэльса. Благодаря простоте и низким капитальным затратам на строительство, шаумбургские стойла использовались в Европе до начала XX в., а на некоторых мелких предприятиях Китая — вплоть до настоящего времени.

## УЛЬЕВЫЕ ПЕЧИ

По аналогии с печами, издавна использовавшимися для производства древесного угля и представлявшими собой каменный аналог кучи, для коксования каменного угля также стали применять куполообразные печи. Из-за своей характерной формы они получили название ульевых печей (bee-hive oven). По принципу действия они были близки к печам для выпечки хлеба, поэтому их также

называли (в том числе в России) булочными печами.

Ульевые коксовые печи, впервые появившиеся в Великобритании в начале XIX в., представляли собой замкнутое, перекрытое сверху сводом пространство с круглым, а позднее продолговатым основанием. В своде предусматривалось отверстие для загрузки угля и выхода газов, на уровне пода — дверь для выгрузки кокса.

После постройки печи проводили её сушку, сжигая внутри печи уголь; затем количество угля увеличивали, обеспечивая глубокий прогрев кладки печи. Когда стенки печи раскалялись, в неё загружали уголь так, что он образовывал на поду слой высотой примерно 60 см. Из-за высокой температуры в печи уголь сразу же начинал выделять летучие вещества. Необходимая для коксования температура обеспечивалась путём сжигания в пространстве под сводом выделяемых летучих веществ, для чего в печь через разгрузочную дверь и специальные каналы поступал воздух. Такая конструкция позволяла регулировать интенсивность подачи воздуха и контролировать ход процесса.

Из-за того что подвод тепла осуществлялся только с одной стороны (сверху), коксование шло медленно (2-3 суток), свойства, а значит и качество, кокса было неравномерным по высоте слоя, кроме того, можно было использовать только хорошо спекающиеся коксовые и жирные угли. Усадка происходила в горизонтальном направлении, поэтому готовый кокс имел форму призм-сталагмитов, покрытых отложениями графита, образовавшегося при разложении газообразных продуктов коксования.



БАТАРЕЯ УЛЬЕВЫХ КОКСОВЫХ ПЕЧЕЙ (СОВРЕМЕННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ)



После окончания коксования дверь открывали, специальными клюшками выгребали кокс и заливали его водой. Для обеспечения непрерывности процесса загружать новую порцию угля было необходимо сразу же после выгрузки, пока кладка печи сохраняла высокую температуру. При коксовании в ульевых печах часть кокса неизбежно сгорала, однако выход его был на 10—15 % выше, чем при коксовании в кучах или шаумбургских печах.

Ульевые печи обладали многими недостатками: угара кокса, ограниченность используемых сортов угля, неравномерность свойств кокса, низкая производительность, большие потери тепла через кладку, неравномерность температуры по сечению печи (у стен ниже), выпуск непосредственно из печи газов, которые «дают много дыма и неприятны для окрестности».

### КОКСОВЫЕ БАТАРЕИ

Проблему низкой производительности решили путём строительства нескольких печей, которые объединялись в батарею с общей системой загрузки угля и выгрузки кокса. Для решения проблемы дымовых газов стали применять устройство сборного канала (борова), в который поступали газы от всех печей батареи. Боров соединялся с дымовой трубой, через которую и удалялись дымовые газы.

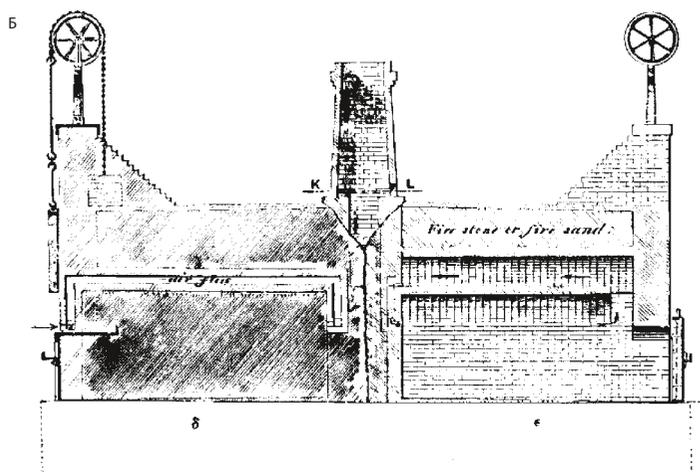
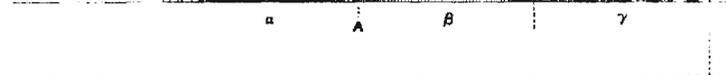
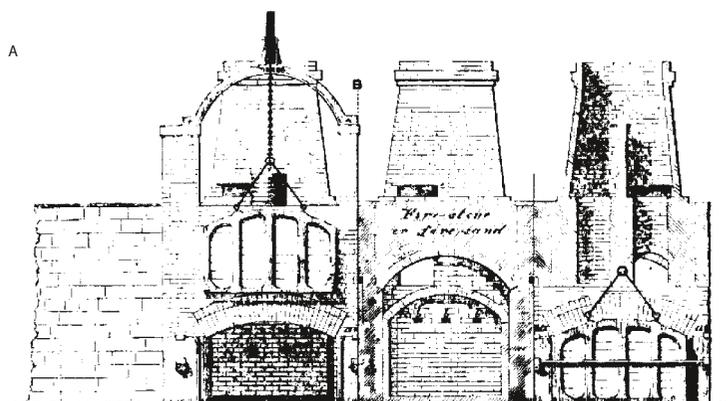
Для повышения качества кокса и снижения потерь тепла перешли от печей с круглым основанием к печам с прямоугольным основанием. При этом печи в батарее ставили вплотную друг к другу, объединяли общей передней стенкой, а сзади и сверху засыпали землёй. Земляная насыпь играла роль теплоизоляции, а также способствовала удобству операций загрузки.

Выгребание кокса из ульевой печи, США, 1910-е гг.





БАТАРЕЯ ИЗ ТРЁХ УЛЬЕВЫХ ПЕЧЕЙ С ОБЩЕЙ ДЫМОВОЙ ТРУБОЙ



Коксовая печь конструкции Кокса: а – фронтальный вид;  
б – продольный разрез (справа – разрез камеры, слева – стены)

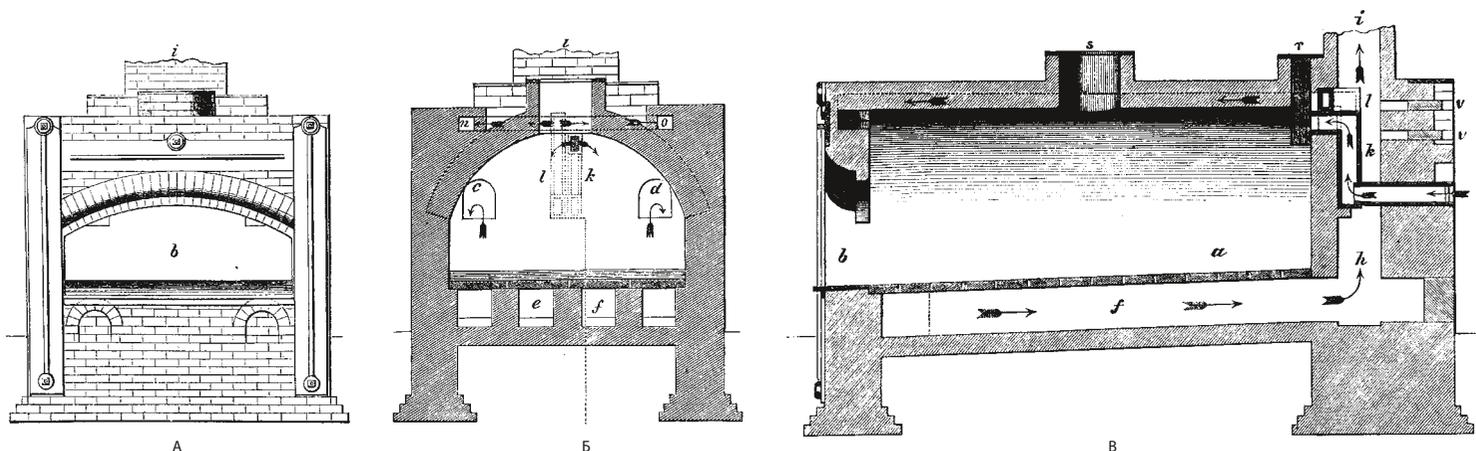
Постепенно внедрялись всё более совершенные проекты ульевых печей, которые позволяли повышать качество получаемого кокса и снижать затраты на его производство. К наиболее удачным относятся конструкции Кокса и Джонса.

Коксовая печь Кокса, запатентованная в 1840 г. представляла собой двухрядную батарею камер для коксования, т.е. два ряда камер располагались «спина к спине», при этом спаренные камеры имели общую дымовую трубу. Воздух поступал в печь через каналы в боковых стенах, попутно нагреваясь от них, а дымовые газы уходили не сразу в дымовую трубу, а первоначально в полость под сводом камеры. Наличие каналов позволяло регулировать интенсивность подачи воздуха для горения.

Благодаря этим конструктивным решениям, температура в камере была выше, чем в печах традиционной конструкции, что позволяло на треть увеличить толщину слоя угля (а, значит, и производительность), а также повысить выход годного кокса. По этой причине, несмотря на то, что затраты на строительство печей Кокса были значительно выше по сравнению с печами старой конструкции, они быстро окупались.

### КОКСОВЫЕ ПЕЧИ ДЖОНСА

Революционной стала конструкция коксовых печей, предложенная Эдвардом Джонсом, управляющим заводом Russel's Hall Furnaces около Дарби (Великобритания). Основная её особенность состояла в том, что нагрев угольной загрузки осуществлялся не только сверху, но и снизу – для этого дымовые газы поступали в каналы под подом камеры. Через дымоход проходили две чугунные трубы, по которым в печь подавался воздух для горения, так что отходящие дымовые газы подогревали его. Одна из труб подавала воздух через отверстие в задней стене, а вторая – через отверстие в передней стене, что способствовало равномерному обогреву всей пло-



щади угольной шихты. Для регулирования интенсивности подачи воздуха обе трубы снабжали задвижками.

В своде было предусмотрено два отверстия, которые закрывали чугунными крышками — одно, круглое, в середине печи, второе, прямоугольное, вдоль задней стенки. Первое служило для загрузки угля, а второе — для работ по выгрузке готового кокса. Перед началом процесса дверь печи закладывали кирпичом (без раствора), а снаружи вертикально ставили металлический лист. Пространство между кладкой и листом засыпали коксовой мелочью и пылью для предотвращения подсосов воздуха в печь.

В качестве шихты использовали мелкий жирный уголь, который смешивали с дроблёным каменноугольным пеком (тяжёлый остаток от перегонки каменноугольной смолы), что позволяло получать высококачественный металлургический кокс. Коксование заканчивалось через 36 ч., но из соображений удобства организации труда выгружать кокс начинали только через 48 ч. Выход готового кокса составлял 65 % от массы шихты.

Печи Джонса объединяли в батареи (два ряда по 10 печей, расположенные «спина к спине»), сверху каждого ряда прокладывали рельсы для подвоза угля. В середине XIX в. коксовые печи системы Джонса были наиболее совершенными агрегатами, как с точки зрения теплотехнической, так и организационной эффективности процесса.

### ПРОГРЕСС УЛЬЕВЫХ ПЕЧЕЙ

В середине XIX в. ульевые печи массово использовались в странах Европы, в первую очередь в Великобритании; при этом они отличались разнообразием конструкций. Позднее, к концу века, они были вытеснены печами щелевого типа, зато в США в это время ульевые печи получили самое широкое распространение.

В США применялись «классические» ульевые печи без обогрева снизу, без предварительного подогрева воздуха

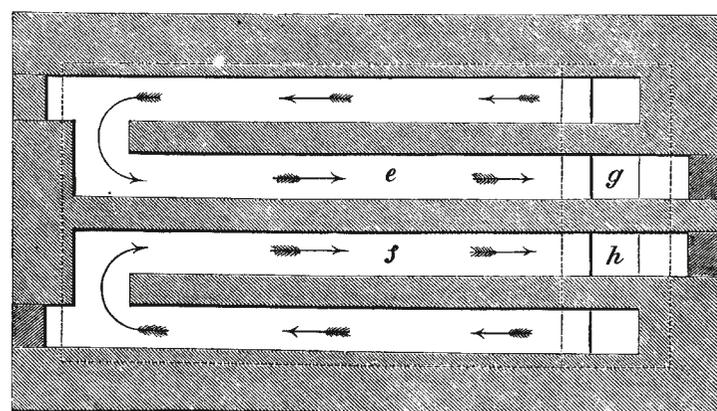
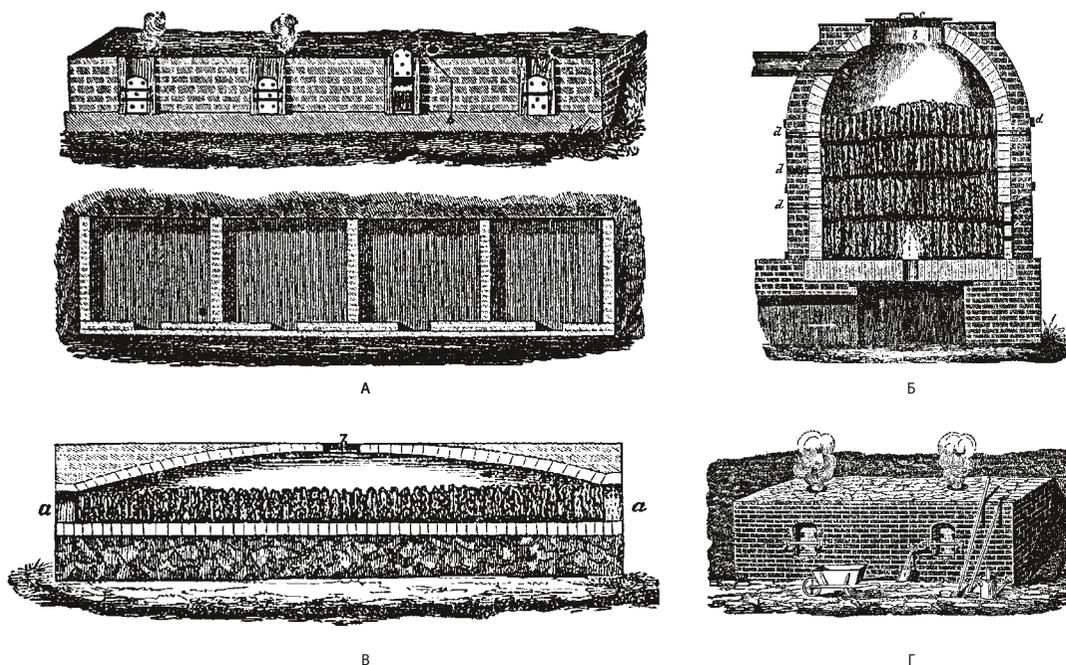


Рис. 10. Коксовая печь конструкции Джонса:

А — ФРОНТАЛЬНЫЙ ВИД; Б — ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ; В — ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ;

Г — ПODOВЫЕ КАНАЛЫ





Различные конструкции ульевых (булочных) коксовых печей:  
 А – Великобритания (внешний вид и разрез), Б – Германия (с улавливанием смолы),  
 В – Франция (с двусторонней выгрузкой), Г – США

*В США и сейчас разрабатываются агрегаты, которые являются прямыми потомками ульевых печей. Новые коксовые батареи сделаны на современном техническом уровне и лишены недостатков, присущих классическим ульевым печам. Отходящие газы используются для производства электроэнергии.*

и даже без трубы, которую заменяло отверстие в своде камеры. Это было обусловлено предельно низкой стоимостью строительства и эксплуатации ульевых печей. Несколько десятков печей объединяли в двухрядные батареи с общей задней стенкой, сверху прокладывали железнодорожные пути для специального углезагрузочного вагона.

Благодаря дешевизне, простоте конструкции и эксплуатации ульевые печи использовались в США до середины XX в.; до недавнего времени они широко применялись в Китае. Со временем печи были автоматизированы: загрузочные вагоны были снабжены сначала паровым, а позже электрическим приводом, а выгрузка стала осуществляться специальной машиной.

В США и сейчас разрабатываются агрегаты, которые являются прямыми потомками ульевых печей. Новые коксовые батареи сделаны на современном техническом уровне и лишены недостатков, присущих классическим ульевым печам. Отходящие газы используются для производства электроэнергии.

Первый современный завод с ульевыми коксовыми печами построен в США в 1998 г. фирмой Sun Coal and Coke.

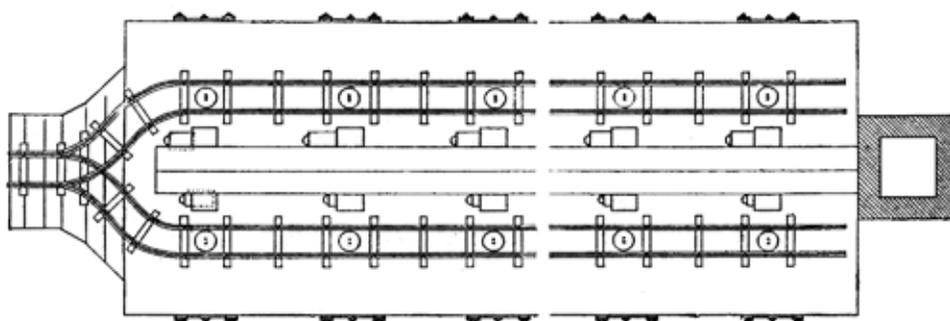
Он производит 1,3 млн т кокса в год и 75 МВт электроэнергии. В настоящее время печи такого типа помимо США эксплуатируются также в Китае, Индии, Австралии, Бразилии, Колумбии и Перу.

### **ШИХТА ДЛЯ КОКСОВАНИЯ**

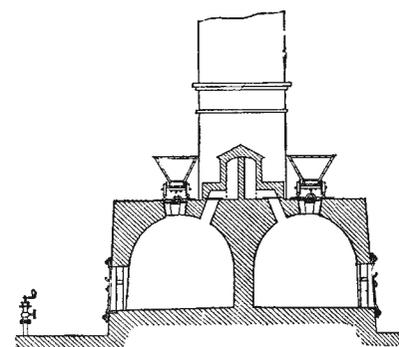
Использование для коксования печей даже таких простых конструкций, как шаумбургские и ульевые, позволило решить важнейшую проблему – использовать «отмытый», обогащенный уголь.

Дело в том, что для операции обогащения уголь сначала надо мелко раздробить, а затем каким-либо способом, чаще всего промывкой, отделить собственно угольное вещество от соединенных с ним частиц сланца и прочей пустой породы. Использовать получавшуюся при этом в большом количестве низкозольную мелочь для кучного коксования было невозможно. По этой причине для него требовался низкозольный кусковый уголь – пустая порода при сгорании кокса переходила в золу, а большое количество золы отрицательно влияло на работу доменных печей.

Однако шаумбургские и ульевые печи не решили другие важные проблемы кучного коксования – невоз-



А



Б



В



Г



Д

Американские ульевые коксовые печи конца XIX в.:

А, Б – вид сверху и разрез, по Дж. Перси, в – завод Кардифф, шт. Колорадо, около 1888 г. (фото Loco Steve), г – завод Тасома Coal & Coke Co. (25 печей построено в 1885 г. и ещё 50 в 1891 г.); д – печи завода Calumet Coke Ovens, принадлежащего Н. С. Frick Coke Company

возможность использования плохо спекающихся углей с низким выходом летучих веществ (тощих или антрацитовых по классификации Грюнера), которые обеспечивают самый высокий выход кокса, и неравномерность свойств кокса.

Для использования плохо коксующихся углей, антрацита и коксовой мелочи, был разработан способ их смешивания с хорошо коксующимися углями, которые служили цементирующей матрицей, обеспечивающей прочность кокса. Первый патент на смешивание для коксования углей разных сортов был получен английским промышленником Буддом в 1850 г. Вскоре было замечено, что такое смешивание улучшает результаты коксования – коксующийся уголь меньше вспучивается, кокс получался более прочным, а присутствие в смеси углей с высоким содержанием углерода увеличивает выход кокса. Это послужило основой для дальнейшего использования для коксования вместо отдельных сортов угля их смеси – шихты.

## РЕТОРТНЫЕ И ЩЕЛЕВЫЕ ПЕЧИ

Для решающего технического прорыва применения угольной шихты было недостаточно, требовалась разра-



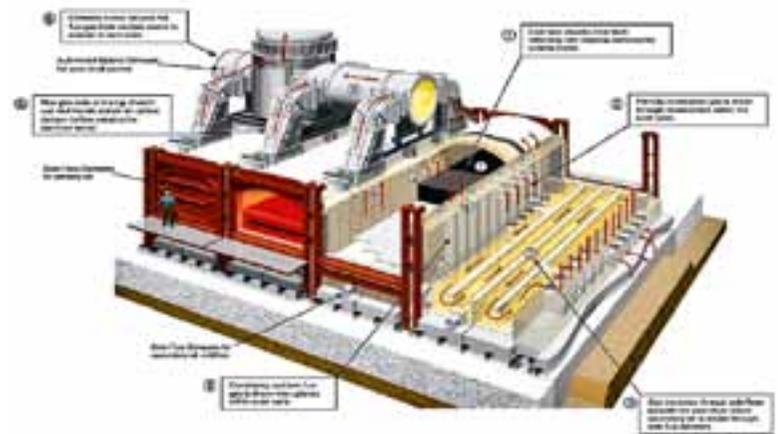
«Автоматизация»  
ульевых печей:  
А – ЗАГРУЗОЧНЫЕ  
ВАГОНЫ, ПРИВОДИМЫЕ  
В ДВИЖЕНИЕ ПАРОВО-  
ЗОМ; Б – ЭЛЕКТРИЧЕ-  
СКИЕ ЗАГРУЗОЧНЫЕ  
ВАГОНЫ; В – МАШИНА  
ДЛЯ ВЫГРУЗКИ КОКСА

ботка принципиально новых коксовых печей. Ведущую роль в этом процессе со второй половины XIX в. играли Германия, Франция и Бельгия, обладавшие большими запасами плохо спекающихся углей с низким выходом летучих веществ и имевшие насущную потребность в увеличении объёма выплавки чугуна и стали.

Логика конструкторов была понятной – требовалось создать печь, в которой:

- уголь находится в тонком слое для быстрого и хорошего прогрева;
- температура достаточно высока для коксования плохо спекающихся углей;
- подвод тепла осуществляется равномерно по всему объёму угольной загрузки;
- отсутствует контакт угля и кокса с воздухом.

Для обеспечения последнего условия было необходимо сжигать летучие продукты коксования вне ка-



Устройство коксовой печи конструкции  
фирмы SUN COKE

меры, в которой проходит процесс. Печи подобного рода получили название «ретортных» по аналогии с химическими ретортами, нагреваемыми извне. Для обеспечения первых трёх условий реторты, то есть камеры для коксования, делали в виде узких длинных параллелепипедов (точнее призм, поскольку со стороны выдачи кокса камера была шире), обогреваемых с боковых сторон, имевших наибольшую площадь, а в некоторых конструкциях также снизу и с торцов. Ширина камеры составляла от 0,4 до 1,0 м и зависела от способности углей спекается — чем она меньше, тем камера уже.

Продолжительность коксования в ретортных печах составляла 24—60 ч., а выход кокса достигал 70—73% от массы угля. Поскольку объём и, следовательно, производительность одной камеры была невелика (40—45 т кокса/месц), то камеры объединяли в батареи. Сжигание летучих веществ осуществлялось в пространстве между камерами коксования, для чего туда подавался воздух.

Во всех конструкциях использовались загрузка шихты сверху с помощью углезагрузочного вагона и прочие операции по групповому обслуживанию печей, благополучно дошедшие до наших дней. Готовый кокс после открытия дверей в фасадных стенах выталкивался штангой из горизонтальных камер или удалялся снизу через подину в вертикальных камерах.

Коксование шло непрерывно – после выгрузки кокса в камеру сразу засыпалась новая порция угольной шихты. Избыточное тепло газа («жар-газ») часто использовали для получения пара, который требовался для приведения в действие обслуживающих печь механизмов. Камера коксования могла располагаться вертикально и горизонтально.

Существовали также опытные конструкции печей: с наклонной осью (Пауэлс и Дюбоше); кольцевые, когда ка-

меры коксования располагались по кругу; двухэтажные (Фроммон), когда газы из нижнего ряда камер поступали в верхние; двухрядные (Дюлэй), когда два ряда камер объединялись общей задней стенкой. Однако во всех подобных конструкциях выгрузка могла осуществляться только вручную.

### ПЕЧЬ БРАТЬЕВ АППОЛЬТ

Удачным примером коксовой печи с вертикальной камерой может служить печь, разработанная братьями Аппольт в 1854 г. Камеры этой печи для большей устойчивости связывали между собой отдельными кирпичами, идущими от одной камеры к другой. Камеры размещали в два ряда по 6—9 агрегатов внутри общего кирпичного кожуха, в котором сжигались летучие продукты коксования.

В нижней части камер располагались отверстия, через которые газообразные продукты коксования удалялись в топочное пространство печи. Там они смешивались с воздухом и сгорали. Выделяемое при этом тепло через стенки камер передавалось коксуемой угольной массе, а дымовые газы через специальные каналы поступали в трубу. Тягу можно было регулировать специальной заслонкой в дымовом канале.

В нижней части печи, под камерами, располагался ход высотой примерно 1,8 м, в который ставили вагончики для приёма готового кокса. Выгрузка осуществлялась из нижней части камер коксования.

Благодаря «стоячей» конструкции камеры отношение поверхности нагрева к объёму камеры у печи Аппольтов было почти в два раза больше, чем у печей с горизонтальными камерами. Однако высокие капитальные затраты на строительство (в 2 раза больше, чем у печей с го-

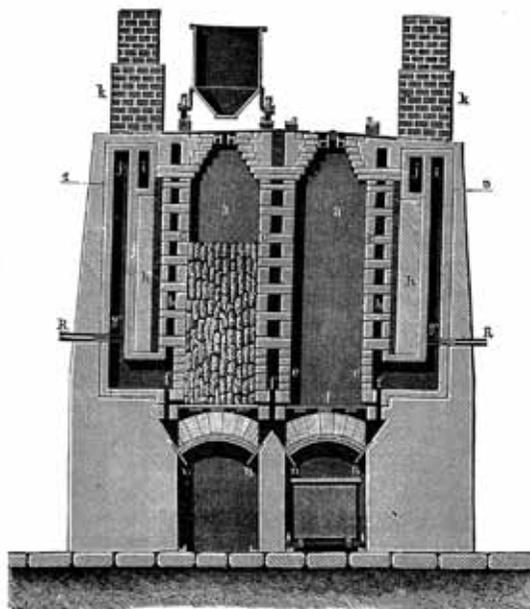
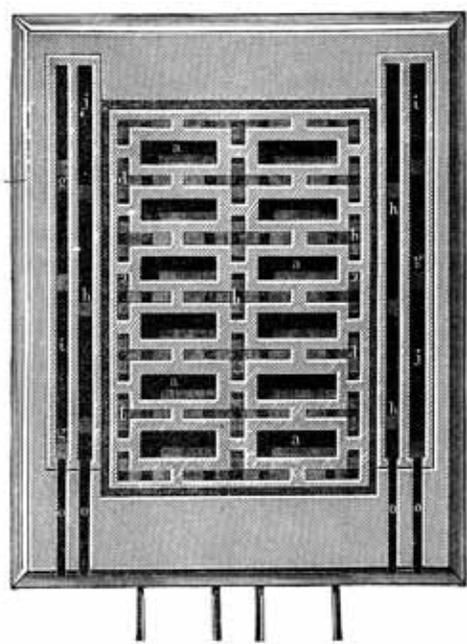
ризонтальными камерами) и сложности в эксплуатации (для ремонта одной камеры надо было останавливать всю печь) сводили на нет многие её достоинства.

Позднее в конструкцию были внесены существенные изменения, которые сыграли важную роль в дальнейшем совершенствовании конструкций коксовых печей.

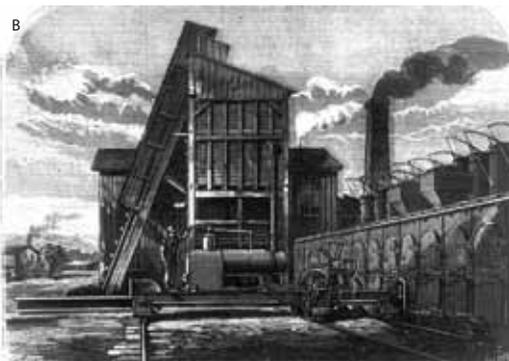
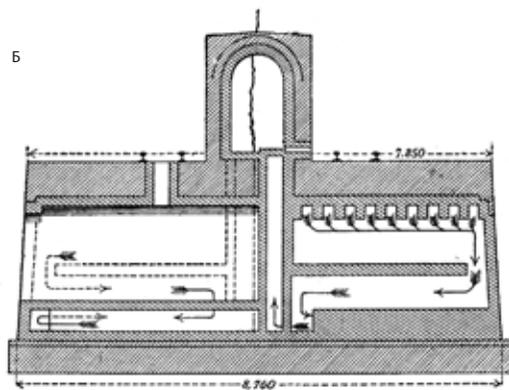
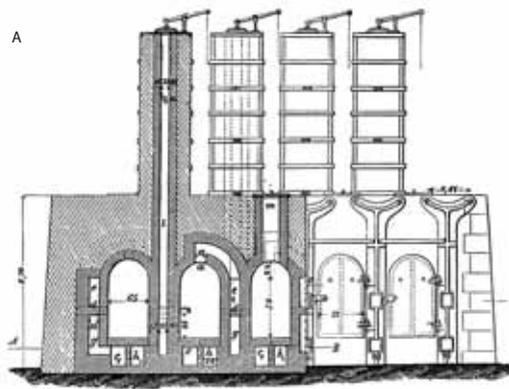
Во-первых, кирпичи, связывающие отдельные камеры, стали класть без промежутков, в результате чего пространство вокруг камер было разделено на отдельные вертикальные каналы (позднее названные вертикалами), то есть газ теперь сжигался не во всём объёме топочного пространства, а в отдельных каналах, двигаясь по ним вверх и вниз. Это позволило повысить равномерность нагрева коксуемой массы.

Во-вторых, газы от каждой из четырёх камер стали поступать в один канал, при этом периоды коксования во всех четырёх камерах были смещены друг относительно друга, т.е. уголь загружался не одновременно во все камеры, а с некоторым временным смещением. Поскольку выделение газа в ходе коксования происходило неравномерно (в начальный период больше), это способствовало стабильному подводу тепла к камерам в течение всего процесса. Без этого усовершенствования в начале процесса газы сжигались не полностью из-за недостатка воздуха, а в конце процесса камеры охлаждались избытком воздуха. Благодаря новому конструктивному решению, избыток воздуха от одной печи использовался для сжигания избытка газа от другой печи.

Однако эти изменения так и не сделали печь Аппольтов широко распространённой – экономически целесообразнее было использовать печи с горизонтальными камерами коксования.



Коксовая печь конструкции братьев Аппольт по А. Ледебуру: слева – горизонтальное сечение, справа – вертикальное сечение по камере коксования



Коксовая печь конструкции Смэ:  
 А – ПОПЕРЕЧНОЕ СЕЧЕНИЕ (СЛЕВА) И ВНЕШНИЙ ВИД (СПРАВА);  
 Б – ПРОДОЛЬНОЕ СЕЧЕНИЕ ЧЕРЕЗ КАМЕРУ (СЛЕВА) И ЧЕРЕЗ ОТОПИТЕЛЬНЫЙ ПРОСТЕНОК (СПРАВА);  
 В – КОКСОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО КОМПАНИИ THE SAMBRIA IRON COMPANY, ШТАТ ПЕНСИЛЬВАНИЯ, 1876 г.

### ПЕЧИ С ГОРИЗОНТАЛЬНЫМИ КАМЕРАМИ КОКСОВАНИЯ

Одной из первых печей такого типа была печь конструкции Смэ (Smet), разработанная в 1850-е гг. В печах Смэ между горизонтальными камерами для коксования располагались так называемые отопительные простенки, в которых происходило сжигание газообразных продуктов коксования. Газы покидали камеру коксования через отверстия в своде и попадали в отопительные простенки. Туда же подавался воздух для горения. В простенках была устроена горизонтальная перегородка, благодаря которой газы и продукты их горения двигались сначала

в одну, а потом в другую сторону. После этого продукты горения поступали в подовый канал под камерой коксования, чтобы прогреть нижнюю часть коксующегося угля, и уходили в трубу.

В дверях для выгрузки кокса были предусмотрены отверстия, через которые в верхнюю часть камеры можно было подавать воздух. Это было необходимо в тех случаях, когда использовался уголь с большим выходом летучих веществ. При этом воздуха для их сжигания не хватало, и каналы могли забиться отложениями графита, образующегося при их разложении. Длина камер печей Смэ достигала 6—7 м, высота 1,1—1,2 м, ширина — 0,65 м. В камеру помещалось примерно 2,5 т угля, коксование которого длилось около суток.

### ВЕРТИКАЛЫ

Следующим шагом в развитии конструкции коксовых печей была замена горизонтальных каналов в отопительных простенках (как в печах Смэ) вертикальными. Простенок разделялся кирпичными перегородками на отдельные вертикальные каналы, в результате чего существенно возрастала жёсткость боковых стенок камер коксования, что позволило уменьшить их толщину без опасности разрушения от вспучивания угля при коксовании и облегчило прогрев камеры.

Первой печью с вертикальными отопительными каналами (вертикалами) была печь конструкции Франсуа-Рексрота (Francais-Rexrot). В ней газообразные продукты коксования через 14 отверстий поступали из камеры коксования в 14 вертикалов, разделённых тонкими перегородками, где сжигались. Продукты горения поступали в подовый канал, откуда направлялись в общий боров (сборный канал) и далее в дымовую трубу. Печи Франсуа предназначались для хорошо спекающихся углей с большим выходом летучих веществ, поэтому ширина их составляла 0,9 м, а процесс длился двое суток. Позднее конструкция была изменена для коксования плохо спекающихся углей – ширину уменьшили до 0,6 м. Длительность процесса при этом сократилась до суток.

Дальнейшее развитие печей Франсуа с целью использования тощих углей привело к созданию печи конструкции бельгийского инженера Эванса Коппе (Sorree). Первая батарея Коппе была построена в начале 1860-х гг., а уже в 1870-х гг. удачная конструкция стала самым распространённым видом коксовых печей в Германии, Франции и Бельгии. В Германии печи Коппе были впервые построены в 1869 г. и в дальнейшем сооружались в большом количестве в сотрудничестве с немецкими фирмами Коллена и Отто.

### КОКСОВАЯ ПЕЧЬ КОППЕ

Печь Коппе подвергалась постоянному совершенствованию с учётом практики её использования и свойств угля,

однако общие принципы действия оставались неизменными. Некоторые модификации, разработанные немецким инженером Отто, называли печами Коппе-Отто.

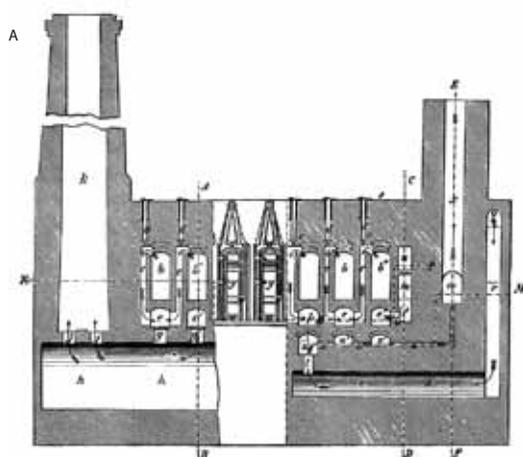
Конструкция печи предусматривала совместную работу двух камер и двух простенков. Газы из камер коксования через большое количество отверстий (28-30) в верхней их части поступали в такое же количество вертикалов отопительных простенков, куда также подавался воздух для их сжигания. Образовавшиеся продукты горения из двух простенков поступали в подовый канал, расположенный под одной из камер, для прогрева нижней части коксующего угля. После смешивания они поступали в подовый канал под другой камерой, а затем в общий бороз и оттуда в трубу или к паровому котлу.

Сдвоенная система работы была необходима для компенсации неравномерности выделения газообразных продуктов при коксовании, аналогично тому, как эта проблема решалась в модифицированной печи братьев Аппольт. Позднее конструкция была изменена таким об-

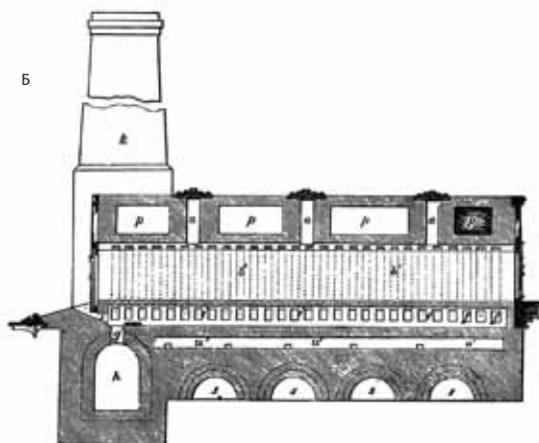
разом, что совместно работали четыре камеры. Газы, поступавшие в трубу, всё ещё содержали значительное количество горючих веществ, поэтому на выходе из трубы их дожигали, и над ней всегда горел яркий факел, из-за которого печи называли «пламенными печами Коппе».

Для предотвращения перегрева нижней части печи в ней устраивалась сеть каналов для воздушного охлаждения. Воздух, охлаждающий низ печи, одновременно нагревался, а затем подавался по специальным горизонтальным каналам в вертикалы для обеспечения горения газа. Предварительный подогрев воздуха позволял повысить температуру в простенках для коксования тощих углей. С той же целью Коппе разработал кирпич специальной формы, обеспечивающей стойкость стенки камеры, благодаря чему толщина её уменьшилась до 90 мм.

Снаружи печь Коппе обкладывалась теплоизоляционным материалом, а поверх него – обыкновенным кирпичом. Дверь делали составной – верхняя часть высотой 30 см открывалась для выравнивания засыпанного угля



Печь конструкции Коппе:  
А – ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ, Б – ПРОДОЛЬНЫЙ РАЗРЕЗ ЧЕРЕЗ КАМЕРУ, В – КОКСОВОЕ ПРОИЗВОДСТВО ЗАВОДА ЕВВУ VALE VICTORIA, ВЕЛИКОБРИТАНИЯ, 1936 г.



(планирования), а нижняя – для выдачи кокса. Загрузку производили через три отверстия в своде камеры.

Камеры печей Коппе имели в длину 9 м, высота и ширина их зависели от типа используемого угля и, соответственно, от продолжительности коксования: при продолжительности коксования 24 ч. высота составляла 1—1,2 м, а ширина 0,4—0,5 м, а при продолжительности 48 ч. — 1,7 м и 0,6 м соответственно.

### УЛАВЛИВАНИЕ ПРОДУКТОВ КОКСОВАНИЯ

Дальнейшее совершенствование конструкции коксовых печей было связано с желанием использовать побочные продукты, содержащиеся в коксовом газе (в первую очередь – аммиак, смолу, бензол). Впервые извлечение из газа смолы предусматривалось в печах конструкции Кнаба, построенных во Франции в 1856 г. Масштабное использование побочных продуктов коксования было осуществлено в 1867 г. инженером Карве (Carves) также во Франции, на заводах Бессеж (Bessege) и Тернуар (Terrenoire). В дальнейшем, с учётом безусловной выгоды этого производства, оно внедрялось на всё большем числе заводов.

В принципе конструкцию любой печи можно было изменить таким образом, чтобы иметь возможность улав-

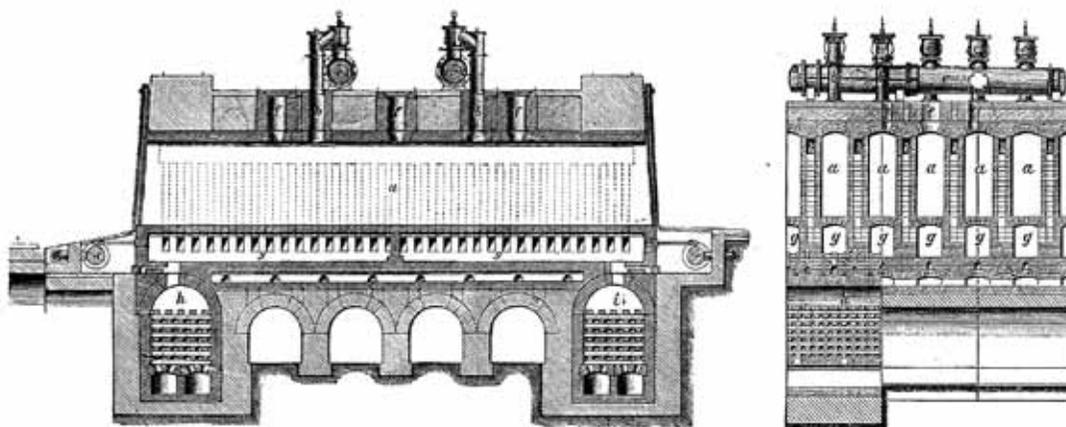
ливать побочные продукты. Для этого было необходимо выделяемый углём газ до сжигания в отопительном пространстве пропустить через систему агрегатов для выделения из него необходимых веществ, а очищенный газ направить обратно в печь для сжигания. Однако первые попытки такого рода терпели неудачу – кокс получался плохого качества.

Первой промышленной печью с улавливанием побочных продуктов стала конструкция немецкого инженера Карла Отто, реализованная на шахте Голланд в Ваттеншайде (около Бохума) в 1882 г.

Для получения качественного металлургического кокса Отто применял только жирные угли и довольствовался теми количествами смолы и аммиака, которые при этом получались, оценивая их именно как побочные продукты, т.е. получающиеся вместе с основной продукцией и дающие дополнительную прибыль. Для продвижения своей разработки Отто предложил оригинальный маркетинговый ход: цехи улавливания химических продуктов он строил для своих заказчиков бесплатно при условии, что ему в течение ряда лет в виде компенсации предоставлено право на реализацию получаемых химических продуктов.

Зимний каток на  
коковом заводе  
ZOLLVEREIN, ЭССЕН,  
Германия





Печь конструкции Отто-Хоффмана:  
 Слева – продольный разрез через камеру,  
 справа – поперечный разрез

### РЕГЕНЕРАТИВНЫЕ ПЕЧИ ОТТО-ХОФФМАНА

Проблемой, существенно затруднявшей эксплуатацию первых печей с улавливанием химических продуктов коксования, было снижение теплоты сгорания коксового газа после извлечения из него смолы. Для решения этой проблемы в 1881 г. Густав Хоффман (Гофман) предложил использовать принцип регенерации тепла. Отто заключил с Хоффманом лицензионный договор, на основе которого в 1883 г. были разработаны печи Отто-Хоффмана — первые регенеративные коксовые печи.

В печах Отто-Хоффмана камера коксования была полностью отделена от вертикалов отопительного простенка, а газообразные продукты коксования из каждой камеры через два чугунных патрубка (стояка) в верхней части камеры поступали в общую трубу - газосборник (барильет), которая проходила по всей длине батареи. В случае ремонта печи, загрузки угля или выгрузки кокса стояки переключались клапанами для предотвращения попадания в барильет воздуха. Из барильета газ отсасывался мощным вентилятором (экспаустером), пропускаясь через систему оборудования для охлаждения и выделения из него побочных продуктов и направлялся обратно к коксовой батарее.

В нижней части батареи располагались два тепловых аккумулятора – теплообменники-регенераторы. Расположены они были продольно, т.е. по всей длине батареи. Регенератор представлял собой кладку (насадку) из огнеупорного кирпича, сложенного таким образом, чтобы поверхность контакта кирпича с газом или воздухом была максимальной. Проходящий через насадку поток раскалённых газов нагревал её до высокой температуры. При этом один регенератор аккумулировал тепло нисходящего потока продуктов горения, в то время как второй отдавал аккумулированное тепло восходящему потоку воздуха для сжигания газа.

Очищенный от химических продуктов газ подавался в левую или правую часть располо-

женного под камерой коксования подового канала, туда же подавался необходимый для сжигания нагретый воздух из расположенного под каналом регенератора. Поскольку подовый канал был разделён по длине на две части, то горение происходило только в одной из них. Образующиеся при этом горячие газы поднимались по вертикалам, соединённым с этой половиной подового канала (восходящий поток) в общий канал, проходящий в верхней части вдоль всего простенка. Затем через вертикалы второй половины простенка газы опускались во вторую половину подового канала (нисходящий поток), откуда поступали в регенератор для его нагрева, а затем — в дымовую трубу.

Через некоторое время специальные перекидные клапаны переключали направление потоков газа и воздуха. Однако обогрев камер всё-таки был неравномерным, так как горячие продукты горения неравномерно распределялись по вертикалам. Эту проблему решил предложенный инженером Гильгенштоком нижний подвод газа. При этом горючая смесь газа с воздухом вводилась не в общий канал, а индивидуально в каждый вертикал через горелки, которые устанавливались и обслуживались из тоннеля под печами.

Распределение газа в новых печах было настолько хорошим, что для обогрева хватало образующегося при коксовании газа даже без использования регенераторов. По этой причине фирма Отто начала строить печи преимущественно без использования тепла отходящих газов, а строительство регенеративных печей было приостановлено.

### ФАСОННЫЙ КИРПИЧ СЕМЕТ-СОЛЬВЕЯ

Ещё одной конструкцией печи с улавливанием побочных продуктов и без регенератора была оригинальная печь Семет-Сольвея, получившая распространение в Бельгии в конце XIX в. В печи Сольвея отсутствие регенератора



Стеной фасонный  
 кирпич для печей  
 СЕМЕТ-СОЛЬВЕЯ



Завод в штате Кентукки, США, с печами Семет-Сольвея, ок. 1916 г.

компенсировалось крайне низкой толщиной стенки между отопительным простенком и камерой коксования. Собственно, простенка как такового и не было – камера изготавливалась из обычного не огнеупорного кирпича, а внутри выкладывалась огнеупорным фасонным кирпичом специальной конструкции. Этот кирпич имел внутри сквозное отверстие, так что при выкладывании ряда кирпичей образовывался горизонтальный канал вдоль всей камеры. Размеры кирпичей были таковы, что по высоте камеры они образовывали три ряда. Продукты горения перемещались в них слева направо и обратно, образуя большой зигзаг. Несмотря на невысокую стойкость такого кирпича, использование печей Семет-Сольвея было выгодно ввиду лёгкости ремонтов, и эта конструкция была признана специалистами очень удачной.

### РЕГЕНЕРАТОРЫ КОППЕРСА

В начале XX в. в связи с повышением спроса на коксовый газ инженеры вернулись к регенеративным коксовым печам. Первым к выводу о том, что только они могут удовлетворить новые требования, пришел Генрих Копперс. В 1904 г. им была разработана коксовая печь, в которой два продольных регенератора были заменены индивидуальными поперечными регенераторами. Этот шаг был

обусловлен тем, что загрузка продольного регенератора была неравномерной – чем ближе к трубе, тем больше было количество газа. В варианте Копперса пара регенераторов, расположенных уже вдоль камеры коксования, обслуживала только два соседних простенка, имела равномерную загрузку, благодаря чему обеспечивались равномерный обогрев камер коксования и необходимая технологическая надёжность процесса. Впоследствии такая схема стала общепотребимой и сохранилась вплоть до наших дней.

Регенераторы долгое время использовались только для подогрева воздуха, поскольку сжигание коксового газа требовало по стехиометрии пяти - шестикратного, а в реальности – десятикратного превышения объёма воздуха над объёмом газа. Таким образом, не было никакого смысла нагревать газ, который составлял лишь одиннадцатую часть общего объёма. Однако в 1910 г. в качестве топлива для коксовых батарей стали применять доменный и генераторный газы, требовавшие другого соотношения с воздухом, их также стали пропускать через регенераторы для нагрева. Печи, работавшие на разных видах газа, получили название комбинированных.

### ЧЕРЕДУЮЩИЕСЯ ВЕРТИКАЛЫ

Направляющей идеей для дальнейшего развития конструкции коксовых печей стало стремление разделить обогревательный простенок на меньшие группы вертикалов, чтобы повысить равномерность нагрева. Ещё большую равномерность нагрева обеспечивало чередование вертикалов: в одном сжигается газ, в другом (соседнем) проходят продукты сгорания. Идею использования парных каналов обогревательного простенка Карл Отто высказал ещё в 1881 г., однако осуществлена она была только в 1913 г. Вольтерсом.

По новой схеме в одном из вертикалов (нечётном) сжигался подаваемый в него газ, продукты горения поднимались по нему вверх, а опускались вниз по соседнему (чётному) вертикалу (т.е. от общего канала в верхней части печи простенка отказались, как ранее и от общего подового канала). Через некоторое время происходило переключение потоков газа и воздуха (кантовка), в результате чего горение теперь происходило в чётном вертикале, а нисходящий поток шёл по нечётному. Таким образом, горение происходило не в одной половине простенка, а равномерно по его длине, а в целом по батарее – в шахматном порядке.

### ДИНАСОВЫЕ ОГНЕУПОРЫ

Повышению эффективности коксовых печей в значительной степени способствовал переход от использования огнеупорных кирпичей из шамота (материала на основе каолиновой глины), к кирпичам из динаса – материала на основе кремнезёма ( $\text{SiO}_2$ ).



Семья, живущая в старой коксовой печи, США, Пенсильвания, 1934 г.

Динас обладает устойчивостью к оксидам золы кокса, которые состоят преимущественно из  $\text{SiO}_2$ , и позволяет повысить температуру в вертикалах на 200-300 . Печи одинаковой конструкции в случае использования шамота имеют продолжительность коксования 24 ч., в то время как печи из динасового кирпича — 16—17 ч.

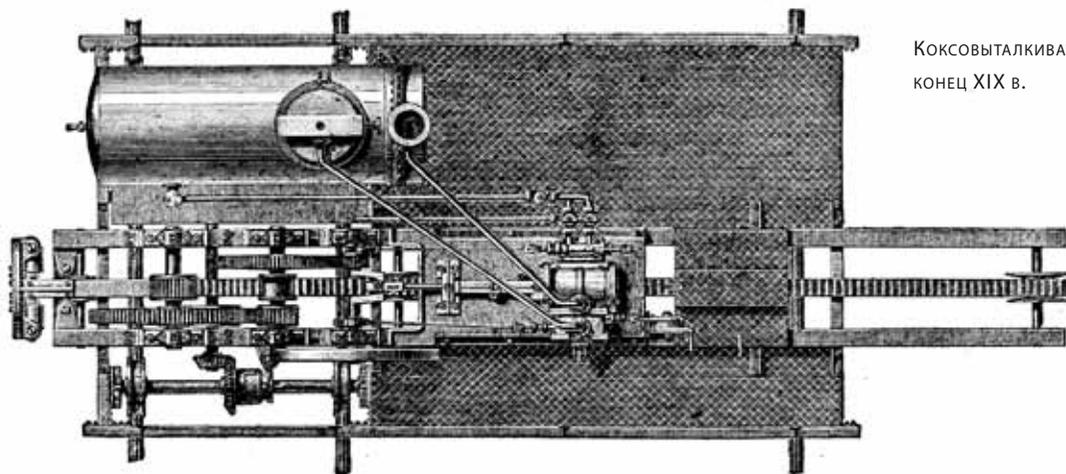
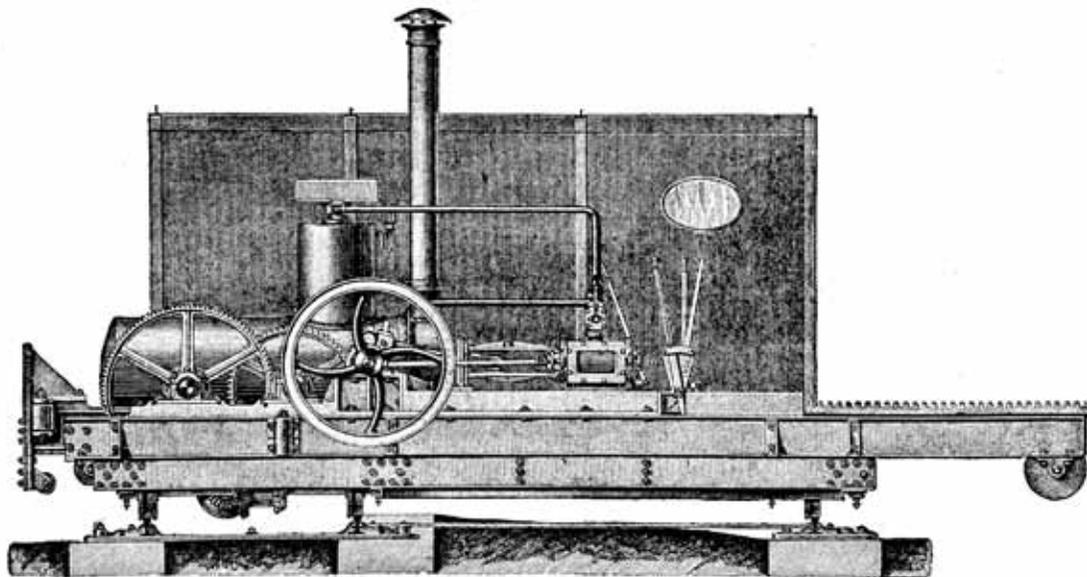
Динасовые огнеупоры впервые были применены в 1892 г. фирмой «Фрик-Кок Компани» в США для сводов ульевых печей. В 1900 г. камеры коксовых печей для завода «Доминион Айрон энд Стил Корпорейшен» в Канаде были выполнены из динаса, наконец, 1908 г. Генрих Копперс впервые построил печи на заводе «Джоллиет» в США полностью из динасовых огнеупоров. На изготовление огнеупорного кирпича для этих коксовых печей Копперс разработал в 1906 г. специальные технические условия, которые действовали ещё в 1960-е гг. Начиная с этого времени все коксовые печи в США строились из динаса. В Европе переход на динасовые огнеупоры был осуществлен позднее.

нион Айрон энд Стил Корпорейшен» в Канаде были выполнены из динаса, наконец, 1908 г. Генрих Копперс впервые построил печи на заводе «Джоллиет» в США полностью из динасовых огнеупоров. На изготовление огнеупорного кирпича для этих коксовых печей Копперс разработал в 1906 г. специальные технические условия, которые действовали ещё в 1960-е гг. Начиная с этого времени все коксовые печи в США строились из динаса. В Европе переход на динасовые огнеупоры был осуществлен позднее.



Разрушенная коксовая батарея системы Копперса, завод JOLIET WORKS компании U.S. STEEL, построена ок. 1908 г.:

А – верхнее строение печи: тёмные щели – камеры коксования, кирпичная кладка – отопительные простенки, у двух центральных простенков отсутствует передняя стенка и виден вертикал, Б – на переднем плане кирпичи из насадки регенераторов, тёмные щели за ними – сами регенераторы; в – тоннели для обслуживания и охлаждения батареи



Коксовыталькиватель с паровым приводом,  
конец XIX в.

### ПРОМЕЖУТОЧНЫЙ ФИНИШ

К началу Первой Мировой войны совершенствование конструктивных форм коксовых печей было в основном закончено. Развитие сначала эффективно происходило в Англии, затем охватило западные континентальные угледобывающие страны – Бельгию и Францию и особенно продвинулось вперед в Германии.

Дальнейшие разработки были связаны в основном со стремлением существенно увеличить производительность печей. Ширина камер оставалась на уровне примерно 450 мм, а высота постепенно увеличивалась до 4—4,5 м. Фирма Штиль в 1920-х гг. даже построила печи с камерами высотой 6 м (в настоящее время высота наиболее мощных печей немного превышает 7 м при ширине камеры 500 мм). Вследствие увеличения размеров агрегата возникали новые задачи по обеспечению равномерного обогрева стен камер по высоте при коротком факеле сжигания коксового газа, что, в свою очередь, вызвало к жизни новые конструктивные решения, зачастую основанные на старых предложениях.

### КОКСОВЫТАЛКИВАТЕЛИ

В заключение необходимо остановиться на оборудовании, применяемом для вспомогательных операций в коксовом производстве.

Для решения проблемы использования плохо спекающихся углей, из которых обычным образом нельзя было получить прочный кокс, на заводах Верхней Силезии (Германия) в самом конце XIX в. была разработана и внедрена технология, применяемая с той же целью и в наши дни – производство кокса с трамбованием.

Для этого уголь не загружали, как обычно, сверху в печь, а засыпали в металлический ящик специальной конструкции, напоминающий по форме и размерам камеру коксования. При загрузке уголь трамбовался слоями так, что после снятия откидных стенок ящика плотная масса угольной шихты подкатывалась на специальной тележке по рельсам к печи и задвигалась в камеру коксования.

Для помещения трамбованного угля в печь, а также для извлечения из неё готового кокса использовалась спе-

циальная машина – коксовыталкиватель. Он представлял собой платформу, перемещавшуюся по рельсам вдоль коксовой батареи, на которой была смонтирована выдвигающаяся штанга с зубчатой рейкой, на конце рейки был прикреплён чугунный щит. После окончания коксования двери с обоих концов камеры снимались и щит, толкаемый штангой, упирался в коксовый пирог и выталкивал его из камеры.

Первоначально коксовыталкиватель приводился в движение от ворота, вращаемого вручную, позднее, особенно с увеличением размеров печей, стали применять привод от паровой машины. Сторона коксовой батареи, вдоль которой перемещается коксовыталкиватель, получила название машинной. Противоположную сторону, на которую выталкивается кокс, стали называть коксовой.

С коксовой стороны батареи располагалась специальная площадка (коксовая рампа) шириной не менее 12 м, с небольшим уклоном (для стока воды), выложенная хорошим кирпичом или чугунными плитами. На эту площадку и падал выталкиваемый из камер коксовый пирог. Поблизости были расположены гидранты для подачи воды для тушения кокса, который заливался водой, после чего его грузили в вагоны (обычно вагоны располагались ниже площадки и кокс в них сгребали с площадки). Позднее выгрузку стали осуществлять в специальный «коксоприёмный» вагон, который перемещался в тушильную башню, где кокс заливался водой.

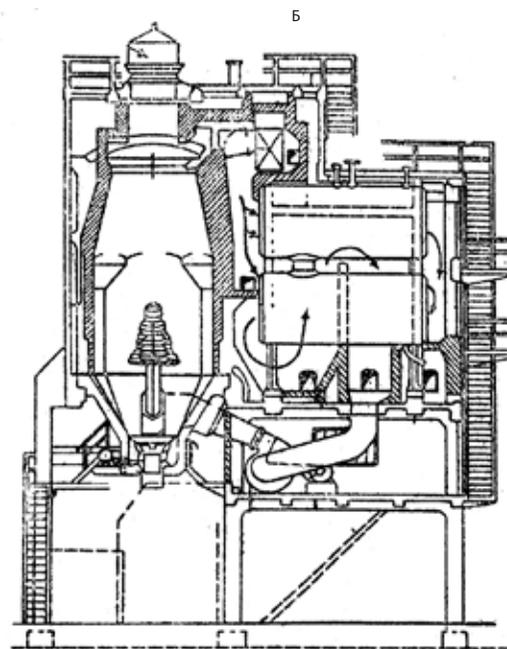
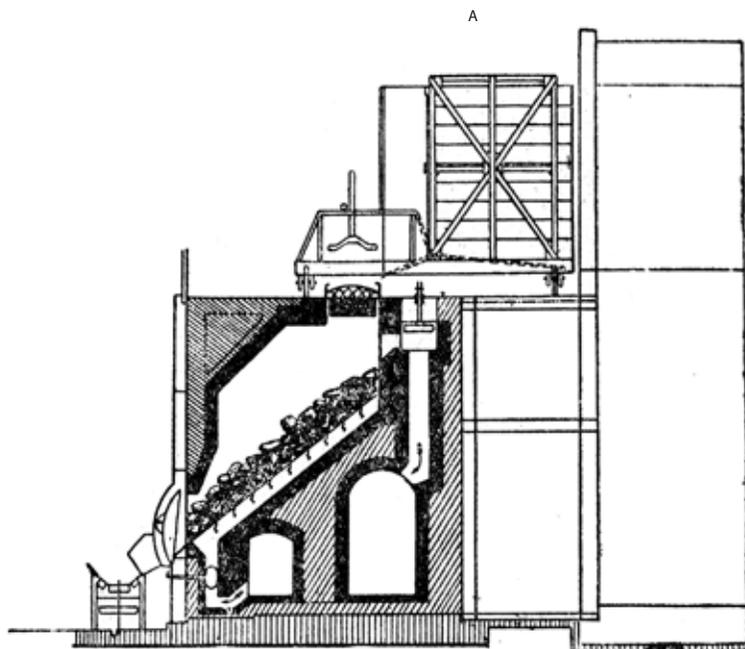
## УСТАНОВКИ СУХОГО ТУШЕНИЯ КОКСА

Для того чтобы с пользой использовать тепло выгружаемого из печи кокса, ещё в 1920-х гг. были разработаны установки сухого тушения кокса.

Первая, разработанная фирмой «Коллин», располагалась непосредственно перед коксовой батареей. Выгруженный кокс рассыпался нетолстым слоем на наклонной колосниковой решётке и продувался инертными газами с температурой 165 °С, которые затем с температурой 750 °С использовались для получения пара. Отдав тепло паровым котлам, газы возвращались обратно на тушение, их циркуляция обеспечивалась специальным вентилятором-дымососом. Охлаждённый кокс через разгрузочную дверь в нижней части установки падал на ленточный транспортёр.

Другая установка, разработанная фирмой «Зульцер», представляла собой камеру-реторту, в которую помещался раскалённый кокс. Циркулирующий внутри установки инертный газ охлаждал кокс от температуры примерно 1000 °С до 250 °С, нагреваясь при этом с 200 до 700 °С. Нагретый газ подавался в паровой котёл, а затем поступал обратно в камеру тушения. Как и в первом варианте, установка была герметична. Выгрузка кокса осуществлялась через затвор в нижней части по мере необходимости. Инертный газ в обоих случаях смесь азота и монооксида углерода.

Способ фирмы «Зульцер» получил широкое распространение и в усовершенствованном виде (тушение осуществляется практически чистым азотом) используется и в наши дни. \*



Установки сухого тушения кокса начала XX в.:

А – конструкции фирмы «Коллин»,

Б – конструкции фирмы «Зульцер»

*Глава 2*

## Бизнес - ангелы Джеймса Уатта

Хотите ли знать, в чём главное препятствие к построению машины?  
Оно в кузнечной работе.

**Из письма Джеймса Уатта Джону Робак**



**ГЕНИАЛЬНЫЙ МЕХАНИК И ИЗОБРЕТАТЕЛЬ СИМ-** вола Промышленной революции Джеймс Уатт не блистал предпринимательскими способностями. Он был так деликатен в денежных делах и так ненавидел житейские хлопоты и судебные процессы, что, не встретив он на своём жизненном пути двух замечательных людей, Уатт, по всей вероятности, остался бы бедняком. «Как только мне приходится иметь дело с людьми, – писал Уатт, – так я не на своем месте; для инженера совершенно достаточно одной природы, чтобы бороться с нею и видеть, как она на каждом шагу одолевает его».

Помимо основного занятия, которое увековечило его имя, Уатт занимался решением множества инженерных задач в самых разных областях. При этом изобретатель считал себя ленивым человеком, хотя его деятельность слабо согласуется с таким мнением. Возможно, он имел в виду тот факт, что им было высказано идей гораздо больше, чем разработано, но, как мы можем видеть на примерах многих ученых и инженеров, это общая беда практически всех гениальных изобретателей, полёт мысли которых часто значительно опережает скромные возможности их века.

История Промышленной революции и Индустриализации убедительно показывает, что в эту эпоху на смену изобретателям – одиночкам пришли инновационные команды, успешность которых в значительной степени определялась деятельностью «бизнес - ангелов» – частных инвесторов, вкладывающих деньги в инновационные проекты («стартапы»). «Ангель», как правило, вкладывают свои собственные средства на этапе внедрения проекта в обмен на возврат вложений и долю в капитале (обычно блокирующий пакет, а не контрольный). Этим они принципиально отличаются от венчурных фондов, которые управляют деньгами третьих лиц.

*История создания паровой машины, как и история разработки способов производства литой стали, наглядно демонстрирует, что общественно значимые инновации сродни штурмуемой крепости.*



Бирмингем –  
ГОРОД СКУЛЬПТУР



### ПОЧЕМУ ЭТО АКТУАЛЬНО?

Современная инновационная деятельность представляет собой сложный процесс, результат которого определяется не только технической эффективностью внедряемой разработки, но и правильной коммерческой политикой инновационной команды. Любая инновация является результатом коллективной деятельности, и довести до промышленного применения и «коммерциализовать» изобретение зачастую сложнее, чем сделать его. Умение работать в коллективе – вот ключ к успеху в XXI веке. Но для металлургов подобный подход не является «тайной за семью печатями», ведь именно в горно-металлургическом производстве он был сформирован более двухсот лет назад.

### БИРМИНГЕМ – ГОРОД СКУЛЬПТУР

Британский Бирмингем – некогда крупнейший промышленный центр, один из символов Промышленной революции, а ныне город, живущий славой тех времён, насыщен музеями и скульптурами, посвящёнными выдающимся людям той эпохи, прославившим свой город на века. Есть среди них и такие известные личности, как естествоиспытатель, философ и общественный деятель Джозеф Пристли, открывший кислород и углекислый газ,

статуя которого работы Франциса Уильямсона украшает город с 1874 г., знаменитый экономист и политик Томас Этвуд (Thomas Attwood), читающий новости на ступенях на площади Виктории, известный актёр Тони Хэнкок и великий Майкл Фарадей (впрочем, он вряд ли узнал бы себя).

Среди металлических и каменных обитателей Бирмингема есть даже выпущенный из тигля Джин Промышленного развития (The Genie Of Industry), не говоря уже о многочисленных абстрактных композициях, наглядно демонстрирующих возможности металла, у истоков масштабного использования которых стоял Бирмингем. Можно без преувеличения назвать Бирмингем городом скульптур.

### «ПРОДАВЦЫ КОВРОВ» — «ЗОЛОТЫЕ РЕБЯТА»

Среди многочисленных скульптур Бирмингема выделяется одна, стоящая на Брод-стрит. Она изображает трёх мужчин в старинных костюмах, рассматривающих какой-то план или чертёж и увлечённо что-то обсуждающих. Позолоченную бронзовую скульптуру местные жители называют — «Золотые ребята» (впрочем, некоторые предпочитают название «Продавцы ковров»). Примечательную композицию в 1956 г. создали Уильям Блойе

и Реймонд Форбс-Кингс. Половину средств на создание памятника оставил согласно своему завещанию в 1939 г. Ричард Уитли (Richard Wheatley), а вторую половину позднее выделил городской совет.

Хоть немного знакомый с историей техники человек без труда узнает одного из троих – это Джеймс Уатт (James Watt), знаменитый изобретатель паровой машины. Но с кем он обсуждает её чертёж, да и зачем ему это надо? Надпись на постаменте информирует, что собеседниками Уатта являются Мэтью Болтон (Matthew Boulton) и Уильям Мёрдок (William Murdoch), но многие ли знают, чем знамениты эти джентльмены?

История создания паровой машины, как и история разработки способов производства литой стали, наглядно демонстрирует, что общественно значимые инновации сродни штурмуемой крепости: те, кто водрузил флаг, остаются в памяти потомков, в то время как удел тех, кто ценой своей жизни помог им это сделать – надписи на могильных камнях.

### **ОБО ВСЁМ ПО ПОРЯДКУ**

Первое известное устройство, приводимое в движение паром – эолопил, было описано Героном Александрийским в I веке. Оно представляло собой шар с трубками-дюзами, закреплёнными по касательной. Внутри шара наливалась вода, которая при нагреве превращалась в пар, выходящий через дюзы и приводивший шар во вращение. Значительно позже были предложены конструкции простых паровых турбин, например, в XVI в. арабским философом, астрономом и инженером Таги-аль-Диноме и в 1629 г. итальянским инженером Джованни Бранка.

Разработке паровых машин способствовали работы Джованни Баттиста делла Порта (Giovanni Battista della Porta), который в 1601 г. предложил простой способ получать пустоту (точнее – разреженное пространство) путём сгущения водяного пара в закрытом сосуде. Принцип действия и применение паровых машин был описан в 1655 г. англичанином Эдвардом Сомерсетом. В 1663 г. он опубликовал проект и установил приводимое в движение паром устройство для подъёма воды на стену Большой башни в замке Реглан. Однако всё это были лишь единичные прототипы – никто не был готов рисковать деньгами для реализации революционной концепции.

### **ПАРОВОЙ КОТЕЛ ПАПЕНА**

Основы для разработки универсальных паровых машин были заложены исследованиями и экспериментами французского физика и изобретателя Дени Папена по созданию вакуума в закрытом цилиндре.





Дени Папен

Папен родился в городе Блуа в 1647 г. В университете Анже он изучал медицину и получил степень доктора, однако его судьбу преопределила встреча с голландским естествоиспытателем Христианом Гюйгенсом, под влиянием которого Папен посвятил себя физике и механике.

После переезда в Англию в 1680 г. Папен смог получить вакуум с помощью кипящей воды, которая конденсировалась в цилиндре (как предлагал ранее дела Порт). С помощью своего лабораторного оборудования Папен смог поднять груз, присоединённый к поршню верёвкой, перекинутой через шкив. Система работала как демонстрационная модель, но для повторения процесса весь аппарат нужно было разобрать и собрать заново.

Для автоматизации цикла Папен предложил создавать пар отдельно, вне цилиндра. Поэтому именно он считается изобретателем парового котла, что в дальнейшем стало основой для парового двигателя конструкции Ньюкомена. Папену также приписывают изобретение важных элементов паровой машины, например предохранительного клапана. Однако конструкцию действующей паровой машины ему создать не удалось. Прибор Папена стал родоначальником «атмосферных» паровых машин, в которых рабочее движение поршня производится атмосферным давлением воздуха, обратное же движение поршня совершается давлением пара, преодолевающего давление воздуха с противоположной стороны.



ТОМАС СЭЙВЕРИ



ТОМАС НЬЮКОМЕН

#### «ДРУГ РУДОКОПА» КАПИТАНА ТОМАСА СЭЙВЕРИ

Первые «настоящие» паровые двигатели были созданы в конце XVII столетия. Пионером новой отрасли техники считается испанский изобретатель Херонимо Аянсом де Бомонт, наработки которого использовал английский инженер Томас Сэйвери – управляющий на шахте в Корнуолле.

Сэйвери удалось сконструировать первую промышленную машину, использующую паровой двигатель. Она представляла собой паровой камерный нагнетательно-всасывающий насос («огненный насос»), который использовался для откачки воды из шахт. Машина существенно облегчала работу шахтеров, в связи с чем Сэйвери называл её «другом рудокопа (горняка)». Именно такое название – «Друг рудокопа» имела книга изобретателя, которая была подписана «капитан Сэйвери» (Captain Savery). На основании этого факта Сэйвери часто называли «военным инженером». В действительности вся система управления горно-металлургическими предприятиями Европы в то время была военизированной, и управляющие горных и металлургических предприятий, как правило, носили военные звания.

Патент на своё изобретение Сэйвери получил в 1698 г. В «огненном насосе» рабочий цилиндр был отделен от котла и для быстрой конденсации пара обливался снаружи холодной водой. КПД насоса составлял менее 10 %, так как тепло пара каждый раз терялось во время охлаждения цилиндра, что приводило к повышенному расходу топлива. Кроме того, в связи с тем, что в те времена не существовало технологии производства котлов, выдерживающих значительное давление пара, невозможно было выкачивать воду из глубоких шахт: при повышении давления котёл и трубопроводы двигателя иногда взры-

вались. Тем не менее, насос получил распространение и эксплуатировался около 10 лет. В 1707 г. насос Сэйвери был выпущен Петром I и установлен в Летнем саду в Петербурге для подачи воды в фонтан.

Поскольку машина Сэйвери имела ограниченное применение, а необходимость в эффективном двигателе для откачки воды из шахт постоянно возрастала, вскоре была предложена новая конструкция паровой машины.

### ПАРОВОЙ НАСОС КУЗНЕЦА НЬЮКОМЕНА

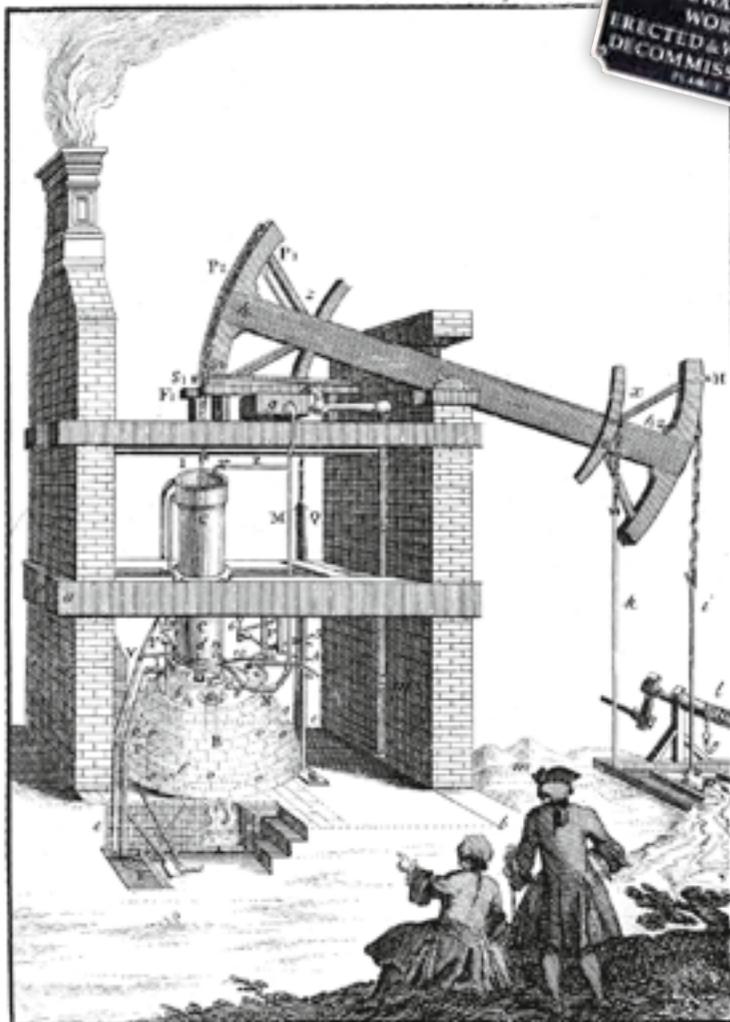
Изобретателем новой паровой машины стал кузнец Томас Ньюкомен (Thomas Newcomen). В 1705 г. он совместно с лудильщиком Джоном Коули (John Cowley) построил паровой насос. Совершенствование устройства продолжалась по 1712 г. Следует отметить, что очень многие механические изобретения на заре Промышленной революции были сделаны кузнецами (Ньюкомен, Модсли,

Нэсмит, Брамах и др.), поскольку в то время они были единственными специалистами, способными изготовить детали необходимого качества.

Паровая машина Ньюкомена и Коули была сходной по основной идее с прибором Папена (у машины Сэйвери отсутствовал поршень, и пар давил непосредственно на воду). Основной проблемой первых паровых машин было неплотное прилегание поршня к цилиндру, поскольку технологии того времени не могли обеспечить необходимую точность изготовления деталей. Для решения этой проблемы над поршнем наливался тонкий слой воды (водяной затвор).

Сделанное в 1712 г. случайное наблюдение позволило ускорить сгущение пара путём впрыскивания воды внутрь цилиндра. В машине Ньюкомена впервые появляется коромысло (балансир) для передачи движения от поршня к насосу. При

ПАРОВОЙ НАСОС  
НЬЮКОМЕНА И ЕГО  
ДЕЙСТВУЮЩАЯ РЕПЛИКА,  
BLACK COUNTRY  
MUSEUM, ВЕЛИКОБРИТАНИЯ



этом сама машина не была универсальным двигателем и могла работать только как насос. Попытки Ньюкомена использовать возвратно-поступательное движение поршня для вращения гребного колеса на судах оказались неудачными.

Устранением непосредственного давления пара на воду достигалось существенное преимущество над машиной Сэйвери, что позволяло поднимать воду на любую высоту. Но расход топлива оставался значительным, хотя и существенно меньшим прежнего. Двигатель Ньюкомена стал первым паровым двигателем, получившим широкое практическое применение, и именно с ним принято связывать начало промышленной революции в Великобритании. Ньюкомен не смог получить патент на своё изобретение, так как паровой водоподъёмник был ранее запатентован Сэйвери. Тем не менее, данное обстоятельство не помешало плодотворному сотрудничеству двух изобретателей.

### **ДЖЕЙМС УАТТ**

Джеймс Уатт (James Watt) родился 19 января 1736 г. Его отец был механиком, изготавливавшим и чинившим разнообразнейшие машины — от музыкальных инструментов до приспособлений для поднятия тяжестей. Начав обучение в младших классах, Джеймс был вынужден отказаться от посещения школы из-за слабого здоровья. Сначала его образованием занимались родители, а позднее он с успехом прибег к самообразованию, что позволило достаточно сносно учиться в старших классах, несмотря на нерегулярное посещение занятий.

Джеймс нередко бывал в Глазго у дяди, университетского профессора, где познакомился со многими учёными и образованными людьми своего времени. Имея несомненные склонности к механике, Уатт проявлял интерес и к занятиям естественными науками и медициной, так что сам в юные годы не мог определить, в чём состояло его истинное призвание.



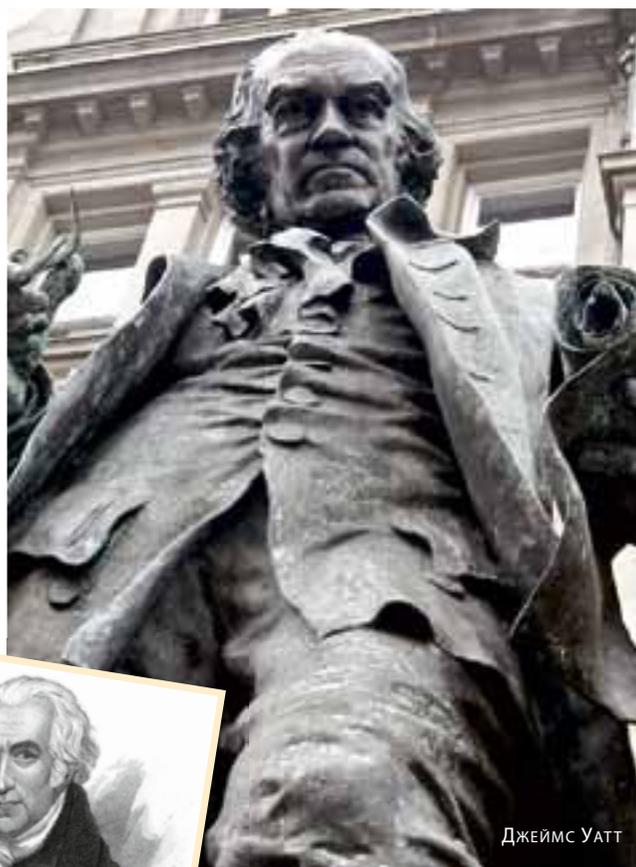
Отец Уатта, несмотря на свое трудолюбие, был небогатым человеком и, зная, что двум его сыновьям придётся существовать на собственные заработки, приучал одного к коммерческому делу, а занятиям Джеймса решил дать соответствовавшее его склонностям техническое направление. Сначала молодой Уатт учился ремеслу механика в Глазго, а потом в Лондоне, где в течение года выучился изготовлению тонких чертёжных и астрономических инструментов, требовавших очень тщательной работы. Потом Уатт переселился в Глазго, где его пристроили в качестве механика при университете. Сначала материальные дела его шли очень туго, но в конце 1759 г. вступив в компанию с Крейгом, Уатт стал получать довольно много заказов. В 1768 г. благодаря женитьбе Уатт получил статус гражданина Глазго и право согласно городским цеховым правилам открыть в городе собственную мастерскую.

Работу над паровыми машинами Уатт начал в 1764 г., когда к нему обратился профессор физики университета Глазго Джон Андерсон с просьбой отремонтировать действующий макет паровой машины Ньюкомена. Он обратил внимание на большой непроизводительный расход пара, а следовательно, и топлива в машине. Исследуя причину этого явления, Уатт пришел к выводу, что хорошая работа атмосферной машины зависит от выполнения двух условий: во-первых, для получения сильного разрежения под поршнем надо создавать в цилиндре условия для возможно более полной конденсации пара, а для этого как можно сильнее охлаждать; во-вторых, чтобы избежать непроизводительных потерь пара, надо впускать его для последующего хода поршня из котла в неохлажденный, горячий цилиндр.

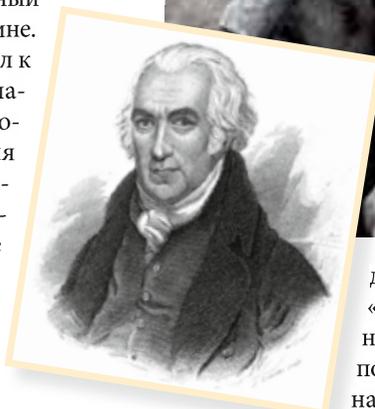
Для решения нетривиальной задачи Уатт предложил производить конденсацию пара в отдельном резервуаре-конденсаторе, сообщающемся с цилиндром. Но для практического осуществления разработок Уатта требовались немалые средства, которых у него не было и добывать которые он не умел. Именно в этот момент Уатт встретил своего первого по современной терминологии «бизнес-ангела» — доктора Джона Робака (John Roebuck). Об этом незаурядном человеке, не только способствовавшем практическому осуществлению важнейшего изобретения в истории человечества, но и оставившем заметный след в истории металлургии, стоит рассказать подробнее.

### УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬ ДЖОН РОБАК

В современных статьях, посвящённых паровой машине Уатта о докторе Робаке, как правило, не упоминается ни единым словом. Это совершенно неудивительно, поскольку даже в энциклопедии Брокгауза и Евфрона, из-



ДЖЕЙМС УАТТ

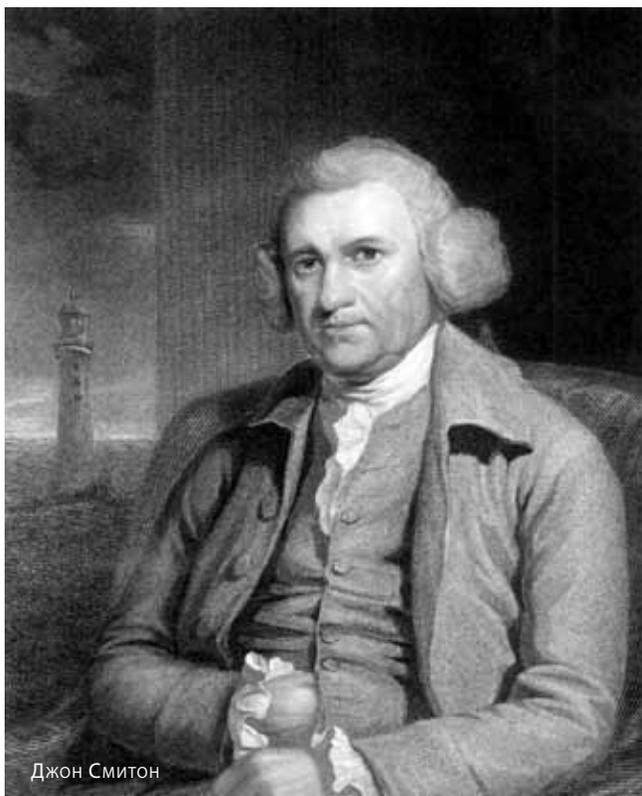


данной более века назад, написано, что «...по неимению средств для построения машины, Ватт добыл привилегию и построил первую машину только в 1769 г. на средства доктора Ребука (Roebuck). Вскоре Ребук разорился, и только в 1774 г.

Ватту удалось получить необходимые материальные средства, войдя в компанию с Матью Болтоном (Matthew Boulton)...». О самом Робаке в «Энциклопедии биографий», изданной в конце XIX в. в Глазго, написано следующее: «Джон Робак, медик и опытный химик, родился в Шеффилде в 1718 г. и умер, придя в разорение от своих проектов, в 1794 г.». Такова краткая «эпитафия на могильном камне» героя штурма «паровой крепости».

Отец Робака был известным шеффилдским ножовщиком, но Джон не горел желанием пойти по стопам отца, предпочитая научную деятельность. Отец не препятствовал ему в этом и отправил отпрыска учиться сначала в Нортхэмптон, а затем в Эдинбургский университет, где он изучал медицину и химию. Получив степень по медицине, Робак поселился в Бирмингеме, где занялся врачебной практикой.

Склонность к химии и инженерной деятельности явно преобладала у Робака над интересом к медицине. Об-



Джон Смитон

ратив внимание на проблему нехватки древесного угля для нужд металлургии, он организовал лабораторию, в которой приступил к опытам по производству железа с использованием каменного угля. На этом поприще он добился определённых успехов и даже взял патент. Также он разработал способы очищения серебра и золота, имевшие успех у промышленников Бирмингема.

Основной целью опытов Робака было эффективное практическое использование минеральных ресурсов в промышленности. На этом поприще он достиг существенных результатов, что позволило ему организовать крупную лабораторию, которой заведовал его друг Сэмюэль Гарбетт. Самым успешным проектом Робака стала разработка способа производства серной кислоты в камерах, футерованных свинцовыми пластинами (свинец пассивируется серной кислотой), что позволило производить её в больших количествах.

Это изобретение круто переменяло жизнь Джона Робака: оставив врачебную практику, он вместе с Гарбеттом отправился в Шотландию, где в 1749 г. организовал в окрестностях Эдинбурга крупный завод по производству кислоты. Предприятие имело большой коммерческий успех, что позволило предприимчивому доктору обратиться к другим отраслям промышленности, например, построить завод по производству гончарных изделий.

## КАРРОНСКИЙ ЗАВОД

В это время Робак познакомился с Уильямом Каделлом и мистером Кокензи, которые пытались организовать в Шотландии производство железа, но потерпели неудачу. Поддавшись на их уговоры, Робак с жаром приступил к организации производства. Исследовав местность, он остановил выбор на берегу реки Карроны, на границе равнины и предгорий шотландских Highlands, где в достатке имелись запасы руды, каменного угля и известняка, а неподалёку располагалось широкое устье реки Форт. Там и были заложены первые в Шотландии железные заводы, для управления которыми Робак организовал акционерное общество The Carron Company.

Для работы на заводах из Англии были приглашены квалифицированные рабочие-металлурги, которые впоследствии обучили ремеслу местных жителей. Первая доменная печь была запущена 1 января 1760 г., и за год завод произвёл 1,5 тыс. т железа – столько до этого производилось во всей Шотландии. Основным видом продукции завода было чугунное литьё, в том числе, со временем, знаменитые артиллерийские орудия – карронады. Первая карронада, конструкция которой была предложена генералом Робертом Меллвилем, была отлита на Карронском заводе в 1779 г. (уже при новых хозяевах завода), и в дальнейшем эти орудия стали основой военной мощи Великобритании, в том числе способствовали впечатляющим победам при Трафальгаре и Ватерлоо.

Для развития предприятия в соответствии с передовыми достижениями инженерного искусства Робак привлёк на завод «отца гражданской инженерии» Джона Смитона (John Smeaton), который оборудовал доменные



Двигатель УАТТА НА ЗАВОДЕ  
NETHERTON IRONWORKS



Часть цилиндра  
паровой машины  
Уатта, отлитого в  
Карроне

Одна из двух карро-  
над, принимавших  
участие в битве при  
Ватерлоо

*«О Боже, как я был напуган, когда услышал, что русский медведь зацепил Вас своей громадной лапой и тянет в Россию! Умоляю не ездить, если только это возможно... Я надеюсь, что Ваша огненная машина оставит Вас здесь».*

печи мощными цилиндрическими мехами собственной конструкции, а также спроектировал и построил канал между реками Форт и Клайд — один из первых в стране. Необходимо отметить, что до постройки железных дорог крупные промышленные компании, в первую очередь металлургические, для транспортировки сырья и продукции строили искусственные каналы.

По чертежам Смитона, значительно усовершенствовавшего насос Ньюкомена, в Карроне была построена большая машина, привезённая в 1777 г. Россию. Она была заказана по распоряжению Екатерины II для выкачивания воды из канала Петра Великого, примыкавшего к сухим докам в Кронштадте.

### **ГЕНИЙ, АНГЕЛ И ПОСРЕДНИК**

Когда Карронский завод пришёл в цветущее состояние, Робак принялся за развитие дела, в первую очередь стремясь снизить затраты на сырьё. С этой целью он взял в аренду у герцога Гамильтона земли, где организовал добычу угля и попутно соли, а сам с семейством поселился в герцогском замке Киннель на живописном берегу Фортского залива. Для эффективной добычи угля Роба-

ку понадобилась паровая машина для откачки воды, более мощная, чем машина Ньюкомена.

Эту проблему он стал решать способом, каким обычно пользовался – с помощью передовых достижений науки и инженерной мысли.

Инициатором знакомства механика и предпринимателя выступил доктор Блэк (Joseph Black), также представлявший собой личность незаурядную. Блэк был знаменитым учёным-химиком, получившим должность профессора медицины и лектора по химии в университете Глазго в возрасте 28 лет. Он открыл теплоту плавления и парообразования, обнаружил различие между количеством теплоты и её температурой, ввёл понятия скрытой теплоты и теплоёмкости. Именно Блэк, открыв углекислый газ, доказал, что воздух представляет собой смесь газов, а не единую субстанцию, как предполагалось до этого.

Блэк и Уатт были знакомы много лет. Уатт, как уже говорилось выше, был человеком болезненным, страдал головными болями, а, кроме того, легко впадал в де-



МЕМОРИАЛ УАТТА



прессию. В отчаянии от нехватки средств он неоднократно хотел бросить своё предприятие. Его близкие друзья, и в первую очередь Джозеф Блэк, всячески пытались ему помочь и свести с человеком, способным обеспечить финансовую сторону предприятия. В этом смысле Джон Робак, ценящий научный подход, склонный к великим предприятиям и, кроме того, имеющий репутацию успешного практического деятеля, подходил как нельзя лучше. Расчёт полностью оправдался. Робак пригласил Уатта в Киннел и обещал ему всяческое содействие, в том числе предоставить мастеров своего завода, более искусных, чем те, с которыми имел дело Уатт. Более того, ещё до прибытия Уатта Робак приступил к отливке чугунных цилиндров, необходимых для машины.

Уатт прибыл в Киннел в мае 1768 г. Робак настолько заинтересовался его разработкой, что предложил не ограничиваться постройкой машин для его шахт, а организовать товарищество для массовой постройки машин новой конструкции. Для Уатта это предложение было сродни небесной манне – для развития своего изобретения он занял значительные суммы у Блэка и этот долг очень тяготил его.

Робак перевёл на себя долг Блэку в 1200 фунтов стерлингов и изыскал средства на то, чтобы взять патент и закончить опытный образец паровой машины. Патент

Уатт получил в 1769 г. В заявке на патент он определил своё изобретение как «новый метод уменьшения расхода пара, а следовательно, и топлива в огненных машинах». В том же году он закончил небольшую модель машины.

### ТЕРНИИ И СОБЛАЗНЫ

Постройка машины в соседнем с замком городе могла вызвать ненужный интерес, а Уатт, кроме прочего, обладал повышенной подозрительностью. Было решено, что работы будут вестись в заброшенном здании рядом с замком. Поскольку работа была сопряжена со значительными трудностями, Уатт регулярно впадал в уныние. Однажды он писал своему другу, доктору Уильяму Смоллу: «...я боролся со многими неудачами и верно пал бы под их тяжестью, если бы меня не поддерживала дружба доктора Робака».

Дела же самого Робака в это время стремительно катились под гору: разработка угольных и соляных копей не принесла ничего, кроме убытков; стремясь заткнуть образовавшуюся финансовую брешь, он истратил своё состояние, затем состояние жены, а после был вынужден занять крупные суммы у родственников и друзей. Для возврата долгов пришлось задействовать даже последний резерв – капитал металлургических предприятий Робака в Бирмингеме и стекольных заводов в его окрестностях. Однако и это не помогло – Джон Робак был разорён и остаток дней провёл в забвении.

В разгар этих событий в 1772 г. доля Робака в предприятии Уатта перешла бирмингемскому промышленнику Мэтью Болтону (Matthew Boulton), впрочем, доля эта была оценена настолько низко, что она даже не была включена в перечень имущества, которое описывали для обеспечения долгов. Уатт опять оказался в непростой ситуации. В одном из писем он писал: «Он мой искренний и великодушный друг и при том честный и достойный человек. У меня сердце обливается кровью, но я не могу помочь ему. Я держался за него, даже во вред себе. Далее это становится для меня невозможным, семья требует заботы о ней».

В поисках средств для сооружения своего двигателя Уатт стал думать о выгодной работе за пределами Англии. В начале 1770-х годов он заявил друзьям, что «ему надоело отечество», и серьезно повёл разговоры о переезде в Россию. В это время Петербургская Академия Наук направила Уатту официальное приглашение – снова поспособствовал Джозеф Блэк, имевший контакты с научным сообществом России. Русское правительство предложило английскому инженеру «занятие, сообразное с его вкусом и познаниями» и с ежегодным жалованьем в 1000 фунтов стерлингов. Намерение Уатта уехать в Россию вызвало переполох. Поэт Эразм Дарвин написал ему: «О Боже, как я был напуган, когда услышал, что русский медведь зацепил Вас своей громадной лапой и тянет в Россию! Умоляю не ездить, если только это возможно... Я надеюсь, что Ваша огненная машина оставит Вас здесь».

## МЭТЬЮ БОЛТОН

«Огненная машина» не отпустила своего создателя в далёкую Россию – к Уатту «прилетел» второй «бизнес-ангел». В 1774 г. Мэтью Болтон, когда возникла реальная возможность отъезда Уатта, проявил интерес к доставшемуся ему от Джона Робака «активу» и предложил изобретателю продолжить работу теперь уже в партнёрстве с ним. Так Уатт стал совладельцем компании «Болтон и Уатт» и продолжил работу по созданию паровой машины на заводе Soho Works близ Бирмингема.

Завод в Сохо славился первоклассным по тем временам оборудованием и имел квалифицированные рабочие кадры. С 1774 г. и до конца своей жизни Уатт оставался его главным механиком. В том же году изобретатель построил свою первую паровую машину простого действия, которая оказалась более чем в два раза эффективнее лучших машин Ньюкомена, однако Уатт не был удовлетворён и сразу начал работать над её усовершенствованием.

Впрочем, для начала успешных продаж, которые принесли бы средства для дальнейшего развития, было достаточно уже сделанного. Машина Уатта первоначальной конструкции быстро нашла применение на рудниках и шахтах, вытеснив машину Ньюкомена. Введение паровых машин новой конструкции на три четверти сокращало расход угля. Особенно большой интерес к машинам Уатта был проявлен со стороны хозяев корнуольских медных рудников. Завод в Сохо к 1780 г. изготовил 40 паровых машин, половина из которых предназначалась для копей Корнуолла.

## ДЕМПИНГ – ЭФФЕКТИВНЫЙ МАРКЕТИНГОВЫЙ ХОД ДЛЯ «ПРОРЫВНЫХ» ИННОВАЦИЙ

Для быстрой популяризации своего изобретения и закрепления на рынке Болтон и Уатт применили демпинг – маркетинговый ход, в дальнейшем неоднократно использованный разработчиками «прорывных» инноваций, которые существенно превосходят по эффективности конкурирующие технологии. Поставку паровых машин компаньоны осуществляли безвозмездно (то есть даром), платой же за пользование ими была третья часть от стоимости топлива, сэкономленного по сравнению с машиной Ньюкомена. Такую же схему применял спустя столетие создатель коксовой печи с улавливанием химических продуктов Карл Отто, похожим способом действовал и Генри Бессемер.

Однако, как и ранее изобретенные пароатмосферные машины, машина Уатта не была пригодна для роли универсального двигателя, обеспечивая лишь прямолинейно-качательное движение. В то же время существовала острая потребность именно в двигателях для универсального применения, которые можно было бы использовать для приведения в движение станков и прочих

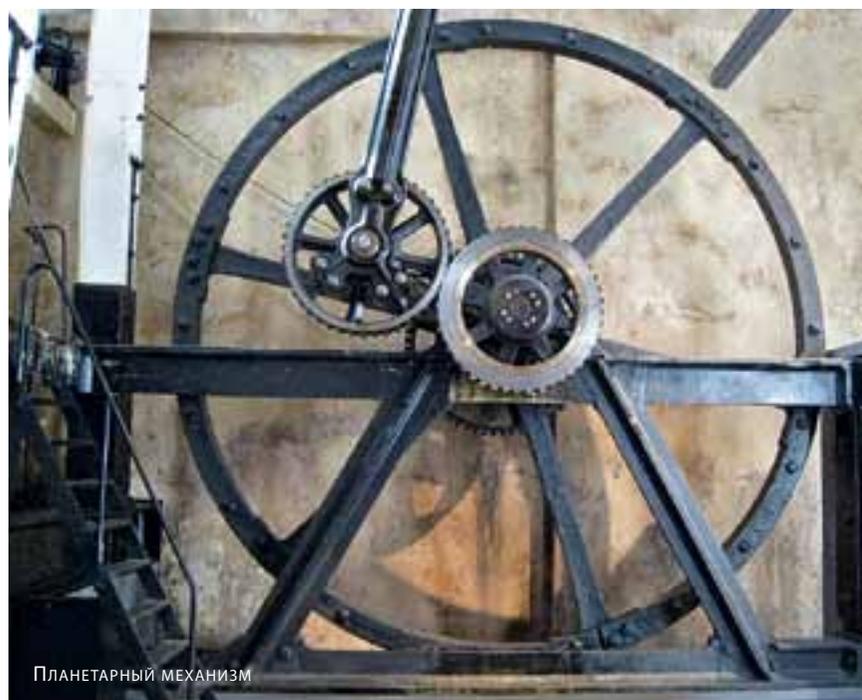
механизмов, о чём свидетельствовали многочисленные обращения промышленников к Болтону и Уатту.

## УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПАРОВАЯ МАШИНА

С 1778 г. Уатт начинает работать над созданием паровой машины с непрерывным вращательным движением. В результате была сконструирована машина «двойного действия», которая и стала универсальным паровым двигателем, а, кроме того, в четыре раза превзошла машину Ньюкомена по эффективности. Патент на неё Уатт получил в 1782 г. Особенность этой машины заключалась в том, что пар из котла поступал в цилиндр через золотник. Золотник позволял подавать пар то с одной, то с другой стороны поршня, создавая тем самым необходимое давление на него.

Таким образом, машина, по сути, перестала быть «атмосферной», и её мощность теперь зависела от разницы давлений между паром низкого давления и тем вакуумом, который удавалось получить. Вакуумные паровые машины были относительно безопасны, использовали пар низкого давления, что вполне соответствовало общему невысокому уровню котельных технологий XVIII в.

Для выравнивания вращательного движения Уатт применил маховое колесо. Для преобразования в балансирной машине качательного движения поршня в непрерывное Уатт изобрел специальный механизм, обеспечивающий прямолинейность движения штока поршня, связанного с одним концом балансира (так называемый параллелограмм Уатта), а также несколько способов пре-



ПЛАНЕТАРНЫЙ МЕХАНИЗМ

ЦЕНТРОБЕЖНЫЙ РЕГУЛЯТОР



образования прямолинейного движения во вращательное.

Поскольку Уатт для получения вращательного движения не мог в своей машине применить кривошипно-шатунный механизм (на такую передачу имел патент французский изобретатель Пикар), он в 1781 г. взял патент на пять способов преобразования качательного движения в непрерывное вращательное.

### УИЛЬЯМ МЁРДОК

В этот момент на сцене появляется третий персонаж скульптурной композиции из Бирмингема – Уильям Мёрдок (William Murdoch, иногда – Murdock). Этот уроженец Шотландии стал учеником и помощником Джеймса Уатта в 1777 г. и принимал активное участие в усовершенствовании паровой машины. Именно он изобрёл планетарную передачу (солнечное колесо) – один из упомянутых пяти способов, который и был выбран для практического применения. Кроме того, Мёрдок в 1792 г. впервые

*Даже на лучшем во всей Великобритании заводе Болтона дела обстояли таким образом, что Смитон, наблюдавший за процессом изготовления деталей машины, заметил, что вряд ли удастся осуществить её массовое производство по причине того, что детали плохо подходят друг к другу из-за низкой точности изготовления.*

произвёл сухую перегонку каменного угля, а в 1803 г. применил полученный газ для освещения завода в Сохо.

Последними значимыми доработками универсальной паровой машины стали: центробежный регулятор, при помощи которого осуществлялся автоматический контроль скорости машины (1788 г.), манометр (1790 г.) и ряд других контрольно-измерительных приборов.

### КЛЮЧ К УСПЕХУ ЗАКЛЮЧАЛСЯ В КУЗНЕЧНОЙ РАБОТЕ

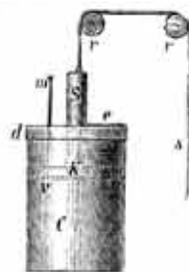
Одним из первых промышленников, применивших универсальную паровую машину, стал Ричард Аркрайт, который уже в 1783 г. установил паровой двигатель Уатта на своей текстильной фабрике. К 1800 г. на шахтах и фабриках Великобритании насчитывалось более 500 машин Уатта.

Такие колоссальные по меркам эпохи объёмы механического и металлообрабатывающего производства требовали внедрения новых подходов к его организации. Ключевая проблема, с которой столкнулся Уатт ещё на стадии создания макетов и опытных образцов

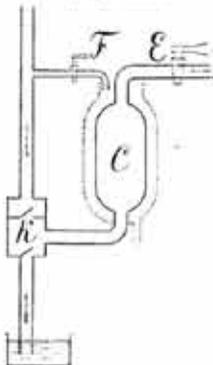
паровой машины, заключалась в том, что его разработка существенно опережала возможности производства по её изготовлению. То, что в конечном итоге удалось наладить массовое изготовление паровых машин, является не только гениальным инженерным достижением, но и уникальным достижением в области металлообработки и организации серийного производства.

Ещё во время работы в Глазго Уатту пришлось столкнуться с тем, что рабочие не могут изготовить детали так, как это было необходимо. «Хотите ли знать, в чём главное препятствие к построению машины? – писал он Джону Робаку, – оно в кузнечной работе». Первый ци-

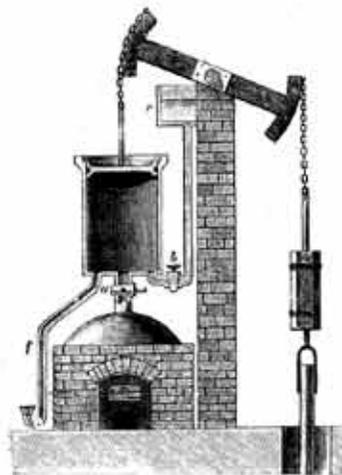




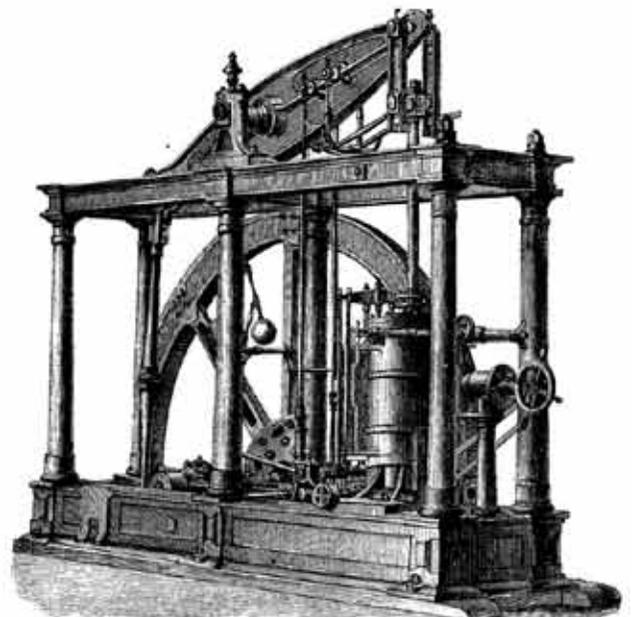
1. Прибор Палея



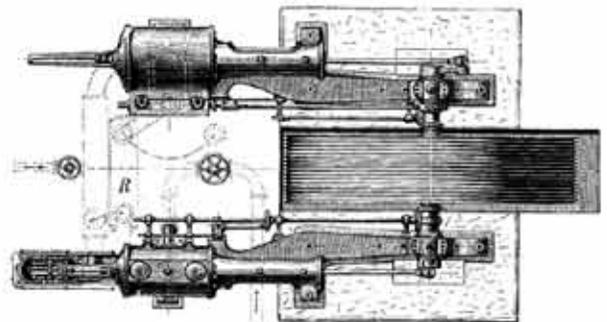
2. Машина Савери.



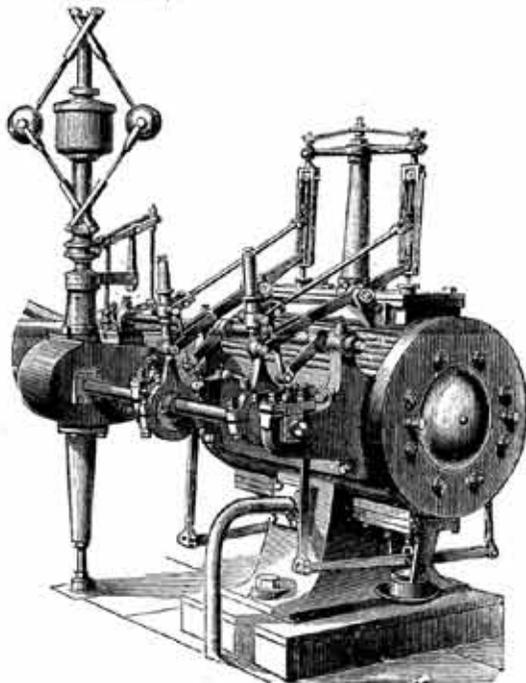
3. Машина Ньюкомен и Коули.



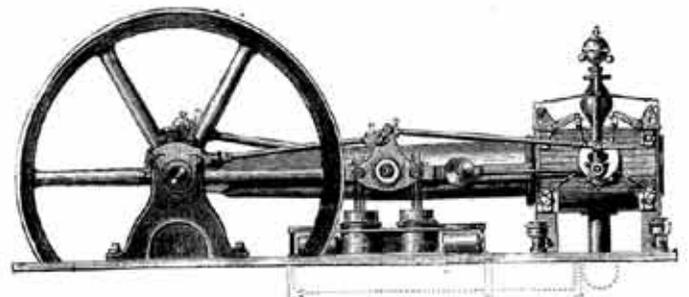
4. Вертикальная паровая машина Уатта с коромыслом.



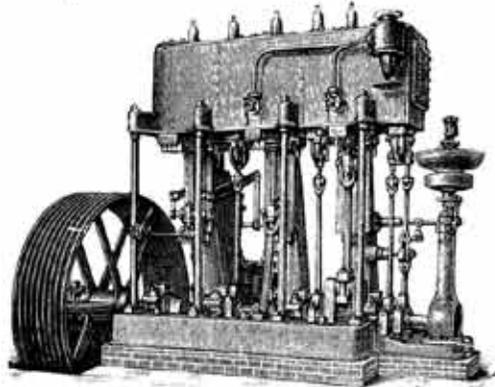
6. Горизонтальная паровая машина Кольмандера.



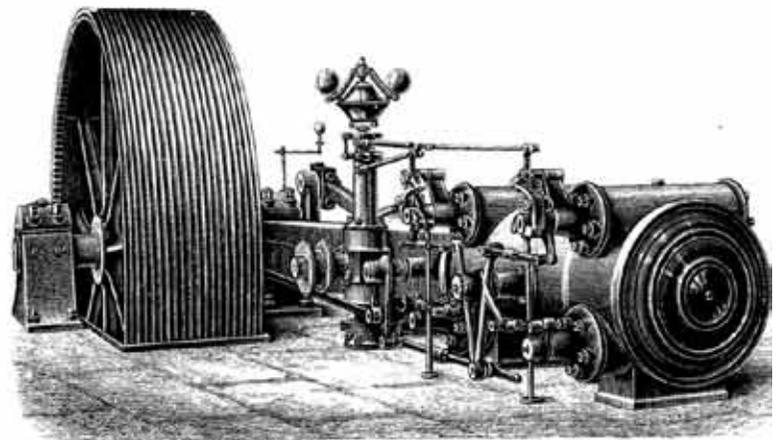
5. Паровая машина с клапаном парораспределения Кольмана.



7. Горизонтальная паровая машина с парораспределителем Вортонга.



8. Вертикальная паровая машина с ушибом расширения.



9. Горизонтальная паровая машина с парораспределителем Фрешера.

СТРАНИЦА В ДОРЕВО-  
ЛЮЦИОННОМ ИЗДАНИИ  
ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКОГО  
СЛОВАРЯ БРОКГАУЗА И  
ЭФРОНА, ПОСВЯЩЕН-  
НАЯ ВИДАМ ПАРОВЫХ  
МАШИН

цилиндр был сварен кузнецом, с которым работал Уатт, из листа железа; для герметизации была применена ртуть, но и она не помогла. По-видимому, прочие мастера были ещё хуже, поскольку Уатт в отчаянии писал Робакку: «Мой старик-кузнец умер! Считаю его потерю почти невозвратимой».

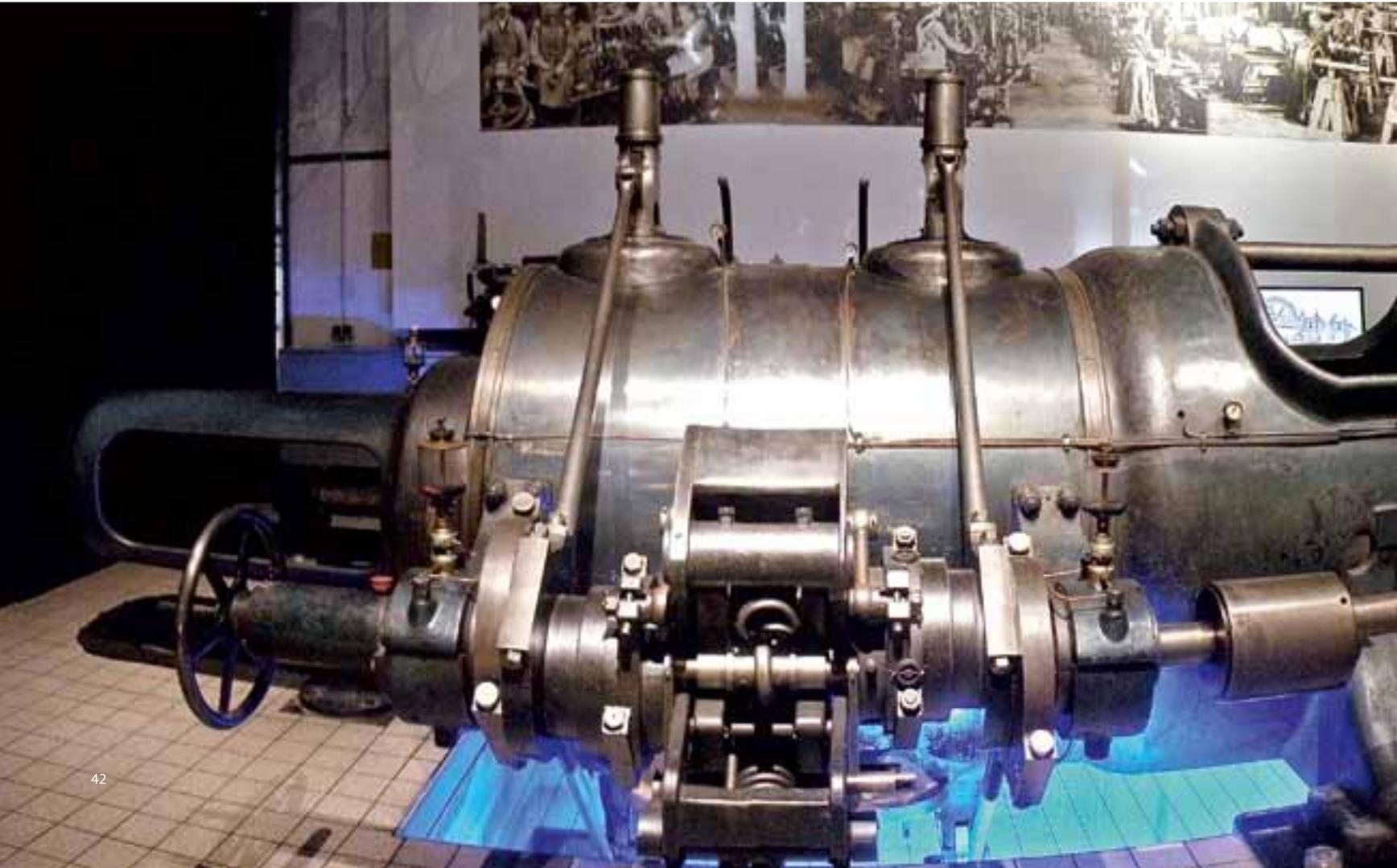
Отлитый и высверленный на Карронском заводе цилиндр имел такую погрешность изготовления, что не помогли ни промасненная бумага, ни пробка, ни войлок. Даже на лучшем во всей Великобритании заводе Болтона дела обстояли таким образом, что Смитон, наблюдавший за процессом изготовления деталей машины, заметил, что вряд ли удастся осуществить её массовое производство по причине того, что детали плохо подходят друг к другу из-за низкой точности изготовления. Например, диаметр цилиндра на концах мог отличаться на несколько миллиметров, что существенно снижало эффективность машины и приводило в уныние её изобретателя.

В отсутствие автоматического инструмента, который был изобретён несколько позднее, единственным способом повышения точности изготовления было совершенствование мастерства рабочих. Именно в эту сторону

направил свои усилия Уатт, введя на заводе Сохо специализацию, когда каждый мастер занимался ограниченным числом операций, доводя своё искусство до совершенства и передавая затем опыт своим детям. Нередки были случаи, когда три поколения рабочей семьи специализировались на одних и тех же операциях.

Однако ещё 50 лет, пока в металлообработке не появились станки, невозможно было обеспечить необходимое качество изготовления. Бывало, что машину, построенную опытными рабочими, так и не удавалось запустить. В этом случае приезжал смотритель работ с завода-изготовителя, который мог жить при машине месяц и более, меняя и подгоняя отдельные части, пока она, наконец, не начинала работать.

Несколько улучшило ситуацию изобретение Джона Уилкинсона (John Wilkinson) – знаменитого железопромышленника, популяризатора чугуна в качестве конструкционного материала, получившего прозвище Iron Mad. В 1744 г. он запатентовал способ сверления ружейных стволов, при котором вращался ствол, а не сверло, что увеличило точность сверления и уменьшило количество брака. Этот способ успешно применялся для



производства цилиндров паровых машин, которые выпускал завод Сохо.

В России паровые машины Уатта впервые стали изготавливаться на одном из олонецких заводов (Александровском), находившихся под управлением шотландца Карла Карловича Гаскойна. Там же была построена установленная в 1820 г. Кларком на Санкт-Петербургском монетном дворе знаменитая большая машина Уатта «силой против 60 лошадей».

К середине 1780-х годов конструкция паровой машины двойного действия была окончательно разработана, и она превратилась в универсальный тепловой двигатель стремительно развивающейся промышленности, а позднее и транспорта. Конечно, паровая машина постоянно подвергалась усовершенствованиям, находила всё новые сферы применения, и вскоре уже немного в ней напоминало изобретение Уатта и его коллег, но это было уже позже.

#### «ЛУННОЕ ОБЩЕСТВО»

В заключение стоит отметить, что практически все упомянутые учёные, инженеры и промышленники были

связаны не только «производственными» отношениями. Уатт, Робак, Блэк, Болтон, Дарвин, Смитон, Смолл, Уилкинсон были единомышленниками, членами знаменитого «Лунного общества Бирмингема» (Lunar Society of Birmingham). Лунное общество представляло собой клуб и неофициальное учёное сообщество видных деятелей британского Просвещения. Заседания клуба проводились с 1765 по 1813 гг. в домах Мэтью Болтона, Эразма Дарвина и Сохо Хаус.

Сначала общество именовалось «Лунный круг» (Lunar Circle), название «Лунное общество» стало официальным с 1775 г. Оно возникло из-за того, что единомышленники собирались во время полнолуний, так как в отсутствие уличного освещения дополнительный свет делал возвращение домой после ужина комфортнее и безопасней.

Так что не стоит удивляться «счастливым случаям» в жизни Уатта: люди, которые ему помогали, были прекрасно осведомлены о значимости его работы. Как видно, такая форма взаимодействия учёных, инженеров и предпринимателей оказалась весьма действенным, обеспечив к всеобщей выгоде создание универсального двигателя для всех отраслей промышленности. \*



Горизонтальная стационарная двухцилиндровая паровая машина для привода заводских трансмиссий. Конец XIX в. Экспонат Нюрнбергского Музея Индустриальной Культуры

A painting depicting a busy industrial factory scene. In the foreground, several workers in blue and orange clothing are engaged in manual labor. One worker in the center is pushing a large, heavy object. To the left, another worker is operating a machine. The background shows a complex network of pipes, beams, and machinery, with light streaming in from large windows at the top. The overall atmosphere is one of intense, physical work.

Глава 3

## Прорыв в индустриальную цивилизацию

Обыкновенно говорят, что достижения наших предков есть дело случая и опыта. Это верно только отчасти. Слепой случай научает только лиц, подготовленных своей предыдущей работой к его восприятию, для лиц неподготовленных он проходит незамеченным и потому ничему научить не может.

**В. Е. Грум-Гржимайло, из неопубликованной статьи**



Генрих Клей (Heinrich Kley) в 1913 г. изобразил тигельный цех крупповского завода в Эссене как пристанище чертей



«Подрывные инновации» — это инновации, которые изменяют соотношение ценностей на рынке. При этом старые продукты становятся неконкурентоспособными просто потому, что параметры, на основе которых раньше проходила конкуренция, становятся не важными

**В** 1997 г. профессор Гарвардской школы бизнеса Клейтон М. Кристенсен в книге «Дилемма инноватора», получившей всемирную известность, предложил концепцию «поддерживающих» (sustaining) и «подрывных» (disruptive) инноваций. Термины «поддерживающая» и «подрывная» определяют воздействие инновации на существующий технологический уклад. Поддерживающие инновации направлены на улучшение и развитие существующих технологических процессов, подрывные полностью меняют технологический уклад и открывают новый технологический цикл.

Авторы полагают, что в русскоязычном переводе вполне корректно заменить термин «подрывной» на «прорывной», поскольку инновации этого типа не только подрывают существующий технологический уклад, но и осуществляют «прорыв» в новый технологический цикл.

Прорывные технологии, которые в истории любых отраслей индустрии можно сосчитать на пальцах, позволяют революционным образом изменить, казалось бы, незыблемые технологические принципы и кардинально преобразовать сложившиеся рыночные отношения. Самой масштабной прорывной инновацией в истории чёрной металлургии стало изобретение технологии промышленного производства литой стали, благодаря чему современная цивилизация приобрела привычные для нас «стальные» черты. Внедрение этого способа передела чугуна в сталь в течение всего лишь нескольких десятилетий изменило облик планеты, опоясав её миллионами километров железных дорог, дав возможность строить небоскрёбы, океанские лайнеры, мощные броненосцы и дальнобойные орудия.

## ПОЧЕМУ ЭТО АКТУАЛЬНО СЕГОДНЯ?

Так же как над возможностью использования каменного угля для производства чугуна и железа в XVII и XVIII вв., над проблемой получения литой стали в XIX в. работало большое количество исследователей. При этом уникальным является тот факт, что успеха в разработке новых способов производства литой стали достигли люди, представлявшие принципиально разные подходы к разработке и внедрению новых технологий. Анализ их творческого пути наглядно демонстрирует, какие качества и черты характера необходимы для карьеры изобретателя в эпоху научно-технической революции. Не менее важно знать, как грамотно с инженерной точки зрения оценить перспективы конкурирующих технологий, в чём, безусловно, поможет сравнение бессемеровского, томасовского и мартеновского процессов получения стали.

## ПРОРЫВНЫЕ ИННОВАЦИИ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕВОЛЮЦИЙ

Типичным примером поддерживающих инноваций применительно к чёрной металлургии является эволюция примитивной «волчьей ямы» в сыродутные горны различных конструкций, вплоть до каталонского горна и домницы. А вот переход к производству чугуна в доменных печах, произошедший в период Малой промышленной революции, стал инновацией прорывной, поскольку следствием быстрого широкого внедрения доменной плавки стало формирование принципиально новой технологической схемы получения чёрных металлов. В начале XVII в. она включала доменную плавку, продуктом которой был чугун, обезуглероживание (фришевание) чугуна в кричных горнах с получением сварочного железа и цементации мягкого сварочного железа с получением твёрдой стали.

К сожалению, все этапы производства требовали огромного расхода древесного угля, в результате чего уже во второй половине XVII столетия в Западной Европе разразился энергетический кризис и металлургическое производство «переместилось» в страны, богатые лесами – Швецию и Россию. Эти страны оставались лидерами в производстве чугуна и железа более века, пока в Англии во второй половине XVIII в. не была создана «каменноугольная» чёрная металлургия.

Прорывной инновацией эпохи начала Промышленной революции стало изобретение технологии коксования каменного угля, благодаря чему уже во второй половине XVIII в. процесс извлечения железа из руд представлял собой доменную плавку на каменноугольном коксе, как это имеет место и в настоящее время. Объём производства чугуна резко возрос. Он превратился в новый конструкционный материал цивилизации, стал применяться для изготовления строительных конструкций, труб, малых архитектурных форм, деталей машин, ар-

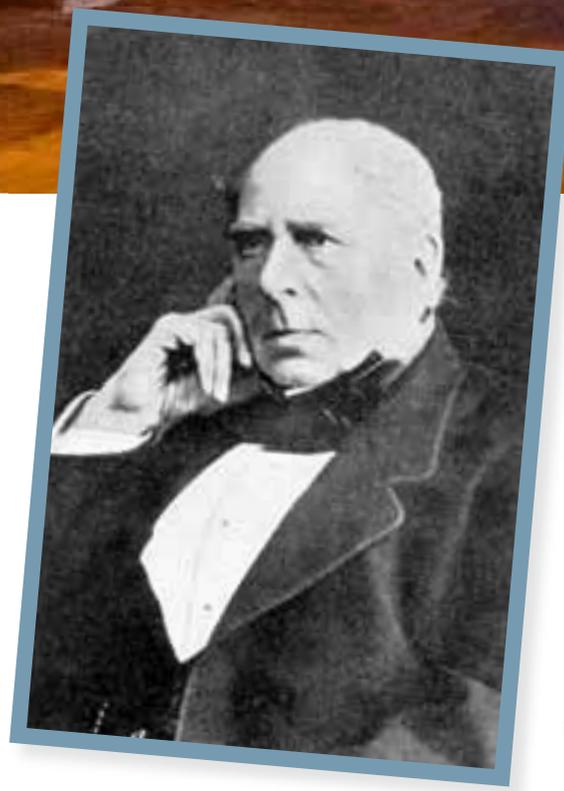


– Послушайте, Клэй, мне очень хочется, чтобы Вы пошли сегодня утром на заседание одной из секций – там будет над чем посмеяться.

– Очень жаль, но я уже приглашён на сегодняшнее утро, а то я с удовольствием пошёл бы с Вами.

– Вам непременно надо туда пойти. Знаете ли Вы, из Лондона приехал какой-то чудак читать доклад, как делать железо без применения топлива. Ха, ха, ха...

Из разговора между директором ливерпульских заводов Мёрси (Mersey) Уильямом Клэем и владельцем заводов в Южном Уэльсе Джеймсом Палмером Буддом на съезде Британской Ассоциации содействия научным исследованиям. 13 августа 1856 г. В этот день Генри Бессемер впервые представил общественности результаты своих исследований по производству литой стали с помощью продувки воздухом.



ГЕНРИ БЕССЕМЕР

тиллерийских орудий, художественного литья и других крупных изделий. Для удовлетворения прочих потребностей в рабочем материале, которые непрерывно возрастали по мере развития Промышленной революции, было необходимо железо, а в ряде случаев – сталь.

### МЕТАЛЛУРГИЯ ЖЕЛЕЗА НАКАНУНЕ ПРОРЫВА

До появления доменной печи продуктом восстановления железных руд в горнах различных конструкций была крица – губчатая масса восстановленного железа, пропитанная шлаком с включениями несгоревшего угля. Для удаления шлаковых включений, повышения плотности и придания железу формы, пригодной для дальнейшего передела, крицу несколько раз проковывали с получением железной заготовки – полуфабриката для дальнейшего передела в готовые изделия.

Необходимо подчеркнуть, что в сыродутном горне железо находилось в твёрдом (точнее тестообразном) состоянии. Поэтому даже в ходе длительной термомеханической обработки добиться высокого качества (равномерности химического состава и физических свойств) кричного металла было невозможно. После того как основным продуктом плавки железных руд стал чугун, были разработаны технологии его обезугле-

Ковка железа в МЕРТИР-Тидвиле (MERTHYR TYDFIL).  
Юлиус Цезарь Иббетсон, 1789 г.



роживания (в кричном горне и пудлинговой печи) с получением железных криц более равномерного состава и высокого качества. Тем не менее, заключительная часть технологии производства железа не претерпела принципиальных технических изменений.

Ещё одной проблемой была необходимость производства стали со специальными свойствами, обусловленная стремительным развитием промышленности. Используемый для её производства метод цементации не позволял достигать требуемой однородности, а разработанный в 1740 г. Бенджаменом Хантсманом тигельный способ производства литой стали не обеспечивал необходимой производительности и был высокочувствительным. Это было обусловлено многостадийностью процесса: производство чугуна – обезуглероживание с получением крицы – проковка крицы – науглероживание (цементация) железных заготовок – расплавление стали в тигле – разливка стали. При этом на каждой стадии расходовалось топливо и происходило окисление железа.

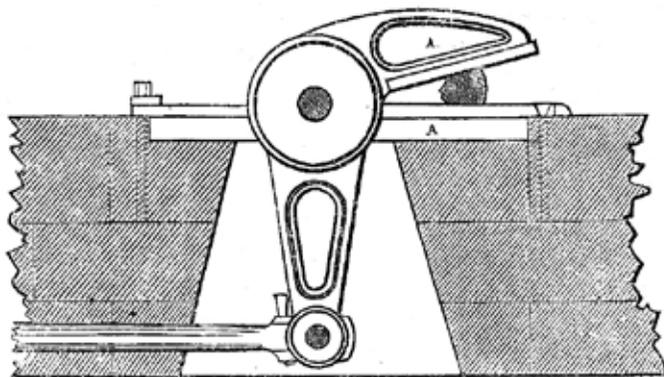
### ТАКИЕ РАЗНЫЕ ИННОВАТОРЫ

Итак, в первой половине XIX в. возникла насущная необходимость в процессе массового производства литой стали из чугуна. Над решением этой проблемы работали лучшие умы промышленности и науки, однако лишь спустя несколько десятилетий, в середине XIX в., успеха достиг англичанин Генри Бессемер. Позднее предложенный им процесс был усовершенствован его соотечественниками Сидни Томасом и Перси Джилкристом. Затем выходцы из Германии, работавшие в Великобритании, братья Уильям (Вильгельм) и Фридрих Сименсы, разработали принципиально новый процесс производства стали, в совершенствовании и распространении которого важную роль сыграли французы — отец и сын Мартены. При этом подходы и к разработке, и к продвижению на рынок новых технологий разных инноваторов существенно различались.

Генри Бессемер был «профессиональным» изобретателем-инноватором, автором гениальных разработок, часть из которых опередила своё время и была реализована лишь спустя многие десятилетия, а остальные, благодаря умению их автора не только разрабатывать и внедрять принципиально новые технологии, но и с успехом защищать и продвигать плоды своего интеллекта, принесли ему славу и благосостояние.

Представители знаменитого клана промышленников-предпринимателей и учёных Сименсов организовали транснациональную компанию современного нам типа, которая обладала научно-исследовательскими (R&D — Research and Development) отделениями, проводила дальновидную кадровую и социальную политику, осуществляла техническое сопровождение своих разработок и продукции. Благодаря этому компания Siemens благополучно дожила до наших дней, существенно расширив сферу своей деятельности.

Отец и сын Мартены представляют собой пример производителей-практиков, которые не только находились в курсе передовых разработок в отрасли, но



Кричный жом  
«АЛЛИГАТОР»

и стремились эффективно применить их и усовершенствовать. Дав человечеству важнейшее изобретение, они практически не воспользовались его плодами, проиграв «патентную войну». Причина этого заключается в том, что в их предложениях не было новизны, они сумели реализовать давнюю идею с помощью новейших разработок, что дало повод профессиональному сообществу отказать им в признании.

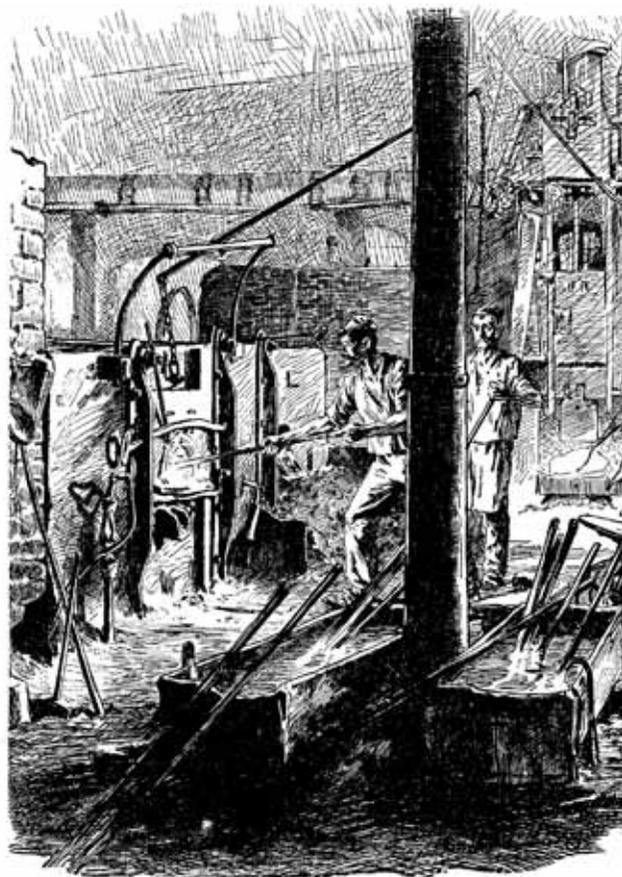
Сидни Томас является примером увлечённого изобретателя, творческий порыв которого сдерживается отсутствием средств на его реализацию.

История изобретения литой стали наглядно показывает, что в тени «победителей», тех, чьи имена на слуху, всегда скрываются полузабытые или даже практически неизвестные ученые, экспериментаторы и предприниматели, без помощи которых, возможно, даже и не было бы сделано само изобретение. Научные открытия и инновации являются результатом коллективного творчества, в котором кроме инноватора участвуют его конкуренты, единомышленники, контрагенты и многие другие члены общества.

### ЖЕЛЕЗНОЕ КОЛЬЦО НА ГОРЛЕ ПРОГРЕССА

К середине XIX в. малопроизводительные и высокозатратные процессы получения стали уже не удовлетворяли требованиям отраслей промышленности, которые получили мощный импульс к развитию благодаря внедрению паровой машины (в первую очередь это касалось железнодорожного строительства и военно-промышленного комплекса).

Пудлинговые печи были гениальным изобретением в конце XVIII в., действительно открывшим широкие горизонты в то время, когда железо требовалось тоннами. Пудлинговое железо и изготавливаемая из него сталь были основными материалами, используемыми в машиностроении на протяжении почти всего XIX столетия, из него строили мосты и бурно разраставшуюся железнодорожную сеть. Но пудлинговая печь стала тормозом дальнейшего развития, когда железо стало потребляться сотнями и тысячами тонн. Несовершенство агрегата пы-



тались компенсировать количеством – на крупных заводах работали десятки и сотни печей.

Общая продолжительность пудлингового процесса составляла около двух часов. За это время перерабатывалось максимум 250 кг чугуна. Суточная производительность одной печи при непрерывной работе не превышала, таким образом, 2,5 т. Но не меньших затрат и времени требовал и дальнейший передел. После получения железной крицы следовало «выжать» из неё шлак и превратить в плотный металл. Генри Корт прокатывал крицы в валках или проковывал их под молотом. Отжим шлака под молотом и в 1850-х гг. считался наилучшим способом, но применялся далеко не везде. На заводах Южного Уэльса, в том числе в Даулейсе (Dowlais), крица отжималась в особых прессах, по форме напоминающих пасть крокодила (американцы прозвали их «аллигаторами»). Пресс делал около 90 движений в минуту и требовал машины мощностью в 10–12 л.с. Один пресс обслуживал 10–16 пудлинговых печей. Существовали и другие конструкции механизмов для отжима шлака из крицы (кричные жомы).

Интерьер пудлингового цеха завода Круппа в Эссене (на заднем плане – проковка крицы с помощью парового молота)

## КРИЧНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ ЭПОХИ

Обжатые крицы направлялись на обработку в прокатных валках, в которых они прокатывались в пудлинговую болванку размером 4×1 дюйм – так называемый пудль-барс. «Такая болванка содержит много шлака, с поверхности имеет рвани и пластинки, – писал после поездки в Южный Уэльс майор Корпуса горных инженеров Гурьев. – Пудлинговая болванка или пудль-барс разрезывается на куски по два, по три фута длиною. Куски складываются в пакеты, провариваются (то есть нагреваются до белого каления) в сварочной печи и прокатываются в болванки тех же размеров под валками, делающими в минуту 80—100 оборотов. Это односварочное железо шлаковато и называется миль-барс. Для получения полосового железа миль-барс разрезают, сваривают

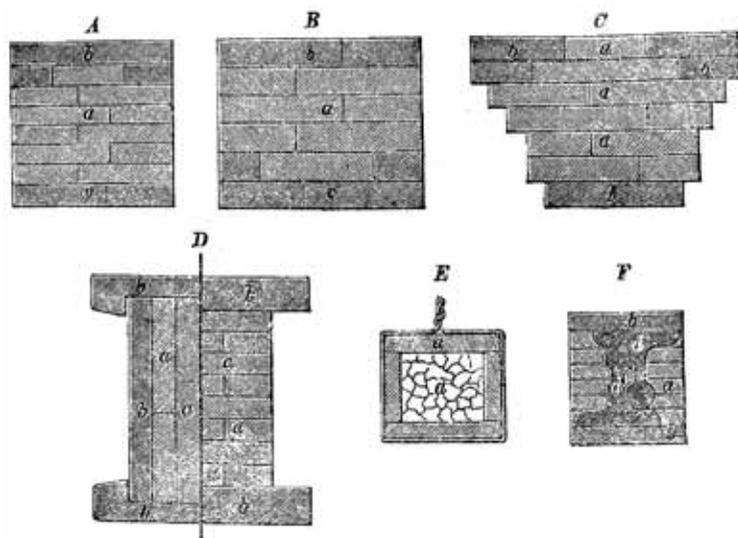
пакетами и прокатывают в разные сорта. Это двусварочное железо, называемое бар-айрон. Сортное железо прокатывается в валках, делающих до 150 оборотов в минуту».

Полосовое железо (bar-iron) было лишь полуфабрикатом. Если размера полосы было недостаточно для получения конечного изделия, применяли технологию кузнечной сварки – необходимое количество полос складывали вместе в пакет, при необходимости обвязывали железной проволокой, нагревали в сварочной печи и сваривали под молотом или в валках аналогично тому, как из пудль-барса получали миль-барс. Таким же способом получали крупные заготовки из стали либо комбинированные заготовки из полуфабрикатов с разными свойствами.

Впечатляющим примером кузнечной сварки является 25-тонная пушка, отко-

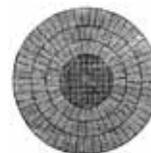
РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ СВАРОЧНЫХ ПАКЕТОВ:

А, В – комбинированные пакеты квадратного и прямоугольного сечения; С – пакет под балку таврового сечения или рельс; D – пакет под балку двутаврового сечения; E – пакет из железных отходов с «оболочкой» из миль-барса; F – пакет с использованием рельсовых обрезков



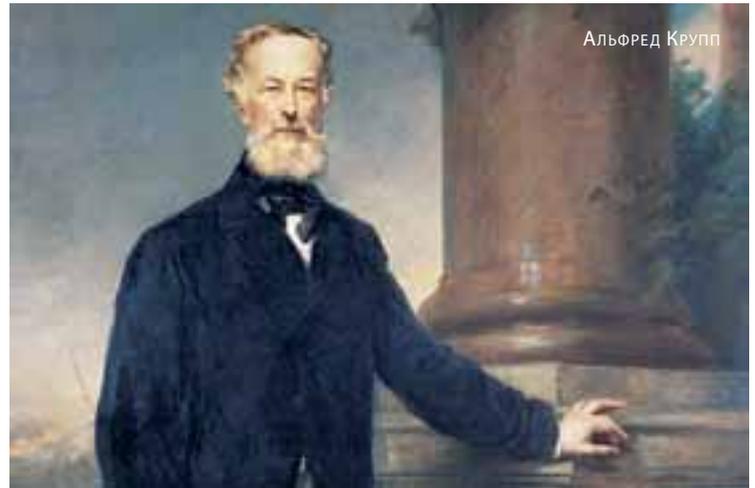
ванная в Ливерпуле на заводе Мёрси под руководством Уильяма Клэя (William Clay) – одного из участников памятного разговора, приведённого в начале главы. Орудие это было выковано из семи слоёв железа. Сначала был сварен и вытянут центральный стержень необходимой длины, поверх стержня были наварены несколько слоёв трапециевидных заготовок. На заключительной стадии поперёк были наварены два слоя обручевидных полос, которые обеспечили плавное увеличение толщины пушки к казённой части.

Изготовление орудия заняло семь недель, после сборки каждого слоя изделие подвергалось нагреву, центральная часть была высверлена. Можно представить, с какими затратами времени и материалов приходилось сталкиваться при изготовлении любого более-менее крупного изделия.



Новейшие циклопы (железопрокатный завод) Адольф Фридрих Эрдман фон Менцель (MENZEL). 1872-1875 гг.

РАЗРЕЗ 25-ТОННОЙ ПУШКИ, ИЗГОТОВЛЕННОЙ МЕТОДОМ КУЗНЕЧНОЙ СВАРКИ НА ЗАВОДЕ МЁРСИ



Альфред Крупп

### КРУППОВСКИЕ ЧЕРТИ

Проблемы с производительностью имели место и при получении стали – предельная ёмкость тиглей определялась физической силой рабочего, переносившего тигель, и не превышала двух пудов. Наибольшего развития тигельный процесс достиг в первой половине XIX в., когда промышленность потребовала прочного металла для производства машин. Германская фирма Альфреда Круппа купила технологию Хантсмана в 1810 г. Во второй половине XIX в., как раз в то время, когда Бессемер, Сименс и Мартены вели свои опыты по разработке процессов производства литой стали, крупповские специалисты изготовили стальную пушку путём соединения в специальном резервуаре металла из десятков тиглей. В 1862 г. сталелитейная фабрика Круппа произвела 5200 т литой стали.

Высококачественная литая сталь использовалась в основном для изготовления относительно небольших изделий, и пример фирмы Круппа – лишь исключение, под-

Крупповские черти,  
Генрих Клей, 1913 г.



Рабочий выливает тигельную сталь  
в изложницу



тверждающее правило. Недаром известный художник и карикатурист Генрих Клей (Heinrich Kley) изобразил тигельный цех крупновского завода в Эссене как пристанище чертей.

### **ГЕНРИ БЕССЕМЕР – «БРИТАНСКИЙ САМОРОДОК»**

В жизни Бессемера замечательно то, что он, став автором одного из крупнейших изобретений в истории металлургии, занялся сталелитейным делом только на 41-м году жизни. Обладая недюжинными способностями к изобретательству, он не многие из своих замечательных разработок смог довести до стадии коммерческого внедрения. Некоторые изобретения Бессемера значительно опередили своё время, и нашли применение спустя многие годы после его смерти.



ГЕНРИ БЕССЕМЕР

С ранней молодости, когда 17-летним юношей он переехал в Лондон, Бессемер искал свою «золотую жилу» – то изобретение, которое принесёт ему богатство и славу. И он нашёл её — недаром Джеймс Нэсмит (James Nasmyth), знаменитый изобретатель парового молота, держа в руке слиток первого бессемеровского металла, после окончания доклада Бессемера о своём процессе, восторженно восклицал: «Господа, вот это настоящий британский самородок!».

Генри Бессемер (Henry Bessemer) появился на свет 13 января 1813 г. Его отец, Энтони Бессемер, родился в Лондоне, но ещё в детстве уехал с родителями в Голландию, где обучался на инженера. В 21 год он перебрался в Париж; в столице Франции он занимался оптикой и механикой и некоторое время работал в Академии наук.

В 1795 или 1796 г. Энтони Бессемер с семьёй переезжает в Лондон, спасаясь от революции. Здесь он организовал производство золотых цепочек и, сколотив небольшой капитал, купил поместье в деревне Чарлтон в 50 км от Лондона, в котором и родился его младший сын – Генри.

### **ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ**

В Чарлтоне Энтони Бессемер организовал производство стальных пуансонов для отливки типографских шрифтов, а через несколько лет устроил собственную словолитню. Именно эта словолитня, а также деревенская водяная мельница стали первой «технической школой» маленького Генри. По окончании начальной школы он объявил, что хочет практически изучать технику. Отец согласился, тем более что в то время ученичество было единственным способом приобрести технические знания. Бессемер несколько лет обучался под руководством отца работе на специально купленном токарном станке, а также отливал из типографского металла детали первых сконструированных им механизмов. В 1830 г. семья переехала в Лондон. Здесь молодой Бессемер начал заниматься художественным литьём. Его отливки представляли некоторую художественную ценность, они выставлялись в музеях и помогли Бессемеру завязать полезные знакомства.

### **ПЕРВЫЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ И ЖИЗНЕННЫЙ ОПЫТ**

Первым «коммерчески успешным» изобретением Бессемера стал способ тиснения картона – он получил заказ на 500 листов картона для книжных обложек и на вырученные деньги пытался создать предприятие по его производству. Однако из этой затеи ничего не вышло. Затем Бессемер обратил внимание на то, что гербовые марки легко подделываются, что наносит большой убыток казне. Изобретатель разработал штемпель, который проби-вал бумагу, создавая перфорированный рисунок, после чего дальнейшее использование марки становилось не-

возможным. Бессемеру было предоставлено место «главного надзирателя за гербовыми марками» с приличным жалованием в 600—800 фунтов стерлингов в год.

Карьера изобретателя пошла в гору, он решил жениться. Невеста Генри, Анна Аллен, наделённая несомненными творческими способностями, предложила ставить на штампованную марку дату её использования. Бессемер имел неосторожность рассказать об этом предложении в департаменте, где его с радостью приняли, поскольку этот способ требовал минимальных изменений существующей технологии. Таким образом, новая должность «главного надзирателя» больше не требовалась, и вопрос о вознаграждении Бессемеру был благополучно забыт. Поскольку изобретение не было запатентовано, Бессемеру оставалось лишь махнуть рукой и поместить воспоминания об этом случае в копилку жизненного опыта.

После женитьбы Бессемер работал в отцовской словолитне, занимался гравировкой, разработкой легкоплавких сплавов, усовершенствованием способов литья, созданием новых инструментов, приборов и механизмов.

### **МАЛЕНЬКОЕ ЭЛЬДОРАДО БЕССЕМЕРА**

В начале 1840-х годов Бессемер открыл для себя «маленькое Эльдorado», которое упрочило его материальное положение, а в дальнейшем позволило финансировать работы по производству стали. Помог, как это часто случалось в жизни Бессемера, случай. Чтобы сделать по просьбе сестры надпись в её альбоме акварелей, Генри купил два пакета золотого порошка и был неприятно удивлён его ценой. Сообразив, что она обусловлена ручным способом изготовления порошка, Бессемер взялся создать процесс, который позволил бы производить в больших количествах дешёвый золотой порошок.

Проанализировав существующий способ, при котором кусочки латуни расплющивались в тончайшие листочки, а затем вручную растирались с гуммиарабиком в ступке, Бессемер приступил к исследованиям (в том числе с применением микроскопа) и экспериментам, которые продолжались почти год.

Разработанная Бессемером машина расплющивала кусочки металла в валках, перетираала их, сортировала по крупности в потоке воздуха, а крупные частицы снова перетираала. Все работы велись в строжайшем секрете, детали будущей машины заказывались на разных заводах, а помещение для неё не имело окон и освещалось лишь верхним светом через отверстие в крыше. Бессемер максимально механизировал все операции, так что для процесса получения золотого порошка было достаточно трёх человек — братьев жены изобретателя.

Задача получения различных оттенков порошка решалась подбором состава медных сплавов, в чём Бессемер имел большой опыт. В своей автобиографии он писал, что



на своём веку переплавил не один мешок русских медных копеек. Для этих целей рядом с фабрикой, на Бакстер-стрит была устроена металлургическая мастерская.

Около 20 лет, пока в США не был разработан аналогичный способ, фабрика приносила семье Бессемера стабильный доход и позволяла самому Генри без проблем заниматься изобретательством. В период с 1843 по 1853 гг. он взял 27 патентов.

### **УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ИЗОБРЕТАТЕЛЬ**

Изобретения Бессемера касались различных отраслей промышленности и транспорта. Он получил патенты на соединение железнодорожных вагонов гофрированным рукавом («гармоникой») для безопасного перехода, которое вошло в железнодорожную практику много лет спустя, на систему «гидростатического тормоза» железнодорожного состава, когда все колёса поезда тормозятся одновременно давлением воды. Этот способ используется и поныне, только вместо воды применяется воздух.

Наиболее активно Бессемер работал в области сахарного и стекольного производств. Здесь он эффективно применял научный подход, по несколько лет исследуя свойства материалов и их поведение в производственных процессах. Результатом исследований стали пресс для отжима сока из сахарного тростника, сконструированный таким образом, что не позволял упругому стеблю впитывать сок после снятия давления, и стекольная печь с медленно вращающимися для перемешивания тиглями и «прокатным станом» для производства оконного стекла.

Патент на стекольную печь Бессемер продал за 6 тысяч фунтов стерлингов промышленнику Чансу. Однако лишь в конце XIX в. способ непрерывной разливки оконного



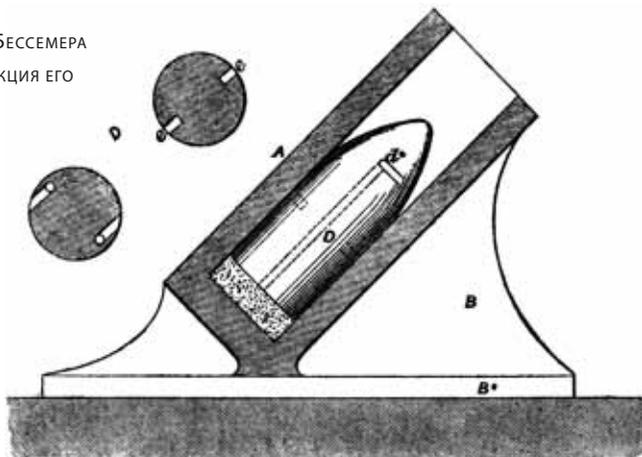
Выксунский ЛПК

стекла был применён в производственной практике. Сам принцип непрерывной разливки в охлаждаемые валки предлагался Бессемером позднее и для жидкой стали, однако на практике он был осуществлён лишь в наши дни в составе так называемых литейно-прокатных комплексов (ЛПК). Первый и пока единственный в нашей стране ЛПК был недавно построен на Выксунском металлургическом заводе Объединённой металлургической компании.

### Артиллерийский капитан в роли оракула

История работы над способом производства литой стали началась в 1854 г., когда Генри Бессемер предложил военному министерству Великобритании идею артиллерийского снаряда особой конструкции, которая позволяла ему вращаться в полёте даже при выстреле из гладкоствольного орудия. Дело в том, что в ходе Крымской войны выявились преимущества продолговатых снарядов с заострённым наконечником, однако для стабилизации траектории полёта таких снарядов требовалось придать им вращательное движение, для чего необходимо было иметь спиральные нарезки в канале ствола. Изобретение Бессемера позволило бы использовать существующий парк гладкоствольной артиллерии, постепенно обновляя его нарезными орудиями.

МОРТИРА БЕССЕМЕРА  
И КОНСТРУКЦИЯ ЕГО  
СНАРЯДА



Однако военное ведомство отказало изобретателю. Тогда он соорудил у себя на Бакстер-стрит небольшой полигон, где проводил испытания своего снаряда с помощью небольшой мортиры, чтобы траектория полёта была по возможности более крутой и снаряды падали внутри его участка. Получив обнадеживающие результаты, Бессемер продемонстрировал модель своего изобретения одному из родственников Наполеона III. Принцип рассказал об этом императору и тот разрешил Бессемеру провести опыты на полигоне в Венсенне.

Пробные стрельбы прошли удачно. Однако 12-фунтовая пушка (т.е. пушка, рассчитанная на стрельбу 12-фунтовыми ядрами), стреляющая 24- и 30-фунтовыми снарядами вызвала у капитана Минье – видного французского артиллерийского специалиста – сомнения в безопасности применения тяжёлых снарядов. «Главный вопрос, – писал он, – заключается в следующем: можно ли изготовить пушку, которая выдерживала бы стрельбу такими тяжёлыми снарядами».



ДЕРЕВЯННАЯ МОДЕЛЬ  
СНАРЯДА ДЛЯ ДЕМОН-  
СТРАЦИИ ПРИНЦИПА  
ЕГО ДЕЙСТВИЯ

### СВЕЖИЙ ВЗГЛЯД ГЕНИАЛЬНОГО «ДИЛЕТАНТА»

Замечание Минье направило внимание Бессемера на проблему качества оружейной стали. Опытные стрельбы были произведены 22 декабря 1854 г., а 10 января 1855 г., через три недели, Бессемер уже заявил свой первый патент на «усовершенствования в получении железа и стали».

Чрезвычайно характерными для воззрений и метода работы Бессемера являются следующие его слова: «Мои познания в металлургии железа были в это время очень ограничены и состояли только из того, что по необходимости наблюдает инженер в литейной или кузнице. Но для меня это было выгодно в том отношении, что мне не приходилось разучиваться... Я был способен воспринять всякое новое наблюдение, так как мне не приходилось бороться с предвзятыми мнениями, которым неизбежно подвержен в большей или меньшей степени каждый, кто в своей жизни долгое время провёл в рутине служебной работы».

Какое значение придавал Бессемер свежему подходу к проблеме видно из того, что он неоднократно возвращается к этой мысли в своей автобиографии. По поводу удачи с сахарным прессом, он писал: «Как часто мне приходило на мысль и как часто я говорил, что имею огромное преимущество перед другими в том, что у меня не укоренилось благодаря долговременной служебной деятельности определенное направление мыслей, которое влияло бы на меня и могло бы сбивать с толку; что я никогда не имел столь распространенной склонности – все существующее считать уже непременно и хорошим. Поэтому я мог совершенно беспристрастно смотреть всякому вопросу прямо в лицо, мог по всем пунктам взвесить за и против без предубеждения и без предвзятых мнений и в случае надобности не пугался идти по совершенно новому пути».

### ОТТАЛКИВАЯСЬ ОТ РЕОМЮРА

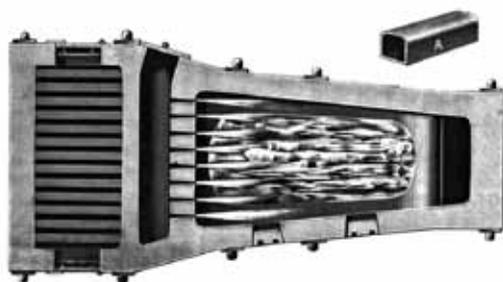
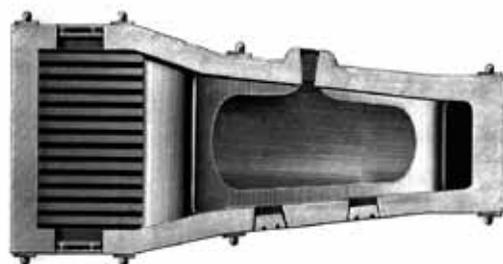
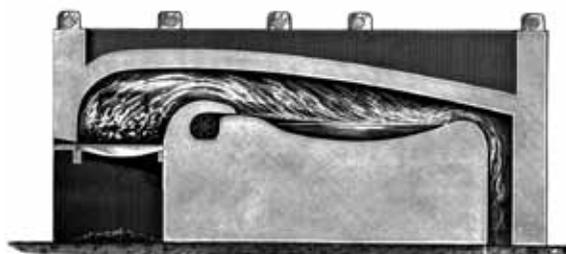
Исходной точкой были приняты опыты Реомюра и более поздние изыскания английского инженера Уильяма



Сэр Уильям Ферберн

Ферберна (Sir William Fairbairn), которые пытались получить ковкий чугун, сплавляя серый чугун с железными обрезками в вагранке. Однако вагранка не подходила для работы с коксом: в металл переходили примеси, в первую очередь сера. По этой причине Бессемер взял за основной агрегат пудлинговую печь, в которой сначала расплавлялся чугун, а затем вводились куски цементированной стали.

Для расплавления частично обезуглероженого металла была нужна высокая температура, и Бессемер предложил достичь её увеличением ширины колосниковой решетки, на которой сжигался уголь (т.е. увеличением расхода топлива), и сужением поперечного сечения печи у порога и перед боровом. Несмотря на несомненное улучшение конструкции, осталась нерешенной проблема контакта металла с горючими компонентами продуктов горения, что вызывало науглероживание металла. С этой проблемой Бессемер боролся более полугода, пока не разработал пламенную печь - своеобразную комбинацию пудлинговой печи и кричного горна.



Модифицированная пудлинговая печь БЕССЕМЕРА

Бессемер представил французскому правительству, на деньги которого производились исследования, отчет о проделанной работе, после чего последовало распоряжение о строительстве печей новой конструкции на пушечно-литейном заводе в г. Рюэль (Ruelle). Однако печи так и не были построены, поскольку направление исследований Бессемера, благодаря случаю, приняло совершенно иное направление.

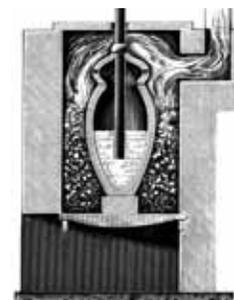
### НАПРАВЛЕНИЕ ПРОРЫВА

Вернувшись с Рюэльского завода, Бессемер продолжил опыты с пламенной печью и заметил несколько кусков нерасплавившегося чугуна. Увеличив подачу воздуха через пламенный порог, он с удивлением обнаружил, что они так и не расплавились. Коснувшись их ломом, Бессемер понял, что это лишь пустотелые оболочки. Произошло это потому, что чугун на поверхности чушек «обезуглеродился» и превратился в железо, температура плавления которого выше, чем чугуна. Этот факт, хорошо известный пудлинговщикам, не был известен изобретателю.

Наблюдение, которое профессионалы оставляли без внимания, привело изобретателя к мысли о необходимости подвода воздуха к возможно большей поверхности чугуна для его интенсивного обезуглероживания. Как Бессемер от мысли о подаче воздуха на поверхность металла пришёл к идее продувки слоя металла неизвестно. Кстати, необходимо отметить, что Бессемер не первым пришел к мысли о целесообразности продувки чугуна воздухом. Известно, что за семь лет до Бессемера такие опыты успешно проводил в Америке Уильям Келли.

Возможно, идеей Бессемера было получение тигельной стали, но не из дорогой цементированной стали, а из дешёвого чугуна путём его продувки непосредственно в тигле. При этом металл частично обезуглероживался, а затем, при повышении температуры, образовавшаяся смесь чугуна и железа расплавлялась, превращаясь в тигельную сталь. Именно так Бессемер описывал свои опыты в письме к Нэсмиту. В нём же он писал, что пришёл к мысли: если металл сначала расплавить, а потом продувать, то процесс удаления примесей пойдёт гораздо эффективнее. Тут же был проведён опыт, в ходе которого за полчаса металл был полностью обезуглерожен, однако более половины его было выброшено из тигля. Результатом исследований стал тигель особой конструкции, препятствующий выбросу металла и патент от 17 октября 1855 г.

Опыт по продувке в тигле. Поскольку БЕССЕМЕР НЕ ЗНАЛ, ЧТО ТЕПЛА РЕАКЦИЙ ОКИСЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ С ИЗБЫТКОМ ХВАТАЕТ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛА В ЖИДКОМ СОСТОЯНИИ, ПОНАЧАЛУ ОН ИСПОЛЬЗОВАЛ ТОПЛИВО ДЛЯ ОБОГРЕВА ТИГЛЯ



## ОСНОВОПОЛАГАЮЩИЕ ПАТЕНТЫ

В следующие месяцы Бессемер взял ряд патентов на различные способы обезуглероживания чугуна подачей дутья как в слой, так и на поверхность металла. Некоторые из них были совершенно нелепы, другие вполне разумны, в них уже присутствовали отдельные элементы, положенные позднее в основу конструкции конвертера — вращающегося яйцеобразного сосуда, с подачей воздуха через полую ось, подводом дутья через днище. Упомянулось также название нового агрегата — конвертер, то есть сосуд, в котором происходит превращение чугуна в сталь.

Через полгода была построена первая крупная установка на 340 кг металла, сделанная из листового железа и выложенная изнутри огнеупорной футеровкой. Воздух в конвертер подавался через шесть сопел, расположенных в нижней части по окружности.

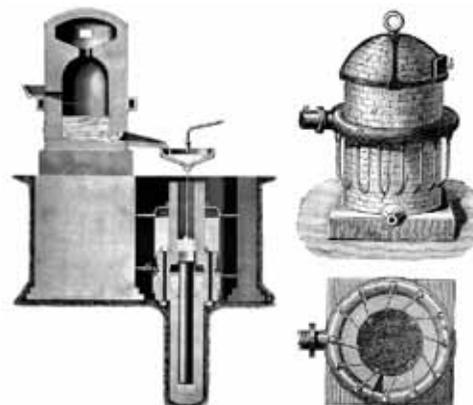
Основной принцип в заявке на патент, поданной 12 февраля 1856 г. (выдан 8 августа), Бессемер сформулировал так: «Я открыл, что, если атмосферный воздух или кислород вводится в металл в достаточном количестве, то он вызывает сильное сгорание частиц жидкого металла и поддерживает или повышает температуру до такой степени, что металл остаётся в жидком состоянии во время перехода его из состояния чугуна до состояния стали или ковкого железа без применения топлива».

## ВУЛКАН В ЛАБОРАТОРИИ

Поскольку Бессемер не представлял себе, насколько бурно идет реакция обезуглероживания, первый же опыт едва не уничтожил мастерскую, поскольку конвертер, подобно вулкану, выбрасывал раскалённый металл и шлак. Во время следующего опыта Бессемер повесил над отверстием чугунную крышку, однако она через несколько минут расплавилась и «извержение» повторилось.

В это время Бессемер вообще плохо представлял себе сущность происходящего в конверторе. В частности, он полагал, что тепло выделяется в результате окисления только углерода (на самом деле первым выгорал кремний) и что сера окисляется кислородом и переходит в газ.

В случаях, когда по какой-либо причине подача дутья снижалась, металл в конверторе застывал. Поскольку



Цилиндрический конвертер с камерой-уловителем и гидравлической изложницей

Диорама «Мастерская Генри Бессемера»



снизить интенсивность реакций не представлялось возможным, Бессемер сконструировал новый агрегат со специальной камерой-уловителем в верхней части. Эта система была запатентована в мае 1856 г. вместе с изложницей для отливки металла, дно которой представляло собой поршень гидравлического пресса, который выталкивал слиток после его застывания.

## ТРИУМФ, ДЕМПИНГ И ДЕТСКИЕ БОЛЕЗНИ

Для экспертной оценки нового способа Бессемер пригласил в мастерскую на Бакстер-стрит инженера-конструктора Джорджа Ренни (George Rennie). Несмотря на то, что процесс был несовершенен, Ренни уговорил Бессемера выступить с докладом на съезде Британской Ассоциации содействия научным исследованиям в Челтэнхеме (Cheltenham). Настроение слушателей в начале доклада можно себе представить из эпиграфа, в конце доклада зал аплодировал. Доклад Бессемера показывает, что о многих проблемах он ещё не подозревал, о некоторых благоразумно умалчивал, в целом же доклад был составлен таким образом, что произвёл благоприятное впечатление на слушателей.



Один из первых слитки Бессемеровской стали, 1865 г.

Цилиндрический конвертер

Доклад Бессемера, напечатанный на другой день в Times (его перевод вскоре был опубликован в российском «Горном журнале»), вызвал огромный интерес и обеспечил изобретению необходимую рекламу.

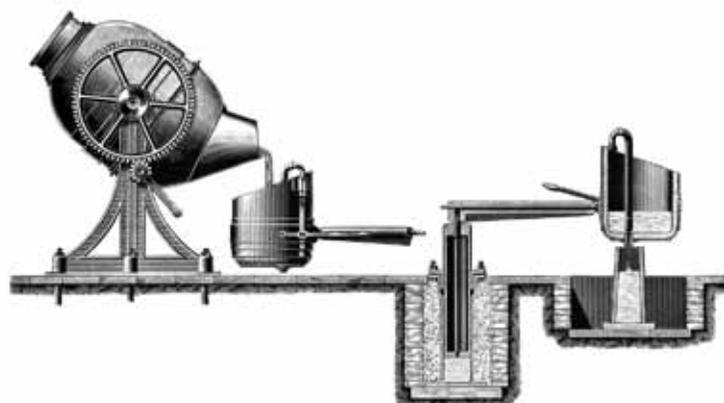
Бессемер хорошо понимал, что для масштабного промышленного применения нового процесса придётся ещё провести большую работу по борьбе с его «детскими болезнями» и что для этого нужны немалые денежные средства. Для того чтобы обеспечить их поступление и заинтересовать потенциальных пользователей он применил следующий подход. В каждом из пяти промышленных регионов им были выбраны ключевые партнёры – крупные промышленники, обладавшие значительными средствами и весом в деловом сообществе. Они покупали лицензию на новую технологию за 10 тыс. фунтов стерлингов на льготных условиях: вместо положенных по британскому патентному законодательству 14 лет они платили отчисления Бессемеру (10 шиллингов с тонны) только год.

Такая схема имела несомненные преимущества. Во-первых, благодаря «демпингу» обеспечивалась заинтересованность промышленников в использовании нового процесса, экономическая привлекательность которого существенно возрастала. Уже через несколько недель после доклада Бессемер собрал за право использования своего патента около 27 тыс. фунтов стерлингов.

К счастью для своего изобретения, Бессемер имел деловую хватку и существенный опыт в продвижении своих разработок, потому что вскоре начались проблемы. Дело в том, что чугун, используемый им в опытах, был очень чистым по примесям, в первую очередь по фосфору, что обеспечивало высокое качество получаемой стали. Когда же дело дошло до промышленного применения, то обнаружилось все недостатки недоведённого до ума процесса. Помимо невозможности удалять примеси к недостаткам относились очень низкая стойкость футеровки конвертера (не более трёх продувок) и большие потери металла — до 40 %.

### ОТ ЛАБОРАТОРНЫХ ОПЫТОВ К ПРОМЫШЛЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Бессемер перешел к решительным действиям. Переведя половину денег на имя жены на случай полного поражения, на остальные он начал всесторонние масштабные технические и научные исследования. Изобретатель организовал собственный завод в Шеффилде, где вместе с единомышленниками занялся совершенствованием нового процесса. Компаньонами Бессемера стали: его товарищ Лонгстон, зять Уильям Аллен и манчестерские машиностроители братья Холлоуэй, обменявшие купленную у Бессемера лицензию на паи предприятия. Изобретатель привлёк к работе известного химика профессора Генри и химика-аналитика завода Даулейс Эду-



арда Райли, которые производили анализы сырья и продуктов процесса на различных стадиях плавки.

НАЧАЛЬНЫЙ ВАРИАНТ  
БЕССЕМЕРОВСКОГО  
ЦЕХА В ШЕФФИЛДЕ

Затруднения с выбросами металла были устранены приданием сосуду формы груши. Сосуд вращался на горизонтальных цапфах, в опрокинутом положении дно оставалось свободным, при этом дутье можно было прекратить, не опасаясь, что жидкий металл польется в воздушные отверстия. Конвертер имел ручной привод поворота, который позднее был заменён гидравлическим. Исследования помогли понять ход процесса, однако проблему фосфора решить не удалось.

### БЕССЕМЕРОВСКИЙ ЧУГУН

Обнадёживающие результаты были получены в Швеции на заводе в Эдскене (Edsken) Гёраном Фредериком Гёрансоном, ранее купившим лицензию, была произведена хорошая бессемеровская сталь из шведского чугуна. Позднее, в 1862 г., Гёрансон основал машиностроительную фирму Sandvik, которая в начале своей деятельности занималась производством стали для изготовления буровых свёрл, а в наши дни является одним из ведущих производителей горного и металлургического оборудования. Таким образом, один из вариантов, позволяющих обойти проблему фосфора, заключался в покупке чугуна в Швеции и переработке его в Великобритании – экономически это было оправданно.

Вторым вариантом был поиск малофосфористого чугуна непосредственно на острове. Залежи малофосфористой руды разрабатывались в Камберленде. К удивлению Бессемера и его компаньонов, завод, работающий на этой руде, производил фосфористый чугун. Пообещав руководству завода крупные заказы, Бессемер договорился об ознакомлении с производством. Удалось установить, что в качестве флюса для доменных печей использовался фосфористый пудлинговый шлак другого завода. Осталось лишь договориться с руководством о производ-

Один из первых промышленных конвертеров Бессемера

KELHAM ISLAND MUSEUM. ШЕФФИЛД, ВЕЛИКОБРИТАНИЯ



**KELHAM ISLAND MUSEUM**  
Museum Opening Times:  
Monday to Thursday 10.00am to 4.00pm  
Sunday 11.00am to 4.00pm  
Car Park, Gift Shop, Cafe  
SHEFFIELD INDUSTRIAL MUSEUMS TRUST  
www.sitmt.co.uk

We'll be Rebuilding the River Retaining Wall at Kelham Island Museum  
Contact the Trust: www.sitmt.co.uk

59

стве чистого по фосфору «бессемеровского чугуна». Этот термин стал в дальнейшем общепринятым для обозначения чугуна, пригодного для бессемерования.

### РАСКИСЛЕНИЕ СТАЛИ

В том же 1857 г. была решена проблема краснотомкости бессемеровской стали. Удалось выяснить, что она была вызвана присутствием не серы, а кислорода. Металлурги середины XIX в. знали как бороться с краснотомкостью: для этого в металл в каком-либо виде добавляли марганец. К счастью, марганец, успешно связывавший в металле серу, точно также связывал и её химический аналог — кислород. Именно «раскисление» металла марганцем вдохнуло новую жизнь в бессемеровский процесс, который без этого вряд ли получил бы широкое распространение.

Сроки действия большинства патентов на применение в металлургии марганца (многие из которых принадлежали известному английскому металлургу Дэвиду Мюшету) к 1850-м годам истекли. Однако 22 сентября 1856 г. (спустя немногим более месяца после доклада Бессемера) Роберт Мюшет (Robert Forester Mushet), сын Дэвида Мюшета, взял четыре патента на применение марганца, расширенное толкование которых могло бы создать большую опасность для Бессемера.

Переговоры с Мюшетом окончились безрезультатно. Единственный способ защиты для Бессемера заключался в доказательстве отсутствия новизны в этой идее. Этой линии Бессемер и придерживался всю жизнь. В дальнейшем он, однако, когда в прессе началась кампания против его патентов, счёл более выгодным выплачивать Мюшету ежегодную пенсию (фактически – лицензионные отчисления), чем тратить силы и средства на борьбу с газетами.

### ШЛИФОВКА ТЕХНОЛОГИИ

Летом 1858 г. ворота Шеффилдского завода распахнулись для всех желающих, поскольку предприятие должно было являться рекламой нового процесса. Первым на бессемеровскую сталь серьёзное внимание обратил полковник Уилмот (Eardley Wilmot) – начальник артиллерийских заводов Вулвичского арсенала. Благодаря его протекции знаменитый сталепромышленник Джон Браун установил на своём заводе два 3-тонных конвертера и первым применил способ разлива стали в изложницы, поставленные на вагонетки.

Основные проблемы конверторной плавки были решены (точнее, одну из них пришлось обойти, что существенно сужало область применения процесса) и изобретатель мог перейти к «шлифовке» технологии. Дальнейшие усовершенствования касались главным об-

разом оборудования. Бессемер закрепил их в своём патенте от 1 марта 1860 г. Оборудование было настолько продумано и совершенно, что практически без изменений применялось в течение ста лет.

Конвертер в виде огромного яйцевидного сосуда (реторты) или, точнее, гигантской асимметричной груши, с обращённым в сторону верхним выходным отверстием (горловиной) был склёпан из толстых железных листов и выложен (футерован) изнутри слоем огнеупорных материалов. Внизу реторты была приделана так называемая воздушная камера, куда нагнетался сжатый

Один из вариантов конструкции бессемеровского конвертера



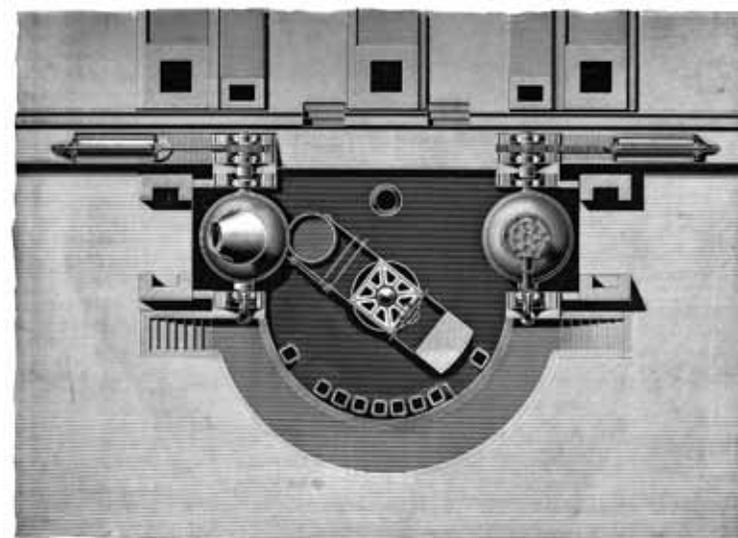
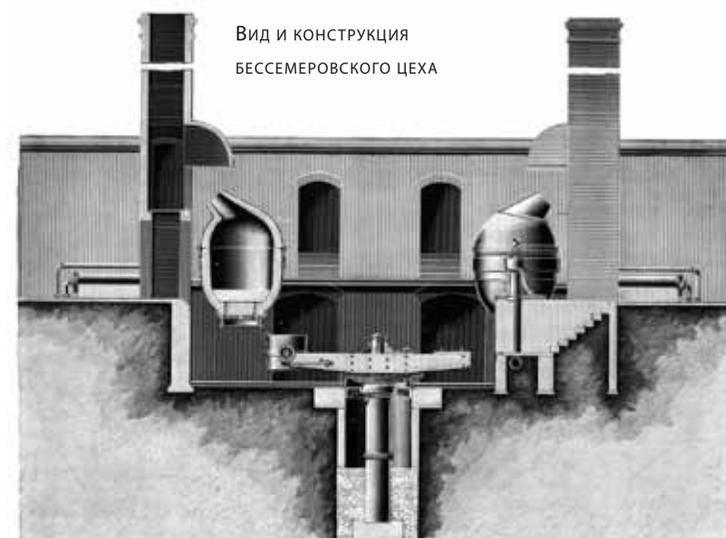
РОБЕРТ МЮШЕТ

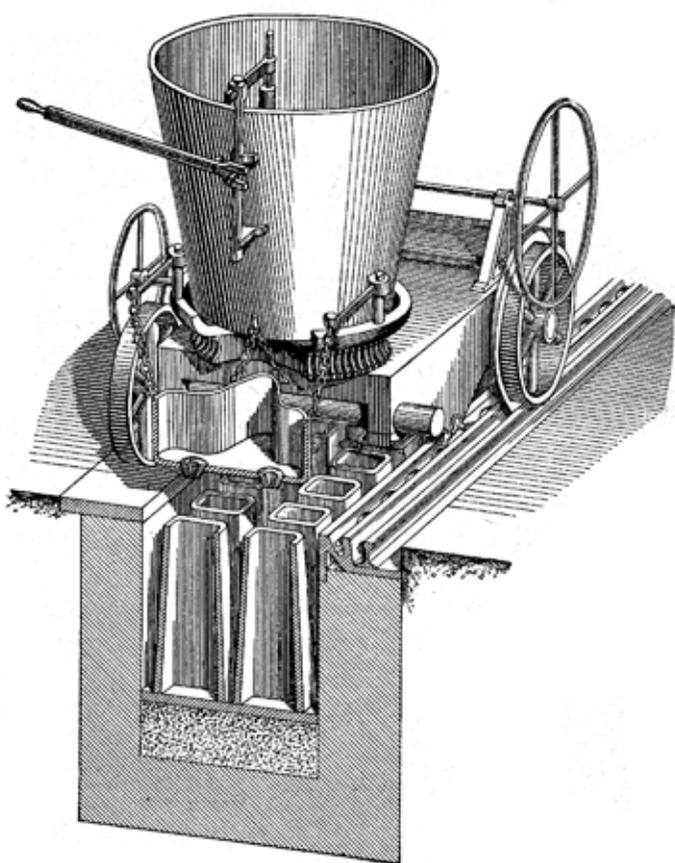


воздух, поступающий в конвертер через сопла в днище. Эта камера обеспечивала равномерность подачи воздуха и делалась съёмной.

Остроумно был сконструирован гидравлический механизм для поворачивания конвертера. На его оси была укреплена шестерня, сцепляющаяся с зубчатой рейкой, которая являлась продолжением штока поршня гидравлического цилиндра. Передвижение поршня под давлением воды наклоняло конвертер в ту или иную сторону.

Разливочный ковш, в который из конвертера выпускался готовый металл и откуда он разливался по изложницам, был укреплён на одном конце рычага гидрав-





РАЗЛИВОЧНАЯ  
ТЕЛЕЖКА

лического крана, на другом конце был установлен подвижный противовес. При помощи такого устройства ковш мог двигаться по окружности и устанавливаться на различной высоте. Схема, с двумя расположенными друг против друга конвертерами и разливочным ковшом, вращающимся над круглой литейной ямой и расставленными по её окружности изложницами, долго оставалась «классической».

В начале 1860-х годов Бессемером был предложен ещё ряд усовершенствований. Большое развитие в дальнейшем получила идея делать днища конвертеров съёмными. Патент на это изобретение Бессемер взял 13 января 1863 г. Дело в том, что во время процесса быстрее всего прогорали именно днища (они выдерживали 12—16 плавов), и их футеровку особенно часто приходилось менять. Бессемер предложил воздушную камеру вместе с днищем ставить на опускаемую и поднимаемую гидравлическим прессом тележку так, чтобы их легко можно было бы увозить и на место прогоревшего днища ставить новое. Эта идея была впоследствии использована американскими инженерами, и именно благодаря этому усовершенствованию стал технически возможен так называемый «непрерывный» процесс.

РАЗЛИВКА СТАЛИ  
В БЕССЕМЕРОВСКОМ  
ЦЕХЕ. К. МОЙНИР,  
1880 г.





## ФЕРРОМАРГАНЕЦ

В эти же годы Бессемер организует в производственном масштабе введение в металл марганца. Зеркальный чугу́н (другие названия — марганцовистый чугу́н, или шпигель, от нем. Spiegeleisen) с содержанием марганца 12—20 %, предложенный Мюшето́м и применявшийся Бессемером для «раскисления» металла, обладал крупным недостатком. Он содержал слишком много углерода. Когда дело шло о выработке твёрдых углеродистых сортов стали, в этом не было большой проблемы, но когда надо было производить мягкий низкоуглеродистый металл, например для котельных листов, то тут зеркальный чугу́н совершенно не годился: вводя при его помощи достаточное количество марганца, одновременно вводили слишком много углерода.

Как только выяснилось значение марганца для процесса, Бессемер поставил себе «задачей получить искусственную железо-марганцовую руду». В 1862 г. Бессемер узнал, что большое количество марганца образовывалось на химическом заводе Тэнннатов в Шотландии в составе отходов производства хлора и белильной извести. Посетив предприятие, Бессемер изложил свою идею химику Хендерсону и договорился с ним, что тот разработает соответствующий процесс. В 1863 г. Хендерсон взял патент на производство «ферромангана» с содержанием марганца 20—25 % (масс.).

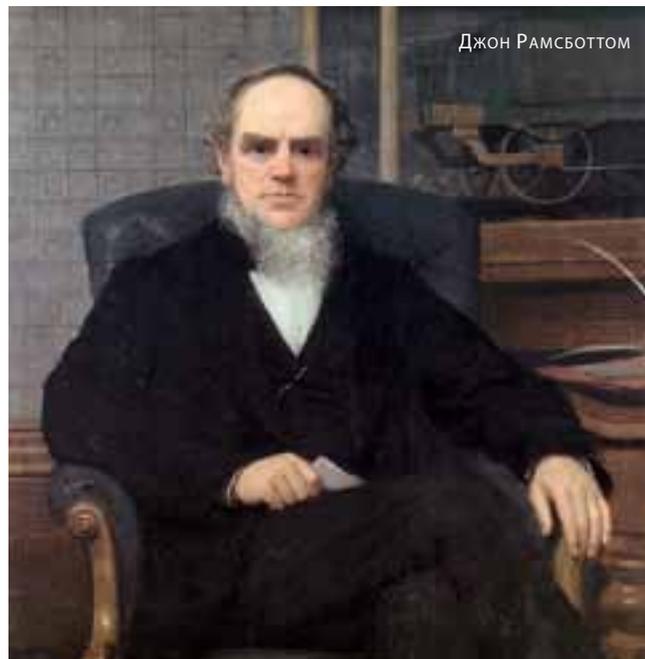
## СТАЛЬ ЗАВОЁВЫВАЕТ МИР

Бессемеровская сталь завоёвывала новые позиции. Завод в Шеффилде был завален заказами и работал полным ходом. Всемирная выставка в Лондоне в 1862 г. позволила ему показать товар лицом. Был представлен огромный спектр изделий из нового материала, сочетавшего в себе вязкость, гибкость и тягучесть сварочного железа с однородностью тигельной стали. Особый интерес представляла коллекция «истерзанных образцов», которая должна была наглядно продемонстрировать посетителям свойства литой стали.

Через пять лет после Лондонской выставки, где был достигнут теоретический успех, на Парижской выставке 1867 г. был продемонстрирован практический успех нового процесса. Российский корреспондент И. Мещерин в отчёте «О процессе бессемерования на Парижской всемирной выставке 1867 года» писал: «...Нет почти ни одной страны в свете, хотя бы с весьма незначительным горно-заводским промыслом, где бы бессемеровский способ не получил большего или меньшего развития. Принимая во внимание ещё относительную новизну его, нельзя не согласиться, что участь этого изобретения почти беспримерна по блестящим результатам как для промышленности, получающей в своё обращение до 20 млн. пудов в год ценного металла, так и для изобретателя, собирающего ныне ежегодно до 2 млн. рублей за свою привилегию».

## РЕЛЬСОВАЯ ВОЙНА

Полную и безоговорочную победу сталь Бессемера одержала на фронте рельсового производства – за 21 год она полностью вытеснила железо. На долгие годы железные дороги стали основным потребителем бессемеровского металла. Первые стальные рельсы производил уже упоминавшийся Джон Браун (1861 г.), но окончательный успех был обеспечен, когда этим производством стала заниматься Лондонская и Северо-Западная железная дорога.



ДЖОН РАМСБОТТОМ

Бессемер не без юмора вспоминал, как на его предложение — заменить железные рельсы стальными — главный инженер, мистер Рамсботтом (John Ramsbottom) посмотрел на него с удивлением и ответил: «Мистер Бессемер, Вы, должно быть, хотите, чтобы меня отдали под суд за смертоубийство».

Но Рамсботтом недаром считался одним из лучших инженеров Англии – он живо схватывал технические новинки. Бессемеру удалось убедить его, что предлагаемый стальной рельс имеет мало общего с твёрдой, но хрупкой тигельной сталью. «Пришлите мне, пожалуйста, тонн десять этого материала, чтобы я мог его вволю потерзать», – попросил Рамсботтом. И действительно, Рамсботтом, получив пробные рельсы, на совесть занялся их «терзанием». Рельс в холодном состоянии был закручен штопором и лопнул только после того, как наружные стороны вытянулись больше чем в полтора раза против первоначальной длины. Затем стальной квадратный брус (сечением 10×10 см) в горячем состоянии закручивали вдоль продольной оси до тех пор, пока он не лопнул. Это



случилось после того, как брус принял форму цилиндра с винтовой нарезкой, образованной его рёбрами, которые при этом вытянулись в двадцать шесть раз. Это убедило Рамсботтома. Лондонская и Северо-Западная железная дорога стала производить бессемеровские рельсы в своих мастерских.

Железный рельс не сразу сдал свои позиции. Ещё в начале 1870-х годов на рельсы перерабатывали большую часть сварочного железа, но судьба железного рельса была уже решена. Последний британский железный рельс был прокатан в

Южном Уэльсе в 1882 г.

### БОИ ТЯЖЕЛОВЕСОВ

За свою «стальную» карьеру Бессемер потерпел лишь одно крупное поражение. Ему так и не удалось стать поставщиком стали для королевского Арсенала. Дело в том, что в 1860 г. место во главе Арсенала вместо Уилмота занял сэр Уильям Армстронг. Крупный промышленник и талантливый изобретатель, он в 1854 г. поставил военному ведомству несколько удачных пушек, а в 1858 г. предложил орудие, оригинальное как по конструкции, так и по способу производства. Оно было изготовлено из сварочного железа и превзошло все ожидания. Желая сохранить за собой монополию на производство артиллерии для Вулвичского арсенала, Армстронг на пушечный выстрел (такой вот каламбур) не подпускал к нему Бессемера.

### БОЛЬШОЕ ЭЛЬДОРАДО БЕССЕМЕРА

Литой металл всё шире входил в промышленность. В начале 1870-х годов в Швеции на 14 заводах работало более 80 конвертеров, в Англии около 40, во Франции 31. В Германии только на одном заводе Круппа (в Эссене) действовали 22 конвертера.

К концу 1860-х годов общество Шеффилдского завода было ликвидировано, а его пайщики получили долю, которая в 24 раза превышала первоначальный вклад. Дивиденды в 57 раз превосходили сумму основного капитала. К моменту прекращения действия патентов Бессемер получил по ним около миллиона фунтов стерлингов. Таким образом, основная цель его жизни была достигнута. Бессемер вносит последние усовершенствования в процесс и постепенно отходит от металлургии.

В 1871 г. изобретатель был избран президентом только что образованного Института Чугуна и Стали, в 1879 г.

стал членом Королевского научного общества. Он получил множество титулов: почётный гражданин Лондона, почётный мастер цеха токарей, почётный мастер ножовщиков и многие другие.

Стоит упомянуть ещё об одной работе Бессемера, которая лишний раз подчёркивает, что многие из его разработок значительно опережали своё время. При разливке стали он столкнулся с проблемой выделения большого количества газов. Для решения этой проблемы Бессемер предложил помещать ёмкость с металлом в вакуум-камеру, удаляя таким образом растворённые в металле газы. В промышленности эта разработка получила распространение лишь спустя столетие, так же как ещё одно важнейшее усовершенствование в чёрной металлургии – обогащение дутья доменных печей кислородом, первый патент на которое принадлежит Генри Бессемеру.

### БЕССЕМЕР ПОСЛЕ СТАЛИ

В середине 1860-х годов Бессемер приобрёл особняк Денмарк-хилл. Он сам руководил его отделкой, рисовал эскизы, проектировал мастерскую и отдельные помещения.

После того, как Бессемер отошёл от дел на своём заводе, он поселился в Денмарк-хилл и вернулся к любимому занятию – свободному изобретательству. Теперь для него это был просто способ занять время. Большая часть его разработок этого периода оказалась неудачной, например, пароход с каютами, в которых не ощущалась качка, огромный телескоп, солнечная печь. Успешным стал проект алмазно-гранильной фабрики, который Бессемер сделал для своего внука.

Последним серьёзным делом, предпринятым Бессемером, стало написание автобиографии. В ней он подробно рассказал о своём жизненном пути и, конечно, более всего – об истории создания и совершенствования процесса производства литой стали.

Умер изобретатель 15 марта 1898 г. в возрасте 85 лет. \*



ДЕНМАРК-ХИЛЛ

## Глава 4

# Победа над фосфором

Томас и Джилкрест сделали для величия Британии больше, чем все короли и королевы, вместе взятые. Моисей ударил в скалу, и из неё потекла вода. Они ударили в залежи бесполезной фосфористой руды, и превратили её в сталь... и это гораздо большее чудо.

### Карнеги Эндрю, выдающийся американский предприниматель

Он блестяще выиграл битву.

### Эпитафия на могиле Сидни Джилкреста Томаса

**ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА ЛИТОЙ СТАЛИ ПРО**должал активно развиваться и после того, как Генри Бессемер отошёл от дел. Увеличивались размеры и производительность конвертеров, совершенствовалась технология, производились исследования процесса. К концу XIX в. вместимость конвертера достигла 15 т чугуна. Внутренний объём конвертера был в 10 раз больше объёма жидкого чугуна, у больших конвертеров диаметр доходил до 2,7 м при 5 м высоты. Расход воздуха составлял в среднем 300 м<sup>3</sup> на тонну чугуна (150—250 м<sup>3</sup>/мин.).

После открытия в 1860 г. знаменитыми германскими физиками Кирхгофом и Бунзенем спектрального анализа профессор Роско (ученик и друг Бунзена) применил его для наблюдения за процессом продувки на заводе Джона Брауна в Шеффилде. Благодаря работам Роско спектроскопические исследования (с 1864 г.) стали обязательным элементом производственного контроля над ходом плавки.

В 1866 г., после работ австрийского профессора Купельвизера (Franz Kupelwieser), стала понятна картина происходящего в конвертере, был определен порядок выгорания примесей. Процесс продувки стали делить на три периода, каждый из которых соответствовал выгоранию конкретного элемента: сначала выгорал кремний, затем углерод и на заключительной стадии – марганец; если дутьё продолжали подавать и после третьего периода («передувка»), начинало окисляться железо.

### ПОЧЕМУ ЭТО АКТУАЛЬНО?

История техники знает мало примеров решения актуальных технологических проблем в короткие сроки «на заказ». Однако современная

эпоха постиндустриальных технологий требует именно такого подхода к разработке инновационных проектов. История Сидни Томаса и его брата Перси Джилкреста служит редким примером эффективной реализации научного подхода к решению производственной проблемы, являвшейся главным сдерживающим фактором распространения нового процесса получения литой стали в эпоху индустриализации.

### «НАЦИОНАЛЬНЫЕ» ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ БЕССЕМЕРОВАНИЯ

В 1860-х годах было разработано несколько вариантов технологии бессемерования. Наиболее распространён был английский способ, или «прямое бессемерование», при котором металл доводился практически до полного обезуглероживания, т.е. получалось жидкое малоуглеродистое железо. При этом имело место насыщение металла кислородом, которое требовало добавления зеркального чугуна для раскисления и науглероживания металла с получением стали.

При бессемеровании чугунов с высоким содержанием марганца, остающийся в металле после завершения продувки марганец препятствовал образованию оксидов, и в

этом случае можно было завершать процесс при желаемом содержании углерода без добавки зеркального чугуна. Этот способ был известен под названием шведского. По этому способу из конвертера по ходу продувки брали пробы металла и шлака, что сильно затрудняло ведение процесса.

По немецкому способу чугун с низким содержанием кремния («химически хо-





СЭР АЙЗАК ЛОУТИАН  
БЕЛЛ – «ПЕРВОСВЯЩЕН-  
НИК АНГЛИЙСКОЙ  
МЕТАЛЛУРГИИ»



*Благодаря опытам Белла стало понятно, что использовать для удаления фосфора железистые шлаки в конвертере с кислой футеровкой не удастся, а кроме того, нельзя сделать и футеровку из железистых материалов (как в пудлинговой печи), поскольку она будет разрушаться из-за взаимодействия с углеродом чугуна.*



лодный») сильно перегрелся в вагранке или отражательной печи («физический нагрев»). Вследствие этого выгорание углерода началось с самого начала процесса вместе с кремнием и происходило спокойно, «без извержений». По этому способу после полного обезуглероживания металла требовалась «передувка» для удаления остатков кремния. Этот способ также назывался русским, поскольку уральские сталеплавильщики внедрили его даже раньше немецких. Заслуга Германии заключается в теоретическом исследовании этого способа профессором Мюллером.

### КРЕПКИЙ ОРЕШЕК

Триумфальное шествие конвертерного способа производства стали сдерживала практически единственная, но существенная проблема — фосфор.

Суть проблемы состояла в том, что огнеупорная футеровка бессемеровского конвертера изготавливалась из материалов, содержащих, преимущественно оксид кремния, который в химических реакциях проявляет свойства кислоты. Оксиды железа и марганца, которые могли бы связать растворённый в металле фосфор, имеют основные (щелочные) свойства и вследствие этого взаимодействуют, в первую очередь, с кислотными (кислыми) оксидами футеровки.

Кроме того, процесс дефосфорации в существенной степени зависит от температуры. Это обстоятельство вносило путаницу в представления металлургов того времени. Было известно, что оксиды железа, которыми

богата футеровка пудлинговой печи, обеспечивают удаление фосфора в процессе пудлингования, однако далеко не сразу стало понятно, что этому способствуют также умеренные, по сравнению с конвертерной плавкой, температуры пудлингового процесса. Решить проблему фосфора пытались многие выдающиеся металлурги.

### ПЕРВОСВЯЩЕННИК АНГЛИЙСКОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Айзак Лоутиан Белл (Isaac Lowthian Bell) — химик, промышленник и политик, которого современники называли «первосвященником британской металлургии», в 1870 г. выпустил книгу «Химические явления при выплавке чугуна», в которой подвёл итог своим почти сорокалетним изысканиям преимущественно в области доменного производства чугуна. В заключительной части своего труда он констатировал, что проблема удаления фосфора при производстве литой стали приобрела первостепенное значение, поскольку малофосфористые руды, из которых можно получать бессемеровский чугун, стали слишком дороги ввиду своей редкости и повышенного спроса на них.

С целью обогащения шлака бессемеровского процесса оксидом железа, Белл пробовал продолжать передувку до тех пор, пока шлак вследствие окисления железа не приблизится по его содержанию к пудлинговому и не начнёт взаимодействовать с фосфором. В конце плавки получался негодный металл — с высоким содержанием кислорода и с прежним количеством фосфора. Кроме того, оксиды железа взаимодействовали с кремнезёмом футеровки конвертера, разъеда (ошлаковывая) её. В другом опыте Белл влил в конвертер расплавленный шлак с высоким содержанием оксида железа. При повороте реторты произошла сильная реакция взаимодействия

оксида железа с растворённым в металле углеродом, в результате чего большая часть расплава была выброшена из конвертера.

Благодаря опытам Белла стало понятно, что использовать для удаления фосфора железистые шлаки в конвертере с кислой футеровкой не удастся, а кроме того, нельзя сделать и футеровку из железистых материалов (как в пудлинговой печи), поскольку она будет разрушаться из-за взаимодействия с углеродом чугуна. Таким образом, успешная борьба с фосфором была возможна лишь в конвертере с основной футеровкой.

### ОСНОВНАЯ ФУТЕРОВКА

Идея футеровать конвертер материалами на основе основных оксидов возникла вскоре после начала распространения способа Бессемера: уже в 1860 г. известный австрийский учёный и металлург-практик, директор Леобенской Горной академии Петер фон Туннер (Peter von Tunner) предложил применять для этой цели магнезит ( $MgCO_3$ ). В 1865 г. один немецкий металлург предлагал использовать доломит ( $Ca, Mg(CO_3)_2$ ), однако администрация завода Кёнигсхютте в Силезии не разрешила произвести опыт. В 1869 г. Мюллер высказал идею применения для кладки конвертора магнезитового кирпича, а кремнезём связывать известковыми шлаками. Француз Луи Грюнер в 1875 г. в своем учебнике металлургии указал материал основной футеровки – обожжённый доломит. Год спустя французский инженер Тесью дю Мотей проводил передел фосфористого чугуна, используя футеровку из магнезитового кирпича.

Основной причиной, по которой упомянутые исследователи не достигли успеха, было то, что процесс вёлся по «классической» технологии: продувку чугуна заканчи-

вали после второго периода, когда окислялся углерод, как это обычно и делалось в бессемеровском процессе. При этом в конвертер не вводили добавок-флюсов, связывающих фосфор в шлаке. В этих условиях после завершения продувки фосфор переходил из шлака обратно в металл.

Проблема удаления фосфора при конвертерной плавке была комплексной – требовалось найти подходящий материал для футеровки, разработать способ её изготовления, подобрать шлакообразующие материалы, а также изменить технологию собственно конвертерной плавки в соответствии с изменениями в химизме процесса.

### НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Серьёзное научное обоснование применению материалов на основе основных оксидов для футеровки конвертера появилось благодаря работам англичанина Джорджа Снелюса (George James Snelus).

Снелюс получил блестящее образование. Он прошел обучение в Оуэнс-колледже (Манчестер) под руководством профессора Роско (применившего спектральный анализ для изучения бессемеровского процесса) и в лондонской Королевской Горной школе. Снелюс был одним из лучших учеников Горной школы и по результатам экзаменов неоднократно занимал первые места и награждался медалями. На втором году обучения он был назначен ассистентом профессора Франкланда и с успехом вёл преподавательскую деятельность. В итоге Снелюс получил учёную степень (associate) в области горного дела и металлургии и был принят химиком на металлургический завод в Даулейсе – один из крупнейших в Великобритании.

Снелюс серьёзно занимался научной работой, был одним из первых членов организованного в это время Института Чугуна и Стали и регулярно выступал с до-



МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ЗАВОД ДАУЛЕЙС, ВИД С ЮГА (СЛЕВА) И С ЮГО-ЗАПАДА (СПРАВА). ДЖОРДЖ ЧАЙЛДС (GEORGE CHILDS), 1840 г.



Доктор Джон Перси



Сидни Джилкрист Томас

кладами на его заседаниях наряду с такими светилами металлургической науки, как Джон Перси и Айзак Белл.

Снелюс разработал оригинальный способ отбора газа из конвертера для последующего химического анализа. Его опыты позволили достоверно установить ход окисления углерода при продувке, что дало возможность более эффективно управлять процессом. Исследовав рафинировочные, пудлинговые и конвертерные шлаки различных заводов, Снелюс обнаружил, что чем более основным был шлак, т.е. чем выше в нём было содержание основных оксидов, тем выше было и содержание фосфора. Напротив – кремнистые, кислые шлаки содержали минимальное количество фосфора.

Работая с различными огнеупорными материалами, Снелюс установил, что известь, полученная путём обжига известняка ( $\text{CaCO}_3$ ), обладает необходимыми огнеупорными свойствами. Дальнейшие исследования показали, что из раздробленной до порошкообразного состояния извести с добавками оксидов железа (для снижения температуры обжига) можно формовать кирпичи для футеровки металлургических агрегатов.

Проведённые в небольшом конвертере опытные плавки показали, что использование основной футеровки и основного шлака позволяет снизить содержание фосфора с 1,5 до 0,01 % и получить практически свободный от фосфора металл, образец которого Снелюс бережно хранил долгие годы. Окрылённый успехом, Снелюс построил 7-тонный конвертер, но здесь его ждал неприятный сюрприз – сделанная из основного материала футеровка оказалась недостаточно прочной и для использования в конвертерах крупных размеров не подходила. Отложив на время дальнейшие эксперименты, Снелюс в 1872 г. взял патент «на употребление извести или известняка, доломита или других сортов (известняка) во всех формах, в которых он окажется применим, для футеровки всех видов печей, в ко-

торых металлы или оксиды перерабатываются в расплавленном состоянии».

### ПЕРФЕКЦИОНИЗМ КАК ТОРМОЗ ПРОГРЕССА

Не сомневаясь в правильности своего подхода с химической точки зрения, Снелюс не хотел ставить о нём в известность широкую металлургическую общественность, пока технология не будет доработана до промышленного применения, тем более что научное сообщество вообще было настроено скептически по поводу возможности удаления фосфора из литой стали.

Перфекционизм (в психологии убеждение о необходимости достижения наилучшего результата) Снелюса сыграл с ним злую шутку: к 1879 г., когда Томас объявил о своём успехе в решении проблемы дефосфорации металла, он так ещё и не довёл свой процесс до стадии промышленного применения и имел патент лишь с самыми общими формулировками. Тем не менее, конкуренты заключили мировое соглашение, согласно которому патентные права Снелюса распространялись на Великобританию и Северную Америку, а Томаса – на континентальную Европу.

Впоследствии Снелюс был назначен начальником бессемеровского производства Металлургического Завода Западного Камберленда (West Cumberland Iron Works), а затем и его директором. На этом заводе он внедрил множество усовершенствований, касающихся организации работы в бессемеровском цехе. Снелюс одним из первых предложил заливать чугун в конвертер непосредственно из доменной печи, используя для транспортировки жидкого чугуна в конвертерный цех 8-тонный ковш собственной конструкции.

В 1883 г. заслуги Джорджа Снелюса как одного из разработчиков технологии дефосфорации стали в конвертере были признаны металлургическим сообществом Великобритании, ему была присуждена Золотая медаль Бессемера «как первому человеку, получившему чистую по примесям сталь из чугуна, содержащего примеси, в бессемеровском конвертере, футерованном основными материалами».

### САМЫЙ ЗНАМЕНИТЫЙ КЛЕРК XIX ВЕКА

Над проблемой удаления фосфора в ходе конвертерного передела чугуна работали яркие и неординарные личности, признанные светила химии и металлургии, но решить её было суждено скромному младшему клерку лондонского полицейского суда Сидни Томасу, который благодаря своему изобретению практически мгновенно стал мировой знаменитостью.

Сидни Джилкрист Томас (Sidney Gilchrist Thomas) родился 16 апреля 1850 г. в лондонском квартале Кэнонбери (Canonbury). Его отец, Уильям Томас, уроженец Уэльса, служил поверенным в Департаменте внутренних доходов

и был женат на Мелисент, старшей дочери преподающего Джеймса Джилкрита.

Сидни прошел обучение в Далвич-колледже (Dulwich College) недалеко от Лондона. Он получил классическое образование с целью в дальнейшем заниматься медициной. Томас готовился поступать в Лондонский университет с перспективой получения учёной степени, однако ранняя смерть отца поставила крест на его академической карьере. Несколько месяцев Томас работал помощником учителя в школе Эссекс, а затем в возрасте 17 лет поступил на гражданскую службу, которую оставил только в 1879 г.

### ДВОЙНАЯ ЖИЗНЬ СУДЕЙСКОГО ПИСАРЯ

Томас служил на низкооплачиваемой должности клерка в одном из полицейских судов Лондона, это позволяло хоть как-то содержать мать и сестру. Впрочем, Томас вовсе не планировал посвящать этой работе всю жизнь. Поскольку он всегда проявлял интерес к науке, свободное время он посвящал изучению химии и металлургии. Он регулярно посещал вечерние занятия в Институте Биркбека (Birkbeck Literary and Scientific Institution) и в лондонской лаборатории мистера Вашэ (Vacher).

На одной из лекций по химии, которую читал доктор Джордж Чалонер (George Chaloner), Сидни услышал слова, которые глубоко запали ему в душу и определили ход всей его жизни: «Тот, кому удастся удалить фосфор в конвертере Бессемера, сделает себе состояние». Интересно, что слово «fortune», произнесённое профессором, имеет несколько вариантов перевода:

и средства даже для создания небольшой лаборатории и посещения металлургических заводов, в том числе в континентальной Европе. Начиная с 1874 г. он регулярно публиковал статьи в журнале «Железо».

### БРАТСКАЯ ПОДДЕРЖКА

Дальнейшие успешные эксперименты Сидни Томаса были бы невозможны без помощи его двоюродного брата Перси Джилкрита (Percy Carlyle Gilchrist). В 1875 г. Джилкрит устроился на работу химиком-аналитиком на завод Бленавон (Blaenavon). Здесь братья и начали эксперименты. Одному из них было на тот момент 25, а второму 26 лет.

Первая серия экспериментов, которую они проводили в тиглях, футерованных различными материалами, заняла 18 месяцев. Затем наступил длительный перерыв, поскольку для дальнейших экспериментов требовалось соорудить миниатюрный конвертер, что в итоге и было сделано. Сталь высокого качества из фосфористого чугуна была получена в конвертере с футеровкой из известняка только осенью 1877 г. В качестве связки использовалось жидкое стекло (водный щелочной раствор силикатов натрия  $\text{Na}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$  и (или) калия  $\text{K}_2\text{O}(\text{SiO}_2)_n$  впервые получен в 1818 г. немецким химиком и минералогом Яном Непомуком фон Фуксом).

Для продолжения работы требовались уже не лабораторные, а промышленные эксперименты, осуществить которые у братьев не было возможности. Было решено обратиться к Эдуарду Мартину (Edward Pritchard Martin) – главному управляющему Blaenavon Company.

*На одной из лекций по химии, которую читал доктор Джордж Чалонер, Сидни услышал слова, которые глубоко запали ему в душу и определили ход всей его жизни: «Тот, кому удастся удалить фосфор в конвертере Бессемера, сделает себе состояние»*

состояние, счастье, удача. В литературе советского периода эту фразу обычно переводили как «станет кузнецом своего счастья», но, скорее всего, Чалонер имел в виду именно благосостояние. Впрочем, несмотря на более чем скромное финансовое положение Томаса и его семьи, этот аспект имел для него второстепенное значение, главным была амбициозность и несомненная актуальность задачи.

Получив базовые знания по металлургии, Сидни занялся подготовкой к выпускным экзаменам в Горной Школе (School of Mines). Учебный план предполагал трёхгодичное обучение, однако Томас по понятным причинам не мог регулярно посещать лекции, несмотря на то, что читал их знаменитость того времени Джон Перси. Тем не менее, он успешно сдал все экзамены кроме экзамена по курсу металлургии, к которому допускались только те, кто присутствовал на лекциях. Сидни находил время

Эдуард Мартин – на тот момент ещё молодой человек, шесть годами старше Томаса, по достоинству оценил проделанную работу и, несмотря на то, что предыдущие эксперименты проводились на его заводе фактически нелегально (в старой кузнице, куда Сидни приезжал по выходным), предоставил братьям возможность продолжить работу.

### ПАТЕНТ ЗА ПАЛЬТО И ШАМПУАНСКОЕ

Благодаря помощи Мартина была построена печь для обжига огнеупорных кирпичей; в распоряжение Сидни и Перси поступил небольшой конвертер (небольшой по сравнению с промышленными, но огромный по сравнению с лабораторной моделью). Зимой в новой лаборатории были установлены ещё два конвертора — на 200 и 500 кг. Проведя около полусотни плавок, Томас и Джилкрит поняли, что для почти полного удаления фосфо-



Эдвард Причард Мартин.

Внизу — завод Бленавон



ра — до сотых долей процента — необходимо продолжать продувку металла ещё некоторое время после окончания второго периода (обезуглероживания). Именно в этот момент, когда в металле остается не более 0,4 % углерода, начинается выгорание фосфора. При содержании в чугуне 0,88—1,46% фосфора братьям удалось получить сталь с содержанием фосфора 0,04—0,07 %.

Закрепляя успех, Томас взял патент от 23 ноября 1877 г. и сразу же его продал — нужны были деньги для продолжения исследований. В письме к сестре Сидни писал: «Дорогая моя, я уступил право эксплуатации своего патента одному знакомому, очень дешево. Из первых денег купил пальто и бутылку шампанского — надо же было отпраздновать такое событие. Твой брат, наконец, добился успеха. Буду работать дальше, ещё много надо сделать. Относительно моего здоровья не беспокойся — кашляю меньше».

Продолжив исследования, 26 марта 1878 г. Томас взял патент (германский) на приготовление основной футеровки, предложив состав – смесь трёх частей извести и двух частей порландцемента. В патенте также указывалось значение присадок извести в металл.

### УДАЧНОЕ ЗНАКОМСТВО

К сентябрю 1878 г. на основе полученных результатов Томасом и его компаньонами к заседанию Института Чугуна и Стали в Париже был подготовлен доклад «Удаление фосфора в бессемеровском конвертере». Доклад этот не был допущен к прочтению на заседании, но во время поездки членов делегации из Парижа на завод в Ле Крэзо (Creusot) Томас познакомился с Эдуардом Ричардсом (Edward Windsor Richards) – главным управляющим завода Истон (Eston) компании Bolckow, Vaughan & Co. в округе Кливленд.

Более удачного знакомства трудно было и пожелать. Ричардс был металлургом-практиком с огромным опытом, виднейшим специалистом по бессемеровскому процессу (в частности он организовал бессемеровское производство на одном из крупнейших заводов в Эббв Вейл (Ebbw Vale)); позднее он был избран президентом Института инженеров-механиков, а затем и Института Чугуна и Стали. Кроме того, его заслуженно уважали за либерализм и готовность оказать помощь.

Получив одобрение владельцев компании, в октябре 1878 г. мистер Ричардс отправился в Бленавон, где Мартин и Джилкрист продемонстрировали ему возможность удаления фосфора. По распоряжению Ричардса на заводе в Мидлсбро (Middlesbrough) были построены два 1,3-тонных конвертера. 4 апреля 1879 г. были проведены успешные плавки, и уже 10 апреля Томас взял свой третий патент «на передувку после окончания безуглероживания в связи с присадкой основных веществ, благодаря которым образуется основной шлак, – при дефосфорации стали в конвертере с основной футеровкой».

### ЗНАМЕНИТОСТЬ МИРОВОГО МАСШТАБА

Новость об успешных плавках распространилась очень быстро, и, как позднее писал Ричардс, «Мидлсборо вскоре был осаждён объединёнными силами Бельгии, Франции, Пруссии, Австрии и Америки». На завод Ричардсона начали поступать телеграммы с запросами на разрешение осмотреть ход процесса на месте. Результатом осмотра и переговоров стала покупка 26 августа 1879 г. у Томаса патента Рейнской сталелитейной компанией (Rheinische Stahlwerke) из Рура и люксембургским обществом «Хёрдер ферайн». По случайному совпадению оба завода – Майдерих и Хёрде (Hörde) – провели первые плавки в один день 22 сентября 1879 г. На следующий день были прокатаны первые рельсы из томасовской стали – они были высшего качества.



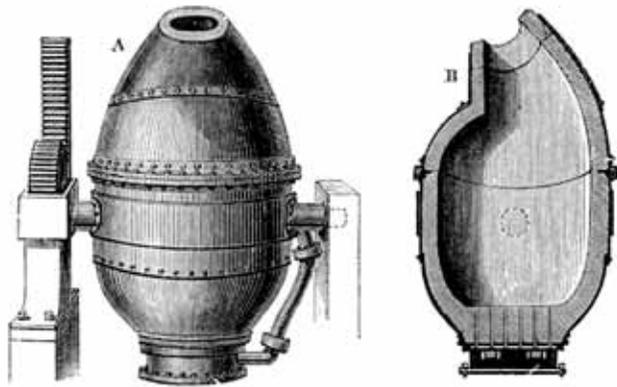
ЭДУАРД ВИНДЗОР РИЧАРДС

Изобретение Томаса и его компаньонов произвело настоящую революцию в металлургии континентальной Европы, обладавшей существенными запасами руд, которые не использовались из-за высокого содержания фосфора. К 1882 г. 14 металлургических заводов Франции, Бельгии, Германии, Великобритании и России купили права на новый процесс. Началось массовое строительство новых предприятий, и уже в 1884 г. в мире новым способом было произведено 865 тыс. т стали, а в 1889 г. выплавка составила 2 млн. 275 тыс. т.

Эндрю Карнеги, американский промышленник родом из Шотландии, инвестировавший около 250 тыс. долларов за право использовать этот процесс в Соединенных Штатах, заметил: «Эти два молодых человека, Томас и Джилкрист из Бленавона, сделали для величия Британии больше, чем все короли и королевы, вместе взятые. Моисей ударил в скалу, и из неё потекла вода. Они ударили в залежи бесполезной фосфористой руды и превратили её в сталь... и это гораздо большее чудо».

### СЛАВА И СМЕРТЬ

В мае 1879 г. Сидни Томас наконец ушёл в отставку с должности младшего клерка полицейского суда. В 1881 г. состоялся его триумфальный визит в Соединенные



ТОМАСОВСКИЙ  
КОНВЕРТЕР

Штаты. В 1882 г. Томаса избрали членом президиума Института Чугуна и Стали, а 9 мая 1883 г. ему была присуждена Золотая медаль Бессемера в знак признания ценности его изобретения для мировой металлургической промышленности.

Когда Томасу улыбнулась слава, его здоровье уже было безвозвратно подорвано развивающимся туберкулезом. В 1883 г. Сидни совершил длительное кругосветное путешествие. Первую половину 1884 г. он провёл в Алжире в тщетных попытках побороть болезнь. Здесь он также проводил ряд исследований, в частности, эксперименты по использованию фосфористых шлаков своего процесса в качестве сельскохозяйственного удобрения.

Летом 1884 г. Томас возвратился в Европу и вместе с матерью и сестрой поселился в Париже, где и умер 1 февраля 1885 г. в возрасте 34 лет. Похоронен великий изобретатель в районе Пасси, в XVI округе Парижа. На могиле Сидни Томаса поставлен памятник с надписью: «Он блестяще выиграл битву».



### «ЭНТУЗИАСТ ЧЕЛОВЕКОЛЮБИЯ»

Отличительной чертой характера Томаса было то, что премьер-министр Великобритании Уильям Юарт Гладстон в рецензии на вышедшую в 1891 г. книгу воспоминаний и писем Томаса назвал «энтузиазмом человеколюбия» (enthusiasm of humanity). Как и предрекал профессор Чалонер, изобретение Томаса принесло ему состояние. Его собственная непростая жизнь и опыт работы в полицейском суде подсказали, как распорядиться немалыми средствами.

Томас приложил существенные усилия, чтобы заработанные им деньги принесли пользу таким же людям, каким был когда-то он сам. Томас организовал ряд социальных



ОБЕЛИСК И  
МЕМОРИАЛЬНАЯ  
ДОСКА В ПАМЯТЬ  
О СИДНИ ТОМАСЕ  
НА ЗАВОДЕ  
БЛЕНАВОН

проектов. Согласно последней воле изобретателя его сестра продолжила благотворительную деятельность, оставив на личные нужды лишь малую часть состояния брата.

В июле 1960 г. на бывшем заводе Бленавон, ставшем к тому времени музеем, был установлен обелиск в память о Томасе, причём его установку совместно финансировали металлургические сообщества разных стран.

### СТАЛЬ ДЛЯ DEUTSCHES REICH

Практическое осуществление томасовского процесса в разных странах имело существенные особенности. В Великобритании и США томасирование развивалось слабо. Английский Ллойд (страховое общество) повысил стоимость страховки судов, изготовлявшихся из томасовской стали. Заводы США и в начале XX в. испытывали затруднения в сбыте томасовской стали.

Наибольшее распространение томасовский процесс получил в Германии, обладавшей большими запасами высокофосфористых руд (лотарингская руда «минет» (Minette) и «бобовая» руда, добываемая близ Пейне). Немецкая руда, по словам одного автора, была так насыщена фосфором, что почти светилась в темноте. Менее чем за год все заводы перешли на томасирование. В 1883 г. в стране работало более 40 конвертеров, производивших четверть миллиона тонн стали.

Объединение в 1870 г. крупных месторождений Лотарингии и каменного угля Рура в результате военных успехов Германии в войне против Франции в значительной степени послужило основой индустриализации Deutsches Reich («Германское государство» – самоназвание Германской империи, образовавшейся при объединении германских государств в 1871 г.). Но только с освоением томасовского процесса черная металлургия Германии стала бурно развиваться и опередила Англию. В конце XIX в. на Германию приходилось 2/3 общемирового производства томасовской стали (2,013 из 3,203 млн. т).

### МИКСЕР

Немецкие металлурги существенно развили томасовский процесс как в практическом отношении, так и с точки зрения теории. Наиболее значительные исследования были проведены на дортмундских заводах компании «Хёрде» и на заводах Рейнской сталелитейной компании около Рурорта.

Хильгеншток (Hilgenstock) на заводе Хёрде внедрил способ подготовки чугуна к конвертерной плаке, который применялся затем десятки лет. Благодаря работам Снелюса было установлено, что чугун выгоднее и удобнее подвергать конвертированию непосредственно из доменной печи, исключив разливку в слитки и последующее расплавление слитков в вагранке. Однако состав чугуна, выпускаемого из доменной печи, был подвержен существенным колебаниям, что затрудняло конвертерный передел. Для решения



этой проблемы было предложено сливать чугун в специально устроенный коллектор (позднее он стал называться миксером). Коллектор, как правило, имел цилиндрическую форму, располагался на роликах и мог поворачиваться вокруг продольной оси гидравлическим устройством.

Емкость коллектора составляла 100—150 т жидкого чугуна, т.е. он мог вместить 10—15 конвертерных плавок. Помимо усреднения химического состава чугуна коллектор помогал решать ещё одну важнейшую технологическую задачу. При добавлении в миксер марганцовистого чугуна марганец связывал растворённую в чугуне серу и переводил её в шлак, который затем скачивали (убирали) с поверхности металла. Особенно важно это было именно для томасовского процесса, химические условия которого не позволяли эффективно удалять серу.

### ТОМАСШЛАК

Помимо стали процесс давал ещё один продукт – томасшлак, хорошее фосфорное удобрение. Это весьма выгодно сказалось на экономике томасовского процесса. Содержание фосфористого ангидрида в шлаке составляло 14—20 % (в лучших сортах суперфосфата содержалось 15—17 %  $P_2O_5$ ). Выход томасшлака достигал 18-20 % от массы металла.

Сам Томас незадолго до смерти писал, что новый способ «будет вскоре применяться не только в производстве сталей, но и для получения высокофосфористых шлаков для целей удобрения». Возможность использования томасшлака для кондиционирования почвы и стимулирования роста растений впервые была исследована и продемонстрирована практически в 1884 г. в Англии агрономом Дж. Райтсоном. В 1890 г. томасшлаки в качестве удобрений начали применять в Шотландии. Эта практика быстро распространилась по всей Европе. \*

## Глава 5

# Индустриальная династия.

Изобретать легко, трудно внедрять изобретения.

### Томас Эдисон

Ни одна звезда не загорится ярко до тех пор, пока не найдется тот, кто будет держать за ней черную тряпку.

### Уинстон Черчилль

**БОРЬБА ЛИТОГО МЕТАЛЛА СО СВАРОЧНЫМ ЖЕЛЕЗОМ** продолжалась около 30 лет. Несмотря на быстрое развитие бессемеровского и томасовского процессов, строительство пудлинговых печей продолжалось: в 1860 г. в Англии их было около 4 тыс., а через пятнадцать лет стало почти в два раза больше — 7,5 тыс.

В 1870 г., когда истек срок действия патента Бессемера, мировое производство литой стали не составляло одной десятой от количества полученного сварочного железа (673 против 6749 тыс. т). Но дни пудлинговой печи всё же были сочтены. Мировое производство сварочного железа в 1882 г. превысило 9 млн. т, чтобы никогда уже больше этой величины не достигнуть. Через пять лет, в 1887 г. впервые пудлингового железа было выработано меньше, чем литой стали (8 и 9,2 млн т).

Изделием, на изготовление которого пошла главная масса бессемеровского металла, стал рельс. За тридцатилетие с 1855 по 1885 г. протяженность европейской железнодорожной сети увеличилась больше чем в пять раз, с 34 до 195 тыс. км. Особенно бурно строительство железных дорог шло с 1870 по 1875 гг. Англия в этот период экспортировала почти по миллиону тонн рельсов в год, и доля бессемеровского металла в этом вывозе постоянно возрастала.

По своим технологическим свойствам бессемеровский металл не всегда мог заменить собой сварочное железо, бессемерованием выгодно было получать сорта стали с высоким содержанием углерода. Решительный удар по производству сварочного железа был нанесен внедрением томасовского способа, которым легко получался мягкий, малоуглеродистый продукт. Металлофонд индустриальных держав быстро возрастал, но срок эксплуатации изделий даже самого лучшего качества быстро завершался и возникал вопрос: каким образом эффективно перерабатывать все увеличивающееся количество

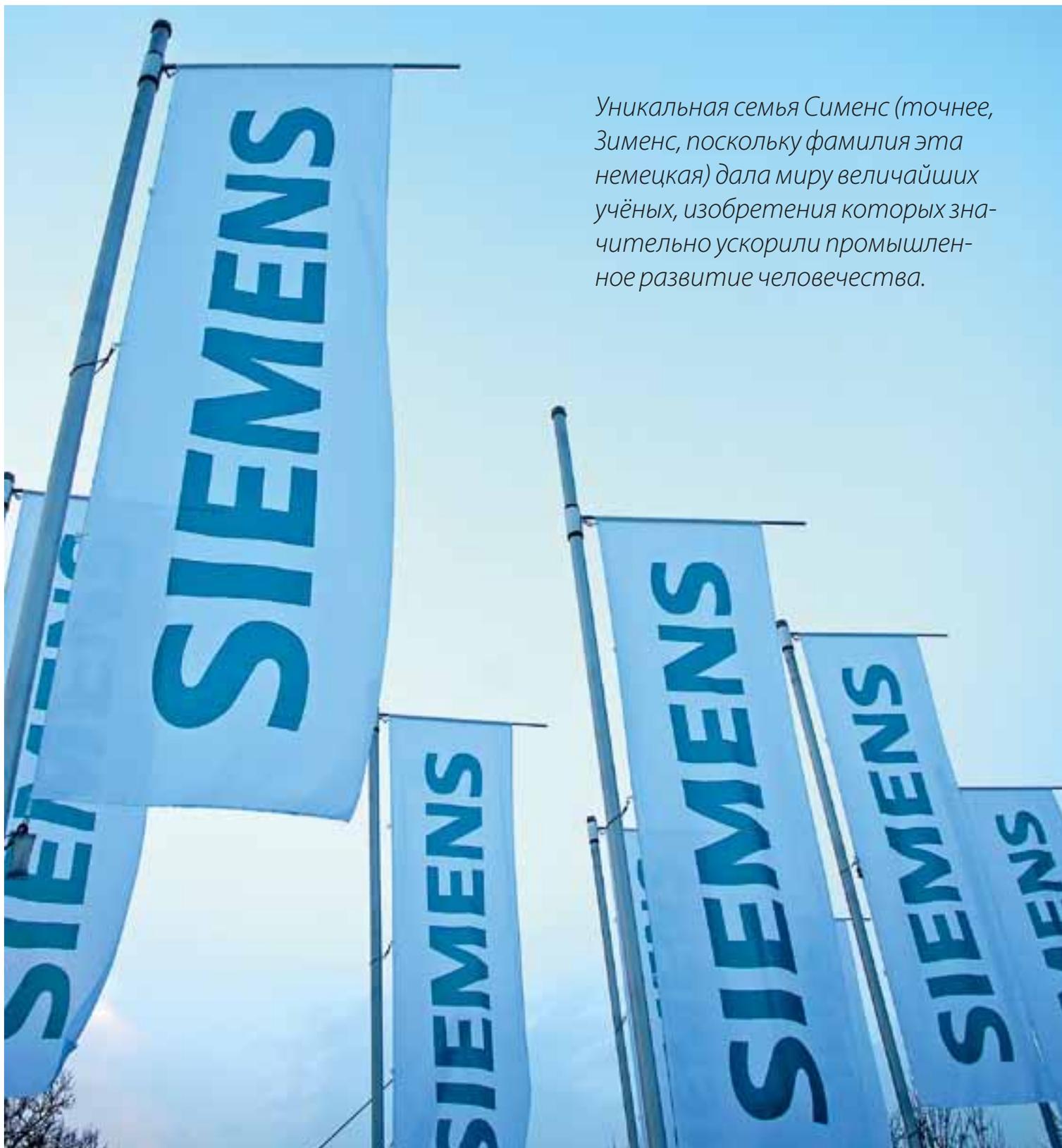
металлолома? Ни бессемеровский, ни томасовский процесс для переработки вторичного сырья не предназначались. Нужна была новая, универсальная технология.

### ПОЧЕМУ ЭТО АКТУАЛЬНО?

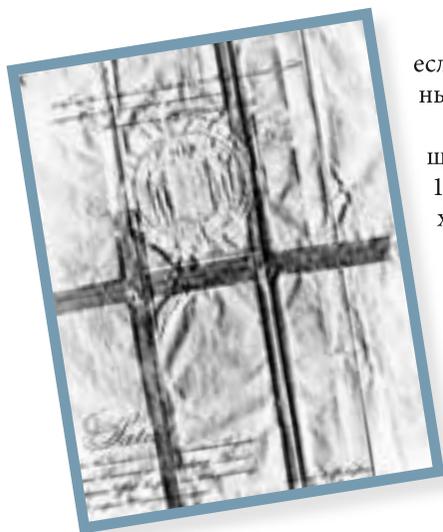
Уникальная семья Сименс (точнее, Зименс, поскольку фамилия эта немецкая) дала миру величайших учёных, изобретения которых значительно ускорили промышленное развитие человечества. Однако выдающийся вклад Сименсов в создание индустриальной цивилизации гораздо больше. Братья создали промышленную компанию, которая является примером успешного ведения бизнеса в течение более полутора веков. Пережив две войны и множество финансовых кризисов, компания занимается как производством бытовых товаров (в первую очередь — электрических и электронных), так и реализацией крупных проектов в энергетике и на транспорте. История семьи Сименс тесно связана с зарождением и развитием способа выплавки стали на поду пламенной печи, известного в ряде стран под названием мартеновского, а в других — сименс-мартеновского (в английском языке используется термин «open hearth furnace» (OHF) — дословно «печь с открытым подом»). «Металлургическая закалка» до сих пор остается эффективным способом воспитания выдающихся предпринимателей и бизнесменов, ученых и педагогов, писателей и журналистов — гениев индустриальной цивилизации.

### НАЧАЛО ДИНАСТИИ

Многодетный отец Кристиан Фердинанд Сименс, занимавшийся сельским хозяйством, арендовал усадьбу у барона фон Ленте. В семье было десять детей: восемь братьев и две сестры. Их обучением сначала занималась бабушка Дейхман, затем к детям стали приглашать домашних учителей, как это было принято в те времена,



*Уникальная семья Сименс (точнее, Зименс, поскольку фамилия эта немецкая) дала миру величайших учёных, изобретения которых значительно ускорили промышленное развитие человечества.*



ПЕРВЫЙ ПРУССКИЙ ПАТЕНТ ВЕРНЕРА ФОН СИМЕНСА НА МЕТОДИКУ ЭЛЕКТРОЗОЛОЧЕНИЯ. 1842 г.

если семьи жили в отдаленных от города поместьях.

Дела Кристиана Сименса шли неплохо, в середине 1820-х годов семья переехала в графство Ратцебург (герцогство Шверин), где приобрела усадьбу Менцендорф. Гимназическое образование мальчики получали в знаменитом ганзейском городе Любеке, характерной чертой которого было широкое распространение ремесленных

гильдий (система профессионального обучения и оценки подмастерьев была отменена в Германии только в 1869 г.).

В 1839 г. умерла мать Сименсов, Элеонора, а в следующем году и отец. Старшим в семье стал Вернер, к тому времени младший офицер артиллерии на прусской службе, живший в гарнизоне Магдебурга. Перед молодым человеком встала сложная задача – обеспечить пристойное существование и образование братьев и сестёр. Сделать это на офицерское жалование было невозможно, поэтому, пристроив детей по родственникам, Вернер взял под свою опеку самого младшего – Карла Вильгельма. Вернер организовал для него частные уроки математики, которые помогли юноше поступить в Политехническую школу Магдебурга, после её окончания Вильгельм стал студентом Геттингенского университета.

### «МОНЕТИЗАЦИЯ» ТЕХНИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

Вернер Сименс всеми силами старался «монетизировать» свои технические знания, занимаясь одновременно со службой изобретательством. Его внимание привлекало все, что было на тот момент актуально: химическое травление (анастатический метод), разработка прессов, усовершенствование паровой машины.

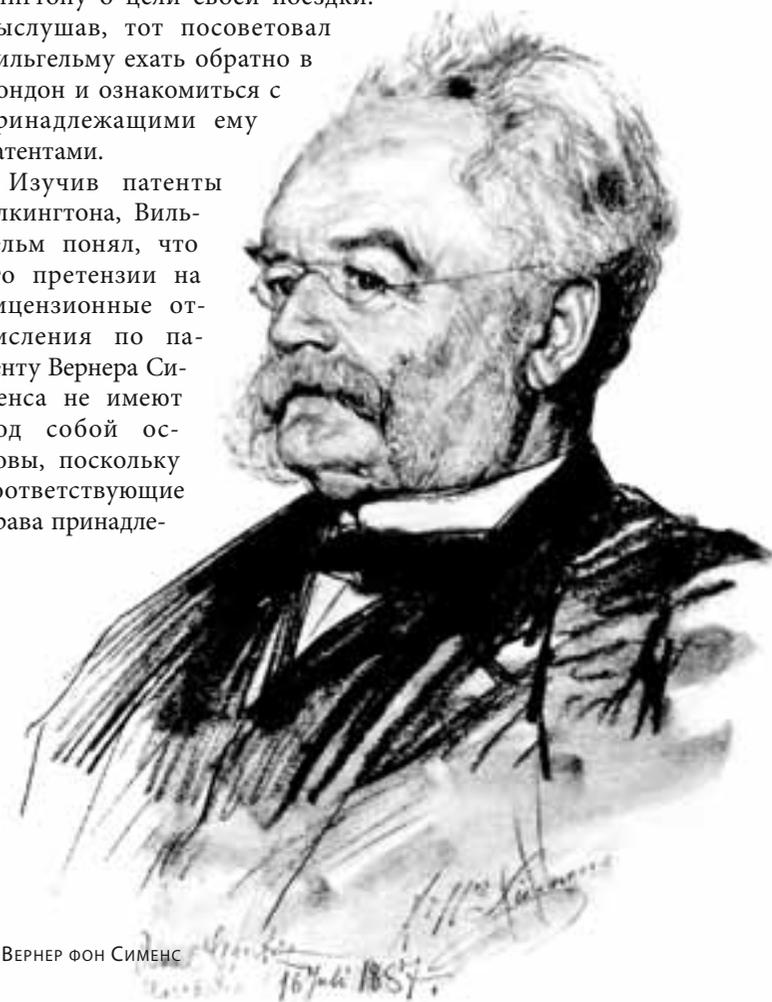
Одним из многочисленных увлечений молодого артиллерийского офицера была гальваностегия (технология осаждения тонкого слоя металла на поверхности изделий). В 1830-х годах Дэви, Фарадей и Якоби разработали теоретические основы электрохимии, которые позволили приступить к промышленной реализации новой технологии. Способ осаждения драгоценных металлов из растворов стал первым изобретением Венеры Сименса, на которое он получил патент. Значительную часть опытов по электрозолочению Вернер проделал на гарнизонной гауптвахте, где он находился за участие в дуэли в качестве секунданта.

### ПЕРВАЯ АНГЛИЙСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ ВИЛЬГЕЛЬМА СИМЕНСА

В то время электрохимия только обосновывалась в промышленности, и людей, которым можно было бы продать полученный патент, было немного. Ждать развития прусской промышленности у братьев времени не было. Поэтому в марте 1843 г. двадцатилетний Вильгельм Сименс отправился в Великобританию – передовую промышленную державу мира. Позднее он писал об этой поездке: «Полученные многообещающие результаты настолько сильно возбудили во мне дух предпринимательства, что я, вырвавшись из плена обстоятельств, оказался в лондонском Ист-Энде, имея лишь несколько фунтов в кармане, без друзей, но с твёрдой уверенностью в конечном успехе дела».

После долгих поисков Вильгельм попал в Бирмингем к Джорджу Элкингтону (George Richards Elkington), который ещё в 1830 г. основал промышленное предприятие, где осуществлялось нанесение покрытий электрохимическим способом. Молодому человеку едва хватило английских слов, чтобы рассказать Элкингтону о цели своей поездки. Выслушав, тот посоветовал Вильгельму ехать обратно в Лондон и ознакомиться с принадлежащими ему патентами.

Изучив патенты Элкингтона, Вильгельм понял, что его претензии на лицензионные отчисления по патенту Вернера Сименса не имеют под собой основы, поскольку соответствующие права принадле-



ВЕРНЕР ФОН СИМЕНС

жали Джорджу Элкингтону, в чём он честно признался ему по возвращении в Бирмингем. По мнению самого Сименса, именно эта откровенность расположила к нему компаньона Элкингтона – известного фабриканта и мецената сэра Иосию Мэйсона (Sir Josiah Mason). Было решено, что Сименс не будет отстаивать права на новизну изобретения, а вместо этого реализует процесс, описанный в нём, на заводе Мэйсона. Успешно справившись с задачей, Вильгельм заработал 1500 фунтов стерлингов – первую серьёзную сумму, с которой и возвратился в Магдебург, чувствуя себя «сродни Крёзу».

### БРИТАНИЯ НАВСЕГДА

После возвращения Вильгельм поступил учеником на завод паровых машин для получения практических навыков, необходимых инженеру-механику. Здесь он занялся усовершенствованием регулятора для паровой машины на основе разработок, сделанных ранее его братом. Доведя изобретение до практического применения, Вильгельм в 1844 г. вновь отправился в Великобританию, чтобы остаться там навсегда.



ПАМЯТНАЯ ЧЕРНИЛЬНИЦА ПРОИЗВОДСТВА ELKINGTON & CO., ЗОЛОЧЁНАЯ И СЕРЕБРЯНАЯ БРОНЗА, ОК. 1850 Г.

дриа, скажем несколько слов о судьбе остальных братьев и фирме Siemens.

### ПЕРВЫЕ ШАГИ ВСЕМИРНОЙ КОРПОРАЦИИ

Вскоре после отъезда Вильгельма Вернер Сименс определился с основной сферой деятельности. «Я решил связать свою карьеру с телеграфией», – писал он в 1845 г. брату в Лондон. Совместно с талантливым механиком Иоганном Георгом Гальске Вернер создал фирму «Telegraphen-Bauanstalt Siemens & Halske» (Телеграфно-строительная фирма Сименса и Гальске), официально приступившую

к работе 12 октября 1847 г.

Кроме изготовления телеграфного оборудования фирма занималась работами в области точной механики и оптики, созданием электромедицинских аппаратов, железнодорожной сигнализацией. Стартовый капитал кампании предоставил двоюродный брат Вернера, советник юстиции Иоганн Георг Сименс.

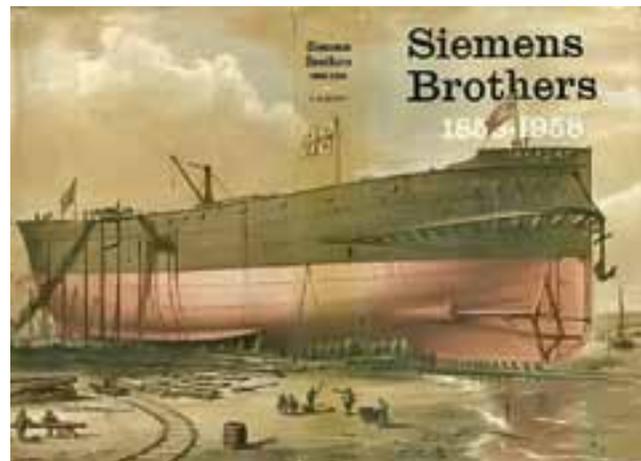
В 1848—1849 г. фирма Siemens & Halske построила первую в Германии телеграфную линию Берлин – Франкфурт-на-Майне, затем были построены линии, свя-



«ФАРАДЕЙ»

Великобритания стала для Карла Вильгельма Сименса второй родиной – 19 марта 1859 г. он получил британское подданство и стал Чарльзом Уильямом Сименсом. Позднее он говорил, что в этот день дал клятву верности двум дамам – Королеве и своей возлюбленной. 23 июля того же года он женился на Энн Гордон, дочери писателя Джозефа Гордона.

Перед тем как перейти к описанию собственно главного изобретения Уильяма Сименса и его брата Фри-



завшие Берлин с Кёльном, Гамбургом, Бреслау и Штеттином.

В 1849 г. Вильгельм Сименс открыл агентство молодой компании в Лондоне. В 1858 г. начала работать телеграфная фабрика в Финсбери, а затем, в 1863 г., фабрика по производству подводного телеграфного кабеля в Вулвиче.

Наиболее успешно компания действовала в России. С 1853 по 1885 г. Siemens & Halske построила свыше 10

тыс. км телеграфных линий от Финляндии до Крыма. Причем деятельность компании в России не ограничивалась применением электричества: при помощи «контрольного спиртоизмеряющего снаряда братьев Сименс и К<sup>о</sup>» производился акцизный учёт всего спирта, производимого в Российской империи.

Siemens & Halske строила телеграфные сети в Швеции, Османской империи, Австралии, Индоевропейскую телеграфную линия, связавшую Великобританию, Германию, Россию, Персию и Индию. В 1874 г. Сименсы сконструировали и построили специальное судно-кабелеукладчик «Фарадей», которое в том же году проложило трансатлантический телеграфный кабель, связавший Ирландию и США (5700 км).

Одним из важнейших изобретений Вернера Сименса стала конструкция генератора постоянного тока с самовозбуждением (динамо-машина), открывшего век дешёвого электричества. Это изобретение было сделано в 1867 г. и способствовало серьёзному прорыву в развитии электротехники в мире. В 1879 г. посетители Берлинской Всемирной выставки смогли увидеть первую в мире электрическую железную дорогу. За последующие 20 лет фирма ввела во многих европейских столицах и в Пекине трамвайное сообщение, а Будапешт и Берлин оснастила первыми линиями метро.

Siemens & Halske стала первым в Германии производителем ламп накаливания (1881 г.). В 1880-х годах компания осуществила два знаковых проекта в России – установила систему освещения на Невском проспекте и в Зимнем дворце, которую Вернер Сименс назвал «величайшей и самой впечатляющей системой освещения в мире».

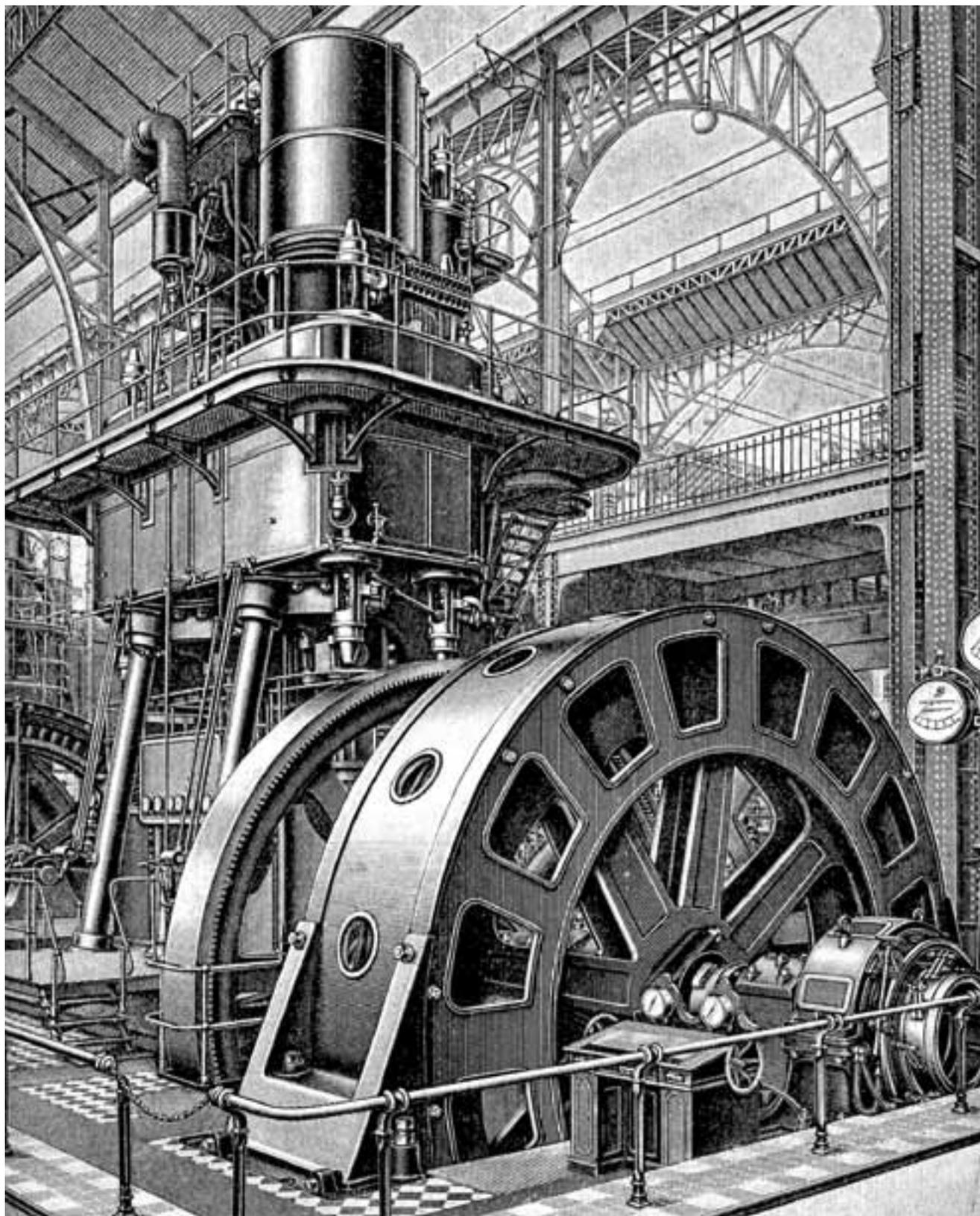
#### **ЗАЛОГ УСПЕХА ФИРМЫ - КВАЛИФИКАЦИЯ СОТРУДНИКОВ**

В 1872 г. Вернер писал брату Уильяму: «В создании устойчивого рабочего класса я вижу задачу исключительной важности, которая будет находиться в прямой зависимости от возрастающего процесса разделения труда и замены ручного труда работой машин». Для решения этой задачи Вернер основал фонд выплат по нетрудоспособности (1849 г.), пенсионный фонд (1872 г.), фонд медицинского страхования (1908 г.).

Компания последовательно сокращала продолжительность рабочего дня сотрудников: в 1873 г. был введён 9-часовой рабочий день, в 1891 г. – 8,5-часовой рабочий день. Были созданы комбинаты питания (1886 г.), введено собственное медицинское обслуживание (1888 г.), открыта библиотека для рабочих (1906 г.). Сотрудники ценили социальные инициативы владельца, и при жизни Вернера Сименса на его предприятиях никогда не было демонстраций и стачек.



Электрический локомотив Сименса





Первый в мире троллейбус *Electromote* конструкции Вернера Сименса, Берлин, Курфюрстендамм, 1882 г.



Первые в мире электрифицированные трамвайные пути, построенные компанией «Сименс» в пригороде Берлина Лихтерфельде в 1881 г.

## ФРИДРИХ СИМЕНС

Фридрих Сименс в 1848 г. отправился в Великобританию, где работал вместе с Уильямом. Именно ему принадлежит идея и первая конструкция регенеративной печи, которую они построили в 1856 г. и которая позднее перешла «в ведение» Уильяма. В 1867 г. Фридрих перестал заниматься развитием идеи выплавки стали в регенеративной печи и переехал в Германию, где руководил стекольным заводом в Дрездене, основанным Гансом Сименсом. Помимо постройки регенеративных печей для выплавки стекла Фридрих обогатил стекольное производство многими изобретениями, в том числе внедрил новый способ изготовления закалённого стекла.

Кроме того, он основал заводы в Дрездене, Вене и Берлине для производства аппаратов газового освещения и отопления собственной конструкции, а также технические бюро в Дрездене, Лондоне, Вене, Париже и Филадельфии для эксплуатации своих многочисленных изобретений. Фридрих Сименс успешно совмещал прак-

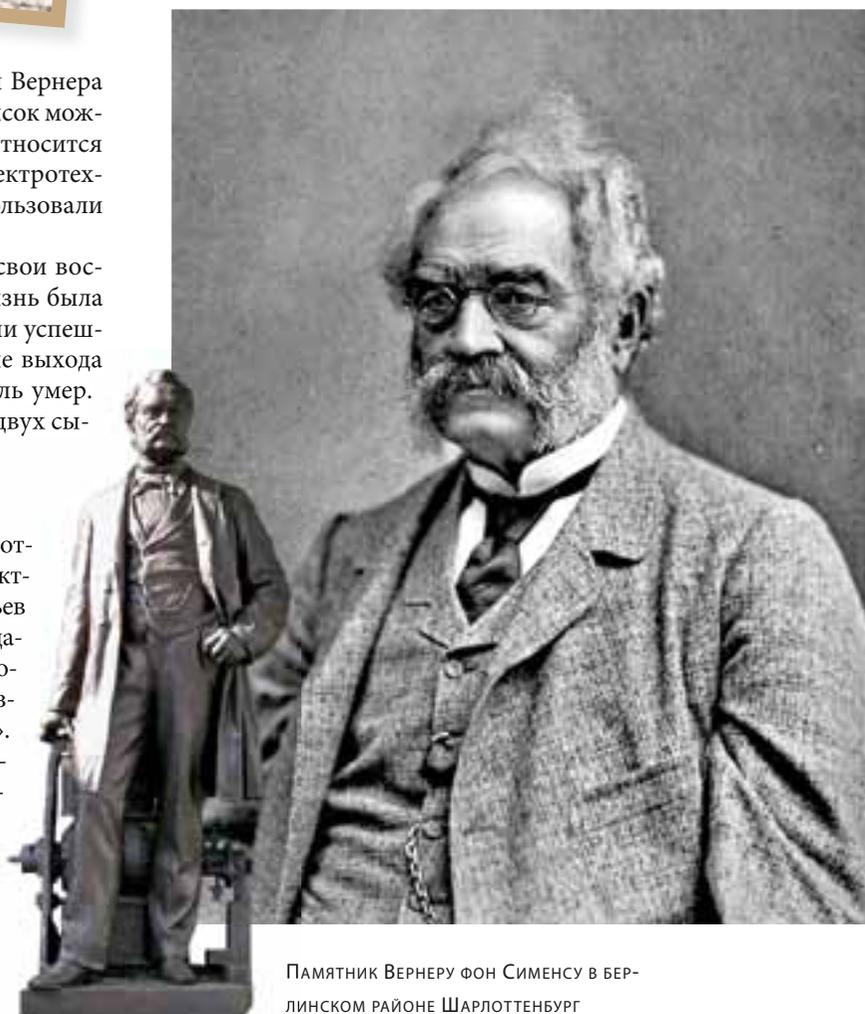
## ВЕРНЕР ФОН СИМЕНС

Перечислять научные и общественные заслуги Вернера Сименса вряд ли имеет смысл – их длинный список можно найти довольно легко. Большинство из них относится к области электротехники, даже сам термин «электротехника» введён в обиход именно им (до этого использовали термин «прикладная теория электричества»).

В последние годы жизни Сименс диктовал свои воспоминания на вилле в Бад-Гарцбурге. «Моя жизнь была наполнена усилиями, которые почти всегда были успешными», – писал он. Через несколько дней после выхода в свет мемуаров, 6 декабря 1892 г., изобретатель умер. Вернер фон Сименс был дважды женат и имел двух сыновей, которые позднее стояли во главе фирмы.

## КАРЛ ФОН СИМЕНС

Карл Генрих фон Сименс был главой российского отделения *Siemens & Halske* (основано в 1853 г. в Санкт-Петербурге). Вернер ценил его выше других братьев и писал в мемуарах: «Карла я считаю наиболее одарённым из всех нас. Он всегда надёжен, верен, добросовестен. Проницательный, всесторонне развитый ум сделал из него дельного коммерсанта». Именно Карл заключил контракт на создание русской телеграфной сети. В 1869 г. он переехал в Великобританию, где помогал брату Уильяму в руководстве *Siemens Brothers*. В 1880-х годах Карл возвратился в Россию, а после смерти в 1892 г. Вернера стал генеральным директором *Siemens & Halske*. С этого поста он ушёл в отставку в 1904 г. За службу России Николай II в 1895 г. пожаловал Карлу Сименсу дворянский титул.



Памятник Вернеру фон Сименсу в берлинском районе Шарлоттенбург

тическую деятельность с научной, в частности, ему принадлежит ряд исследований по теории сжигания, передаче теплоты и диссоциации.

### ВОЗРОЖДЕНИЕ ТЕПЛОТЫ КАК ЦЕЛЬ ЖИЗНИ

В 1846 г. Вильгельм Сименс занялся направлением, которое привело к созданию новых металлургических печей. В это время рядом учёных, в первую очередь Джоулем, была сформулирована теория «механического эквивалента теплоты», и Сименс активно занялся её практической реализацией. Основной его разработкой стал регенератор, позволяющий более полно использовать тепло в паровой машине, снижая расход угля.

Регенератор (первоначально он назывался «ре-спиратор») для паровой машины представлял собой клубок металлической проволоки, которая нагревалась отходящими газами паровой машины, а затем отдавала «регенерированное» (возрождённое) тепло. Экономические выкладки показывали, что таким образом можно экономить миллионы фунтов стерлингов в год.

Разработкой парового двигателя новой конструкции Вильгельм занимался более 10 лет. Его двигатель был признан выдающимся техническим изобретением, был наглядным подтверждением механической теории



Карл фон Сименс (слева) и Фридрих Сименс



БРАТЬЯ СИМЕНС, 1860 г.  
Слева направо: Вальтер,  
Карл, Вернер, Отто.  
Сидят Уильям и его  
жена Анна



ЧЕТВЕРО БРАТЬЕВ  
СИМЕНС, КОТОРЫЕ БЫЛИ  
ЖИВЫ В 1889 г. Слева  
направо: Фридрих,  
Вернер, Фердинанд,  
Карл

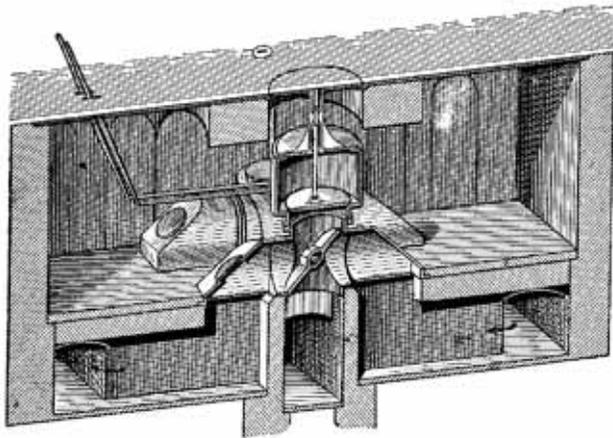
теплоты, действительно позволял экономить топливо, но практического распространения не получил.

Проблема была в сложности конструкции и быстром износе деталей, что поставило крест на внедрении двигателя. Однако это изобретение не было бесполезным – учёный убедился в правильности теории и стал искать другие области её применения.

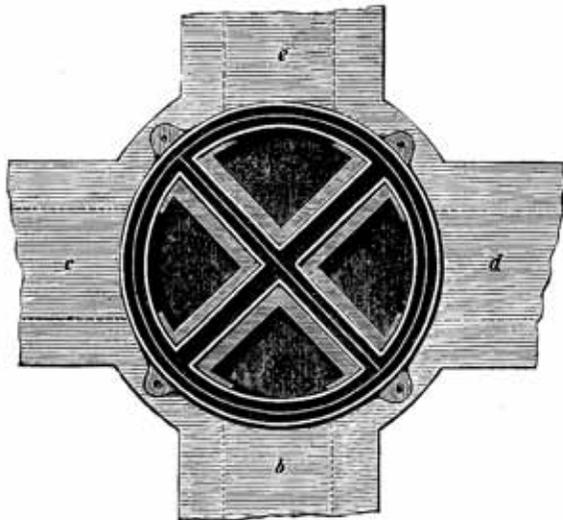
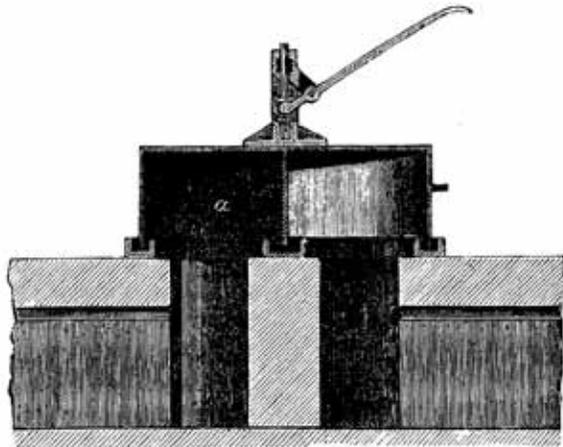
### РЕГЕНЕРАТОР

В 1848 г. к Вильгельму присоединился Фридрих. Именно он предложил применить на практике принцип регенерации более простым способом – для экономии топлива в печах. Братья проводили опыты в небольшой лабораторной печи в лондонском районе Скотланд-Ярд. Выяснилось, что регенеративная печь не только экономит топливо, но и позволяет получать существенно более высокую температуру. Результатом многолетних исследований стал патент, полученный в 1856 г. на имя Фридриха Сименса. Патент носил название «Улучшения устройства печи, каковые применимы во всех случаях, когда потребен сильный жар».

Конструкция, предложенная в патенте, предполагала пропускание продуктов сгорания через камеру, заполненную огнеупорными материалами таким образом, чтобы их площадь была максимальной, но не мешала прохождению газов. Затем с помощью специального клапана направление движения газов менялось, и через камеру про-



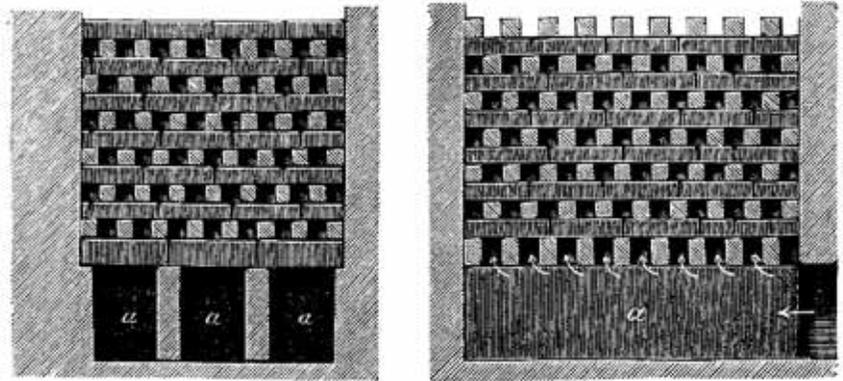
Перекидной (вверху) и поворотный клапан (внизу) для переключения потоков газа и воздуха



пускался воздух или газообразное топливо, которые нагревались от огнеупорной кладки. Таким образом, часть тепла отходящих газов «регенерировалась» (возрождалась), возвращаясь обратно в агрегат.

В 1857 г. Сименсы приступили к постройке промышленных печей на заводах Мариотта и Аткинсона (Marriott and Atkinson) в Шеффилде и Ллойда и Фостера (Lloyd, Fosters and Co.) в Веднсбери (Wednesbury). Были сооружены печи для выплавки стали и для нагрева заготовок перед ковкой или прокаткой. В области экономии топлива результаты даже превосходили ожидания, однако возникли проблемы с огнеупорными материалами, которые не выдерживали температур, развиваемых новой печью.

24 июня 1857 г. Уильям выступил с докладом на заседании Института инженеров-механиков (Institution of Mechanical Engineers). Принцип регенерации тепла сразу же вызвал большой интерес у металлургов. В том



Кирпичная кладка РЕГЕНЕРАТОРОВ

же 1857 г. Эдуард Каупер (Edward Alfred Cowper) при активной поддержке Уильяма Сименса запатентовал регенеративный доменный воздухонагреватель, в котором отходящие газы доменной печи нагревали подаваемое в неё воздушное дутьё. Впоследствии, в 1881 г. регенератор позволил Густаву Хоффману построить печь для коксования с улавливанием попутных химических продуктов.

### ГАЗОГЕНЕРАТОРЫ ДЛЯ «САМОПОЖИРАЮЩИХ» ПЕЧЕЙ

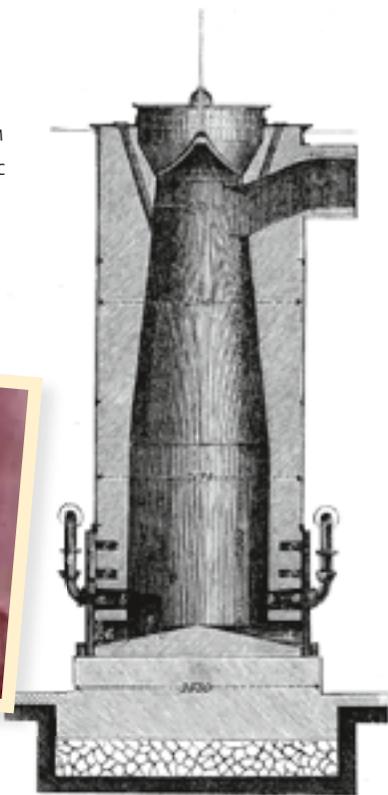
Следующие пять лет Уильям и Фридрих посвятили совершенствованию конструкции регенеративной печи и адаптации её к различным областям применения. Для этой цели были построены несколько небольших печей различного назначения. Хорошие результаты были получены при эксплуатации регенеративных печей для подгрева стальных заготовок перед прокаткой или ковкой. Однако при попытке применять регенераторы на пудлинговых печах изобретатели столкнулись с трудностями. Вновь обретенная сила требовала умения в обращении с



Сэр  
Уильям  
Сименс



Эдуард  
Альфред  
Каупер



ГАЗОГЕНЕРАТОР САЙЛЕРА ДЛЯ ГАЗИФИКАЦИИ СПЕКАЮЩИХСЯ УГЛЕЙ

24 июня 1857 г. Уильям Сименс выступил с докладом на заседании Института инженеров-механиков (*Institution of Mechanical Engineers*). Принцип регенерации тепла сразу же вызвал большой интерес у металлургов.

нею – неоднократно экспериментальные печи «пожирали себя», не выдерживая достигнутой температуры.

Проведённые эксперименты показали, что перспективным способом применения принципа регенерации на крупных печах является использование газообразного топлива. Для его получения была разработана конструкция газогенераторов, в которых твёрдое топливо — бурый и каменный уголь, торф и дрова — газифицировались и превращались в горючий газ, основным компонентом которого являлся монооксид углерода (CO). Газогенераторы на долгие годы стали неотъемлемой частью регенеративной печи, при этом конструкции их существенно различались и определялись свойствами используемого топлива.

Применение газогенераторов дало возможность утилизировать горючие отходы, не находившие до этого применения (например, угольный шлак), и исключило загрязнение продукта плавки примесями топлива. Это обстоятельство способствовало распространению реге-

неративных печей в стекольной промышленности.

На использование в регенеративной печи газа из газогенераторов Уильям и Фридрих получили патент от 22 января 1861 г.

### «КОРОЛЬ ЧИСТОГО ЭКСПЕРИМЕНТА»

Принцип регенерации тепла был универсален — он позволял проектировать печи для любых отраслей промышленности. Не менее чем металлургия в высокотемпературных печах нуждалось стекольное производство. Особенно успешным оказалось применение регенеративных печей на стекольном заводе известного предпринимателя Ченса (Chance), производившего линзы для маяков.

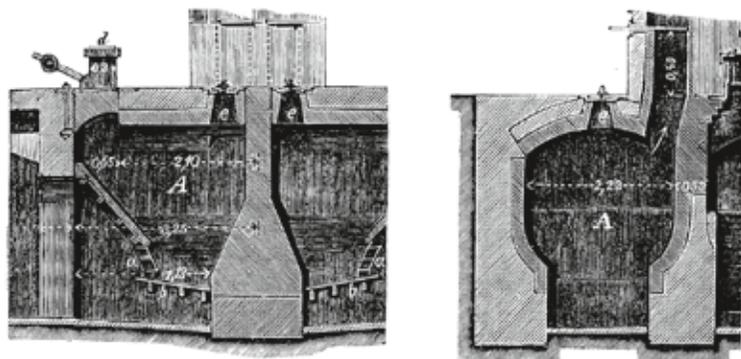
Майкл Фарадей



В марте 1862 г. этот завод посетил «король чистого эксперимента» — Майкл Фарадей. Сразу после поездки Фарадей написал Уильяму письмо, в котором выражал восхищение и просил предоставить материалы для доклада на заседании Британского Королевского Института. Сименс с радостью принял это предложение. Позднее он называл два дня, проведённые в компании Фарадея, «счастливейшими в его жизни».

Фарадей особо отметил легкость, с которой можно было регулировать температуру в рабочем пространстве печи. Высоко отзывался о печи Сименсов и сэр Генри Бессемер, который в 1880 г. описал её как «красивое» и «философское» изобретение.

В том же 1862 г. регенеративная печь получила золотую медаль на Всемирной выставке. Это окончательно способствовало её успеху: до конца 1862 г. в Европе было построено около 100 таких печей для различных целей.



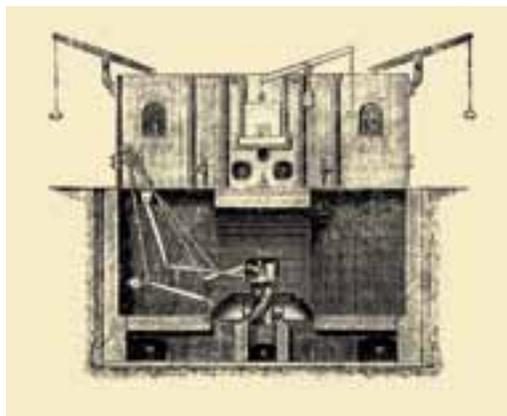
ГАЗОГЕНЕРАТОР КОНСТРУКЦИИ ФРИДРИХА И УИЛЬЯМА СИМЕНСОВ

## ПУТЬ В МЕТАЛЛУРГИЮ

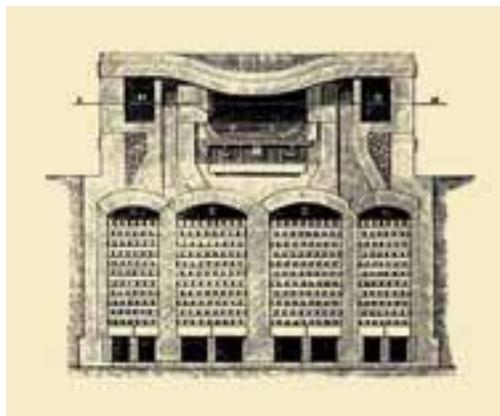
Первую попытку применить принцип регенерации в металлургии Фридрих и Уильям Сименсы предприняли в 1857 г. На металлургическом заводе Раштона и Экерсли (Rushton and Eckersley) в Болтоне в графстве Ланкашир была построена пудлинговая регенеративная печь. Результаты её работы оказались неудовлетворительными.

Изобретатели не оставляли попыток применить регенеративный нагрев при пудлинговании: в 1863 г. они включили four a puddler (франц. «пудлинговая печь») в контракт с Мартенами, а в 1864 г. предложили Mersey Steel and Iron Company построить пудлинговую печь за свой счёт. Руководство завода Мёрси приняло предложение, но успеха вновь достичь не удалось.

Уильям Сименс вернулся к экспериментам в Болтоне. Полученные результаты он опубликовал в 1868 г. в статье, которая вызвала большой интерес. Тем не менее, обзор технологии регенеративного пудлингования, проведённый Институтом Чугуна и Стали в 1871 г. показал, что хотя оно и применялось на ряде заводов, но широкого распространения не получило.



Пудлинговая РЕГЕНЕРАТИВНАЯ ПЕЧЬ



## ЛИТАЯ СТАЛЬ РЕОМЮРА И УХАЦИУСА

Главным направлением использования регенеративной печи, оказавшим существенное влияние на развитие цивилизации, стало получение литой стали.

Отметим, что Сименсы, как и Мартены (о которых речь пойдет дальше), не были изобретателями нового способа выплавки литой стали. К моменту создания регенеративной печи европейским металлургам было известно два таких способа. Первый заключался в сплавлении чугуна и железа (железо «разбавляет» углерод чугуна, и получается сталь), второй предполагал добавку к жидкому чугуну железной руды (оксиды железа руды восстанавливаются до металлического железа углеродом чугуна, концентрация углерода уменьшается и получается сталь).

Первый способ был всесторонне исследован и подробно описан в 1722 г. Рене-Антуаном де Реомюром. На

практике его осуществил британский металлург Иосия Хит. В 1845 г. Хит взял патент на способ получения литой стали путём «растворения» железа в чугуне в отражательной печи (схожей по конструкции с пудлинговой печью). Поскольку обычная отражательная печь не позволяла достичь температуры, необходимой для плавления железа, внедрить технологию Хита в промышленном масштабе не удалось. Позднее патенты на способы получения стали в отражательной печи брали Джон Стирлинг (John Stirling) в 1854 г. и Генри Бессемер в 1855 г.

Наиболее масштабные эксперименты в этой области были проведены в 1850-х годах во Франции Сюдром (Sudre) при активной поддержке правительства Наполеона III. Сюдру удалось поднять температуру в печи путём принудительной подачи воздуха с помощью вентилятора, однако до практического применения этот способ довести не удалось.

Литая сталь, получаемая вторым способом, была известна в Европе как «рудная сталь Ухацциуса». Технологию её получения в тигле разработал и представил на Всемирной выставке 1855 г. в Париже австрийский капитан артиллерии барон Франц фон Ухацциус (Uchatius) (позднее он дослужился до генеральского чина и должности коменданта пушечного завода при венском Арсенале).

Однако для получения тигельной стали по технологии Ухацциуса требовались чистые по примесям чугун и руда, поэтому применение этого способа было ограниченным.

## БЕЗУСПЕШНЫЕ ПОПЫТКИ

Таким образом, задачей Сименсов было осуществление уже известных способов производства литой стали «на поду», т.е. в ванне отражательной печи, снабжённой регенераторами, позволяющими достичь температуры плавления стали.

Первые опыты по выплавке стали в новой печи, проведённые Уильямом и Фридрихом, показали принципиальную возможность практического осуществления этого способа. Об этом братья упомянули в патенте 1861 г., они указывали, что регенеративная печь «может быть использована для переplava чугуна с получением стали или для

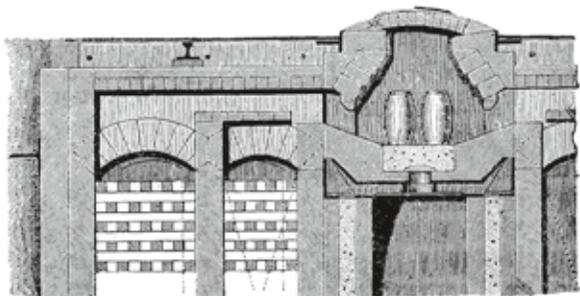


Франц фон УХАЦИУС

обжига медных или иных руд». Однако при попытке осуществить эту идею Сименсы столкнулись с серьёзными практическими трудностями, самой главной из которых была низкая стойкость огнеупорных материалов.

В 1862 г. Уильям Сименс спроектировал печь для завода Тюдо (Tudhoe) близ Дарема (Durham). В этой печи пытались получить сталь, сплавляя ковкое пудлинговое железо и марганцовистый чугун (шпигель), однако результаты оказались неудовлетворительными, и владелец завода принял решение использовать печь для производства стали в тиглях.

Предпринимались попытки выплавить сталь в регенеративной печи и на других заводах, однако все они закончились неудачно из-за дефектов конструкции печи и недостатка «энтузиазма» со стороны владельцев предприятий. Они предпочитали с успехом использовать новые печи для производства тигельной стали. В этом



РЕГЕНЕРАТИВНАЯ ПЕЧЬ ДЛЯ ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В ТИГЛЯХ

случае применялась классическая технология производства стали в тиглях, то есть сталь не выплавлялась из чугуна, а переплавлялась уже готовая сталь, полученная в процессе цементации железа. Тигли помещали в регенеративную печь Сименсов, которая обеспечивала быстрый нагрев до необходимой температуры, существенно сокращая расход топлива по сравнению с обычными печами.

### ЛУИ ЛЕ ШАТЕЛЬЕ

Очередная попытка внедрения регенеративной печи была предпринята во Франции в 1863 г. Новый процесс вызвал большой интерес друга Уильяма Сименса, выдающегося французского металлурга Луи Ле Шателье (Louis Le Châtelier), отца известного всем со школьной скамьи химика и физика Анри Луи Ле Шателье (Henri Louis Le Châtelier).

Ле Шателье имел непосредственное отношение к становлению алюминиевой промышленности и железнодорожного транспорта Франции. За свою многолетнюю плодотворную деятельность на посту главного горного инспектора он удостоился чести попасть

в список из 72 учёных и инженеров, чьи имена увековечены в металле на первом уровне Эйфелевой башни (в этот список, в частности, входят Даламбер, Коши, Бреге, Клапейрон, Карно, Фуко, Гей-Люссак, Шнайдер, Кориолис).

Ле Шателье серьёзно изучал возможности производства литой стали. Однако у него не было главного компонента, позволявшего разработать соответствующую технологию – печи, которая обеспечивала бы необходимую для плавки стали температуру. Именно за ней он и обратился к Сименсу.

Уильям Сименс предоставил лицензию «Обществу Буаг и Рамбур» (Société Voignes Rambourg) и организовал постройку регенеративной печи в Монлюсоне (Montluçon). На этой печи под руководством Ле Шателье была проведена серия экспериментов. При использовании футеровки из кварцита удалось получить сталь высокого качества. Однако, из-за того, что управление про-

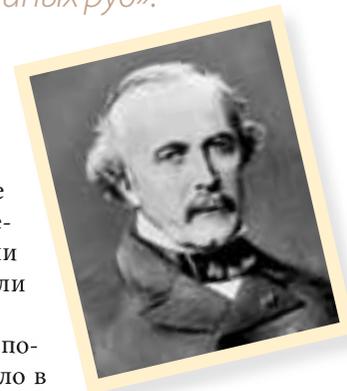
*Первые опыты по выплавке стали в новой печи, проведённые Уильямом и Фридрихом, показали принципиальную возможность практического осуществления этого способа. Об этом братья упомянули в патенте 1861 г., они указывали, что регенеративная печь «может быть использована для переплава чугуна с получением стали или для обжига медных или иных руд».*

цессом было несовершенным, температура в рабочем пространстве возросла настолько, что свод печи расплавился. Эта неудача вызвала разочарование владельцев завода, которые сделали выбор в пользу технологии Бессемера, и эксперименты были прекращены.

Именно в этот момент на сцене появились отец и сын Мартены. Дело в том, что они имели непосредственное отношение к Société Voignes Rambourg.

### «БУАГ И РАМБУР»

Компания «Буаг и Рамбур» сыграла важную роль в индустриализации Франции. Её основали в 1816 г. сыновья парижского «металлотрейдера» – Луи и Гийом Буаг (Louis et Guillaume Voignes). Первые заводы компании по производству листового железа, белой жести, олова и бронзы были построены в долине реки Обуа — притока Луары, неподалёку от города Невер (Nevers).



Луи Ле Шателье



Жорж Дюфо – офицер Почётного Легиона, 1830 г.

В 1819 г. компаньоном братьев Буаг стали Жорж Дюфо, получивший прекрасное образование в «кузнице инженерных кадров» – парижской Политехнической школе, основанной в 1794 г. Гаспаром Монжем и Лазаром Карно. «Производственную практику» Дюфо прошел в Уэльсе на самом большом металлургическом заводе Мира начала XIX в. Владельцем завода Сайфарта (Cyfarthfa) было семейство Кроушай (Crawshay), которое современники называли «железными

жоролями Уэльса». В 1818 г. дочь Дюфо Луиза вышла замуж за Джорджа Кроушай, внука основателя династии Ричарда Кроушай.

По инициативе Дюфо в 1821 г. на берегу Луары в местечке Форшамбо (Fourchambault), в восьми км от Невера, было начато строительство нового металлургического завода. Первая продукция была выпущена в конце 1822 г.

При строительстве завода Жорж Дюфо с помощью своих британских связей реализовал передовые на тот момент металлургические технологии, а также привлёк из Англии и Уэльса специалистов, которые обучили местных работников. Это был первый крупный завод «английского» типа во Франции, его годовое производство достигало 6 тыс. т железа, а количество рабочих составляло 4 тыс. чел. Благодаря такому «градообразующему предприятию» в 1855 г. Форшамбо получил статус города.

В 1853 г. фирма «Буаг» осуществила слияние с компанией братьев Рамбур, которая владела угольными шахтами в Комантри. В состав объединённой фирмы «Общество Буаг и Рамбур» вошел и металлургический завод в Монлюсоне.

### ФОРШАМБО

Завод в Форшамбо стал одной из главных производственных площадок индустриализации Франции времён Второй империи. Основной его продукцией были рельсы, вооружение и металл для строительства мостов. Завод обеспечивал строительство железнодорожных веток Париж – Сен-Жермен-ан-Ле (Saint-Germain-en-Laye) и Париж – Орлеан, позднее на нём были изготовлены некоторые элементы конструкции Эйфелевой башни.

Компания семьи Буаг имела тесные связи с другой знаменитой французской металлургической компанией



Промышленный ландшафт Южного Уэльса. Генри Уильямс, около 1825 г.

«Шнайдер-Крэзо». Завод в Ле Крэзо (Le Creusot) стал родиной: первого французского локомотива (1838 г.), первого французского парохода (1839 г.), знаменитой 75-мм гаубицы Шнайдера, броневых плит из никелевой стали, первого французского танка.

Компания, которая тогда называлась «Общество братьев Шнайдер» (Société Schneider Frères & Cie), была основана в 1836 г., когда братья Адольф и Эжен Шнайдеры (Adolphe et Eugène Schneider) купили обанкротившийся металлургический завод в Ле Крэзо. А помог им в этом Луи Буаг, на падчерице которого был женат Адольф.

В 1838 г. Луи Буаг умирает, а Жорж Дюфо отходит от руководства заводом (оставшись в компании в качестве инженера-консультанта до самой смерти в 1852 г.). Во главе завода встают сын Дефо Ахилл (Achille Dufaüd) и зять Эмиль Мартен.

### ЭМИЛЬ МАРТЕН

Эмиль Мартен (Émile François Marie Martin) родился в 1894 г. в Суассоне (Soissons). Он получил образование в Политехнической школе и артиллерийском училище в Меце. В 1820 г. Эмиль Мартен женился на Констанции Дюфо (Constance Dufaüd) и попал на завод в Форшамбо.

Инженерная деятельность была в семье Мартенов потомственным занятием: отец Эмиля, Пьер-Доминик (Pierre-Dominique Martin), родившийся в 1871 г. в Тулузе, был известным инженером, занимавшимся до-

рожным строительством. Он принимал участие в Египетской экспедиции Наполеона I, в 1831 г. спроектировал 200-метровый подвесной мост через реку Гаронна.

В 1824 г. Эмиль Мартен, используя родственные связи, организует фирму «Эмиль Мартен и К°», базирующуюся в Форшамбо и занимающуюся отливкой изделий из чугуна и меди. Профессиональная и общественная деятельность Эмиля Мартена была весьма

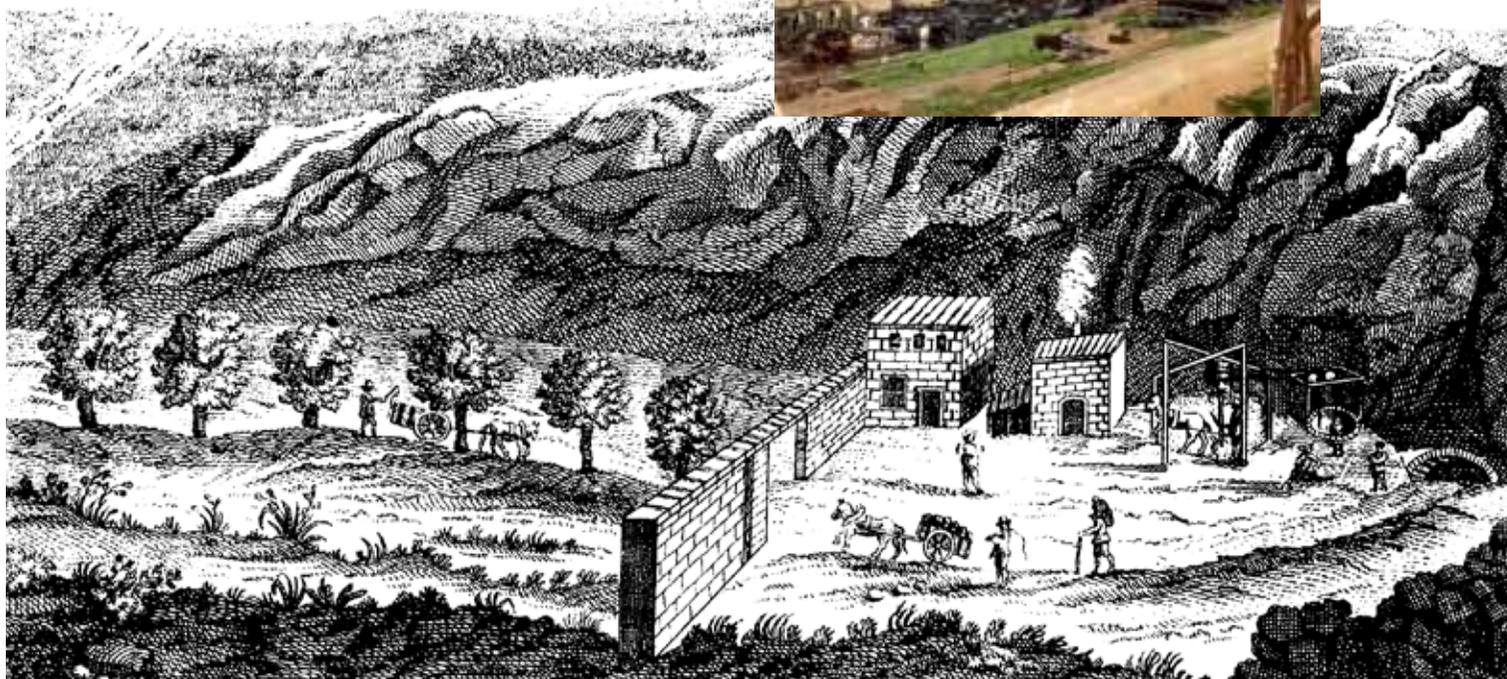


Завод в Форшамбо. Вид из замка. Литография Эдмона Бюссье (Edmond Bussiére) 1838—1840 гг.



Завод в Форшамбо на почтовой открытке

Добыча угля в бассейне Луары. Около 1870 г.





ПЬЕР БЛЕЗ  
ЭМИЛЬ МАРТЕН

плодотворной, в 1846 г. он стал офицером Почётного легиона, а в 1848 г. был избран депутатом от Невера. Эмиль Мартен умер в Форшамбо 31 июля 1871 г. в возрасте 77 лет.

### ПЕЧЬ СИМЕНСОВ, ТЕХНОЛОГИЯ МАРТЕНОВ

В 1854 г. Эмиль Мартен решил начать своё собственное дело и купил завод в городке Сирёй (Sireuil) неподалёку от Ангулема (900 жителей, из которых 150 работали на заводе). Руководителем завода он назначил своего сына Пьера (Pierre Blaise Emile Martin), родившегося в 1824 г. Пьер был опытным металлургом – в юности он учился в Парижской Горной школе (École des Mines de Paris), а с 1844 г. работал в Форшамбо.

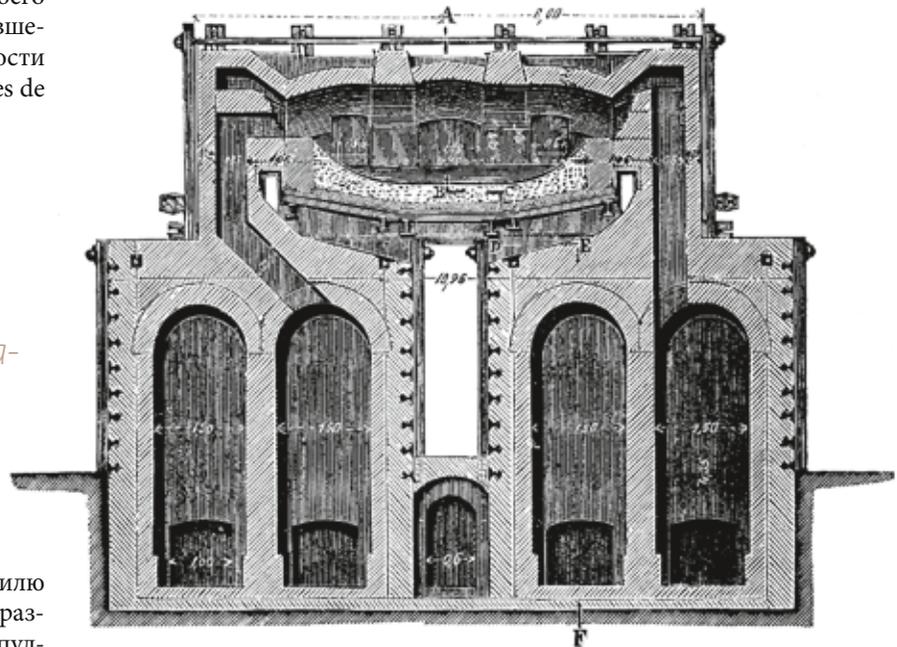
*Почему же именно Мартенам удалось достичь успеха первыми? По всей видимости, обстоятельства сложились таким образом, что их безусловный профессионализм был дополнен счастливой случайностью, что в итоге привело к положительному результату.*

26 марта 1863 г. Уильям Сименс написал письмо Эмилю Мартену, в котором, ссылаясь на состоявшийся ранее разговор, привел примерные затраты на строительство пудлинговой, сварочной и сталеплавильной печи и предложил услуги своих инженеров. В результате проведённых переговоров Сименс предоставил Эмилю и Пьеру Мартенам лицензию на производство стали в тиглях и на поду, а в 1864 г. по его проекту в Сирёе была построена печь. Печь эта строилась как сварочная, однако проект предполагал возможность её переоборудования в сталеплавильную, поэтому футеровка была выполнена из динасового кирпича.

В этой печи уже 8 апреля 1864 г. Мартены получили годную литую сталь. Опытные предприниматели защитили разработанную технологию патентами. Первый из них был получен уже 10 апреля (приоритет в Англии - 15 августа 1864 г.). В следующем, более зрелом патенте от 28 июля 1865 г. способ выплавки литой стали в регенеративной печи описывался следующим образом: «в ванну расплавленного на поду регенеративной печи чугуна загружаются холодные или нагретые куски железа —

лом, обрезки, стружка и при длительном нагреве ванны до высокой температуры получается сталь». Патент от 23 марта 1866 г. излагал тот же способ применительно к переработке отходов бессемеровского производства в виде скрапа. 25 июля 1867 г. Пьер Мартен взял патент на применение зеркального чугуна для раскисления и науглероживания металла.

Отработав технологию, Мартены наладили производство литой стали в промышленном масштабе. На заводе Сирёй работали три печи ёмкостью от двух до трёх тонн. Из выплавляемой стали производили листы, бандажи для паровозов, рессорные и инструментальные заготовки, ружейные стволы, лафеты и фасонные отливки.



15-ТОННАЯ СИМЕНС-МАРТЕНОВСКАЯ ПЕЧЬ РАННЕЙ КОНСТРУКЦИИ

### СЕКРЕТЫ МАРТЕНОВ

Почему же именно Мартенам удалось достичь успеха первыми? По всей видимости, обстоятельства сложились таким образом, что их безусловный профессионализм был дополнен счастливой случайностью, что в итоге привело к положительному результату. Попробуем разобраться в этом непростом вопросе.

Главную проблему представляли огнеупорные материалы. Сименсы строили печи из динасовых кирпичей, которые издавна использовались при сооружении стекольных печей и отлично себя зарекомендовали. Кирпичи получали прессованием и обжигом из специальной молотой глины (ганистера). Ванна печи формовалась (набивалась) из влажного кварцевого песка, а затем обжигалась (по аналогии с пудлинговой печью). И здесь



МАРТЕНОВСКАЯ ПЕЧЬ ЮЗОВСКОГО ЗАВОДА (СЕЙЧАС ДМЗ)

Мартенам повезло — песок, залежи которого имелись недалеко от Сирёя, был не чистым кварцитом, он имел в своём составе примеси, которые позволяли ему хорошо спекаться, что обеспечило высокую стойкость ванны. Поскольку роль примесей была установлена позднее, когда процесс уже получил распространение, то эта удача значительно упростила работу Мартенов и позволила им сконцентрироваться собственно на разработке технологии плавки.

В решении технологических проблем Мартенам помог большой опыт производства тигельной стали. Дело в том, что первые разработчики технологии выплавки стали в регенеративной печи, в том числе и Мартены, рассматривали её как своего рода большой тигель. То есть на первых порах речь не шла об удалении из чугуна примесей путём их окисления (фришевание), а только о том, чтобы обеспечить сплавление чугуна и железа с получением стали.

Поэтому технология поначалу выглядела следующим образом: в подготовленную печь помещали необходимое количество чугуна. После его расплавления в ванну загружали несколько пакетов железного скрапа, предварительно нагретого в другой печи, или пудлинговые крицы.



*В советской историографии широкое распространение получила версия, согласно которой талантливый конструктор Пьер Мартен разработал способ выплавки стали, в чём ему способствовал Уильям Сименс. Гениальная разработка позволила обогатиться многим «акулам капитализма», но они, проявив чёрную неблагодарность, не стали делиться прибылью.*

После расплавления железа — непродолжительное кипение металла в ванне. Поскольку фришевание из-за непродолжительности кипения практически не проводилось, основной продукцией первых мартеновских печей была рельсовая и инструментальная сталь с высоким содержанием углерода.

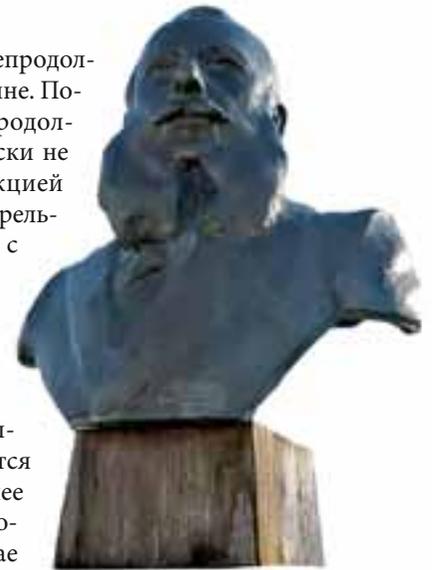
#### «ВАРКА СТАЛИ»

Необходимо отметить, что основным источником кислорода, окисляющего примеси металла, в мартеновской плавке является печной газ, поступающий в рабочее пространство печи в результате горения топлива в факеле. В случае использования скрапа (стального или железного лома) окислителем также служат ржавчина и окалина, а в случае пудлинговой крицы — пропитывающий её железистый шлак. Именно «кипение» металла, в ходе которого углерод удаляется из него в составе пузырей монооксида углерода (СО), дало название процессу выплавки металла в мартеновской печи — «варка стали».

Поскольку процесс обезуглероживания носит окислительный характер, в металле всегда присутствует растворённый монооксид железа (FeO), который необходимо восстановить до железа — раскислить сталь. Производители тигельной стали в то время ещё не знали, что проблема заключается в этом растворённом кислороде, но опытным путём установили, что выдержка готовой стали под слоем шлака (который защищает металл от контакта с воздухом) в течение 30—45 минут значительно улучшает свойства металла (ноу-хау Бенджамена Хантсмана).

Ещё лучшие результаты получались при добавлении в тигель марганца (предложение Мюшета). Именно эта особенность технологии, по мнению известного специалиста по мартеновской плавке Владимира Ефимовича Грум-Гржимайло, обеспечила успех Мартенам. Выплавив сталь, они вводили в печь шлакообразующие добавки и оставляли плавку на полчаса или больше, после чего металл выпускали из печи и разливали в изложницы.

Уже в середине 1864 г. Мартены производили сталь в регенеративной печи Сименса и продолжали дорабатывать технологию. Уильям Сименс узнал об удаче Мартенов только через год. В 1866—1868 гг. Уильям Сименс заключил с Мартенами ряд соглашений, которые разграничивали их патентные права и сферы деятельности. В дальнейшем Мартены с успехом производили сталь на своём заводе, но получить доход от распространения способа им не удалось.



БЮСТ  
ПЬЕРА  
МАРТЕНА  
В СИРЁЕ

## ПОЛИТИЧЕСКОЕ МИФОТВОРЧЕСТВО

В советской историографии широкое распространение получила версия, согласно которой талантливый конструктор Пьер Мартен разработал способ выплавки стали, в чём ему способствовал Уильям Сименс. Гениальная разработка позволила обогатиться многим «акулам капитализма», но они, проявив чёрную неблагодарность, не стали делиться прибылью, в результате чего автор потратил всё своё состояние на патентные разбирательства и провёл остаток жизни практически в нищете (те, кто придерживался фактов, конкретизировали – «в своём особняке»). Только в последние годы жизни изобретателя о нём вспомнили и воздали должное.

Однако такая трактовка является, мягко говоря, некорректной.

Разберём ситуацию с патентными правами Марتنенов. Они сразу же были оспорены. Помимо рассмотрения в Великобритании, Франции и Германии, дело о правах Мартена разбиралось Металлургической и Горной Ассоциацией Штирии и Каринтии (Австрия), что с высокой степенью вероятности позволяет исключить лоббирование национальных интересов. В ходе обсуждения профессор Леобенской Горной академии (Bergakademie Leoben) Франц Купельвизер отметил, что идея выплавки стали «на подду», т.е. в открытой ванне металлургической печи, не принадлежит ни одной из сторон. В качестве обоснования своей позиции он сослался на книгу Ассенфратца (Hassenfratz) «Производство железа» (Siderotechnik), изданную в 1812 г. В ней есть упоминание о том, что на английских заводах уже в то время применялось сплавление чугуна с ковким железом в отражательной печи с получением литой стали.



МАРТЕНОВСКИЙ ЦЕХ ЗАВОДА ЭББ-ВЕЛЛ

Таким образом, сам процесс не был новым, другое дело, что без применения регенераторов Сименса он не мог быть эффективно осуществлён из-за недостаточно высокой температуры в печи. На основании этих соображений Купель-

визер и профессор фон Шпрунг (von Sprung), директор завода в Донавице (Donawitz), придерживались мнения, что на территории Австрии нет необходимости платить лицензионные отчисления за использование так называемого мартеновского процесса. Эту позицию поддержал председатель Ассоциации, директор Горной академии Петер фон Туннер. В результате единогласно была принята резолюция, согласно которой:

1. Принцип выплавки литой стали в отражательной печи был известен в Великобритании, как минимум, до 1812 г., а в 1860 г. Сюд (Sudre) по распоряжению Наполеона III проводил соответствующие опыты на заводе Монтоле (Montolaire).

2. Идея выплавлять сталь в печи Сименса впервые высказана Уильямом Сименсом в 1862 г., а в апреле 1863 г. инженеры компании Сименса построили первую регенеративную печь на заводе Марتنенов в Сирёе.

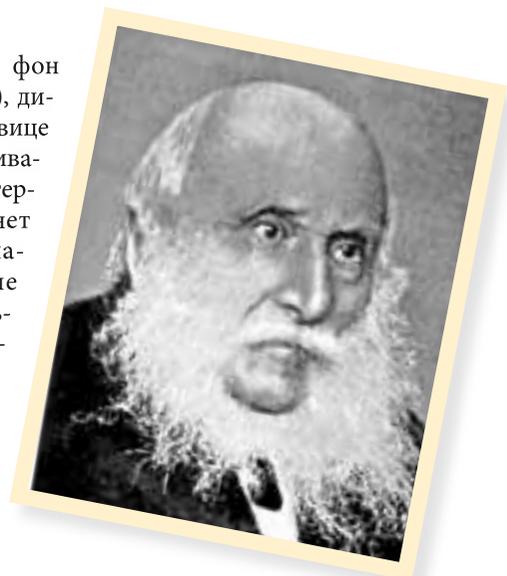
3. С 1864 г. Пьер Мартен проводил исследования по подбору состава материалов, подходящих для выплавки различных сортов стали и 15 августа 1865 г. взял на них патент. Печь, чертёж которой приведён в тексте патента, идентична изобретению Сименса.

4. Мартен может претендовать на приоритет только в том, что касается предложенных им шлакообразующих добавок при выплавке стали.

5. Так как эти добавки в настоящее время полностью заменены более поздними разработками, патент Мартена в настоящее время не имеет значения.

Не только промышленники, но и научное сообщество придерживались мнения, что результаты работы Марتنенов не могут претендовать на патентную защиту. Это было связано с тем, что технология плавки существенно изменилась по сравнению с той, на которую имели патенты Мартенны: печь больше не была «большим тиглем», в ней производили обезуглероживание, что требовало иных подходов. Таким образом, Пьеру Мартену оставалось продолжать производить хорошую сталь на своём заводе в Сирёе, отказавшись от претензий на лицензионные отчисления.

Что касается разорения Мартена в результате патентных разбирательств и его нищеты, то это явное «преувеличение». Дело в том, что завод в Сирёе Пьер продал



ПЬЕР МАРТЕН В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ ЖИЗНИ



Завод LANDORE SIEMENS STEEL

только в 1883 г. (через два года он был закрыт, а на его месте построили фабрику по производству войлока). Причиной продажи завода стало резкое ухудшение конъюнктуры на рынке стали, от которого пострадали и гораздо более крупные компании.

Пьер Мартен отошёл от дел и поселился в своём имении в Форшамбо, где жил достаточно скромно. На тот момент ему было почти 60 лет. Он вовсе не был одиноким стариком: жена пережила его на два года. У супругов было несколько дочерей, а сын, капитан Жозеф Мартен, погиб в бою при Лангемарке (Бельгия) 16 октября 1914 г.

Вспомнили о Пьере Мартене в 1909 г. Согласно «канонической» советской версии в его честь хотели поставить памятник, но, когда стали выяснять годы жизни, обнаружили, что изобретатель ещё жив. Одним из главных инициаторов того, чтобы воздать по заслугам Мартену, был знаменитый химик и физик Анри-Луи Ле Шателье, который мог по достоинству оценить мартеновский процесс — он сам был выпускником Парижской Горной школы, и именно с металлургии началось его увлечение химией.

9 июня 1909 г. объединение французских сталепроизводителей Comité des forges организовало в честь Мартена торжественное заседание; он был награждён специально выпущенной золотой медалью, а международная подписка принесла ему 200 тыс. франков. Правительство Франции наградило его орденом Почётного легиона (степень офицера). Кстати, к тому времени Пьер Мартен уже был кавалером (самая младшая степень) Почётного легиона, это звание он получил ещё в 1863 г. за политическую и общественную деятельность на посту мэра Сирёя (с 1855 по 1874 г.). В 1915 г. Пьер Мартен был награждён британским Институтом Чугуна и Стали Золотой медалью Бессемера. В том же году он умер в возрасте 90 лет.

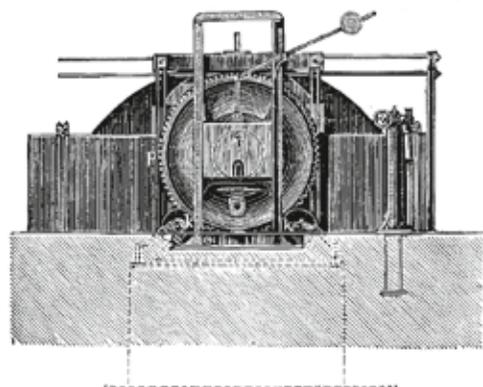
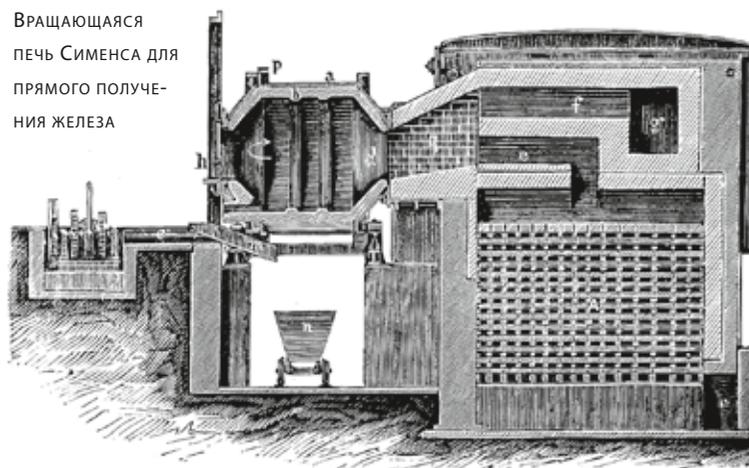
### СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС СИМЕНСА

Пока Пьер и Эмиль Мартены разрабатывали и распространяли процесс производства стали в регенеративной печи, Уильям Сименс тоже не сидел сложа руки. В 1865 г. хозяева одного из заводов Бирмингема, на котором он до

этого установил печь, отказались от её использования, и Сименс взял её на год в аренду.

В 1866 г. Сименс приступил к опытам. В августе он писал: «Сталеплавильная печь ... работает днём и ночью в течение пяти недель, выплавляя мягкую сталь для производства проволоки. Кладка печи держится уже несколько лет, а футеровку ванны, если с ней возникают проблемы, можно заменить в течение дня. Расход топлива не превышает 1,5 т угольной пыли на тонну самой мягкой стали (чем «мягче» сталь, т.е. чем меньше в ней углерода, тем больше топлива надо затратить на её выплавку, поскольку продолжительность обезуглероживания возрастает). При этом я могу произвести тонну стали дешевле, чем Бессемер (основные затраты при производстве стали в конвертере приходились на подачу воздуха с помощью воздуходувных машин), и более высокого качества».

В отличие от Мартенов, которые формовали ванну целиком, а затем обжигали, Сименс предложил «наваривать» откосы ванны, то есть наносить песок на раскалённую поверхность тонкими слоями. Это обеспечивало гораздо более высокую стойкость ванны. У Мартенов, даже несмотря на высокое качество используемого песка,



периодически случались аварии – подину печи «срывало» из-за того, что при обжиге большой массы песка он не всегда спекался в монолит.

Сименс использовал песок месторождения Gornal около Бирмигема, который позволял добиться стойкости ванны до 30 плавок. Когда было установлено, что состав песка определяющим образом влияет на стойкость футеровки, белый кварцевый песок было предложено смешивать с красным (приблизительно 90 %  $\text{SiO}_2$  и 10 % оксидов алюминия или железа).

21 августа 1867 г. Уильям Сименс получил свой первый патент непосредственно на способ производства стали. В этом патенте утверждалось, что «литая сталь может быть получена непосредственно из руды... или путём плавления чугуна (предпочтительно марганцовистого) совместно со стальным или железным ломом или пудлинговым железом или сталью в отражательной печи... или путём комбинирования обоих этих способов».

Сименс продлил аренду печи ещё на 14 лет. Для популяризации своего процесса он избрал следующую тактику: заключал с металлургическими компаниями договоры о поставках огнеупорных материалов в обмен на некоторое количество выплавляемой стали. Вскоре количество заказов настолько увеличилось, что к концу 1867 г. Сименс решил организовать собственную компанию. Она получила название «Сталеплавильный завод-объезд Сименса» (The Siemens Sample Steel Works).



В 1869 г. Сименс с компаньонами создал ещё одну компанию с перспективой дальнейшего расширения производства. Площадка для предприятия была выбрана в Южном Уэльсе, в местечке Лэндор около города Сванси. Компания Landore Siemens Steel интенсивно развивалась и в 1873 г. занимала четвёртое место в Европе по объёмам производства стали.



#### «ПРЯМОЙ» ПРОЦЕСС СИМЕНСА

Главной целью металлургических изысканий Вильгельма Сименса был «прямой» процесс, то есть получение стали непосредственно из руды, что позволило бы исключить из технологической цепочки стадию доменного производства. Убедившись, что в регенеративной печи это сделать невозможно, Сименс в 1869 г. спроектировал и построил на заводе Landore вращающуюся печь.

Печь представляла собой металлический цилиндр, футерованный огнеупорными материалами. Цилиндр располагался на роликах с небольшим наклоном. С поднятой стороны цилиндра в печь подавалась смесь измельчённой руды и углеродсодержащего материала, с другой стороны располагался факел, обеспечивающий необходимую для процесса восстановления железа температуру. По мере вращения цилиндра шихта перемещалась от одного его края к другому, причём скорость вращения была подобрана таким образом, что к противоположному концу поступало уже восстановленное губчатое железо. Это железо затем направлялось в плавильную печь, где смешивалось с жидким чугуном.

Сименс долго экспериментировал с «прямым» процессом: добавлял регенераторы, организовывал систему циркуляции газов, использовал футеровку из боксита, вводил флюсы для ошлакования пустой породы и удаления примесей.

В 1873 г. Сименс построил промышленную вращающуюся печь для прямого получения железа на заводе Towcester в Нортхемптоншире. Местная руда позволяла получить качественный металл, но имела слишком низкое содержание железа и не обеспечивала окупаемость процесса.

Разработанный процесс удалось внедрить в Америке. В 1883 г. в Питтсбурге во вращающейся печи Сименса

стали получать губчатое железо из канадского магнитного песка месторождений на берегах реки Святого Лаврентия. Высокое содержание железа (свыше 50 %) позволяло производить менее чем за 4 часа железную крицу, которая после переплавки в регенеративной печи превращалась в отличную мягкую сталь.

Таким образом, Уильям Сименс является не только одним из «отцов» производства литой стали, но и одним из основателей нового направления в металлургии – «прямого» получения железа. Кроме того, вместе с братьями он проводил исследования по выплавке стали с помощью электричества, но дело не пошло далее лабораторных опытов.

В научной жизни Уильяма Сименса были и другие направления, не связанные с металлургией и электротех-

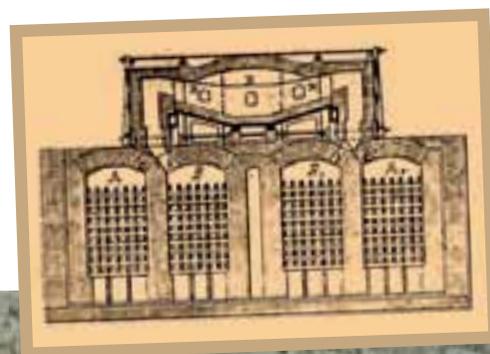
никой. В частности, Сименс активно пропагандировал идею подземной газификации угля (крупные газовые месторождения в то время ещё не были известны).

Сэр Уильям Сименс скончался 19 ноября 1883 г. и был погребён на знаменитом лондонском кладбище Кенсал Грин (Kensal Green Cemetery). За несколько месяцев до своей смерти он был посвящён в рыцари.

#### **ПРИЁМ ПРОТИВ ЛОМА**

В отличие от металлургов-практиков Мартенов, которые хотели лишь повысить производительность производства тигельной стали, целью Уильяма Сименса было получение стали из чугуна с использованием железной руды в качестве

*Сименс-мартеновский способ выплавки пришёлся как нельзя кстати именно для переработки железного и стального лома. По этой причине новый способ выплавки стали в регенеративной печи, представленный на Всемирной выставке в Париже в 1867 г.*



окислителя. Этот способ, получивший название «рудного процесса» стал применяться позже, когда Томас и его компаньоны научили металлургическое сообщество использовать при выплавке стали футеровку на основе основных оксидов. При использовании же кислой футеровки из кремнезёмистого песка практически не удалялись «главные враги» качественной стали – сера и фосфор, то есть, как и в случае бессемеровского процесса, требовался подбор чистых по этим примесям материалов.

Другой проблемой при использовании руды было то, что в ванне присутствовало большое количество монооксида железа (FeO). Поскольку этот оксид в реакциях проявляет основной характер, то он взаимодействовал с кислыми оксидами футеровки и переводил их в шлак. Это приводило к повреждению футеровки и образованию большого количества шлака, затрудняющего нагрев металла. Поэтому на начальном этапе выплавки стали в регенеративной печи при использовании кислой футеровки наиболее оправданным способом работы было именно уподобление печи тиглю.

Наиболее качественная сталь получалась при использовании чугуна и криц пудлингового железа. По словам Джеймса Райли (James Riley), управляющего The Steel Company of Scotland, «этот режим работы имеет то преимущество, что существует большая определённости в отношении результата, поскольку известен состав исходных материалов, что не может иметь место при работе с большим количеством скрапа, полученного, может быть, из тысячи источников». Однако себестоимость стали, выплавленной таким способом, была настолько высока, что использовать технологию можно было только в особо ответственных случаях, когда качество металла имело определяющее значение.

К началу эпохи индустриализации металлургия получила ещё один источник железа — скрап (металлолом), то есть вышедшие из употребления железные изделия, а также отходы (обрезки, брак и т.п.). Количество их было огромно, а цена, ввиду практически полного отсутствия спроса, низкая. Способами переработки металлолома в то время были перековка и перекатка (в некоторых случаях применялась переплавка в доменных печах и вагранках). Это налагало существенные ограничения на размеры перерабатываемых изделий (не все помещались в сварочную печь). Единственным видом железного лома, который перерабатывался более-менее регулярно, были рельсы, которые подвергали перекатке.

Бессемеровский и томасовский процессы не решали проблему металлолома, поскольку в конверторах нельзя было перерабатывать железо и сталь – в них, в отличие от чугуна, не было примесей, играющих роль топлива (это отрицательно сказывалось на тепловом балансе процесса). Поэтому в конвертере перерабатывали только

небольшие по размеру стальные обрезки, образующиеся при прокатке.

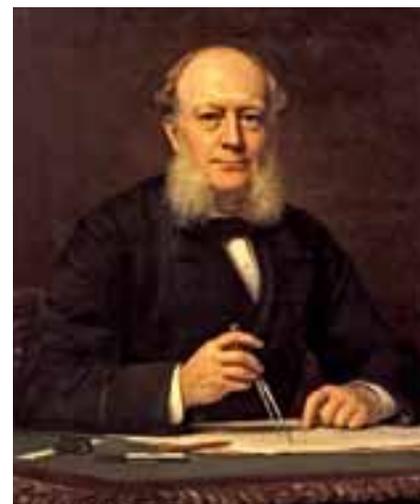
Сименс-мартеновский способ выплавки пришёлся как нельзя кстати именно для переработки железного и стального лома. По этой причине новый способ выплавки стали в регенеративной печи, представленный на Всемирной выставке в Париже в 1867 г. Сименсом, Мартенами и Берардом, произвёл фурор. Сталь Мартенов и печь Сименса были отмечены призами выставки. После этого началось «победное шествие» нового процесса: в 1868 г. он был внедрён в Швеции, спустя год — на крупных заводах Террнуар и Фирмини (Франция), Крупна в Эссене и Штуммера в Вене.

Внедрение сименс-мартеновского способа в промышленность Великобритании связано с одним из «крёстных отцов» бессемерования – Джоном Рамсботтомом, главным инженером Лондонской и Северо-Западной железной дороги. Именно ему Сименс отправил письмо, в котором приводил расчёты выгоды переработки старых рельсов в регенеративной печи, что, решало как проблему лома, так и существенно снижало затраты на обновление дорожной сети. Ознакомившись с производством в Бирмингеме и убедившись в его перспективах, Рамсботтом в середине 1868 г. распорядился организовать производство в мастерских крупного железнодорожного узла Кру (Crewe).

Процесс выплавки стали в регенеративной печи имел большой успех, несмотря на конкуренцию с процессом Бессемера. Даже в условиях спада в металлургическом производстве выплавка стали новым способом в Великобритании увеличилась с 77,5 в 1873 г. до 436 тыс. т в 1882 г. В конце того же года в этой стране работало более 150 регенеративных печей, и ещё больше находилось на стадии строительства.

### «МОРСКОЙ» МЕТАЛЛ

Сименс-мартеновский металл находил применение в самых различных областях – и там, где раньше использовалась качественная и дорогая тигельная сталь, и там, где применялось мягкое железо. В конце XIX в. процесс в регенеративных печах считался наиболее приспособленным для производства крупных стальных отливок. Поскольку длительность плавки была достаточно большой



Сэр Вильгельм Сименс

(существенно дольше продувки в конвертере), можно было точно регулировать состав и свойства получаемого металла. Благодаря этому настоящее признание сименс-мартеновская сталь нашла в кораблестроении.

Первые стальные морские суда были построены в Великобритании в 1862—64 гг. Это были колёсный быстроходный корабль «Банши» (Banshee), винтовой пароход «Энни» (Annie), парусники «Формбэй» (Formbay) и «Алтея» (Althea). Суда были довольно дорогими из-за того, что сталь выплавлялась в тиглях.

на адмиралтейских верфях производилась из стали Сименса.

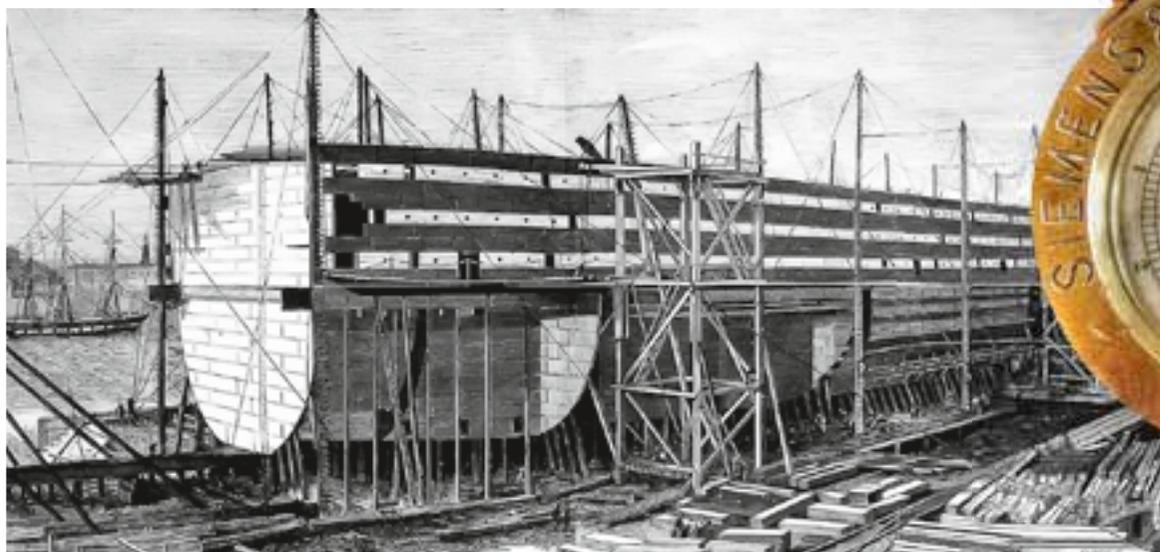
В марте 1881 г. в Клайде был спущен на воду один из крупнейших на тот момент стальных кораблей – «Сервия» (Servia). Этот океанский лайнер стал первым судном из стали, совершившим трансатлантический рейс в Нью-Йорк. Он считался одним из лучших на тот момент образцов кораблестроения. Согласно указаниям Адмиралтейства конструкция судна предусматривала возможность участия в боевых действиях.



«Сервия» – первый стальной трансатлантический лайнер

Уильяму Сименсу удалось убедить руководство Адмиралтейства, что технология получения литой стали позволяет производить металл необходимого качества. В 1876 г. по заказу Адмиралтейства компания Landore Steel провела тестовые испытания. Из литой стали был получен сляб, прокатанный затем в трёхдюймовую броневую плиту. Результаты теста настолько удовлетворили Адмиралтейство, что Landore Steel сразу же получила заказ на производство стального листа для судов «Ирида» (Iris) и «Меркурий» (Mercury), которые в итоге полностью, за исключением заклёпок, были сделаны из стали Сименса. После этого Адмиралтейство приняло решение закупать стальной лист только у Landore Steel. В скором времени вся обшивка и котлы броненосцев

Двигатели и котлы «Сервии» были окружены водонепроницаемыми отсеками, которые заполнялись трёхметровым слоем угля. Такая схема позволяла сохранить ход даже при прямом попадании в эту часть корабля, поскольку экспериментально было установлено, что угольная масса эффективно задерживает снаряд и предотвращает разлёт осколков. По длине судно было разделено на 9 частей водонепроницаемыми перегородками, которые перекрывались в случае опасности и обеспечивали плавучесть судна. Изнутри лайнер был отделан сосной и тиком. Запас угля позволял «Сервии» находиться в непрерывном плавании до трёх месяцев, двигатель обеспечивал скорость 20,5 английских миль в час. Судно регулярно курсировало между Великобри-



СТРОИТЕЛЬСТВО GREAT EASTERN



танией и США до 1902 г., когда было утилизировано в Нью-Йорке.

Опыт использования первых стальных судов показал, что они безопаснее в эксплуатации, чем железные. После осмотра повреждённых, но оставшихся на плаву кораблей «G.M.V.» и «Ротоманаха» специалисты единодушно признали, что железные суда при тех же обстоятельствах неминуемо пошли бы ко дну. Этот факт существенно снижал потери судовладельцев в случае возможных катастроф. Кроме того, стальные корабли были дешевле в производстве из-за снижения расхода металла (стальной лист можно было делать тоньше железного примерно на 20 % при сохранении прочности).

В 1880-х годах началось строительство понастоящему крупных стальных кораблей. Использование стали для судостроения в этот период росло с беспрецедентной быстротой. Если в 1879 г. для постройки судов было израсходовано около 20 тыс. т стали, то уже в 1883 г. корабли использовали более 260 тыс. т.

В 1899 г. в Великобритании был спущен на воду стальной двухвинтовой двухтрубный трансатлантический лайнер «Оушеник» (Oceanic) длиной 214,7 м и водоизмещением 28,5 тыс. т. Этот корабль превзошёл размерами знаменитое творение Изамбарда Брюнеля – железный «Грейт Истерн» (Great Eastern).

Окончательно морское господство стали было закреплено на заре XX в. «большой четвёркой» – английскими «Селтиком» (Celtic) (1901 г.), «Балтиком» (Baltic) (1904 г.), «Лузитанией» (Lusitania) (1907 г.) и немецким «Кайзерина Аугуста Виктория» (Kaiserin Auguste Viktoria) (1906 г.). \*

*Первые стальные морские суда были построены в Великобритании в 1862—64 гг. Это были колёсный быстроходный корабль «Банши» (Banshee), винтовой пароход «Энни» (Annie), парусники «Формбэй» (Formbay) и «Алтея» (Althea). Суда были довольно дороги-ми из-за того, что сталь выплавлялась в тиглях.*

Спуск парохода «Оушеник» на воду



A photograph of a steel mill interior. The scene is dominated by a bright, glowing orange-red light from molten metal. In the foreground, a worker in a dark, heavy protective suit and helmet is bent over, working with a large, dark, cylindrical object. In the background, another worker in a similar suit is standing near a large opening where molten metal is being poured. The environment is industrial and filled with heat and light from the furnace.

*Глава 6*

## Эпоха железных сплавов

Железо и уголь — вот полюсы, вокруг которых вращается вся жизнь нашего времени.

**Отто фон Бисмарк**





**В НАЧАЛЕ XIX ВЕКА** выдающийся шведский ученый Йенс Якоб Берцелиус в разделе «Железо» своего «Химического трактата» писал: «Железное производство весьма бы выиграло, если б железные руды были подвергнуты столь же точным анализам, как те, которые делаются часто из любопытства. Так как экономические расчеты редко управляют изысканиями настоящего ученого, мы должны надеяться, что искусные металлурги найдут полезным для своих собственных выгод посвя-

тить часть времени изысканиям такого рода». Время показало, что «искусные металлурги» к словам Берцелиуса прислушались – история металлургии эпохи индустриализации показывает, что именно эта отрасль индустрии была лидером наукоёмких технологий своего времени. В результате была создана принципиально новая металлургия – металлургия легированных сталей и ферросплавов. По мнению известного специалиста в области истории мировой экономики Ангуса Мэддисона, «исследователь-

ский аспект в экспериментальной науке имел для Запада исключительное значение и стал главным условием ускорения технического прогресса, проявившего себя в полную силу в эпоху индустриализации».

#### **ПОЧЕМУ ЭТО АКТУАЛЬНО?**

В последние пятьдесят лет во всех развитых индустриальных странах наблюдается замедление или даже снижение уровня инвестиций в основной капитал при одновременном росте прибылей. Например, Япония за период 1965–1985 г. увеличила промышленное производство в два с половиной раза при почти неизменном потреблении энергии и сырья. В США в период с середины 1980-х до середины 1990-х годов энергоёмкость единицы валового национального продукта (ВНП) снизилась на 25 %, за этот же период потребление материалов и сырья на единицу ВНП упало на 20 %. Противоположным примером является советская индустриальная экономика, которая отличалась невиданным потреблением материальных ресурсов — на единицу конечной продукции в СССР расходовалось исходного сырья в 10 раз больше, чем в США и странах Западной Европы. К сожалению, к настоящему времени в России ситуация изменилась весьма незначительно. Какие же факторы смогли обеспечить столь разительный контраст в технической эффективности индустриальных технологий? Ключом к успеху, как и в эпоху индустриализации, стали научные инновации: ведь почти половина затрат на научно-исследовательские разработки в Японии, США и Западной Европе направляются



на создание трудо-, энерго- и ресурсосберегающих технологий. Не пора ли и нам попробовать научиться лучшему у предшествовавших поколений ученых и изобретателей?

### ПРЕДПОСЫЛКИ НАУЧНЫХ ИННОВАЦИЙ

Период 1775–1825 гг. часто называют Революцией в естествознании. В это время было открыто около 40 химических элементов, в том числе кислород, марганец, хром, кремний. Разработаны методики тонкого химического анализа, позволившие определять содержание элементов в сплавах на уровне тысячных долей процента.

Детальный химический анализ железных руд, чугуна, сварочного железа, томлёной (цементированной) стали выполнил в начале XIX в. Йенс Якоб Берцелиус, установивший присутствие во всех железорудных материалах и сплавах железа кислорода и фосфора (сера была детально исследована ранее Георгом Брандтом). Результаты были опубликованы в работах «Jahresbericht» и «Traite de Chimie» (1832 г.). В них также содержатся данные полных химических анализов железных руд, чугуна и сварочного железа шведских предприятий (на все известные в то время химические элементы), а также результаты изучения сплавов железа с ванадием и танталом.

Выполненные в течение трёх десятилетий фундаментальные исследования позволили сформулировать основные теоретические положения о влиянии фосфора, серы и кислорода на свойства чугуна и стали, по существу, не претерпевшие принципиальных изменений вплоть до настоящего времени. Их обобщил в сочинении

«Eisenhüttenkunde» Карл Иоганн Бернхард Карстен. Эта книга, первое издание которой было опубликовано в 1818 г., в истории металлургии рассматривается как образец одновременно и учебника и практического руководства по производству чёрных металлов. Карстен ввел в текст «Eisenhüttenkunde» раздел «Сплавы железа», который стал обязательным компонентом всех металлургических учебников XIX в. В этом разделе приводилась подробная информация о составе сплавов, физических свойствах, способах получения, областях применения. Карстен детально исследовал сплавы железа с фосфором, кремнием, медью, свинцом, висмутом, сурьмой, марганцем, титаном и алюминием.

### ИССЛЕДОВАНИЯ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗА

Сплавы железа и меди изучали Ринман, Дэвид Мюшет, Штенгель и Карстен. Сплавы изготавливались прямым сплавлением меди с чугуном, сварочным железом и сталью (в тиглях) во всех пропорциях. Исследователи пришли к выводу о вредном влиянии меди на свойства стали и сварочного железа (красноломкость) и о положительном влиянии меди на свойства литейного чугуна в количестве до 5 % (здесь и далее – % масс.).

Одновременно исследовалось влияние железа на свойства бронзы и латуни. В 1779 г. Уильяму Керу был выдан патент на способ получения латуни, содержащей 54 % меди, 40 % цинка и 6 % железа. Сплав приготавливался в тиглях с использованием древесного угля под слоем флюса из зелёного стекла. Сначала сплавлялись медь и





НАЗВАНИЕ  
WOLFRAMIUM ПЕРЕШЛО  
НА ЭЛЕМЕНТ С МИНЕРА-  
ЛА ВОЛЬФРАМИТ,  
ИЗВЕСТНОГО ЕЩЁ В  
XVI в. ПОД НАЗВАНИ-  
ЕМ «ВОЛЧЬЯ ПЕНА» —  
«SPUMA LUPI» НА  
ЛАТЫНИ, ИЛИ «WOLF-  
RANM» ПО-НЕМЕЦКИ.  
НАЗВАНИЕ БЫЛО СВЯ-  
ЗАНО С ТЕМ, ЧТО ВОЛЬ-  
ФРАМ, СОПРОВОЖДАЯ  
ОЛОВЯННЫЕ РУДЫ,  
МЕШАЛ ВЫПЛАВКЕ  
ОЛОВА, ПЕРЕВОДЯ ЕГО  
В ПЕНУ ШЛАКОВ  
(«ПОЖИРАЕТ ОЛОВО  
КАК ВОЛК ОВЦУ»)

сварочное железо, затем под слой шлака до-  
бавлялся цинк. Подобные патенты выдава-  
лись неоднократно вплоть до середины XIX  
в. в разных странах Европы. Наибольшее рас-  
пространение железная (белая) латунь нашла  
в Германии, где она называлась Aich-Metall, и  
использовалась для обшивки судов.

Большой интерес учёных эпохи Революции в естествознании вызвал вольфрам. В металлическом состоянии он был получен братьями Элюар в Испании в 1783 г. Элюары провели широкие исследования по изучению сплавов вольфрама, которые они получали в тиглях с угольной набойкой. В тигли помещали оксиды вольфрама и исследуемые металлы, в том числе чугуна.

Впоследствии к изучению сплавов вольфрама присоединился Бертье. Ему удалось получить сплавы с содержанием вольфрама до 37 %. Кроме того Бертье исследовал тройную систему, включавшую железо, марганец и вольфрам. Высокотемпературная обработка в угольном тигле шихты, состоявшей из руд изучаемых металлов, позволила получить сплав, включавший 16 % железа, 6 % марганца и 78 % вольфрама.

Усилия многих исследователей были подытожены английским инженером Окслендом, который в 1857 г. взял патент на получение железовольфрамовых сплавов. В тексте патента можно прочесть следующее: «Вольфрам, восстановленный из волчеца (вольфрамовой руды) углеродом, может быть смешан с рудой в доменной печи, или с чугуном в вагранке, в количестве до 30 %. Сплав чугуна и вольфрама может быть применён в металлургической технике... Хорошую литую сталь можно получить, прибавляя к ней от 0,5 до 25 % вольфрама. Сплавы же-

леза с вольфрамом могут быть очищены и превращены в литую сталь обыкновенным способом цементования». Фактически мы видим описание полного технологического цикла получения и применения ферросплава, используемого для легирования стали.

Запатентованная Окслендом технология получения и применения «ферровольфрама» была реализована в промышленном масштабе в Австрии (её внедрение приписывается профессору Майеру из Леобена) в 1859 г. Спустя 5 лет вольфрамовую сталь производили несколько предприятий Австрии и Германии (её использовали для изготовления снарядов и холодного оружия). В 1864 г. Зиверт опубликовал состав стали, выплавляемой на сталелитейном заводе в Бохуме. Она содержала от 1 до 3 % вольфрама и около 1 % углерода.

Велер, Реле, Карстен, Гохштеттер изучали влияние титана на свойства стали и чугуна. Было рекомендовано получать титанистую сталь, содержащую до 1 % титана из чугуна, в который титан попадал из природно-легированных руд. Впоследствии, в период 1859-61 гг. Роберт

Мюшет получил 13 патентов на различные способы получения и применения титановых сплавов железа, включая производство «ферротитана» (тигельным способом) с последующим его использованием для получения легированной стали.

Исследования сплавов железа с кобальтом, молибденом и хромом проводились Бертье и Смитом. Сплавы получались тигельной плавкой гематитовой железной руды с оксидами и рудами исследуемых металлов. Содержание в сплаве кобальта достигало 55 %. Были установлены высокие магнитные свойства железокобальтовых сплавов. В отношении сплавов с молибденом Бертье отмечал, что их получение и свойства аналогичны сплавам вольфрама.

Бертье также впервые получил и исследовал сталь, содержащую до 17 % хрома, и установил её высокую стойкость к действию кислот. Бертье получал хромосодержащую сталь тигельным способом, используя шихту, состоящую из гематитовой и хромовой руды (хромистого железняка), древесного угля и известняка, который «насыщал кремнезём и глинозём минералов». Смит в лаборатории Лондонской горной школы провел классические модельные эксперименты, сплавляя в угольном тигле химически чистые гематит и оксид хрома. Он получил широкую гамму сплавов, в которых содержание хрома изменялось в пределах от 4 до 77 %, а железа, соответственно, от 96 до 23 %.

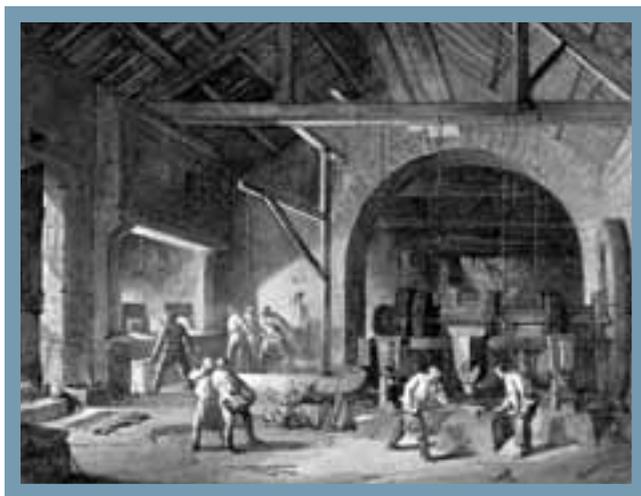
Подробные и методически выверенные исследования сплавов железа были выполнены выдающимся физиком Майклом Фарадеем и его



коллегой Штодарт. Их результаты опубликованы в научном издании «The Quarterly Journal of science» за 1820 г. Фарадей и Штодарт изучали влияние на свойства стали, сварочного железа и чугуна никеля, золота, серебра, платины, родия, палладия, иридия, алюминия. Сплавы получали свариванием пакетов из скрученной проволоки чистых металлов. Содержание легирующих элементов доводили до 10 %. Для получения больших количеств легированной стали и чугуна (при изготовлении холодного оружия или отливки

Название платине было дано испанскими конкистадорами, которые в середине XVI в. впервые познакомились в Южной Америке (на территории современной Колумбии) с новым металлом, внешне похожим на серебро (исп. *plata*). Слово буквально означает «маленькое серебро», «серебришко» (платина против серебра стоила вдвое дешевле). Объясняется такое пренебрежительное название исключительной тугоплавкостью платины, которая не поддавалась переплавке, долгое время не находила применения и ценилась вдвое ниже, чем серебро





небольших колоколов) использовали лигатуры, приготовленные в тиглях, и содержащие около 5 % легирующих металлов.

Была получена сталь, содержащая до 10 % никеля, и установлена её высокая стойкость к коррозии и «высокая магнитная сила». Для получения сплавов железа и алюминия в тигли помещали боксит (глинозём), хлориды железа, натрия и калия. Кристаллизовавшийся продукт обрабатывали слабой соляной кислотой. Получали сплав, содержащий от 20 до 80 % алюминия, который затем использовали для легирования железа в процессе пудлингования и при выплавке дамасской стали тигельным способом. Выплавленная сталь, по словам Фарадея, обладала хорошими свойствами, особенно с добавлением платины. На основе полученных данных Фарадей, Бертье и их последователи объясняли свойства булата наличием посторонних примесей в стали: Фарадей – алюминия, платины и серебра, Бертье – хрома.

В это же время на Урале были открыты месторождения платины, и министр финансов и Главноуправляющий Корпуса горных инженеров граф Егор Францевич Канкрин поручил горному ведомству повторить опыты Фарадея по сплавлению стали с платиной. Эта работа была поручена управляющему Златоустовским горным округом Павлу Петровичу Аносову, у которого к тому времени был уже солидный опыт по изучению качественных восточных клинков и который проводил исследования по получению булатной стали. Опыты заняли более года, в результате была получена сталь достаточно высокого качества, имеющая узоры, которые, однако, были отличны от булатных. В июне 1829 г. из Златоуста в Горный департамент поступили две сабли и один клинок, изготовленные из этой стали.

Следующие два года Аносов посвятил опытам по изучению влияния различных легирующих добавок на

свойства стали. Помимо платинистых сталей, которые он изучал особенно тщательно, были изучены стали с добавками золота, серебра, марганца, хрома и титана. Аносовым были подробно описаны свойства сталей с различным содержанием этих элементов. Многие из них улучшали свойства стали, некоторые давали узоры, однако булата получить не удавалось.

Таким образом, в период Революции в естествознании усилиями исследователей многих стран была создана научная база и сформированы представления о влиянии легирующих элементов на качество стали, сварочного железа и чугуна.

### **НАЧАЛО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ**

Первым легирующим элементом, который был применяться в промышленных масштабах, стал марганец. Соединения марганца, в первую очередь пиролюзит ( $MnO_2$ ), были известны и применялись с древних времён. В чистом виде марганец впервые получили в 1774 г. шведские химики Карл Вильгельм Шееле и Юхан Готтлиб Ган. Название «марганец» (manganese) приняла в 1787 г. Французская комиссия по номенклатуре, но всеобщим оно стало лишь в начале XIX в. Позднее этот металл, чтобы не было путаницы с открытым Хэмфри Дэви в 1808 г. магнием (magnesium), переименовали в manganium. В России в первой половине XIX в. его называли марганцовик, а позже манганес, и использовали при изготовлении финифти пурпурного цвета. Название «марганец» утвердилось в середине XIX в., после перевода на русский язык нескольких популярных руководств и учебников по металлургии (прежде всего книг Валериуса и Перси).

В 1801 г. Дэвид Мюшет – бухгалтер завода в Клайде (Шотландия), занимавшийся пробирным «искусством» (химическим анализом), обнаружил, что добавки марганца улучшают свойства стали. Д. Мюшет первым начал добавлять в тигельную шихту марганцевую руду в целях получения легированной стали.

Часто можно прочесть, что эти добавки способствовали удалению из металла кислорода, ухудшающего качество стали (т.е. раскислению металла), однако это маловероятно. Дело в том, что тигельная сталь выплавлялась в небольших объёмах, а кроме того – под слоем шлака и в присутствии углерода, что минимизировало насыщение расплава кислородом. При выплавке тигельной стали марганец в первую очередь связывал и удалял из металла серу (гораздо позже Генри Бессемер утверждал, что марганец удаляет из металла произведённого по его способу, серу, а не кислород), а кроме того, служил легирующим элементом, повышающим прочность стали (если его содержание в ней превышало 1%).

Первый патент на использование марганца при производстве чугуна и стали взял в 1816 г. Юхан Готтлиб Ганн.



Один из основных минералов марганца — пиролюзит — был известен в древности как черная магнезия и использовался при варке стекла для его осветления. Карл Шееле послал образцы руды своему другу химику Юхану Гану, который, нагревая в печи пиролюзит с углем, получил металлический марганец

В следующем, 1817 г., принципиально важный патент на «комплексное» использование легирующих элементов получил Дэвид Мюшет. В тексте патента указывалось, что привилегия получена на «прибавление и плавку со всякой смесью, дающей литую (тигельную) сталь, известного количества толченого чугуна, очищенного железа и окиси марганца с хромовой рудой в порошке, с добавлением или без добавления толченого волчеца (вольфрамовой руды) или вольфрамовой кислоты». Позднее появились и другие патенты. Однако понастоящему массовым использование марганца стало с появлением в 1856 г. бессемеровского процесса, обязательной стадией которого стало раскисление стали.

### ТИГЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОСПЛАВОВ

Сплавы, содержащие трудновосстановимые элементы — хром, титан, вольфрам, никель — первоначально получа-

ли только тигельным способом. Согласно «Энциклопедии промышленных знаний» (1901 г.), «выплавка феррохрома из руды производится очень просто». Для этого вручную, с помощью лопаты, готовили смесь руды, 12–15 % древесного угля, 6–7 % истёртой в порошок смолы, около 5 % битого стекла и 10–12 % кварцевого песка. Полученную массу помещали в графитовые или глиняные тигли, оставляя место для тонкого слоя мелкобитого стекла и более грубых кусков древесного угля. После этого тигель закрывался крышкой, которую плотно примазывали к краям глиной, оставляя в ней лишь небольшое отверстие для выхода газов.

Затем тигли помещали в регенеративную печь, как правило, конструкции Сименса (прообраз мартеновской печи), либо в специально сконструированную для производства ферросплавов, например, конструкции Борхерса. Выплавленный таким образом феррохром получался в виде слитка (штыка) по форме соответствующего внутреннему профилю тигля. Аналогичным образом получали ферровольфрам. Крупномасштабное производство феррохрома и хромистой стали было организовано в Гер-



мании: в Ганновере Бирманом в 1873 г. и на заводе Хальцера в 1875 г. Бруштлейном. В 1886 г. Гадфильд опубликовал подробные исследования о свойствах и способах производства железохромоуглеродистых сплавов.

Существовали более сложные схемы получения металлов, руды которых содержали большое количество примесей, либо содержание которых в рудах было низким. В таких случаях сначала тем или иным способом получали промежуточный продукт с достаточно высоким содержанием производимого металла, а затем уже

в тигле производили рафинирование полученного полупродукта. Таким образом производили, например, никель – различными способами, зависящими от типа используемой руды, получали черновой никель, который затем переплавляли в тиглях.

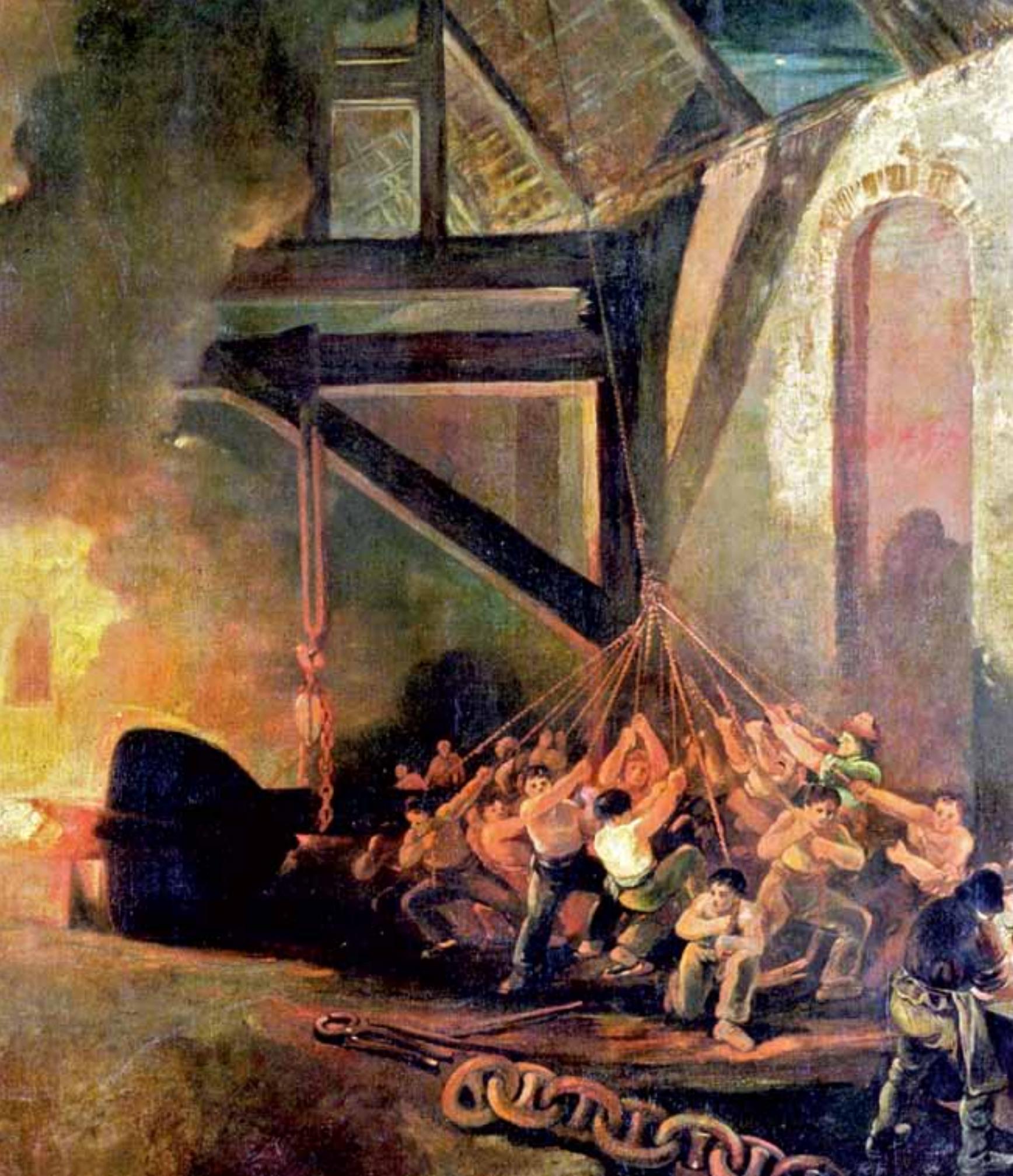
Применялись и другие способы получения, как ферросплавов, так и чистых металлов. Например, в 1854 г. удалось получить чистый металлический хром электролизом водных растворов хлорида хрома, аналогичным способом получали высокочистый никель. Однако в основном это было лабораторное либо мелкомасштабное производство – экономически целесообразно было производить ферросплавы в тиглях.

Главными проблемами тигельного производства были высокие затраты и низкая производительность. Поэтому уже в 1880-х гг. марганец- и кремнийсодержащие ферросплавы, которые применялись в первую очередь для раскисления стали, производили практически исключительно в доменных печах.

В начале XX в. тигельный способ производства применялся для получения мало- и безуглеродистых ферросплавов, прежде всего – малоуглеродистого ферромарганца. Силикотермический метод получения малоуглеродистого ферромарганца запатентовали в 1893 г. Уильям-Фауст Грин и Уильям Генри Уэль. Однако из-за высокой цены малоуглеродистого ферромарганца спрос на него был чрезвычайно мал, и потому силикотермический метод производства малоуглеродистого ферромарганца долгое время не находил промышленного применения. Он был востребован лишь после Первой Мировой войны.

В первой половине XX в. для производства малоуглеродистого ферромарганца (и других безуглеродистых ферросплавов) использовались алюминотермический и силикотермический методы.

Алюминотермический метод применяется, главным образом, для получения металлического марганца. В подогретый магнезитовый тигель загружали хорошо перемешанную смесь порошкообразных оксидов марганца и металлического алюминия. Процесс инициировали с помощью специальной зажигательной смеси в отдельном участке тигля. При повышении температуры оксиды марганца начинали реагировать с алюминием. За счет теплоты этой экзотермической реакции активно нагревались соседние участки в тигле, и там точно так же происходило восстановление марганца. Тепловой эффект горения алюминия столь велик, что в очень короткое время все содержимое тигля нагревалось до высокой температуры без подвода тепла извне, что обеспечивало практически полное восстановление оксидов марганца. В учебнике «Теория и практика выплавки ферросплавов в электропечах» (1934 г.) отмечалось, что «метод этот не требует сколько-нибудь заметных капитальных затрат:



оборудование состоит из одного лишь тигля, не нагреваемого ни током, ни газом, ни другим источником тепла».

Для получения малоуглеродистого ферромарганца в промышленном масштабе пользовались классическими силикотермическими методами Джина и Беккерта. По способу Джина процесс получения малоуглеродистого ферромарганца осуществлялся в две стадии: сначала по-



лучение силикомарганца, содержащего незначительное количество углерода, затем рафинировка силикомарганца от кремния марганцевой рудой. По способу Беккерта оксиды марганца восстанавливались богатым ферросилицием. Сложный метод Джина, при котором сначала кремний восстанавливали, чтобы получить силикомарганец с содержанием около 30 % кремния, а затем окисляли и переводили в шлак, имел целью достижение минимально возможного содержания в сплаве углерода.

### **ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОСПЛАВОВ В ВАГРАНКАХ**

Распространенным способом получения ферросплавов тугоплавких металлов, прежде всего феррохрома и ферровольфрама, в конце XIX – начале XX в. была плавка в вагранке – небольшой шахтной печи, схожей по конструкции с доменной. Данная технология просуществовала до середины XX в., и широко применялась в случаях ограниченности ресурсов электроэнергии. В частности, ваграночная выплавка феррохрома и ферровольфрама применялась в СССР и имела характерные технологические особенности.

Выплавка феррохрома и ферровольфрама в вагранках велась «на козла», т.е. полученный сплав ввиду своей тугоплавкости не вытекал в жидком виде из печи, а оставался внутри неё в виде слитка – «козла». Вагранки устраивались с откидным дном для удобства извлечения слитка.

Плавку феррохрома вели на брикетах, состоящих из кокса, хромита, соды и смолы. Воздушное дутьё предварительно нагревали до 400–500 °С. Плавку вели до тех пор, пока «козёл» не затынет фурм для подачи воздуха, которые устраивались в три ряда по высоте вагранки (на фото представлена вагранка с одним рядом фурм).

За одну плавку получали около 3 т феррохрома. Длительность кампании, включая время на охлаждение и футеровку вагранки, составляло около 7 дней. Расход кокса достигал 5–6 т на тонну феррохрома.

Плавка ферровольфрама осуществлялась также «на козла», получали сплав с содержанием вольфрама 78–84 %. Содержание углерода обычно составляло 0,1–0,7 %, столько же марганца и кремния; доля меди, олова и серы – менее 0,1 % для каждого компонента.

Реакция восстановления вольфрама углеродом из минералов (вольфрамит, шеелит) при этом шла очень быстро, поскольку конечные продукты процесса энергично уходят из системы: образующийся СО удаляется с отходящими газами, а частицы ферровольфрама, обладающие громадным удельным весом по сравнению со шлаком (удельные массы 16,0 и 3,0), легко осаждаются на подину и, наплавляясь, образуют там «козёл». При этом верхний слой «козла» на подине вагранки представляет собой металлическое «болото», растворяющее вольфрам и железо. При нормально идущем процессе перегретые, под-

вижные частицы шлака, запутавшиеся в «козле», легко всплывают, и сплав получается монолитным. Поэтому после окончания плавки осуществляли выдержку для освобождения «козла» от включений.

При чрезмерно горячем процессе происходило восстановление значительного количества нежелательных примесей, в частности кремния и углерода. По этим причинам выплавка из руды ферровольфрама с содержанием больше чем 84 % вольфрама не осуществлялась. Сплав был настолько тугоплавок, что его трудно было получить монолитным (без включений) или чистым по кремнию. Получавшийся шлак с высоким содержанием  $WO_3$  возвращался в процесс на переплав.

### ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОМАРГАНЦА, ФЕРРОСИЛИЦИЯ И ФЕРРОХРОМА

В первом отечественном учебнике по ферросплавному производству «Теория и практика выплавки ферросплавов в электропечах» (Тригорович и др., 1934 г.) отмечалось:

«По своему значению для производства стали ферромарганец занимает первое место в ряду ферросплавов. В качестве раскислителя стали марганец практически незаменим. Специальные стали, содержащие марганец, иногда уступают по качеству другим легированным сталям с содержанием хрома, никеля и т.д. Но, учитывая дешевизну марганца и его относительно большое распространение по сравнению с другими легирующими элементами, надо подчеркнуть его значение в производстве специальной стали в качестве специальной добавки, придающей особо ценные свойства. Ферромарганец выплавляется до сих пор в большинстве стран в доменных печах. Объясняется это отсутствием дешёвой электрической энергии вблизи месторождений марганцевой руды. Только в некоторых странах условия достаточно благоприятны для развития электроплавки ферромарганца».

Из приведённой цитаты хорошо видно, что доменная плавка оставалась основным способом получения ферромарганца практически до середины XX в. Сама же технология производства ферромарганца в доменных печах была отработана уже к 1880 г. Рассмотрим технологию производства ферромарганца в доменных печах в конце XIX в.

Первым необходимым условием для обеспечения приемлемого уровня содержания марганца в сплаве был подогрев воздушного дутья, подаваемого в печь. По мнению профессора Окермана, одного из основоположников «доменной науки», доменная печь, работающая на древесном угле, используя слабо нагретое дутьё, не может постоянно давать сплав, содержащий даже 50 % марганца. Для получения же сплава, содержащего до 80 % марганца, необходимо использовать в качестве топлива каменноугольный кокс, при этом температура дутья должна составлять 700–

800 °С (достигается при помощи воздухонагревателей Каупера или Витвеля).

Наиболее удобным сырьём для выплавки ферромарганца были железисто-марганцевые руды с известковистой пустой породой, встречающиеся на восточном побережье Испании, в Италии и в некоторых других странах, с содержанием от 10 до 15 % железа и 25–30 % марганца. Там, где подобные руды отсутствовали, проплавляли смесь железных руд с настоящими марганцевыми рудами или соединениями марганца, полученными искусственно. Для получения сплавов с высоким содержанием марганца использовали богатые марганцевые руды, содержащие ограниченное количество железа.

Шихта составлялась таким образом, чтобы получающиеся шлаки были основными (доля основных оксидов больше доли кислых), причём с ростом содержания марганца увеличивали и содержание основных оксидов в шлаке. Содержание марганца в сплаве влияло и на производственные показатели – помимо увеличения расхода топлива, сокращалась (довольно существенно) производительность печи. При этом вне зависимости от условий плавки и технологических ухищрений, не более 75–80 % марганца, поступающего с шихтой, переходило в сплав; остальная часть его переходила в шлак и частично улетучивалась с колошниковыми газами. Однако, чем выше было содержание в исходной шихте марганца, тем меньшее относительное количество этого металла уходило в шлак. Улёт марганца с колошниковыми газами был тем значительнее, чем выше температура в печи и чем богаче марганцем шихта.

Содержание в сплаве марганца, кремния и железа сильно зависело от свойств шихтовых материалов и технологических параметров процесса, что хорошо видно на примере работы двух европейских заводов.

На заводе в Тернуаре (Terre-noire, Франция) выплавка ферромарганца велась в обыкновенной доменной печи высотой 16 м и ёмкостью (полезным объёмом) около 100 м<sup>3</sup> при температуре дутья 600–750 °С с использованием богатых марганцем руд, привозимых из Испании, с острова Сардиния, а также из департамента Соны и Луары. При этом получаемый сплав фактически представлял собой ферросиликомарганец и имел следующий состав (образцы были выставлены в 1878 г. на выставке в Париже):

Элемент	Содержание в ферросплаве, % масс.			
Железо	66,75	71,50	79,00	85,50
Марганец	20,50	19,50	13,00	6,55
Кремний	10,20	7,45	5,45	5,55
Углерод	2,65	2,65	2,30	2,10
Фосфор	0,185	0,178	0,145	0,140

Доменная печь в Крайне (современная Словения) высотой 17,2 м, работающая с повышенным давлением и с дутьём температурой около 600 °С, использовала шихту, составленную из местных шпатовых железняков (обожжённых) и из марганцевых руд, добываемых в окрестностях местечка Viguonsica. Также в шихту добавляли немного известкового флюса и оборотных шлаков. При этом получались сплавы следующего состава:

Элемент	Содержание в ферросплаве, % (масс.)					
	1	2	3	4	5	6
Железо	43,55	45,90	48,14	53,39	63,27	73,26
Марганец	50,05	48,06	45,42	40,28	30,51	20,3
Углерод	5,73	4,61	4,80	4,90	4,96	5,19
Кремний	1,98	0,92	0,91	0,86	0,79	0,85
Алюминий	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Кальций	0,01	0,11	0,07	0,06	0,05	0,09
Сера	–	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Фосфор	0,26	0,32	0,34	0,36	0,38	0,31

Основными условиями получения кремнистого чугуна и ферросилиция следующие: высокий нагрев дутья и расход горючего; кремнистые шлаки при работе на древесном угле и глиноземистые основные шлаки для хода на коксе; легковосстановимые небогатые руды с трудноплавкой пустой породой, свободный кремнезем которой равномерно распределен во всей массе оксидов железа.

В упомянутом выше учебнике «Теория и практика выплавки ферросплавов в электропечах» отмечалось, что «при выплавке ферросилиция с 12 % кремния расход кокса устанавливается в 2,5–2,75 раза больше нормального. Отсюда видно, что расход горючего в доменной печи растёт не пропорционально увеличению концентрации кремния в сплаве, а в значительно большей степени. При достижении отношения железа к кремнию около 4:1 (кремния в сплаве около 20 %) дальнейшее увеличение расхода горючего не приводит к увеличению содержания кремния в сплаве, и поэтому более богатый ферросилиций получить в доменной печи нельзя, для этого требуется электропечь». Обычно в доменной печи выплавляли ферросилиций с 12–13 % кремния.

Выплавка ферросилиция в доменных печах производилась сравнительно редко, так как вследствие предельно горячего хода происходил быстрый износ футеровки печи. Поэтому, как правило, ферросилиций плавил в конце кампании перед окончательной выдувкой доменной печи для капитального ремонта.

Первые попытки получения феррохрома в доменных печах были сделаны ещё в середине XIX в. Несмотря на то что восстановление оксидов хрома в доменной печи идёт достаточно полно, температурные условия не по-

зволяют получить сплав с высоким содержанием хрома. Феррохром, выплавленный в доменной печи, содержит от 30 до 40 % хрома, сплав же с более высоким содержанием хрома настолько вязок, что не выходит из горна. Содержание углерода в феррохроме всегда было высокое – от 6 до 12 %. По этим причинам к выплавке феррохрома прибегали лишь в особых условиях – например, эта технология эпизодически применялась на Урале в годы Великой Отечественной войны.

## ПРОБЛЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА ДОМЕННЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ

Использование доменных печей для выплавки кремний- и марганецсодержащих сплавов снимало проблему низкой производительности, характерную для тигельной и ваграночной плавки ферросплавов. Однако себестоимость сплавов оставалась очень высокой из-за особенностей технологии и высоких потерь марганца. Так как температура в рабочем пространстве агрегата должна была быть как можно более высокой, расход топлива (кокса или древесного угля) достигал 3 т/т чугуна, а разгар горна был столь интенсивным, что, например, на Нижнетагильском заводе его делали сменным – выкатывающимся на специальной тележке по рельсам. Как уже отмечалось выше, из-за высокой температуры значительная часть марганца терялась с отходящими газами (при содержании в сплаве марганца более 80 % – до 20 % от его поступления в печь). Кроме того, содержание оксида марганца в шлаке иногда превышало 15 %, и потери марганца со шлаком достигали 12 % от общего содержания марганца в шихте. Таким образом, общие потери марганца в доменной печи достигали 27–32 %, а переход марганца в ферросплав составлял 68–73 % от общего количества его в шихте.

## ПРЕИМУЩЕСТВА ПОЛУЧЕНИЯ ФЕРРОМАРГАНЦА В ЭЛЕКТРОПЕЧАХ

Реакции восстановления марганца из руды и общий ход процесса получения ферромарганца в электропечи аналогичны процессам, протекающим при выплавке ферромарганца в доменной печи. Принципиальное отличие заключается в том, что при электроплавке топливо расходуется только на восстановление, и количество его на 1 т ферромарганца составляет примерно четверть расходуемого в доменной печи при одном и том же качестве. Отсюда вытекает следующее:

- 1) количество золы и вредных примесей, вносимых топливом, при электроплавке примерно вчетверо меньше, чем в доменной печи;
- 2) количество шлака и потери с ним марганца при электроплавке существенно меньше;
- 3) в электропечи можно применять восстановитель более низкого качества с большим содержанием золы, чем в доменной плавке.

В результате доменная печь уступает электропечи как по полноте извлечения марганца из руды, так и по качеству получаемого продукта. Поэтому с появлением в начале XX в. промышленных электропечей основной объём производства ферромарганца постепенно стал выплавляться с их помощью, хотя способ производства углеродистого ферромарганца в доменных печах используется и в наши дни.

### ДРЕДНОУТЫ И КРУПРОВСКИЕ ПУШКИ

А теперь зададимся вопросом: зачем понадобились ухищрения, связанные с получением ферросплавов, если раньше получали железо и сталь без них?! Марганец и кремний были необходимы в первую очередь для раскисления литой стали. Причём они использовались как при выплавке бессемеровской и томасовской стали, так и мартеновской «спокойной» (плотной) стали. Необходимость применения прочих ферросплавов была обусловлена двумя факторами – потребностью стремительно развивающейся промышленности в материалах с особыми свойствами и начавшейся после Крымской войны гонкой вооружений – «спором брони и снаряда».

К концу первой четверти XIX в. было изучено влияние на свойства стали большинства используемых поныне легирующих элементов. Однако практическое применение этих знаний ограничивалось тем, что использовать их можно было только при производстве стали в тиглях небольшого объёма (а предварительно их самих надо было произвести в тех же тиглях), что, безусловно, делало процесс производства особенно крупных изделий неэффективным как с технологической, так и с экономической точки зрения.

Ситуация изменилась во второй половине XIX в., когда благодаря разработкам Бессемера (конвертер с кислой футеровкой), Томаса (конвертер с основной футеровкой), Сименсов (регенеративная печь) и Мартенов (использование регенеративной печи для выплавки стали) стало возможно производить литую сталь в больших объёмах.

В 1864 г. Роберт Мюшет ввёл в сталь как легирующую добавку около 5 % вольфрама. Сталь, вошедшая в историю металлургии под названием «самокал Мюшета», могла выдерживать красное каление, не только сохраняя, но и увеличивая свою твёрдость, т.е. обладала свойством самозакалки. Резцы, изготовленные из самокала Мюшета, позволили в 1,5 раза повысить скорость резания (с 5 до 7,5 м/мин). В дальнейшем содержание вольфрама в стали и соответственно скорость резания непрерывно возрастали. В 1907 г. был разработан стеллит – сплав вольфрама, хрома и кобальта с небольшим содержанием железа, который дал возможность повысить скорость резания до 45 м/мин.

Вехой в истории использования марганца стал 1882 г., когда английский металлург Роберт Гадфильд (Robert

Abbot Hadfield) выплавил сталь с высоким содержанием этого элемента (точнее, он был владельцем предприятия, где проводилась эта работа). «Сталь Гадфильда», содержащая 11–14 % марганца и около 1 % углерода, обладала повышенной стойкостью к ударам и истиранию и использовалась для производства сейфов, решёток, стрелочных переводов, в дробилках Блэка, шаровых мельницах и других механизмах, работавших с высокими ударными нагрузками.

Однако наиболее широкое применение легирование нашло в военной промышленности. История брони из углеродистой стали закончилась в 1889 г., когда Шнейдер впервые использовал никель при производстве стальной брони. Количество никеля в первых образцах менялось от 2 до 5 %, но, в конце концов, установилось на уровне 4 %.

Никель имеет свойство сильно повышать вязкость стали. При одинаковых ударных нагрузках броневые плиты из никелевой стали не растрескиваются и не отслаиваются осколками, как это бывает с чисто углеродистой сталью. Кроме того, никель облегчает термообработку – при закалке никелевая сталь меньше коробится. Таким образом, вслед за марганцем был «пристроен» и никель, а вслед за ним и хром.

Если добавление никеля увеличивает вязкость стали и позволяет при соответствующей обработке получать волокнистую структуру, то хром ещё более увеличивает твёрдость, обеспечиваемую углеродом, не увеличивая при этом хрупкость. Хром также делает сталь особенно чувствительной к термообработке, что облегчает финишную закалку.

Первый патент на хромистую сталь был выдан в 1865 г. Его масштабное применение началось в 80-х годах XIX в. (сначала для легирования небольших стальных отливок). Выяснилось, что полученный сплав при соответствующей термообработке, получает значительную твёрдость. Однако металлурги, несмотря на постоянные усилия, не могли получить большие слитки хромоникелевой стали и соответствующим образом обрабатывать их, пока в 1893 г. германский промышленник Крупп не решил эту проблему.

Не отставало от оборонительного вооружения и наступательное: германские инженеры заметили, что наличие в стали вольфрама существенно повышает стойкость орудийного ствола. Так, в годы Первой мировой войны лёгкие германские пушки выдерживали до 15 тыс. выстрелов, в то время как русские и французские орудия выходили из строя после 6–8 тыс. выстрелов. Всё это привело к колоссальному росту объёмов производства стали, в первую очередь легированной для нужд военной промышленности – на рубеже веков термины «дредноут» и «крупповская пушка» стали нарицательными. \*

Глава 7

# Железная скоба, чугунная колонна, стальная балка

Тогда выстроится хрустальный дворец.

Тогда...прилетит птица Каган.

**Ф.М. Достоевский. Записки из подполья, 1864 г.**





**ОСНОВНЫМИ СТРОИТЕЛЬНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ** с древнейших времён являлись земля (песок, глина, камень) и дерево. Металлы – относительно новое «приобретение» строительной техники по сравнению с древесиной и камнем. Их применение в строительстве вплоть до XIX в. ограничивалось использованием небольшой номенклатуры крепёжных деталей. Неизменными атрибутами строительных профессий были металлические инструменты, а несущие конструкции, перекрытия, балки и другие конструктивные элементы из металла применялись очень редко. Это было связано с дороговизной сплавов железа, в то время как их высокие эксплуатационные свойства были хорошо известны. Несмотря на то что и сейчас по общему объёму мирового потребления металл все ещё уступает «старым» строительным материалам, именно ему принадлежит ведущая роль в современной строительной технике.

### ПОЧЕМУ ЭТО АКТУАЛЬНО?

«Окружающая человека архитектура создаёт важнейший эмоциональный фон его существования, определяет приоритеты духовного развития личности» – утверждал в своей знаменитой речи «Демократия в роли застройщика», произнесённой в 1960 г., немецкий архитектор Адольф Арндт. Каменные джунгли мегаполисов начала XX в., угнетавшие сознание и подавлявшие личность, должны были уступить место новой жизнеутверждающей архитектурной идее. В итоге сформировалась идеология гармонии воспроизводимых строительных ресурсов: стали, стекла и дерева, сочетающихся в конструкциях легкую и светлую атмосферу с функциональностью, экономичностью и рациональным использованием ресурсов материалов и энергии. Новая строительная эпоха выбирает сталь!

### ИНДИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ КОЛОННЫ

В качестве строительной арматуры железо (хотя очень незначительно и избирательно) в эпоху Древнего мира применяли на Ближнем Востоке, в Индии и Китае. Широкое применение железо нашло в индийской храмовой архитектуре в эпоху Гуптов – династии, правившей в Северной Индии в 4–6 вв. Использовались железные штыри, хомуты, затяжки, скобы. Во многих индийских храмах, построенных во второй половине 1-го тысячелетия, роль основных несущих конструкций выполняют железные сварные балки длиной до 6 м. Наиболее известными фундаментальными сооружениями из железа в средневековой Индии являются колонны в городах Дели и Дхаре.

Железная колонна в Дели – не только место паломничества индийцев, но и одна из главных достопримечательностей, привлекающая внимание туристов из всех стран мира. По наиболее распространенной версии считается, что металл для колонны был произведен в сере-

дине IV в. Это были крицы массой около 30 кг. Первоначально колонна была установлена в 415 г. в одном из храмов на востоке Индии в память о легендарном царе Чандрагупте II. В Дели колонну перевезли предположительно в 1050 г. по приказу царя Ананг Побы.

В настоящее время колонна размещается во дворе мечети Кувват (Кутуб) уль-Ислам в городе-крепости Лал-Кот в 20 км южнее старого Дели (отсюда происходит другое название колонны – «кутубская»). Масса кутубской колонны оценивается почти в 6 т. Её высота достигает 7,8 м, над поверхностью земли она возвышается на 6,3 м. Диаметр у основания составляет 458 мм, по направлению вверх колонна конически сужается до диаметра 290 мм и заканчивается художественной капителью высотой около метра. В капители колонны имеется прорезь размером 15 × 5 см, которая уходит внутрь колонны на 41 см. Первоначально прорезь использовалась для закрепления статуи священной птицы Гаруды. Детали капители были выкованы по отдельности и закреплены на корпусе колонны насаживанием друг на друга.

Удивительно, что после почти 1600 лет существования колонна практически не имеет характерных проявлений ржавчины, и это несмотря на то, что ее ежедневно пытаются «заклечь в объятия» тысячи посетителей. Согласно народному поверью, у того, кто прислонится к колонне спиной и соединит за ней руки, исполнится заветное желание. По этой причине на высоте от 1,1 до 1,4 м над уровнем земли колонна отполирована до блеска, и на ней хорошо видны отдельные неметаллические включения и трещины.

Исполнение колонны ясно указывает на то, что уже более 1600 лет назад в Индии при изготовлении монументальных памятников применяли соединение отдельных стальных криц при помощи огневой сварки и дополняли этот способ пайкой и механическим соединением. Исследования последних лет показали, что прежнее предположение о том, что колонна в Дели представляет собой единую цельную поковку, следует пересмотреть, однако это ни в коей мере не ставит под сомнение высокую оценку древнеиндийского кузнечного искусства.

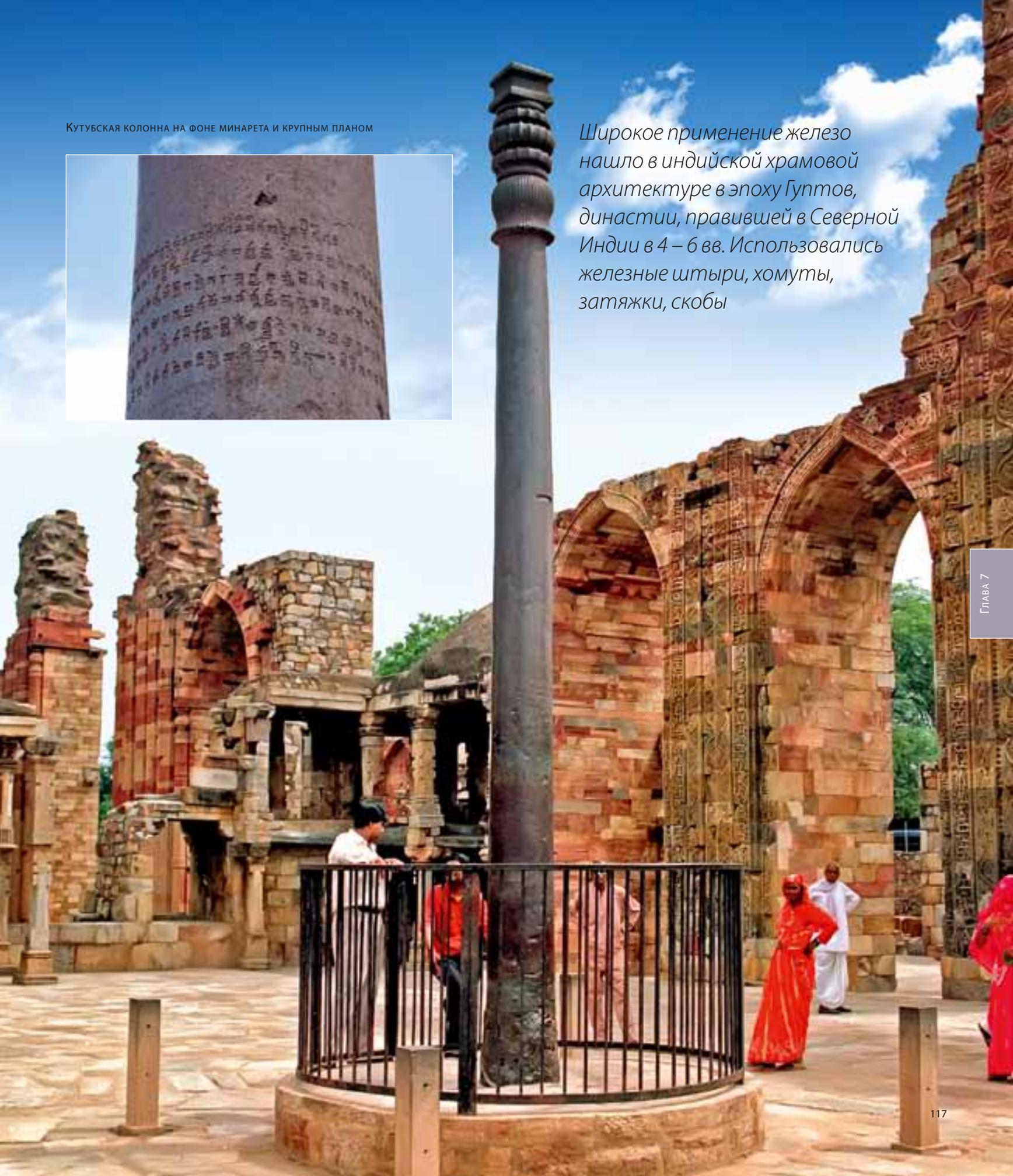
Нержавеющая колонна в Дхаре располагается в стороне от туристских маршрутов и поэтому имеет гораздо меньшую известность. Дхар был крупным городом в средневековом королевстве Мальва на севере Индии. Предполагается, что дхарская колонна была изготовлена примерно в то же время, что и делийская. В период вторжения монголов она была сброшена с каменного поста-мента и разломилась на две части, повторное падение колонны произошло в XVI в., и теперь существуют три ее обломка общей длиной 13,22 м. Общая масса колонны оценивается в 7,3 т.

Химический анализ металла, из которого изготовлены индийские колонны, показал, что это именно железо с

Кутубская колонна на фоне минарета и крупным планом



*Широкое применение железо нашло в индийской храмовой архитектуре в эпоху Гуптов, династии, правившей в Северной Индии в 4 – 6 вв. Использовались железные штыри, хомуты, затяжки, скобы*



очень низким содержанием углерода – менее 0,02 % масс., и высоким содержанием фосфора – около 0,3 % масс. Однако эти цифры не объясняют удивительной стойкости металла к коррозии.

### КИТАЙСКИЕ ЧУГУННЫЕ ПАГОДЫ

Для древних китайских архитектурных традиций характерно использование чугуна. Технология чугунного литья была освоена китайцами значительно раньше, чем любым другим народом мира. Уже в 1-м тысячелетии в Китае изготавливались необычайно крупные отливки из чугуна. Наиболее известные памятники того времени – пагоды.

Пагода представляет собой тип монументального буддийского культового сооружения, зародившегося в Индии. Она предназначена для хранения останков Будды, праха монахов или буддийских сутр (священных книг). Буддизм проник в Китай в годы правления императора Минди (58–75 гг.). В 68 г. был построен первый буддийский храм – Баймасы (в Лояне), а в эпоху Троецарствия (220–265 гг.) – первая пагода. После этого в живописных горах и крупных храмах Китая одна за другой появляется множество больших и малых пагод и ступ. Ступы – пагоды индийского типа – в большинстве своём представляли строение, ко-

торое венчает зонтообразная часть.

Китайские пагоды бывают самых разнообразных форм – квадратные, шестиугольные, восьмиугольные, обычно с чётным числом углов, и многоярусные. По своей конструкции они имеют вид башен или павильонов с многочисленными карнизами. В настоящее время в Китае насчитывается свыше 2000 пагод.

Металлические пагоды представляли собой «модульные» сооружения, собираемые из заранее отлитых деталей, которые соединялись при помощи специальных замковых сопряжений. Первая



Старейшие чугунные пагоды Китая – Западная (слева) и Восточная чугунные пагоды храма Гуансяо



Бронзовые пагоды храма Сяньтун

чугунная пагода была построена предположительно в 695 г. по приказу императрицы УЦзэтянь. Она представляла собой величественное сооружение – восьмигранную колонну под названием «Небесная ось, знаменующая добродетель Великой династии Чжоу с её сонмом земель».

Пагода была воздвигнута на чугунном фундаменте, окружность которого составляла 51 м, а высота – 6 м. Сама колонна имела 3,6 м в диаметре и 32 м в высоту. На её вершине был устроен «облачный свод» (высота – 3 м, диаметр – 9 м), который венчали четыре бронзовых дракона, каждый высотой 3,6 м, поддерживающих позолоченную жемчужину. На сооружение этой конструкции было израсходовано 1325 т металла.

Старейшие сохранившиеся чугунные пагоды находятся в храме Гуансяо в Гуанчжоу. Западная была отлита во времена Пяти Династий в 963 г. Первоначально она имела 7 ярусов, однако 4 из них были разрушены ещё в древности. Восточная пагода была сооружена немного позже, в 967 г. Её высота составляет 6,35 м, она установлена на каменном пьедестале высотой 1,34 м. Первоначально она имела также шпиль, который позднее был разрушен.

Во времена династии Северная Сун появилась мода на сооружение пагод из чугуна, что позволило вывести технологию литья на новый уровень – архитекторы и строители могли изготавливать литые конструкции и декоративные элементы практически любой степени сложности. К этому периоду относятся великолепно исполненные чугунные пагоды в Храме Нефритовой Весны в Даньяне (17,9 м), провинция Хэбэй, в Храме Сладкой Росы в Женьяне, провинция Цзянсу, и пагода в Цзинине, провинция Шаньдун.

Во времена династий Мин и Цин пришла мода на сооружение бронзовых пагод, которые стали даже более изысканными, чем чугунные. До нашего времени сохранились бронзовая пагода в храме на горе Эмэйшань в провинции Сычуань, считающаяся образцом высочайшего уровня бронзового литья, а также Пагоды-Близнецы уникальной формы в храме Сяньтун на горе Утайшань в провинции Шаньси.

Сооружение металлических пагод обходилось существенно дороже, чем деревянных или каменных. Поэтому высота их, как правило, не превышала 20 м. Самые высокие чугунные китайские пагоды – девятирусная пагода монастыря Чонгжу в Цзинине, провинция Шаньдун (построена в 1105 г.) и Пагода Тысячи Будд Вэньшу – старейшем буддистском монастыре Китая (Циньду, провинция Сычуань). Правда, это сооружение высотой 22 м построено уже в наши дни.

### ГРЕЧЕСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ПИРОНЫ

Одними из первых стали применять железо в строительстве греки. Известно, что в 470 г. до н. э. греческие колонисты в городе Акрагасе (Сицилия) использовали же-



САМЫЕ ВЫСОКИЕ  
ЧУГУННЫЕ ПАГОДЫ  
КИТАЯ – ПАГОДА  
ТЫСЯЧИ БУДД И  
ПАГОДА МОНАСТЫРЯ  
ЧОНГЖУ



лезные армирующие балки сечением  $12 \times 30$  см и длиной до 4,5 м.

Металлические стяжки были использованы при строительстве Парфенона в 432 г. до н. э. Зодчий Мнесикл замуровал в специальные канавки мраморных блоков железные стержни длиной около 2 м. Каменные блоки Эрехтейона – одного из главных храмов Афин – в одном ряду скреплялись металлическими скобами в виде пластин, напоминающих двойную букву Т, или были П-образной формы. Блоки в смежных рядах связывали вкладышами – пиронами (короткий металлический стержень, скрепляющий блоки каменной кладки по вертикали).

Каждый пирон вставляли в перевернутый камень и ставили на место так, чтобы свободный его конец входил в гнездо нижнего камня, которое заливали свинцом. Иногда строители Эрехтейона применяли деревянные вкладыши или комбинированные скрепы в виде металлических штырей, заделанных в деревянные пробки. Металлические крепления заделывались в свинец или дерево для того чтобы мягкая свинцовая оболочка смягчала их удары о стенки мраморных блоков при землетрясениях.

Вслед за греками этой технологией пользовались римляне и египтяне (например, при возведении терм Каракаллы и «храма Крокодилов»). Известен также древне-



ЖЕЛЕЗНАЯ СТЯЖКА В КАМЕННОЙ КЛАДКЕ ХРАМА ГАРНИ. АРМЕНИЯ



ЖЕЛЕЗНАЯ СКОБА В КАМЕННОМ БЛОКЕ ДРЕВНЕПЕРСИДСКОГО ДВОРЦА

армянский языческий храм Гарни (I в. до н. э.), тяжёлые каменные плиты которого скреплены железными скобами, залитыми свинцом.

Использование железных скоб в строительстве, повидимому, широко применялось в Древнем мире. Железные стяжки, используемые для скрепления каменных блоков и колонн, обнаружены при раскопках древнеперсидского дворца эпохи Ахеменидов в г. Сузы.

### РУССКИЕ КОВАНЫЕ ЗАТЯЖКИ

В средневековой Европе железные стяжки, противостоящие распору арочных и сводчатых покрытий, применяли при строительстве сводов дворцов и куполов соборов (например, собора св. Софии в Константинополе, 563 г.).

Металлические конструкции в России стали применять с XII в. С XII в. до начала XVII в. русские зодчие использовали металл при возведении дворцов и церквей в виде затяжек, т. е. стержней, обычно горизонтально расположенных, применявшихся для растяжения и соединения концевых узлов строительных конструкций и креплений для каменной кладки. Затяжки ковали из кричного железа, соединялись они между собой через проушины. Такие затяжки, например, применены в сводах Успенского собора во Владимире (1158–1161 гг.).

С начала XVII в. при возведении сооружений русские зодчие стали использовать металлические стропила: на-

слонные (опора для кровли) и купольные («корзинки») для глав церквей. Стержни «корзинок» выполнялись из кованных брусков и соединялись на замках и скрепах кузнечной сваркой. Примерами могут служить сохранившиеся до наших дней перекрытия трапезной Троице-Сергиева монастыря в Сергиевом Посаде. Подобные конструкции использовались при сооружении перекрытия старого Кремлевского дворца в Москве (1640 г.), при сооружении каркаса купола Казанского собора в Санкт-Петербурге пролётом 15 м (1805 г.).

Металлическая конструкция применялась для поддержки каменного потолка над коридором между приотворами храма Василия Блаженного (1555–1560 г.). Металлическим является каркас главы колокольни Ивана Великого в Москве (1603 г.). По преданию, фундамент колокольни находится на уровне Москвы-реки; цоколь и фундамент сложены из камня, а остальная часть – из кирпича с использованием связей из брускового железа.

### МАЛЫЕ АРХИТЕКТУРНЫЕ ФОРМЫ ЭПОХИ АБСОЛЮТИЗМА

Во второй половине XVII в. у Европы в области кузнечного художественного творчества появляется единая «законодательница мод» – Франция. С восшествием на престол Людовика XIV (1638–1715 гг.) начинается период расцвета абсолютной монархии. В искусстве и художественных ремеслах воцаряется новый стиль – барокко, который своей пышностью и торжественностью как нельзя лучше отражает господство абсолютизма. В начале XVIII в. «французский вкус» распространяется по всей Европе и становится самым модным и авторитетным на протяжении двух последующих столетий.

Французские кузнецы XVII–XVIII вв. работали в тесном контакте с архитекторами. Отправной точкой для смены стиля послужило изменение основного элемента железной решётки – круглого прутка, определявшего характер кузнечного творчества вплоть до середины XVIII в. Круглые прутки закручивались в спирали и кольца подобно каллиграфическому письму. В местах соединения прутки расплющивались и оформлялись в виде листьев, на которых часто выполняли гравировку.

Новшества касались стиливых особенностей кованных изделий. Основным элементом решёток в стиле барокко был акантовый лист, сопровождавший круглые и скрученные в спирали прутья. Французские альбомы с эскизами кованных изделий быстро расходились по кузнечным мастерским Европы.

Масштабные изменения коснулись внешнего облика практически всех европейских столиц. Государственные и общественные здания украшались кованными решётками на балконах, люнетах, парапетах. Постоянным столбичным атрибутом становится искусственное освещение, чугунные и кованные фонари дополняют городской декор.



Фонари около Лувра, Париж (слева) и Виллы Боргезе, Рим (справа).

Первые попытки использовать искусственное освещение на городских улицах относятся к началу XV в. В 1417 г. лондонский мэр Генри Бартон распорядился вывешивать фонари зимними вечерами, чтобы рассеять непроглядную тьму в британской столице. Через некоторое время его инициативу подхватили французы. В начале XVI столетия жителей Парижа обязали держать светильники у окон, которые выходят на улицу. При Людовике XIV французскую столицу наполнили огни многочисленных фонарей. Король-Солнце издал специальный указ об уличном освещении в 1667 г. По легенде, именно благодаря этому указу царствование Людовика и назвали блестящим.

### КОВАННЫЕ РЕШЕТКИ В СТИЛЕ АМПИР И РОКОКО

Одновременно с барокко в эпоху правления Людовика XIV появился еще один стиль, который достиг наивысшего расцвета в конце XVIII в. Речь идет о классицизме и его завершающей стадии – ампире (1-я половина XIX в). Окончательно принципы нового стиля были сформулированы Г. Бономом в 1757 г. В области художественнойковки, это эпоха правления Людовика XVI. Сам французский монарх был страстным любителем кузнечного дела. В королевской резиденции он организовал собственную кузнечную мастерскую, где пропадал целыми днями.

Кузнечные изделия периода классицизма отличаются простотой, лапидарностью, чёткостью линий, строгой сим-

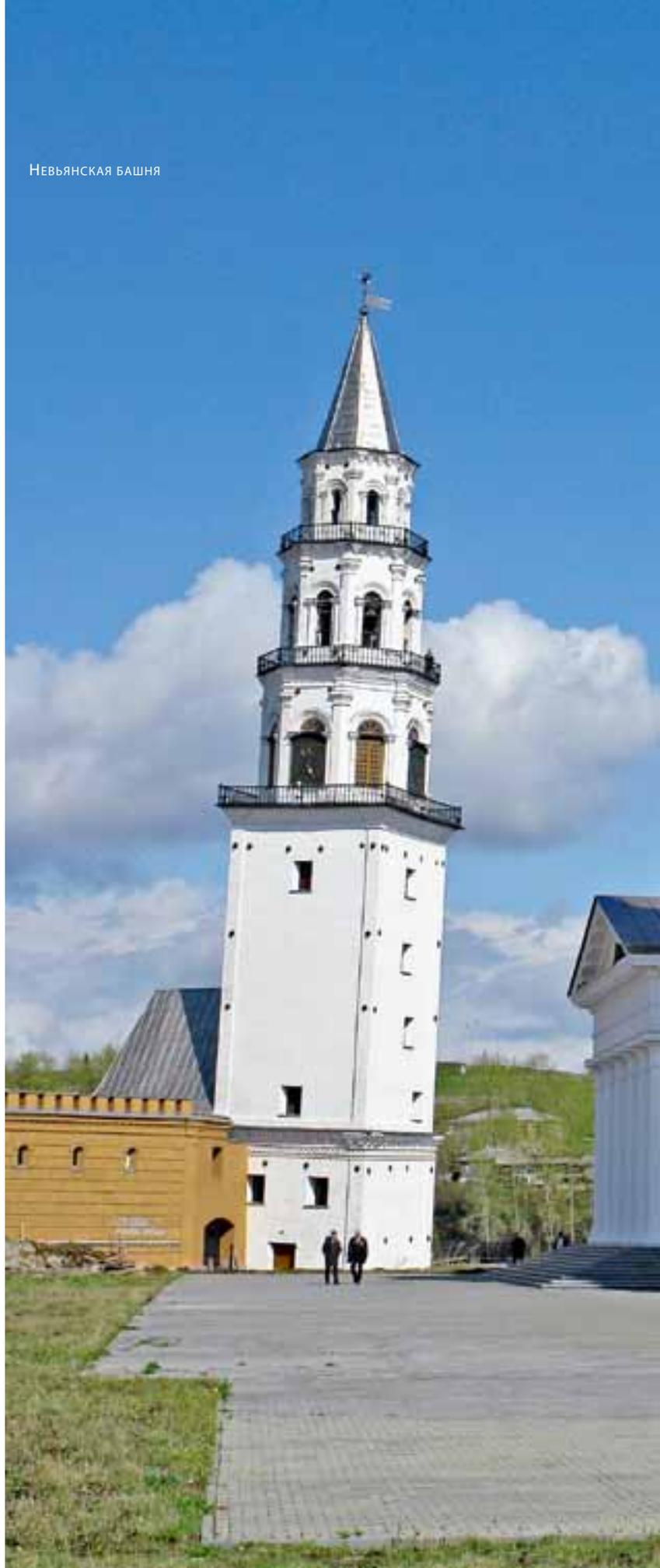


Чугунные литые элементы архитектурного декора:  
крыльцо дома № 6 по Гоголевскому бульвару в Москве (построен в 1770 г.);  
кованая ограда усадьбы, расположенной на улице Клинской в Москве

метрия и преобладание геометрических фигур. Наряду с барочными элементами (акантовым листом, фестонами, цветами, лавровыми листочками) распространены окружности, венки и меандры. В орнаменте преобладают прямые гладкие прутья, соединённые попарно. Часто встречаются парные волюты эллиптической формы, тянущиеся параллельно друг другу и на концах сваренные и скрученные в простую улитку. В середине волюты обычно располагается цветочный мотив из акантовых листьев.

Ближе к середине XVIII в. происходит постепенное отмирание стиля барокко и замена его на новое стилевое направление – рококо. Распространение рококо

Невьянская башня



также началось с Франции. В эпоху рококо декоративный фактор становится доминирующим. Производство решёток отошло на второй план, уступив место изготовлению балконов, перил, фонарей, домашней мебели, ажурных деталей украшения интерьера.

Русское кузнечное дело в XVII–XVIII вв. шло вполне в ногу с передовыми архитектурными новациями. Оно дало европейской архитектуре множество замечательных изделий из кованого железа. Над знаменитыми коваными решетками Петербурга работали выдающиеся зодчие: А.Н. Воронихин, В.П. Стасов, В.В. Растрелли, Дж. Кваренги, К.И. Росси и др. Одна из лучших декоративных оград мира – решётка Летнего сада – была изготовлена тульскими кузнецами в 1772–1778 гг., а медные детали к ней позднее изготовили петербургские умельцы.

Решётка Летнего сада и один из её элементов



бетоном – 70 000 кгс/см<sup>2</sup> против 2200 кгс/см<sup>2</sup>, 150 кгс/см<sup>2</sup> и 200 кгс/см<sup>2</sup> соответственно. Однако его прочность при растяжении и изгибе невелика, и применять его можно только в строительных конструкциях, работающих на сжатие (например, в арочных мостах). Основным изделием из чугуна в XVIII–XIX вв. были колонны.

### НЕВЬЯНСКАЯ БАШНЯ

Первая крупная чугунная конструкция была применена в России – это перекрытие крыльца Невьянской башни на Урале. Башня построена в 1722–1732 гг. по типу русских шатровых колоколен и является уникальным памятником промышленной архитектуры первой половины XVIII в. Она выполняла несколько функций: дозорную, казначейской конторы, заводского архива, лаборатории, часовкурантов. Подвалы служили тюрьмой.



### СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Новая эпоха в применении сплавов железа в строительстве наступила после того, как были освоены высокопроизводительные технологии выплавки чугуна, а сам металл стал производиться в больших количествах на крупных промышленных предприятиях.

Чугун стал инновационным строительным материалом эпохи Промышленной революции. Это был первый металл, способный по своим характеристикам составить серьёзную конкуренцию традиционному дереву и камню. Способность чугуна выдерживать значительные нагрузки, а также его «негорючесть» подстегнули интерес архитекторов к использованию чугуна в качестве конструкционного материала.

Чугун имеет значительно больший предел прочности на сжатие по сравнению с естественным камнем, кирпичом и

Невьянская башня – сооружение с обилием больших фигурных чугунных шайб, скрепляющих находящийся внутри стен металлический каркас. Полы и балконы выстланы чугунными плитами, оконные и дверные коробки также отлиты из чугуна. Основание башни представляет собой квадрат со стороной 9,5 м, высота её – 57,5 м. Отклонение башни от вертикали составляет около 1,85 м.

При сооружении башни использовались передовые технологии того времени. Шатёр был увенчан, помимо двухметрового флюгера, металлическим громоотводом в виде позолоченного шара с шипами и лучами. За всю историю башни в неё ни разу не ударила молния. Учитывая, что Невьянская башня построена предположительно в 1732 г., можно утверждать, что уральские мастера соорудили громоотвод примерно на четверть века раньше, чем это изобретение продемонстрировал современникам американец Бенджамин Франклин.



*Первой большой чугунной конструкцией стал мост через реку Северн. Длина пролета моста составляет 30,6 м, его масса – 384 т.*

### **ЧУГУННЫЕ МОСТЫ**

В результате Промышленной революции в Англии миру были представлены новые типы сооружений и методы строительства. В последних десятилетиях XVIII в. английские инженеры начали применять чугун и железо в ответственных несущих конструкциях мостов, промышленных и гражданских зданий. К этому времени использование металла в качестве конструкционного материала получило теоретическое обоснование. Были созданы теория трёх моментов (1720 г., Вариньон), теория продольного изгиба (1749 г., Эйлер), разработаны основы теории кручения и механики сооружений.

Первой большой чугунной конструкцией стал мост через реку Северн. Длина пролета моста составляет 30,6 м, его масса – 384 т. Он был возведён в 1777–1779 гг. и до сих пор используется как пешеходный. Конструкция моста представляет собой пять параллельных арок из чугунного литья с тремя концентрическими рёбрами на каждой арке. Самыми крупными отливками являются главные рёбра, выполненные из двух половин, каждая массой около 6 т. Все крупные отливки были получены индивидуально в открытых песчаных формах на полу литейного цеха. Более мелкие радиальные элементы были отлиты в шаблонных формах. Все соединения выполнены по типу, принятому у плотников, – «ласточкин хвост» (шип и гнездо под шип; клинья, уплотнённые свинцом). Радиальные элементы закреплены на месте болтами с гайками.

Долина реки в районе моста в те годы была знаменита тем, что в ней на небольшом участке вдоль берега располагалось больше печей и кузниц, чем где-либо ещё в мире. Ядром этого региона был Коалбрукдейл, где семья Дарби владела двумя литейными цехами – Старой и Новой доменными печами; также ей принадлежали две доменные печи в Бедламе (на расстоянии 500 м ниже по течению от моста) и две печи в Хорсхэе над верхним краем долины. Чушки литейного чугуна отливали на всех этих печах и собирали перед повторным переплавом в вагранке, построенной специально для этой цели в непо-



ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ ЧУГУННОГО МОСТА

средственной близости от моста. Химический анализ металла различных отливок показывает, что все они имеют разный состав.

Существует мнение, что мост был сооружен как дерзкая реклама возможностей литейного чугуна. Выражаясь современным языком, это был пиар – попытка воздействовать на общественное мнение, предпринятая с целью популяризации чугуна как конструкционного материала для увеличения объёмов его продажи. Эта версия вполне допустима, особенно если вспомнить, что в число

компаньонов входил известный «популяризатор» чугуна – Джон Уилкинсон, получивший благодаря своему пристрастию к этому материалу прозвище Чугунопомешанный (Iron Mad). Абрахам III Дарби заказал художникам картины общего вида готового моста, сделал с них копии в виде гравюр и распространял их, рекламируя сооружение.

Мост был помещён в наиболее эффектное узкое место долины, чтобы представить его в наилучшем свете. Высота моста была также выбрана для того, чтобы произвести впечатление: другие мосты на той же реке были низкими, поскольку суда (баржи) могли быстро опускать, а затем поднимать свои мачты для прохода под ними. Выбор формы моста позволял получить полный круг при отражении арки в водах реки Северн.

Однако на использованный для сооружения моста материал смотрели с подозрением, и новых заказов на чугунные мосты не поступало вплоть до драматического наводнения в феврале 1795 г., когда все другие мосты в этом районе были повреждены. После этого быстро последовали заказы, и в 1796 г. Томас Телфорд построил чу-

гунный мост Buildwas с пролетом 40 м на 3 км выше по течению.

Ещё один чугунный мост был построен в том же году в Сандерленде в северо-восточной Англии. Он стал самым большим чугунным мостом в мире с 72-метровым арочным пролётом. Безусловный успех чугунного мостостроения привёл к тому, что их даже отправляли на экспорт. В 1800 г. в Англии был изготовлен чугунный мост для реки Рио-Кобра на Ямайке; мост был переправлен из Англии на паруснике. Он используется до сих пор.

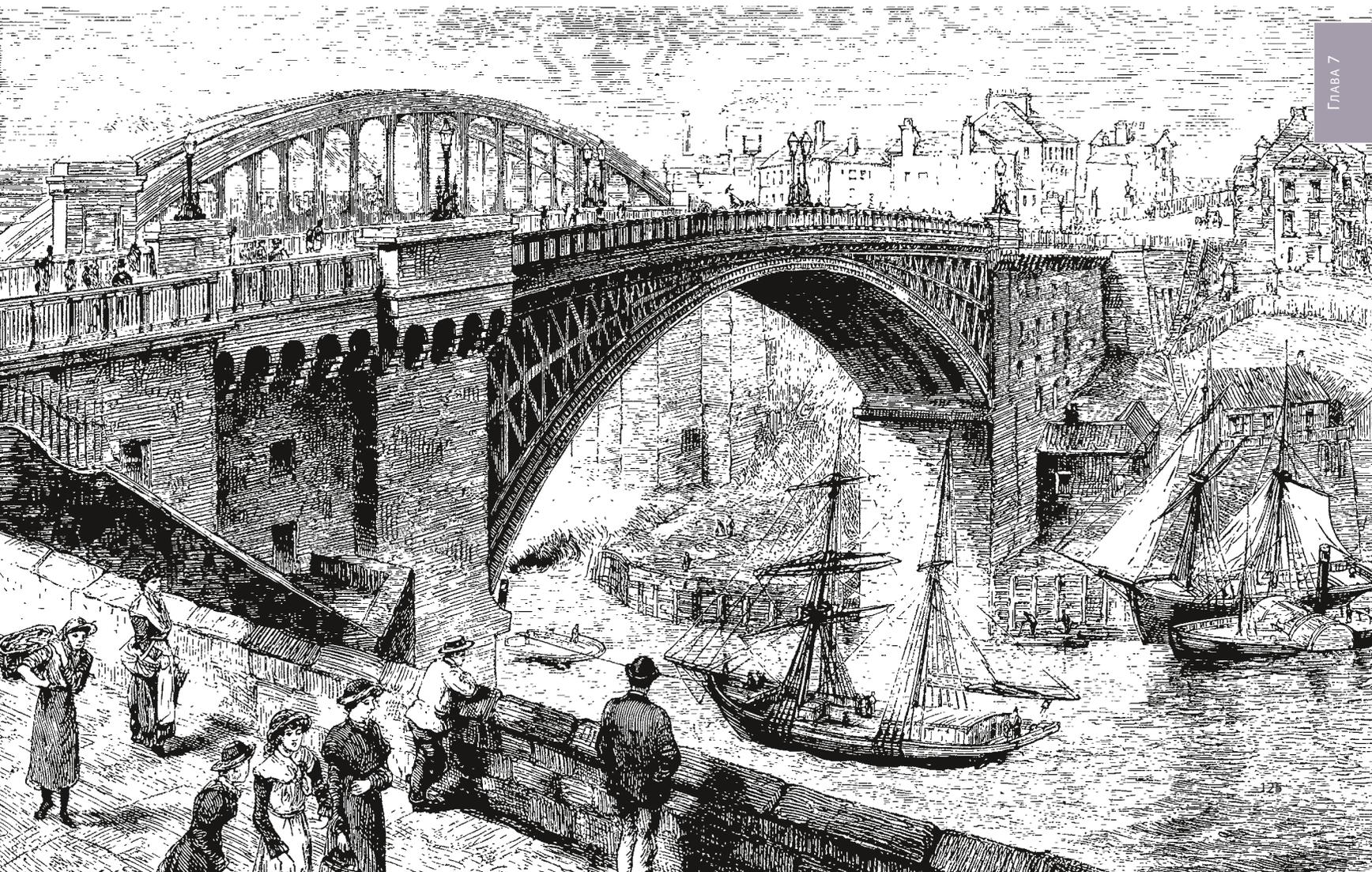
### МОСТЫ ИЗ КОВКОГО ЖЕЛЕЗА

Чугунный арочный мост через реку Северн в Англии открыл новую эпоху в истории мирового мостостроения.



ТОМАС  
ТЕЛФОРД

Чугунный мост в Сандерленде





МОСТ НА РЕКЕ МЕРРЕЙ В УЭЛЬСЕ

*Дальнейшее развитие мостостроения связано с творчеством уже упоминавшегося выше английского инженера Томаса Телфорда. Главным его сооружением считается висячий металлический мост на реке Меррей в Уэльсе, построенный в 1826 г.*

С того времени, несмотря на продолжающееся в течение двухсот лет строительство каменных мостов, наиболее прогрессивным в мостостроении становится направление по разработке конструкций и методов расчета мостов металлических.

Чугунные арочные мосты уже в первой четверти XVIII в. вытесняются мостами различных типов из ковкого (сварочного или пудлингового) железа, имеющего большую прочность на изгиб: висячими, балочными и мостами с решетчатыми фермами. Первое десятилетие XIX в. стало временем появления мостов вантовой конструкции; начало их строительству было положено американцем Джоном Фидлеем. К 1815 г. в США было построено около 40 мостов, родиной которых считается штат Пенсильвания.

Дальнейшее развитие мостостроения связано с творчеством уже упоминавшегося выше английского инженера Томаса Телфорда. Главным его сооружением считается висячий металлический мост на реке Меррей в Уэльсе, построенный в 1826 г. Этот цепной мост из сварочного железа с пролётом 176,5 м (наибольшим для того времени) имел 16 цепей, несущих проезжую часть шириной 8,5 м.

Новым этапом в истории железных мостов стало строительство в 1845 г. инженером У.-Т. Кларком моста через

Дунай в Будапеште. Мост имел рекордный пролёт – 202,4 м при общей длине 400 м и ширине проезжей части с тротуарами 14 м. После того как вместо цепей стали применяться несущие железные тросы, рекордная длина пролётов висячих мостов к середине XIX в. превысила 300 м.

Строительство первых железнодорожных мостов из железных ферм началось в 1840 г. Большинство используемых в них ферм были комбинированными; они сочетали в себе элементы из чугуна и ковкого железа. Чугун часто использовался для верхнего пояса, который работал на сжатие; нижний пояс изготавливали из сложенных вместе длинных полос ковкого железа, поскольку он работал на растяжение. В зависимости от конструкции фермы её стойки и диагональные раскосы также изготавливали либо из чугуна, либо из ковкого железа.

Мосты с решётчатыми фермами отвечали требованиям железнодорожного транспорта, они преобладали в мостостроении с середины до конца XIX столетия. В качестве примеров мостов с применением решётчатых ферм пролётом 100 м и более можно назвать сооружённые в 1859 г. Кёльнский соборный мост и трубчатый мост Дж. К. Брунеля через реку Салташ в Плимуте. Таким образом, в середине XIX столетия сформировались все основные конструктивные и несущие системы, которые определяют принципы строительства металлических мостов и сегодня, в XXI в.



МОСТ ЧЕРЕЗ ДУНАЙ В БУДАПЕШТЕ

### ЧУГУННЫЕ И ЖЕЛЕЗНЫЕ МОСТЫ В РОССИИ

В России первые металлические мосты появились в 1780-е гг., они большей частью строились из ковкого железа. Один из наиболее известных был сделан по проекту Дж. Кваренги в 1784 г. для парка в Царском селе. Серия мостов была изготовлена на Сестрорецком оружейном заводе, в том числе два железных моста для Таврического сада в Санкт-Петербурге (1793 – 1794 гг.).

Начало широкому применению чугуна в мостостроении было положено в 1806 г. сооружением на пересечении Невского проспекта и реки Мойки 22-метрового Бердова моста. До 1917 г. он назывался Полицейским (или Зелёным) а затем был переименован в Народный.

Петербургский архитектор В. Гесте использовал идею инженера Р. Фултона. Он перекрыл пролёт пологим сводом из металлоконструкций, собранных из чугунных блоков, напоминающих по форме перевернутые ящики. В их стенках были сделаны отверстия, через которые пропускались болты, скрепляющие блоки друг с другом. Конструкция моста оказалась очень удачной, и проект Гесте утвердили в качестве «образцового».

Это был первый в мире типовой проект металлического моста. В соответствии с ним в конце первого десятилетия XIX в. металлоконструкции (чугунные блоки) были изготовлены для целой серии новых мостов через Мойку. В 1814 г. построили Красный мост на пересечении Мойки и Гороховой улицы. В 1810–1820-е гг. в городе появилось еще десять чугунных мостов, казавшихся в то время необычно легкими.



БЛАГОВЕЩЕНСКИЙ (НИКОЛАЕВСКИЙ, ЛЕЙТЕНАНТА ШМИДА) МОСТ ЧЕРЕЗ НЕВУ, САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

О д н и м из первых европейских висячих мостов был Пантелеймоновский мост в Санкт-Петербурге (длиной 54 м и пролётом 37 м), построенный в 1823 г. через Фонтанку. Шедевром мирового мостостроения считается сооруженный в 1848–1850 гг. С.В. Керbedзом Николаевский мост через Неву, с восемью арочными пролетами от 33 до 47 м. Это был самый крупный чугунный мост в мире.

### СТАЛЬНЫЕ МОСТЫ

В 1860-х гг. в распоряжении мостостроителей появляется новый конструкционный материал – бессемеровская сталь. Она позволила реализовать по-настоящему грандиозные проекты, став базовым материалом для висячих



Сооружение Манхэттенского моста, 1909 г.

мостов «американской системы» (так называемый вариант «Гау и Тауна»). Первые мосты подобной конструкции были сооружены в г. Нью-Йорке: в 1883 г. – знаменитый Бруклинский с пролётом 486,5 м, а затем – Манхэттенский, с пролётом 448 м.

Монтаж Бруклинского моста длился почти 15 лет. К моменту окончания строительства растянувшийся на полкилометра Бруклинский мост был самым длинным подвесным мостом в мире и поражал современников своей величиной и надёжностью:

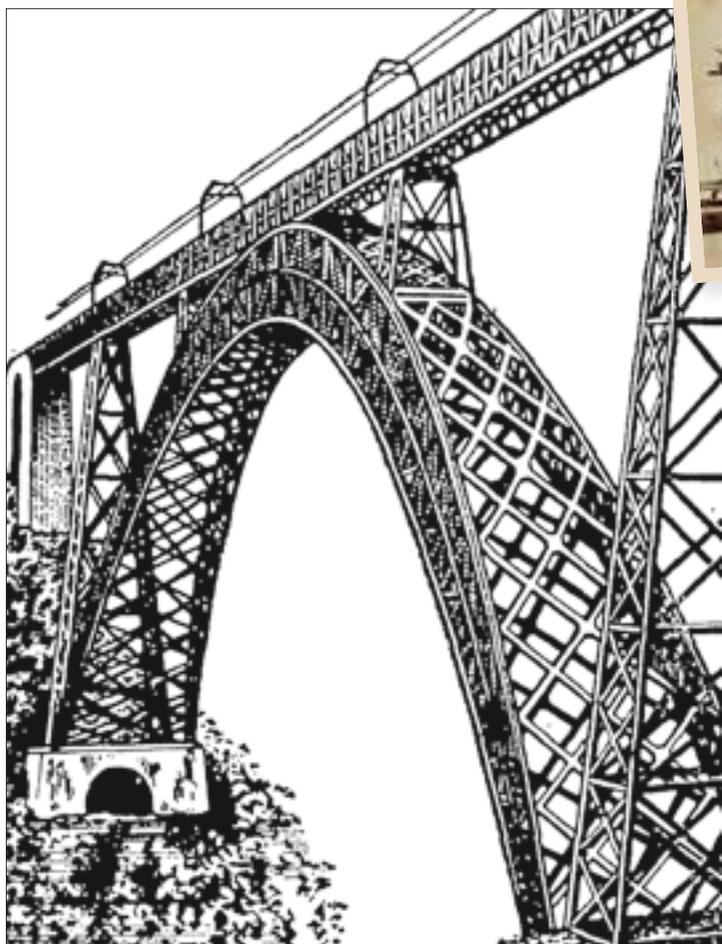
*Я горд вот этой стальной милей,  
Живём в ней мои видения встали –  
Борьба за конструкции вместо стилей,  
Расчёт суровый гаек и стали.  
И если придёт окончание света,  
Планету хаос разделяет в лоск,  
И только один останется этот  
Над пылью гибели вздыбленный мост.*

Так писал восхищенный Владимир Маяковский в стихотворении «Бруклинский мост».

Примерно в то же время в России по проекту Николая Белелюбского в 1875–1881 гг. строится самый большой на тот момент железнодорожный мост – через Волгу у Сызрани – длиной 1443 м, состоявший из 13 пролётов по 111 м каждый.

Во Франции значительное развитие получают конструкции арочных мостов. К числу выдающихся произведений инженерного искусства относится виадук Гараби, построенный Густавом Эйфелем около г. Сен-Флур в 1884 г. Конструктивно мост представляет собой двухшарнирную серповидную арку, перекрывающую главный пролёт и эстакады подходов на слегка суживающихся кверху высоких опорах. Очертания виадука не только идеально соответствуют распределению усилий в конструкциях, но и обладают несомненной художественной ценностью.

Конструктивные решения строительных ферм неуклонно совершенствовались: шарнирное соединение отдельных элементов ферм уступило место жёстким консольно-балочным системам. Среди мостов консольно-



Виадук ГАРАБИ конструкции Г. Эйфеля

балочного типа выделяются конструкции двух мостов-гигантов: Ферт-оф-Фортского с пролётом 521,2 м и Квебекского с пролётом 548,64 м. Железнодорожный мост через залив Форт в Шотландии, сооруженный в 1889 г., стал первым крупным строением из мартеновской стали.

Мировую известность получил русский мостостроитель Лавр Проскуряков, чье творение – шестипролётный железнодорожный мост через Енисей в Красноярске – было изображено на купюре достоинством в 10 руб. образца 1997 г. Сооружение его было начато в августе 1896 г., а уже 28 марта 1899 г. по мосту в сторону Иркутска прошёл первый поезд. На Всемирной парижской выставке в 1900 г. творение Проскурякова было удостоено Гран-при и золотых медалей.

### ЗДАНИЯ НА ЧУГУННОМ КАРКАСЕ

Первыми зданиями, в которых цельнолитые чугунные колонны стали использоваться в качестве несущих конструкций, были английские церкви и мельницы (например, церковь св. Анны, 1772 г., и ветряная мельница в



«Великий»Фортский мост:  
в ПЕРИОД СТРОИТЕЛЬСТВА;  
ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ВИД

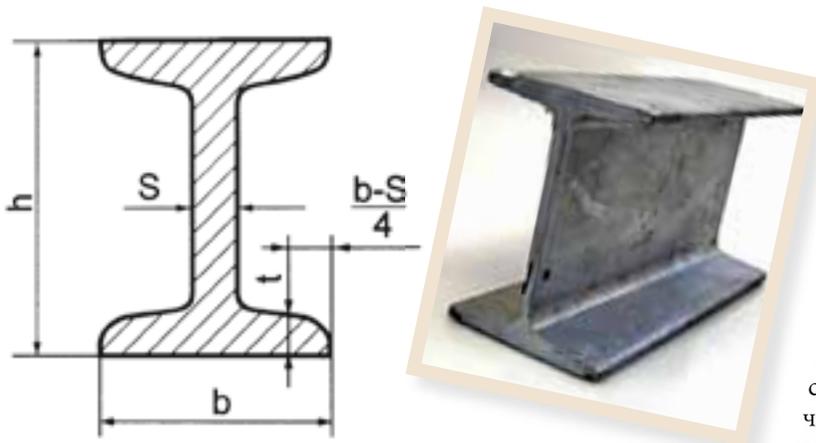


Дитерингтоне, 1796–1797 гг.). В 1880-х гг. в Англии появились здания текстильных фабрик с внутренним чугунным каркасом. Целью их строительства был выигрыш в рабочей площади и создание более прочных перекрытий для размещения станков: деревянные столбы были заменены чугунными колоннами, деревянные балки – чугунными балками.

Самым известным из первых промышленных многоэтажных сооружений стало здание, построенное в 1801 г. для фирмы «Филипп и Ли» в Салфорде (Манчестер). Проект принадлежал Болтону и Уатту. Здание в Салфорде представляло собой зрелое конструктивное решение и послужило основой для дальнейшего развития конструкций такого типа. Оно имело длину 42 м, ширину 14 м и было необычно высоким для того времени – в семь этажей. Чугунные балки, расположенные поперек здания с шагом около 2,7 м, опирались на двойной ряд полых чугунных колонн. Для перекрытий впервые использовались балки двутаврового профиля. Этот прототип здания с несущей чугунной конструкцией и наружными кирпичными стенами стал стандартной промышленной конструкцией, в дальнейшем использовавшейся повсеместно.



Мост через Енисей конструкции Л. Проскурякова



ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ВНЕШНИЙ ВИД ДВУТАВРОВОЙ БАЛКИ

Существенное изменение эта конструкция претерпела лишь в 1845 г., когда Уильям Ферберн применил на строительстве сахарорафинадного завода вместо чугунных кованные балки двутаврового профиля. В том же году А. Цорес включил прокатную двутавровую балку в конструкцию перекрытия для жилых зданий.

### АЛЕКСАНДРИЙСКИЙ ТЕАТР

Оригинальностью инженерного замысла отличаются конструкции металлического перекрытия над зрительным залом Александрийского театра в Санкт-Петербурге. Здание было построено в 1828–1832 гг. по проекту архитектора К.И. Росси, при активном участии выдающегося инженера М.Е. Кларка – директора казённого Александровского чугунолитейного завода в Санкт-Петербурге.

Перекрытие состоит из трех основных частей. Непосредственно над зрительным залом находится сквозная чугунная арка, опирающаяся на стены зала: её пролёт равен 21 м. К арке на железных тяжах подвешен плафон, а сверху на неё опирается пол верхнего помещения – декорационной мастерской. Над плафоном размещена лёгкая металлическая ферма. Кровлю поддерживает мощная 30-метровая арка решётчатой конструкции, опирающаяся на наружные стены здания.

Новизна такого конструктивного замысла вызвала недоверие со стороны чиновников, ведавших строительством, и Росси пришлось потратить немало энергии, чтобы отстоять своё инженерное решение. Ложи зрительного зала Александрийского театра поддерживаются чугунными консолями, закрепленными в стенах, это позволило избавиться от вертикальных стоек и тем самым улучшить обзор и акустику зала.

### ИСАКИЕВСКИЙ СОБОР

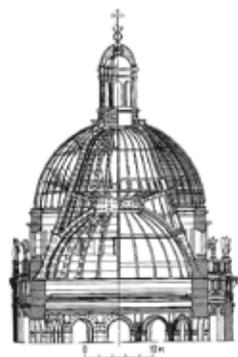
К числу наиболее значительных и прогрессивных конструкций своего времени, выполненных с применением чугуна и сварочного железа, принадлежат несущие кон-

струкции купола Исаакиевского собора в Санкт-Петербурге. Собор был построен по проекту архитектора А.А. Монферрана в 1818–1858 гг. Монферран стремился сделать купол собора максимально лёгким без потери прочности. Для этого он предложил сделать его полностью металлическим. Расчёты купола выполнил инженер П.К. Ломновский.

Коническая и сферическая части конструкции купола, имеющие общие опоры в основании, были изготовлены из 24 чугунных рёбер. Рёбра были составлены из двутавровых косяков, соединённых между собой болтами. Для поддержания наружного золочёного купола Монферран предусмотрел 48 криволинейных ребер, соединённых с конической частью покрытия стержнями из сварочного железа, образующих треугольные системы.

Отливка и обработка металлоконструкций купола проводилась на заводе Чарльза Берда в Санкт-Петербурге. При этом было использовано 490 т железа, 990 т чугуна, 49 т меди и 30 т бронзы. Сооружение купола было закончено в 1842 г.

Купол Исаакиевского собора состоит из трёх взаимосвязанных частей, образованных чугунными рёбрами: нижней – сферической, средней – конической и наружной – параболической. Диаметр наружного свода составляет 25,8 м, внутреннего – 22,15 м. Для создания теплоизолирующего слоя пространство между фермами заполнено пустотелыми гончарными горшками конической



Купол Исаакиевского собора: эскиз

(из альбома О. Монферрана); литография по рисунку О. Монферрана

формы. Потребовалось около 100 тыс. таких горшков. Помимо теплоизоляции, горшки улучшают акустику храма. Нижний сферический купол обшит досками, обит просмоленным войлоком и оштукатурен. Внутренний конический купол покрыт медными листами, окрашенными в голубоватый тон, с большими бронзовыми лучами и звёздами, создавшими эффектную картину ночного неба. Снаружи купол покрыт плотно пригнанными друг к другу медными золочеными листами.

## СИМВОЛ АРХИТЕКТУРЫ ЭПОХИ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ

Полностью независимые чугунные конструкции, без дополнительных кирпичных поддерживающих основ, стали регулярно использоваться после строительства целой серии специальных зданий. Ярким примером может служить Хангерфордский рыбный рынок в Лондоне (1835 г.). Конструкторы использовали чугунные перекладки длиной 9,7 м., с трехметровыми консолями на каждой стороне и полыми чугунными колоннами, одновременно служившими водостоком. Вся боковая поддержка осуществлялась жесткими соединениями между колоннами и балками.

чугунные трубы с капителями в форме пальмовых листьев из гнутого листового железа.

Чугунная колонна стала массовым конструктивным элементом, который по каталогу можно было заказать любой высоты и в любом стиле: дорическом, тосканском, коринфском, готическом или мавританском.

Основополагающим видом здания, в котором использовалась цельножелезная несущая конструкция, стала оранжерея. Благодаря сочетанию стекла и чугуна в оранжерее достигалось идеальное освещение для экзотических растений. Среди таких оранжерей наиболее известна пальмовая оранжерея «Садов Кью» (Kew Gardens). Она была построена в 1840 г. архитектором Децимусом Бартоном.

Хрустальный дворец – главный павильон Первой всемирной промышленной выставки



Чугунная колонна – стройный несущий элемент со старинными декоративными формами капителей, баз или каннелюр – превратилась в настоящий символ архитектуры эпохи Промышленной революции. Оригинальные образцы подобных чугунных колонн были установлены на первых английских железнодорожных вокзалах и в многочисленных павильонах. Например, для павильона «Ройяль» в Париже колонны были изготовлены в 1821 г. знаменитым архитектором Джоном Нэшем. Они представляли собой чу-

## ХРУСТАЛЬНЫЙ ДВОРЕЦ

Великолепная серия чугунных и стеклянных зданий для оранжерей и выставочных залов была продолжена вплоть до конца столетия. Наиболее выдающимся примером является так называемый Хрустальный дворец (Crystal Palace), построенный по проекту Джозефа Пакстона.

Хрустальный дворец был построен в 1851 г. в лондонском Гайд-парке и предназначался для размещения



Внутренние интерьеры Хрустального дворца

Первой всемирной промышленной выставки. Эту выставку многие специалисты считают событием, завершающим эпоху Промышленной революции.

Конструкция Хрустального дворца выходила за рамки традиционной для того времени строительной практики, что породило в архитектуре новые формы и эстетические принципы. Здание считается прямым прототипом «скелетных» построек начала XX в., предвосхитившим «фабричную эстетику» начала XX в.

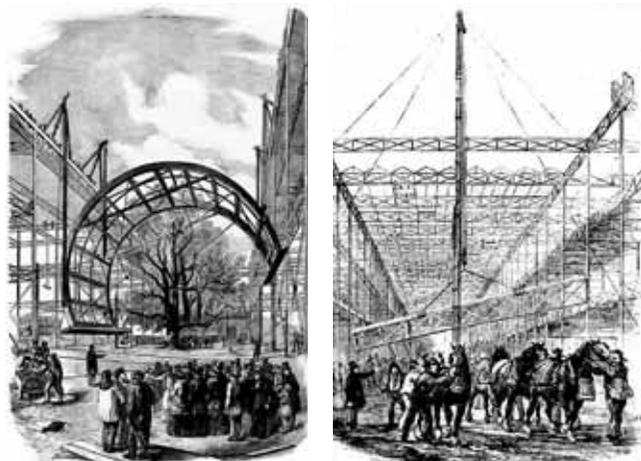
Вот как описывает Хрустальный дворец Н.Г. Чернышевский в романе «Что делать?» (Четвёртый сон Веры Павловны, 1863 г.):

«Но это здание, – что ж это, какой оно архитектуры? Теперь нет такой; нет, ужесть один намек на неё, – дворец, который стоит на Сайденгамском холме: чугун и стекло, чугун и стекло – только. Нет, не только: это лишь оболочка здания, это его наружные стены; а там, внутри, уж настоящий дом, громаднейший дом: он покрыт этим чугуно-хрустальным зданием, как футляром; оно образует вокруг него широкие галереи по всем этажам. Какая

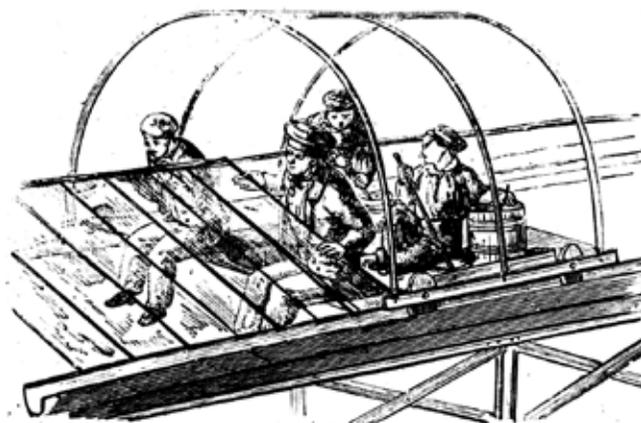
лёгкая архитектура этого внутреннего дома, какие маленькие простенки между окнами, – а окна огромные, широкие, во всю высоту этажей!»

Ни один архитектурный элемент Хрустального дворца не был монументальным сам по себе, но дворец в целом был поистине монументален. Он занимал площадь чуть меньше 74 тыс. м<sup>2</sup>. Его длина составляла 555 м, ширина 124 м, с северной стороны он имел пристройку размером в плане 285 × 14,6 м. Центральный продольный неф, или «главный проспект», имел ширину 22 и высоту 20 м, а сводчатый трансепт (поперечный неф) – соответственно 22 и 32,9 м.

Почти 84 тыс. м<sup>2</sup> стекла, т.е. около одной трети всего его объёма, произведенного в Англии в 1850 г., потребовалось для застекления стен и крыши дворца. Стеклённые вставки были сделаны из стандартных панелей размером 25 × 124 см. Это позволило залить светом все пространство выставочного комплекса. Опорами служили 3300 пустотелых чу-



Сооружение Хрустального дворца: вверху – подъем арки и фермы для закрепления на чугунных колоннах; внизу – остекление крыши с помощью передвижных тележек



гунных колонн и 2224 несущих чугунных балок. Общая протяженность желобов, на которых покоились своды, составляла около 40 км, а длина всех деревянных переплетов рам стеклянной крыши – 330 км. Объём дворца был немногим меньше 1 млн м<sup>3</sup>. Можно себе представить, во что обошлось строительство дворца, если затраты на каждый кубический метр составляли 28 пенсов.

Несмотря на внушительные размеры здания, его конструкция была поразительно простой. Основными её элементами служили пустотелые чугунные колонны, соединённые связующими сквозными фермами, на которых держалась плоская крыша из застеклённых панелей, образующих складчатый профиль. Иными словами, крыша была образована гребнями и впадинами, чередующимися через каждые 1,2 м.

Революционным можно признать и такой технический приём, что все компоненты этого здания были просто соединены вместе клёпками из сварочного железа.

Строительство Хрустального дворца заняло всего 4 месяца, в основном за счёт высокого уровня организации труда строителей и использования готовых модулей. На крыше находилось шесть тележек или передвижных платформ, которые использовались для установки стеклянных панелей. Передвижные платформы облегчали сборку стеклянной крыши дворца. Они перемещались по деревянным желобам. Используя такие платформы, 80 рабочих за одну неделю устанавливали 19 тыс. стеклянных панелей.

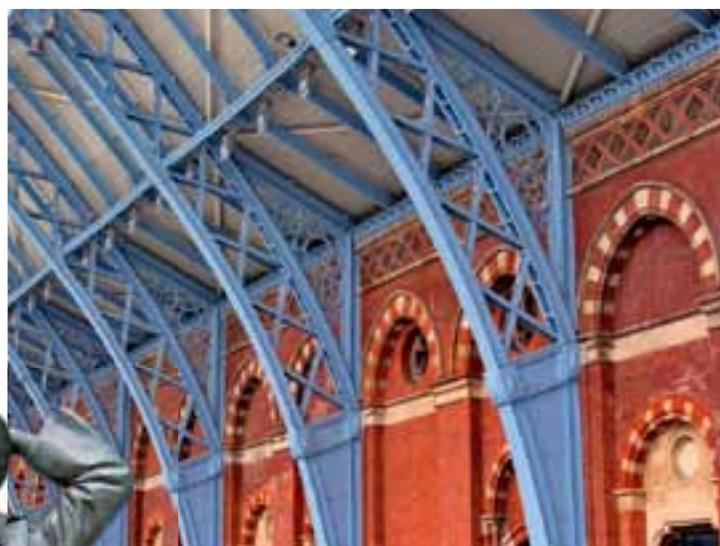
В 1852 г. Хрустальный дворец был разобран и перенесён на восточные склоны Сайденхемского холма, где простоял с 1854 по 1936 г., пока не был уничтожен пожаром. Для четырёх поколений англичан он был местом развлечения, центром демонстраций достижений техники и искусства; в нём устраивались концерты и давались званые обеды.

### ХРУСТАЛЬНАЯ ГОРА И ВОКЗАЛ СВ. ПАНКРАСА

Другой легендарный проект Пакстона, оранжерея Грейт-Стоув – Хрустальная гора, сооружённая в Чатсворте, – также занимает особое место в истории архитектуры. Для её строительства использовались стеклянные панели размером 1,2 м. Оранжерея просуществовала около 80 лет, до тех пор пока затраты на её отопление (восемь мощных паровых котлов и свыше 12 км труб) не сочли непомерно высокими. Это удивительное сооружение с его чугунными колоннами и деревянными рёбрами удалось «повер-



Железнодорожный вокзал Сент-Панкрас, Лондон, Великобритания: слева – процесс сооружения; справа – внешний вид; внизу – опоры перекрытия перрона крупным планом (после реконструкции). Фото DEREK LAKIN



гнуть на землю» взрывом динамита лишь с пятой попытки.

Почти одновременно с возведением Хрустального дворца было начато строительство железнодорожной станции Кинг-кросс в Лондоне и Восточного вокзала в Париже. Таким образом, чугунные конструкции, поддерживающие стеклянные крыши, были использованы не только при строительстве выставочных комплексов и оранжерей, но также и при сооружении локомотивных депо и железнодорожных вокзалов. Одним из самых значительных сооружений этого типа стал вокзал св. Панкраса (Сент-Панкрас), построенный в 1867 г. в Лондоне. При его строительстве был установлен европейский рекорд – возведён 78-метровый чугуножелезный пролёт покрытия перрона. Чугунно-стеклянные конструкции продолжали активно использовать и после 1900 г.

## ЖЕЛЕЗОБЕТОН

Первыми строительными конструкциями, в которых совместно применялись бетон и сварочное железо, были перекрытия, где бетоном заливали промежутки между металлическими балками (например, при строительстве уже упоминавшейся выше текстильной фабрики в Манчестере, 1801 г.).

Идея сочетания камня и металла возникла ещё в первой половине XIX в., однако её внедрение началось значительно позже. Французский садовник Ж. Монье в 1849 г. изготовил кадки для апельсиновых деревьев, заложив в цементный раствор сетку из железной проволоки. Это удачное сочетание двух различных материалов считают величайшим изобретением века, сыгравшим революционную роль в развитии строительной техники и архитектуры. Продолжая опыты, Монье в 1860-х гг. запатентовал несколько способов изготовления труб, резервуаров и плит из бетона с железной арматурой. Наиболее важным считается его патент на железобетонные сводчатые перекрытия, полученный в 1877 г. Однако официальный приоритет Ж. Монье в изобретении железобетона справедливо оспаривается двумя следующими обстоятельствами.

Во-первых, Монье получил свой первый патент только в 1867 г., а в 1854 г. английскому специалисту по штукатурным работам и выделке искусственного камня В.Б. Вилкинсону был выдан патент на конструкцию огнестойких перекрытий для зданий, изготавливаемых из бетона, армированного параллельно расположенными рядами проволочных тросов. В поисках какого-либо применения старым шахтным канатам он первым сконструировал армированные строительные балки.

Во-вторых, соотечественник Монье инженер Ж. Лямбо изготовил и в 1855 г. показал на Всемирной парижской выставке железобетонное гребное судно. Он же запатентовал применение нового комбинированного материала в строительстве.

Было бы неправильно приписывать изобретение железобетона, как строительного материала, таланту Монье, Лямбо, Вилкинсона или какого-либо другого изобретателя. Они «зафиксировали» и запатентовали то, что зарождалось и развивалось тысячелетиями у разных народов, было несомненным достижением общемирового прогресса строительных технологий и результатом освоения производства искусственных цементов и широкого внедрения в строительство чугуна и сварочного железа.

Одним из первых жилых железобетонных зданий стал особняк инженера В.Э. Уарда, утверждавшего, что он самостоятельно изобрёл железобетон в 1871 г. Здание было построено в окрестностях Нью-Йорка в 1873–1876 гг. Все несущие конструкции – колонны, внутренние и наружные пустотелые стены, перекрытия были железобетонными.

Заметную роль железобетон начал играть в конце XIX в. Его почти одновременно начали широко применять в странах Западной Европы, России и Америке. Первый дом с полностью железобетонным каркасом, соответствующий требованиям архитектуры, построил в 1903 г. А. Перре (Париж, улица Франклина, 25).

## БАШНЯ ЭЙФЕЛЯ

Двутавровая стальная балка, впервые изготовленная во Франции в 1854 г., является основным профилем, используемым в современном строительстве. По мнению многих специалистов, её можно считать символом индустриальной эпохи.

Возможности нового конструкционного материала эффектно продемонстрировал выдающийся инженер, архитектор и дизайнер Александр Гюстав Эйфель. 300-метровая стальная ажурная Эйфелева Башня, воздвигнутая на Марсовом поле в Париже в связи с Всемирной выставкой 1889 г., стала строением, знаменующим наступление новой эпохи в мировом строительстве.

Александр Гюстав Эйфель родился 15 декабря 1832 г. в Дижоне. Инженерное образование получил в элитном вузе – Центральной высшей технической школе в Париже. К моменту создания своего самого известного произведения Эйфель уже был знаменитым мостостроителем. Он создавал автомобильные и железнодорожные мосты, виадуки, вокзалы и другие сложные архитектурные сооружения (например, обсерваторию в Ницце) по всей Европе и за её пределами.

Самым красивым инженерным творением Эйфеля многие считают железнодорожный мост «Понте де Дона Мария Пиа» через реку Дору у города Порту в Португалии. Самым значимым – железнодорожный виадук «де Гараби» в южной Франции, который вознёсся над долиной на высоту 122 м и был в своё время самым высоким в мире. В 1881 г. Эйфель спроектировал железный каркас статуи Свободы высотой 46 м, который был сделан по



АЛЕКСАНДР ГЮСТАВ ЭЙФЕЛЬ



ПРОЕКТ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ БАШНИ  
МОРИСА КЕШЛЕНА

аналогии с опорами мостов, чтобы выдерживать сильные порывы ветра в нью-йоркской гавани.

Идея установления мирового рекорда высотного строения в то время будоражила умы многих инженеров и архитекторов. В частности, 300-метровую «башню столетия» хотели воздвигнуть

к юбилею провозглашения американской независимости инженеры Кларк и Ривс. Их проект широко обсуждался в 1874 г., в период подготовки к Всемирной выставке 1876 г. в Филадельфии.

В июне 1884 г. Морис Кешлен и Эмиль Нугье, два инженера одного из предприятий Гюстава Эйфеля, задумали проект металлической башни для Всемирной парижской выставки 1889 г. в Париже. Для того чтобы башня в наи-

большей степени отвечала эстетическим вкусам парижской публики, архитектору Стефану Совестру было поручено поработать над её художественным обликом. Вариант Совестра понравился Эйфелю, в сентябре того же года он запатентовал способ строительства металлических сооружений высотой более 300 м, а затем выкупил права у Кешлена и Нугье и сделался хозяином будущей башни «имени себя».

Французские власти решили устроить Всемирную выставку 1889 г. в память столетнего юбилея Великой французской революции. 1 мая 1886 г. был открыт общезнаменитый конкурс архитектурных и инженерных проектов, которые должны были определить архитектурный облик будущей Всемирной выставки. В конкурсе приняли участие 107 претендентов. В конце концов комитет остановился на проекте Эйфеля.

Поначалу Эйфель рассчитывал завершить строительство башни за год, но жизнь внесла свои коррективы: работы начались в конце января 1887 г. и закончились в марте 1889 г., практически перед официальным открытием выставки.

Рекордным срокам возведения способствовала разработка чертежей чрезвычайно высокого качества с указанием точных размеров более 12 тыс. металли-

ЭТАПЫ СООРУЖЕНИЯ ЭЙФЕЛЕВОЙ БАШНИ



ческих деталей, для сборки которых использовали 2,5 млн заклёпок. Все расчеты Эйфеля и его команды отличались исключительной точностью. Применялись заранее изготовленные детали. Отверстия для заклёпок были просверлены на намеченных местах уже заранее, и две трети от 2,5 млн заклёпок закреплены на заводе Эйфеля в Левалуа-Перре. Ни одна из заготовленных балок не весила больше 3 т, что существенно облегчало поднятие металлических частей на предусмотренные места.

На начальном этапе строительства применялись высокие краны, а когда конструкция «переросла» их, за работу принялись специально сконструированные Эйфелем мобильные краны. Они двигались по рельсам, проложенным для будущих лифтов. Сложность состояла и в том, что подъемное устройство должно было двигаться вдоль мачт башни по изогнутой траектории с меняющимся радиусом кривизны.

В итоге башню удалось построить так, что даже в сильную бурю отклонение от вертикали не превышает 15 см. За два с лишним года были смонтированы металлические детали, общая масса которых составила 7300 т. 15 мая 1889 г. посетители Всемирной парижской вы-



ДВА ИСТОРИЧЕСКИХ ЛИФТА  
ФИРМЫ FIVES-LILL

ставки смогли впервые подняться на Эйфелеву башню. За первую неделю, когда лифты еще не работали, до самого верха добрались пешком почти 29 тыс. человек, а всего за время работы международного форума на верхней площадке побывали 2 млн посетителей, желавших полюбоваться Парижем и окрестностями (в ясную погоду видимость достигает 90 км). Это был триумф Франции, триумф французского инженерного гения и лично Александра Эйфеля, удостоенного ордена Почетного легиона.

На вершину башни ведут лестницы (1792 ступени) и лифты. Первые лифты на башне приводились в действие гидравлическими насосами. До сих пор используются два лифта фирмы Fives-Lill, установленные в 1899 г. С 1983 г. их функционирование обеспечивается электро-

двигателем, а гидравлические насосы сохранены для осмотра.

На первой платформе башни были размещены залы ресторана, на второй платформе помещались резервуары с машинным маслом для гидравлической подъемной машины (лифта) и ресторан в стеклянной галерее. На третьей платформе размещались астрономическая и метеорологическая обсерватории и кабинет для исследования физических явлений в атмосфере. Свет маяка был виден на расстоянии 70 км.

В 1907 г. на башне были установлены шестиметровые светящиеся часы, в 1908 г. на ней устроена военная радиостанция, с 1909 г. её стали использовать для беспроводного телеграфа. С 1910 г. сооружение эксплуатирует служба времени, а с 1918 г. оно превратилось еще и в телевышку, так что в 1923 г. 91-летний Гюстав Эйфель, как говорится, мог умереть спокойно: после себя он оставил не только 25 детей, но и прекрасную стальную «парижанку» с массой достоинств.

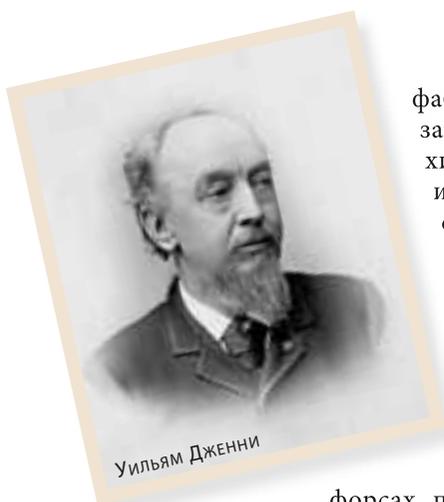
И сегодня Эйфелева башня – самая узнаваемая архитектурная достопримечательность Парижа и всемирно известный символ Франции, хотя сам конструктор называл её просто – 300-метровой башней (tour de 300 metres).

*Первые лифты на башне приводились в действие гидравлическими насосами. До сих пор используются два лифта фирмы Fives-Lill, установленные в 1899 г. С 1983 г. их функционирование обеспечивается электродвигателем, а гидравлические насосы сохранены для осмотра*

### СТАЛЬНАЯ КАРКАСНАЯ КОНСТРУКЦИЯ

В 1850 г. в Европе и США было построено много складов, универсальных магазинов и контор, фасады которых были полностью выполнены из стальных конструкций. Начало этому строительству положил Джеймс Богард – разносторонний исследователь и конструктор. Одна из главных его работ – здание издательства «Харпер энд Бразерс» в Нью-Йорке (1854 г.). Фасад пятиэтажного здания состоит из архитектурно обработанных чугунных элементов; внутренний каркас впервые в США выполнен из прокатанных стальных балок.

В 1872 г. сооружается здание шоколадной фабрики Менье в Нуазье-на-Марне, которое считается первым настоящим стальным каркасным строением в мире. Как и ранее, при строительстве в английских текстильных



Уильям Дженни

фабрик, производственные задачи потребовали от архитектора Жюля Солнье использования всех конструктивных возможностей и несущей способности стали как строительного материала.

Здание, выстроенное непосредственно над рекой, стоит на четырех мощных контрфорсах плотины, которая сдерживает напор речной воды. Каркас наружной стены стоит на широкой нижней обвязке из швеллеров, которая распределяет общий вес здания и ветровые нагрузки на восемь точек опоры. Поперечные стены отсутствуют, торцовые стены также не могут воспринять горизонтальных усилий, поэтому для повышения жёсткости здания каркас усилен ромбическими связями. Для обеспечения поперечной жёсткости балки перекрытий связаны жёсткими консолями фахверка с главными стойками фасада.

Строительство фабрики Менье предвосхитило использование различных структурных элементов современного каркасного строительства: «свободно висящие» углы, диагональная сетка раскосов, которые играют столь значительную роль в установленных снаружи ветровых связях небоскребов и в каркасах мостовых строений. В то же время конструкция каркаса создана по аналогии со средневековыми постройками с деревянным фахверком.

### ЧИКАГСКАЯ АРХИТЕКТУРНАЯ ШКОЛА

Магистральное направление стального каркасного строительства было определено в Чикаго. Скромный поселок первых переселенцев у впадения р. Чикаго в оз. Мичиган получил статус города в 1830 г. Освоение Среднего Запада, развитие железнодорожной сети и водных путей, реализация полезных ископаемых сделали Чикаго величайшим хлебным рынком мира, крупнейшим центром машиностроения и металлургии. В 1880-х гг. начался беспрецедентный подъем строительной деятельности. Строительная индустрия едва успевала за возрастающей потребностью в служебных помещениях, складах и магазинах. Уплотнялась внутриквартальная застройка, высокие дома перерастали в небоскребы. Лишь благодаря стальному каркасному строительству стало возможным экономно использовать земельные участки и повысить темпы строительства.

Основателем Чикагской архитектурной школы и её главой считается Уильям Дженни. В 1868 г. он открывает в Чикаго архитектурную мастерскую, где последо-



Первый небоскрёб – HOME INSURANCE BUILDING

вательно разрабатывает и реализует следующие проекты: «Лайтер-билдинг I» (1879 г.), здание страховой компании (1883–1885 г.), «Лайтер-билдинг II» (1889 г.) и «Фэйрбилдинг» (1891 г.). В них постепенно оформляется идея полностью стального каркаса, в то время как кирпичная кладка выполняет только роль облицовки стальных колонн. Важный вклад в «фундамент» каркасного стального строительства внесли еще два архитектора из Чикаго – Холаберд и Рош – авторы революционных проектов «Такомабилдинг», высотой 14 этажей (1884 г.), и торгового центра «Маркетбилдинг» (1894 г.).

Высотные административные здания оказались бы непрактичными, если их не оснастить необходимой техникой. Важнейшим условием было устройство пассажирских лифтов. Первый подъемник сконструировал Е.Г. Отис, продемонстрировавший его на выставке 1853 г. в «Хрустальном дворце»; первый лифт он установил в 1857 г. в одном из магазинов на Бродвее. В то время, когда электричество стало вытеснять пар, развивались и другие виды оборудования зданий – телефон, пневматическая

WOOLWORTH  
BUILDING ВО ВРЕМЯ И  
ПОСЛЕ СТРОИТЕЛЬ-  
СТВА



почта, центральное отопление и вентиляция. Уже около 1895 г. новый метод строительства стал обычным во всех крупных американских городах, но в Чикаго к тому времени высотных домов с металлическими каркасами было больше, чем во всех других американских городах, вместе взятых.

### НЕБОСКРЁБЫ

Небоскрёб (англ. skyscraper) – «очень высокое здание». В русском языке используется также термин «высотное здание», или просто «высотка». Небоскрёбы прочно заняли место в нашем сознании, как символы экономического могущества современных мегаполисов. Первый небоскрёб имел всего 10 этажей, но уже считался небоскрёбом. Дело в том, что высотные здания имеют один и главный отличительный признак – стальной каркас, на который «навешиваются» стены.

Если в обычных домах стены являются несущими, т.е. удерживают свой вес и вес всего здания, то в небоскрёбах основную нагрузку берёт на себя стальной «скелет». А стены могут быть сложены из относительно лёгких и непрочных материалов. До появления опорного скелета высота зданий ограничивалась прочностью материала стен. Упомянутый выше инженер Уильям Ле-Барон Дженни разработал опорный металлический скелет, который дал старт «гонке небоскрёбостроения».

Все новые многоэтажные дома появлялись в Чикаго. Первые небоскрёбы были не такими лаконичными и



стильными, как сейчас, наоборот – они сильно напоминали средневековые храмы, элементы декора перегружали внешний вид здания.

Первые высотные конторские здания насчитывали от 10 до 20 этажей. В плане они были квадратными, U- или L-образными, с большим открытым двором в центре и характеризовались масштабностью и строгостью форм. Строительство каждого из них становилось для чикагских архитекторов ещё одной возможностью преодолеть традиционные конструкторские ограничения, найти новое стилевое решение. Новую эстетику небоскребов продвигали Д.Х. Бэрнхем и Дж. У. Рут. В своих теоретических работах они утверждали: поскольку высотка проектируется для особой цели, следует заявлять об этой цели каждой её конструктивной частью.

Самым ярким представителем «чикагской школы» считается Луис Салливен, рассматривавший высотное сооружение и как некую органичную структуру, и как элемент городской среды. Ему принадлежит аксиома: «Форма следует функции», а также следующее поистине эпическое определение небоскрёба: «Он должен быть высоким каждым дюймом своей высоты. Сила и власть высоты, торжество и гордость возвышения должны быть в нём. Каждым своим дюймом он должен быть благородным и парящим».

## ВУЛВОРТ БИЛДИНГ

Два десятилетия лидерство в строительстве небоскребов принадлежало Чикаго. В 1892 г. самым высоким зданием в этом городе стал «Мезоник Темпл», построенный архитекторами Д. Бэрнхемом и Дж. У. Рут. Он насчитывал 22 этажа, имел высоту 92 м. Однако в следующем году в Чикаго запретили сооружать объекты высотой более 39 м, и центром высотного строительства стал Нью-Йорк, где после отмены ограничений на использование каркасных конструкций для наружных стен (1892 г.) грянул невиданный строительный бум.

Всего за восемь лет, с 1892 по 1900 гг., в Нью-Йорке появилось 188 сооружений в 20 и более этажей. Эти небоскрёбы, предназначенные для страховых компаний, коммерческих фирм и городской администрации, представляли собой масштабные образцы неоклассического стиля. Характерным примером крупного делового здания стал 32-этажный «Парк Роубилдинг» (архитектор Р. Робертсон, 1899 г.) высотой 118 м, в котором разместились 950 контор.

Принято считать, что первым небоскрёбом в современном понятии высотности является «Вулвортбилдинг» в Нью-Йорке. Его строительство было завершено в 1913 г., высота 58-этажного здания составила 242 м. Выполненный в стиле неоготики, небоскрёб имел 29-этажную фронтально-центральную башню и множество шпилей по периметру. Заказчик проекта магнат Вулворт потратил на эту затею значительную часть состояния.

Проект «Вулворт билдинг» выполнил архитектор Кас Гилберт. Впервые параметры одного объекта рассчитывались как на город с населением в 50 тыс. человек. В итоге «Вулворт билдинг» был признан величайшим в своём роде шедевром. Ему посвятил своё стихотворение «Барышня и Вулворт» посетивший Нью-Йорк в 1925 г. Владимир Маяковский:

*Бродвей сдурил.  
Бегня и гулево.  
Дома  
с небес обрываются  
и висят.  
Но даже меж ними  
заметишь Вулворт.  
Корсетная коробка  
этажей под шестьдесят.*

## НЕРЖАВЕЮЩАЯ КОРОНА КРАЙСЛЕР БИЛДИНГ

В 1930 г. рекорд «Вулворт билдинг» побил небоскрёб «Крайслер» (Chrysler Building). Здание Крайслера возводилось в период лихорадочного строительства небоскрёбов перед началом Великой депрессии, когда в Мидтауне Манхэттена непрерывно раздавались звуки отбойных молотков и свайных копров.

Идея строительства нового высотного здания принадлежала сенатору Уильяму Рейнольдсу, известному созданием парков развлечений «Дримлэнд» на Кони-Айленд. Он нанял архитектора Уильяма Ван Алена для проектирования 67-этажного здания. Рейнольдс настаивал на том, чтобы у здания была металлическая «корона».

Однако проект оказался слишком дорогим для заказчика, и Рейнольдс был вынужден уступить участок земли Уолтеру Крайслеру, президенту Chrysler Motor Car Corporation. В 1928 г. Крайслер привлёк Ван Алена в свою команду по строительству офисного небоскрёба.

Работы по расчистке территории начались в октябре 1928 г., через шесть месяцев заложили фундамент, а спустя ещё шесть месяцев был уже полностью возведён стальной остов здания. Открытие небоскрёба состоялось 27 мая 1930 г.

77-этажный Крайслер стал результатом сумасбродного трёхстороннего соревнования за звание самого высокого здания в мире. Боролись с Крайслером за этот титул компания «Банк Манхэттена» со зданием на Уолл-стрит и «Эмпайр Стайтбилдинг». Интересно, что здание Банка Манхэттена возводил бывший партнёр Ван Алена, ставший его главным непримиримым соперником – Крэг Северанс. Когда Северанс узнал о том, что Крайслер собираются возводить до высоты 925 футов (281,94 м), он добавил к своему зданию 50-футовый (15,24 м) флагшток, который сделал его на два фута выше – 927 футов (282,55 м). Однако в августе 1930 г. Ван Алэн сделал ответный ход – шпиль из нержа-



CHRYSLER BUILDING НА ЗАВЕРШИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ И ПОСЛЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

вующей стали, который тайно был собран внутри купола здания, а затем поднят краном через крышу и установлен всего за 90 минут. Благодаря этому небоскрёб достиг высоты 1048 футов (319,43 м). Шпиль Ван Алена оказался первым объектом, превзошедшим высоту 1024,5 футовой (312,27 м) Эйфелевой башни, которая удерживала рекорд высоты со времени Всемирной парижской выставки 1889 г.

«Крайслер билдинг» считается шедевром архитектуры в стиле арт-деко. Отличительной чертой облика здания является использование архитектурных форм, воспроизводящих характерные детали автомобилей одноимённой фирмы. Углы 61-го этажа украшают восемь орлов высотой 3,50 м – именно такие орлы украшали капоты автомобилей «Крайслер» в 1929 г.; на 31-м этаже в качестве украшений были использованы четыре крылатые фи-

гуры размером 3 × 7,5 м в виде капотов с решётками радиаторов автомобиля. Они размещены на четырёх углах башни и напоминают выступающие каменные скульптуры животных на готических соборах. Подогнанные к ним выступы кирпичной кладки с натуральными колпаками колёс воспроизводят боковую сторону легковых автомобилей «Крайслер» того времени.

Во внешней и внутренней отделке небоскреба «Крайслер билдинг» впервые была широко использована коррозионноустойчивая сталь. «Корона», венчающая здание, выполнена из серебристого металла «Эндуро КА-2» – аустенитной нержавеющей стали, разработанной в Германии компанией Kgrupp и поставляемой на рынок под названием «Нироста» (немецкий акроним словосочетания *nichtrostender Stahl – Nirosta – нержавеющая сталь*).

УКРАШЕНИЯ CHRYSLER BUILDING





*Небоскрёб (англ. skyscraper) – «очень высокое здание». В русском языке используется также термин «высотное здание», или просто «высотка». Небоскрёбы прочно заняли место в нашем сознании, как символы экономического могущества современных мегаполисов*



СТРОИТЕЛЬСТВО  
EMPIRE STATE BUILDING

Для башенного шпиля общей высотой 88 м фирма Крупп произвела на своём заводе в Эссене (Германия) и поставила в США 4500 листов из стали Nirosta суммарной массой более 43 т. Разнообразное применение этого материала, запатентованного фирмой Крупп в 1912 г., во внутренней отделке и для отделки фасадов этого небоскрёба потребовало суммарных его поставок в объеме около 700 т.

Сам Крайслер по этому поводу сказал следующее: «Мы стремились добиться наиболее достойного внешнего вида, красоты и оригинального архитектурного проекта в украшениях и конструкции здания. Свойства этой новой леги-

рованной стали сделали её хорошо подходящей для наших целей. Она имеет привлекательный цвет, напоминающий цвет платины, что согласуется с величественным характером самого здания, она отличается абсолютной нечувствительностью к атмосферным воздействиям, а также имеет отличное свойство сохранять свой блеск и цвет в течение длительного времени. Её поверхность не становится матовой, и, поскольку сталь совершенно не ржавеет, нет никакой опасности, что она будет повреждена, станет тусклой, отслоится или изменится каким-либо иным образом. Одной из решающих причин выбора этого материала был тот факт, что издержки на обслуживание практически отпадают. Сталь не нужно ни полировать, ни ремонтировать, ни заменять. Она постоянно сохраняет свой блеск».

### «САМОЛЕТОУСТОЙЧИВЫЙ» ЭМПАЙР

«Крайслер билдинг» удерживал звание высочайшего здания в мире в течение всего лишь одиннадцати месяцев. В мае 1931 гон был превзойдён небоскрёбом «Эмпайр Стейт билдинг». Без своей причальной мачты «Эмпайр Стейт» был всего лишь на два фута (0,61 м) выше, чем «Крайслер». Его 102 этажа возносились на высоту 391 м. Однако 200-футовая (60,96 м) мачта, первоначально предназначенная для причаливания дирижаблей, а затем установленная в 1950 г. 204-футовая (62,18 м) телевизионная антенна увеличили высоту небоскреба до 1452 футов, 8 и 9/16 дюйма (442,787 м). Масса здания составляет 331 тыс. т, оно стоит на двухэтажном фундаменте, а масса стального каркаса составляет 54,4 тыс. т. Фасад украшен полосами из нержавеющей стали.

До открытия в 1972 г. Северной башни Всемирного Торгового Центра, 41 год «Эмпайр Стейт билдинг» являлся самым высоким зданием в мире. В 2001 г., когда в результате теракта рухнули башни Всемирного Торгового Центра, этот небоскрёб снова стал самым высоким зданием Нью-Йорка. В 2007 г. здание «Эмпайр Стейт билдинг» под номером один внесено в список лучших американских архитектурных решений по версии Американского института архитекторов.

28 июля 1945 г. бомбардировщик ВВС США В-25 «Митчелл», пилотируемый в густом тумане подполковником Уильямом Смитом, врезался в северный фасад «Эмпайр Стейт билдинг» между 79 и 80-м этажами. Один из двигателей пробил башню насквозь и упал на соседнее здание, другой свалился в шахту лифта. Пожар, возникший в результате столкновения, был потушен через 40 минут. В инциденте погибло 14 человек, включая весь экипаж, а лифтёр Бетти Лу Оливер выжила после падения в лифте с высоты 75 этажа – этот факт попал в Книгу рекордов Гиннеса. Несмотря на происшествие, здание не было закрыто, и работа в большинстве офисов на следующий рабочий день не остановилась.



## ГАРМОНИЯ ГУМАНИТАРНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ

Полукилометровый рубеж высоты небоскребов был преодолён в Азии в конструкции Tairei-101 в Тайване (высота 508 м, 101 этаж). На 77 этажах общей площадью 200 тыс. м<sup>2</sup> располагаются офисные помещения для 10 тыс. человек. На этажах, расположенных выше и ниже этого блока, размещаются торговый центр, рестораны, смотровые площадки, фитнес-клуб. Для изготовления каркаса здания потребовалось 60 тыс. т стали.

Крыша небоскрёба находится на расстоянии 448 м от уровня земли, а над крышей возвышается шпиль. На каждом углу по всей высоте здания располагаются стальные опоры, которые выложены огнеупорной футеровкой и заполнены специальным бетоном. По архитектуре здание напоминает бамбуковое дерево: плоские прочные кольца сменяются через равномерные расстояния ступенчатыми сегментами. Упругость и эксплуатационные свойства стали делают ее идеальным материалом для сооружения изящных конструкций подобного рода.

Для доставки людей на высоту используются скоростные лифты. Скорость некоторых лифтов достигает 60 км/ч, что позволяет добраться до высоты 400 м за 39 с. Лифты имеют герметичное исполнение и снабжены системой автоматического выравнивания давления, чтобы пассажиры не страдали от болевых ощущений в ушах. Общее число лифтов составляет 63, длина телефонного кабеля в здании – 5360 км, водопроводной сети – 100 км.

Фасад из стекла и металла способен противостоять тайфуну со скоростью ветра 250 км/ч. При землетрясениях и ураганах башня при максимальной горизонтальной нагрузке на шпиль отклоняется всего на 1 м. Изготовленный из большого числа дисков стальной шар массой 730 т (тяжелее шести дизельных локомотивов) используется для гашения колебаний. Он подвешен на уровне 88 этажа с помощью восьми стальных канатов (масса каждого 1,5 т) и раскачивается в противофазе колебаниям здания, вызываемым землетрясением или тайфуном.

Каркасные стальные конструкции, как и все значительные конструкции в истории строительного искусства, к которым предъявлялись высочайшие требования, приводят инженеров-архитекторов к простым и совершенным геометрическим формам. Геометрия современных небоскрёбов – родоначальница основных принципов строительного искусства, выражающая тесную духовную связь между архитектурным и техническим замыслами. Стальные конструкции XXI в. в наибольшей степени способствуют воспитанию ясного инженерного мышления, построенного на гармонии гуманитарных и технических знаний. \*



*Глава 8*

## Железная дорога в единую Европу

Железная дорога является таким решающим событием, которое изменяет цвет и внешний вид жизни; начинается Первая глава всемирной истории, и наше поколение должно гордиться тем, что оно живет в такое время.

**Генрих Гейне. Лютеция, 1843 г.**

Грохот извержения Везувия и Этны или трепет природы в момент сильной грозы потрясают человека своей грандиозностью и глубоко подавляют его. Зрелище же, которое мы наблюдали при открытии дороги Ливерпуль—Манчестер, будит в нас высокое чувство собственного достоинства и изумление перед силой человеческого духа.

**Из письма очевидца**



HAWKS & Co

№23

BEAMISH

FORGE

**Х**ИХ ВЕК ЧАСТО НАЗЫВАЮТ ЭПОХОЙ ИНДУСТРИАЛЬНОЙ революции, а также веком паровых машин и железных дорог. Создание железнодорожной сети привело к взрывному росту промышленности, особенно горно-металлургической. Во многом именно изобретение паровоза дало толчок к созданию того мира, в котором мы сейчас живем.

### ПОЧЕМУ ЭТО АКТУАЛЬНО?

Металлургическая индустрия во многом уникальна, и далеко не все классические приемы ведения бизнеса к ней применимы. Почему? Мировой опыт показывает, что металлургия в силу ряда причин тяготеет к спокойным методам конкурентной борьбы. Можно сказать, что она была своеобразным инициатором перехода от дикого империалистического рынка к современным цивилизованным методам выяснения рыночных отношений, в частности в рамках Европейского союза.

### КОЛЕЯ КАМЕННАЯ И ДЕРЕВЯННАЯ

Если придерживаться буквального значения термина «железная дорога» и подразумевать под ним движущиеся по «дороге из железа (металла)» повозки, то окажется, что ее происхождение относится к давним временам. Идея колейной дороги, которая невольно рождалась при взгляде на борозды, оставляемые колесами экипажа на земле, никогда не покидала умы изобретательных людей.

Некоторые исследователи утверждают, что уже древние египтяне пользовались обшитыми металлом балками, чтобы перевозить по ним тяжелые грузы. Точно известно, что в Древней Греции существовали выложенные камнем дороги с параллельными бороздами, по которым катились колеса священников колесниц. Остатки аналогичных каменных путей можно увидеть среди развалин Помпеи и других древнеримских городов.

Настоящая потребность в колейных дорогах для транспорта появилась с развитием крупной промышленности, прежде всего, в угольных копях и на рудниках Англии и Германии, где остро встал вопрос об уменьшении расхода энергии на массовую перевозку руды, угля и отвальных металлургических шлаков. В XVI в. в этих странах были применены деревянные направляющие (рельсы) в виде лежней для вагонеток. Недостаток деревянных рельсов заключался в их быстром изнашивании и невозможности предотвратить частые сходы вагонеток с колеи. Для уменьшения износа на деревянные рельсы стали набивать железные полосы. Первые дороги с цельными железными колесами были проложены в английских рудниках примерно в 1740 г. Колеи сооружались из литых чугуновых плит с желобами для колес. Первые металлические рельсовые плиты оказались непрактичными и дорогими.

### ЧУГУННЫЕ ДОРОГИ КОАЛБРУКДЕЙЛА

«Настоящие» железные рельсы появились в 1767 г. Толчком для их появления послужила необходимость механизации погрузки чугунолитейной продукции, которую производил безусловный лидер эпохи Промышленной революции - знаменитый завод в Коалбрукдейле. Первыми рельсами была оборудована пристань в поселке Горж – основной транспортный узел предприятия. Автором идеи был управляющий заводами Ричард Рейнольдс. Рельсы Рейнольдса имели в поперечном разрезе форму плоской латинской буквы U шириной 11 см и длиной 150 см.

Результаты внедрения оказались настолько успешными, что в том же году Рейнольдс оснастил чугунными рельсами все подъездные пути к шахтам и рудникам Коалбрукдейла. Из чугуна стали отливать и

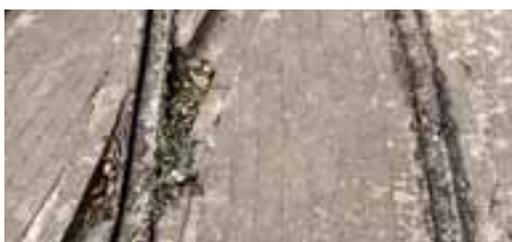
Лежневая рудничная дорога  
колеса для вагонеток.



Складские  
помещения  
у пристани Горж



Рельсы Рейнольдса



Вагонетки  
с чугуном литьём



Чугунные рельсы и  
вагонетки в промыш-  
ленных цехах Коал-  
брукдейла



В итоге инновационный эффект оказался намного больше, чем предполагалось. Почти ежедневно Рейнольдс принимал владельцев шахт и заводов, которые хотели увидеть эту «чугунную дорогу». Практически все посетители заказывали рельсы для себя, и их производство вскоре превратилось в одну из главных статей доходов предприятия. Спрос на «чугунную дорогу» непрерывно возрастал; и даже значительно позднее, когда и другие владельцы чугунолитейных предприятий начали отливать рельсы и колеса, коалбрукдейлский завод не испытывал недостатка в заказах.

Ночной  
Коалбрукдейл.  
Филипп Джейкоб,  
1801 г.

## РЕЛЬСЫ ЧУГУННЫЕ И ЖЕЛЕЗНЫЕ

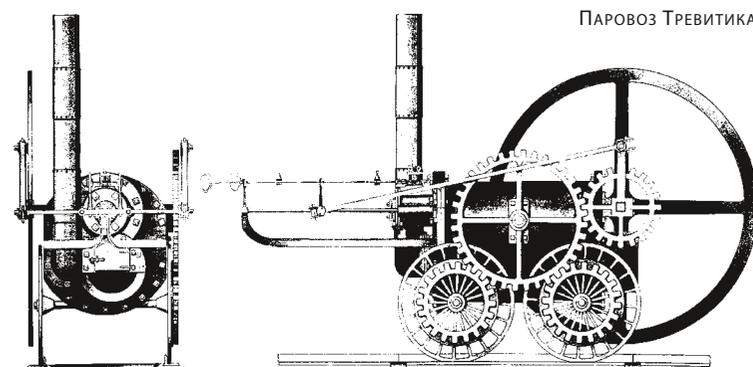
Рельсовые дороги в виде подъездных путей и внутреннего грузового сообщения горно-металлургических предприятий получали все более значительное распространение.

### История рельсов

Вид колеиной дороги	Время появления	Изобретатели
Каменные борозды	1-е тысячелетие до н. э.	Древние греки
Деревянные лежни	XVI в.	Средневековые горняки и металлурги
Чугунный уголок	1767 г.	Рейнольдс, Англия
Уголок из сварочного железа	1776 г.	Керр, Англия
Чугунные рельсы	1789 г.	Джессоп, Англия
Рельсы из сварочного железа	1803 г.	Никсон, Англия
Рельсы из пудлингового железа	1828 г.	Беркиншау, Англия
Стальные рельсы	1865 г.	Группа инженеров, США

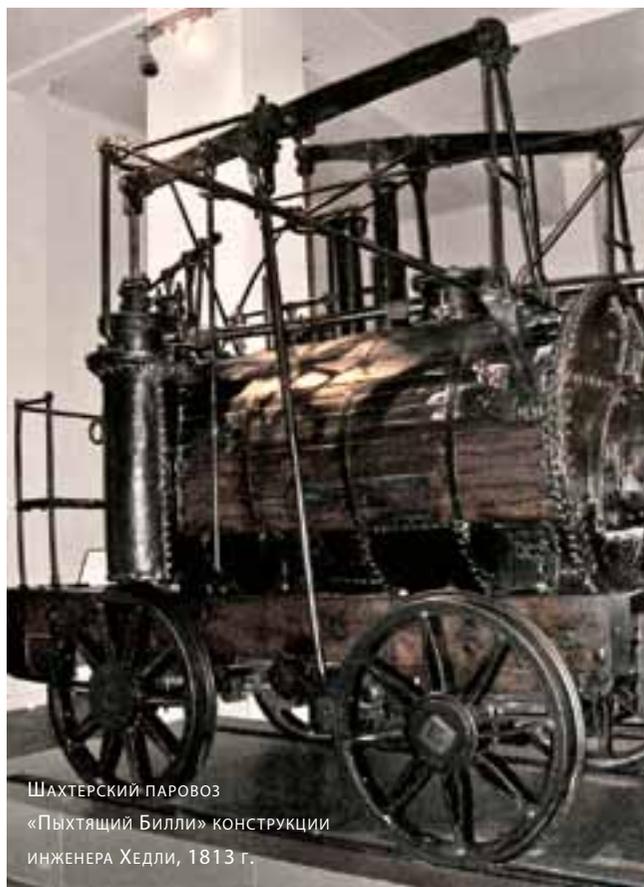


РЕЛЬСЫ КЕРРА



ПАРОВОЗ ТРЕВИТИКА

*Безусловная заслуга Тревитика состоит в том, что он первый опытным путем доказал, что сила трения гладких колес о гладкие рельсы совершенно достаточна для движения паровоза даже в том случае, когда к нему прицеплены груженные вагоны*



ШАХТЕРСКИЙ ПАРОВОЗ  
«Пыхтящий Билли» конструкции  
инженера Хедли, 1813 г.

Совершенствование рельсовых путей и подвижного состава шло очень быстрыми темпами. В 1776 г. Керр впервые применил угловое сварочное железо, что практически устранило сходы с рельсов вагонеток и экипажей. В 1789 г. Джессопом был изготовлен чугунный «грибообразный» рельс с головкой, укладывавшийся на подушках. Рельсы Джессопа с некоторыми изменениями получили широкое распространение в Англии на ряде небольших дорог, строившихся Бенджаменом Утрамом. Такая дорога называлась «утрамвэй» – дорога Утрама (по другой версии термин «трамвай» появился гораздо раньше – в Средние века и означает «бревенчатая дорога»).

### ПЕРВЫЙ ПАРОВОЗ

Как бы широко ни были распространены железные и чугунные дороги на горно-металлургических предприятиях, их выход «на оперативный простор» стал возможен только после изобретения эффективного железнодорожного транспорта. Автором гениального изобретения – паровоза – стал Ричард Тревитик, один из самых выдающихся инженеров в мировой истории.

Первым изобретением Тревитика был паровой чугунный автомобиль для уличного движения, который молодой инженер опробовал в рождественские дни 1801 г. на улицах города Кемборна. Из этого парового автомобиля развился и был построен в 1803 г. первый предназначенный для рельсового пути паровоз. Тревитик построил его на железоделательном заводе Самуэля Хемфри в Южном Уэльсе. Он заключил с владельцем завода пари на 500 фунтов, что пере-

«РАКЕТА» СТЕФЕНСОНА  
(СОВРЕМЕННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ)



везет всю железную продукцию завода по рельсовому пути длиной 15 км. 21 февраля 1804 г. паровоз Тревитика провез по заводской железной дороге пять вагонов, нагруженных 10 т железа и 70 пассажирами. Паровоз развил скорость 8 км/ч (без груза скорость составляла почти 26 км/ч).

Безусловная заслуга Тревитика состоит в том, что он первый опытным путем доказал, что сила трения гладких колес о гладкие рельсы совершенно достаточна для движения паровоза даже в том случае, когда к нему прицеплены груженные вагоны.

### ВЕЛИКИЙ САМОУЧКА СТЕФЕНСОН

Важнейшие усовершенствования в конструкции паровоза, которые позволили осуществить коммерциализацию нового вида транспорта, были сделаны механиком-самоучкой Джорджем Стефенсоном (1781–1848 гг.). Его судьба характерна для Англии эпохи Промышленной революции. Стефенсон родился в семье шахтера, с восьми лет работал по найму, научился читать и писать в 18 лет и путем упорного самообразования приобрел специальность механика паровых машин (около 1800 г.).

В 1814 г. Стефенсон получил заказ от лорда Ревенсворта, арендатора Келлингвортских шахт близ Нью-

касла, на постройку локомотива. В знак благодарности Стефенсон назвал свой первый паровоз «Милорд». 25 июля 1814 г. «Милорд» был пущен в эксплуатацию.

Стефенсон внимательно проанализировал работу своего детища. В 1815 г. он сконструировал новый паровоз, в котором были применены принципиальные новаторские решения. В новом локомотиве шатуны приводили в движение ведущие колеса не посредством зубчатых колес, а сообщались непосредственно с кривошипом. Мятый пар с помощью соединительных труб и специального устройства – конуса – отводился непосредственно в дымовую трубу. При этом пар, увлекая за собой отходящие газы через дымовую трубу наружу, производил в топке такое разрежение, что притекающий снизу воздух вызывал усиленное сгорание топлива, заметно повышая паробразование и, следовательно, мощность двигателя. В конструкции паровозов недоставало теперь лишь одного: многотрубного котла, который Стефенсон разработал и применил в конструкции знаменитого локомотива



ДЫМОГАРНЫЕ ТРУБКИ  
В КОТЛЕ ПАРОВОЗА

«Ракета» в 1829 г. (идея установки в котле дымогарных трубок принадлежала товарищу Стефенсона Генри Буту).

Главной идеей Стефенсона было выравнивание колеи-ного пути с помощью создания насыпей и прорезки вы-емок в неровностях рельефа, благодаря чему повышалась скорость движения. В 1825 г. на первой в мире «междуго-родной» железнодорожной линии Стоктон–Дарлингтон паровоз Стефенсона двигался с колоссальной для того времени скоростью – 20 миль в час. Этот год и принято считать годом рождения железной дороги.

В 1830 г. Стефенсон завершил строительство первой большой железной дороги между Манчестером и Ливер-пулем, по которой «Ракета» везла вагон с пассажирами со скоростью 60 км/ч. Это была «настоящая железная до-рога»: длина – 50 км, 63 моста и путепровода, двухкило-метровый тоннель, трёхкилометровая галерея в горе и большая насыпь через Кошачье болото. Выгоды от до-роги, по которой американский хлопок доставлялся из портов Ливерпуля на ткацкие фабрики Манчестера, были таковы, что Стефенсону сразу же предложили руко-водить строительством дороги через всю Англию – от Ман-честера до Лондона. Позднее Стефенсон строил железные дороги в Бельгии и Испании. Локомотивы для первых же-лезных дорог Франции, Германии и США изготавливались на заводе Стефенсона в Англии.

### МИРОВАЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНАЯ ПАУТИНА

Первоначально железнодорожное строительство сосре-доточилось в передовых индустриальных державах – во Франции, в Англии, Германии, США. В 60-х годах XIX в. на эти четыре страны приходилось примерно 90 % всей железнодорожной сети мира. В России первая обще-ственная железнодорожная линия с применением паро-вой тяги открылась в 1837 г., связав столицу с Царским Селом. В 1851 г. была введена в действие магистральная железная дорога между Петербургом и Москвой.

### Первые железные дороги

Год	Страна	Направление	Протяженность, км
1825	Англия	Стоктон–Дарлингтон	28
1830	США	Чарльстон–Огеста	64
1832	Франция	Сент-Этьенн–Лион	58
1835	Германия	Фюрт–Нюрнберг	7
1835	Бельгия	Брюссель–Мехелен	21
1837	Россия	Петербург–Царское Село	19

### Протяженность мировой железнодорожной сети, тыс. км.

1836 г.	1846 г.	1856 г.	1876 г.	1896 г.	1916 г.	1936 г.	1956 г.
2,4	16	67	295	705	1145	1260	1295



ПАРОВОЗ 1842 г.

Железные дороги быстро распространились по всему миру. В Азии первая железная дорога была построена в 1853 г. (в Британской Ост-Индии), в Австралии – в 1854 г., в Африке – в 1856 г. в Египте. Рост железнодорожной сети нарастающими темпами продолжался до Первой ми-ровой войны. Затем наступил период стабилизации и модернизации.

Последняя четверть XIX в. стала эпохой бурного роста мировой железнодорожной сети. Протяженность же-лезных дорог возросла в 4 раза и достигла 1,2 млн км. Знаменитыми стройками того времени были магистраль Берлин–Багдад и Великий Сибирский путь. На новых же-лезных дорогах укладывали стальные рельсы, они пере-секали величайшие реки мира, и на этих реках возводи-лись гигантские стальные мосты. Начало «эре стальных мостов», как выражались современники, положили арочный мост инженера Дж. Идса через реку Миссисипи (1874 г.) и висячий Бруклинский мост архитектора Ре-блинга в Нью-Йорке (1883 г.). Длина центрального про-лета Бруклинского моста достигала полукилометра.

На новых дорогах работали мощные локомотивы си-стемы компаунд с многократным расширением и вы-соким перегревом пара. В 1990-х гг. в США и Германии появились первые электровозы и электрифицированные железные дороги. Рост грузооборота железных дорог, прокладка трасс в горных условиях потребовали соз-дания паровозов с большим числом тяговых осей (до семи). Наибольшее распространение получил паровоз типа «Маллет», сконструированный в 1894 г.

Колоссальный рост средств сообщения способствовал созданию мирового рынка, который, в свою очередь, об-условил огромные запросы на машины и аппараты, энергию и топливо, химическое сырье, грузовые пере-возки. В связи с этим такие отрасли, как машино- и при-

боростроение, металлургия, энергетика, горное дело, химическая промышленность, транспорт получили приоритетное развитие, стали ведущими и определяющими технический прогресс в целом.

## **ВТОРИЧНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ КАРТЕЛИ**

Быстрое развитие железнодорожного транспорта породило проблему переработки рельсового металлолома. В XIX в. изнашивание рельсов был очень интенсивным, а сбор лома прост, поскольку осуществлялся крупными железнодорожными компаниями. В США во второй половине XIX в. они потребляли почти 20 % всего производимого в стране черного металла, а через 8–10 лет возвращали его на металлургические предприятия в виде металлолома. Первоначально крупногабаритный железнодорожный лом переплавлялся в доменных печах, для чего были разработаны специальные режимы работы с высокой долей лома в шихте. В последней четверти того же века изношенные рельсы стали переплавлять в мартеновских печах, что в немалой степени способствовало вытеснению ими из сталеплавильных цехов конвертеров.

Устойчиво высокий спрос на рельсы стимулировал быстрое развитие и внедрение сортопрокатных станков. Новые предприятия, специализирующиеся на производстве железнодорожной техники и рельсов, постоянно появлялись во всех индустриальных странах конца XIX в. В результате именно в этой отрасли впервые в истории мировой экономики возникла необходимость раздела сфер влияния монополий. В 1879 г. производителями рельсов в Германии был создан первый картель. В 1883 г. было заключено первое международное картельное соглашение, и появилась организация под названием IRMA (International Rail Makers Association – Международная ассоциация производителей рельсов), основанная британскими, бельгийскими и немецкими промышленниками.

В начале XX в. металлургические предприятия, обслуживавшие железнодорожную индустрию, продолжали укреплять свои передовые позиции в области международного картелирования. В 1904 г. в ассоциацию IRMA вступили промышленники Франции и США, затем Испании, Италии, Австро-Венгрии и России. Впоследствии в первой половине XX столетия, несмотря на войны, политические катаклизмы и промышленную стагнацию эпохи Великой депрессии, именно металлургическое производство оставалось областью согласованного цивилизованного индустриального развития. В итоге в 1951 г. европейскими производителями черных металлов и угля было создано Европейское объединение угля и стали (ЕОУС). Оно на шесть лет опередило другие структуры, ставшие фундаментом современной единой европы, – ЕЭС и Евроатом, учреждение которых провозгласил Римский договор, подписанный 25 марта 1957 г.



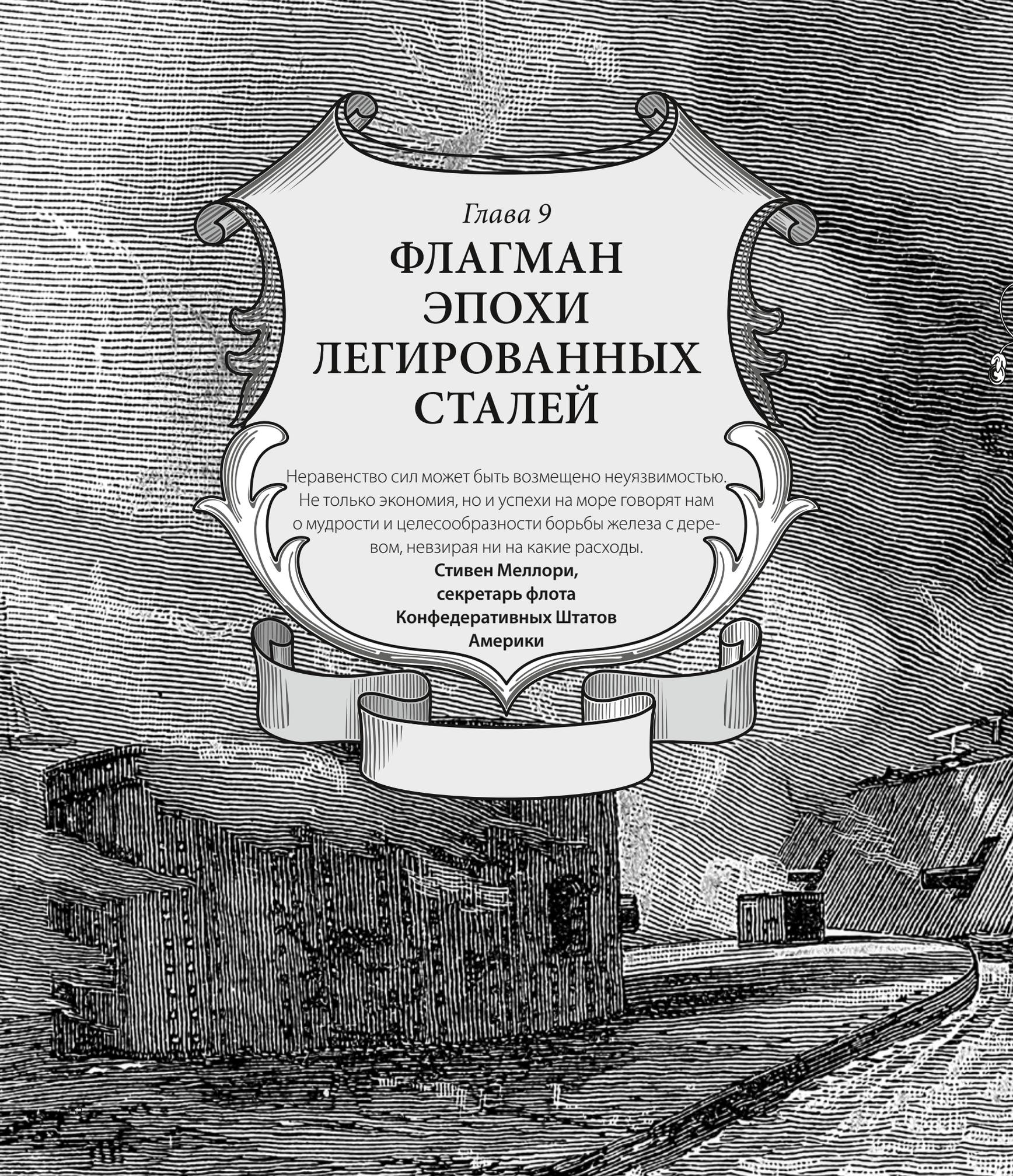
## **ДОРОГА В ЕДИНУЮ ЕВРОПУ**

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПОЕЗД

Учредителями ЕОУС (EGKS) стали шесть стран: Бельгия, ФРГ, Нидерланды, Италия, Люксембург и Франция. Договор был подписан в Париже 18 апреля 1951 г. Согласно договору государства-участники обязались поставить производство угля и стали под контроль международного верховного органа, решения которого становились для них обязательными; пошлины на товары, производимые угледобывающей и металлургической промышленностью шести стран, должны были быть ликвидированы в целях объединения экономических ресурсов участников ЕОУС. Договор нацеливал на создание общего рынка товаров и услуг в сфере добычи и производства угля и стали, а также реконструкцию двух базовых отраслей экономики для повышения их рентабельности. Конкретными первоочередными задачами были определены увеличение числа рабочих мест, создание общего рынка для продукции угольной и металлургической промышленности, рациональное распределение производства и достижение высокой производительности труда.

ВЕРНЕРА СИМЕНСА

Создание ЕОУС наметило поэтапное развитие западно-европейской интеграции от отдельных отраслей индустрии к единому рынку, от экономики к политике. В 1967 г. начали действовать такие институты, как Европейская комиссия, Совет министров, Европарламент и Европейский суд. В 1992 г. 12 стран – членов Европейского сообщества подписали Маастрихтский договор, который определил новые формы сотрудничества между правительствами объединившихся государств. Этот договор фактически положил начало деятельности Европейского союза. Таким образом, сталь и уголь с полным основанием можно считать «родителями» единой Европы. \*



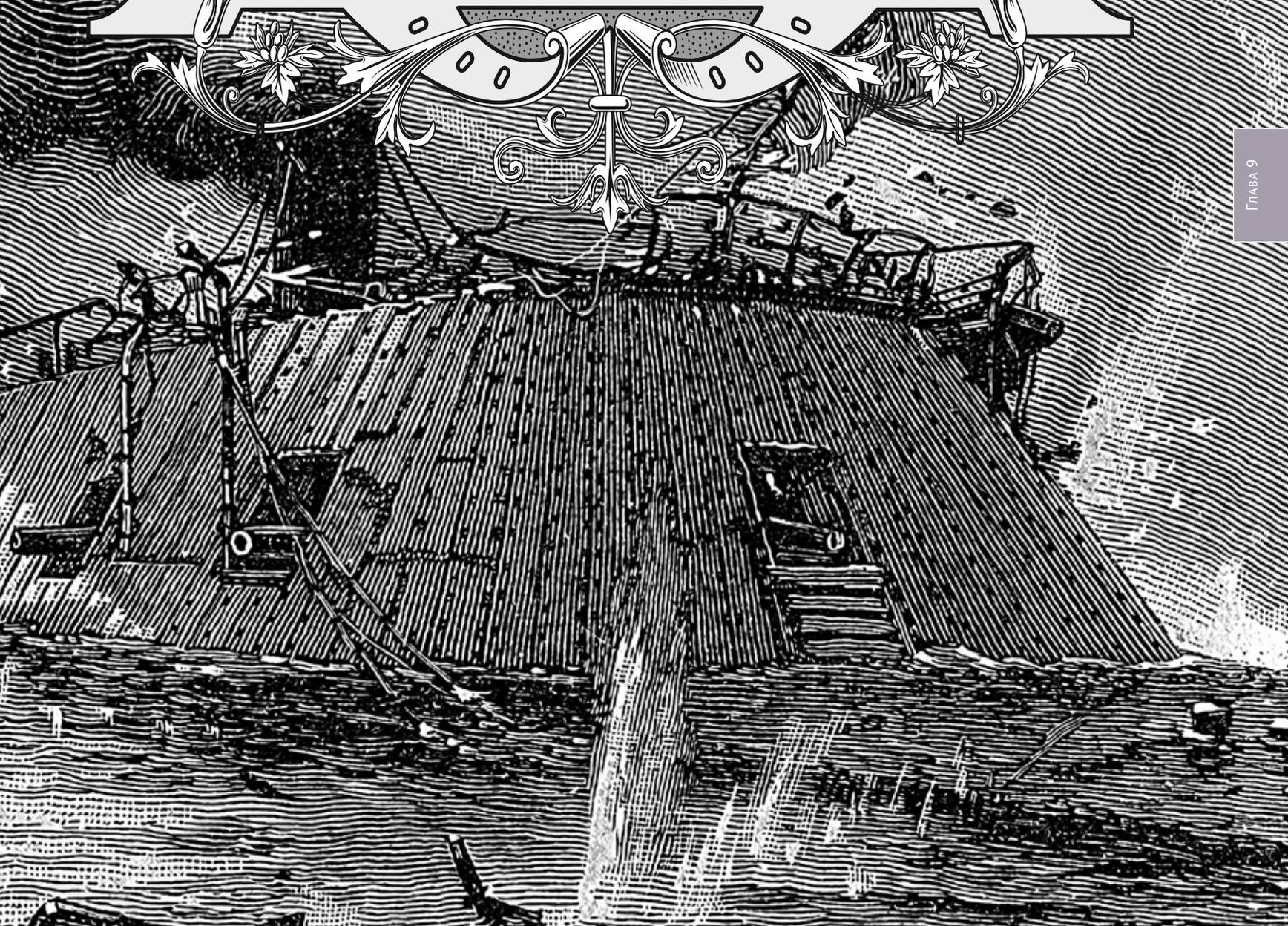
*Глава 9*  
**ФЛАГМАН  
ЭПОХИ  
ЛЕГИРОВАННЫХ  
СТАЛЕЙ**

Неравенство сил может быть возмещено неуязвимостью.  
Не только экономия, но и успехи на море говорят нам  
о мудрости и целесообразности борьбы железа с дере-  
вом, невзирая ни на какие расходы.

**Стивен Меллори,  
секретарь флота  
Конфедеративных Штатов  
Америки**



Бой «Вирджинии» с «Монитором» — самое известное и знаменательное морское сражение Гражданской войны в США. Эскадра Конфедерации состояла из броненосца «Вирджиния» (на картинке справа, построен из остова фрегата «Мерримак») и нескольких вспомогательных кораблей. В первый день битвы конфедератам противостояли несколько типичных деревянных кораблей северян, блокировавших выход в Чесапикский залив. В тот день «Вирджиния» отправила на дно два корабля и намеревалась потопить третий — фрегат «Миннесота» — однако последнему удалось выбраться на мелководье. Наступившая вскоре темнота вынудила конфедератов отойти. На следующее утро «Вирджиния» подошла к севшей на мель «Миннесоте», однако там ее уже ждал броненосец северян «Монитор» (на картинке слева), пришедший ночью для защиты фрегата. В ходе ожесточенного трехчасового боя оба броненосца не смогли нанести друг другу фатальных повреждений. «Вирджиния» покинула место боя, направившись на базу для ремонта, «Монитор» же остался защищать «Миннесоту» на вверенной ему позиции.





**В** СОВРЕМЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ изделий легированные стали имеют широчайший спектр применения. Сегодня трудно поверить в то, что на заре своего появления, в середине XIX в., легированная сталь имела, по существу, одного крупного потребителя, но зато какого! Мощнейшим стимулом для развития технологии выплавки и обработки легированных сталей стало появление, быстрое совершенствование и численное увеличение броненосного флота во всех мировых державах.

События Крымской войны, в которой французский флот впервые применил бронированные «плавучие батареи», а русская эскадра под командованием адмирала П.С. Нахимова в Синопском сражении уничтожила 16 турецких военных судов, не понеся при этом сколько-нибудь ощутимых потерь, обозначили начало беспрецедентной мировой гонки военных вооружений и, соответственно, металлургических технологий.

Специалисты морского дела окончательно убедились в том, что деревянный флот оказывается в бою беззащитным перед чугунными ядрами, минами и торпедами, которые легко разрушают обшивку деревянного судна. Появление и быстрое развитие броненосного флота, «конкуренция» орудия и снаряда, с одной стороны, и броневых листов – с другой, во второй половине XIX в. привели к формированию индустрии ферросплавов и толстолистовой прокатки стали и оформлению новой научной дисциплины – металловедения.

### ПОЧЕМУ ЭТО АКТУАЛЬНО?

Металлургия XXI в. переживает период едва ли не самых революционных изменений за всё время своего существования. Передовые металлургические технологии быстро перепрофилируются на использование вторичного сырья – амортизационного металлолома. В развитии

технологий рециклинга металлургия является безусловным лидером, поскольку именно металл предоставляет практически неограниченные возможности повторного использования. Современная ситуация на рынке вторичных ресурсов металлов создаёт уникальную благоприятную ситуацию для смелых решений в «смежных» с металлургией областях.

Интересно, что именно освоение ресурсов вышедшей из употребления военной техники после Первой мировой войны привело к формированию металлургических технологий, основанных на рециклинге. Возник мировой рынок вторичных металлов, появились новые сопутствующие производства, в том числе уникальные. Например, технология подъёма крупных затонувших кораблей, по существу, была разработана предпринимателем Эрнстом Ф. Коксом, купившим «на металлолом» затопленный в бухте Скапа-Флоу германский флот из 50 кораблей. Но откуда же взялось такое огромное количество металла, что оно фактически положило начало новой индустрии – вторичному использованию стали?! Этому вопросу и посвящён очерк.

### ЗАРОЖДЕНИЕ БРОНЕНОСНОГО ФЛОТА

Основная отличительная черта броненосцев заключается в самом названии этих кораблей: «ironclads» – в Англии, «cuirasses» – во Франции, «corazzate» – в Италии, «Panzerschiffe» – в Германии, «броненосцы» – в России. Корень в этих словах один – «броня», т.е. «металлическая защита».

Использование металла для защиты боевых кораблей от повреждений во время сражений применялось с эпохи Древнего мира. Металлические (как правило, свинцовые) листы иногда использовали для защиты военных судов в Древней Греции. Древние римляне палубы и борта судов оковывали медью, днища – свинцом, а железом усили-

АНГЛИЙСКАЯ ЭСКАДРА  
В БАЛАКЛАВЕ

вались форштевни и тараны. Однако римские пентеры все-таки не были броненосцами, так как тонкий слой металла на их корпусах предназначался лишь для защиты дерева от зажигательных снарядов. Выстреливаемые метательными машинами камни и копья не были опасны даже для сравнительно тонких дощатых бортов. В дальнейшем частичное бронирование применялось в Византии, а позднее и в Западной Европе. Так, в 1530 г. испанское судно «Санта Анна» было обшито свинцовыми листами для защиты от ядер и бомб.

### КОРАБЛЬ-ЧЕРЕПАХА «КОБУКСОН»

Первые «настоящие» броненосцы были созданы в Корее. Необходимость бронирования была вызвана развитием морской артиллерии, а пушка впервые была установлена на корабле именно в Корее в XIV в. Изобретателем «кобуксонов» – «кораблей-черепах» – обычно считают Ли Сунь Сина – корейского адмирала, героя Имджинской войны. Но наиболее раннее упоминание о покрытых броней кораблях относится еще к 1423 г.



Броня  
КОБУКСОНА

В 1592 г. 130-тысячная японская армия высадилась в корейских портах. Японцы были хорошо экипированы, в том числе огнестрельным оружием европейского образца. Быстро захватив большую часть территории Кореи, японцы потерпели полное поражение на море – флот Ли Сунь Сина полностью парализовал японские коммуникации, высаживал десанты в тылу врага, подвозил оружие и продовольствие партизанам. Благодаря этому через некоторое время с помощью Китая Корея была освобождена от захватчиков.

Причиной подавляющего превосходства корейского флота было именно наличие кобуксонов, броню которых не могли пробить даже снаряды выставленных на берегу мощных осадных орудий. При длине около 33 м водоизмещение кобуксона достигало 300 т. Орудия и экипаж располагались в пологом на сундук каземате из дерева

и железа. Палуба судна и крыша каземата были усеяны острыми шипами для предотвращения абордажа.

В движение кобуксон приводился 18–20 вёслами либо складными циновочными парусами на двух небольших мачтах. Предельная скорость судна не превышала 7 км/ч при попутном ветре и всего 3 км/ч на вёслах. Едва ли такой корабль мог перемещаться на значительные расстояния без помощи буксиров. Зато гребцы помогали наводить орудия, разворачивая судно в нужном направлении. Вооружение кобуксона включало до 40 орудий. Снарядами служили картечь, чугунные ядра, зажигательные и разрывные бомбы, использовались нефтяные огнемёты.

После благополучного окончания Имджинской войны упоминания о кобуксонах стали крайне редкими. Связано это с тем, что использование тяжелой брони в сочетании с маломощными движителями – парусами и вёслами – было малоперспективно. Кроме того, деревянная обшивка в целом обеспечивала необходимый уровень защиты.

В ДВИЖЕНИЕ КОБУКСОН  
ПРИВОДИЛСЯ  
18–20 ВЁСЛАМИ ЛИБО  
СКЛАДНЫМИ ЦИНО-  
ВОЧНЫМИ ПАРУСАМИ  
НА ДВУХ НЕБОЛЬШИХ  
МАЧТАХ



### **«БОМБИЧЕСКИЕ» ОРУДИЯ ГЕНЕРАЛА ПЕКСАНА**

В 1850-х гг. на флоте получили распространение пушки, стреляющие разрывными снарядами (бомбами). По своей пробивной силе бомбы уступали чугунным ядрам, но начинённый порохом снаряд застревал в борту и, взрываясь, разрушал деревянную обшивку изнутри. Удачный разрыв бомбы, если он происходил вблизи борта, мог разрушить обшивку на площади до 1 м<sup>2</sup>, что позволяло пустить на дно любой линейный корабль 20–25 удачными попаданиями.

Для защиты судов от огня «бомбических» орудий их разработчик – французский артиллерийский офицер, генерал Пексан – предложил использовать железные бортовые листы. Во время Крымской войны французы использовали «плавучие батареи» – небольшие и тихоходные, но бронированные 60-миллиметровыми железными листами пароходы, на которых было установлено небольшое число крупнокалиберных орудий, стрелявших разрывными снарядами. Применение плавучих батарей было очень успешным.

### **ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Крымская война стала мощным стимулом для развития артиллерийских технологий практически во всех европейских странах. Наиболее интенсивные исследования были предприняты в Англии и Германии. В Англии в 1850 г. лидирующие позиции заняли фирмы Уильяма Армстронга и Джозефа Уитворта.

Армстронг до Крымской войны владел предприятием по выпуску гидравлического оборудования в Ньюкасле и был вовлечен в оружейное производство таким же случайным образом, каким Бессемер открыл способ выплавки стали. Армстронг прочитал о том, как британским войскам удалось благодаря двум пушкам одержать победу в Инкерманском бою, и то, с какими трудностями эти громоздкие орудия были доставлены на огневую позицию. По этому поводу Армстронг заметил, что «пришло время поднять военное конструирование на уровень современной инженерной практики». Он разработал конструкцию казнозарядного орудия и изготовил опытный образец, испытания которого показали превосходство в точности над гладкоствольными дульнозарядными пушками.

Вместо отливки цельного орудия, как это делалось с XV в., пушки Армстронга изготавливались на специальной оси-шаблоне, на которую наматывали стальные полосы или последовательно «наращивали» слои стальных обручей. На завершающем этапе технология предусматривала надевание нагретых стальных обручей на уже собранные части орудия. При охлаждении металл сжимался, обеспечивая за счет внутреннего напряжения плотное прилегание обруча к внутренним слоям стали.

В результате существенно возрастало усилие, противостоящее энергии расширения пороховых газов в канале ствола при выстреле. Такая конструкция обеспечивала большую устойчивость на разрыв по сравнению с цельнолитыми орудиями и, следовательно, позволяла уменьшить массу пушек.

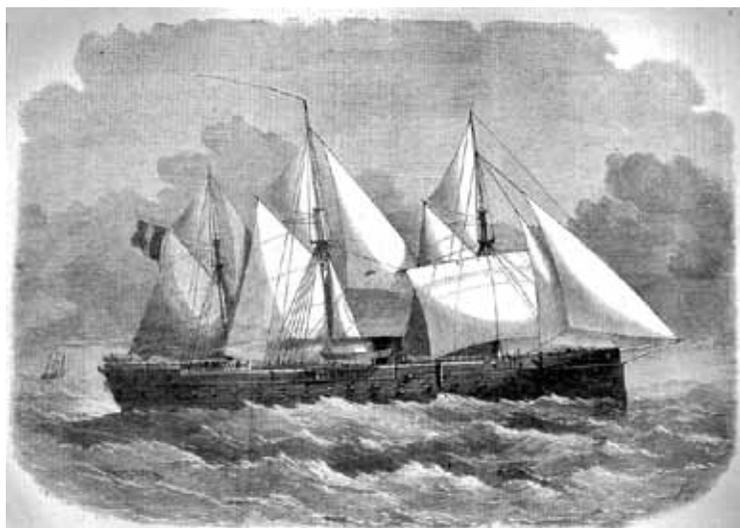
Конкурентом Армстронга был промышленник из Манчестера Джозеф Уитворт, разработавший конструкцию нарезного дульнозарядного чугунного орудия, которое превосходило пушки Армстронга как по точности, так и по «бронепробиваемости». Уитворт удивительным образом умел сочетать занятие наукой, технические эксперименты, предпринимательство и политическую деятельность, сумев обеспечить себе поддержку либеральной партии. Он последовательнее других проводил испытания различных форм нарезки и снарядов и в результате сумел разработать продолговатый тупоконечный бронебойный снаряд, существенно превосходивший все другие образцы. Орудия Уитворта калибром 152–178 мм устанавливались на поворотных станках, использовали снаряд продолговатой формы и служили для ведения прицельного огня на дистанции 600–700 м (против 300–400 м для гладкоствольных орудий).

С британскими производителями соперничал Альфред Крупп, представивший на Всемирной промышленной выставке 1851 г. в Лондоне стальную казнозарядную конструкцию орудий. Первые пушки Крупп продал Египту в 1855 г., через три года последовал заказ Военного министерства Пруссии на 300 орудий. Настоящие прибыли пришли после получения крупных заказов из России в 1863 г. В свою очередь, Армстронг и Уитворт разбогатели на поставках оружия американцам во время Гражданской войны.

Таким образом, к 1860 г. возникло глобальное, индустриализованное артиллерийское предпринимательство. Оно затмило нацеленное на международный рынок кустарное производство вооружения, центром которого с XV в. являлись Нидерланды. Государственные арсеналы Франции, Великобритании и Пруссии оказались в состоянии жесткого соперничества с частными предпринимателями, не упускавшими малейшей возможности продемонстрировать преимущества своей продукции. Коммерческая конкуренция сообщила новую энергию в конструирование артиллерийских орудий. В первую очередь и самым радикальным образом результаты стали ощущаться в корабельной артиллерии.

### **СОЮЗ ПАРА И СТАЛИ**

Быстрое развитие артиллерии делало заманчивым совмещение всех новинок в конструкции одного судна, которое должно было превратиться в главную ударную силу флота, заменив в этом качестве парусные линейные корабли.



Необходимо отметить, что появление и совершенствование бронированных судов стало возможным благодаря двум важным факторам. Первым фактором было появление паровой машины, которая обеспечивала перемещение тяжёлых кораблей с приемлемой скоростью. Без мощной паровой машины корабль, оснащенный тяжёлой броней, просто не смог бы сдвинуться с места. Вторым фактором – изобретение мартеновской печи, в которой, в отличие от конвертера Бессемера, можно было производить широкий спектр специальных сталей, в том числе легированных.

«Появившись на свет» в результате внедрения двух важнейших достижений Промышленной революции, броненосцы в дальнейшем сами стали основополагающим фактором, определявшим развитие паровой техники и металлургических технологий в течение полувека (практически до Первой мировой войны).

### «СЛАВА» И «ВОИТЕЛЬ»

Первым броненосным паровым кораблём, предназначенным для плавания в открытом море, стал французский панцирный броненосец «Слава» (La Gloire, «Глуар»), спущенный на воду в 1859 г. Киль и шпангоуты «Славы» были металлическими, а обшивка – деревянной. Борта корабля от верхней кромки до уровня 1,8 м ниже ватерлинии защищал броневой пояс толщиной 110–119 мм.

В 1860 г. в Англии на воду был спущен «цельнометаллический» броненосец «Воитель» (Warrior, «Уориор»). К железному корпусу «Воителя» снаружи крепились композитные броневые плиты, состоящие из листа железа толщиной 110 мм и полуметровой деревянной подложки.

Хотя формально «Слава» и «Воитель» назывались фрегатами, фактически они положили начало новому классу кораблей – броненосцам. Железная броня первых броненосцев могла предотвратить проникновение бомб в

толщу дерева. Не только корпуса бомб, но и сплошные ядра из хрупкого чугуна раскалывались при ударах о твёрдую поверхность.

Эффективность новой технологии была настолько очевидной, что уже в 1860 г. книги и учебники по металлургии железа практически в обязательном порядке содержали разделы о броненосных кораблях. Характерным примером является монография Уильяма Ферберна (William Fairbairn). Она была опубликована в Англии в 1860 г., переведена на русский язык и издана Товариществом «Общественная Польза» в Санкт-Петербурге в 1861 г.

В главе «Броненосные суда» Ферберн пишет: «Сооружение покрытого броней корабля Gloire решило тяжбу между *деревом* и *железом*, и теперь не существует уже более сомнения относительно больших преимуществ и относительной невреждимости железных кораблей. Warrior, Black-Prince и другие военные суда представляют поразительные примеры превосходства обшитых железною бронью кораблей; и хотя они далеко не совершенны, но, несмотря на это, принадлежат к такому роду судов, которым через несколько времени должен уступить место наш деревянный флот.

Весь военный флот Великобритании должен быть преобразован в железный, ни одна администрация не должна более решаться на закладку на стапеле хотя бы одного деревянного корабля. Далее, я полагаю, что не только необходима железная броня, но что весь остов корабля должен быть железным с броней из толстых железных щитов, идущих от верхнего дека вниз на столько, сколько нужно, чтобы корабль был защищен ниже ватерлинии. Тогда — при железном, безопасном от ядер верхнем деке — корабль будет неуязвим для самой тяжелой артиллерии и безопасен при всякой атаке с моря или с суши».

ПЕРВЫЕ БРОНЕНОСЦЫ  
СЛЕВА «СЛАВА»,  
СПРАВА «ВОИТЕЛЬ»



Башня «Монитора»  
с вмятинами от вра-  
жеского обстрела

### «МОНИТОР» – «ДЕДУШКА» БРОНЕНОСНОГО ФЛОТА

Броненосцы «развились» из кораблей класса «монитор», которые появились во время Гражданской войны в США (1861–1864 гг.). В самом начале войны, в 1861 г., южане сумели поднять затопленный экипажем 60-пушечный фрегат «Мерримак», снабжённый вспомогательным паровым двигателем. Мачты и корпус корабля были срезаны, а в центральной части главной артиллерийской палубы установлен прямоугольный каземат с наклонными стенами, в два слоя обшитый сплюснутыми рельсами; полученная таким образом броня имела толщину 50 мм на 550-миллиметровой деревянной подложке. Эрзац-броненосец (он получил новое название «Вирджиния», однако в историю вошёл под первым именем) был вооружён шестью 229-миллиметровыми и четырьмя лёгкими нарезными орудиями, носовая часть корабля была оборудована тараном.

Северяне в противовес «броненосцу» южан в 1862 г. построили свой броненосец, получивший название «Монитор» (Monitor). Он был сооружен по проекту шведского инженера Дж. Эриксона и представлял собой плоскодонный броненосный корабль (длина 56,4 м, ширина 12,5 м, осадка 3,6 м, возвышение над водой 61 см; водоизмещение 1250 т, бортовая броня – до 130 мм, башенная – 203 мм (8 плит по 25 мм)). Палуба «Монитора» сплошь была покрыта 25-миллиметровой броней. В носовой части находилась забронированная рубка для управления кораблём. Броня «Монитора» была получена путём прокатки железных болванок.

Две 280-миллиметровые пушки, установленные в башне «Монитора», заряжались с дульной части и после выстрела полностью убирались внутрь. Кроме того, у северян имелось «секретное» оружие – ядра из закалённой стали. Предполагалось, что такие снаряды смогут пробить броню толщиной до 110 мм. Чугунные бомбы, выпу-

щенные из орудий «Мерримака», могли «осилить» только 60 мм.

### СТРАННЫЙ БОЙ С СУДЬБОНОСНЫМИ ПОСЛЕДСТВИЯМИ

«Монитор» и «Мерримак» были построены почти одновременно. Утром 8 марта 1862 г. броненосцы вступили в бой на гэмптонском рейде. Оба корабля продемонстрировали высокий «иммунитет» к вражеским ядрам. Отчаявшись, южане прекратили артиллерийский огонь и взялись за ружья, чтобы поразить смотровые щели «Монитора». Однако его амбразуры были очень малы, что обернулось против самих же северян – их броненосец оказался почти слеп. Когда «Мерримак» в пылу боя вылетел на мель, северяне пытались таранить его, но дважды промахнулись. Снявшись с мели, южане, в свою очередь, хотели броситься на абордаж, но «Монитору» удалось уйти. В конце концов экипаж «Мерримака» понял, что даром тратит время, и отступил.

Бомбы южан разбивались о броню «Монитора», а стальные ядра северян, пробив слой рельсов, застревали в деревянной подложке. В результате ни один из кораблей не получил серьёзных повреждений и даже не потерял ни одного члена экипажа. Но последствия этого странного боя для развития военно-морского флота были огромны. Стало ясно, что в бою броненосцев главную роль будет играть не число орудий, а их мощность. На новые броненосцы северяне стали устанавливать орудия калибром сначала 381 мм, а затем и 508 мм. Это положило начало настоящей гонке вооружений.

Несмотря на то что мореходные качества мониторов были невысоки (один из них пошел ко дну в том же 1862 г. во время бури), именно они стали «первенцами» броненосного кораблестроения. Обычно мониторы вооружали двумя крупнокалиберными пушками, размещенными во

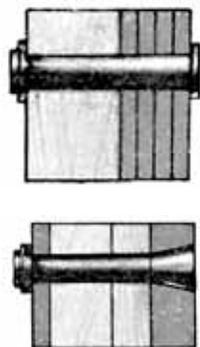
РЕКОНСТРУКЦИЯ БРО-  
НЕНОСЦА «МЕРРИМАК»



## Противоборство брони и снаряда: от Крымской до Англо-бурской войны

Артиллерия	Броневая защита
<b>1854–1856 гг.</b> , Крымская война Чугунные ядра Мины и торпеды	<b>1854–1856 гг.</b> , Крымская война Деревянный паровой флот, иногда обшивка из железных плит толщиной 100–125 мм
<b>1859 г.</b> Снаряды из закалённого чугуна, увеличение калибра орудий до 280 мм	<b>1862 г.</b> Броненосцы класса «монитор» с катаной бронёй толщиной до 130 мм
<b>1864 г.</b> Оболочки снарядов из вольфрамовой стали (5% W, 2–3% Mn, Cr и Ni). Изобретатель Р. Мюшет	<b>1865 г.</b> Броненосцы класса «монитор» с кованой бронёй толщиной 300 мм
<b>1866–1870 гг.</b> Закалённые чугунные бронебойные пустотелые снаряды с взрывчаткой внутри. Пушки с нарезными стволами, заряжающиеся с казенной части. Медленно горящий порох позволяет значительно удлинить ствол орудия	<b>1871 г.</b> Броня «сэндвич»: две стальные плиты (203+152 мм), каждая на подкладке из толстых деревянных брусьев
<b>1874 г.</b> Литые закалённые снаряды из мартеновской и бессемеровской стали калибром 431 мм. За эталон принят 9-дюймовый снаряд, пробивающий 8-дюймовую броневую плиту «сэндвич» под углом 25°	<b>1874–1876 гг.</b> Цитадельные броненосцы. Увеличение толщины брони до 540 мм. За стандарт принята 12-дюймовая броня «компаунд» из прочного поверхностного слоя (для остановки снарядов) и вязкой подложки (для задерживания осколков)
<b>1878 г.</b> Снаряды калибром 452 мм, пробивающие 12-дюймовую броню «компаунд» при косвенном ударе	<b>1881 г.</b> Увеличение толщины брони до 600 мм (300+300). За стандарт принята 15,5-дюймовая броня «компаунд»
<b>1884–1888 гг.</b> Бездымный нитроглицериновый порох (П. Вьель, 1884 г., Франция), баллистный порох (А. Нобель, Швеция). «Крупновские» 11-дюймовые снаряды разрывного действия с закалённой головной частью. Французские снаряды из хромистой стали	<b>1889–1891 гг.</b> Броневые плиты из никелевой стали (2% Ni). Изобретатель Дж. Райли. Никелевая броня (Ni – до 3%) завода «Крезю», Франция. Никелевая броня (Ni до 7%). Разработчик А. Ржешотарский, Россия
<b>1890–1893 гг.</b> Бронебойный наконечник Макарова из мягкой стали. Пироколлоидный (Д.И. Менделеев, 1890 г.) и пироксилиновый (Охтенский пороховой завод, 1891 г.) порох. Кордитный порох (Великобритания)	<b>1894 г.</b> «Харвеевская» броня. Броневые 227-миллиметровые плиты из никелевой цементированной стали. Хромоникелевая цементированная броня (Адмиралтейские ижорские заводы). Хромоникелемолибденовая броня
<b>1895–1900 гг.</b> Главная артиллерия состоит из 305-миллиметровых башенных орудий	<b>1895–1900 гг.</b> «Крупновская» броня. Эскадренные броненосцы с бронёй толщиной 200–275 мм. Общая масса брони составляет 30–33% массы корабля
<b>1900 г.</b> Англо-бурская война Бронирование сухопутного автомобильного и железнодорожного транспорта	

вращающейся бронированной башне; они имели очень малую высоту забронированного надводного борта. Последующее развитие конструкции броненосцев происходило в направлении увеличения калибра орудий и высоты надводного борта. При этом главной составляющей стала борьба за качество металла и «инновационные» технологии металлообработки.



Устройство брони (светлая часть – деревянная подложка, темная – стальные листы): НАВЕРХУ – КАТАНОЙ, 1965 г., ВНИЗУ – КОВАНОЙ, 1960 г.

### КАТАНАЯ И КОВАНАЯ БРОНЯ

Первые броненосные корабли обшивались катаными плитами из вязкой стали, выплавленной на шихте, состоящей из стального металлолома и жидкого чугуна, сначала тигельным способом, а затем в мартеновских печах. Исключением стала лишь русская канонерка «Смерч», оснащенная литыми плитами (0,25–0,7 % С; до 1,2 % Mn; 0,7–1,0 % Cr) толщиной 178 мм производства Путиловского завода. Несмотря на одинаковую толщину, сопротивляемость катаных плит ударному воздействию снарядов значительно различалась в зависимости от технологии производства металла и структуры броневой защиты.

Однородные плиты можно получить не только в результате прокатки, но и проковкой раскаленных железных заготовок. Технические возможности прокатного оборудования середины XIX в. не позволяли получать броневые листы толщиной более 4 дюймов. Поэтому начиная с 1870-х гг. и почти до конца столетия основным способом изготовления брони былаковка листов мощными паровыми молотами.

Броневая плита последовательно ковалась (сваривалась) из нескольких тонких стальных и (или) железных листов – пакетов. Сначала сваривались два листа, затем два двухслойных листа, и так – до получения тридцатидвухслойных пакетов. При этом перед каждой следующей сваркой пакеты нагревали до необходимой температуры и очищали от окалины. Трудоемкая технология не гарантировала высокого качества изделия, поскольку пока молотом обрабатывали одну часть броневоего листа, другие его участки остывали, образуя «непровары». Большое количество нагревов снижало важнейшее свойство брони – вязкость.

В 1864–73 гг. в Англии было построено несколько броненосцев класса «Монитор» с ковальной железной броней. Их водоизмещение, скорость хода и толщина броневой защиты постоянно возрастали.

В 1873 г. был спущен на воду броненосец «Опустошение» (Devastation) мониторного типа водоизмещением 9350 т со скоростью хода 13,8 узла. Он был покрыт по всей длине броневым поясом толщиной 300 мм посе-

### Совершенствование мониторов в Англии в период 1864–1873 гг.

Название	Водоизмещение, т	Толщина брони из кованных железных плит, мм
Huascar	1800	115
Royal Sovereign	3760	140
Captain	6900	175
Monarch	8320	175
Devastation	9350	300



Huascar



Royal Sovereign



Captain



Devastation

редине и 254 мм в оконечностях; выше броневое пояс был сооружен еще и 250-миллиметровый брествер, над которым возвышались две башни, покрытые 350-миллиметровыми железными плитами, с двумя 305-миллиметровыми орудиями в каждой. Менее чем за 10 лет толщина брони мониторов возросла более чем в 2,5 раза; на этом их броневой ресурс был исчерпан.

### БЕЗДЫМНЫЕ ПОРОХА И ЗАКАЛЕННЫЕ СНАРЯДЫ

Одновременно с развитием средств броневой защиты происходило совершенствование артиллерийских орудий. В 1866 г. появились закалённые чугунные броневые снаряды. В конце 1860 гг. во всех флотах были приняты на вооружение пушки с нарезными стволами, заряжавшиеся с казенной части.

Важные нововведения были сделаны в области метательных порохов. Придание зернам пороха формы полого цилиндра позволяло обеспечить одновременное горение как наружной, так и внутренней поверхности. Скорость химической реакции в стволе орудия стала постоянной с момента начала и до окончания процесса горения. Заслуга в появлении этого изобретения в основном принадлежит офицеру американской армии Томасу Дж. Родману. Использование медленно горящего пороха позволило значительно удлинить ствол орудия и увеличить начальную скорость снаряда с 480 до 640 м/с. Такая комплексная модернизация корабельной артиллерии дала ей временные преимущества в «споре» с бронёй и инициировала выход металлургии броневых сталей на новый качественный уровень.

### БРОНЯ «СЭНДВИЧ» (1871)

Возрастающая мощь артиллерийских орудий вынуждала постоянно увеличивать толщину брони. Металлургия тех

лет не была к этому готова, и для получения броневой плиты приходилось сваривать всё большее количество слоев металла. Для этого, в свою очередь, требовалось увеличить число нагревов металла, операцийковки. В результате сильно страдала однородность защиты, надёжность которой зависела от конкретной точки попадания снаряда.

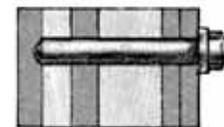
Английский металлург-металловед Д. Сорби (его именем названа особая микроструктура стали – «сорбит») предложил использовать две стальные плиты, каждую на подложке из толстых деревянных брусьев, складывая их в виде бутерброда. Подобная схема бронирования – «сэндвич» – с небольшими изменениями используется до сих пор.

Проведённые в 1871 г. в Британии испытания показали, что броня из двух плит – 203+152 мм – намного эффективнее сварной брони толщиной 355 мм. Броневые чугунные снаряды раскалывались, не нанося ей повреждений. Преимущество «бутерброда» заключалось еще и в том, что плиты могли иметь большие размеры, а стыки можно было расположить в шахматном порядке для предотвращения развития трещин.

### ЦИТАДЕЛЬНЫЕ БРОНЕНОСЦЫ (1874)

Параллельно с совершенствованием брони шло развитие конструкции броненосцев. В 1874 г. в Италии были заложены два однотипных броненосца – Duilio – и Dandolo водоизмещением по 11 200 т. Оригинальное расположение орудий главного калибра и структура размещения броневой позволили отнести эти линкоры к новому классу «цитадельных броненосцев».

Легендарным представителем цитадельных броненосцев с броней «сэндвич» является английский линкор «Несгибаемый» (Inflexible,



УСТРОЙСТВО БРОНИ  
ТИПА «СЭНДВИЧ»

ЦИТАДЕЛЬНЫЙ БРОНЕ-  
НОСЕЦ «ИНФЛЕК-  
СИБЛ», 1881 г.



Инфлексибл), построенный в 1881 г., водоизмещением 11 880 т, со скоростью хода 14 узлов. Он был защищён в средней части корпуса поясной бронёй в 600 мм (два слоя по 300 мм) в виде короткой цитадели с траверзами. От цитадели к носовой и кормовой частям судна шла 75-миллиметровая броневая палуба. Над цитаделью по диагонали располагались две башни с двумя 406-миллиметровыми орудиями в каждой. Корабль был дополнительно вооружён восемью 102-миллиметровыми пушками и четырьмя торпедными трубами (две подводные и две надводные).

### БРОНЯ «КОМПАУНД» (1876)

В 1876 г. на французском металлургическом заводе «Крезо-Луар» броневая сталь впервые была выплавлена в бессемеровском конвертере. Сталь отличалась высокой степенью однородности, так что удавалось получать болванки полуметровой толщины, которые потом ковались на 100-тонных паровых молотах.

Стендовые испытания новой брони провели итальянцы, подбиравшие материал для своих броненосцев Dandolo и Duilio. Плиты из бессемеровской стали и уже ставшие традиционными «сэндвичи» толщиной свыше

полуметра подвергли обстрелу из 431-миллиметровых суперпушек и только что появившихся казнозарядных 10-дюймовок, имевших высокую начальную скорость снаряда. Вердикт оказался неоднозначным: бессемеровская сталь задержала все одиночные снаряды, тогда как «сэндвичи» были пробиты насквозь. Однако от повторных попа-

даний бронелисты из бессемеровской стали страдали куда больше, чем «сэндвичи». Причина заключалась в высокой хрупкости стали, которая уже после первого удара давала трещины, а после второго – разлеталась на куски.

Новаторское решение было разработано английской фирмой «Томсон»: прочность бессемеровской стали совместили с вязкостью мартеновской. Так появилась броня «компаунд», включавшая прочный поверхностный слой (для остановки снарядов) и вязкую подложку (для задерживания осколков). Броню «компаунд» изготавливали из двух плит – толстой из вязкой стали и тонкой из прочной стали – с промежутком между ними. Затем конструкция нагревалась в печи до 700–800 °С, свободное пространство заливалось расплавленной сталью, что в совокупности с оригинальными приёмами охлаждения и термообработки обеспечивало получение сплошного бронелиста.

### КАЗЕМАТНЫЕ, БАРБЕТНЫЕ, БАШЕННЫЕ БРОНЕНОСЦЫ (1876)

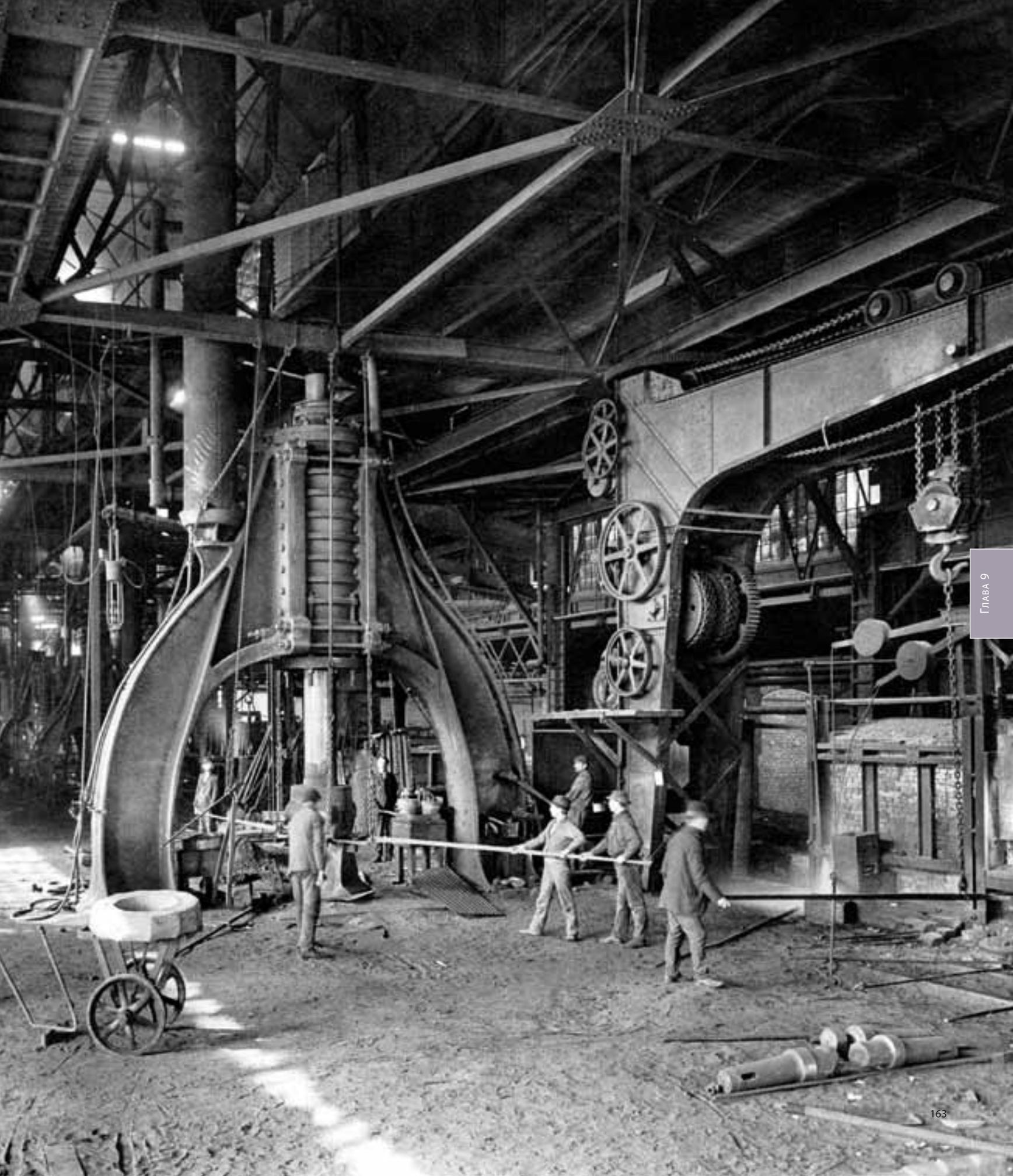
В том же 1876 г. во Франции была разработана конструкция броненосцев нового типа – казематных, с барбетной установкой орудий главного калибра. Барбет



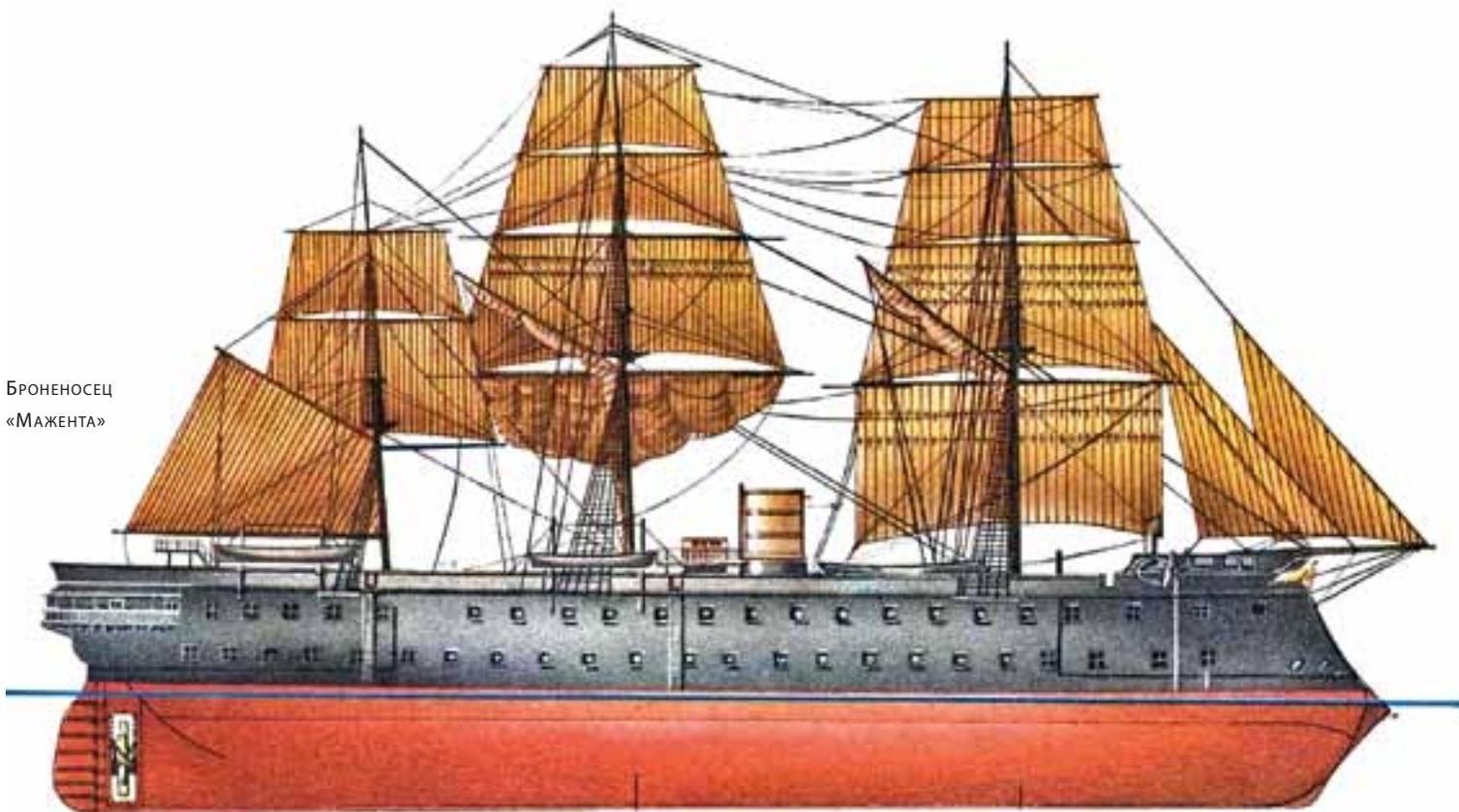
УСТРОЙСТВО БРОНИ  
ТИПА «КОМПАУНД»

ПАРОВОЙ МОЛОТ  
В РАБОТЕ





БРОНЕНОСЕЦ  
«МАЖЕНТА»



(фр. *barbette*) – защитное сооружение вокруг артиллерийского орудия. Название происходит от французской фразы «en barbette», обозначающей стрельбу из полевого орудия поверх парапета (защитной стены), а не через амбразуру. Применительно к броненосному флоту барбетом стали называть цилиндрический бронированный стакан, который служил основанием для вращающейся части артиллерийской башни. До появления полностью закрытых бронированных орудийных башен барбет представлял собой неподвижное бронированное покрытие, защищающее орудие.

Первым в классе казематных броненосцев стал «Грозный» (*Redoutable*) (1876 г.) водоизмещением 9500 т. Он имел броневой пояс по всей длине ватерлинии толщиной 350 мм, в оконечностях 240 мм. Над корпусом в средней части судна был установлен 240-миллиметровый выступающий каземат для четырех 275-миллиметровых орудий по углам. На верхней палубе дополнительно в барбетных установках были размещены ещё четыре 245-миллиметровых орудия.

Построенный в 1879 г. казематный броненосец «Адмирал Дюпрэ» (*Amiral Duperré*) послужил прототипом для последующих башенных броненосцев типа «Адмирал Бодэн» (*Amiral Baudin*), «Мажента» (*Magenta*) и других судов с барбетной установкой одиночных орудий крупного калибра (340–275 мм). Впоследствии, со строительством в 1888 г. двух английских броненосцев «Нил» (*Nile*) и «Трафальгар» (*Trafalgar*), был окончательно определен

тип башенных броненосцев с увеличенной высотой надводного борта. Эти броненосцы водоизмещением 12000 т, со скоростью хода 17 узлов (при механизмах мощностью 12 тыс. л.с.), с дальностью плавания 6500 миль, имели поясную броню «компаунд» толщиной 300–450 мм. Оконечности броненосцев были покрыты покато́й, в виде спины черепахи, так называемой карапасной палубой.

### СТАЛЬНАЯ БРОНЯ «ЛЕ КРЕЗО» (1881)

Ответом на успех английской брони «компаунд» со стороны артиллерии стало применение в 1878 г. литых закалённых снарядов из мартеновской и бессемеровской стали калибром 431 и 452 мм. За свою смертельную разрывную начинку они получили прозвище «чемодан»: снаряды пробивали 12-дюймовую броню «компаунд» даже при «косвенном» попадании и доставляли «чемодан» по назначению – во внутренние помещения броненосцев.

Нового прорыва от разработчиков брони долго ждать не пришлось. На французской фирме «Ле Крез» («Шнейдер-Крез») получили броневые плиты высокого качества из бессемеровской стали. После прокатки их отпускали в масляной ванне.

Роль арбитра, подтвердившего преимущества новой брони, вновь выпала на долю итальянцев. На этот раз они выбирали плиты почти полуметровой толщины для барбетов броненосца «Италия». В городе Специя состоялись показательные полигонные стрельбы 431-мил-



лиметровыми снарядами по броне обоих типов. После второго выстрела образец брони «компаунд» буквально рассыпался на куски, тогда как плита из брони «Ле Крезо» почти не пострадала. В 1881–1914 гг. Шнейдер продал за рубеж половину произведенных им броневых плит. Их приобрели 15 стран; список покупателей возглавляли Италия, Испания и Россия.

### НИТРОЦЕЛЛЮЛОЗНЫЕ ПОРОХА

К началу 1880-х гг. возможности традиционных сплавов железа и углерода – стали и чугуна – оказались практически исчерпанными обеими противоборствующими сторонами: и производителями брони, и разработчиками артиллерийской техники. Настал черёд инновационных материалов – порохов нового поколения и легированных сталей.

Открытие в 1880-х гг. нитроцеллюлозных взрывчатых веществ (в этой области первенство принадлежало французам) сделало возможным производить более мощные и бездымные метательные пороха. Всего за семь лет, с 1884 по 1891 г., разрабатываются сразу четыре новых вида бездымных порохов: нитроглицериновый (П. Вьель, Франция), баллистный (А. Нобель, Швеция) пироколлоидный (Д.И. Менделеев, Россия), пироксилиновый (инженеры Охтенского порохового завода, Россия).

Постоянный толчок, обусловленный хорошо контролируемым горением, придавал снаряду гораздо более высокую начальную скорость (до 800 м/с). Ранее зерна

пороха сгорали за мгновение и рост объема газов падал с уменьшением площади горения. Более продолжительный период горения новых порохов позволял с помощью расширяющихся газов придавать снаряду ускорение в течение гораздо более долгого промежутка времени. В результате стало возможным еще большее удлинение ствола орудия.

Новые гигантские пушки были столь громоздки, что обеспечение устойчивости судна требовало их размещения во вращающихся башнях в центральной части судна. Тяжелые гидравлические механизмы поворота башен требовали дополнительной мощности парового двигателя. В результате активных инженерных изысканий в начале 1880-х г. удалось добиться радикального роста мощности и повышения коэффициента полезного действия паровых двигателей. Искусство наводки корабельных орудий и ведения огня стало еще более взыскательным.

### «НИКЕЛЕВАЯ» БРОНЯ (1891)

В 1891 г. металлурги завода «Ле Крезо» представили на оружейном рынке «никелевую» броню (с содержанием Ni – 3–4 % масс.) с сопротивляемостью против обстрелов на 40 % выше, чем у брони «компаунд». Легирование стали никелем существенно увеличивает её вязкость, не уменьшая прочности. Бронебойные снаряды проникали в «никелевые» плиты глубже, чем в нелегированную

Отливка броневой заготовки на заводе Круппа в Эссене. Генрих Клей, 1900 г



Броня из никелевой стали

стальную броню, но при этом броневые плиты практически не давали трещин.

Появление никелевой стали поставило окончательную точку в истории использования брони «компаунд», слишком явно уступавшей своему конкуренту. Впоследствии технологический процесс, разработанный фирмой «Ле Крезо», был существенно усо-

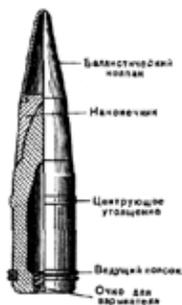
вершенствован в США на заводах «Вифлеемская сталь» (Bethlehem Steel): в 1894 г. в технологию была добавлена стадия цементации.

В России в том же 1891 г. инженер А. Ржевотарский предложил технологию производства брони с содержанием никеля до 7 % масс. В 1892 г. на Обуховском заводе был внедрен новый режим термообработки «никелевой» брони (за-

Броненосцы «Потёмкин» (наверху) и «Императрица Мария» (внизу)



калка опрыскиванием). Для ее изготовления была создана специальная термическая мастерская, в которой выполняли цементацию и закалку броневых плит. В 1893 г. началось производство десятидюймовых броневых плит из никелевой цементированной стали для новых русских броненосцев, в том числе и для знаменитых «Потёмкина» и «Императрицы Марии».



### БРОНЕБОЙНЫЙ НАКОНЕЧНИК МАКАРОВА (1893 Г.)

Решительные действия изготовителей брони вызвали адекватную реакцию со стороны артиллеристов. Их изобретение стало по-настоящему прорывным: в 1893 г. российским адмиралом С.О. Макаровым для борьбы с кораблями противника, защищёнными цементированной броней, был предложен броневой наконечник снаряда.

Для повышения боевых свойств снаряда используют баллистический и броневой наконечники. Баллистический наконечник предназначен для улучшения аэродинамической формы снаряда. Он представляет собой пустотелый остроконечный колпак, ко-

БРОНЕБОЙНЫЙ СНАРЯД С «МАКАРОВСКИМ КОЛПАКОМ»

торый навинчивается на притупленную головную часть снаряда, изготавливается обычно из лёгких материалов, имеет минимальную толщину стенок. Броневой наконечник предназначен для уменьшения «рикошетирования» снаряда, частичного разрушения верхнего слоя брони и предохранения головной части снаряда от разрушения при пробивании брони. При попадании в бронированную цель такой наконечник разбивается. Он изготавливается из более вязкого металла, чем корпус снаряда.

Для борьбы с таким серьезным «противником», каким оказался снаряд, снабжённый наконечником Макарова, пришлось вернуться к двухслойной броневой плите и серьезно потрудиться над её усовершенствованием.

### СКОРОСТРЕЛЬНАЯ ПУШКА ШНЕЙДЕРА

В том же 1893 г. компания «Шнейдер-Крезе» представила свою знаменитую 75-мм скорострельную пушку, несравненная устойчивость которой революционизировала все последующие артиллерийские конструкции. Несмотря на малый вес, обеспечивавший легкое и быстрое развертывание и свертывание на поле боя, усовершенствованная в 1898 г. пушка выпускала по цели снаряд за снарядом без дополнительных поправок. Ее скорострельность (до двадцати

ЗНАМЕНИТАЯ ПУШКА ШНЕЙДЕРА НА ПЕРЕДНЕМ ПЛАНЕ



выстрелов в минуту) четырехкратно превосходила темп стрельбы других орудий – причем без ущерба для точности. Секрет заключался в сбалансированности между импульсом отдачи и давлением сжатого воздуха, возвращавшим после выстрела ствол в исходное положение. Пушки приобрели 34 страны, из которых Россия была основным покупателем; за ней следовали Испания и Португалия.

#### «ХАРВЕЕВСКАЯ» БРОНЯ (1894)

Основной причиной несовершенства двухслойного «компаунда» являлась низкая прочность в местах сварки слоёв. Инженер Г. Харви (Гарвей) предложил принципиально новый вариант изготовления брони. Британец применил местную цементацию броневых плит по такому методу: цементирование с использованием древесного угля при 1200 °С в течение 18–22 ч, затем охлаждение поверхности плиты до 800–850 °С струёй холодной воды и постепенный объёмный отпуск. В результате удалось получить материал с исключительно твёрдой поверхностью, при ударе о которую снаряд разбивался, и вместе с тем с вязкой тыльной частью, препятствующей растрескиванию.

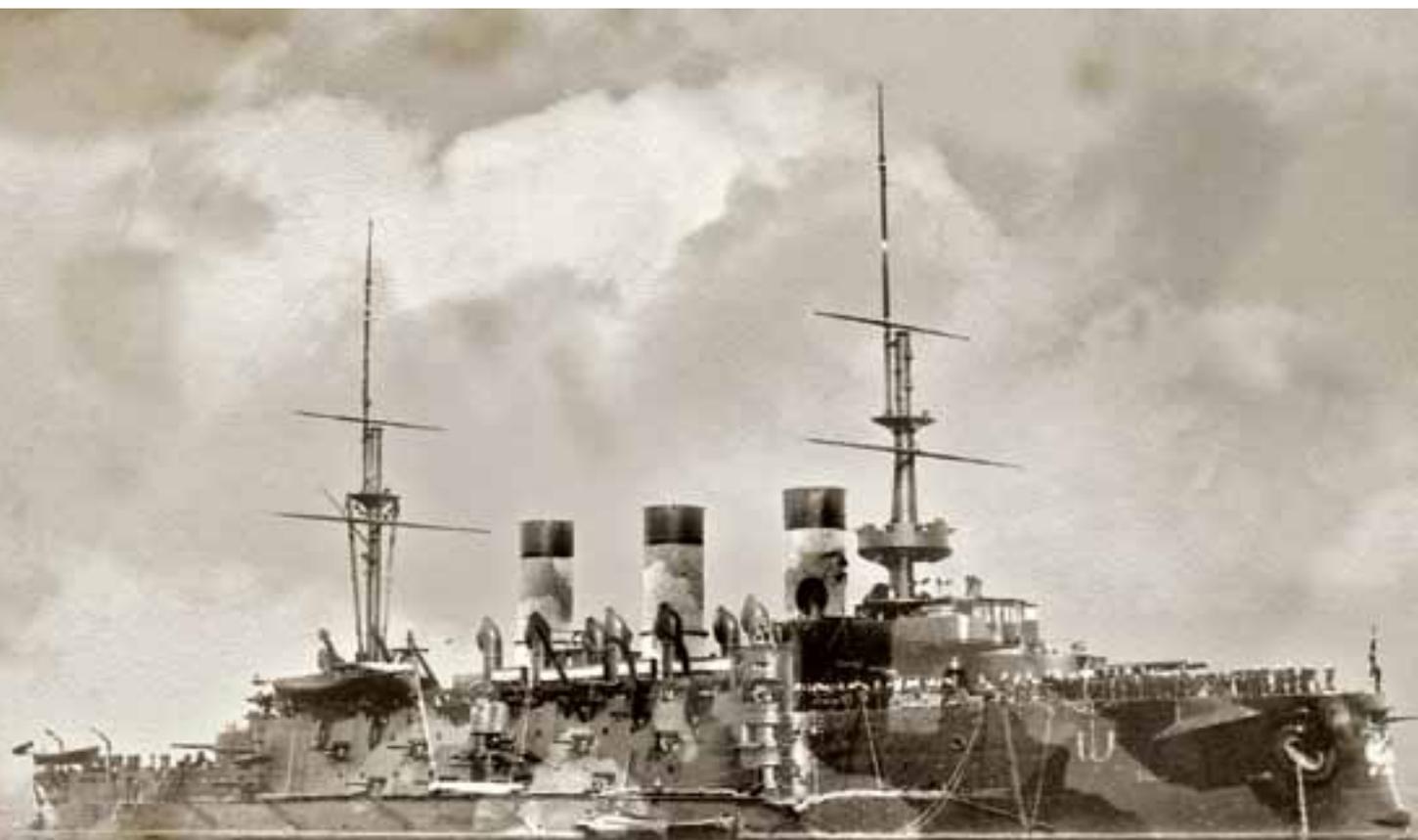
Главное коммерческое преимущество «харвеевской» брони заключалось в том, что её можно было обрабатывать прокаткой. При этом из технологической цепочки исключался длительный и дорогой этапковки огромными паровыми молотами. «Харвееванная» броня быстро вытеснила не только компаундную, но и бессемеровскую никелевую броню «Крезю». В 1895 г. броня Харвея появилась на русских броненосцах «Ослябя» и «Пересвет».

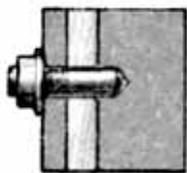
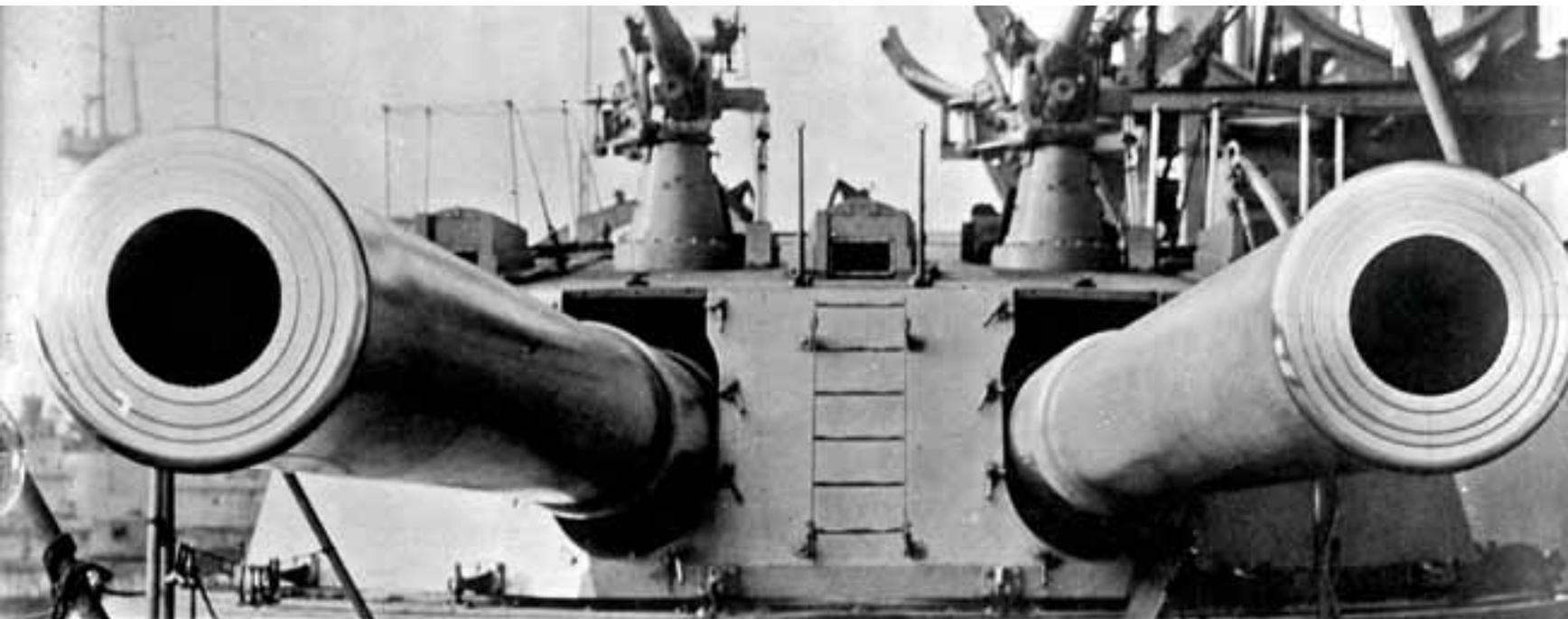
Одновременно шёл поиск наиболее эффективных способов легирования броневой стали. Уже в 1894 г. начинают изготавливать цементированную односторонне закалённую броню из хромоникелемолибденовой стали. Эта броня имела твёрдый лицевой слой и мягкую вязкую тыльную сторону. По своим свойствам она превосходила все известные виды брони.

#### «КРУППОВСКАЯ» БРОНЯ (1900)

В то время как в Англии, США, Франции и России развернулось производство «харвеев-

3 октября 1895 г. «Ослябя» был зачислен в списки флота и получил название в память об одном из иноков Троице-Сергиевой лавры, которого Сергей Радонежский отправил на Куликовскую битву – Родиона Осляби





«Крупповская»  
броня

ской» брони, в Германии и Австро-Венгрии на заводах фирмы «Крупп» и чешских заводах «Шкода» шла упорная работа по совершенствованию технологии термообработки броневой стали. Metallургам удалось улучшить харвеевский процесс. Дело в том, что закалка холодной водой по методу Харвея проходила довольно быстро, действовала на большую глубину и нередко вызывала трещинообразование в толще броневых листов. Технология Круппа обеспечивала медленное охлаждение в расплавах селитры и буры, так что получался почти непрерывный постепенный переход от твёрдой лицевой поверхности к мягкой сердцевине.

В начале XX в. метод производства брони по Круппу стал в мире монопольным. В Эссене специально была разработана сложнелегированная броневая сталь «№ 1» со следующим химическим составом, % масс.: углерод – 0,25–0,43; марганец – 0,7–1,23; хром – до 2,2; никель – 1,1–3,1; молибден – 0,2–0,65; ванадий – до 0,23. Броневые плиты из крупповской стали толщиной 120 мм выдерживали попадание 283-миллиметровых снарядов без расстреливания.

Первые образцы «крупповской» брони появились еще в 1895 г., однако на совершенствование процесса ушло несколько лет. Только в 1900-е гг. стало ясно, что немцы оказались впереди: новая броня по прочности превосходила «харвеевскую» примерно на четверть. Англичанам также пришлось перейти на крупповский способ изготовления брони, причем они настолько преуспели в этом

деле, что к началу Первой мировой войны производили плиты лучшего качества, чем на берегах Рейна. Отличную «крупповскую» броню научились выпускать французы и американцы. Высоким качеством отличались броневые плиты, выпускавшиеся российскими и чешскими заводами.

### ДРЕДНОУТ

К 1905 г. сформировался характерный тип броненосного корабля, который с «национальными» модификациями находился на вооружении практически всех ведущих индустриальных держав мира. Броненосные крейсера имели водоизмещение около 15000 т, скорость хода до 19 узлов, броневой пояс по ватерлинии толщиной 275 мм. Корабли были оборудованы водотрубными (с лёгкими трубами) котлами, что позволяло снизить общую массу энергетических установок и усилить бронирование. Главная артиллерия состояла из нескольких 305-миллиметровых орудий, размещённых в двух башнях.

Нарицательным стало название английского броненосца «Дредноут». Он был сконструирован для боя на дальних дистанциях и, благодаря сочетанию высокой скорости и огневой мощи, превосходил все корабли этого класса. Делая 21 узел, он шёл на 2–3 узла быстрее других больших кораблей, залп десяти двенадцатидюймовых орудий по массе был много выше показателей всех

Ввод в строй самого мощного в истории человечества английского броненосца «Дредноут» нанес сильнейший удар по самой Великобритании, сделав устаревшими все её предыдущие броненосцы. Ведущие страны мира тоже начали строить броненосцы по типу «Дредноута»: военно-морская гонка началась с нуля

USS NEVADA (BB-36) был заложен в 1912 г. Считается первым дредноутом ВМС США. Корабль участвовал в обеих мировых войнах: во время Первой мировой войны охранял конвои у побережья Великобритании, во время Второй мировой – был единственным американским кораблём, находившимся в Пёрл-Харбор, который остался на плаву после японской атаки 1941 года. Впоследствии сопровождал конвои в Атлантике, обеспечивал огневую поддержку войск Союзников во время высадки в Нормандии 1944 года.



остальных линкоров. Топливо на основе нефти и турбинные двигатели невиданных размеров обеспечивали «Дредноуту» впечатляющий запас хода. Сравнительно легкое бронирование мало что значило, так как благодаря скоростным качествам корабля капитан сам принимал решение — когда, где и с какой дистанции нанести противнику удар.

### **БРОНЕВАЯ ИНДУСТРИЯ**

Ведущие морские державы смогли к 1914 г. наладить производство «крупповской» брони примерно одинакового качества. В проигрыше оказались малые страны, вынужденные заказывать плиты за рубежом. Испанские дредноуты и шведские броненосцы застряли на верфях на несколько лет, ожидая поставки своих «доспехов» из-за границы. Но другого пути у них не было – для производства брони требовались огромные средства.

Высококачественная сталь, огромные прокатные станы, уникальные строгальные станки, затраты на полигоны и эксперименты оказались по силам только развитым индустриальным державам. Процесс изготовления броневой плиты размером 3×5 м и толщиной 30 см за-

нимал несколько месяцев; только на закалку и цементацию уходило две недели непрерывной работы.

### **КОНСТРУКЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ**

Важным фактором броневой защиты был способ крепления плит к корпусу судна. Вначале даже однослойные плиты из «харвеевской» или «крупповской» брони устанавливали на толстую подкладку из дерева, преимущественно тика. Этот метод основывался на представлении, что деревянная «подушка» смягчает удар снаряда и одновременно распределяет усилие по большей площади, увеличивая эффективность защиты.

Понадобились многочисленные полигонные испытания и опыт русско-японской войны, чтобы стало ясно: дерево не только не улучшает сопротивляемость брони, но и может сыграть отрицательную роль – иногда плиты вырывались «с мясом», невзирая на множество мощных крепящих болтов. Итоги Цусимского сражения, когда на русских кораблях броневые плиты не пробивались, но смещались от ударов снарядов, деформируя корпус и вызывая затопление судов, заставили конструкторов изменить взгляд на систему их крепления.

Главное внимание стали уделять стыкам между плитами, где устанавливались мощные металлические подкрепления. Толстые слои тика уступили место тонкой деревянной прослойке; для герметизации использовали цемент. Место деревянной подкладки заняла металлическая «рубашка» толщиной 25–37 мм.

Новаторским решением стало применение вертикально расположенных плит. Вначале броню размещали таким образом, что длинная сторона оказывалась параллельной ватерлинии. При удачном попадании снаряда в край такой плиты она могла развернуться, открывая воде доступ внутрь корабля. На новых судах броневую полосу стали располагать вертикально. Впервые такая система установки броневых плит была применена на русских дредноутах и американских линкорах типа «Невада». Кроме того, конструкторы разработали способ соединения плит с помощью шпонок в форме ласточкина хвоста, в результате чего весь броневой пояс превращался практически в огромный монолит полосой брони. Способ был очень дорогим, но безопасность более дорогостоящего линкора стоила затраченных средств.

Пристальное внимание к броневой защите наблюдалось на протяжении всей истории развития линейных кораблей. В итоге было выработано правило: на хорошо защищённом корабле на долю брони должно приходиться около трети водоизмещения. Конструкторы следовали этому правилу на протяжении десятков лет.

В 1900 г. бронирование наконец-то распространилось



Бронированный вагон, использовавшийся английскими войсками в Англо-бурской войне

и на сухопутный транспорт. Во время Англо-бурской войны полковник английской армии Темплер предложил бронировать повозки, предназначенные для доставки английских частей с южного побережья Африки в глубь материка. Три повозки, паровой автомобиль-

тягач и два 150-миллиметровых артиллерийских орудия составляли безрельсовый блиндированный поезд, который был защищен листовой 6,3-миллиметровой хромо-никелевой сталью, которую не могли пробить пули ружей типа «маузер» даже на расстоянии 6 м.

## КОРНИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ

До 1880-х г. изобретательство почти всегда оставалось уделом одиночек, поддерживаемых техниками и высококлассными механиками, которые изготавливали опытные образцы и воплощали идеи изобретателей. Армстронг, Уитворт, Крупп, Шнейдер применяли этот метод, используя возможности своих фирм для разработки новых видов брони, артиллерийских орудий, корабельных конструкций и механизмов.

Предприниматель нес все бремя расходов на исследовательские и опытно-конструкторские работы, и единственным способом оправдать затраты и получить прибыль было добиться заказов у скептически настроенных покупателей. В подобных обстоятельствах капиталовложения в исследования и разработку вооружений оставались сравнительно скромными. Даже успешные фирмы Круппа, Армстронга и Шнейдера не могли рисковать большими расходами на эксперименты при отсутствии заблаговременно гарантированных покупателей.

С середины 1880-х г. Адмиралтейства передовых индустриальных стран стали на постоянной основе предоставлять запрашиваемые частными фирмами гарантии. Заказчики стали четко формулировать желательные тактико-технические характеристики новых образцов военной техники. Нововведения приняли характер заранее намеченных: конструкции кораблей стали определяться тактическим и стратегическим планированием. Адмиралтейства и военные фирмы ввели практику формирования «творческих коллективов» и стали существенно облегчать задачу изобретателей, частично покрывая затраты на разработку многообещающих опытных образцов.

Даже беглый обзор основных вех флотских технологических перемен 1884–1914 гг. показывает, насколько вырос размах «командной технологии» за этот период. За появлением скорострельных пушек (калибр которых быстро возрастал) последовало повышение скорости кораблей. Отправной точкой послужило развитие конструкции «трубчатого котла», изобретенной Альбертом Ярроу. Вскоре котлы Ярроу сменились паровыми турбинами, запатентованными в 1884 г. Чарльзом Парсонсом. Очевидно, что именно оружейные компании стали первопроходцами череды инновационных технологий: металлургии легированных сталей, промышленной химии, электроприборов, средств радиосвязи, турбин, дизелей, оптики и механических вычислителей для управления огнем, гидравлических устройств и многого другого. \*

## Глава 10

# Печь Эру открывает эру электрометаллургии

Единственная вещь,  
имеющая значение, — это инновации.

**Петер Дракер, создатель  
теории маркетинга**

**В** 1909 году в. Липин в учебнике «Металлургия чугуна, железа и стали» писал: «с 1908 года техника вступила в новую эру. Стало ясно, что заменяя тигельный процесс рафинированием жидкого металла в электрических печах, можно достичь гораздо лучших результатов в смысле качества стали и удешевить ее при этом в два раза... многие заводы сейчас ломают свои горны и печи, и ставят печи для электроплавки». Эта фраза написана всего лишь спустя 10 лет после появления лабораторной электродуговой печи, сконструированной французским инженером Полем Эру и ставшей символом качественной металлургии XX века – века Научно-технической революции. Как же была создана новая передовая отрасль металлургического производства?

### ПОЧЕМУ ЭТО АКТУАЛЬНО?

По подсчетам, проведенным в начале 1960-х годов американским социологом Питиримом Сорокиным, «с 800 по 1600 Италия сделала примерно от 25 до 40 % всех научных открытий и изобретений в Европе; с 1726 г. до настоящего времени этот вклад Италии снизился приблизительно до 2–4%. Вклад Соединенных Штатов составил только 1 % всех открытий и изобретений за период с 1726 по 1750 гг.; эта доля увеличилась до 25 % за период 1900–1908 гг.; в настоящее время она еще более возросла».

А как обстоит дело в нашей стране? В 1990-х гг. в России начался бум публикаций, посвященных форми-





рованию государственной научно-технической политики. Несмотря на то что даже после распада СССР, наша страна располагает огромным национальным богатством, она по уровню своего экономического развития (объему ВВП в долларах 1972 г.) находится на уровне США первой четверти XX века, т. е. разрыв составляет почти 100 лет. Россия истосковалась по высоким технологиям.

### НАУЧНЫЙ ФУНДАМЕНТ

Первые исследования, позволившие в дальнейшем разработать промышленные электросталеплавильные агрегаты, были проведены ещё в XVIII в.

В 1753 г. академик Петербургской академии наук Георг Вильгельм Рихман сделал доклад о возможности применения электрических разрядов для плавления металлов. Спустя почти 30 лет, в 1782 г., немецкий физик Георг Кристоф Лихтенберг сообщил о том, что с помощью искрового разряда ему удалось расплавить и соединить тонкие стальные пластинки и проволоочки.

Основополагающие научные достижения в области исследования электричества произошли на рубеже XVIII–XIX вв. В конце 1799 г. Алессандро Вольта создал гальва-

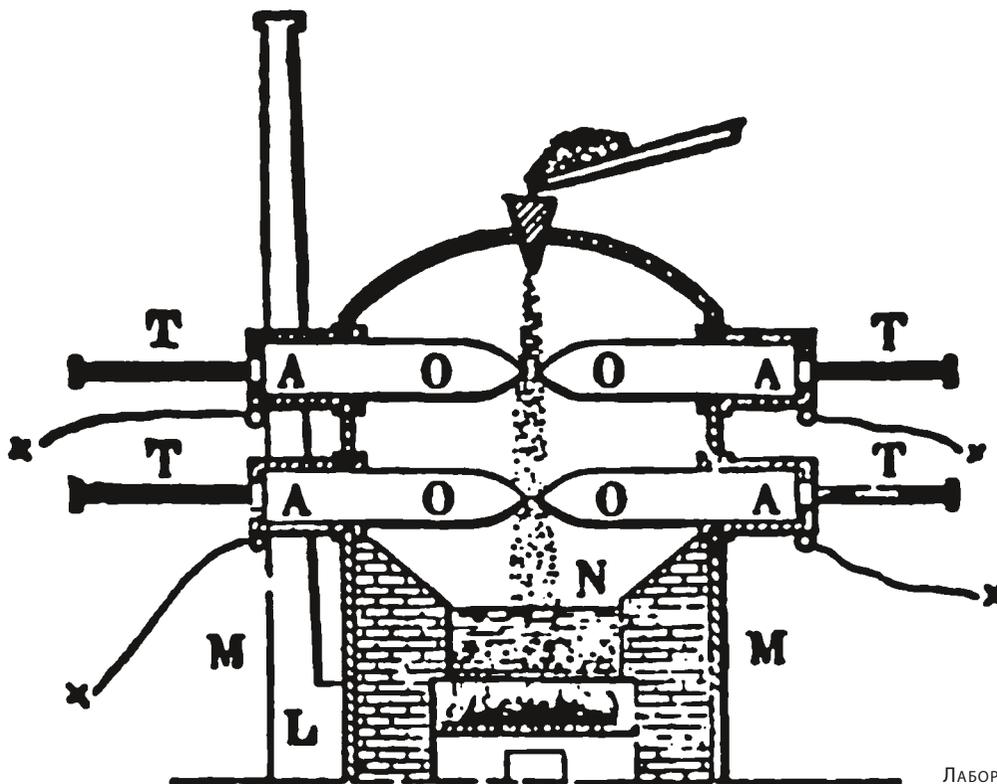


Георг Вильгельм Рихман

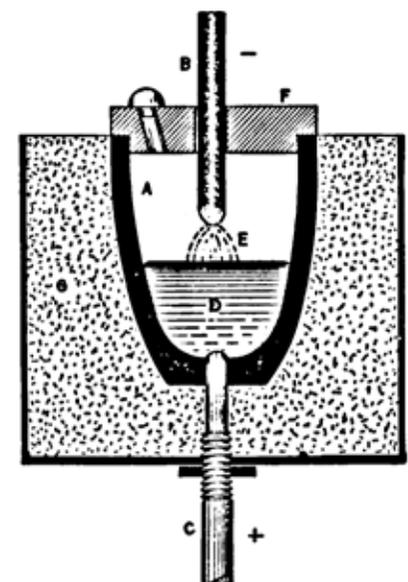
и плавление различных металлов, а также восстановление металлов из оксидов.

В 1812 г. Хэмфри Дэви вывел исследования в области электрического нагрева металлов на новый уровень – он разработал первые лабораторные электропечи сопротивления с прямым и косвенным нагревом и использовал их для исследования свойств щелочноземельных и благородных металлов. Через три года В. Пепис разработал процесс цементации в железной проволоке с алмазной пылью при нагреве при пропускании тока.

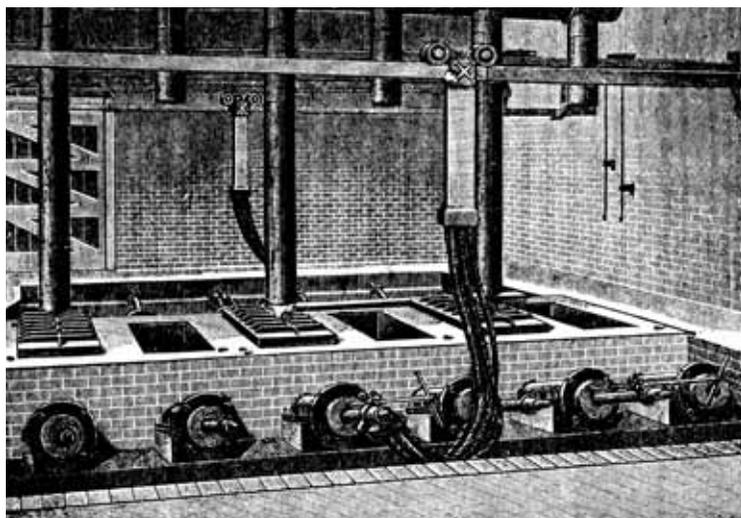
ническую батарею: первый «вольтов столб» состоял из 20 пар медных и цинковых круглых пластинок, разделенных суконными прокладками, смоченными солёной водой. Изобретение Вольта дало возможность учёным проводить исследования, используя стабильный источник электрического тока. Уже в 1801 г. Луи-Жак Тенар установил, что платиновая проволока нагревается электрическим током, а в 1802 г. Василий Владимирович Петров открыл электрическую дугу и впервые показал возможность использования электро-энергии для проведения технологических процессов, осуществив с помощью электрической дуги нагрев



Лабораторная дуговая печь конструкции Пишона



Лабораторная дуговая печь конструкции Сименса



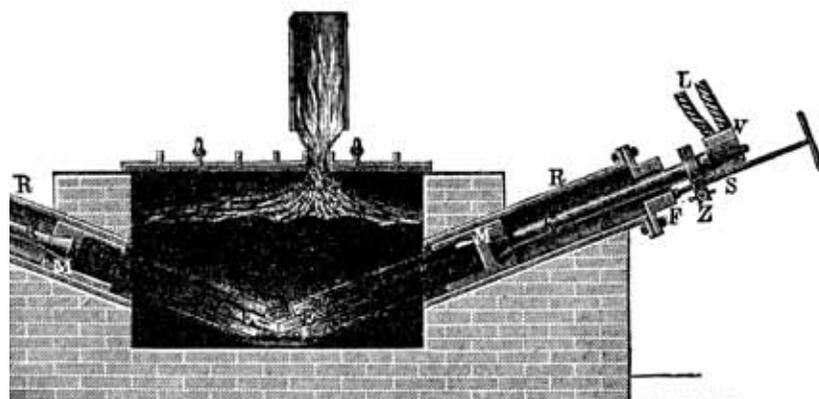
В 1839 г. Р. Хар (Великобритания) изготовил накрытую колоколом электропечь, в которой создавался вакуум. Хар впервые осуществил разделение металлов, испаряя их энергией от гальванической батареи. В середине XIX в. лабораторные дуговые электропечи создают Пишон, Дебре, Джонсон. Основным элементом печи Пишона (1853 г.) были две пары горизонтально расположенных электродов, между которыми возбуждалась электрическая дуга. Смесь руды и угля проходила через зону горения дуги, температура которой составляла 3000–3500 °С. Восстановленный углеродом металл плавился и собирался на поду электрической печи.

Значительным шагом в разработке электротермических устройств стали опыты Вильгельма Сименса, получившего в 1878–1879 гг. три патента на свои конструкции электрических печей. Одна из этих конструкций представляла собой огнеупорный тигель, через дно которого проходил подовый электрод из тугоплавкого металла. Второй металлический электрод, охлаждаемый водой, пропусклся через крышку тигля. Между этими двумя электродами возбуждалась электрическая дуга. В другой конструкции подовый электрод был сделан из железа и во время работы охлаждался, а верхний электрод формировался из угля. Третья конструкция представляла собой тигель с двумя горизонтальными электродами, установленными один против другого.

Однако, до середины 1880-х г. электропечи, хотя их конструкций было предложено и запатентовано более десятка, не выходят за пределы лабораторий ввиду отсутствия мощных источников электроэнергии.

### ИЗ НАУЧНОЙ ЛАБОРАТОРИИ В ПРОИЗВОДСТВО

В 1883 г. Ч. Брайден разработал процесс электроплавки в гарнисаже, при котором плавильное пространство печи ограничивалось шихтой. Руда на угольной подушке под-

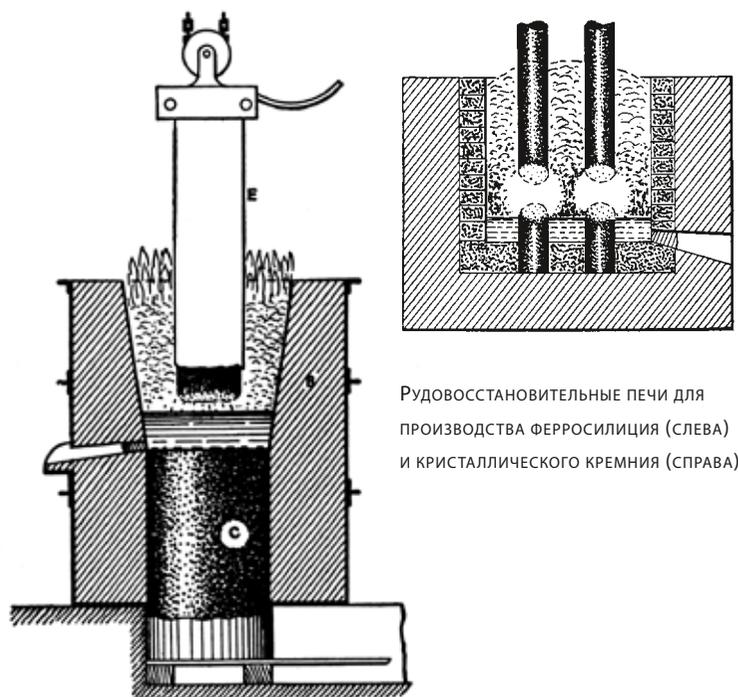


ключалась к положительному потенциалу и плавилась в зоне вокруг электрода с отрицательным потенциалом. Нерасплавленная руда и остывший, затвердевший сплав (гарнисаж) выполняли функции футеровки печи. В дальнейшем технологические принципы работы электропечи Брайдена послужили основой для разработки конструкций рудовосстановительных печей.

Инновационный прорыв из научных лабораторий в производственные цехи был осуществлен год спустя. Электропечь американских изобретателей братьев Коулесс для получения алюминия впервые в истории техники нашла широкое производственное применение. В пространстве печи устанавливались два держателя с угольными электродами, подключёнными к полюсам динамомашин. В печь загружали послойно древесный уголь, глинозём, измельчённую медь. Такие печи с небольшими усовершенствованиями работали с 1884 г. до середины 1890-х г., пока не был внедрен электролизный метод получения алюминия.

В 1990-е г. конструкция электропечей быстро совершенствовалась, а сфера применения неуклонно расширялась. Французский химик Анри Муассан разработал дуговую электропечь с косвенным нагревом. При таком способе дуга горит между двумя электродами, в то время как при прямом нагреве – между электродом и металлом. Муассан предложил управлять дугой с помощью магнита, расположенного вне печи, что позволило получить высокую концентрацию энергии. Благодаря этому Муассаном были восстановлены из оксидов хром, вольфрам, ванадий, титан, молибден, уран – металлы, которые до того считались невозможными. Муассан также доказал, что в дуге любые металлы не только плавятся, но и испаряются.

В 1892 г. Муассан впервые получил в небольшой дуговой печи карбид кальция, а затем, совместно с Виль-



Рудовосстановительные печи для производства ферросилиция (слева) и кристаллического кремния (справа)

соном, предложил удачную конструкцию промышленной шахтной рудовосстановительной электропечи для производства карбида кальция, получившую широкое распространение. Процесс получения карборунда в электрической печи прямого действия, в которой шихта нагревалась до температуры 1800 °С, разработал Ачесон (в том же году). В следующем 1893 г. Муассан впервые выплавил в электропечи ферросплав – углеродистый феррохром, содержащий 60 % хрома и 6 % углерода.

## РУДОВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОПЕЧИ

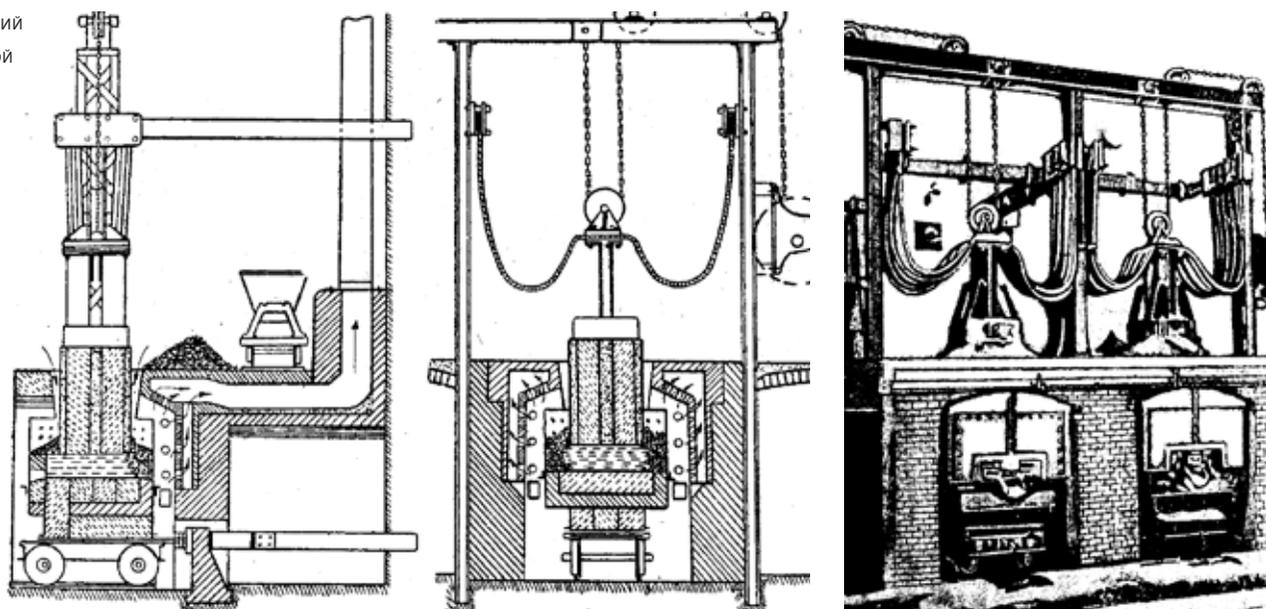
Дуговые рудовосстановительные печи первоначально повторяли устройство обычных доменных печей, в горн которых вводились электроды. Характерным примером такой конструкции может служить шахтная рудовосстановительная печь в Домнарверте (Швеция). Мощность этой печи, построенной в 1910 г., составляла 1850 кВт; она была двухфазной, с четырьмя круглыми электродами.

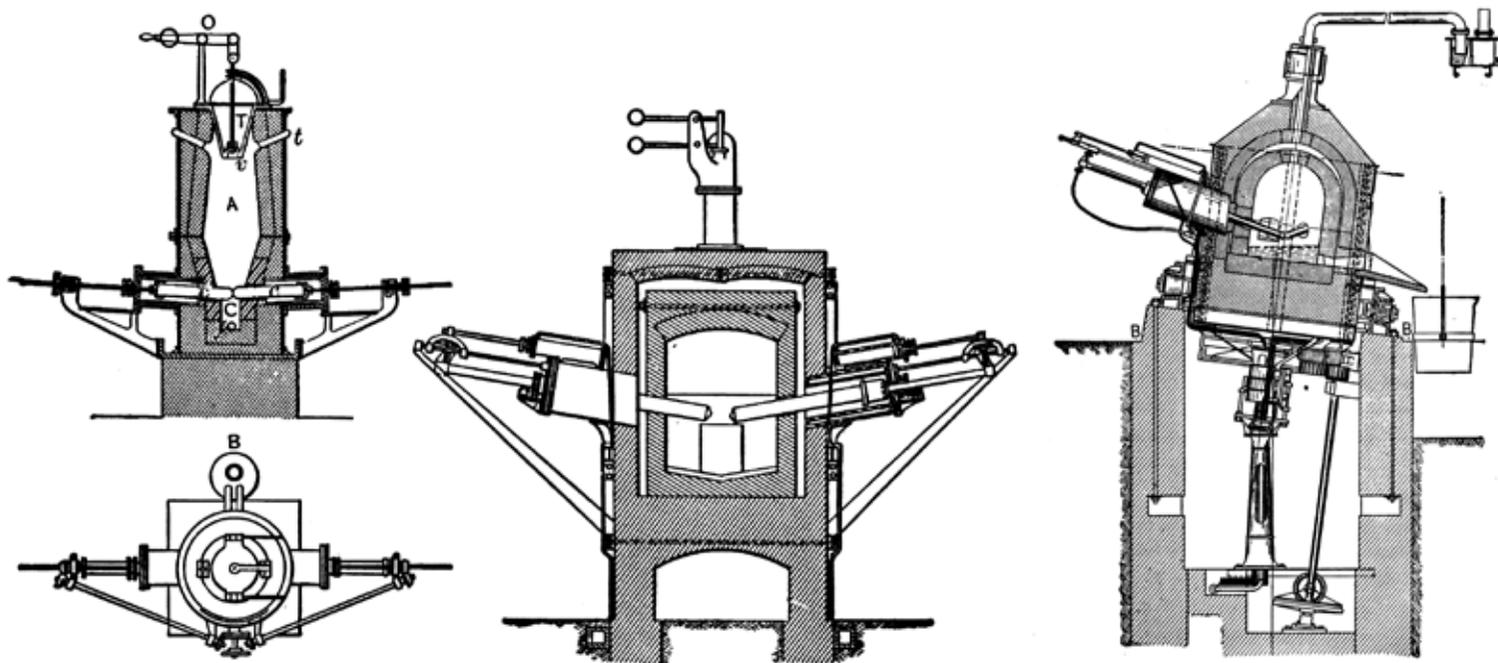
Высокая шахта первых рудовосстановительных печей позволяла удовлетворительно работать лишь на древесном угле, что ограничивало как область применения, так и мощность агрегатов. Появление низкошахтных печей конструкций Хельфенштейна и Келлера устранило это ограничение и позволило строить мощные печи, работающие на коксе.

В 1890-е г. печи для производства карбида кальция работали на постоянном токе. В ходе плавки в качестве попутного продукта получался ферросилиций. Оксиды кремния, присутствующие в золе кокса, восстанавливались, и получался ферросилиций с низким содержанием кремния.

Применение постоянного тока вызывало существенные проблемы в работе рудовосстановительных электропечей, потому что в этом случае в результате электролитического процесса восстанавливается не только кремний, но и другие элементы. Ферросилиций, выплавленный на постоянном токе, содержал заметное количество алюминия и фосфора. Поэтому он рассыпался в порошок и под действием влаги разлагался с выделением фосфористого водорода – ядовитого газа. При перевозке ферросилиция на пароходах в начале 1890-х гг. имели место случаи смертельного отравления фосфори-

РАЗРЕЗ И ВНЕШНИЙ ВИД ОДНОФАЗНОЙ ПЕЧИ





Электропечи Стассано (слева направо): шахтная, низкошахтная, окончательный вариант

стым водородом, в связи с чем морской транспорт ферросилиция с содержанием 50 % кремния был некоторое время запрещён.

Другой технологической проблемой, вызванной электролитическим действием постоянного тока, было образование графитового блока, который тормозил процесс выпуска материала из печи. Для борьбы с образованием графитового блока применяли режим плавки, при котором полюса электрической подводки менялись через две-три недели.

Упомянутые сложности, связанные с применением постоянного тока, были настолько значительны, что переход на трёхфазный переменный ток стал крупнейшим прорывом в области ферросплавного и электросталеплавильного печестроения.

### Трёхфазные электропечи

Работы Н. Теслы и М.О. Доливо-Добровольского в области трёхфазного электрического тока (изобретение трёхфазного трансформатора и трёхфазного асинхронного электродвигателя – 1889-91 гг.) сделали возможным строительство трёхфазных электрических печей. Однако их путь в заводские цеха растянулся почти на 20 лет.

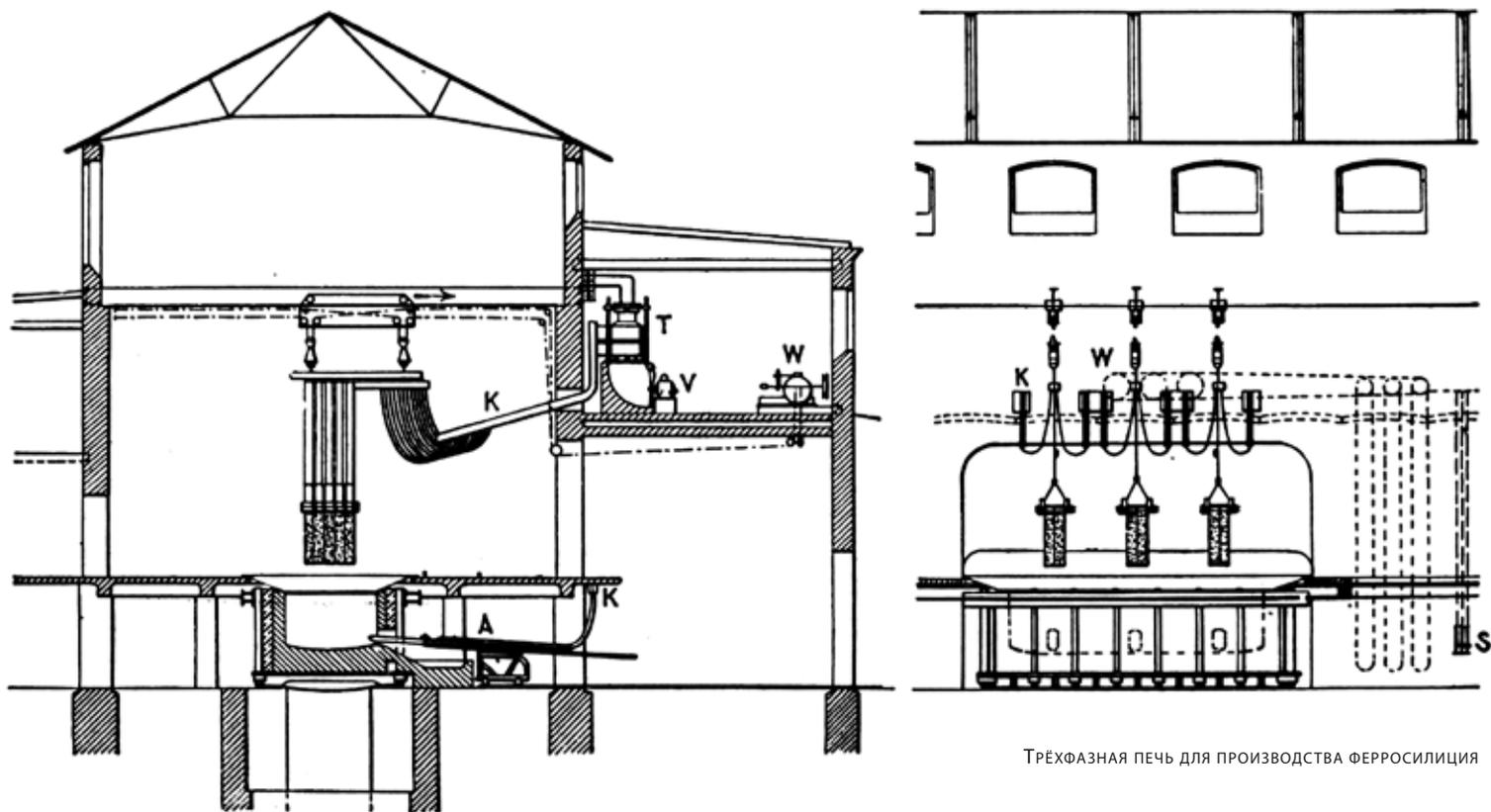
В 1898 г. итальянец Эрнесто Стассано разработал и построил промышленную рудовосстановительную электропечь косвенного нагрева. Печь была установлена на Северной Италии, богатой водными ресурсами, что позволяло получать наиболее дешёвую электроэнергию. Это была шахтная печь, в горне которой располагались электроды.

Однако способ оказался слишком дорогим даже для условий региона, обеспеченного гидроэнергией, и в дальнейшем Стассано отказался от использования шахты, переоборудовав печь для переплава стального скрапа.

Печи конструкции Стассано оказались прародителями целого ряда электроплавильных агрегатов. В 1918 г. в США на базе печи Стассано была разработана качающаяся однофазная печь фирмы «Детройт» для переплава меди и её сплавов. Конструкция этой печи оказалась настолько удачной, что сохранилась почти без изменения до наших дней, а многочисленные попытки её усовершенствования оказались неудачными. В 1912 г. П. Реннерфельдт (Швеция) видоизменил и усовершенствовал электропечь Стассано. Печь Реннерфельдта работала на трёхфазном токе, имела три электрода. Она нашла широкое применение для рафинирования стали и чугуна, плавки медных сплавов, никеля, серебра и алюминия.

Мощность рудовосстановительных печей постоянно увеличивалась, они выполнялись трёхфазными, с шестью электродами, питаемыми от трёх однофазных трансформаторов. На ферросплавных и карбидно-кальциевых заводах, на которых было установлено большое количество малых печей мощностью в несколько сотен киловатт, с применением мощных электростанций трёхфазного тока перешли к большим трёхфазным печам мощностью в несколько тысяч киловатт. При этом одна крупная трёхфазная печь заменяла от 12 до 36 малых однофазных.

Помимо применения трёхфазного тока, важнейшими достижениями на пути совершенствования рудовосста-



Трёхфазная печь для производства ферросилиция

новительных печей стали разработка бифилярных (двухпроводных) токоподводов и самоспекающихся набивных электродов (Содерберг, завод «Фискаа», Норвегия, 1919 г.). В результате к 1930 г. сформировалась «классическая» конструкция рудовосстановительной электрической печи для производства ферросплавов: печь круглого сечения с тремя электродами, расположенными по вершинам треугольника. Мощность рудовосстановительных печей достигла 24 тыс. кВт.

### НОВАЯ ЭРА ЛИТОЙ СТАЛИ

Автор одного из самых выдающихся изобретений в истории металлургии – Поль Эру (Paul-Louis-Toussaint Heroult, 1863–1914) - родился 10 апреля 1863 г. в Тюри-Аркюре. С первых курсов Парижской горной академии, в которую он поступил в 1882 г., Эру пытался применить свои знания в металлургии. 23 апреля 1886 г. он получает свой первый патент на изобретение электролизера (патент № 175.711 Франция, патент № 7426 Англия, 1887 г.).

Эру провел ряд новаторских опытов с электродами, что в итоге позволило полностью отказаться от внешнего нагрева ванны: «электрический ток производит достаточно энергии для того, чтобы поддерживать глинозем в расплавленном состоянии». Успешные научные исследо-

вания позволяют изобретателю получить новый патент «Способ получения алюминиевых сплавов нагревающим и электризирующим действием тока на окись алюминия», который находит применение в промышленности для выплавки алюминиевой бронзы.

Прототипом современных электросталеплавильных печей стала изобретенная Полем Эру в 1899 г. печь с двумя вертикальными электродами, подведёнными к металлической ванне. Конструкция отличалась простотой: в прямоугольную вытянутую ванну сверху через отверстие в съёмном своде входили два электрода, закрепленные в электрододержателях, перемещающиеся вверх и вниз вдоль вертикальных стоек и осуществляющие регулирование тока дуги. Печь загружали через торцевые дверцы, металл сливали через летку при наклоне печи. Ток между электродами замыкался через ванну, а дуги горели между электродами и металлом (или шлаком) – т. е. это была печь прямого действия.

Лабораторная печь Эру была построена в Савоие, в предгорьях Альп, поскольку в этом регионе имелась возможность производства дешёвой гидроэлектроэнергии. Первая промышленная печь была установлена в октябре 1900 г. на заводе «Ла Пра» и была предназначена для получения высококачественной стали.

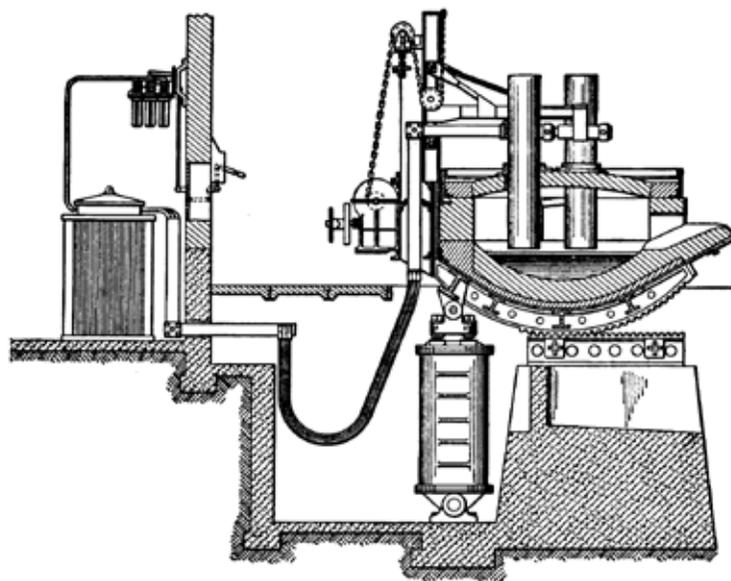


Поль Эру  
(PAUL-LOUIS-TOUSSAINT  
HEROULT, 1863–1914)

В 1904 г. однофазная электросталеплавильная печь конструкции Эру была установлена в США на заводе «Harcourt Steel Company». В июле 1906 г. «Канадская комиссия» сделала подробный доклад «О целесообразности переработки железных руд в районе Су-Сент-Мари в Онтарии электрическим способом». Комиссия ознакомилась со всеми известными в то время способами электроплавки. Её отчет получил широкий резонанс в среде металлургических специалистов ведущих промышленных стран. Спустя всего два года емкость печей Эру достигла 15 т (завод в South Works, Illinois Steel Company).

С этого момента начинается широкомасштабная установка электропечей сначала в США, а затем и в Европе.

Быстрому распространению печей Эру способствовал ряд их несомненных преимуществ в сравнении с другими способами производства литой стали:



Печь конструкции Поля Эру – прототип современных электропечей





Гидроэлектростанция начала XX в., снабжающая электрометаллургическое производство, Норвегия

- точное регулирование поступления тепла и выдержки металла при заданной температуре,
- снижение риска загрязнения металла вследствие отсутствия контакта с топливом,
- возможность проводить обработку металла при восстановительных, окислительных и нейтральных шлаках,
- точное регулирование состава выплавляемой стали в отношении легирующих элементов и неметаллических включений.

Таким образом, благодаря особым условиям в правильном пространстве электропечи, прежде всего восстановительной атмосфере и высокой температуре (до 5000 °С в зоне дуги), появилась возможность эффективно очищать металл от вредных примесей и получать легированную сталь.

Первая трёхфазная электродуговая печь ёмкостью 3 т была построена в Макеевке (Украина) в 1910 г. В том же году на заводе А. Тиссена были установлены две шеститонные трёхфазные печи, а в 1912 г. там же построили печь ёмкостью 25 т. Трёхфазные электродуговые печи Эру

изначально использовались для выплавки высококачественных легированных сталей с высоким содержанием легирующих - до 30 % хрома, до 15 % никеля и марганца.

Большое значение для развития дуговых сталеплавильных печей имело появление в 1910–1911 гг. свинчиваемых непрерывных угольных, а затем и графитированных электродов.

В 1910 г. во всех странах мира работали 114 электрических печей. В 1912 г. в Германии и США производство электростали превысило производство стали в тиглях. В 1915 г. дуговых сталеплавильных печей насчитывалось 213, а к началу 1920 г. ферросплавы и сталь выплавляли 1025 электропечей и 362 агрегата находились в стадии монтажа и наладки.

В 1920-х гг. Андрэ и Рикке разработали круговые диаграммы работы дуговых печей. Это позволило проанализировать режимы плавки и выявить основной недостаток агрегатов – работу на низком питающем напряжении (около 90–130 В). Повышение рабочего напряжения печных трансформаторов до

180–230 В позволило при тех же размерах печи и токоведущих частей резко увеличить ее мощность. Это привело к значительному сокращению времени расплавления металла, снижению тепловых потерь и повышению коэффициента полезного действия. В результате этих усовершенствований печи Эру за несколько лет заняли лидирующие позиции, обогнав печи более сложных конструкций, в том числе главного конкурента – печи конструкции Жиро, основной особенностью которых было наличие подовых электродов, которые, как считалось, способствовали дополнительному перемешиванию ванны жидкого металла.

В этот же период электропечи нашли широкое применение для получения ферросплавов, выплавки цветных металлов, а также в химической промышленности – для производства карбида кальция, фосфора и пр.

### ИНДУКЦИОННЫЕ ПЕЧИ

Индукционные печи позволяют получать более чистый металл, чем при плавке в дуговых печах. Принцип их работы основан на выделении тепла при прохождении тока через проводник, которым является сама металлическая шихта. Преимущественное распространение получили бессердечниковые печи, часто называемые высокочастотными. Емкость этих электропечей, наиболее распространенных в литейных цехах, составляет от 50 до 1000 кг. Печи питаются переменным током от генераторов, работающих на частоте 500–2500 Гц.

Главным преимуществом индукционных печей является отсутствие электродов. Благодаря этому плавка проходит без насыщения металла углеродом, в то время как в дуговой печи трудно выдерживать содержание углерода ниже 0,04 %. Кроме того, под действием магнитного потока (магнитных силовых линий) усиливается циркуляция расплава, что очень важно для ускорения химических реакций и получения однородного металла. Угар металлической шихты в индукционных электропечах не превышает 2 %, а в дуговых печах он составляет около 4 %. Применение индукционных печей позволило получать низкоуглеродистые стали специального назначения – магнитные, нержавеющие, инструментальные, жароупорные, кислотоупорные.

Принцип индукционного нагрева был запатентован почти одновременно в 1887г. Кольби в США и Ферранти в Англии. В феврале 1900 г. в Стокгольме на заводе Гизенгенского АО была введена в эксплуатацию индукционная печь емкостью 80 кг конструкции Келлина. Металл располагался в кольцеобразном пространстве, внутри которого помещалась первичная обмотка цепи трансформатора, а само кольцо являлось вторичной цепью.

Первые промышленные бессердечниковые индукционные печи появились в 1925 г., когда компанией «Аякс-Нортон» (Голландия) было установлено двенад-

цать 100 кВт печей емкостью 340 кг каждая для плавки серебряноникелевых и медных сплавов, которые использовались для изготовления монет. Первый заводской агрегат для выплавки стали был внедрен в 1926 г. в Англии фирмой «Эдгар Аллен и Ко» (Шеффилд). Печь мощностью 150 кВт имела номинальную емкость 227 кг. Спустя два года печи аналогичной конструкции фирма Heppenstale Ford and Knife Co (Питтсбург, США) стала использовать для выплавки высокохромистой стали для зубных протезов и наконечников перьев.

В 1930-х гг. конструкция индукционных печей трансформируется в направлении использования вакуума в целях максимально возможного удаления из стали водорода, азота и других газов. К 1940 г. емкость промышленных индукционных печей достигла 3630 кг.



Разливка расплава из индукционной печи

## Производство ферросплавов и легированной стали в США

Год	Ферросплавы		Легированная сталь, тыс. т	Доля легированной стали по отношению к общему объёму выплавки, %
	тыс. т	кг/т чугуна		
1909	294	9	181	0,76
1915	398	13	1021	3,17
1920	623	17	1660	3,94
1929	843	21	4000	7,00

## Производство ферросплавов в Швеции, т

Ферросплав	1921 г.	1922 г.	1924 г.	1925 г.	1926 г.
Ферросилиций	3 443	5 657	13 228	18 216	20 466
Феррохром	725	3 754	5 052	8 921	11 213
Силикошпигель	520	372	2 238	1 348	4 065
Ферромарганец	–	54	41	53	63
Кремнеалюминий	294	34	52	313	400
Шпигель	–	–	–	64	326
Ферровольфрам				4	
<b>Итого</b>	<b>4 982</b>	<b>9 871</b>	<b>20 611</b>	<b>28 919</b>	<b>36 533</b>

### МЕТАЛЛУРГИЯ ЭЛЕКТРОПЕЧНЫХ ФЕРРОСПЛАВОВ

К 1920 г. во всех промышленно развитых странах практически все ферросплавы, за исключением ферромарганца, производились в электропечах. Масштабы их производства увеличивались быстрыми темпами, поскольку непрерывно росла потребность в легированных сталях специального назначения. В таблицах приведены данные, иллюстрирующие этот процесс для США (вплоть до Великой депрессии 1930 г.) и Швеции, которая располагала значительными ресурсами электроэнергии и много ферросплавов производила на экспорт. Впрочем, аналогичный рост производства ферросплавов наблюдался и в других западноевропейских странах.

Ферросилиций (наряду с ферромарганцем) являлся наиболее употребляемым ферросплавом в производстве всех сортов стали (кроме «кипящей» мартеновской стали).

Кроме применения в качестве сильного раскислителя ферросилиций широко использовался для получения специальных сталей с высоким содержанием кремния. На первых порах ферросилиций выплав-

ФЕРРОСИЛИЦИЙ



лялся преимущественно в печах, построенных для выплавки карбида кальция, на ряде мелких заводов Франции, Австрии и Швейцарии. В 1903 г. был основан синдикат по производству всех сортов ферросилиция под руководством Compagnie Generale d'Electrochimie, охватывающий Германию, Францию и Австрию. Затем производство возникло в США, Швеции и Норвегии. В 1920-30 гг. лидерами в производстве ферросилиция были США, Канада, Скандинавские страны, Франция, Италия.

В производстве стали применялся ферросилиций как бедный, с содержанием 12-13 % кремния, так и богатый, содержащий от 45 до 90 %. Согласно принятой в СССР в 1931 г. классификации (по аналогии с европейскими стандартами) ферросилиций производился четырех сортов, отличающихся содержанием кремния: 13 %-ный ферросилиций производился в доменных печах и использовался в мартеновской плавке для раскисления металла. Остальные сорта выплавлялись в электропечах. Большое количество высокопроцентного ферросилиция расходовалось на получение ферросплавов (ферромарганца, хрома, ванадия) с низким содержанием углерода путем силикотермической реакции, например:  $2Cr_2O_3 + 3Si = 2Cr_2 + 3SiO_2 + Q$ .

Эта реакция идет с выделением тепла, как и большинство других силикотермических реакций, поэтому методы силикотермии имели особое значение в металлургии ферросплавов.

Промышленное производство в электропечах феррохрома было начато Полем Эру в 1899 г. Технология получила быстрое распространение и после Первой мировой войны весь феррохром стал выплавляться в электрических печах. Использовались высокосортные хромиты и восстановители: кокс, антрацит и древесный уголь. Уже в это время ясно обозначилась основная проблема процесса – склонность восстановленного хрома к насыщению углеродом за счёт образования карбидов. Необходимость использования высокосортных хромитов в процессе получения феррохрома и высокая кратность шлака заставили специалистов искать более совершенные и экономичные методы рафинирования.

Сорт	Содержание элементов, % (масс.)						
	кремний	углерод	марганец	фосфор	сера	кальций	алюминий
13 %	12-13	1,3	0,3-1	<0,20	<0,03	–	–
45 %	43-50	<0,15	<0,4	<0,06	<0,04	<0,3	1,0
75 %	72-80	<0,15	<0,4	<0,05	<0,05	<0,6	<2,5
90 %	87-95	<0,12	<0,2	<0,04	<0,04	<0,5	<1,0

Стоит отметить, что хотя электроплавка быстро заняла лидирующие позиции в производстве ферросплавов, однако она отнюдь не вытеснила полностью другие технологии извлечения легирующих элементов из руд (кроме тигельного способа). Если «забытая» технология произ-



водства ферросплавов оказывалась вдруг экономически эффективной в сложившихся условиях, её в ряде случаев брали на вооружение. Так, уходящий корнями в глубокую древность способ производства природнолегированного металла использовался, к примеру, на рубеже XX столетия в России, когда в стране усиленными темпами строились железные дороги. Рельсы уральского Катав-Ивановского завода обладали настолько высоким качеством, что не известно ни одного случая рекламаций на них. Катав-ивановский чугун выплавлялся из чистых по сере и фосфору высокожелезистых руд, к которым добавлялась бедная по железу местная руда, содержащая хром и марганец. Полученный из неё природно-легированный чугун продували воздухом в бессемеровском конвертере, получая природнолегированную хромомарганцовистую рельсовую сталь. \*



ФЕРРОХРОМ

## Приложение

# Легендарные Боги-кузнецы

То был Гобан Саэр, и чудеса  
Его не канули в былых веках;  
Он в горы уходил, под небеса,  
И реки в дол спускал с кайлом в руках.  
Шил для судов громадных паруса  
И знание поселял в людских умах.

**Томас Д'Арси М'Ги, ирландский поэт.**

### СЕФЛАНС

Этрусский пантеон включает множество богов, но в большинстве своем эти боги известны лишь по именам и по месту, занимаемому на бронзовой модели гадательной печени, обнаруженной в 1877 г. в г. Пьяченце.

В этрусском пантеоне принято выделять так называемую верховную триаду божеств – это громовержец Тин, его супруга и высшее женское божество Уни и богиня ремесел Менрва. Свиту громовержца Тина составляли двенадцать богов, в число которых входил бог-кузнец, имевший два имени Сефланс и Велханс (имя Велханс указывает на происхождение от древнейшего критского бога Фелхана). Все эти боги со временем «переместились» в римский пантеон, изменив имена в соответствии со строем латинского языка и по аналогии с греческими божествами: Тин стал Юпитером (Зевс), Уни – Юноной (Гера), Менрва – Минервой (Афина), Сефланс – Вулканом (Гефест) (так трансформировалось его второе имя – Велханс).

Бог Сефланс считался хозяином подземного огня, был покровителем кузнечного дела. Поэтому Сефланса часто изображали на монетах из Популонии - города, в окрестностях которого добывали в больших количествах железную руду. В образе кузнеца перед пылающим горном Сефланса можно увидеть на гемме из некрополя Тарквиний. На зеркале из Болонского городского музея, относящемся к 300-м гг. до н.э., Сефланс изображен с двойным топориком – символом царской власти, что говорит о его большом значении в этрусском пантеоне. На этом же зеркале показано рождение Менрвы из головы Тина, подобное греческому мифу о рождении Афины из головы Зевса. Известно изображение Сефланса рядом с богиней плодородия Туран на зеркале из Корхиано, находящемся в музее



Бронзовая модель печени из Пьяченцы



Сефланс и его атрибуты. Монета из Популонии

Виллы Джулия. Ещё на одном зеркале воспроизведена сцена, в которой Сефланс освобождает богиню Уни, привязанную к трону. Этот мотив аналогичен освобождению Геры Гефестом из плена чудесного кресла.

Имя Велханс имеет древнейшее происхождение. Оно восходит к индоевропейскому корню «wel», обозначающему «партнёра», в зависимости от обстоятельств - противника или помощника громовержца. От имени Велханса (Велхана) происходит имя римского бога-кузнеца Вулкана. Другие божественные кузнецы с тем же корнем в имени – это англосаксонский бог Вайланд, изготовивший неуязвимую броню богов, и германский божественный кузнец Вёлунд.

Этрусски верили в то, что бог-кузнец может выковать что угодно, в том числе удачу, счастье, бессмертие. Известны указания римских авторов на то, что магическими обрядами, связанными с культом Велханса/Сефланса, можно отсрочить беду, преследующую человека, на 10 лет, а для страны – на целых 30 лет.

Велханс/Сефланс не просто бог-кузнец, он весьма загадочный этрусский бог. Согласно Сервию он был богом молнии и владел небесным огнем. На небе Сефланс располагался рядом с Юпитером/Тином, что особенно сближает его с громовержцем.

## ВУЛКАН

Плутарх и Дионисий Галикарнасский полагали, что введение культа Вулкана связано с соправителем Ромула (легендарного основателя Рима) – Титом Тацием, который постоянно обращался к богу Вулкану, считая его своим покровителем. По одной из версий о смерти Ромула, он был убит сенаторами именно в храме Вулкана во время богослужения.

В центре Рима на возвышении над Форумом находилась священная площадка – вулканал. Вулканал считался одним из старейших священных сооружений города, по мнению Плиния, его основал сам Ромул, а алтарь воздвиг Тит Таций. Вулканал рассматривался как священный центр - очаг государства, там долгое время проводились заседания Сената.

В III в. до н.э., храм Вулкана как божества, связанного с огнем и пожарами, был перенесён на Марсово поле за пределы померия – границы, обозначавшей священные пределы города Рима. Этот храм просуществовал до 214 г. н.э. В дальнейшем храмы Вулкана также располагались вне городских пределов. Ещё одно святилище Вулкана было построено после Великого пожара 64-го г. н.э. императором Домицианом на холме Квиринал.

Связь Вулкана с кузнечным делом в Риме, несмотря на отождествление этого бога с греческим Гефестом, была достаточно слаба, его почитали, прежде всего, как бога разрушительной и животворящей силы огня. К имени Вулкана римляне прибавляли эпитет Мульцибер (т.е. мягчитель, плавильщик). Также он считался покровителем виноградной лозы, так как на вулканической почве она лучшие плодоносит (отсюда возникло предание об особой дружбе Гефеста с Дионисом). Вместе с Вулканом почиталась Майя – древнеиталийская богиня весны, покровительница плодородной земли, которая считалась его женой.



Карон Антуан. Триумф Зимы, ок. 1568, Музей Фонтенбло (Вулкан замыкает шестивие)

В честь Вулкана ежегодно проводился праздник Вулканалий, по легенде также учреждённый Ромулом. Его отмечали 23 августа, когда летняя жара создавала максимальную угрозу возгорания зерна в хранилищах. Во время праздника разжигались костры, на которых готовились жертвенные рыбы и животные. В течение дня проводились увеселительные мероприятия, а вечером римляне приступали к вечерним работам при свете свечей, что символизировало пользу огня. Вулкану был посвящён один из двух еже-

годных праздников освящения труб (Tubilustrium), который отмечался 23 мая. В жертву Вулкану приносили животных рыжей масти, а также оружие побеждённого врага.

В мистических учениях западноевропейского Средневековья Вулкан символизировал страсти, овладевая которыми человек формирует свою духовную энергию. В цикле картин «Ars Symbolica» Иеронима Босха (около 1510 г.) изображение подземного огня сопровождается девизом: «Gelat et ardet» (лат. «Холодит и обжигает» – девиз оружейников), что созвучно известному определению *coincidentia oppositorum* (лат. совпадение противоположностей) Николая Кузанского (около 1450 г.). Кроме того, образ Вулкана трактовали в качестве символа «устрашающего извержения», следующего за периодом долгого, потаённого труда; разрядки после напряжения. Фигура Вулкана часто использовалась в аллегориях огня и зимы.

В живописи позднего Итальянского Возрождения и Барокко, а также в академическом искусстве XVI–XIX вв. образ Вулкана трактуется весьма прозаично – как правило, изображаются сцены из мифов о древнегреческом боге Гефесте, которого по-латыни называют Вулканом.

### ГОИБНИУ

Кельтского бога – покровителя кузнечного ремесла в Ирландии звали Гоибниу, а в Уэльсе – Гофаннон (оба имени происходят от староирландского «goba» – «кузнец»). Гоибниу был первым из триады богов-ремесленников, два других – это плотник Лухта и медник Кредне. Гоибниу выковывал наконечники копий тремя ударами молота, Лухту вырезал древки для копий тремя взмахами топора, а Кредне прикреплял наконечник к древку настолько плотно, что его не надо было крепить бронзовыми заклепками. Также эта троица добыла на северных островах магическое копьё Ассал для солнечного бога Луга – покровителя искусств и ремёсел. Одно из прозвищ Луга – Самилданах (ирл. Samildanach) означает «Многоискусный», «Искусный во многих ремеслах».

Гоибниу имел все основные черты, характерные для божественных кузнецов. Как и все высшие боги кельтского пантеона, он принадлежал к Туата Де Дананн – клану богини Дану. Во время войны богов между кланами богини Дану и Фир Болг, в который входили фоморы – существа, представляющие демонические, тёмные силы хаоса, Гоибниу вместе с Лухту и Кредне изготовил богам доспехи и оружие. Оружие обладало волшебным свойством: тот, кто был им ранен, не мог поправиться. С его помощью клан светлых сил одержал победу над фоморами во второй, решающей битве при Маг Туиред (Мойтуре).

Гоибниу наряду с Дагда, богом земли, мудрости и богатства, считался владельцем магического неистощимого котла. Особенно важной была роль Гоибниу как хозяина Потустороннего Пира – «Пира Гоибниу». Участники праздника становятся неподвластны болезням, старости и смерти, отведав чудесного опьяняющего напитка, дарующего вечную жизнь (аналогично Гефесту, разносящему гостям на олимпийских пирах нектар – божественный напиток бессмертия). Отзвуком этого древнего мифа о божественном кузнице – хозяине потустороннего пира является странная, на первый взгляд, статья в законах средневекового Уэльса, согласно которой придворному кузнецу первому подавали напитки на королевских пирах.

Женой Гоибниу была Морриган – одна из триады богинь войны и смерти. Морриган также была богиней сексуальной магии, используемой, в частности, как средство воинской инициации.

Помимо своей главной функции, Гоибниу пользовался у ирландцев репутацией мастера ещё одного характерного для бога-кузнеца ремесла, а именно – строительного дела. В этой ипостаси он был известен под именем Гобан Саэр, что означает «Гоибниу Зодчий», и о его волшебном искусстве по всей Ирландии ходили самые фантастические легенды. Именно Гобан Саэру приписывается возведение в Ирландии круглых башен, а христианские клирики ещё более увеличили его и без того широкую популярность, провозгласив его зодчим бесчисленных церквей. «Его работы» сохранились во многих кафедральных соборах и церквях Ирландии.



Гоибниу – бог-кузнец кельтов

Легенда о Вёлунде,  
изображённая на  
«Клермонском  
ларце», Британский  
музей, VII-IX вв.



Также с металлами у кельтов была связана Бригита (Бригантия) – дочь бога Дагды. Она считалась богиней огня и очага, а также поэзии, которую древние гэлы считали нематериальной, сверхъестественной формой огня. Кроме того, Бригита покровительствовала врачеванию, помогала при родах. Иногда под именем Бригиты подразумевают три женских божества, покровительствующие мудрости, искусству исцеления и кузнечному мастерству. В христианской традиции она стала почитаться как святая Бригитта (Бриджит).

### ВЁЛУНД

Особенно значимую роль кузнечное ремесло играет в мифах народов Северной Европы, с которыми тесно смыкаются мифы и легенды германских племён. В этих мифах работой с металлами заняты крошечные подземные существа – «светлые» цверги или «тёмные» альвы (эльфы). Их трудом созданы многие чудесные вещи – атрибуты северных богов, в том числе Мьёлльнир – молот громовержца Тора. Позднее их стали называть гномами или карликами. Повелителем северных гномов был бог – кузнец Вёлунд.

Скандинавские и германские мифы рассказывают, что, основав небесное селение Асгард, боги (асы) первым делом поставили в нём горн, чтобы ковать из железа инструменты. При этом Вёлунд не упоминается среди богов, перечисленных Снорри Стурлусоном в «Младшей Эдде», однако «Старшая Эдда» содержит «Песнь о Вёлунде» (Völundarkviða), из которой, в основном, и известно об этом боге.

Из «Песни о Вёлунде» следует, что он был сыном конунга финнов, искусным кузнецом и князем альвов. Кузнечному мастерству он учился у хранителя источника мудрости великана – кузнеца Мимира, и гномов из горы Каллав. Таким образом, Вёлунд, как и многие другие божественные кузнецы, связан с мудростью и тайным знанием.

Женой Вёлунда стала лебединая дева (валькирия) Хервёр Чудесная, которая родила ему сына, а затем покинула Вёлунда, оставив в подарок кольцо. Затем, пока Вёлунд спал, его пленил конунг Свитьода (Швеции) Нидуд. Он изувечил Вёлунда, сделав хромым, и заточил на острове Севарстёд (Sævarstöð). Там Вёлунд должен был выковывать для конунга различные предметы. Кольцо его жены отдали дочери конунга Бёдвильд, сам же конунг носил его меч.

Воспользовавшись ситуацией, Вёлунд убил сыновей короля, когда они его тайком посетили, и изготовил из их черепов кубки, из глаз – драгоценности, а из зубов – броши. Кубки он отослал конунгу, драгоценности – его жене, а брошь – принцессе. Затем, когда дочь конунга принесла ему для починки кольцо, Вёлунд соблазнил Бёдвильд, зачав сына, и забрал кольцо. После этого Вёлунд, подобно греческому Дедалу, улетел с острова с помощью сделанных им крыльев или летательного аппарата.

В Британии известен Веланд (Weyland, Wayland, Weland, Watlende) – мифический бог-кузнец англо-саксонского пантеона, который попал в Британию вместе с переселившимся туда племенем саксов. Англичане связывают Вёлунда с погребальным курганом в Оксфордшире (Беркшире), так называемым Вейленд-Смити (англ. Wayland's Smithy – Кузница Вейланда). Эта достопримечательность была освящена ещё саксами, но сам курган – мегалитический, то есть относится к гораздо более раннему периоду. Существовало поверье, что, если оставить на ночь рядом с холмом коня и серебряную монетку, то наутро он окажется подкованным.

Позднее имя Вёлунда стало своеобразным «знаком качества» героического оружия – в некоторых легендах ему приписывалось создание Экскалибура – меча короля Артура, мечей Бальмунга и Жуайеза, принадлежавших Зигмунду и Карлу Великому а также меча Беовульфа. Также Вёлунд изготовил меч Миминг для своего сына Хайме:

Это брат Миминг –  
Король всех мечей,  
Выкован мудрым Вёлундом –  
Сверкает он всех сильней.

С распространением христианства в Европе образ Вёлунда претерпел те же изменения, что и многие другие боги языческого пантеона, которые превратились из персонажей божественных в фольклорные и демонические. Его кузнечная деятельность, которая была связана с подземным миром, обусловила то, что в христианскую эпоху он трансформировался в персонаж, связанный с дьяволом и, даже, в самого дьявола.

Гёте при создании трагедии «Фауст» использовал старинную немецкую средневековую легенду о докторе Фаустусе, продавшем душу дьяволу. Дьявол при этом выступает под именем «Мефистофель», однако в сцене Вальпургиевой ночи, требуя от нечисти дать ему дорогу, восклицает: «Дворянин Воланд идёт!» («Junker Völand kommt!»). Гёте упоминает это имя лишь однажды, и в русских переводах оно обычно опускается (присутствует в прозаическом переводе А. Соколовского 1902 г.). Однако именно из «Фауста» имя Воланда со всеми характерными атрибутами этого персонажа (в первую очередь – хромотой) перекочевало в роман Булгакова «Мастер и Маргарита».

В «Сказках Старой Англии» Редьярда Киплинга есть рассказ «Меч Виланда», в котором Киплинг возвращается к классическому скандинавскому образу Вёлунда. Шекспировский эльф Пак рассказывает, как прибывший на острова грозный бог Виланд становится мелким английским божком Вейландом. В конце концов, Виланд вынужден был работать кузнецом у дороги, подковывая лошадей смертным людям. В этом эпизоде используется легенда о кургане Вейленд-Смити.

## **ИЛЬМАРИНЕН**

В ранних версиях мифа «Калевала» (сохранившихся у народа ижоры) финский бог-кузнец Ильмаринен являлся демиургом, участвующим в сотворении мира, позднее его функции ограничились чисто кузнечными. Образ Ильмаринена восходит к финно-угорскому божеству неба, ветра, воздуха (финское слово «ильма» переводится как «воздух, небо, погода»). Согласно «Калевале» железо, рождённое из молока трёх дев, созданных верховным богом Укко, убоялось огня и спряталось в болотах и горах. Только с рождением Ильмаринена появилась возможность использования железа:

Вот родился Ильмаринен,  
Он родился, подрастает.  
На горе углей родился,  
Рос на угольной поляне,  
И в руке он молот держит,  
В кулаке щипцы сжимает.  
Тёмной ночью он родился,  
Днём уж кузницу он строит,  
Место кузнице он ищет,

Где мехи свои поставить...  
 ...Испугалось железо,  
 В ужасе оно трепещет  
 Пред безумной силой жара,  
 Как услышало те речи.  
 И кузнец тот Ильмаринен  
 Молвил: «Этого не будет:  
 Не сожжет огонь родного,  
 Соплеменников не тронет.  
 Ты пойдешь к огню в жилище,  
 Где живёт, укрывшись, пламя:  
 Там ты вырастешь прекрасно,  
 Там ты сделаешься сильным,  
 Станешь ты мечом для мужа  
 И застежками для женщин!»

По одной из версий мифа, Ильмаринен сделал кузницей свою рубаху, из шубы сделал меха, в качестве молота использовал свой локоть, а колени использовал как наковальни, после чего стал ковать «кончики иглонок женских, острия мечей геройских». В нартском эпосе также есть легенда о «трёх руках» – частях тела кузнеца. Правая рука – молот, левая – клещи, левое колено (или оба колена) – наковальня. Нартский бог-кузнец Тлепш первоначально ковал железо голыми руками, ковал железо руками и алтайский шаман Ак-гая, «употребляя пальцы вместо щипцов, а кулак вместо молота». Кузнецы одного из африканских племён должны были иметь в кузнице статуэтку однорукой женщины, другая рука которой, согласно легенде, стала кузнечным молотом.

Главным эпическим подвигом Ильмаринена стало создание Сампо – аналога чудесной меленки из русской сказки – источника благополучия и изобилия. Завлечённый обманным путём в северную страну Пóхьёлу, Ильмаринен делает для её хозяйки Сампо в качестве свадебного выкупа «взяв конец пера лебедки, молока коров нетельных, от овечки летней шерсти, ячменя зерно прибавив»:

Ильмаринен, тот кователь,  
 Вновь на третий день нагнулся  
 Посмотреть, что получилось  
 На пылавшем дне горнила;  
 Видит: Сампо вырастает,  
 Крышка пёстрая возникла.  
 И кузнец тот, Ильмаринен,  
 Вековечный тот кователь,  
 Стал тогда ковать скорее,  
 Молотком стучать сильнее  
 И выковывает Сампо,  
 Что муку одним бы боком,  
 А другим бы соль мололо,  
 Третьим боком много денег.  
 Вот уже и мелет Сампо,  
 Крышка пестрая вертится:  
 И с рассвета мелет меру,  
 Мелет меру на потребу,  
 А другую – для продажи,  
 Третью меру – на пирушки.

Трансформация мифологических сюжетов наглядно демонстрирует, что в сознании людей бог-кузнец постепенно превращается из творца мира в персонаж, деятельность которого обеспечивает благоденствие общества. \*

## Приложение

# Вулканы девятнадцатого столетия

Его молот отличается такою значительною силою и легкостью управления, что не будь этого орудия, нам бы пришлось отказаться от многих гигантских инженерных работ, считающихся в числе чудес нашей эпохи. Молот этот до того точен и легок, что может сбить кончик яйца в стакане, поставленном на наковальне, не разбив стекла; между тем, как он наносит удары в десять тонн с такою силою, что потрясает ими окрестность.

**Томлинсон, профессор Эдинбургского университета,  
из статьи в журнале «Engineer»**

### РЫЧАЖНЫЕ МОЛОТЫ В ЭПОХУ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ

**В НАЧАЛЕ XIX В. КОВКА ОСТАВАЛАСЬ ГЛАВНЫМ МЕТАЛЛООБРАБАТЫВАЮЩИМ** процессом. Однако применявшиеся в это время рычажные молоты с гидравлическим приводом вследствие недостаточной мощности и производительности уже не удовлетворяли требованиям тяжелой индустрии. Высота подъема бойка у рычажных молотов определялась системой зацепления рычага (молотовища) с кулаками ведущего вала. С увеличением размера поковки расстояние от бойка до обрабатываемой заготовки неизбежно сокращалось, движущиеся части молота не успевали накопить необходимую кинетическую энергию, и сила удара по заготовке уменьшалась. Приходилось подвергать поковку многочисленным обжатиям, в процессе которых она остывала, не успевая получить необходимые конечные размеры и форму. Поэтому поковку многократно нагревали в кузнечных горнах, что приводило к высокому расходу топлива, потерям времени и увеличению угара металла.

Многие изобретатели пытались сконструировать кузнечный молот, приводимый в действие энергией пара. Одним из первых, кто пробовал решить эту проблему, был сам изобретатель универсальной паровой машины Джеймс Уатт. Свой паровой молот он запатентовал в 1784 г. Сущность изобретения заключалась в приспособлении паровой машины, снабженной маховым колесом, для привода рычажного молота. Уатт внес в конструкцию ряд усовершенствований, однако кинематическая часть молота осталась практически без изменений, что свело на нет возможности парового двигателя. В итоге практического распространения паровой молот Уатта не получил.

Дорогу паровому молоту в металлургии проложил Джеймс Несмит, однако путь оказался тернистым. Несмит подробно описал его в «Автобиографии», вышедшей в Лондоне в 1883 г.

### АРИСТОКРАТИЧЕСКАЯ ФАМИЛИЯ

Джеймс Несмит принадлежал к древней шотландской аристократической фамилии Несмитов (Насмитов) де Поссо из Пибльшира. Примечательно происхождение этой древней династии и её родового герба. Согласно ле-

Джеймс Несмит принадлежал к древней шотландской аристократической фамилии



генде, во времена распрей между Шотландскими королями и могущественными графами Дуглас произошла стычка в окрестностях одной из пограничных деревень. Приверженцы короля были рассеяны. Один из них укрылся в кузнице. Едва он успел переодеться, натянуть кожаный фартук и для виду приняться за кузнечную работу, как преследователи ворвались в дом. Мнимый кузнец работал так неумело, что рукоятка молота сломалась в его руке. Враги заметили это, и бросились на него с криком: «Ye'ge nae smyth» (староангл.: Вы не кузнец)!

Скрываться далее не имело смысла: мнимый кузнец схватился за меч и отважно защищался до тех пор, пока подоспевший королевский отряд не пришел ему на помощь. В итоге королевское войско превратило временное поражение в блестящую победу. Король даровал своему приверженцу землю, титул и прозвище «Nae Smith'у». Новоявленный аристократ избрал своим гербом меч между двумя молотами со сломанными рукоятками, а девизом изречение «Non arte sed Marte», как бы отрекаясь от кузнечества, которое не далось ему, и утверждая преимущества военного искусства.

Однако и будущий изобретатель парового молота, и его ближайшие родственники представляли собой совершенное противоречие с именем и девизом своей фамилии. Отец Джеймса Несмита, Александр, старший брат, Патрик, и сестры были прекрасными художниками. Джемс, самый младший из семейства, также наследовал талант к живописи, хотя его имя в итоге стало известно, как железных дел мастера и изобретателя. Он родился в Эдинбурге, 19-го августа, 1808 года. Внимание Джеймса рано привлекла механика, в значительной степени из-за того, что она была любимым увлечением отца, который хорошо знал архитектуру и сам много работал на токарном станке.

## МОДЕЛЬ ДЛЯ МОДЛЕЯ

Джеймс получил начальное образование в элитной «High School» Эдинбурга. «На мое счастье, — писал Несмит в автобиографии, — мне случилось иметь школьным товарищем сына литейщика. Все свободное от занятий время я проводил в мастерской его отца, где с наслаждением следил за процессами формовки, плавки железной руды, литья чугуна,ковки, изготовления моделей и других кузнечных и литейных работ. Хотя мне было всего двенадцать лет, я хотел, во что бы то ни стало, принимать участие в работах; причем горячим усердием старался восполнить недостаток физических сил».

«В те времена, когда зажигательные спички еще не были известны, обладание огнивом и трутом давало большой вес в школе. Это навело меня на мысль переделывать в огнива старые напильники в мастерской моего отца. Я закаливал их, и огнива выходили у меня такие отличные, что я вскоре прославился между моими школьными товарищами; многое прощалось мне из-за них самим гувернером, который при всем строгом сознании своего долга, всегда смягчался при виде сделанного мною огнива».

«Когда мне было пятнадцать лет, я сделал первую попытку смастерить паровую машину. Модели паровых машин, столь обыкновенные в наше время, были тогда большою редкостью: — доставать такие модели было крайне затруднительно, а между тем спрос на них постоянно возрастал; я с жаром принялся за их изготовление ... Вместе с этим я делал и модели отдельных частей паровой машины в разрезе, с целью представить наглядно как внутреннее, так и внешнее движение всех частей. Деньги, выручаемые мною за эти модели, я употреблял на оплату билетов на лекции по философии, естествознанию и химии, читаемые в Эдинбургском университете».

«У меня было такое сильное желание идти вперед по начатому пути, что я решил поискать работу на какой-нибудь значительной фабрике; более всего хотелось мне попасть на завод Модлея, в Лондоне, который мне представлялся лучшим из всех. Я сделал небольшую паровую машину, где все части, включая литье и ковку, были изготовлены мною одним, без всякой посторонней помощи. Чертежи, приготовленные мною для Модлея, были также исполнены очень тщательно. 19 мая 1829 года, я отправился в Лондон на небольшом судне и через восемь дней увидел в первый раз многолюдную столицу. Собравшись с духом, я отправился к Модлею и в нескольких словах рассказал ему о цели моего прибытия. Он изъявил желание посмотреть на мою работу. Когда он

пришел ко мне, то я увидел по веселому выражению его лица, которого никогда не забуду, что я достиг своей цели. Он назначил меня своим помощником; и я попал в его мастерскую, которая для меня казалась настоящим раем, так как там стояли модели различных усовершенствованных машин и изобретенных им инженерных орудий».

«После смерти Генри Моддея в 1831 году, я перешел на службу к его достойному компаньону мистеру Джошуа Фильду и до конца года занимал у него должность чертежника; затем я вернулся в Эдинбург с целью изготовить небольшой запас инструментов, и открыть свою собственную мастерскую».

### МЕЖДУ КАНАЛОМ И ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГОЙ

В июне 1834 года Несмит и его компаньон Гаскелл приобрели участок земли в Патрикрофте - пригороде Манчестера. В это время «капитал» Несмит составлял 63 фунта стерлингов и еще 500 фунтов стерлингов, взятых в кредит у местных банкиров.

С одной стороны арендованного на 99 лет участка располагался канал, а с другой Ливерпульско-Манчестерская железная дорога. К концу месяца были установлены деревянные навесы, и «стук молотов о наковальни огласил окрестность». Началось строительство Бриджуотерского литейного завода. «Тут работал я самым усердным образом до 31 декабря 1856 года; а затем удалился на покой, чтобы насладиться плодами трудолюбивой жизни, во все продолжение которой я был вполне счастлив, благодаря той горячей любви, которую я всегда чувствовал к своей профессии. Могу сказать без хвастовства, что оставил-таки после себя некоторые полезные результаты моей деятельности в тех изобретениях, с которыми связано мое имя, и которые немало способствовали удачному исполнению многих величайших механических работ нашего времени». Если бы Несмит не изобрел ничего другого кроме парового молота, то и этого одного было бы достаточно, чтобы прославить его. Между тем изобретение это стало, в известной степени, стечением обстоятельств.

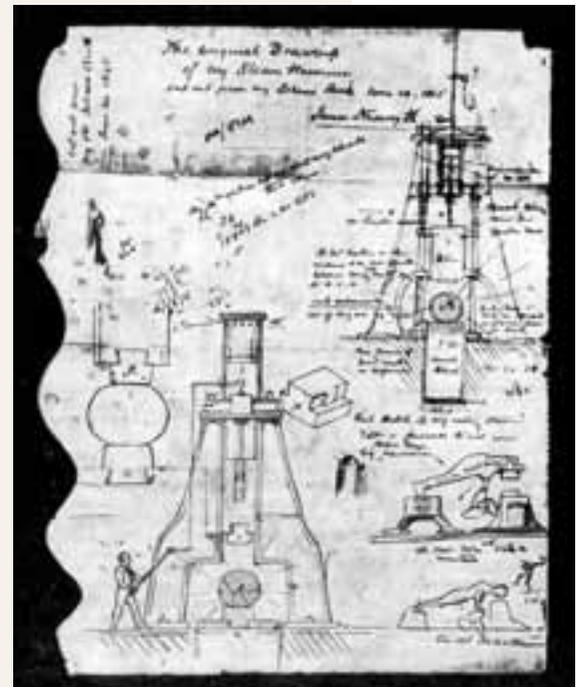
### ОСЬ ДЛЯ «GREAT BRITAIN»

В начале 1837 года дирекция компании пароходства «Great Western» приняла решение о строительстве огромного парохода «Great Britain». Предполагалось оснастить судно гребными колесами, которые должны были располагаться на громадной оси, размеры которой превосходили все, что было выковано когда-либо прежде. Главным инженером проекта был великий Брюнель, а за кузнечные работы отвечал Франциск Гумфрис. Бриджуотерскому заводу удалось получить небольшой подряд на поставку мелкого оборудования для будущего лайнера и у Несмита с Гумфрисом в процессе совместной работы сложились товарищеские взаимоотношения.

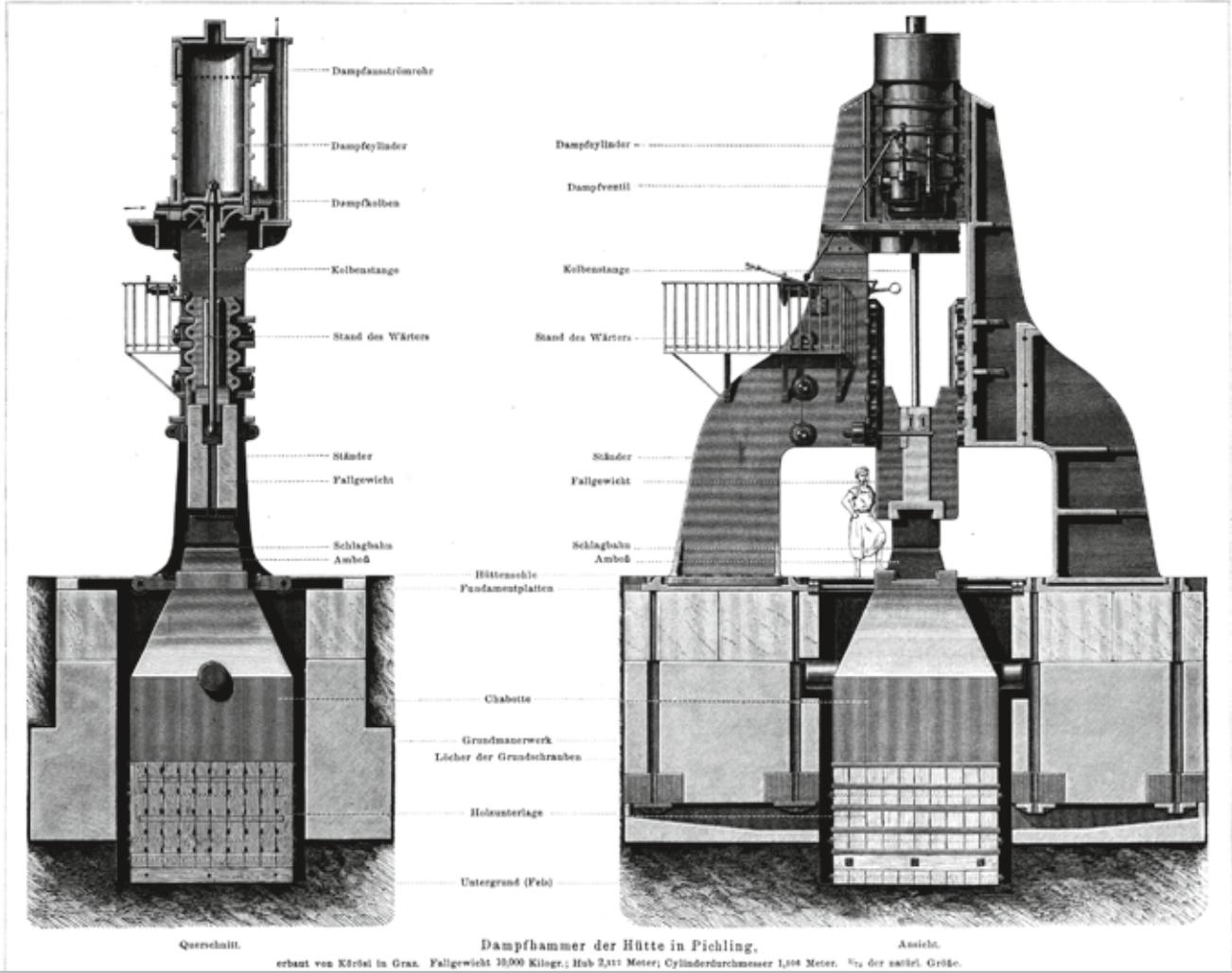
Гумфрис обратился к «значительнейшим фирмам», для того чтобы договориться об условиях, на которых они взяли бы выковать ось для «Great Britain», но к его «великому смущению», ни одна из этих фирм не проявила интереса к его предложению. В затруднении он написал Несмиту 24 ноября 1838 года письмо, в котором сообщал об этом непредвиденном препятствии: «я убедился, — писал Гумфрис, — что во всей Англии и Шотландии не найдется такого сильного молота, которым можно было выковать ось для машины на пароходе «Great Britain». Что мне делать? Как вы мне посоветуете, не сделать ли ее чугунную?»

Согласно тексту «Автобиографии», письмо это привело Несмита в раздумье: по какой причине существующими молотами нельзя выковать железную ось в тридцать дюймов длины? Вероятно потому, что они слишком малы и скорость падения и удар слишком незначительны. Даже когда самый большой рычажный молот поднят до максимально возможной высоты, расстояние между ним и наковальней так мало, что когда на наковальню положена вещь значительных размеров, т. е. тогда, когда требуется наибольшая сила удара, молот почти не может действо-

Эскиз НЕСМИТА



## Hammer (Dampfhammer).



Querschnitt.

Dampfhammer der Hütte in Pichling.

Ansicht.

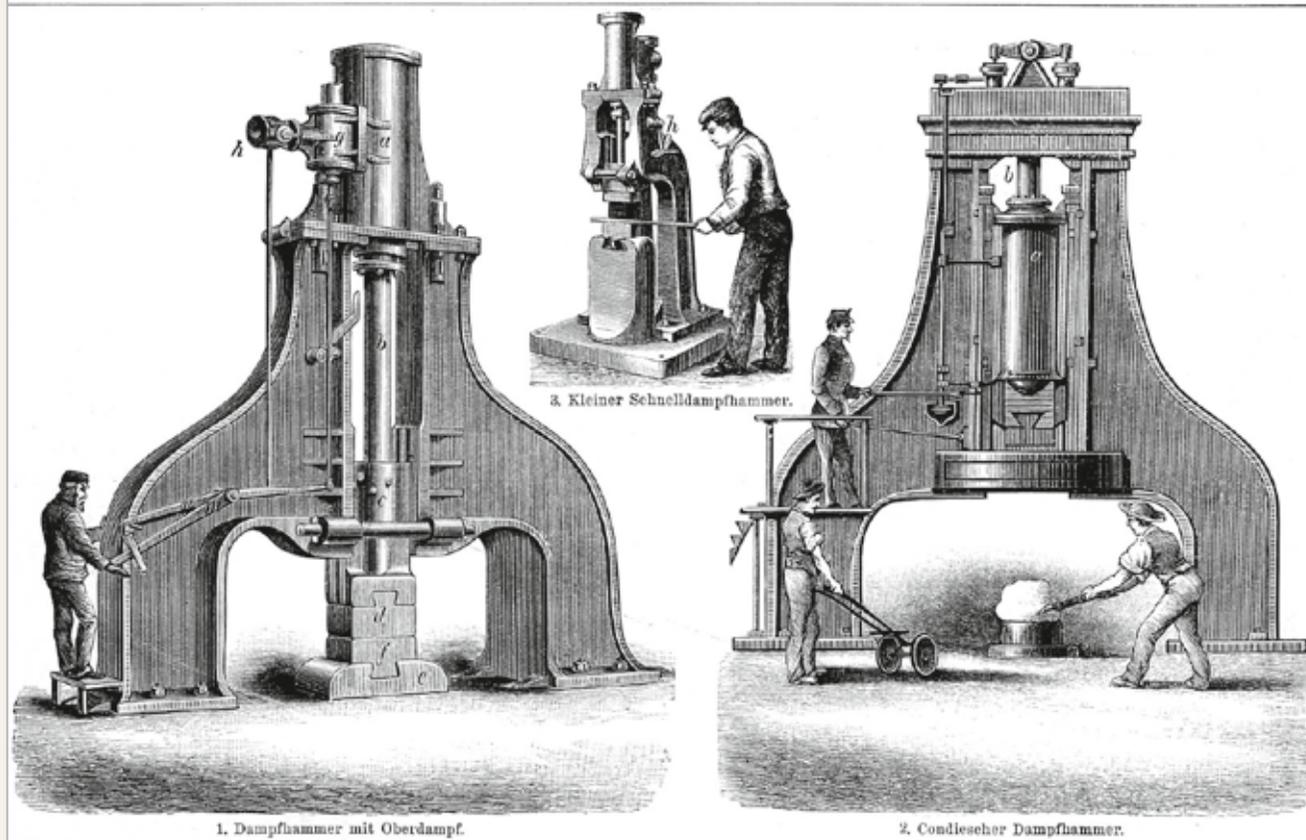
erbaut von Křizel in Graz. Fallgewicht 10,000 Kilogr.; Hub 2,311 Meter; Cylinderdurchmesser 1,054 Meter.  $\frac{1}{2}$  der natürl. Größe.

вать, потому что все пространство падения занято помещенной на наковальне поковкой.

Необходимо было изобрести такой способ, посредством которого молотовая баба могла быть поднята на достаточную высоту над предметом, по которому она должна ударять, и придумать, каким образом управлять силой удара падающей массы. Руководствуясь этой мыслью, Несмит набросал чертёж парового молота, который пришел ему в голову после прочтения письма Гумфриса. Теперь этот рисунок приводится практически во всех учебниках по обработке металлов давлением. Несмит в тот же день написал Гумфрису письмо, в которое вложил эскиз изобретенного им молота, которым он надеялся выковать ось для «Great Britain». На эскизе Несмит поместил рядом с изображением парового молота и основных узлов и деталей к нему рисунок рычажного молота, наглядно и с чисто британским юмором иллюстрируя его ограниченные технологические возможности.

Гумфрис показал присланный эскиз Брюнелю, который одобрил проект Несмита. Однако ось для «Great Britain» так и не была выкована. В это время вместо колес с лопатками был изобретен гребной винт; нововведение это было настолько удачно, что сразу обратило на себя всеобщее внимание, и Брюнелю не замедлил им воспользоваться. Таким образом, огромный колесный паровой двигатель, спроектированный Гумфрисом, оказался ненужным.

## DAMPFHAMMER. II.



### «ПРЕЖДЕВРЕМЕННОЕ» ИЗОБРЕТЕНИЕ

Молот Несмита «явился преждевременно»: ни один хозяин кузницы не хотел внедрить его. Изобретатель обращался ко всем значительным фирмам, доказывая превосходство своего молота при обработке puddlingового железа и кузнечных работах. Но к несчастью «производство железа шло тогда очень туго»; и все, кому Несмит ни показывал чертежи молота, давали примерно такой ответ: «У нас так мало заказов; что заняты даже не все молоты, которые у нас есть, и потому мы не можем теперь устанавливать новых, хотя бы даже усовершенствованных».

В это время Несмит еще не взял патент на свое изобретение. У него самого не было для этого достаточно средств, а его компаньон отказывался дать денег на орудие, на которое их фирма не ожидает заказа. При этом изобретение Несмита не держалось втайне и ни в чьих глазах не имело никакого значения, кроме самого Несмита.

Таково было положение дел, когда французский предприниматель Шнейдер, владелец фирмы «Крезю», посетил Бриджуотерский завод вместе с известным механиком Бурдоном. Несмит в это время отсутствовал, а его компаньон Гаскелл, желая оказать любезность иностранцам, показал им завод и все, что было там нового и сколько-нибудь интересного. Между прочим Гаскелл достал хранившуюся в особом ящике тетрадь Несмита с надписью: «Scheme book» (книга проектов), показал им чертеж парового молота и упомянул при этом, что ни одна английская фирма не соглашается внедрить его у себя. Посетители были поражены несложностью и практичностью нового молота. Бурдон тщательно рассмотрел подробности его устройства и внес их в свою записную книжку.

Несмит узнал об этом только во время своего путешествия во Францию, в апреле 1840 г. Осматривая завод Крезе в сопровождении Бурдона, Несмит остановился в удивлении перед коленчатым валом необыкновенных размеров, выкованным из пудлингового железа. На вопрос Несмита: «Каким образом вы выковали эту ось?», Бурдон ответил: «Да вашим же молотом».

Паровой молот, построенный Бурдоном, состоял из чугунной бабы, соединенной штоком с поршнем парового цилиндра. Распределение пара регулировалось золотником, приводимым в действие ручным рычагом. Баба двигалась вертикально по направляющим, образующим станину, опирающуюся на каменный фундамент. Отлитая из чугуна наковальня устанавливалась на массивных деревянных брусках, обеспечивающих смягчение ударов при ковке. Баба молота имела массу 2500 кг, а максимальная высота ее падения составляла 2 м.

Видя, что таким образом он может потерять право на свое изобретение, Несмит обратился к шурину, Уильяму Веннету, который снабдил его необходимой суммой. Патент был выдан Несмиту в июне 1840 г. В этом же году на Бриджуотерском заводе Несмит установил свой первый паровой молот, который имел боек массой 30 центнеров (1524 кг). Точность действия молота, легкость управления и сила наносимых им ударов приводили в удивление всех, видевших его.

### ПАРОВОЙ МОЛОТ НЕСМИТА

Молот Несмита представлял собой массивную металлическую станину, по направляющим которой в вертикальной плоскости перемещалась баба с верхним бойком. Движение ей передавалось штоком, соединенным с поршнем парового цилиндра, расположенного в верхней части станины. Станина устанавливалась на железной плите и крепилась к фундаменту болтами. Нижний боек монтировался на массивном шаботе. Для приведения молота в действие мастер с помощью специального устройства открывал кран паропровода, соединенного с нижней частью парового цилиндра. В результате подачи пара поршень совершал движение вверх, поднимая одновременно шток и бабу с верхним бойком. Для выполнения рабочего хода открывалась задвижка для выпуска пара из цилиндра, после чего начиналось падение бабы. Сила удара определялась суммарной массой падающих частей (поршня, штока, бабы с бойком) и высотой их падения.

Впоследствии Несмит внес в конструкцию молота целый ряд нововведений, значительно повысивших его эффективность. К их числу относится изобретение воздушной подушки в верхней части цилиндра. Она предназначалась для предохранения верхней крышки парового цилиндра от разрушения при случайном ударе об нее поршня. Для этого в верхней части цилиндра над выпускным отверстием и крышкой было предусмотрено некоторое пространство. В процессе движения поршня вверх он, перейдя выпускное отверстие, сжимал воздух, находящийся в верхней части цилиндра, создавая воздушную подушку. Другим положительным эффектом воздушной подушки являлось использование упругости сжатого воздуха, отбрасывающего после рабочего хода поршень вниз, и увеличивающего благодаря этому силу удара молота.

В 1843 г. Несмит предложил конструкцию парового молота двойного действия (молот с верхним паром), автоматическую систему парораспределения для которого разработал инженер Вильсон. Давление пара стало использоваться не только для подъема, но и для ускорения падения бабы. При подаче пара в верхнюю часть цилиндра, поршень отбрасывался вниз, увеличивая кинетическую энергию падающих частей молота. Золотник приводился в движение струей пара, который попеременно впускался в верхнюю и нижнюю полость парового цилиндра, опуская или поднимая бабу.

Преимущества парового молота были настолько очевидны, что вскоре он вошел во всеобщее употребление, и его можно было увидеть «во всякой мало-мальски порядочной мастерской, как в Англии, так и в других странах». Молот Несмита эффективно применялся при производстве броневых плит для обшивки военных судов и при изготовлении огромных артиллерийских орудий на заводах Армстронга, Уитворта и Блекли.

«Без всякого преувеличения — писал журнал «Engineer» — можно сказать, что если бы не было парового молота, нам бы пришлось отказаться от многих гигантских инженерных работ, которые при отсутствии чудес иного рода, могут считаться чудесами нашего времени и которые поставили новейших механиков выше всяких мифологических богов. Разница в силе ударов молота такова, что можно действовать молотом в 10 тонн также легко, как если бы он был весом в 10 унций. Он поставлен в такую зависимость от работника, что тот может остановить его на какой угодно точке, во время наибольшей скорости его падения, с большею даже легкостью, чем иной ручной инструмент. Один и тот же паровой молот может выковать Армстронгову 10-фунтовую пушку, якорь линейного корабля и сковать гвоздь или расколоть орех не повредив ядра».

### **ПАРОВОЙ КОПЕР И «ПАРОВАЯ РУКА»**

Изобретательская деятельность Несмита не исчерпывается созданием парового молота. Он вообще много и успешно экспериментировал с паровым двигателем. В 1845 г. Несмит применил принцип парового молота к копру для вбивания свай. В паровом копере Несмита баба падала всей своей трехтонной массой на голову сваи; процесс этот повторялся до восьмидесяти раз в минуту, и свая вколачивалась несравненно быстрее, нежели другими известными способами.

Копер Несмита был успешно использован при постройке паровых доков в Девонпорте, затем Роберт Стефенсон применил его при закладке большого Гайлельского моста в Ньюкасле и моста в Бервике. В течение полувека при вколачивании свай в большом количестве, при устройстве береговых устоев мостов, набережных, гаваней, при закладке фундаментов каменных построек, паровой копер Несмита оказывался незаменимым.

Еще одним выдающимся изобретением Несмита стала строгальная машина, которая получила прозвище «Несмитовой паровой руки» и «использовалась во всякой сколько-нибудь значительной мастерской». «Паровая рука» оказалась очень полезной при обстривании звеньев цепей, рычагов, шатунов.

### **МУЖЕСТВЕННОЕ РЕШЕНИЕ**

В декабре 1856 года Несмит отошел от дел. У него хватило мужества «оставить тщательную возделанную им борозду и расстаться с предприятием, которое было доведено им до высокой степени благоденствия».

«У меня уже достаточно благ земных; пусть попытают счастья люди моложе меня», писал Несмит. Он уехал в сельское уединение в Кент, но не с тем, чтобы вести там праздную жизнь богача. Несмит привык к труду и потому не мог оставаться без дела. Желая чем-нибудь занять себя, он принялся «развивать в себе артистические способности, которые были наследственны в его семействе». Еще во время учебы в Эдинбургской «High School», Джеймс рисовал пером на полях своих книг и так искусно иллюстрировал классиков, что не раз благодаря этому освобождался от заданных уроков. В Патрикрофте он также занимался рисованием, которое служило для него отдыхом и развлечением в часы досуга. Новыми увлечениями Несмита стали астрономия и клинопись. Он нарисовал и издал подробную карту кратеров, расселин, гор и долин лунной поверхности, написал оригинальную статью о способе нанесения клинописных знаков.

### **СИМВОЛ ПРОМЫШЛЕННОЙ РЕВОЛЮЦИИ**

В зависимости от мощности паровых молотов получили распространение несколько основных систем парораспределения. Наиболее широко применялись золотниковое и клапанное парораспределение. Золотниковое было характерно для небольших паровых молотов, а клапанное — для молотов большой мощности. Обе системы имели ручной или автоматический режим управления. Автоматическое изменение хода производилось после подъема бабы на наибольшую допустимую высоту, что предупреждало возможные аварии, которые могли произойти от удара поршня о верхнюю крышку цилиндра или от удара бабы в нижний сальник цилиндра. Также в зависимости от мощности паровых



молотов применялась та или иная система работы приводного механизма. Крупные молоты, как правило, были простого действия, а небольшие молоты — двойного действия.

В ходе промышленной революции и индустриализации роль кузнечной обработки в металлургии и машиностроении быстро менялась. При кричном переделе молот был частью основного технологического оборудования, он применялся при обработке железной крицы, отковки разнообразных полуфабрикатов (полосы, прутки и т.п.) и готовых изделий. В технологическую схему puddling-производства вместо кузнечной обработки крицы под молотом был введен прокатный стан, с помощью которого осуществлялись обжим крицы в калиброванных валках и прокатка сортового железа. Молот сохранился в железоделательном производстве в основном для предварительного слабого обжата крицы, поступающей в валки прокатного стана.

В эпоху Промышленной революции постоянно возрастала потребность в крупных кованых деталях для разнообразных машин и механизмов. К середине XIX в. машиностроение представляло собой сосредоточение специализированных цехов по кузнечной обработке металла, оборудованных паровыми молотами разной мощности. Их значение еще более возросло после внедрения в 1860-х годах массовых способов производства литой стали. Бессемеровский и мартеновский процессы получения литой стали предоставили в распоряжение машиностроителей крупные стальные слитки, обработка которых потребовала сверхмощных паровых молотов. Среди потребителей таких молотов были орудийные, судостроительные, механические и другие заводы.

В 1877 г. во Франции на заводе «Шнейдер» в Крезе был установлен 100-тонный паровой молот, на котором ковали стальные слитки массой в 120 т. Самый тяжелый 125-тонный паровой молот был построен в США на заводе Вифлеемской компании. На этом производство гигантских молотов прекратилось, так как возникли большие проблемы в их эксплуатации. Сильные удары молотов вызывали сотрясения зданий цехов и почвы в окрестностях промышленных предприятий, что стало опасным для целост-

ности окружающих строительных сооружений и самих молотов. Им на смену пришли гидравлические ковочные прессы. Паровые молоты малой мощности продолжали совершенствоваться и широко применяться в различных отраслях промышленности не только на протяжении второй половины XIX в., но и в двадцатом столетии.

Отметим, что и рычажные хвостовые молоты использовались на некоторых предприятиях вплоть до середины XX в. Они приводились в действие, как гидравлическими колесами, так и паровыми двигателями. Крупнейшие рычажные хвостовые молоты обладали весьма большой мощностью. Масса ударной части таких молотов достигала 8 т при высоте падения 0,5 м. Их традиционно использовали для «вытяжки» и «выглаживания» стальных полос.

### **ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕССЫ**

В 1795 г. Дж. Брама, английский механик и изобретатель, владелец крупного машиностроительного предприятия в предместье Лондона, взял патент на мощный гидравлический пресс. Пресс состоял из прочного цилиндра с поршнем внутри. С дном цилиндра сообщался нагнетательный насос. Вода перегонялась в цилиндр, постепенно приподнимая поршень.

Сложной технической проблемой было обеспечение герметичности между поршнем и стенками цилиндра. При действии поршня вода просачивалась через зазор в другую часть цилиндра, не обеспечивая нужного давления. Эту проблему Бrame помог разрешить его сотрудник, будущий известный изобретатель Г. Модлей. Он предложил конструкцию уплотнения в виде самоуплотняющегося манжета, без которого гидравлический пресс практически не мог действовать. Для этого в углублении, на боковой поверхности поршня, вместо сальника Модлей установил кольцеобразный вкладыш из крепкой кожи, выпуклый сверху и вогнутый снизу. При заполнении цилиндра водой под высоким давлением края кожаного манжета раздвигались, плотно прижимаясь к поверхности цилиндра, и закрывали собой зазор.

Дж. Несмит отмечал, что уплотнение по системе Модлея также важно «для гидравлического пресса, как давление пара для локомотива. Если бы Модлей ничего не изобрел, кроме этого клапана, этого одного достаточно, чтобы обессмертить его».

Гидравлический пресс Бrame успешно использовался для перемещения и подъема тяжелых металлических конструкций. С его помощью был спущен на воду крупный пароход «Great Easten».

Во второй половине XIX в. на машиностроительных заводах появляется новое оборудование для обработки металлов — гидравлические штамповочные и ковочные прессы, значительно расширившие возможности металлургической технологии.

### **ШТАМПОВОЧНЫЙ ПРЕСС ГАЗВЕЛЛА**

Начало применению гидравлических штамповочных прессов в металлургии железа положил английский инженер Дж. Газвелл, директор мастерских государственных железных дорог в Вене. Мастерские были расположены в черте города, вблизи жилых зданий и установка здесь парового молота оказалась невозможной. Газвелл пришел к выводу о возможности замены парового молота гидравлическим прессом. В 1861 г. спроектированный им пресс был установлен в железнодорожных мастерских.

Пресс Дж. Газвелла обслуживался мощной паровой машиной двойного действия с горизонтальными цилиндрами диаметром 1200 мм. Машина приводила в действие одновременно два насоса. Благодаря большой разнице в диаметрах парового и гидравлических цилиндров создавалось огромное для того времени давление в 400 атм. Вода от насосов направлялась в рабочий цилиндр пресса, плунжер которого приводил в действие под-



вижную траверсу с укрепленным на ней верхним штампом. Движение траверсы направлялось четырьмя массивными колоннами. Ее подъем в рабочее положение осуществлялся штангой, связанной с поршнем небольшого гидравлического цилиндра, расположенного над прессом. Управление прессом производилось вручную. Он предназначался для штамповки паровозных деталей - поршней, рессорных хомутов, кривошипов, бандажей и пр.

Гидравлические прессы Газвелла имели мощность 700, 1000 и 1200 т. Затем были изготовлены несколько более крупных прессов усилием 3000 т и более. Они успешно демонстрировались на Всемирных промышленных выставках в Лондоне (1862 г.) и в Вене (1873 г.). С целью увековечения выдающегося изобретения Дж. Газвелла, чертежи его первых гидравлических прессов снятые натурой в железнодорожных мастерских в 1873 г. были переданы на хранение в Консерваторию Искусств и Ремесел в Вене.

### **КОВОЧНЫЙ ПРЕСС ВИТВОРТА**

Следующим основополагающим шагом в развитии технологии обработки металлов давлением стало создание специального гидравлического пресса дляковки стальных слитков. Дж. Газвелл конструировал свой пресс лишь для штамповки деталей. Создателем нового направления стал английский инженер и предприниматель Дж. Витворт. В 1865 г. Витворт применил гидравлический пресс для прессования жидкой стали с целью получения плотного слитка. Продолжив работы в области прессования, Дж. Витворт предпринял успешную попытку применения пресса дляковки стальных полуфабрикатов и готовых изделий.

Гидравлический ковочный пресс Дж. Витворта был запатентован во Франции в 1875 г. Пресс состоял из четырех колонн, укрепленных в фундаментной плите. На верхней части колонн была расположена неподвижная траверса с двумя гидравлическими подъемными цилиндрами. С их помощью вверх и вниз перемещалась подвижная траверса, на которой был установлен штамп. Оригинальность изобретения состоит в том, что автор соединил подвижную траверсу, несущую гидравлический цилиндр и приспособление для быстрого подъема, спуска и установки траверсы в определенном положении. Такая компоновка узлов пресса замечательна тем, что при коротком ходе поршня она дает возможность обрабатывать изделия различной высоты. В прессе также был предусмотрен механизм для поворачивания поковки, способствующего ее более равномерной обработке.

Впервые гидравлический пресс Витворта был применен дляковки слитков в 1884 г. С того времени при изготовлении оружейных стволов паровые молоты стали быстро терять свою роль. Преимущества гидравлических ковочных прессов перед паровыми молотами оказались бесспорными. На одном из шеффилдских заводов в Англии дляковки слитка массой 36,5 т, предназначенного для ствола орудия, под 50-тонным молотом требовалось 3 недели и 33 промежуточных нагрева. В тоже время слиток такой же массы под 4000-тонным прессом обрабатывался всего за 4 дня и подвергался нагревам лишь 14 раз.

Другое важное преимущество гидравлических прессов перед мощными паровыми молотами заключалось в отсутствии сильных ударов, сотрясающих почву и окрестности цехов и заводов. Прессы Витворта получили широкое распространение в производстве броневых плит, при изготовлении стволов артиллерийских орудий, крупных валов. Они хорошо зарекомендовали себя в процессах фасоннойковки. Прессы выпускались мощностью 2000, 5000 и 10000 т.

Крупнейший в XIX в. ковочный пресс усилием 14000 т, был установлен в 1893 г. в США на Вифлеемском заводе (Пенсильвания). Колонны пресса, поддерживающие верхнюю траверсу, располагались на расстоянии 4,4 м друг от друга. Свободное пространство для работы под подвижной траверсой составляло 5,2 м. Пресс имел два гидравлических цилиндра диаметром 1270 мм. Они были установлены на шарнирах, поэтому было возможно без затруднений осуществлять прессование слитков под углом. Вода подавалась в пресс четырьмя насосами, диаметр цилиндров которых составлял 280 мм, при ходе поршня 1430 мм. Для привода этого пресса в действие потребовалось установить паровые двигатели суммарной мощностью в 16000 л.с. \*

## Рекомендуемая литература

Боевые корабли мира. Иллюстрированная энциклопедия / Под ред. А.Р. Макарова. Спб. : Полигон, 1995, 577 с.

Валериус. Металлургия чугуна / Валериус ; пер. и дополнено В. Ковригиным. Спб. : типография Иосафата Огризко, 1862. 687 с.

Веддинг, Г. Основания металлургии чугуна, железа и стали / Г. Веддинг. Пер. А.К. Гюнтера и В.М. Смольникова. Спб. : Издание К.Л. Риккера, 1909.

Вейхер, З. Великие промышленники: Вернер фон Сименс. Крупп. Серия: Исторические силуэты / З. Вейхер, Э. Шредер. Ростов-на-Дону : Феникс, 1998.

Гюнтер, Г. Железная дорога, её возникновение и жизнь / Пер. с нем. И.А. Горкиной. М. : Транспечать «Пролетарское слово», 1930. 423 стр.

Двадцатипятилетие введения мартеновского производства в России // Сборник статей по мартеновскому делу. С.-Петербург : Типография П.П. Сойкина, 1898. 2145 с.

Иванов, Е.Б. Технология производства кокса / Е.Б. Иванов, Д.А. Мучник. Киев : Издательское объединение «Вища школа», 1976.

Кауфман, А.А. Очерки истории коксохимической промышленности / А.А. Кауфман, В.В. Запарий. Екатеринбург : ООО «Издательство УМЦ УПИ», 2007.

Кнаббе, В.С. Цементация // Ф.А. Брокгауз, И.А. Ефрон. Энциклопедический словарь. Под ред. К. К. Арсеньева и Ф. Ф. Петрушевского. Санкт-Петербург. 1890-1907

Ламан, Н.К. Развитие техники обработки металлов давлением / Н.К. Ламан. М. : Наука, 1989. 236 с.

Ледебур, А. Металлургия чугуна, железа и стали. Том 1 / А. Ледебур ; пер. с нем. Н.А. Иосса. Спб. : Издание книжного магазина В. Эрикссон, 1886. 560 с.

Лесников, М.П. Бессемер / М.П. Лесников М.: Журнально-газетное объединение, 1934. 256 с.

- Лилли, С. Люди, машины и история / С. Лилли М. Наука, 1970. 179 с.
- Липин В. Metallургия чугуна, железа и стали / В. Липин Л. : Химтехиздат, 1930. 512 с.
- Мезенин Н.А. Повесть о мастерах железного дела / Мезенин Н.А. М. : Знание. 1973
- Мусский, С.А. 100 великих чудес техники / С.А. Мусский М. : Вече, 2003
- Новоспаский, А. Metallургия чугуна / А. Новоспаский. М. : Госмашметиздат, 1933.
- Общая химическая технология топлива / Под ред. С.В. Кафтанова. Ленинград, Москва : Государственное научно-техническое издательство химической литературы, 1947
- Очерки по истории техники. Вып. 2 / Под ред. проф. А.И. Сидорова. М. : Государственное техническое издательство, 1928
- Паркс, О. Линкоры Британской империи. В 5-ти томах / О. Паркс. СПб. : Галерея-Принт, 2001-2005.
- Перси, Д. Руководство к металлургии. Том второй / Д. Перси : пер. с англ. А. Добронизского. СПб. : Типография А.И. Траншея, 1869. 566 с.
- Перси, Д. Руководство к металлургии. Часть I. / Д. Перси ; пер. с англ. А. Добронизского. СПб. : Типография И. Маркова и Ко, 1865. 468 с.
- Промышленность и техника. Энциклопедия промышленных знаний. Том V. Горное дело и металлургия / В. Борхес, Ф. Вюст, Е. Трептов. СПб. : Типография книгоиздательского товарищества «Просвещение», 1901. 871 с.
- Ржешотарский А.А. Кричный передел. Крица // Ф.А. Брокгауз, И.А. Ефрон. Энциклопедический словарь. Под ред. К. К. Арсеньева и Ф. Ф. Петрушевского. Санкт-Петербург. 1890-1907
- Ржешотарский, А.А. Литая сталь // Ф.А. Брокгауз, И.А. Ефрон. Энциклопедический словарь. Под ред. К. К. Арсеньева и Ф. Ф. Петрушевского. Санкт-Петербург. 1890-1907
- Робертс, Дж. Коксование и полукоксование углей / Дж. Робертс, А. Иенкнер ; пер. Е.М. Дубнер. Харьков : Государственное научно-техническое издательство Украины, 1938.
- Руководство по коксованию / Под ред. О. Гросскинского. Т.1. М. : «Металлургия», 1966.
- Рыжов, К.В. Сто великих изобретений / К В. Рыжов. М. : Вече, 1999. 527 с.
- Скиндер, А.И. Горн, в металлургии. Железо // Ф.А. Брокгауз, И.А. Ефрон. Энциклопедический словарь. Под ред. К. К. Арсеньева и Ф. Ф. Петрушевского. Санкт-Петербург. 1890-1907
- Скиндер, А.И. Кокс // Ф.А. Брокгауз, И.А. Ефрон. Энциклопедический словарь. Под ред. К. К. Арсеньева и Ф. Ф. Петрушевского. Санкт-Петербург, 1890.
- Сотников, Е.А. Железные дороги мира из XIX в XXI век / Е.А. Сотников. М. : Транспорт, 1993. 200 с.

Татарченко, Д.М. *Металлургия чугуна, железа и стали* / Д.М. Татарченко. Л. : Прибой. 312 с.

Ферберн, В. *Железо* / В. Ферберн. Санкт-Петербург : Издание Товарищества «Общественная Польза», 1861. 282 с.

Шухардин С.В. *История науки и техники. Ч. II. С конца XVIII в. до начала XX в.* / С.В. Шухардин. М. : Наука, 1976.

Bessemer, H. *An autobiography* / Sir H. Bessemer, F.R.S. London, 1905

Briggs, A. *Iron Bridge to Crystal Palace: Impact and Images of the Industrial Revolution* / A. Briggs. Thames and Hudson in collaboration with the Ironbridge Gorge Museum Trust, 1979.

Burnie, R.W. Thomas, Sidney Gilchrist / R.W. Burnie. *Dictionary of National Biography, 1885-1900*. London : Smith, Elder & Co., 1898. 314 p.

Chadwick, G.F. *The works of Sir Joseph Paxton, 1803-1865* / G.F. Chadwick. London : The Architectural Press, 1961.

Crookes, W. *A practical treatise on metallurgy* / W. Crookes, E. Röhrig. London : Longman, Green and Co., 1870

Executive documents printed by order of The House of Representatives during the Second Session of the Fortieth Congress 1867-68 // Report of the "Paris Universal Exhibition". Washington : Government Printing Office. 1868

Frader, L. *The industrial Revolution. A History in Documents* / L. Frader. New York : Oxford University Press, Inc., 2006. 157 p. Gayle, M. *Cast-iron architecture in America: the significance of James Bogardus* / M. Gayle, C. Gayle. London : Norton professional book, 1998. 272 p.

Gore, G. *The art of electro-metallurgy* / G. Gore. London : Longmans, Green and Co., 1877. 390 p.

Heroult electric furnaces / American Bridge Co. : New York, 1915. 19 p.

Jeans, W.T. *The Creators of the Age of Steel* / W.T. Jeans. New-York : Charles Scribner Sons, 1884

Krupp, F. *Fabrique d'acier fondy* / F. Krupp. Paris : Michel Levy Libraires, 1866. 216 p.

MacMillan, W. G. *A treatise of electro-metallurgy* / W. G. MacMillan. London : Charles Griffin & Co., 1890. 387 p.

McNeill, W. H. *The Pursuit of Power. Technology, Armed Force and Society* / W.H. McNeill. Chicago : The University of Chicago Press, 1982. 456 p.

Muirhead, J.P. *Origin of progress of the mechanical Invention of J. Watt* / J.P. Muirhead. London, 1854.

Landrin, M.H.S. *A treatise on steel* / M.H.S. Landrin, Jr. Philadelphia : Henry Carey Baird industrial publisher, 1868

Outman, J.L. Industrial Revolution. Almanac / J.L. Outman, E.M. Outman. Detroit : Thomson Gale, 1946. 225 p.

Percy, John. Iron and steel / J. Percy. London : J. Murray, 1864. 1006 p.

Phillips, J.A. A manual of metallurgy, or a practical treatise on the chemistry of the metals / J.A. Phillips. Glasgow : R. Griffin and Co., 1854.

Pole, W. The life of Sir William Siemens / W. Pole. London, 1888. 412 p.

Robert, L.G. A History of Coal Mining in Great Britain / R.L. Galloway. BiblioBazaar, LLC, 2009.

Robison, J. Mechanical works of J. Watt, with notes by J. Watt / J. Robison. Edinburgh, 1818.

Siemens, C.W. On puddling iron by London, 1868 / C.W. Siemens, F.R.S. Newcastle-upon-Tyne : The Iron and Steel Institute Transactions, 1870. 29 p.

Williamson, G. Memorials of the lineage, early life, education and development of the genius of J. Watt / G. Williamson. Greonock, 1856.

## Указатель имен и названий

- Акантовый лист** – глава 7, малые архитектурные формы эпохи абсолютизма  
**Акрагас** – глава 7, греческие железные пироны  
**Ампир** – глава 7, кованые решетки в стиле ампир и рококо  
**Андерсон Джон** – глава 2, Джеймс Уатт  
**Андре и Рикке диаграмма** – глава 10, новая эра литой стали  
**Аносов Павел Петрович** – глава 6, исследования сплавов железа  
**Александрийский театр** – глава 7, Александрийский театр  
**Аллен Анна** – глава 3, Первые изобретения и жизненный опыт  
**Аллен Уильям** – глава 3, от лабораторных опытов к промышленной технологии  
**Аллигатор** – глава 3, железное кольцо на горле прогресса  
**Аппольт** – глава 1, печь братьев Аппольт  
**Аркрайт Ричард** – глава 2, ключ к успеху заключался в кузнечной работе  
**Армстронг Уильям** – глава 3, бои тяжеловесов; глава 9, индустриализация артиллерийского производства, корни научно-технической революции  
**Ардт Адольф** – глава 7, почему это актуально?  
**Ассенфратц Жан-Анри** – глава 5, политическое мифотворчество  
**Ачесон** – глава 10, из научной лаборатории в производство  
**«Аякс-Нортон»** – глава 10, индукционные печи
- Бар-айрон** – глава 3, кричные технологии индустриальной эпохи  
**Барбет** – глава 9, казематные, барбетные, башенные броненосцы  
**Барильет** – глава 1, регенеративные печи Отто-Хоффмана  
**Барокко** – глава 7, малые архитектурные формы эпохи абсолютизма  
**Бартон Демициус** – глава 7, символ архитектуры эпохи Промышленной революции  
**Бартон Генри** – малые архитектурные формы эпохи абсолютизма  
**Бедлам** – глава 7, чугунные мосты  
**Беккерт** – глава 6, тигельное производство ферросплавов  
**Белелюбский Николай Аполлонович** – глава 7, стальные мосты  
**Белл Айзак Лоугиан** – глава 4, первосвященник английской металлургии  
**Бессеж** – глава 1, улавливание продуктов коксования  
**Бессемер Генри** – глава 3,  
**Бертье Пьер** – глава 6, исследования сплавов железа  
**Берцелиус Йенс Якоб** – глава 6  
**Бёрд Чарльз** – глава 7, Исакиевский собор  
**«Бёрдов мост»** – глава 7, чугунные и железные мосты в России

- Биркбека Институт** – глава 4, двойная жизнь судейского писаря  
**Бисмарк Отто фон** – глава 6  
**Блейкли Александер** – глава 5, «король чистого эксперимента»  
**Бленавон** – глава 4, братская поддержка  
**Блойе Уильям** – глава 2, «продавцы коров» – «золотые ребята»  
**Блэк Джозеф** – глава 2, гений, ангел и посредник  
**Блэка дробилка** – глава 6, «дредноуты» и «крупповские пушки»  
**Бобовая руда** – глава 4, сталь для Deutsches Reich  
**Богард Джеймс** – глава 7, стальная каркасная конструкция  
**«Болото»** – глава 6, производство ферросплавов в вагранках  
**Болтон Мэтью** – глава 2, Мэтью Болтон, глава 7, здания на чугунном каркасе  
**Бомонт Херонимо Аянс де** – глава 2, «друг рудокопа» капитана Томаса Сэйвери  
**Боном Г.** – глава 7, кованые решетки в стиле ампира и рококо  
**Боров** – глава 1, коксовые батареи  
**Борхерс В.** – глава 6, тигельное производство ферросплавов  
**Брадлей Чарльз** – глава 10, из научной лаборатории в производство  
**Бранд** – глава 1, Шаумбургские стойла  
**Бранка Джованни** – глава 2, обо всём по порядку  
**Браун Джон** – глава 3, шлифовка технологии  
**Бруклинский мост** – глава 7, стальные мосты; глава 8, мировая железнодорожная па-  
утина  
**Брунел Дж. К.** – глава 7, мосты из ковкого железа  
**Брюнел Изамбард** – глава 5, «морской» металл  
**«Буаг и Рамбур»** – глава 5, Луи Ле Шателье, «Буаг и Рамбур»  
**Будд Палмер** – глава 1, шихта для коксования; глава 3, прорывные инновации для про-  
мышленных революций  
**Булочная печь** – глава 1, ульевые печи  
**Бунзен** – глава 4,  
**Бут Генри** – глава 8, великий самоучка Стефенсон  
**Бэрнхем Д.Х.** – глава 7, небоскрёбы
- Ван Ален Уильям** – глава 7, нержавеющая корона Крайслер билдинг  
**Вариньон** – глава 7, чугунные мосты  
**Ваше** – глава 4, Двойная жизнь судейского писаря  
**Велер** – глава 6, исследования сплавов железа  
**Вертикалы** – глава 1, вертикалы  
**Вилкинсон В.Б.** – глава 7, железобетон  
**Вифлеемская сталь** – глава 9, «никелевая» броня  
**«Воитель»** – глава 9, «Слава» и «Воитель»  
**Вольта Алессандро** – глава 10, научный фундамент  
**Вольтерс** – глава 1, чередующиеся вертикалы  
**Вулворт билдинг** – глава 7, Вулворт билдинг  
**Вьель П.** – глава 9, нитроцеллюлозные пороха
- Гадфильд Питер Аббот** – глава 6, тигельное производство ферросплавов, «дредноуты»  
и «крупповские пушки»  
**Гальске Иоганн Георг** – глава 5, первые шаги всемирной корпорации  
**Ган Юхан Готлиб** – глава 6, начало промышленного производства легированной стали  
**Ганистер** – глава 5, секреты Мартенов  
**Гараби виадук** – глава 7, стальные мосты  
**Гарбет Сэмюэль** – глава 2, универсальный предприниматель Джон Робак  
**Гарни** – глава 7, греческие железные пироны  
**Гаскойн Карл Карлович** – глава 2, ключ к успеху заключался в кузнечной работе

**Гау и Тауна система** – глава 7, стальные мосты  
**Гейне Генрих** – глава 8  
**Герон Александрийский** – глава 2, обо всём по порядку  
**Гесте В.** – глава 7, чугунные и железные мосты в России  
**Гёрансон Гёран Фредерик** – глава 3, бессемеровский чугун  
**Гилберт Кас** – глава 7, Вулворт билдинг  
**Гладстон Уильям Юарт** – глава 4, «энтузиаст человеколюбия»  
**Гляйвиц** – глава 1, Шаумбургские стойла  
**Гордон Энн** – глава 5, Британия навсегда  
**Горж** – глава 8, чугунные дороги Коалбрукдейла  
**Гошштеттер** – глава 6, исследования сплавов железа  
**Грин Уильям-Фауст** – глава 6, тигельное производство ферросплавов  
**Грум-Гржимайло Владимир Ефимович** – глава 5, «варка стали»  
**Гуансяо** – глава 7, китайские чугунные пагоды  
**Грюнер Луи** – глава 1, классификация углей; глава 4, основная футеровка  
**Гуйгенс Христиан** – глава 2, паровой котел Папена

**Дарвин Эразм** – глава 2, тернии и соблазны  
**Деви Хэмфри** – глава 6, начало промышленного производства легированной стали; глава 10, научный фундамент  
**Денмарк-хилл** – глава 3, Бессемер после стали  
**Джейкоб Филипп** – глава 8, чугунные дороги Коалбрукдейла  
**Дженни Уильям** – глава 7, чикагская архитектурная школа  
**Джессоп** – глава 8, Рельсы чугунные и железные  
**Джилкрист Перси** – глава 4,  
**Джин** – глава 6, тигельное производство ферросплавов  
**Джонс Эдвард** – глава 1, коксовые печи Джонса  
**Динас** – глава 1, динасовые огнеупоры  
**Доливо-Добровольский М.О.** – глава 10, трёхфазные электропечи  
**Домнарверт** – глава 10, рудовосстановительные электропечи  
**Достоевский Федор Михайлович** – глава 7  
**Дракер Петер** – глава 10  
**Дредноут** – глава 9, дредноут  
**Дюбоше** – глава 1, ретортные и щелевые печи  
**Дюлэй** – глава 1, ретортные и щелевые печи  
**Дюфо Ахилл** – глава 5, Форшамбо  
**Дюфо Жорж** – глава 5, «Буаг и Рамбур»  
**Дюфо Констанция** – глава 5, Эмиль Мартен

**Единая Европа** – глава 8, вторичная металлургия и металлургические картели, дорога в единую Европу  
**ЕОУС** – глава 8, вторичная металлургия и металлургические картели, дорога в единую Европу

**Жар-газ** – глава 1, ретортные и щелевые печи  
**Железная колонна в Дели** – глава 7, индийские железные колонны  
**Железная колонна в Дхаре** – глава 7, индийские железные колонны  
**Жиро** – глава 10, новая эра литой стали

**Зульцер** – глава 1, установки сухого тушения кокса

**Иббетсон Юлиус Цезарь** – глава 3, металлургия железа накануне прорыва  
**Идс Дж.** – глава 8, мировая железнодорожная паутина

**«Инфлексибл»** – глава 9, цитадельные броненосцы  
**Исакиевский собор** – глава 7, Исакиевский собор

**Казанский собор** – глава 7, русские кованные затяжки  
**Канкрин Егор Францевич** – глава 6, исследования сплавов железа  
**Карве** – глава 1, улавливание продуктов коксования  
**Карнеги Эндрю** – глава 4, знаменитость мирового масштаба  
**Карно Лазар** – глава 5, «Буаг и Рамбур»  
**Карронада** – глава 2, карронский завод  
**Карстен Карл Иоганн Бернгард** – глава 6, предпосылки научных инноваций  
**Катав-Ивановский завод** – глава 10, металлургия электропечных ферросплавов  
**Каупер Эдуард** – глава 5, регенератор  
**Кваренги Дж.** – глава 7, чугунные и железные мосты в России  
**Келлер** – глава 10, рудовосстановительные электропечи  
**Келли Уильям** – глава 3, направление прорыва  
**Кер Уильям** – глава 6, исследования сплавов железа  
**Керр** – глава 8, Рельсы чугунные и железные  
**Кербёдз С.В.** – глава 7, чугунные и железные мосты в России  
**Кешлен Морис** – глава 7, башня Эйфеля  
**Киннель** – глава 2, гений, ангел и Посредник  
**Кирхгоф** – глава 4  
**Кларк М. Е.** – глава 7, Александрийский театр  
**Кларк У.-Т.** – глава 7, мосты из ковкого железа  
**Клей Генрих** – глава 3, крупновские черти; глава 9, стальная броня «Ле Крезо»  
**Клэй Уильям** – глава 3, кричные технологии индустриальной эпохи  
**Кнаб** – глава 1, улавливание продуктов коксования  
**Коалбрукдейл** – глава 7, чугунные мосты, глава 8, чугунные дороги Коалбрукдейла  
**Кобуксон** – глава 9, корабль – черепаха «кобуксон»  
**«Козёл»** – глава 6, производство ферросплавов в вагранках  
**Кокс** – глава 1, коксовые батареи  
**Кокс Эрнст** – глава 9, почему это актуально?  
**Коксовая рампа** – глава 1, коксовыталькватели  
**Коллин** – глава 1, установки сухого тушения кокса  
**Кольби** – глава 10, индукционные печи  
**Коппе Эванс** – глава 1, вертикалы, коксовая печь Коппе  
**Копперс Генрих** – глава 1, регенераторы Копперса, динасовые огнеупоры  
**Корт Генри** – глава 3, железное кольцо на горле прогресса  
**Коули Джон** – глава 2, паровой насос кузнеца Ньюкома  
**Крайслер** – глава 7, нержавеющая корона Крайслер билдинг  
**Красный мост** – глава 7, чугунные и железные мосты в России  
**«Крезо-Луар»** – глава 9, броня «компаунд», стальная броня «Ле Крезо», «никелевая» броня  
**Кристенсен Клейтон** – глава 3  
**Кричный жом** – глава 3, железное кольцо на горле Прогресса  
**Кроушай** – глава 5, «Буаг и Рамбур»  
**Крупп Альфред** – глава 3, крупновские черти; глава 6, «дредноуты» и «крупновские Пушки»; глава 9, индустриализация артиллерийского производства, «крупновская» броня, корни научно-технической революции  
**Купельвизер Франц** – глава 4, глава 5, политическое мифотворчество

**Ла Пра** – глава 10, новая эра литой стали  
**Ледебур А.** – глава 1, кучное коксование, печь братьев Аппольт  
**Ле Шателье Анри Луи** – глава 5, Луи Ле Шателье

**Ле Шателье Луи** – глава 5, Луи Ле Шателье  
**Липин В.** – глава 10  
**Лонгстон** – глава 3, от лабораторных опытов к промышленной технологии  
**«Лунное общество»** – глава 2, «лунное общество»  
**Лэндор** – глава 5, «прямой» процесс Сименса  
**Людвик XIV** – глава 7, малые архитектурные формы эпохи абсолютизма  
**Лямбо Ж.** – глава 7, железобетон

**Макаров О.С.** – глава 9, бронебойный наконечник Макарова  
**Манхеттенский мост** – глава 7, стальные мосты  
**Мартен Пьер** – глава 3, такие разные инноваторы; глава 5  
**Мартен Пьер-Доминик** – глава 5, Эмиль Мартен  
**Мартен Эмиль** – глава 3, такие разные инноваторы глава 5, Эмиль Мартен  
**Мартин Эдуард** – глава 4, братская поддержка  
**Маяковский Владимир** – глава 7, стальные мосты, Вулворт билдинг  
**Международная ассоциация производителей рельсов** – глава 8, вторичная металлургия и металлургические картели  
**Мейсон Иосия** – глава 5, первая английская экспедиция Вильгельма Сименса  
**Мелвилль Роберт** – глава 2, карронский завод  
**Меллори Стивен** – глава 9  
**Менделеев Дмитрий Иванович** – глава 9, нитроцеллюлозные пороха  
**«Мерримак»** – глава 9, «монитор» – «дедушка» броненосного флот  
**Мёрдок Уильям** – глава 2, «Продавцы коров» – «золотые ребята», Уильям Мёрдок  
**Мёрси** – глава 3, кричные технологии индустриальной эпохи; глава 5, путь в металлургию  
**Миль-барс** – глава 3, кричные технологии индустриальной эпохи  
**Минет** – глава 4, сталь для Deutsches Reich  
**Минье** – глава 3, артиллерийский капитан в роли оракула  
**Мнесикл** – глава 7, греческие железные пироны  
**«Монитор»** – глава 9, «монитор» – «дедушка» броненосного флот  
**Монж Гаспар** – глава 5, «Буаг и Рамбур»  
**Монлюсон** – глава 5, Луи Ле Шателье  
**Монферран А.А.** – глава 7, Исакиевский собор  
**Монье Ж.** – глава 7, железобетон  
**Мотей Тесью дю** – глава 4, основная футеровка  
**Муассан Анри** – глава 10, из научной лаборатории в производство  
**Мэддисон Ангус** – глава 6  
**Мюллер** – глава 4, «национальные» особенности технологии бессемерования, основная футеровка  
**Мюшет Дэвид** – глава 3, раскисление стали; глава 6, исследования сплавов железа  
**Мюшет Роберт** – глава 6, исследования сплавов железа, «дредноуты» и «крупповские пушки»

**Наполеон III** – глава 3, артиллерийский капитан в роли оракула  
**Нахимов П.С.** – глава 9  
**Невер** – глава 5, «Буаг и Рамбур»  
**Невьянская башня** – глава 7, невянская башня  
**Николаевский мост** – глава 7, чугунные и железные мосты в России  
**«Нироста»** – глава 7, нержавеющая корона Крайслер билдинг  
**Нобель Альфред** – глава 9, нитроцеллюлозные пороха  
**Нугье Эмиль** – глава 7, башня Эйфеля  
**Ньюкомен Томас** – глава 2, Паровой насос кузнеца Ньюкомена

**Нэсмит Джеймс** – глава 3, Генри Бессемер – «Британский самородок», направление прорыва

**Нэш Джон** – глава 7, Символ архитектуры эпохи Промышленной революции

**Обуховский завод** – глава 9, «никелевая» броня

**Оксленд** – глава 6, исследования сплавов железа

**Отис Е.Г.** – глава 7, чикагская архитектурная школа

**Отто Карл** – глава 1, коксовая печь Коппе, улавливание продуктов коксования; глава 3, демпинг – эффективный маркетинговый ход для «прорывных» инноваций

**«Оушеник»** – глава 5, «морской» металл

**Пагода** – глава 7, китайские чугунные пагоды

**Пагода Тысячи Будд в Вэньшу** – глава 7, китайские чугунные пагоды

**Пакстон Джозеф** – глава 7, «хрустальный дворец»

**Пантелеймоновский мост** – глава 7, чугунные и железные мосты в России

**Папен Дени** – глава 2, паровой котел Папена

**Параллелограмм Уатта** – глава 2, универсальная паровая машина

**Пепис В.** – глава 10, научный фундамент

**Петров Василий Владимирович** – глава 10, научный фундамент

**Пишон** – глава 10, научный фундамент

**Прасонс Чарльз** – глава 9, корни научно-технической революции

**Парфенон** – глава 7, греческие железные пироны

**Пауэлс** – глава 1, ретортные и щелевые печи

**Пексан** – глава 9, «бомбические орудия» генерала Пексана

**Перси Джон** – глава 4, научное обоснование

**Пикар** – глава 2, универсальная паровая машина

**Пирон** – глава 7, греческие железные пироны

**Пламенные печи Коппе** – глава 1, коксовая печь Коппе

**Пола Ананг** – глава 7, индийские железные колонны

**Порта Джованни Баттиста делла** – глава 2, обо всём по порядку

**Пристли Джозеф** – глава 2, Бирмингем – город скульптур

**Проскуряков Лавр** – глава 7, стальные мосты

**Пудль-барс** – глава 3, кричные технологии индустриальной эпохи

**Райли Джеймс** – глава 5, приём против лома

**Райли Эдуард** – глава 3, от лабораторных опытов к промышленной технологии

**Райтсон Джон** – глава 4, томасшлак

**«Ракета»** – глава 8, великий самоучка Стефенсон

**Реле** – глава 6, исследования сплавов железа

**Рамсботтом Джон** – глава 3, рельсовая война

**Реблинг** – глава 8, мировая железнодорожная паутина

**Рейнольдс Ричард** – глава 8, чугунные дороги Коалбрукдейла

**Реннерфельд П.** – глава 10, трёхфазные электропечи

**Ренни Джордж** – глава 3, триумф, демпинг и детские болезни

**Реомюр Рене-Антуан де** – глава 3, отталкиваясь от Реомюра; глава 5, литая сталь Реомюра и Ухациуса

**Ретортная печь** – глава 1, ретортные и щелевые печи

**Ржешотарский А.** – глава 9, «никелевая» броня

**Ринман** – глава 6

**Рихман Георг Вильгельм** – глава 10, научный фундамент

**Ричардс Эдуард** – глава 4, удачное знакомство

**Робак Джон** – глава 2, универсальный предприниматель Джон Робак

**Робертсон Р.** – глава 7, Вулворт билдинг  
**Родман Томас** – глава 9, бездымные пороха и закаленные снаряды  
**Рококо** – глава 7, кованые решетки в стиле ампир и рококо  
**Роско** – глава 4  
**Росси К.И.** – глава 7, Александрийский театр  
**Рош** – глава 7, чикагская архитектурная школа  
**Рут Дж. У.** – глава 7, небоскрёбы  
**Рюэль** – глава 3, отталкиваясь от Реомюра  
  
**«Сады Кью»** – глава 7, символ архитектуры эпохи Промышленной революции  
**Сайфарта** – глава 5, «Буг и Рамбур»  
**Салливен Луис** – глава 7, небоскрёбы  
**«Самокал Мюшета»** – глава 6, «дредноуты» и «крупновские пушки»  
**Северанс Крэг** – глава 7, нержавеющая корона Крайслер билдинг  
**Северн** – глава 7, чугунные мосты  
**Семет-Сольвей** – глава 1, фасонный кирпич Семет-Сольвея  
**«Сервия»** – глава 5, «морской» металл  
**Серен** – глава 1, проблемы кучного коксования  
**Сименс Вернер** – глава 5  
**Сименс Вильгельм** – глава 3, такие разные инноваторы; глава 5; глава 10, научный фундамент  
**Сименс Ганс** – глава 5, Фридрих Сименс  
**Сименс Карл** – глава 5  
**Сименс Кристиан Фердинанд** – глава 5, начало династии  
**Сименс Иоганн Георг** – глава 5, первые шаги всемирной корпорации  
**Сименс Фридрих** – глава 5  
**Син Ли Сунь** – глава 9, корабль – черепаха «кобуксон»  
**Сирёй** – глава 5, печь Сименсов, технология Мартенов  
**Скапа-Флоу** – глава 9, почему это актуально?  
**«Слава»** – глава 9, «Слава» и «Воитель»  
**«Смерч»** – глава 9, катаная и кованая броня  
**Смит** – глава 6, исследования сплавов железа  
**Смитон Джон** – глава 2, карронский завод  
**Смолл Уильям** – глава 2, тернии и соблазны  
**Смэ** – глава 1, печи с горизонтальными камерами коксования  
**Снелюс Джордж** – глава 4, научное обоснование, перфекционизм как тормоз прогресса  
**Совестр Стефан** – глава 7, башня Эйфеля  
**Содерберг** – глава 10, трёхфазные электропечи  
**Солнье Жюль** – глава 7, стальная каркасная конструкция  
**Сомерсет Эдвард** – глава 2, обо всём по порядку  
**Сорби Д.** – глава 9, броня «сэндвич»  
**Сорокин Питирим** – глава 10, почему это актуально?  
**Сохо** – глава 2, Мэтью Болтон  
**«Сталь Гадфильда»** – глава 6, «дредноуты» и «крупновские пушки»  
**Стассано Эрнесто** – глава 10, трёхфазные электропечи  
**Стирлинг Джон** – глава 5, литая сталь Реомюра и Ухациуса  
**Стефенсон Джордж** – глава 8, великий самоучка Стефенсон  
**Стойловая печь** – глава 1, «Шаумбургские стойла»  
**Ступа** – глава 7, китайские чугунные пагоды  
**Сэйвери Томас** – глава 2, «друг рудокопа» капитана Томаса Сэйвери  
**Сюдр** – глава 5, литая сталь Реомюра и Ухациуса, политическое мифотворчество  
**Сяньгун** – глава 7, китайские чугунные пагоды

- Таги-аль-Диноме** – глава 2, обо всём по порядку
- Телфорд Томас** – глава 7, чугунные мосты
- Темплер** – глава 9, конструкционные решения
- Тенар Луи-Жак** – глава 10, научный фундамент
- Тернуар** – глава 1, улавливание продуктов коксования; глава 5, приём против лома
- Тесла Никола** – глава 10, трёхфазные электропечи
- Тиссен А.** – глава 10, новая эра литой стали
- Томас Сидни** – глава 3, такие разные инноваторы, глава 4; глава 6, доменное производство ферромарганца, ферросилиция и феррохрома
- Тревитик Ричард** – глава 8, первый паровоз
- Троице-Сергиев монастырь** – глава 7, русские кованные затяжки
- Туннер Петер фон** – глава 4, основная футеровка; глава 5, политическое мифотворчество
- Тэнннат** – глава 3, ферромарганец
- Уатт Джеймс** – глава 2; глава 7, здания на чугунном каркасе
- Уард В.Э.** – глава 7, железобетон
- Уилкинсон Джон** – глава 2, ключ к успеху заключался в кузнечной работе; глава 7, чугунные мосты
- Уильямсон Францис** – глава 2, «продавцы коров» – «золотые ребята»
- Уилмот Эрдли** – глава 3, шлифовка технологии
- Уитворт Джозеф** – глава 9, индустриализация артиллерийского производства, корни научно-технической революции
- Уитли Ричард** – глава 2, «продавцы коров» – «золотые ребята»
- Ульевая печь** – глава 1, ульевые печи, прогресс ульевых печей
- Успенский собор, Владимир** – глава 7, русские кованные затяжки
- Утрам Бенджамен** – глава 8, Рельсы чугунные и железные
- Ухациус Франц фон** – глава 5, литая сталь Реомюра и Ухациуса
- Уэль Уильям Генри** – глава 6, тигельное производство ферросплавов
- «Фарадей»** – глава 5, первые шаги всемирной корпорации
- Фарадей Майкл** – глава 2, Бирмингем – город скульптур; глава 5, «король чистого эксперимента»; глава 6, исследования сплавов железа
- Ферберн Уильям** – глава 3, отталкиваясь от Реомюра; глава 7, здания на чугунном каркасе; глава 9, «Слава» и «Воитель»
- Ферранти** – глава 10, индукционные печи
- Ферт-оф-Фортский мост** – глава 7, стальные мосты
- Фидлей Джон** – глава 7, мосты из ковкого железа
- Форбс-Кингс Реймонд** – глава 2, «продавцы коров» – «золотые ребята»
- Форшамбо** – глава 5, Форшамбо
- Франклин Бенджамин** – глава 7, невьянская башня
- Франсуа-Рексрот** – глава 1, вертикалы
- Фроммон** – глава 1, ретортные и щелевые печи
- Фукс Ян Непомук фон** – глава 4, братская поддержка
- Фултон Р.** – глава 7, чугунные и железные мосты в России
- Хантсман Бенджамен** – глава 3, металлургия железа накануне прорыва
- Хангерфордский рынок** – глава 7, символ архитектуры эпохи Промышленной революции
- Хар Р.** – глава 10, научный фундамент
- Харви Г.** – глава 9, «харвеевская» броня
- Хемфри Самуэль** – глава 8, первый паровоз

**Хендерсон** – глава 3, ферромарганец  
**Хильгеншток** – глава 4, миксер  
**Хильфенштейн** – глава 10, рудовосстановительные электропечи  
**Хит Иосия** – глава 5, литая сталь Реомюра и Ухациуса  
**Холаберд** – глава 7, чикагская архитектурная школа  
**Холлоуэй** – глава 3, от лабораторных опытов к промышленной технологии  
**Хорсхэй** – глава 7, чугунные мосты  
**Хоффман (Гофман) Густав** – глава 1, регенеративные печи Отто-Хоффмана; глава 5, регенератор  
**Храм Нефритовой Весны в Даньяне** – глава 7, китайские чугунные пагоды  
**Храм Сладкой Росы в Женьяне** – глава 7, китайские чугунные пагоды  
**Хэнкок «Тони»** – глава 2, Бирмингем – город скульптур

**Цорес А.** – глава 7, здания на чугунном каркасе  
**Цзэтянь У** – глава 7, китайские чугунные пагоды

**Чалонер Джордж** – глава 4, двойная жизнь судейского писаря  
**Чандрагупта** – глава 7, индийские железные колонны  
**Чанс** – глава 3, универсальный изобретатель  
**Чернышевский Н.Г.** – глава 7, «хрустальный дворец»  
**Черчилль Уинстон** – глава 5

**Шееде Карл Вильгельм** – глава 6, начало промышленного производства легированной стали  
**«Шкода»** – глава 9, «крупповская» броня  
**Шнайдер-Крезо** – глава 5, Форшамбо; глава 9, стальная броня «Ле Крезо», скорострельная пушка Шнайдера, корни научно-технической революции  
**Шнайдеры Адольф и Эжен** – глава 5, Форшамбо; глава 6, «дредноуты» и «крупповские пушки»  
**Шпрунг фон** – глава 5, политическое мифотворчество  
**Штенгель** – глава 6, исследования сплавов железа  
**Штодарт** – глава 6, исследования сплавов железа

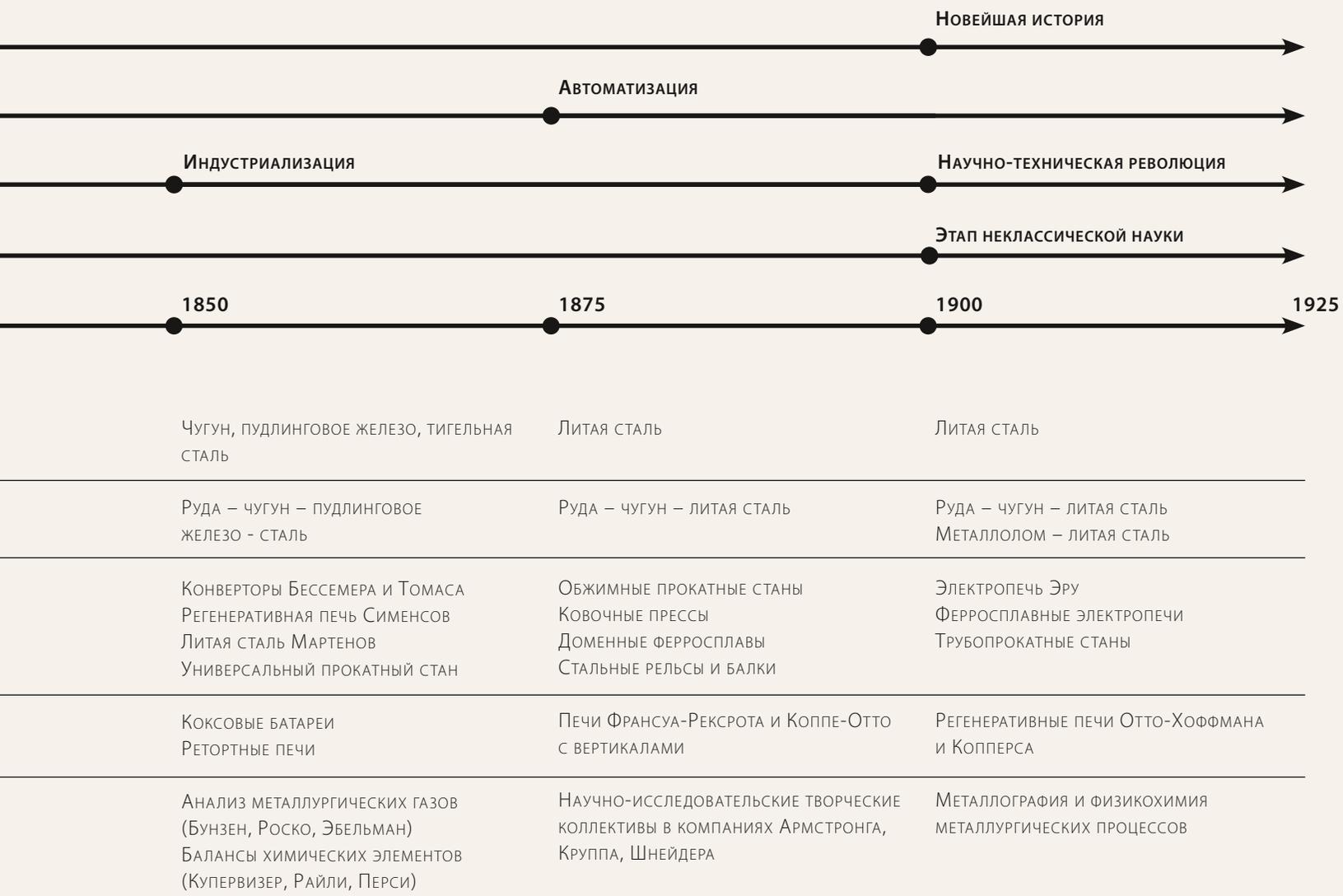
**Эббв Вейл** – глава 4, удачное знакомство  
**«Эдгар Аллен и Ко»** – глава 10, индукционные печи  
**Эдисон Томас** – глава 5  
**Эдскен** – глава 3, бессемеровский чугун  
**Эйлер** – глава 7, чугунные мосты  
**Эйфель Александр Гюстав** – глава 7, стальные мосты, башня Эйфеля  
**Эллингтон Джордж** – глава 5, первая английская экспедиция Вильгельма Сименса  
**Элюар** – глава 6, исследования сплавов железа  
**«Эндуро КА-2»** – глава 7, нержавеющая корона Крайслер билдинг  
**Элопил** – глава 2, обо всём по порядку  
**Эрехтейон** – глава 7, греческие железные пироны  
**Эрикссон Дж.** – глава 9, «монитор» – «дедушка» броненосного флот  
**Эру Поль** – глава 10, новая эра литой стали  
**Этвуд Томас** – глава 2, Бирмингем – город скульптур

**Ярроу Альберт** – глава 9, корни научно-технической революции



# Хронология цивилизации и важнейшие события в истории металлургии

ИСТОРИЧЕСКИЕ ЭПОХИ	НОВОЕ ВРЕМЯ
ИСТОРИЯ НАУКИ	МЕХАНИЗАЦИЯ
ИСТОРИЯ НАУКИ	ПРОМЫШЛЕННАЯ РЕВОЛЮЦИЯ
ВРЕМЯ	ЭТАП КЛАССИЧЕСКОЙ НАУКИ
	1800
РАБОЧИЕ МЕТАЛЛЫ	Чугун, пудлинговое железо, тигельная сталь
ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ	Руда – чугун – пудлинговое железо – сталь
ВАЖНЕЙШИЕ ОСВОЕННЫЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ, АГРЕГАТЫ И ПРОДУКТЫ	ПАРОВОЙ МОЛОТ НЕСМИТА ЛЕГИРОВАННЫЕ СТАЛИ ТИГЕЛЬНОЕ ПРОИЗВОДСТВО ФЕРРОСПЛАВОВ ЧУГУННЫЕ КОЛОННЫ
ВАЖНЕЙШИЕ ТЕХНОЛОГИИ И АГРЕГАТЫ КОКСОВАНИЯ	ШАУМБУРГСКИЕ СТОЙЛОВЫЕ ПЕЧИ УЛЬЕВЫЕ ПЕЧИ
ВАЖНЕЙШИЕ СОБЫТИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ НАУКИ	ИССЛЕДОВАНИЕ СПЛАВОВ ЖЕЛЕЗА ПОЛНЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РУД И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ (БЕРЦЕЛИУС, 1832)



УДК 669 (091)  
М54

Подготовлено и напечатано при спонсорской поддержке ЗАО «Объединённая Металлургическая Компания»

Рецензенты:

д-р ист. наук В.И. Завьялов (Институт археологии РАН);

д-р ист. наук, проф. В.В. Запарий (Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина)

М54      Металлургия и время : энциклопедия. В 4 т. Т. 2. Фундамент индустриальной цивилизации. Возрождение и Новое время / Ю.С. Карабасов, П.И. Черноусов, Н.А. Коротченко, О.В. Голубев. – М. : Изд. Дом МИСиС, 2011. – 216 с. : ил. ISBN 978-5-87623-538-1

Энциклопедия «Металлургия и время» включает четыре тома, содержание которых отражают более десяти тысячелетий, пройденных металлургией. Подробно и популярно изложены ключевые моменты развития металлургии. Рассмотрены социальные, политические, экологические и другие объективные и субъективные обстоятельства появления изобретений и открытий в области металлургического искусства. Это позволяет сформировать целостную картину постепенного взаимосвязанного культурного, социально-политического и технического развития современной индустриальной цивилизации, в основе которой лежат металлургические технологии.

Книга ориентирована на широкий круг читателей.

УДК 669(091)

ISBN 978-5-87623-538-1 (Т. 2)

ISBN 978-5-87623-536-7

© ЗАО «Объединённая Металлургическая Компания», 2011

Справочное издание

Металлургия и время: энциклопедия.

Т. 2. Фундамент индустриальной цивилизации. Возрождение и Новое время

Компьютерная верстка и дизайн ИИС «Металлоснабжение и сбыт»: В.А. Корнилов, А.Г. Ромицин, А.Л. Рубан

Подписано к печати ...09.2011 г. Формат 70x100/8

Бумага мелованная. Печать офсетная. Печ. л. 27,0. Тираж 1000 экз. Заказ.....



ЗАО «Объединённая Металлургическая Компания»,  
115184, Москва, Озерковская набережная, д. 28, стр. 2



Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»,  
119049, Москва, Ленинский пр-т, 4



Издательский Дом МИСиС,  
119049, Москва, Ленинский пр-т, 4



ИИС «Металлоснабжение и сбыт»,  
129085, Россия, Москва, ул. Б. Марьинская, д. 9, стр. 1

Отпечатано в типографии Издательского Дома МИСиС,  
119049, Москва, Ленинский пр-т, 4  
Тел. (499) 236-76-17, (495) 638-45-22, тел./факс (499) 236-76-35