3

ПРОИЗВОДСТВО ЦЕМЕНТА

Екатерина Николаевна Потапова
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева», доктор технических наук

Мария Андреевна Волосатова
Федеральное государственное автономное учреждение «Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»

Основная причина обвалов построек нашего города та, что <...> камни укладываются без надлежащего вяжущего.
Плиний[1]. «Естественная история», книга 36, 78 г. н. э.

ВВЕДЕНИЕ

Цементная отрасль, наряду с металлургией, электроэнергетикой, химией и машиностроением, определяет экономический потенциал и уровень промышленного развития страны. Динамично развивающийся строительно-инвестиционный комплекс России, основу которого составляет цементная промышленность, дает возможности расширения объемов производства, ассортимента выпускаемой продукции. Роль цемента в современном строительстве очень велика, его ничем невозможно равноценно заменить. Цемент и изготовляемые из него бетон и железобетон являются в настоящее время основными строительными материалами, которые используются в самых разнообразных областях строительства. Цемент в качестве вяжущего материала является одним из основных компонентов для большинства сухих строительных смесей. При этом цемент остается относительно простым, универсальным и дешевым веществом, для изготовления которого требуются широко распространенные материалы — известняк, мергель, глины, мел, гипс.

---

[1] Плиний Старший (Гай Плиний Секунд, 22–79 гг. н. э.) — древнеримский писатель-эрудит. Наиболее известен как автор «Естественной истории» — крупнейшего энциклопедического сочинения античности; другие его сочинения не дошли до наших дней. Несмотря на очевидные недостатки, авторитет «Естественной истории» Плиния Старшего был непререкаемым в течение последующих двенадцати–четырнадцати веков, и, пожалуй, ни одно из сочинений древности, за исключением Библии, не оказало такого влияния на представления людей поздней античности, Средневековья и Возрождения. Хочется привести некоторые цитаты Плиния, часть из которых мы и сегодня широко используем:
Каждому свое нравится.
Наилучший наставник во всем — привычка.
Может ли мерить вещи тот, у кого нет мерки даже для себя?
Нам отказано в долгой жизни; оставим труды, которые докажут, что мы жили!
Нет худа без добра.
Ни дня без строчки.
Падает тот, кто бежит. Тот, кто ползет, тот не падает.
Стыдно признаться, но ведь из всех живых существ один лишь человек не знает, что для него полезно.
Как много дел считались невозможными, пока они не были осуществлены.
Можно быть уверенным лишь в том, что ни в чем нельзя быть уверенным.
Дом — это там, где твое сердце.
Истинная слава состоит в том, чтобы делать то, что достойно быть описанным, и писать то, что достойно быть прочитанным.

В 2020 г. в России выпущено 55,9 млн т цемента, или на 3,1% меньше, чем в 2019. Его произвели 10 корпораций, 51 цементный завод, 3 помольных и смесительных производства. Выпуск цементного клинкера в отрасли в 2020 г. снизился на 1,8 млн т (до 51,7 млн т). Клинкер в 2020 г. выпускался на 32 печах сухого способа, 82 мокрого и 3 комбинированного способа производства суммарной мощностью 105,7 млн т цемента в год (рис. 1). По энергосберегающим технологиям было произведено более 60% продукции — на 1% больше, чем в 2019 г., и в 1,6 раза больше, чем в 2014. На долю 5 крупнейших производителей цемента приходится более 62% производства. 10 крупнейших компаний контролируют почти 87% рынка цемента. За пределы России в 2020 г. было отгружено 1,1 млн т цемента, ввезено в страну 1,4 млн т.

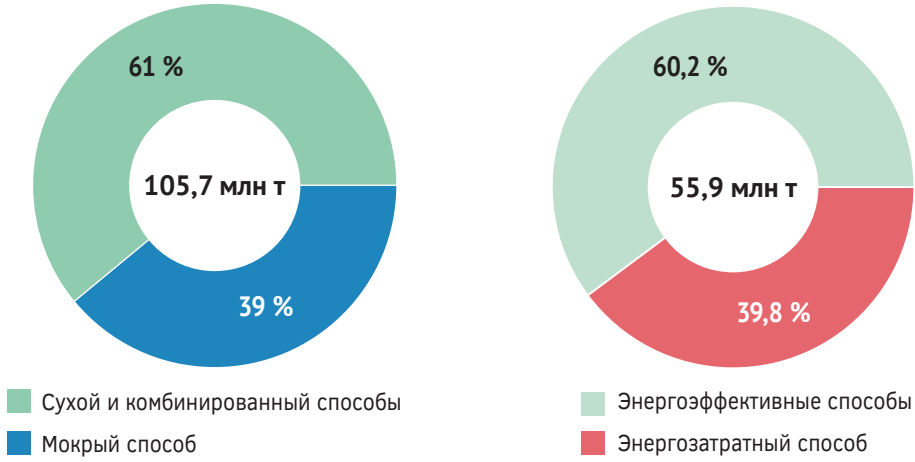


Рис. 1. Мощности предприятий по производству цемента (*слева*) и выпуск цемента (*справа*) в 2020 г.(по данным СМ ПРО)

К ведущим фирмам — производителям цемента, на долю которых приходится 50,8 млн т цемента, произведенного в 2020 г. (или 91,0% его суммарного выпуска по стране), можно отнести следующие: ПАО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп», ООО «Газметаллпроект», «ЛафаржХолсим Россия», АО «ХК «Сибирский цемент», ООО «ХайдельбергЦемент Рус», SLK Cement, Группа компаний AKKERMANN cement, ЗАО «Росгражданреконструкция», ООО «Востокцемент», «Группа СМиКом», ООО «Азия Цемент».

Из-за снижения производства цемента на многих предприятиях в 2020 г. снизился коэффициент использования действующих мощностей. По предварительной оценке, в среднем по отрасли этот показатель составил 52,9% (в 2019 г. — 54,6%).

Несоответствие объемов производства цемента и имеющихся мощностей в нашей стране объясняется высоким процентом незадействованных мощностей по производству ввиду высокого процента изношенности основных

фондов заводов — изготовителей цемента. Всего в эксплуатации находится 117 технологических линий производства цемента, причем большинство линий введено в эксплуатацию в прошлом веке. Самая «старая» линия функционирует с 1932 г., 17 линий построено в 50-е гг., 45 линий введено в эксплуатацию в 60-е гг. XX в.

Текущий уровень загрузки существующих производственных мощностей в теории позволяет существенно нарастить производство, на практике же все далеко не так просто. Не все компании в состоянии обеспечить рост. Во-первых, акционеров некоторых компаний вполне устраивает текущее положение дел, во-вторых, часть мощностей настолько изношена, что наращивание производства можно обсуждать только в связке с модернизацией.

В 2020 г. продолжались изменения корпоративной структуры цементной промышленности России.

Холдингу «ЕВРОЦЕМЕНТ груп» принадлежат 16 российских цементных предприятий общей мощностью около 44,9 млн т, включая Савинский цементный завод проектной мощностью 1,24 млн т, находящийся на реконструкции. Холдинг занимает ведущее положение по производству и продажам цемента на международном уровне.

В 2020 г. состоялся ввод в эксплуатацию завода «АТОМ Цемент». Проектная мощность предприятия — 550 тыс. т серого цемента в год. Завод мокрого способа производства построен компанией «Атомстройкомплекс» в районе г. Сысерть Свердловской области.

В 2020 г. возобновил работу цементный завод мокрого способа в Заринском районе Алтайского края, которым управляет ООО «Голухинский цемент».

АО «Себряковцемент» продолжало работы, необходимые для завершения полного перевода производства на сухой способ.

В 2020 г. успешно продолжалось освоение введенной в эксплуатацию в 2018 г. третьей технологической линии АО ПО «Якутцемент» (управляемого ООО «Востокцемент») мощностью около 150 тыс. т цемента в год.

Изменились мощности ряда других предприятий, что обусловлено продолжающимся освоением новых технологических линий сухого способа, модернизацией производства, а также выводом из эксплуатации некоторых линий мокрого способа.

По данным открытой печати, в 2020 г. велись строительство и подготовка к вводу в эксплуатацию следующих новых цементных предприятий и технологических линий: завода годовой проектной мощностью около 200 тыс. т ООО «Дорогобуж Цемент» в Смоленской области; предприятия мощностью около 20 тыс. т белого цемента в год австрийской фирмы Lasselsberger в Республике Башкортостан; технологической линии сухого способа мощностью 300 тыс. т белого цемента в год на предприятии «Жигулевские стройматериалы» холдинга «ЕВРОЦЕМЕНТ груп».

Падение потребления цемента за последние три года оказалось не таким сильным, как из-за финансового кризиса 2007 г. Тогда за один 2009 г. потребление обвалилось на 27,3%. Это третий кризис в истории современной России, не такой короткий, как предыдущий, когда рынок после падения практически

за два года вернулся на прежние позиции, и, вероятно, не такой длительный и драматический, как в 1990-х гг.

Если и следует ожидать восстановления спроса в ближайшие годы, то достижение максимальных показателей 2014 г. возможно не ранее 2025 г. в базовом сценарии и в 2023 г. — в оптимистичном. Если до 2014 г. в прогнозировании спроса можно было ориентироваться на мировые тренды, в том числе на стоимость нефти, то в ближайшем будущем, вероятно, отрицательное влияние окажут экономические санкции и возможная политическая и финансовая турбулентность внутри страны.

Следует отметить, что год от года увеличивается доля энергоэффективных способов производства. В 2020 г. по энергосберегающим технологиям было произведено 60,2 % продукции — это на 2 % больше, чем в 2019 г., и в 1,6 раза больше, чем в 2014 г.

Расположение предприятий по производству цемента на территории Российской Федерации довольно неравномерное. В европейской части России сосредоточено 73,5 % от общего объема производства и 75 % от объема потребления цемента. Всего цементные предприятия представлены в 41 субъекте Российской Федерации (см. рис. 2 и табл. 1).

Размещение цементных предприятий на территории России определяется двумя факторами — потребительским и сырьевым. Первый выражается в концентрации производства близ крупных потребителей: крупнейших городов, значительных промышленных центров, то есть тех мест, где ведется активное строительство. Можно сказать, еще точнее: плотность цементных заводов по регионам России в целом подчинена плотности населения. Много крупных цементных заводов размещено в Центральной России, в районе горнопромышленного Кузбасса.

Однако без удобного и производительного природного сырья, даже имея под боком крупного и надежного потребителя, цементный завод не построишь. Именно поэтому все цементные заводы Центрального района размещены южнее границы зоны последнего оледенения. Цементных заводов нет ни под Тверью, ни у Ярославля, ни у Смоленска, хотя потребителей здесь, учитывая еще и колоссальную Московскую агломерацию, — хоть отбавляй. Во всем виноваты моренные суглинки, перекрывшие многометровым слоем месторождения цементного сырья. Поэтому в этих районах открытая разработка горных пород, необходимых для цементной промышленности, нерентабельна (слишком дороги вскрышные работы), а строить шахты глупо — нигде в мире цементное сырье не добывают подземным способом, ведь залежи известняка или мергеля легко можно найти в другом, более удобном месте.

В ряде случаев в качестве сырья для цементной промышленности используются отходы других отраслей индустрии.

Именно таким образом в России сформировались центры производства цемента: в Новокузнецке, Магнитогорске, Новотроицке, Липецке — на базе отходов черной металлургии; в Пикалеве, Ачинске, Красноярске, Норильске — с использованием отходов цветной металлургии; в Сланцах — на основе сланцевой золы.

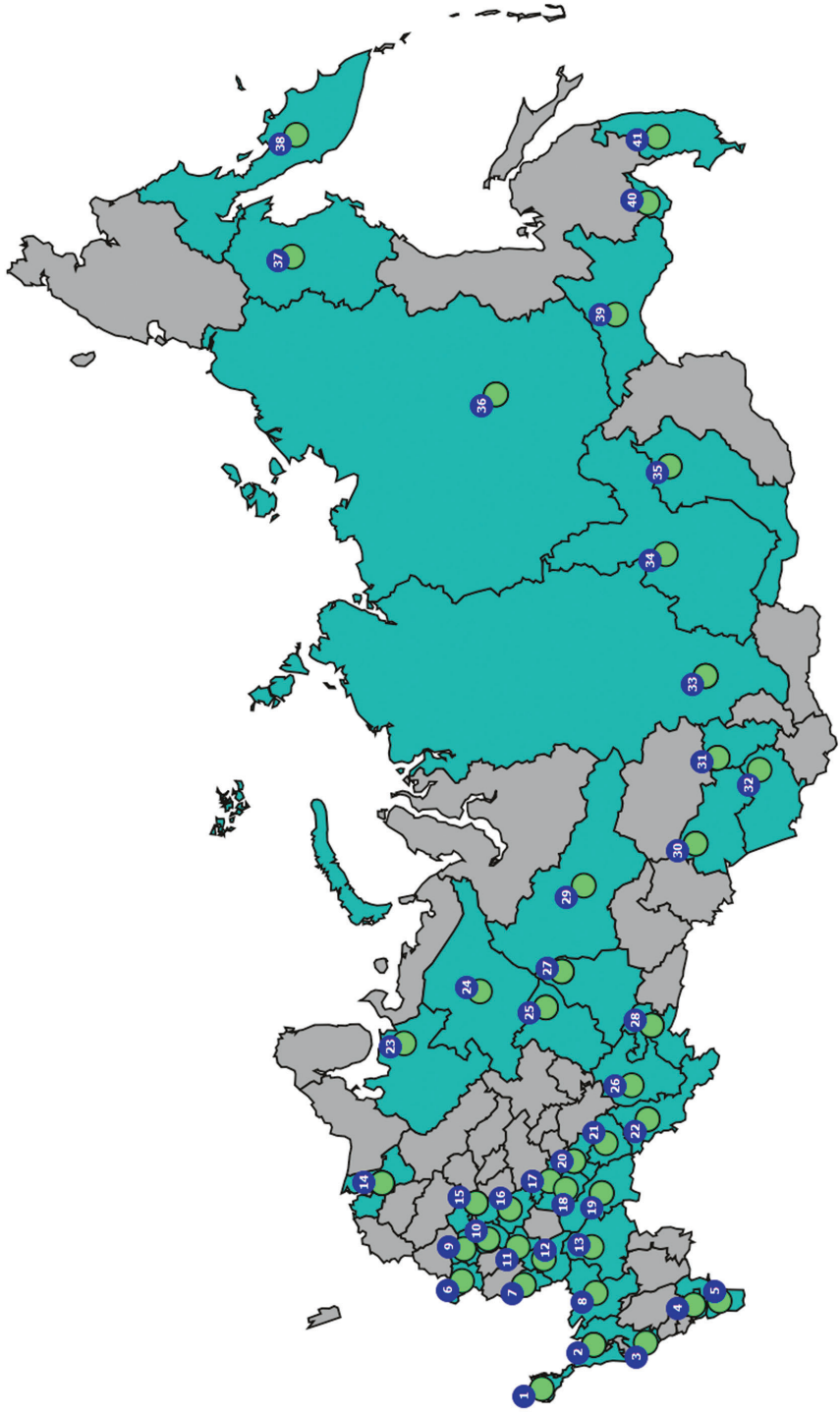


Рис. 2. Карта-схема расположения основных производителей цемента в Российской Федерации

Таблица 1. Производители цемента в Российской Федерации

№ на карте	Регион Российской Федерации	Предприятие
1	Республика Крым	АО «Бахчисарайский комбинат «Стройиндустрия»
2	Краснодарский край	ООО «Атакайцемент»
		ОАО «Верхнебаканский цементный завод»
		ОАО «Новоросцемент»
3	Карачаево-Черкесская Республика	АО «Кавказцемент»
4	Чеченская Республика	АО «Чеченцемент»
5	Республика Дагестан	ООО «Буйнакский цементный завод»
6	Брянская область	АО «Мальцовский портландцемент»
7	Белгородская область	ЗАО «Белгородский цемент»
		ЗАО «Осколцемент»
8	Ростовская область	ЗАО «Углегорск-Цемент»
9	Калужская область	ОБП ОАО «Лафарж Цемент» (п. Ферзиково)
10	Тульская область	Филиал «ООО ХайдельбергЦемент Рус» (п. Новогуровский)
11	Липецкая область	АО «Липецкцемент»
12	Воронежская область	Воронежский филиал «ЕВРОЦЕМЕНТ груп»
13	Волгоградская область	АО «Себряковцемент»
14	Ленинградская область	АО «Пикалевская сода»
		АО «Пикалевский цемент»
		ООО «Петербургцемент»
		ОАО «ЦЕСЛА»
15	Московская область	ООО «Холсим (Рус) СМ» (г. Коломна)
		Филиал ОАО «Лафарж Цемент» (г. Воскресенск)
		ОАО «Подольск-Цемент»
16	Рязанская область	АО «Михайловцемент»
		ООО «Серебрянский цементный завод»
17	Республика Мордовия	ПАО «МОРДОВЦЕМЕНТ»
18	Пензенская область	ООО «Азия Цемент»
19	Саратовская область	ООО «Холсим (Рус)» (г. Вольск)
		АО «ХайдельбергЦемент Волга»
20	Ульяновская область	ООО «Сенгилеевский цементный завод»
		АО «Ульяновскцемент»
21	Самарская область	ЗАО «Жигулевские стройматериалы»

Таблица 1 (окончание)

№ на карте	Регион Российской Федерации	Предприятие
22	Оренбургская область	АО «Новотроицкий цементный завод»
		ООО «Южно-Уральская ГПК»
23	Архангельская область	ЗАО «Савинский цементный завод»
24	Республика Коми	ООО «Цементная северная компания»
25	Пермский край	ПАО «Горнозаводскцемент»
		ОАО «Пашийский металлургическо-цементный завод»
26	Республика Башкортостан	Филиал ООО «ХайдельбергЦемент Рус» (г. Стерлитамак)
27	Свердловская область	АО «Невьянский цементник»
		ООО «Староцементный завод»
		ОАО «Сухоложскцемент»
28	Челябинская область	SLK Cement
		ЗАО «Катавский цемент»
		ООО «Магнитогорский цементно-огнеупорный завод»
		ООО «Мечел-Материалы»
29	Ханты-Мансийский автономный округ	ООО «Югорский завод строительных материалов»
30	Новосибирская область	ООО «Искитимский завод строительных материалов»
		АО «Искитимцемент»
31	Кемеровская область	ООО «ПК «КЦЗ»
		ООО «Топкинский цемент»
32	Алтайский край	ОАО «Цемент»
33	Красноярская область	Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильский никель»
		ООО «Ачинский цемент»
		ООО «Красноярский цемент»
34	Иркутская область	ОАО «Ангарскцемент»
35	Республика Бурятия	ООО «Тимлюйский завод»
		ООО «ТимлюйЦемент»
36	Республика Саха (Якутия)	ОАО ПО «Якутцемент»
		ООО «Сахцемент Лунсин»
37	Магаданская область	ОАО «Колымацемент»
38	Камчатский край	ОАО «Камчатцемент»
39	Амурская область	ООО «С Технология»
40	Еврейская автономная область	ОАО «Теплоозерскцемент»
41	Приморский край	АО «Спасскцемент»

В результате сложившейся структуры расположения предприятий и их мощностей удовлетворение спроса на цемент в отдельных регионах обеспечивается за счет межрегиональных поставок цемента и его импорта.

Что же касается форм собственности, то на сегодняшний день все предприятия цементной промышленности являются частными акционерными обществами, а некоторые — со значительной долей зарубежных акционеров. На долю 5 крупнейших производителей цемента приходится более 60 % производства. 10 крупнейших компаний контролируют почти 86 % рынка цемента (без учета его импорта и экспорта). Ведущими фирмами — производителями цемента в России являются: ПАО «ЕВРОЦЕМЕНТ груп», ООО «Газметаллпроект», «ЛафаржХолсим Россия», ООО «ХайдельбергЦемент Рус», «Buzzi Unicem», «AKKERMANN cement», АО «ХК «Сибирский цемент», АО «Себряковцемент», «Группа СМиКОМ», группа компаний «Востокцемент», ООО «Азия Цемент», АО «Искитимцемент». Абсолютным лидером по производству цемента в России является компания «Евроцемент». В 2019 г. она произвела 16,5 млн т цемента, заняв 28,6 % российского рынка.

Основными потребителями цемента являются заводы железобетонных и асбестоцементных изделий и конструкций, на долю которых традиционно уходит до 75 % производимого цемента, примерно 15 % цемента используется при проведении строительно-монтажных работ, порядка 5 % продается в розницу населению. В последние годы в структуре потребления цемента наблюдаются тенденции, связанные со снижением производства сборных железобетонных конструкций, увеличением объемов домостроения из монолитного бетона и железобетона.

ИСТОРИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ ОТРАСЛИ

С древнейших времен и поныне огромное значение в жизни человечества имеют материалы, которые служат для связывания между собой камней, кирпичей или отдельных конструктивных элементов жилых домов, инженерных и архитектурных сооружений, для штукатурки, отделки и гидроизоляции их. Из них же изготавливают искусственные строительные материалы и изделия. Наконец, их используют для производства строительных растворов и бетонов для возведения бетонных и железобетонных зданий, и сооружений.

Сырьевой базой для производства неорганических вяжущих веществ являются горные породы и побочные продукты промышленности. Среди горных пород для этих целей используют сульфатные — гипс и ангидрит; карбонатные — известняк, мел, известковые туфы, ракушечник, мрамор, доломиты, доломитизированные известняки, магнезит; мергелистые — известковые мергели; алюмосиликатные — нефелины, глины, глинистые сланцы; высокоглиноземистое сырье — бокситы, корунды и др.; кремнеземистые горные породы — кварцевый песок, трассы, вулканический пепел (пуццолан), диатомит, трепел, опока.

Вяжущие материалы — основа строительных материалов — предназначены для изготовления бетонов и строительных растворов, скрепления отдельных

элементов (деталей) сооружений, гидроизоляции и др. В древности говорили: «Повяжут песок — бетон получается, повяжут камни-валуны — плита, постамент или стена какая-нибудь выходит».

«Бетон — наилучший из материалов, изобретенных человечеством... История его — это героический эпос человеческой мысли и воли», — так восторженно говорит о бетоне известный итальянский инженер и архитектор Пьер Луиджи Нерви[2]. Специалисты считают бетон материалом эпохи революционных преобразований в строительстве и архитектуре.

Трудно точно сказать, где и когда появился бетон, так как начало его зарождения уходит далеко в глубь веков. Очевидно лишь то, что он не возник таким, каким мы его знаем сегодня, а как большинство строительных материалов прошел длинный путь развития.

Применение цементов в строительстве не было известно на ранних стадиях цивилизации. В древние времена постройки возводились из земли, иногда насыпанной чередующимися слоями в форме стен или сводов, а также из каменных глыб, уложенных друг на друга и не скрепленных вяжущим материалом. Устойчивость таких стен зависела исключительно от правильной укладки тяжелых каменных глыб без всякого участия адгезии. И хотя этим способом были созданы такие замечательные сооружения, как, например, сводчатые храмы в Микенах, где между крупными блоками уложены мелкие каменные клинья для уплотнения швов, в последующие времена циклопические постройки все чаще уступают место каменной или кирпичной кладке на пластичном вяжущем материале.

Цемент (*нем.* Zement, от *лат.* Caementum — щебень, битый камень) можно охарактеризовать как вяжущее вещество, обладающее способностью связывать отдельные куски или массу твердых материалов. Это определение охватывает большое количество самых различных веществ, у которых общее, в сущности, только одно свойство — вяжущая способность. Основным свойством вяжущих материалов является прежде всего способность после добавления воды образовывать коллоидальные растворы, сообщающие тесту пластичность и, вследствие этого, легкую и удобную обрабатываемость в многообразных случаях применения в строительстве: для заполнения швов, для штукатурных и кровельных обмазок и т. п.

Другое важное свойство вяжущих веществ — способность твердеть после затворения и с течением времени приобретать прочность. Таким образом, строительными вяжущими веществами называют материалы, которые, будучи в порошкообразном состоянии смешаны с водой, образуют пластичную и легко перерабатываемую массу, с течением времени затвердевающую в прочное камневидное тело.

[2] Пьер Луиджи Нерви (1891–1979) — итальянский инженер и архитектор, изобретатель армоцемента (мелкозернистого бетона, армированного тканными или сварными сетками из мелкой проволоки); экспериментальное исследование строительных материалов и конструкций связывал с поисками новых средств художественной выразительности.

Строительные растворы, так же как и бетон, существовали с древних времен. Известно, что их применяли еще при постройке египетских лабиринтов, древних мексиканских пирамид, использовали для возведения городских стен, башен и крепостей.

Интересно, что во все времена принцип формирования компонентного состава строительных растворов был практически одинаков. В состав строительных растворов всегда входило вяжущее вещество, заполнитель и вода; иногда — дополнительная примесь для придания раствору особых свойств. При этом, несмотря на одинаковый набор компонентов, химические составы строительных растворов в разных странах имели существенные различия, обусловленные прежде всего географическими факторами.

Первым воздушным вяжущим и одним из основных строительных материалов древности была глина. Это естественное вяжущее не требует предварительной термической обработки и помола, а нуждается лишь в разминании и увлажнении. Поэтому глина очень проста в использовании.

С развитием строительства и применением очага возникло изготовление искусственных вяжущих веществ с термической обработкой сырья. Простейшие очаги древние люди складывали из камней на глиняном растворе. Наблюдение за превращением глиняного раствора под действием огня в прочный гончарный черепок постепенно привело человека к изготовлению керамической посуды и кирпича. Импровизированный очаг, представлявший собой заглубление, выложенное камнями известняка или глины, явился предметом дальнейших наблюдений человека. Случайно попадавшийся между камнями порошок известняка или гипса под действием огня подвергался декарбонизации или дегидратации (обжигался). Первый же дождь превращал обожженный порошок в тестообразную массу, которая, высыхая, прочно связывала прилегающие камни в монолитную массу.

Шло время, и уже другие вяжущие материалы, получаемые искусственным путем и способные при затворении (замешивании) водой превращаться в пластичную массу, отвердевая при этом не только на воздухе, но и в водной стихии, были созданы пытливыми умами человечества.

Первые семнадцать с половиной веков нашей эры почти не внесли существенных изменений в производство вяжущих материалов. Известь, гипс и глина по-прежнему оставались основными строительными вяжущими.

Необычайное развитие естествознания и техники во второй половине XVIII — первой половине XIX в. и рост потребности в водостойких вяжущих вызвали прогресс и в области производства и применения вяжущих. Обжиг соответствующего природного известково-глинистого сырья позволил изготавливать со второй половины XVIII в. все в больших масштабах естественные гидравлическую известь и романцемент. Однако ограниченность запасов такого сырья побудила перейти в первой половине XIX в. к более сложному производству гидравлической извести и романцемента путем составления из двух природных компонентов искусственных известково-глинистых смесей и их обжига, что во второй половине XIX в. привело к производству портландцемента.

Техника гидравлических строительных растворов стояла в течение ряда веков на точке замерзания, и пуццоланы часто доставлялись в отдаленные от места добычи страны, несмотря на значительные расходы по перевозке. Причина такого положения вещей заключалась в том, что строителям не были известны как состав пуццоланов, так и сущность их гидравлического действия на известковое тесто. Здесь техника ждала толчка от научной идеи, от научного открытия, и первыми, осветившими вопрос о причинах образования гидравлических растворов, были знаменитый французский инженер Луи Вика[3] и профессор мюнхенского университета Иоганн Фукс[4]. Фукс установил, что пуццоланы содержат в своем составе активный кремнезем, который, взаимодействуя с известью, образует силикаты кальция типа $Ca(OH)_2 + SiO_2 = CaO \cdot SiO_2 \cdot H_2O$.

Независимо от профессора Фукса Вика произвел большое количество исследований над глинами и установил, что почти все глины после надлежащего обжига приобретают свойства пуццоланов. А так как глины находятся повсеместно, то казалось, что изготовление подобных «пуццолановых цементов» должно было получить преобладающее значение в практике строительного дела. Однако прогресс цементной техники пошел по другому пути — вследствие случайных открытий нескольких англичан-практиков.

В середине XVIII в. известный английский инженер-строитель Джон Смитон[5] при строительстве Эддистонского маяка (рис. 3) для получения извести использовал известняки с близлежащих карьеров.

Известняки имели в своем составе большое количество примесей глины, и считалось, что они непригодны для получения воздушной жирной извести. Смитон с целью экономии все же

Рис. 3. Последний, четвертый 49-метровый Эддистонский маяк, рядом с которым останки его предшественников, светит уже 128 лет

[3] Луи Жозеф Вика (1786–1861) — французский инженер, с 1833 г. — член-корреспондент французской Академии наук, исследователь гидравлической извести и цементов, пригодных для постройки мостов, в честь которого назван прибор для определения нормальной густоты и сроков схватывания цемента.

[4] Иоганн Непомук Фукс (1774–1856) — немецкий химик и минералог.

[5] Джон Смитон (1724–1792) — английский инженер по гражданскому строительству, ввел много усовершенствований в конструкцию водяных и ветряных мельниц, водолазного колокола и паровой машины, сумел наладить производство гидравлического цемента, забытого со времен Древнего Рима. В 1771 г. основал Инженерное общество.

обжигал эти известняки и получал известь, которая, хотя и слабо, но гасилась и обладала вяжущими свойствами.

Однако Дж. Смитон заметил в этом вяжущем важное свойство — твердеть в воде. Инженер обратил внимание на то, что под действием воды негашеная известь в смеси с глиной затвердевает. Он добавил к этому составу песок и каменный шлак и получил довольно прочное вещество, которое использовал при строительстве фундамента под Эддистонский маяк. Так была впервые открыта гидравлическая известь.

В 1796 г. англичанин Джеймс Паркер, намереваясь получить гидравлическую известь из «глинистых почек» острова Шеппи в устье Темзы, обнаружил, что полученный продукт совершенно не гасится водой, но при измельчении его в тонкий порошок быстро схватывается и твердеет. В связи с высоким (30–35 %) содержанием глины в новом сырье Паркер обжигал его в известковых печах, но при более высокой температуре, которая была недостаточна для спекания и остекловывания материала, но уже исключала возможность гашения продукта (клинкера). Клинкер надлежало превращать в порошок механически или иным способом. Новый цемент коричневым цветом напоминал древние римские смеси из извести и пуццолана, и позже, когда Дж. Паркер приобрел патент[6] на открытый им материал, он назвал его романцементом (римским цементом).

Сырье, подобно английским «глинистым почкам», было распространено и на французском берегу Па-де-Кале, например у Булони, где его называли галетами (от *фр.* galette — галька). Здесь военный инженер Лесаж в 1796–1801 гг. провел предварительные опыты и организовал производство из галет цемента подобно паркеровскому. Во Франции цементы тоже получили название романских цементов, или быстротвердеющих (быстросхватывающихся), но впоследствии из естественных глинистых известняков стали делать и медленносхватывающиеся цементы, почему за всеми цементами этого рода оставлено только название «романских», без других характеристик. Большие неудобства, зависящие от неоднородности глинистых известняков, повели к дальнейшим весьма важным открытиям в приготовлении цементов. Известняки с малым содержанием глины дают гидравлическую известь, с большим содержанием — гидравлические цементы разных характеристик.

Производство романцемента в Центральной Европе восходит к 1829–1830 гг., когда профессор И. Фукс представил свои работы об известях и растворах. В 1829 г. он показал, что всякий кремнеземистый минерал может быть годен для гидравлического цемента, если его подвергнуть обжигу. Такие породы, как граниты, гнейсы, порфиры, полевой шпат, слюда и даже простая глина, не говоря о чистом кремнеземе (горный хрусталь, халцедон), после обжига

[6] Патент № 2120 от 27 июля 1796 г., выданный Джеймсу Паркеру из Портфлита, близ Лондона, графство Кент, на новый цемент для строительных целей, фиксирует изобретение им «определенного цемента или трасса для использования в подводных и других сооружениях и штукатурных работах».

с известью затвердевают под водой. Вопрос стоял только в доступности сырья и энергоемкости производства.

С 1837 по 1841 г. Л. Ж. Вика показал, что большая часть глин обладает свойством превращаться в пуццоланы вследствие обжига, то есть затвердевать с известью под водой, почему продукт обжига глин и назвали искусственным пуццоланом (цемянкой). Интересно, что до настоящего времени для определения сроков схватывания цементного теста применяется прибор, который по имени его изобретателя называется прибором Вика.

Однако Вика не смог воплотить в жизнь свою идею получения искусственного камня. Он показал, что это возможно, но практическое осуществление его мысль получила в России и Англии. Первые цементные заводы возникли в Англии, а затем производство цемента распространилось по всему миру.

Изобретение портландцемента связывают с именами Джозефа Аспдина и Егора Челиева.

Зарождение отрасли в мире

В декабре 1824 г. каменщик из английского города Лидса Джозеф Аспдин получил патент[7] на «Усовершенствованный способ производства искусственного камня», который он создал на собственной кухне. Изобретатель нагрел смесь хорошо подробленного известняка и глины в кухонной печи, после раздробил комок смеси в порошок и получил гидравлический цемент, который затвердел при добавлении воды.

Идея о возможности изготовления из искусственной смеси известняка и глины «цемента, который был бы равен лучшему рыночному портландцементному камню по твердости и долговечности», принадлежит еще Дж. Смитону. Дж. Аспдин первый дал гидравлическому вяжущему название «портландцемент» (потому что при производстве он использовал камни с карьера, который находился на острове Портланд) и является изобретателем этого названия. В 1825 г. Аспдин основал заводское производство своего «портландцемента» в Йоркшире, недалеко от Лидса. Крупные строители того времени по достоинству оценили новый цемент и предпочитали его всем остальным цементам, поэтому производство его получило в Англии большое развитие.

Полученное Аспдином вяжущее не было портландцементом в современном смысле этого слова (Аспдин не доводил смесь до спекания, что является основным условием получения портландцементного клинкера), а представляло собой разновидность романцемента, полученного при несколько повышенной температуре обжига (900–1000° С), однако название «портландцемент» сохранилось и поныне.

Гидравлическое вяжущее, описанное Е. Г. Челиевым, было ближе по свойствам к современному портландцементу, а по качеству превосходило

[7] Патент № 5022 от 15 декабря 1824 г. «Искусственный камень. Усовершенствования Аспдина в способах производства искусственного камня».

портландцемент Аспдина, но Аспдин основал заводское производство цемента (рис. 4), которое развил его сын Уильям.

Рис. 4. Печь Аспдина на построенном им заводе «Робинс и Аспдин», 1847–1848 гг.

Английские портландцементы получили признание и распространение после Лондонской всемирной выставки 1851 г. Весь портландцемент на континенте стал называться английским, вплоть до 1878–1880 гг., когда его производство освоили в Германии. С этого времени цемент начал применяться практически повсеместно.

Технология изготовления цемента получила широкое распространение, и в каждом государстве промышленники строили свой собственный цементный завод, а то и не один. Купить цемент стало значительно проще, уже не требовалась переброска цемента морем.

Сыновья Аспдина Уильям и Джеймс вначале выпускали на созданных предприятиях «аспдиновский» цемент, а с 1848 г. фирма «Робинс, Аспдин и Компания» начала производство настоящего портландцемента.

Во Франции впервые портландцемент начала производить с 1868 г. компания «Лафарж» в городе Тей, коммуна Ардеш. Хотя первый завод по производству цемента во Франции был построен в 1846 г. в городе Булонь-сюр-Мер, однако он выпускал популярный в то время романцемент.

Первый завод по производству портландцемента в Германии возник в Цюльхове[8] близ Штеттина в 1855 г. Цемент, производившийся из местной глины и мела с острова Волина, по качеству не уступал английскому, и вскоре производство выросло до 30 000 бочек в год.

Такой успех породил устройство подобных заводов в Бонне, Леббине, Оппельне, Люнебурге, Аменебурге, Финкельвальде. К 1877 г. в Германии насчитывалось уже 30 заводов по производству портландцемента.

Цементные заводы (фабрики по производству цемента) появляются повсеместно там, где обнаруживают большие залежи известняков и глин. Например, в Германии в 1859 г. при исследовании месторождений бурого угля в предместье Хеммоор натолкнулись на мощные пласты мела и глины. В 1862 г. на этом месте Юрген-Гинрих Хагенах сооружает кирпичный завод и предприятие по производству извести, а в 1866 г. здесь появляется маленькая фабрика по производству цемента «Хеммоор». В 1882 г. акционерное общество «Фабрика портландцемента Хеммоор» при 1000 рабочих выпускало уже в год 170 000 бочек цемента.

Первый цементный завод в США Coplay Cement Company был основан в 1866 г. Дэвидом О. Сэйлором в долине Лихай штата Пенсильвания. Дэвид О. Сэйлор считается «отцом» американской цементной индустрии. Именно этот цементный завод, ныне музей, принадлежал Сэйлору, и, конечно, музей был создан в его честь.

Графство Лихай — естественный источник сырья для производства цемента. В 1871 г. Сэйлор получил патент на производство портландцемента, который был гораздо прочнее и качественнее, чем так называемые натуральные цементы, производимые в США до этого времени. Из цемента Сэйлора строились мосты, дороги, небоскребы, акведуки, административные и жилые здания. В 1900 г. в долине Лихай производилось 72 % всего портландцемента в США. Сначала были возведены доменные печи, однако они работали крайне неэффективно, и их быстро закрыли. Уже в 1893 г. были построены печи, которые мы можем наблюдать и сейчас, то есть вертикальные печи Schoefer[9] (рис. 5). Для производства цемента использовались 11 вертикальных печей, которые были высотой 90 футов[10] (27,4 м).

Печи в долине Лихай — датская модификация вертикальных немецких печей — были построены из местного красного кирпича. По сравнению с купольными печами, эти печи (печи непрерывного действия) выпускали более качественный продукт. Однако и они проработали недолго. В 1904 г. вертикальные печи были закрыты, так как появились более эффективные и производительные горизонтальные вращающиеся печи.

---

[8] До 1945 г., когда Штеттин был частью Германии, немецкое название этого пригорода было Штеттин-Цюльхов. В настоящее время это Желехова — муниципальный район города Щецин (Польша).

[9] К 2021 г. из 11 печей сохранилось только 9, которые компания Coplay Cement Company в 1975 г. передала местным властям. С тех пор Сэйлор-парк — промышленный музей, который с 1980 г. включен в перечень национального достояния США.

[10] 1 фут ≈ 0,305 м.

Рис. 5. Цементные печи Coplay Company

Изобретателями вращающейся печи являются Эллиот и Руссель, которые в 1853 г. получили патент на вращающуюся механическую содовую печь (рис. 6). Изобретение вращающихся печей имело большое значение не только для прогресса содового производства, но и в других отраслях промышленности, в том числе и цементной. Механическая вращающаяся печь приводилась в движение паровым двигателем и вмещала 196,5 пуда сырьевой шихты.

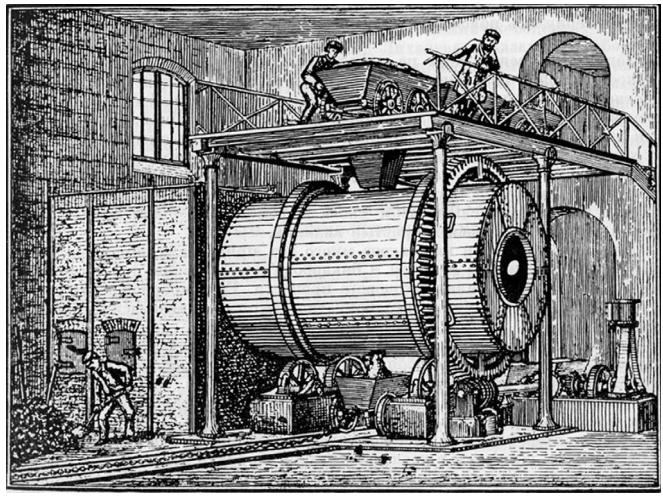


Рис. 6. Первая вращающаяся печь

В цементной промышленности вращающуюся печь впервые применил Фредерик Рэнсом (1818–1893; патент в Англии 1885 г., в США 1886 г.). В Европе «лежачие» вращающиеся печи вместо «стоящих» проходных шахтных печей стали распространяться известнейшими строителями Ф. Л. Смидтом[11] в Копенгагене и А. Г. Э. Полизиусом[12] в Дессау.

Вращающаяся печь представляла собой футерованный огнеупорами металлический цилиндр, опирающийся на роликовые опоры. Для передвижения обжигаемого материала в печи ее устанавливали под углом 4–5° к горизонту. Печь приводили в движение электродвигателем. Сырьевая смесь, загружаемая с холодного конца, двигалась при вращении печи навстречу продуктам горения топлива.

Одна из первых печей имела длину 11 м и диаметр 1,5 м, а в 1900 г. уже имелись печи диаметром 2 м и длиной 35 м. Их суточная производительность составляла 30 т (одна из самых длинных печей 232 × 7,6 м производительностью до 3000 т в сутки была установлена компанией FLSmidth в 1964 г. на заводе Данди Клаксвилл, США).

Дробилку (мельницу) для измельчения клинкера изобрел в 1892 г. датский инженер Дэвидсен. Внутри она была футерована кварцевыми плитками, а в качестве мелющих тел использовалась морская галька.

В мировой прессе широко рекламировался цемент, и публика перестала воспринимать новый материал как нечто странное и пугающее. А после того как британская армия и флот взяли его в буквальном смысле слова на вооружение, цементом заинтересовался генералитет всех более или менее развитых стран.

[11] Концерн «Ф. Л. Смидт» основан в 1882 г. инженером Фредериком Лессо Смидтом в качестве консультирующей фирмы по паровым двигателям и мельница. С 1884 г. фирма специализировалась на проектировании оборудования для производства кирпича и черепицы, а с 1887 г., после прихода инженеров Поля Ларсена и Александра Фосса, компания изменила свое название на F. L. Smidth & Co и стала заниматься проектированием цементных заводов. Первый цементный завод был построен в Швеции в г. Лимхамн в 1887 г. Затем компания построила несколько цементных заводов в Швеции, Норвегии и Дании и стала лидером в технических усовершенствованиях цементного производства. В 1893 г. компания приобрела у французско-датского изобретателя права на новый тип мельницы — трубную мельницу. В 1893 г. представители компании со своими технологиями прибыли в Санкт-Петербург. Первый цементный завод они построили в порту Кунда (Эстония). К 1914 г. почти все заводы в России были либо построены, либо модернизированы компанией «Ф. Л. Смидт». В окрестностях Петербурга — это Глухоозерский цементный завод и завод «Железо-цемент». Сегодня FLSmidth — транснациональная компания, занимающаяся разработкой технологий и производством оборудования для горнодобывающей, обогатительной и цементной промышленности. Объединяет 125 компаний в 15 странах мира. В прошлом году годовой оборот предприятия составил 1,4 млрд евро.

[12] ThyssenKrupp Polysius — фирма, входящая в состав концерна ThyssenKrupp. Осуществляет поставки оборудования для горнодобывающей, металлургической, химической, энергетической и цементной отраслей промышленности. Во всем мире в фирме работают более 1600 человек. Компания была создана в 1859 г. Андреасом Готфридом Эрнестом Полизиусом, открывшим собственную мастерскую в г. Дессау. В 1971 г. компания была приобретена концерном Крупп. В 1999 г. фирма Polysius AG стала частью объединенного концерна ThyssenKrupp.

Немцы начали самостоятельное освоение производства цемента, поскольку англичане отправляли на экспорт готовую продукцию, а отнюдь не секреты технологии ее производства.

Зарождение отрасли в России

Промышленное производство цемента в России имеет уже вековую историю. Если брать за исходную точку первое официальное упоминание о нем, то оно датируется XVII в. В письме князю М. П. Гагарину, тогдашнему коменданту Москвы, Петр I дает поручение прислать несколько бочек извести. Примечательно, что затем слово «известь» было зачеркнуто и исправлено на «цементъ». Вполне возможно, что в данном случае речь шла об одной из разновидностей цемента, а именно романцементе, производимом в те далекие времена, поскольку первый цементный завод в России был построен и запущен в эксплуатацию в 1856 г., и производил он портландцемент.

Вначале в Россию ввозили английский цемент для строительства портовых сооружений и крепостей. Французский классик цементного производства и бетонного строительства Луи Жозеф Вика, который разработал принципы производства цемента в том виде, в каком они существуют до сего дня, учил будущих русских инженеров-путейцев, что для получения цемента необходимо спекать известняки и глины и размалывать полученные куски до состояния порошка. На необъятных пространствах России было немало мест, где имелись залежи глины, известняков и каменного угля, что позволяло организовать массовое производство цемента, но его продолжали ввозить из Англии на протяжении еще многих лет.

Во второй половине XVII в. в Москве развернулось строительство каменных и кирпичных мостов и гидротехнических сооружений. Первые руководства по изготовлению неорганических веществ появились в XVIII в. Они обобщали опыт русских ученых с описанием способов получения строительного гипса и гидравлической извести. Так, академик В. М. Севергин[13] доказывал целесообразность использования известняков с глинистыми примесями, а также мергелистых пород для получения водоустойчивых вяжущих веществ. Обжиг извести и изготовление цемента (гидравлической добавки) по данным 1724–1727 гг. рассмотрены уже в первом русском обобщающем статистико-экономическом труде И. К. Кирилова «Цветущее состояние Всероссийского государства».

[13] Василий Михайлович Севергин (1765–1826) — российский химик, минералог, геолог, академик Императорской академии наук (1793). В многочисленных мемуарах и статьях Севергина излагаются предметы, относящиеся к области минералогии, физики, химии, физики Земли, технологии сельского хозяйства. Кроме этого, Севергину принадлежит ряд переводов с иностранных языков. Заслуги Севергина как переводчика заключаются в том, что он при переводе делал различные добавления на основании новейших открытий, давал критическую оценку трудов и воззрений иностранных авторов, дополнял сведения, касающиеся России.

В Петербургском институте путей сообщения в 1822 г. проф. А. Р. де Шарлевилем[14] были опубликованы научные исследования мергелистых пород для получения гидравлической извести и цементов. Автор указывал, что при обжиге таких пород или смесей известняков и глин возникают химические взаимодействия между составными частями.

В 1839 г. купец и фабрикант И. В. Юнкер основал в Петербурге фабрику для изготовления «Паркеровского», или «английского» цемента. Фабрика или «Английский цементный завод» находилась у старой Московской заставы и работала на «цементном камне», доставлявшемся из Англии. В 1839 и 1840 гг. было выпущено соответственно 1 и 5 тыс. бочек цемента Юнкера по 10 пудов в каждой. Романцемент Юнкера широко применялся не только в Петербурге, но и в Москве и заслужил высокую оценку строителей. Позже подобный цемент выпускали и из местного сырья на заводах П. Е. Роше[15] под Петербургом (1848) и Филатьева[16] под Москвой (1849), что имело большое значение для строительства. Завод Роше работал в течение 57 лет и выпускал отличный романцемент (для производства цемента вначале использовали волховский известняк, а затем известняк стали брать из тосненских каменоломен), которым с огромным экономическим эффектом заменяли в различных подводных и наземных сооружениях английский портландцемент, стоивший втрое дороже.

Первое в России описание вяжущего вещества, полученного путем обжига мергеля с последующим помолом, дал в 1807 г. академик В. М. Севергин. Полученный продукт по качеству был лучше романцемента, но не был портландцементом. Изобретателем нынешнего цемента считается Е. Г. Челиев.

Егор Герасимович Челиев начинал работать в Саратове. В 1801 г. он перебрался в Москву и спустя несколько лет был назначен на пост начальника Московской военно-рабочей бригады по планировке и восстановлению московских строений после пожара 1812 г. Именно тогда он начал проводить эксперименты с различными материалами, чтобы найти скрепляющий состав для кирпича и камня.

Испокон веку кирпич изготавливали из обожженной глины. На Руси швы традиционно заполняли обожженной известью, в которую для большей прочности добавляли мелкий кирпичный бой или крупнозернистый песок, поскольку известь обладает высокой паропроницаемостью, что создает комфортные

[14] Антуан Рокур де Шарлевиль (1789–1841) — французский инженер и публицист, член-корреспондент Императорской Академии Наук (1827). В 1821–1826 гг. — на русской службе, был профессором Института путей сообщения в Санкт-Петербурге, в 1822 г. опубликовал «Трактат об искусстве изготовления хороших строительных растворов и правильного их использования».

[15] Павел Егорович Роше — инженер-генерал-майор, профессор строительного искусства в Николаевской Инженерной Академии и Николаевском Инженерном Училище. В конце 1840-х гг. начал разрабатывать цемент; работы увенчались полным успехом, и цемент «Роше» употребляется едва ли не до сих пор.

[16] Подольский мещанин Филатьев — подрядчик по постройке Курской железной дороги, владел несколькими подольскими каменоломнями, где добывали карбоновые известняки и доломиты Подольского и Мячковского горизонтов.

условия внутри помещений. Помимо этого, она является обратимым веществом, то есть после замерзания и оттаивания превращается в тестообразную массу, которая, высыхая, вновь приобретает прочность. По сей день существуют сторонники известковых растворов, которые считают, что это связующее увеличивает срок службы кладки.

Однако главный недостаток извести состоит в том, что она не высыхает и быстро вымывается во влажной среде, то есть совершенно не подходит как связующее для строительства цоколей и подвалов. Кроме того, известь недостаточно прочно соединяет кирпич с натуральным камнем, который, как правило, использовался в основаниях зданий. А при восстановлении Москвы после 1812 г. оставшиеся без кровли и деревянных перекрытий дома были затоплены, и их стены лишились несущей способности.

Стремление получить еще более совершенный вид гидравлического вяжущего привело русского строителя Челиева к важному открытию: при обжиге в горне на сухих дровах смеси извести и глины до «белого жару» (при температуре свыше 1100–1200° С) получался спекшийся продукт, обладавший в измельченном виде высокими механическими свойствами и способностью твердеть в воде.

В 1822 г. Е. Г. Челиев в книге «Трактат об искусстве приготовлять хорошие строительные растворы» публикует результаты получения вяжущего материала из смеси извести и глины. А в 1825 г. в Петербурге выходит новый труд Челиева «Полное наставление, как приготовлять дешевый и лучший мертель, или цемент, весьма прочный для подводных строений, как-то: каналов, мостов, бассейнов и плотин, подвалов, погребов и штукатурки каменных и деревянных строений», где он обобщает накопленный опыт улучшения свойств вяжущих материалов, полученный при восстановлении Кремля, разрушенного во время Отечественной войны 1812 г. (рис. 7).

При этом автор указывал, что книга написана им «по опыту произведенных в натуре строений». В книге всего 28 страниц текста и две таблицы чертежей. «Ныне употребляемый раствор обходится несравненно дороже предлагаемого в сем сочинении мертеля, который, не требуя сих предосторожностей, в деле выходит много лучше, не распадается на воздухе и от времени крепчает в воде...» — пишет изобретатель в своей книге. Кроме новшеств в составе, их было много и в самом процессе изготовления цемента.

Специалисты считают, что эта книга неизмеримо выше по своему уровню, чем проникнутое эмпиризмом и недомолвками патентное описание портландцемента Джозефа Аспдина.

Русский исследователь дает точный состав, описывает детали производства, приводит экономические расчеты и разъясняет процессы с точки зрения химии, которую он глубоко знал.

Прежние мертели, растворы извести с песком, толченой черепицей или кирпичной мукой Е. Г. Челиев предлагает заменить новым мертелем, точнее, цементным тестом. Для изготовления своего цемента он составлял искусственную сырьевую смесь из извести и глины в пропорции, зависящей от состава исходных компонентов и установленной предварительными испытаниями.

Смесь подвергалась обжигу, продукт которого после измельчения и просеивания и являлся мертелем, или, собственно, цементом.

В качестве сырьевых материалов Е. Г. Челиев рекомендует тощую глину (в том числе обыкновенную красную, кирпичную) и известь, которая уже совершенно от воздуха и воды распустилась.

При этом Челиев упоминает, что при отсутствии извести возможна ее замена мусором от известковых стен или старого штукатурного отслужившего основания, который содержит гашеную известь. Он объясняет, почему во всех указанных случаях он использует ранее обожженную гашеную известь, указывая на ее вяжущие свойства. Образующаяся при гашении пушонка ко времени использования и производства цемента в значительной мере снова превращается в исходный карбонат, сохраняя, однако, состояние тонкого измельчения и способность легко смешиваться с водой.

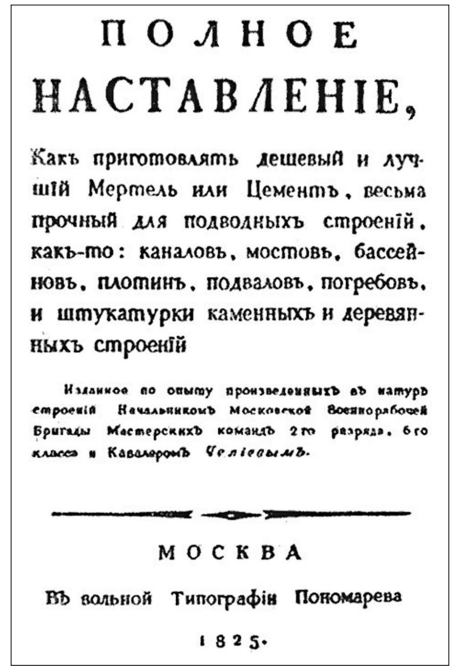

ПОЛНОЕ
НАСТАВЛЕНІЕ,
Какъ приготовлять дешевый и лучшій Мертель или Цементъ, весьма прочный для подводныхъ строеній, какъ-то: каналовъ, мостовъ, бассейновъ, плотинъ, подваловъ, погребовъ, и штукатурки каменныхъ и деревянныхъ строеній
Изданное по опыту произведенныхъ въ натурѣ строеній Начальникомъ Московской Военнорабочей Бригады Мастерскихъ командъ 2го разряда, 6го класса и Кавалеромъ Челіевымъ.
МОСКВА
Въ вольной Типографіи Пономарева
1825.

Рис. 7. Титульный лист книги Е. Г. Челиева (1825)

В «Общем примечании к составлению предложенных мертелей» Е. Челиев останавливается на наиболее существенных деталях производственного процесса.

Со второй половины XIX в. портландцемент прочно вошел в строительную практику. В России над его созданием и совершенствованием много работал ученик Е. Г. Челиева проф. А. Р. Шуляченко[17]. Его заслуга состоит в том, что высококачественные отечественные портландцементы почти полностью вытеснили в России цементы иностранного производства.

[17] Алексей Романович Шуляченко (1841–1903) — русский химик, «отец русского цемента», генерал-майор, военный инженер и заслуженный профессор. Основные труды посвящены теории твердения вяжущих (гидравлическая известь и портландцемент), изучению причин разрушения бетона в портовых сооружениях и изысканию способов его предупреждения. Участвовал в разработке первых российских технических условий на цемент и научных номенклатур вяжущих. Первым предложил и научно обосновал применение смешанных (известково-цементных) строительных растворов для каменной кладки. Активно содействовал возникновению и развитию отечественной цементной промышленности. Стал одним из организаторов и председателем многих съездов цементной промышленности. Был учеником Д. И. Менделеева и, в свою очередь, стал учителем для многих, но все-таки делом всей жизни ученого стали работы по изучению, а затем и внедрению цементов.

А. Р. Шуляченко является учеником Д. И. Менделеева, с которым познакомился в середине 60-х гг. XIX в., когда работал в Петербургской инженерной академии. Готовясь в 1868 г. к чтению пробной лекции по химии, А. Р. Шуляченко получил задание на ее подготовку от проф. Д. И. Менделеева. Лекция на тему «О гидравлической извести» получила положительный отзыв экзаменаторов, после чего А. Р. Шуляченко был допущен к чтению лекций по химии «и приложению ее к строительному делу». С тех пор Д. И. Менделеев внимательно следит за научной деятельностью А. Р. Шуляченко, между ними возникают контакты. Уже в 1871 г. в вышедшей второй части капитального труда «Основы химии» Д. И. Менделеев при описании свойств кремния и кремнеземистых соединений и взаимодействия их с известью ссылается на работы А. Р. Шуляченко.

Известно, что после написания и выхода в свет в 1871 г. второй части «Основ химии» Д. И. Менделеев непосредственно к химии и технологии цементного производства не возвращался и этими темами в своей научной деятельности не занимался. Но, тем не менее, он не выпускал из поля зрения развитие цементного дела в России и зарубежных странах, всегда настаивал на необходимости распространения среди населения научных знаний вообще, в том числе и о цементе.

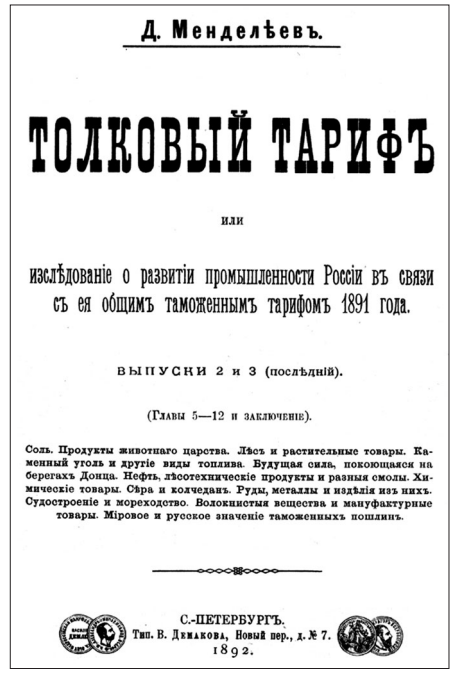
В 1894 г. Д. И. Менделеев обратился в Департамент торговли и мануфактуры с предложением организовать издание «Библиотеки промышленных знаний» из 20 томов. Восьмой том данного издания предусматривалось посвятить производству строительных цементов, в частности портландцемента. Для написания этого тома Д. И. Менделеев пригласил профессора Николаевской инженерной академии Алексея Романовича Шуляченко.

Д. И. Менделеев выступает горячим поборником организации широкого производства цемента в России. В «Письмах о заводах», опубликованных в журнале «Новь» в 1885 г., он пишет: «Достанет знания и сноровки, есть виды на сбыт в городе или на фабриках, — смело заводите и цементный завод, благо соответствующий материал, если не для высших, то для обычных сортов найдется всюду, а распространение растет ежедневно». Далее он кратко цифрами доказывает экономическую выгоду производства цемента и его применения при строительстве домов. Причем очень подробно описывает, какие конструкции можно выполнять из бетона, приготовляемого на основе цемента, — фундаменты, стены, полы, потолки, арки, блоки и т. д.

Хотелось бы обратить внимание на такой факт. В тех небольших заметках, где идет речь о цементе, Д. И. Менделеев обязательно касается экономических вопросов. Так, в главе «Каменный уголь и другие виды топлива» основной его экономической работы «Толковый тариф» (рис. 8) он приводит интересные данные о расходе угля на производство одного пуда цемента (от 30 до 20 фунтов), стоимости угля, его удельном весе в себестоимости цемента, обращая внимание на то, что этот вес в процентах очень высок[18]. Этот вывод соответствует действительности сегодняшнего дня.

[18] *Менделеев Д. И.* Толковый тариф, или Исследование о развитии промышленности России в связи с ее общим таможенным тарифом 1891 года. — Вып. 2–3. — СПб., 1892. — С. 338.

В седьмой главе «Толкового тарифа» помещена целая статья, посвященная цементу. В ней приводится влияние таможенных тарифов на рост производства цемента в России, цифры потребления цемента 100 лет назад, а также много интересных данных, например сообщается о ценах одного пуда цемента. Менделеев очень подробно рассматривает вопросы о том, какое положительное влияние оказала пошлина 1885 г. на развитие цементного дела в России. И делает важное заключение, что «всякого природного добра, надобного для производства цемента, России не занимать стать, а потому, если цементное дело следует развивать, то следует при этом развивать и добычу своих материалов, для него применяемых, а потому иностранные не впускать беспошлинно»[19]. Это позволяет говорить о том, что Д. И. Менделеев был первым экономистом только что зарождавшейся отечественной цементной промышленности.



Д. Менделѣевъ.

ТОЛКОВЫЙ ТАРИФЪ

или

изслѣдованіе о развитіи промышленности Россіи въ связи съ ея общимъ таможеннымъ тарифомъ 1891 года.

ВЫПУСКИ 2 и 3 (послѣдній).

(Главы 5—12 и заключеніе).

Соль. Продукты животнаго царства. Лѣсъ и растительные товары. Каменный уголь и другіе виды топлива. Будущая сила, покоющаяся на берегахъ Донца. Нефть, лѣсотехническіе продукты и разныя смолы. Химическіе товары. Сѣра и колчеданъ. Руды, металлы и издѣлія изъ нихъ. Судостроеніе и мореходство. Волокнистыя вещества и мануфактурные товары. Міровое и русское значеніе таможенныхъ пошлинъ.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Тип. В. Демакова, Новый пер., д. № 7.
1892.

Рис. 8. Титульный лист «Толкового тарифа» Д. И. Менделеева (1892)

Д. И. Менделеев не приводит перечень действующих в эти годы цементных заводов, а только указывает, что в 1870-х гг. их было 3, а в 1891 г. их число увеличилось до 12, и что цементные предприятия существуют в России от Балтийского до Черного моря на русских берегах. Попутно он указывает, что в эти годы производство цемента увеличилось с 0,5 до 7 млн пудов (с 8 до 112 тыс. т). Призывая к более широкому применению цемента в строительстве, Д. И. Менделеев отмечает, что «испытание русских цементов показывает, что многие из них ничем не уступают лучшим иностранным». В своих симпатиях к цементу Д. И. Менделеев категоричен: «Этому продукту — широкая будущность, он сделает будущие постройки более прочными, более дешевыми и легчайшими». Далее Д. И. Менделеев убеждает соотечественников: «Цемент составляет драгоценнейший строительный материал, уже ныне играющий громадную роль, с течением же времени долженствующий вытеснить почти всех других соперников, потому что при его помощи зерна песка скрепляются в камни, в сплошные стены, в целые полы, потолки и своды, имеющие крепость прочнейших камней, недоступных влиянию воды и огня»[20].

[19] Там же. — С. 341.
[20] Там же.

Уже в конце XIX столетия Д. И. Менделеев отмечает рост и широкое применение цемента во многих странах мира. В своей большой экономической работе «Учение о промышленности», опубликованной в 1900 г., он пишет: «В Англии, как повсюду за последнее время в строительном деле, особенно при сооружении мостов, портов и домов, стали заменять даже с некоторой выгодою в цене — при данной крепости — естественные камни отчасти искусственными, составленными с портландским цементом», — и приводит некоторые цифры по производству цемента в США, Германии и России: количество предприятий, число работающих на них, оценка производства выпускаемой продукции в денежном выражении. Далее Д. И. Менделеев делает смелый вывод: «Цемент на памяти еще молодых людей был продукт редкий, применяющийся только в исключительных случаях, а теперь его стали производить повсюду»[21].

Помимо А. Р. Шуляченко, большой вклад в развитие науки о цементе и бетоне внесли Н. А. Белелюбский[22] и И. Г. Малюга[23]. Русские ученые разработали первые технические условия на цемент и предложили классификацию вяжущих. Ими были заложены основы современной науки о твердении вяжущих материалов, разработаны методы испытаний материалов, вошедшие в международную практику. В 1881 г. были разработаны первые русские нормы на портландцемент с методами определения его свойств. В 1885 г. в России был созван первый съезд по цементному производству. С 1872 г. стал выпускаться журнал «Зодчий», а с 1903 г. — журнал «Цемент».

Сбывается предсказание Д. И. Менделеева, писавшего в 1891 г., что цемент, составляющий одно из важнейших приобретений между приложениями химии к потребности жизни, есть строительный материал будущего.

---

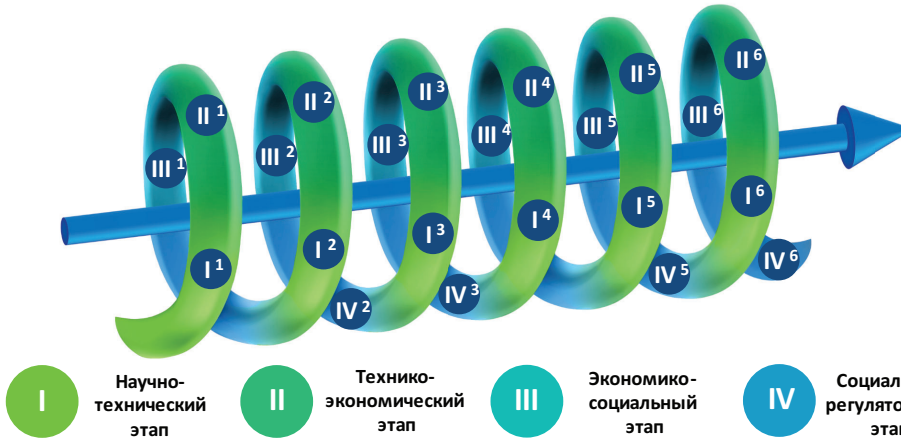
[21] *Менделеев Д. И.* Учение о промышленности. — Т. 1, ч. 1 : Вступление в «Библиотеку промышленных знаний». — СПб. : Брокгауз, Ефрон, 1901.

[22] Николай Аполлонович Белелюбский (1845–1922) — русский инженер и ученый в области строительной механики и мостостроения. В 19 лет окончил Петербургский институт инженеров путей сообщения, в 25 лет был уже профессором этого института. Получил широкую известность в России и за границей как автор проектов ряда больших мостов. Создал первую в России лабораторию по испытанию строительных материалов. Впервые ввел применение литого железа в мостостроительстве в России, ранее, чем оно начало применяться в других странах. Являлся одним из наиболее энергичных пионеров в деле создания международной связи техников-строителей и ярым поборником и активным деятелем в насаждении в России женского высшего технического образования.

[23] Иван Григорьевич Малюга (1853–1933) — русский ученый в области технологии строительных материалов. В 1879 г. окончил Инженерную академию в Петербурге. С 1885 г. преподавал там же (с 1891 г. профессор). Является одним из основоположников изучения и применения в России нового строительного материала — бетона. Впервые установил зависимость прочности и плотности цементных растворов и бетонов от различных факторов, разработал метод определения оптимального содержания воды в растворных и бетонных смесях для получения наибольшей прочности цементных растворов и бетонов.

ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИЙ. РАЗВИТИЕ ПРОИЗВОДСТВА ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА В РОССИИ

Производство цемента в своем становлении и развитии прошло большой путь, что наглядно демонстрируют данные, представленные на рисунке 9 и в таблице 2. Каждый новый виток спирали базируется на новых технологических укладах, характеристики циклов развития наглядно представлены в таблице 3. Как и каждое промышленное производство, производство цемента проходит несколько этапов развития — научно-технический, технико-экономический, экономико-социальный и социально-регуляторный. И каждый новый этап является «толчком» в развитии как оборудования и технологии, так и нового мировоззрения.



I¹ — использование слова «цемент» для обозначения раствора, гидравлической добавки и вяжущего вещества
II¹ — производство естественного романцемента из английского сырья в России
III¹ — запрет на экспорт «английского» цемента в Россию

I² — получение патента на производство романцемента из мергелей
II² — изобретение цементной вращающейся печи
III² — начало производства портландцемента в Российской империи (г. Гродзец)
IV² — создание цементного синдиката России

I³ — разработка технологии производства и применения искусственного гидравлического цемента (портландцемента)
II³ — появление многокамерных мельниц
III³ — пуск первого цементного завода в границах современной России (г. Коломна)
IV³ — необходимость расширения ассортимента цементов

I⁴ — разработаны первые русские нормы на портландцемент с методами определения его свойств
II⁴ — отгрузка цемента в мешки
III⁴ — развитие производства российского цемента — начало активного строительства в России сети железных дорог

I⁵ — усовершенствование технологии производства цемента
II⁵ — модернизация теплообменных печных устройств
III⁵ — развитие и увеличение производства цемента на всей территории СССР
IV⁵ — комплексное использование сырья, возможность утилизации отходов других отраслей промышленности

I⁶ — введение обязательной сертификации цементов
II⁶ — модернизация печных линий сухого способа производства
III⁶ — начало возрождения цементной промышленности современной России
IV⁶ — эколого-ориентированное развитие отрасли на основе НДТ — разработка ИТС 6 «Производство цемента» и выдача первых комплексных экологических разрешений

Рис. 9. Эволюция технологий производства цемента в России

Таблица 2. Основные этапы технологических циклов развития производства в России

Цикл	Научно-технический этап	Технико-экономический этап	Экономико-социальный этап	Социально-регуляторный этап
Первый	**Первая половина XVIII в.** Использование слова «цемент» для обозначения раствора, гидравлической добавки и вяжущего вещества	**1839 г.** Производство естественного романцемента из английского сырья в России	**1852 г.** Запрет на экспорт «английского» цемента в Россию	
Второй	**1796 г.** Получение патента на производство романцемента из мергелей	**1885 г.** Изобретение цементной вращающейся печи	**1857 г.** Начало производства портландцемента в Российской империи (г. Гродзец)	**1914 г.** Создание цементного синдиката России
Третий	**1825 г.** Разработка технологии производства и применения искусственного гидравлического цемента (портландцемента)	**1910 г.** Появление многокамерных мельниц	**1870 г.** Пуск первого цементного завода в границах современной России (г. Коломна)	**Середина XX в.** Необходимость расширения ассортимента цементов
Четвертый	**1881 г.** Разработаны первые русские нормы на портландцемент с методами определения его свойств	**1935 г.** Отгрузка цемента в мешки	**1912–1914 гг.** Развитие производства российского цемента — начало активного строительства в России сети железных дорог	
Пятый	**Середина XX в.** Усовершенствование технологии производства цемента	**Середина XX в.** Модернизация теплообменных печных устройств	**Середина XX в.** Развитие и увеличение производства цемента на всей территории СССР	**Середина XX в.** Комплексное использование сырья, возможность утилизации отходов других отраслей промышленности
Шестой	**2017 г.** Введение обязательной сертификации цементов	**Вторая половина XX в.** Модернизация печных линий сухого способа производства	**2008 г.** Начало возрождения цементной промышленности в современной России	Эколого-ориентированное развитие отрасли на основе НДТ: **2015 г.** — разработка ИТС 6 «Производство цемента»; **2019 г.** — получение первых комплексных экологических разрешений

Таблица 3. Характеристика циклов развития

Период, годы	Цикл	Описание цикла	Технологические лидеры (компании), орудия производства (оборудование)
Конец XVIII в.	Первый (появление гидравлических вяжущих веществ)	Получение гидравлических цементов опытным путем	Англия (получение Дж. Паркером патента на гидравлическое вяжущее)
1800–1830 гг.	Второй (создание гидравлических цементов)	Научное и практическое подтверждение возможности создания искусственного камня	Германия (И. Фукс и Л. Ж. Вика показали возможность создания гидравлического цемента). Россия (Е. Челиев предлагает технологию получения портландцемента)
1850–1870 гг.	Третий (развитие производства цемента)	Широкое распространение производства цемента в мире. Появление первых цементных заводов в России	Широкое распространение цемента после Лондонской всемирной выставки 1851 г. Создание концернов «Ф. Л. Смидт» (FLSmidth) в Дании и ThyssenKrupp Polysius в Германии. Изобретение цементной вращающейся печи
1880–1920 гг.	Четвертый (совершенствование технологии цемента)	Создание материально-технической базы производства	Проведение в 1885 г. в России первого съезда по цементному производству. Выпуск в России журналов «Зодчий» и «Цемент»
1950–1990 гг.	Пятый (возрастание темпов производства цемента)	Бум в строительной индустрии по всему миру. Возрастание мирового производства цемента	СССР занял первое место в мире по выпуску цемента (1962). В 1971 г. выпуск цемента в СССР превысил 100 млн т
2-я пол. XX — нач. XXI в.	Шестой (эколого-ориентированное развитие отрасли на основе НДТ)	Начало возрождения цементной промышленности в современной России	Концепция НДТ как элемент Директивы ЕС «О комплексном предупреждении и контроле загрязнений». Разработка справочных документов по НДТ. Выдача предприятиям комплексных экологических разрешений

И сегодня развитие цементной отрасли, как и промышленности в целом, идет по пути эколого-ориентированного научно-технологического развития и формирования нового регулирования на основе наилучших доступных технологий для модернизации отраслей промышленности через их «озеленение»:

развитие энерго- и ресурсоэффективных технологий при одновременном снижении негативного воздействия на окружающую среду.

Но вернемся в первую половину XIX в. Перемены в развитии цемента в России наступили лишь тогда, когда Российской империи необходимо было в спешном порядке укреплять фортификационные сооружения в Крыму. Однако дружественная Турции Великобритания в 1852 г. ввела запрет на экспорт «английского» цемента в Россию. Романцемент, производимый на заводах П. Е. Роше под Петербургом и Филатьева под Москвой, был нестабильного качества. Поэтому отсутствие экспорта из Англии компенсировали за счет экспорта из Германии, где для нужд российской обороны стал работать новейший и мощнейший по тем временам цементный завод в Штеттине (теперь польский Щецин).

В 1860-е гг., после отмены крепостного права, в России начал бурно развиваться промышленный капитализм. Строились фабрики и заводы, шахты, железные дороги. Размах строительства повлиял на развитие цементного производства. Предприятия организовывались рядом с богатыми природными месторождениями, неподалеку от водных и железнодорожных путей, от рынков сбыта продукции.

В России в 1857–1880 гг. производство цемента развивалось медленно, и лишь к концу 1890 г. выпуск цемента увеличивается. Во всей литературе по истории портландцемента говорится о том, что первый в России завод портландцемента был построен в г. Гродзеце, а на бочках с первым русским портландцементом было нанесено краской слово «Гродзец». Гродзец[24] — это деревня в Бендинском уезде Петроковской губернии Царства Польского и Российской империи. Историки пишут, что в селе Славково той же Радомской губернии промышленник Ян Цеховский с 1853 г. производил из мергеля романцемент и присматривался к Гродзецу с его залежами известняка, глины и каменного угля — всего того, что необходимо для получения портландцемента. В 1856 г. он начал постройку в Гродзеце печей, а годом позже зажег в них огонь.

На гродзецком цементном заводе сырье смешивалось в пяти смесительных механических установках, а обжиг велся в 12 шахтных печах периодического действия.

Высокое качество сырья позволило получить соответствующее качество портландцемента, который стали продавать не только в Польше, но и за рубежом — в Австрии и Пруссии. Но на внутренний рынок Российской империи гродзецкий цемент почти не поступал — доставлять его в центральные губернии Российской империи было невыгодно. Сказалось отсутствие удобных путей сообщения, а также конкуренция цемента английского. Потребности русского военного ведомства, как и прежде, покрывались за счет ввоза цемента из-за границы.

[24] Гродзецкий цементный завод в 1930 г. был приобретен международным концерном Solvay. Предприятие работало до 1997 г. Комплекс зданий цементного завода «Гродзец» по решению Силезского провинциального заповедника памятников в Катовице от 19 февраля 2021 г. был внесен в реестр памятников.

К тому времени англичане уже утратили свою монополию на производство портландского цемента, но их позиции на мировом портландцементном рынке еще были очень сильны. В России, в частности, упорно продолжали предпочитать английский цемент всякому другому, в том числе и отечественному.

Вот что гласил один из пунктов Технических условий (Урочных положений[25]) на сооружение опор Мстинского моста Николаевской (ныне Октябрьской) железной дороги из Петербурга в Москву: «Портландцемент должен быть английский. Разрешается и русский, или другой, но при условии, если он не будет хуже английского». Приведенные Технические условия были составлены в 1875 г., когда в стране, помимо Гродзецкого, работало уже четыре завода по производству портландцемента. И составлены они были не каким-либо случайным покупателем, а железнодорожным ведомством — крупнейшим в ту пору потребителем цемента: вся сеть железных дорог была построена на цементе.

Производство российского цемента появилось только после начала строительства в России сети железных дорог. Правительство и инвесторы вкладывали в развитие транспортной инфраструктуры значительные средства и хотели как можно скорее получать от них практическую пользу и отдачу. А ничего лучше бетона для быстрого строительства на тот момент не существовало. К делу были привлечены корифеи-химики А. Р. Шуляченко в Санкт-Петербурге и В. П. Ливен[26] в Дерпте.

Главным инициатором создания заводов, работавших на научной базе, стал рижский предприниматель К. Х. Шмидт[27], который использовал работы доктора химии В. П. Ливена, проводившего исследования составов цементных материалов. Научная подготовка В. П. Ливена обеспечила производство высококачественного портландцемента, который по своим свойствам был абсолютно одинаков на всех построенных им крупнейших заводах по производству цементов в России — при этом исходные материалы от разных поставщиков были совершенно разными.

В 1866 г. В. П. Ливен построил завод по производству портландцемента «Товарищество Рижского цементного завода и маслобойни К. Х. Шмидта» на балтийской морской границе — в Подере близ Риги и спроектировал в 1870 г. завод в Порт-Кунде (Эстония). Выпуск цемента на фабрике начался в 1871 г.

[25] Урочное положение — сборник правил, «касающихся всякого рода строительных работ», — состояло из 19 отделений и 712 параграфов. Для различных строительных работ было разработано Урочное положение, изданное в законодательном порядке в 1843 г., затем пересмотренное в 1869 г. и вновь подвергнутое исправлениям в 1883 г.

[26] Виктор Павлович Ливен — доктор химии, окончил Юрьевский (Дерптский) Императорский университет (в настоящее время — Тартуский университет в Эстонии). Его имя связано со строительством цементных заводов, в первую очередь — заводов под Новороссийском.

[27] Карл Христиан Шмидт — купец и фабрикант, основатель «Товарищества Рижского цементного завода и маслобойни К. Х. Шмидта» (г. Рига), «Новотихвинского завода огнеупорных изделий» (Шугозерское сельское поселение Тихвинского района Ленинградской обл.).

В границах современной России первым цементным заводом является Щуровский. Щуровский цементный завод был основан в 1870 г. в пригороде города Коломна (на правом берегу Оки) купцом 1-й гильдии Эмилем Александровичем Липгартом, который и стал первым его владельцем.

Приобретение и открытие цементного завода обусловливалось большим сырьевым запасом известняка, песка и гравия, которым располагала эта местность, идеально подходившая для организации доставки продукции несколькими способами: водным путем (по Оке и Москве-реке) и по железной дороге, пролегающей рядом.

Благотворное сотрудничество с ведущими заводами положительно способствовало развитию, и скоро небольшой цех по производству цемента перерос в крупную фабрику со значительным объемом изготавливаемой продукции.

Организованное товарищество «Эмиль Липгарт и К°» построило в селе Щурово известняковый и цементный заводы (рис. 10), на которых постоянно работали 900 человек. На заводах действовала 1 паровая машина мощностью 50 лошадиных сил. Завод выделывал цемента 18 400 бочек по 7 руб., 1 433 000 пудов извести и 370 000 пудов алебастра. Известь и глина местных разработок, а алебастр — из Владимирской губернии. Оборот — 519 000 руб.[28] При товариществе находились больница и школа.

Под золотым дождем от железнодорожных и строительных подрядчиков цементная промышленность начала расти, как на дрожжах. По всем городам и весям шел поиск подходящих мест для строительства цементных заводов.

В 1871 г. Александр Александрович Пороховщиков[29] выкупил землю, имевшую залежи известняка (примерно 36 га), у деревни Выползово Добрятинской волости Подольского уезда, на левом берегу Пахры, недалеко от железнодорожного моста через реку, у городского головы Ф. С. Добротворского и приступил в качестве подрядчика к строительству заводов на свой капитал и капитал П. И. Губонина. В 1875 г., после окончания строительства цементной фабрики и кирпичного завода, компания «Губонин, Пороховщиков и К°» преобразовалась в «Московское Акционерное Общество для производства цемента и других строительных материалов и торговли ими» и выпустила свои акции.

[28] *Оленев М. Б.* Сельские фабрики и заводы Рязанской губернии в XVIII–XIX вв. : справочник // 62 инфо : [сайт]. — 2009. — 7 янв. — URL: https://62info.ru/history/node/4485?page=0%2C2 (дата обращения: 05.12.2021).

[29] Александр Александрович Пороховщиков (1833–1918) — русский предприниматель, строитель, публицист, меценат, общественный деятель. В 1865 г. в качестве подрядчика, строителя и вкладчика выполнил работы по переустройству ряда правительственных учреждений в Москве. С 1873 г. впервые стал мостить улицы твердыми породами камня — диабазом и диоритом, широко использовал для покрытия улиц асфальт. Принимал участие в строительстве Храма Христа Спасителя в качестве архитектора и вкладчика средств. Построенный в 1871–1872 гг. для Пороховщикова дом в Староконюшенном переулке (архитектор — А. Л. Гун) является памятником истории и культуры народов РФ регионального значения. Известный актер и режиссер, Народный артист России Александр Шалвович Пороховщиков являлся внуком мецената по материнской линии.

Рис. 10. Товарищество «Эмиль Липгарт и К°»

Таким образом, в России на базе нескольких цементных заводов Подольского уезда, ранее выпускавших романцемент, был создан цементный завод Московского акционерного общества (рис. 11).

Рис. 11. Цементный завод Московского акционерного общества

Спустя 12 лет после основания первых поселений в Зацемесской стороне (1869) на пригородных территориях Новороссийска стали строиться первые промышленные предприятия — заводы. Строили их иностранцы. Во второй половине 70-х гг. XIX в. в Маркотхских горах, простирающихся вдоль северо-восточного

берега Цемесской бухты, был обнаружен мергель — сырье для цемента. Запасы его оказались огромными, качество редчайшим. Первый цементный завод в районе г. Новороссийска под названием «Общество Черноморского цементного производства» был построен по указу государя императора Александра III в 1882 г. по чертежам и при непосредственном участии В. П. Ливена (рис. 12). К концу 1883 г. цементный завод выпустил 46 000 бочек цемента, большая часть которого отправилась за границу.

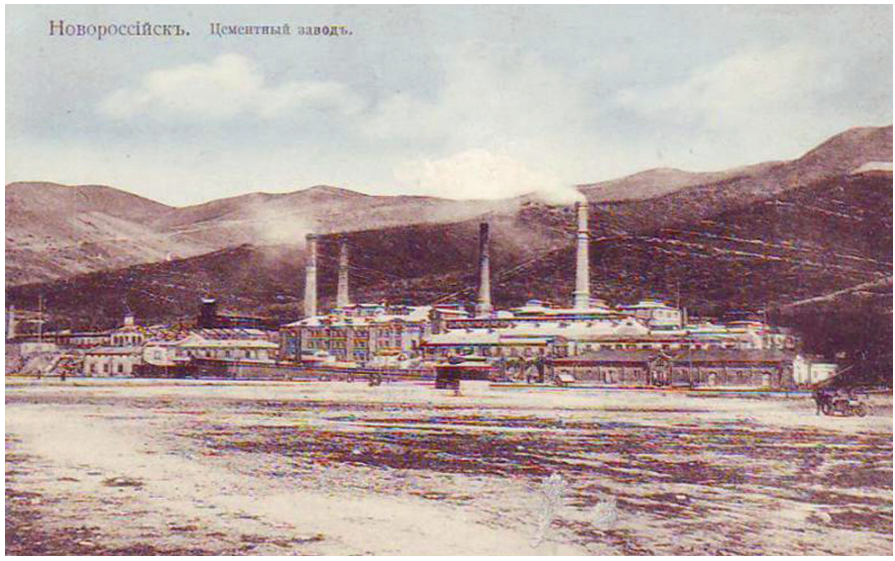


Рис. 12. Общество Черноморского цементного производства

Вслед за первым заводом в 1898 г. был введен в действие второй, получивший название «Цепь». Поскольку потребность в цементе постоянно увеличивалась, темпы строительства заводов все более нарастали.

К 1912 г. были построены цементные заводы «Солнце», «Бетон», «Титан», «Скала», «Победа», «Орел», «Атлас». К 1917 г. в Новороссийске и его окрестностях действовало уже десять цементных заводов. Все они были оснащены примитивными шахтными печами конструкции фирмы Дитча (Dietzsch), в которых обжигались натуральные мергели.

Все заводы были небольшими, малопроизводительными. Со временем они старели, выходили из строя, одни разрушались, другие постепенно заменялись новыми, более мощными.

Несмотря на все трудности, выпуск цемента увеличивался год от года. Цементные заводы появлялись один за другим, и уже к 1897 г. Россия вышла на третье место в мире по производству цемента. Не радовало третье место в общемировом рейтинге и отечественных исследователей рынка.

Один из самых авторитетных из них — С. А. Монковский — писал: «В общем, производительность всей России не превышала в лучшие годы 5 млн пудов.

Число действовавших заводов не превосходило 34. Если сравнить эти цифры с производительностью соседней Германии, в которой к 31 декабря 1906 г. в состав общества немецких цементных фабрикантов входило 87 фабрик с производительностью в 26 750 000 бочек, то уже это сопоставление абсолютных цифр производства наводит на мысль о том, что в России поле для развития цементного дела еще весьма обширно. Этот вывод находит себе более разительное подтверждение, если сравнить не абсолютные цифры, а относительные: соотношение производств на одного жителя. При 60 миллионах населения в Германии 26 млн бочек дают почти полбочки на человека, тогда как в России 5 млн бочек при 150 млн ее населения дают только 1/30 часть бочки на человека, то есть в 15 раз меньше».

В конце XIX в. в Вольске строятся первые в Поволжье цементные заводы. Окрестности этого города совместили в себе уникальное сочетание условий для развития цементной промышленности. Огромные залежи прекрасного, без вредных примесей сырья (мел, глина) сочетались с наличием водного (река Волга) и железнодорожного (железнодорожная ветка Аткарск — Вольск, построенная в 1895 г., подошла к железной дороге Тамбов — Саратов) путей сообщения, делавших возможными доставку топлива и отправку готовой продукции практически во все концы страны. В результате в Вольске с 1897 по 1914 г. было построено четыре цементных завода.

Первым был пущен в строй в 1897 г. завод «Санкт-Петербургского товарищества для производства Глухоозерского портландцемента и других строительных материалов» (впоследствии его переименовали в завод «Большевик»). Спустя еще четыре года, в 1900 г., купец Плигин построил завод «Железо-Цемент», который потом перекупил Зейферт (затем — завод «Красный Октябрь»), от закладки до пуска завода проходило не более 18 месяцев.

В первую очередь пускались печи по обжигу сырья и цементные мельницы, потом достраивались остальные цеха и сооружения с использованием своего цемента. На время пуска оба цементных завода были оснащены шахтными печами системы Дитча и Либана, самыми совершенными в то время в России. В первые годы существования предприятий производство расширялось за счет строительства новых печей тех же конструкций.

Благодаря высокому качеству сырья и новым технологиям вольские цементные заводы выпускали портландцемент наивысшего качества, которое намного превосходило требования технических условий приемки данной продукции, утвержденных Министром путей сообщения. Продукция вольских заводов неоднократно удостаивалась наград на Всероссийских промышленных выставках.

Это обстоятельство, а также фактически монопольное положение на юго-восточных рынках России дали им возможность расширять производство и наращивать выпуск продукции, при существенном снижении ее себестоимости, даже в годы кризиса и депрессии начала XX в. В то время когда многие из российских цементных заводов закрылись (в 1907 г. не работало 14 из 38 заводов), а другие работали с минимальной нагрузкой, производство цемента на Вольских заводах в 1901–1908 гг. выросло с 3,2 до 5,3 млн пудов. Выработка на одного рабочего поднялась на 33%. Себестоимость пуда цемента снизилась с 38 до 22,6 коп. при

обычной продажной цене с завода 37–39 коп. В 1908 г. в Вольске вырабатывалось 13,4% российского цемента. По количеству производимого цемента Вольск стоял на третьем месте в России после 1-й Черноморской и Донской групп заводов.

Оживление экономики после 1909 г. вызвало новое промышленное строительство и увеличение спроса на строительные материалы, что послужило очередным толчком к модернизации производства. Именно тогда на Вольских цементных заводах началась глобальная реконструкция: устанавливались вращающиеся печи с непрерывным циклом производства, значительно возросла энерговооруженность заводов.

«К последнему времени, — писал А. Крупский о смене типа печей на заводах, — все стали переходить или собираться к переходу вместо стоячих проходных шахт к вращающимся лежачим, введенным, как известно, по почину Америки и распространенным в Европе известнейшими строителями Ф. Л. Смидт в Копенгагене, Полизиус в Дессау (который ставил первые в России вращающиеся печи для завода в Баку на нефтяном топливе) и другими германскими фирмами».

Конкуренция была довольно жесткой, фирма «Ф. Л. Смидт» сумела получить несколько крупных и важных заказов. Ее печи и оборудование закупили заводы в Новороссийске, Подмосковье, Петербурге, Рязанской и Калужской губерниях.

Усовершенствование производства позволило за три года вдвое увеличить выпуск цемента. В 1912 г., по данным Министерства торговли и промышленности, Вольские заводы произвели 10,9 млн пудов цемента из 95,1 млн пудов цемента, изготовленного в целом по стране.

В 1912–1914 гг. в окрестностях Вольска были построены и пущены в строй еще два цементных завода. Владельцами их были С.-Петербургское акционерное общество «Ассерин» и «Саратовское акционерное общество по производству портландцемента». Пайщиками последнего состояли известнейшие саратовские мукомолы — Ф. П. Шмидт, О. П. Шмидт, В. А. Колесников, М. Ф. Волков и другие, а основной капитал выражался в сумме 1,5 млн руб.

Тремя источниками и тремя составными частями цементных заводов были близкие подъездные пути, залежи топлива и залежи мела и глины. Эти заводы были значительно меньше первых, но, оснащенные с учетом новейших достижений техники, могли производить соответственно от 4 до 6 млн пудов цемента в год. Производство завода «Ассерин», например, было подчинено принципу конвейера, что являлось новейшим достижением в цементной промышленности того времени. Все цеха его — от карьера до погрузки — были вытянуты в одну линию, и сырье проходило минимальное расстояние до конечного продукта. Данное обстоятельство давало возможность значительно уменьшить число подсобных рабочих, занятых в производстве и погрузке цемента, что, в свою очередь, сокращало его себестоимость.

С 1916 г. до 75% цемента Вольских заводов шло на военные нужды. В это время на заводе активно использовался труд военнопленных австрийцев. На начало 1916 г. на 216 рабочих производственных цехов (карьер, мельница, вращающиеся печи) завода Зейферта было 102 военнопленных. Производительность завода практически не снижалась до конца 1917 г.

В 1899 г. у деревни Боровка Калужской губернии (ныне город Фокино Брянской области) был основан Мальцовский цементный завод. Рядом находились богатейшие залежи мела и глины, потому выбор и пал на это место. Портландцемент изготавливали по способу, который в 1890 г. предложил шведский инженер Бергрюн. Суть его заключалась в смешивании сырых материалов, то есть мела и глины, в «состояние их натуральной влажности, без предварительного высушивания, прямо в тесто».

Завод вскоре после пуска посетил профессор А. Р. Шуляченко, которого называют отцом русской цементной промышленности. В статье, опубликованной в 1901 г. в журнале «Цемент, его производство и применение», он так писал: «Нашелся русский техник Шешминцев, который не только понял всю важность идеи Бергрюна, но и решился осуществить ее в обширных размерах. Он имел смелость основать товарищество для выработки портландцемента по новому способу, применив для смешивания сырых материалов идею Бергрюна, но в совершенно самостоятельной обработке. Мел и глина смешиваются без предварительного высушивания, с природным содержанием 25–30-процентной влажности».

Цемент поставляли в Москву, Московскую, Тверскую, Новгородскую, Ярославскую, Владимирскую, Нижегородскую, Симбирскую и другие губернии, прилегающие к левому берегу Волги, в бочках вместимостью по 10 пудов каждая. Успешному сбыту цемента в немалой степени способствовало то обстоятельство, что завод был сооружен на оживленном перекрестке железнодорожных и водных артерий в Европейской части России. За 1900–1909 гг. предприятие выпустило 28 млн пудов цемента, который поставлялся крупнейшим строительным сооружениям по всей России.

В 1909 г. правление завода начало переговоры с датской фирмой Смидта об установке вращающихся печей, позволяющих выпускать цемент высокого качества. К концу года на заводе были установлены две вращающиеся печи длиной 47 м каждая, являвшиеся последним словом цементной техники. Это были самые длинные вращающиеся печи в России, превосходившие по длине знаменитую печь Эдисона[30] в Америке.

[30] Томас Алва Эдисон (1847–1931) — всемирно известный американский изобретатель и предприниматель, получил 1093 патента в США и около 3 тысяч — в других странах мира. В 1901 г. в Стьюартсвилле Эдисон устроил большую фабрику портландского цемента. В области производства портландцемента Эдисон изобрел особые весы, которые с помощью специальной электрической сигнализации автоматически отвешивали равные количества смеси для загрузки печей. Важнейшим нововведением явилась «длинная печь» — более 40 м длиною и с большим диаметром. Производительность новой печи примерно в пять раз превышала производительность ранее применявшихся печей, и при этом цемент получался более высокого качества. За период с 1905 по 1924 г. производство цемента на заводе Эдисона выросло с 3000 до 7500 бочек в день. В это же время у Эдисона возникает новый оригинальный план — способ быстрого серийного производства домов: из цемента должны отливаться целые дома. Наряду с понижением материальных расходов это может дать огромную экономию времени. И в лаборатории Эдисона были разработаны модели таких домов и сметы расходов: самый дорогой дом из цемента должен быть стоимостью 12 тысяч, самый дешевый — 500 долларов. Однако несмотря на то, что Эдисон с особенной энергией пропагандировал эту новую идею, он не мог обеспечить полного успеха своим литым домам из цемента.

Накануне Первой мировой войны предприятие было оснащено по последнему слову техники того времени. На нем функционировали 18 шахтных и 5 вращающихся печей общей годовой мощностью до 1 млн 375 тыс. бочек цемента в год.

Высокий уровень концентрации производства при растущем спросе на продукцию создал условия для монополистических соглашений крупных цементных фирм еще в самом начале XX в. В 1914 г. «Ассерин» и «Железо-Цемент» совместно с «Обществом Черноморского цементного производства», «Обществом мальцовских заводов» и товариществом «Эмиль Липгарт и К°» вошли в цементный синдикат России.

История Воскресенского цементного завода начиналась более ста лет назад. В конце XIX в. в России появляются первые вращающиеся печи для производства высокосортного цемента. Бурное развитие промышленности и строительство новых заводов требует все больше цемента. В 1910–1911 гг. в Коломенском уезде Борис Митрофанович Сериков и Эрнест Эмильевич Рингель покупают у помещика Смирнова участок земли общей площадью чуть более 60 гектаров. Здесь были обнаружены большие залежи сырья для производства цемента.

Так возникает идея строительства на этом месте цементного завода. Строительство цементного завода потребовало больших капиталовложений. Такое промышленное предприятие, объединявшее все стадии производства: от добычи сырья до выпуска готовой продукции — не могло обойтись без применения мощных механизмов и силовых установок, без запасов топлива, наличия транспорта и квалифицированных кадров. Заручившись поддержкой надежных компаньонов, Б. М. Сериков основывает акционерное общество по производству цемента и заключает договор с датской фирмой Смидта на проектирование, поставку оборудования и строительство завода.

Осенью и весной 1911–1912 гг. шла подготовка к строительству завода. На лошадях местные крестьяне завозили строительные материалы: песок, белый камень, щебень, кирпич. Все металлические части будущих зданий и сооружений в разобранном виде поставлялись московским заводом «Гужон». Сборка и клепка металлических конструкций проводилась на месте (в то время сварочных работ не было). От станции Воскресенск до строительной площадки завода была проложена железная дорога, по которой доставлялись грузы. Одновременно со строительством завода возводились хозяйственные и жилищные постройки. Всего в строительстве участвовали около 2500 человек. При полном отсутствии механизации все здания — как основного производства, так и вспомогательных цехов — с установкой оборудования были построены в течение одного года. Строительством и монтажом оборудования руководили датчане. Согласно современной терминологии, производство было спроектировано на две технологические линии с резервом на третью линию.

Ноябрь 1913 г. — точка отсчета в истории Воскресенского цементного завода. Предприятие введено в эксплуатацию.

В России цементные заводы появлялись один за другим, производство цемента неуклонно росло. Причем это обходилось довольно дешево владельцам фирм, потому что оплата труда рабочих была минимальной, а условия работы — нечеловеческими.

Капиталистов мало интересовало положение рабочих. Всюду на заводах господствовал ручной труд (рис. 13). Обжиг клинкера велся в шахтных печах. Погрузка извести в вагоны производилась вручную, на носилках. Тяжелые бочки с цементом раскачивали на руках и под «эй, ухнем» грузили в вагоны.

Рис. 13. Ручной труд

Карьер был самостоятельным участком (рис. 14). Весной и осенью карьер Щуровского завода, например, затапливало водой, поэтому работали здесь только летом, когда не было паводков. Орудием труда бутолома в карьере служили кувалда и кайло (кирка).

Рис. 14. Карьер Щуровского цементного завода. Так раньше добывали известняк. Бутолом — прежде основная профессия в карьере

Не лучше обстояло дело и на других заводах. На новороссийском карьере велась разработка только натуральных мергелей, а остальная масса камня шла в отвал. Карьер занимал в то время большую территорию, поэтому все быстрее удалялся от заводов, усложнялась транспортировка сырья к мельницам (рис. 15).

Рис. 15. Добыча мергеля в карьере ручным способом. 1929 г.

В забое работали по 3–4 человека. За вагонетку камней хозяева платили копейки, а землю, которой набиралось немало, грузили и вывозили в отвал бесплатно. Рукавицы, ведра для питьевой воды — все покупали за свои деньги.

Ломщики камня работали по 12 часов, а зимой — от восхода солнца до заката. Работа не прекращалась ни в жару, ни при пронизывающих норд-остах. Сырье добывали ломом, киркой, лопатой. Дневная норма — каждому ломщику наколоть и погрузить в вагонетки по 1200 пудов камня (это около 20 т).

Не легче было и тем, кто трудился у шахтных печей. Один из старых рабочих вспоминал о работе шахтной печи периодического действия (1892): «Это была цилиндрическая шахта, отфутерованная шамотным кирпичом. Мергель дробили до размера больших яблок. Загружали печь вручную при температуре в ней 70° С. Грузчик внутри печи принимал бадьи с сырьем и углем, рассыпал и разгребал по сечению печи слоями. Печь разжигалась дровами, “прогорала” за трое с половиной суток, производительность ее была около двух бочек в час. Когда горение в печи кончалось, обжигальщики приступали к выгрузке клинкера. Если он спекся, эту массу разбивали штангами. При этом рабочего подстерегала опасность получения ожога от раскаленных кусков клинкера. Неостывший шахтный клинкер рабочие вывозили большими многопудовыми вагонетками, порой впрягаясь в лямки вместо лошадей. Люди часто получали серьезные увечья, тогда их выбрасывали за ворота завода без куска хлеба».

Рабочий Вольского завода Г. Я. Лысов вспоминал о работе у печей, спекавших исходные материалы в клинкер: «Корпус печей был закупорен, как пробкой, не разрешалось раскрывать дверей, чтобы не охладить печи. Рабочий был изнурен от жара, от цементной и угольной пыли. Были случаи, когда людей выносили замертво. Обжигалы во время работы не имели ни минуты отдыха.

На площадках, если плеснуть воду, — она закипала, на голове трещали волосы. Обувь не терпела. К валяным обрезкам, чтобы не сжечь ноги, привязывали верблюжьи погоны».

Измельчение клинкера производилось на щековых дробилках Блека, в которых можно получить 5000 кг за час кусков размером 40–50 мм. Для размола цемента служили мельницы с жерновами, подобными употребляемым для хлеба, или такие, где размол (истирание) производится при посредстве тяжелых шаров (мельница Мореля), или, наконец, как в Соединенных Штатах мельница Гриффина, где есть жернов, укрепленный на наклонной (почти вертикальной) оси, катящейся по внутренней поверхности кольцеобразного бака (дробление материала совмещается с истиранием).

Наглядное представление о «ручном» производстве цемента дают экспонаты музея цемента г. Новороссийска (рис. 16).

Рис. 16. «Цеха» обжига (*а*) и помола (*б*) цементного клинкера. Экспозиции из Музея цемента г. Новороссийска

Произведенный цемент, как было сказано выше, упаковывался в бочки, на которые ставился товарный знак завода-изготовителя (рис. 17, *а*). В 2013 г. на аукцион был выставлен жетон «Товарищества Рижского цементного завода и маслобойни К. Х. Шмидта» (рис. 17, *б*), выпущенный в память о миллионной бочке цемента (жетон размером 35,5 × 24,2 мм, выполнен из золота и эмали).

Интересно, что до 1935–1936 гг. цемент перевозился в деревянных бочках. При заводах были большие бондарные промыслы, для которых завозили десятки тысяч кубометров леса. В 1935 г. началась планомерная работа по изменению правил отгрузки цемента. Теперь цемент отгружался в бумажных мешках. Для погрузки на суда и в вагоны были установлены ленточные транспортеры.

Таким образом, отечественная цементная промышленность развивалась скачкообразно и неравномерно. Это, однако, способствовало тому, что рост цементной промышленности сопровождался непрерывным улучшением технологии производства и увеличением мощности оборудования. Так, если на первом заводе портландцемента обжиг сырья производился в простых шахтных печах высотой до 5 м, то завод портландцемента Цехановского смешивал сырье в пяти смесительных механических установках, а обжиг велся в 12 шахтных печах периодического действия.

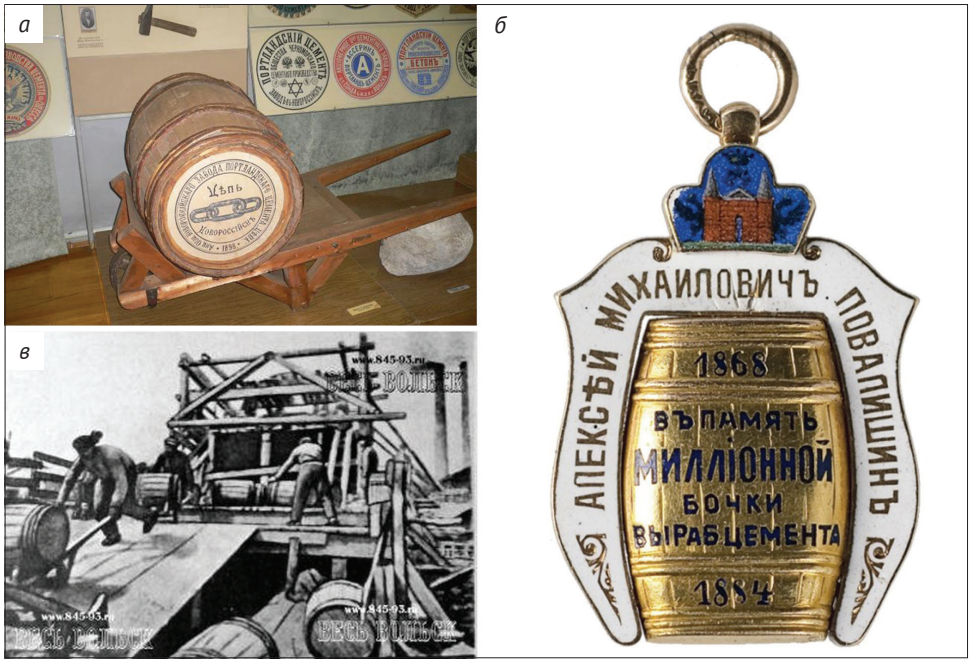


Рис. 17. а — бочка с цементом из Музея цемента г. Новороссийска. На бочке надпись: «Акц. Общ. Новороссийского завода портландского цемента “Цепь”»; *б* — жетон «Товарищества Рижского цементного завода и маслобойни К. Х. Шмидта». На жетоне надпись «Алексей Михайлович Повалишин[31]. 1868. В память миллионной бочки выработки цемента. 1884»; *в* — погрузка цемента на судно

К концу XIX в. русская цементная промышленность полностью удовлетворяла потребности строительства в цементе. Качество русского портландцемента было высокое. Каждый завод имел лабораторию и контролировал продукцию. Кроме того, заводы предоставляли образцы цементов для испытания хорошо оборудованным лабораториям ведомств. Так, химический состав цемента завода П. Е. Роше был проверен в 1862 г. лабораторией горного ведомства в Петербурге. Цемент этого же завода испытывал и А. Р. Шуляченко в 1869 г.

По инициативе владельцев цементных заводов в 1885 г. были организованы съезды цементной промышленности. Работами съездов руководил вначале А. Р. Шуляченко, а затем Н. А. Белелюбский.

На съездах решались основные научные, технические и организационные вопросы цементного производства. На одном из съездов, в 1890-е гг., А. Р. Шуляченко говорил: «Русский портландцемент по своим качествам нисколько не уступает заграничному лучших марок. Будем стараться удешевить производство его, и мы окончательно вытесним с нашего рынка заграничный товар».

[31] Алексей Михайлович Повалишин (1837–1904) — горный инженер, управляющий Уральской железной дорогой.

Первые технические условия на приемку и поставку портландских цементов были составлены Н. А. Белелюбским и А. Р. Шуляченко. В 1881 г. эти условия были утверждены.

Постепенно ввоз заграничного цемента стал сокращаться. Этому отчасти способствовало распоряжение директора департамента железных дорог Д. И. Журавского о том, чтобы для железнодорожных работ принимался цемент только русского производства.

Российские инженеры-цементники преодолевают сопротивление Министерства путей сообщения и внедряют в строительство наш цемент. А. Р. Шуляченко, Н. А. Белелюбский издают первый в России журнал «Цемент», руководят строящимися цементными заводами, предлагают первые стандарты для сравнения свойств цементов, выпускаемых отечественными заводами. Шуляченко и Белелюбский были видными мостостроителями, по их проектам и под их непосредственным руководством были построены Александровский (Сызранский) мост через Волгу и Литейный мост через Неву в Петербурге.

Цемент начинают широко применять для гидротехнических сооружений, дамб, плотин. Но через 20–30 лет службы в гидротехнических сооружениях появляются первые признаки коррозии цементного бетона. Научное объяснение коррозии было дано после изучения состава затвердевшего и корродированного цемента. Наиболее полно эти работы выполнены русскими учеными С. И. Дружининым, А. А. Байковым, В. А. Киндом. Проблема была решена путем введения пуццолановых добавок.

В 1908 г. был изобретен глиноземистый цемент, отличающийся быстрым темпом роста механической прочности. Впервые этот цемент начали производить во Франции, но способ производства держали в секрете. Французы использовали глиноземистый цемент для восстановительных работ: возведения разрушенных мостов, оборонительных укреплений.

В 1916 г. из 58 заводов портландцемента шахтные печи имелись на 25 предприятиях. Эти печи были уже достаточно сложными сооружениями. Каждая обеспечивала выпуск цемента от 20 до 30 т в сутки, 22 завода имели вращающиеся печи с суточным выпуском клинкера до 40–60 т каждая. 11 заводов были оборудованы печами обоих типов. Всего в России в 1914 г. имелось 160 шахтных и 50 вращающихся печей.

Имея новейшую технику цементного производства конца XIX и начала XX в., а также совершенную технологию выработки цемента, Россия в 1898–1900 и 1913–1914 гг. занимала третье место в Европе по производству цемента.

В годы Гражданской войны производство цемента резко снизилось. Заводы остановились, часть их была разрушена. Основное электрооборудование, двигатели, компрессоры, оборудование электростанций снимались и отправлялись в неизвестном направлении. Заводы не работали из-за отсутствия топлива, энергии, разрухи на железных дорогах.

После Октябрьской революции развитию цементной науки уделялось большое внимание, так как цементная промышленность является базовой в обеспечении экономической мощи страны. Была создана научная основа цементной

промышленности — по всей стране были созданы организации, занимающиеся проблемами и перспективами развития производства цемента.

Хотя первые вращающиеся печи, изготовленные на Макеевском машиностроительном заводе, длиной 25 м и диаметром 1,8 м, в России появились в 1909 г., клинкер получали преимущественно в шахтных печах периодического и непрерывного действия. Условия труда рабочих были исключительно тяжелыми.

К 1927–1928 гг. выпуск цемента в России поднялся на довоенный уровень. В годы первых пятилеток построено 15 новых цементных заводов. В 1940 г. было выпущено 5,7 млн т цемента. Были построены два завода на востоке страны.

После окончания Великой Отечественной войны восстановление цементных заводов развивается быстрыми темпами. К 1966 г. построены заводы Савинский, Алексеевский, Старооскольский, Топкинский, Катав-Ивановский, Каменец-Подольский. 1966–1975 гг. — период развития и совершенствования цементной промышленности. Была создана научная основа цементной промышленности — по всей стране создавались организации, занимающиеся проблемами и перспективами развития производства цемента. Созданы проектные и исследовательские институты: Гипроцемент, НИИцемент, Южгипроцемент. Организован выпуск специальных видов цемента: сульфатостойкого, белого и декоративного, тампонажных цементов, дорожного и расширяющихся.

Уже в 1962 г. СССР занял первое место в мире по выпуску цемента. В 1971 г. выпуск цемента в стране превысил 100 млн т. Цементная промышленность СССР отличалась высокой концентрацией производства. Средняя мощность цементного завода в СССР была почти в 2 раза выше, чем в США, и на 30% выше, чем в Японии.

С 1990 по 1995 г. наблюдается спад производства, промышленность находилась в кризисном состоянии. Оснащенность цементной промышленности России оставалась устаревшей. Уровень производства снизился до 50%. В связи с резким спадом спроса на цемент заводы вынуждены были приостанавливать и выводить из эксплуатации технологические линии.

Все заводы, введенные в эксплуатацию до 1990 г., имеют высокий износ основных фондов и в последние 25 лет практически не подвергались реконструкции и внедрению процессов по интенсификации производства и наращиванию мощности. Из общего количества цементных заводов сухого способа производства, введенных в эксплуатацию до 1990 г., только два завода — АО «Невьянский цементник» и АО «Спасскцемент» — можно считать отвечающими современному техническому уровню.

За период с 1988 до 2008 г. новые мощности по выпуску цемента не вводились, но выведено из эксплуатации семь цементных заводов, в том числе три — сухого способа производства.

С 2008 г. началась беспрецедентная активность в строительстве и вводе в эксплуатацию новых современных линий, преимущественно сухого способа производства. В 2008–2017 г. введено в эксплуатацию 26 технологических линий

общей мощностью 36 млн т, из них 24 технологические линии, работающие по сухой технологии, и 1 линия комбинированного способа производства.

В настоящее время, по сравнению с 1990 г., в составе технологического оборудования произошли существенные изменения, прежде всего за счет ввода линий сухого способа и вывода из эксплуатации малоэффективных, морально и физически изношенных линий, оснащенных шахтными печами и устаревшими короткими линиями мокрого и сухого способа производства. Большинство линий мокрого способа производства были подвергнуты реконструкции, находятся в эксплуатации и являются наиболее эффективными для линий мокрого способа производства. Однако в эксплуатации продолжают также оставаться физически и морально устаревшие технологические линии мокрого способа производства длиной до 100 м.

За более чем столетнюю историю цемента существенно поменялось производство (рис. 18–21). Современные цементные заводы полностью автоматизированы, здесь больше нет ручного труда — в карьерах работают «умные машины», производство оснащено современными мельницами и печными установками.

Рис. 18. Верхнебаканский цементный завод, возведенный на месте «Общества Черноморского цементного производства», построенного по указу Александра III в 1882 г.

Одновременно с совершенствованием технологии производства расширялся и ассортимент выпускаемых вяжущих материалов. Еще в начале века для строительства подземных и гидротехнических сооружений начали применять пуццолановый портландцемент с повышенной водостойкостью.

Развитие металлургии дало цементной промышленности возможность использовать для изготовления шлакопортландцемента и других видов шлаковых вяжущих доменные шлаки.

В разработку этих видов цементов большой вклад внесли ученые А. Р. Шуляченко, И. А. Белелюбский, А. А. Байков, С. И. Дружинин, а затем В. А. Кинд, В. Н. Юнг, П. П. Будников, Ю. М. Бутт, С. Д. Окороков, Н. А. Торопов, С. М. Рояк, В. В. Тимашев, Т. В. Кузнецова и другие.

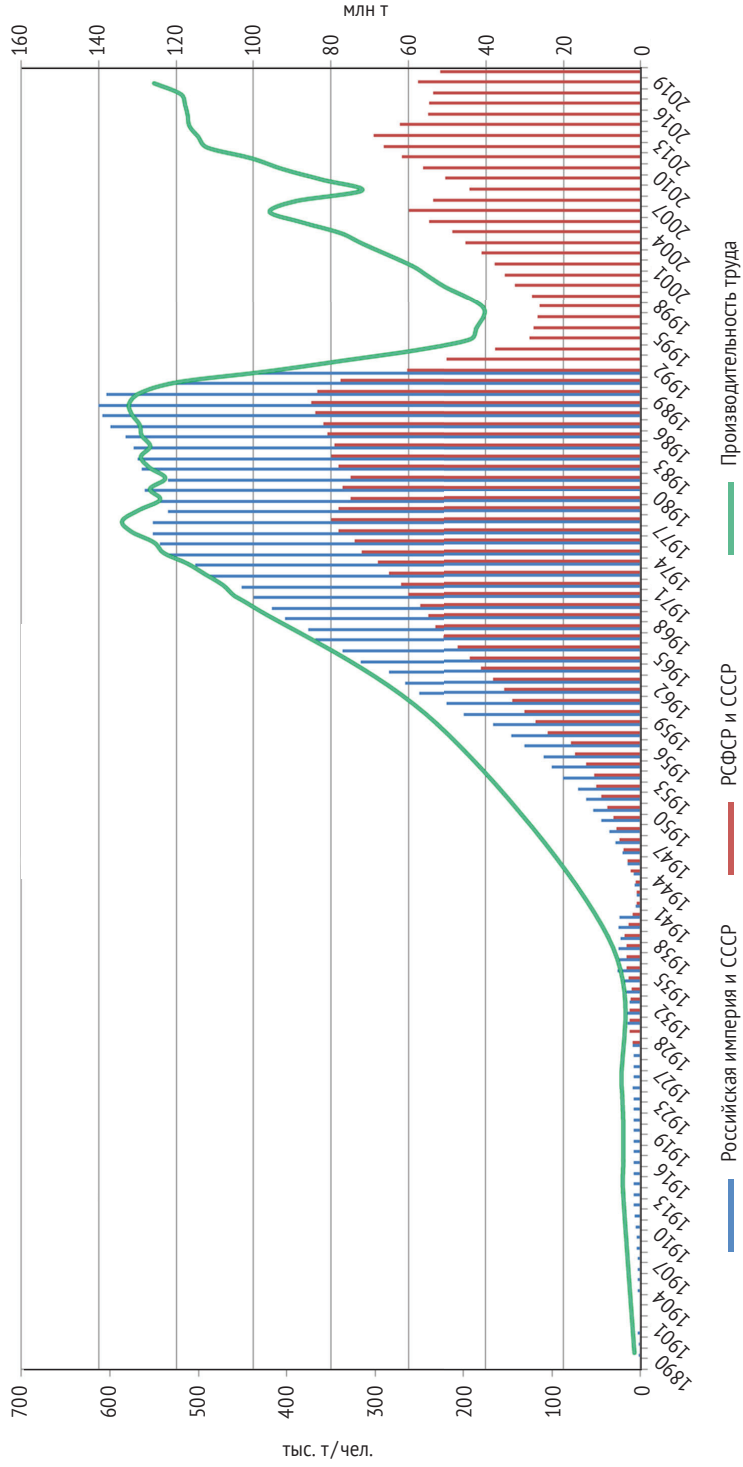


Рис. 19. Выпуск цемента по годам начиная с XIX в.

Рис. 20. На современном заводе сухого способа производства

Рис. 21. Новая линия по производству цемента по сухому способу на ОАО «Холсим (Рус) СМ» (г. Коломна), на торжественном открытии которой 13 июля 2011 г. присутствовали президенты РФ и Швейцарии

Производство многокомпонентных цементов в наши дни приобрело большое значение, поскольку это простой и надежный путь экономии топливно-энергетических ресурсов. Современная строительная техника предъявляет к вяжущим материалам новые высокие требования. Для производства железобетонных изделий и конструкций нужны быстротвердеющие портландцементы; для сооружения бетонных дорог — цемент, обладающий повышенной деформативной способностью и морозостойкостью, для декоративных целей требуются белые и цветные цементы, а для ремонтных работ — расширяющиеся цементы. В соответствии с запросами строительства советскими учеными П. И. Боженовым, П. П. Гайджуровым, Л. Д. Ершовым, И. В. Кравченко, Т. В. Кузнецовой, В. В. Михайловым, В. В. Тимашевым, М. И. Хигеровичем и другими разработана технология производства соответствующих специальных цементов. Их ассортимент постоянно расширяется.

Последние годы недостаточного внимания к цементной науке привели к тому, что утеряно как минимум 75 % научного потенциала отрасли. Оставшиеся 25 % нуждаются в инвестициях со стороны производителей и поддержке со стороны государства.

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

Цемент — это гидравлическое вяжущее вещество, получаемое тонким измельчением портландцементного клинкера с гипсом и добавками, образующее при затворении водой удобоукладываемое тесто, способное затвердевать в воде и на воздухе.

Производство цемента включает две ступени: первая — получение клинкера, вторая — доведение клинкера до порошкообразного состояния с добавлением к нему гипса или других добавок (рис. 22, 23).

Рис. 22. Общая схема технологического процесса получения цемента

Для производства цементного клинкера в России в качестве основного сырьевого компонента используются природные известняк, мел, мергель и другие карбонатсодержащие материалы, включающие отходы смежных производств. В качестве глинистого компонента используются природные глины, вскрышные глинистые материалы, глинистые сланцы, шлаки, золошлаковые отходы и т. п. (в общей сложности более 40 наименований). Для корректировки сырьевой смеси применяется ряд техногенных железосодержащих материалов — колчеданные огарки, пыль и шламы газоочистных сооружений черной металлургии, конвертерных шлаков, шламбрикетов и другие железосодержащие материалы. Доля природных ресурсов в сырьевой смеси при производстве клинкера составляет около 70%.

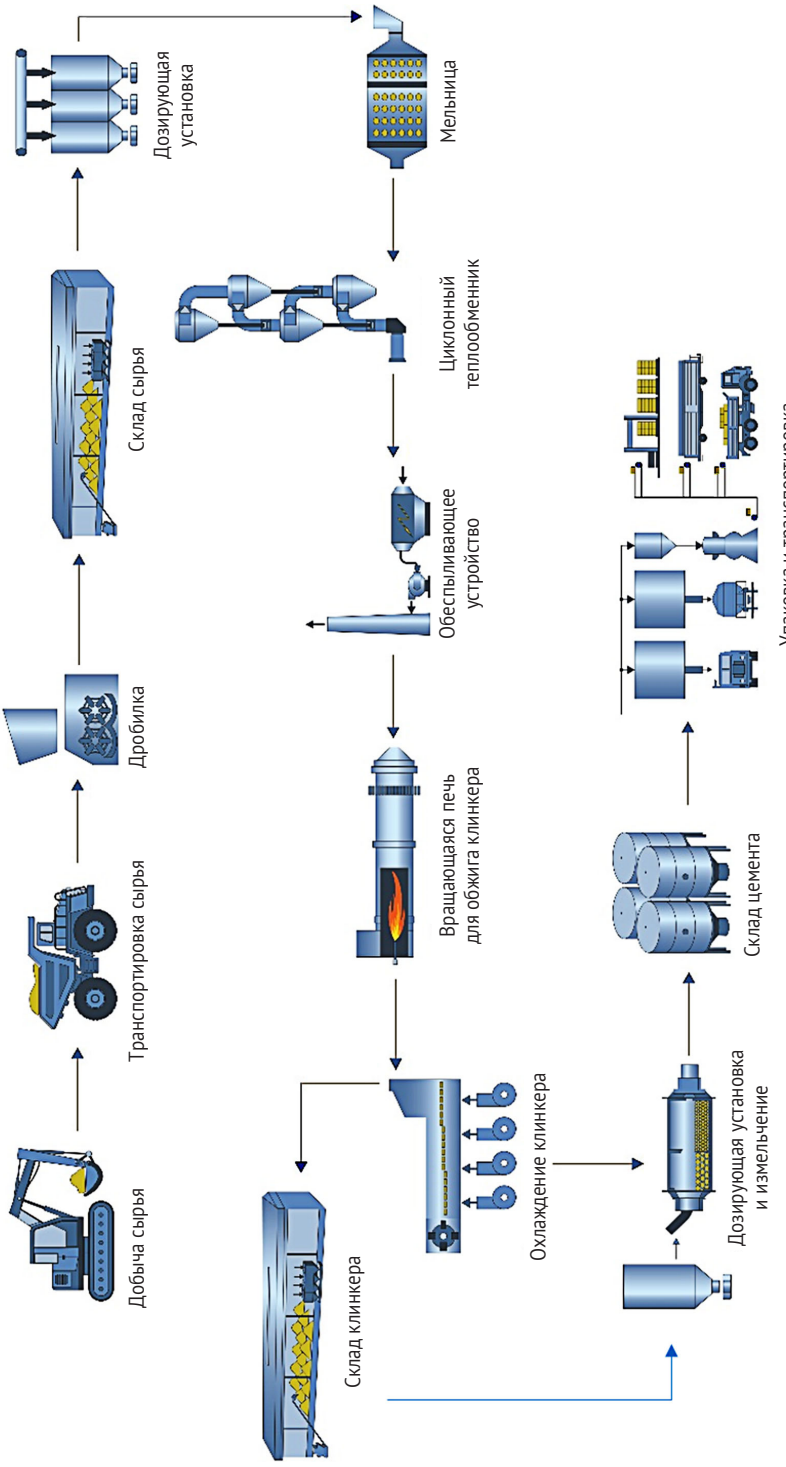


Рис. 23. Производство цемента

Кроме того, в качестве активных минеральных добавок также применяются техногенные отходы черной и цветной металлургии, золошлаковые отходы тепловых электростанций (ТЭС), сульфатсодержащие, горелые пески и формовочные смеси (около 20 наименований).

Для получения клинкера исходные сырьевые материалы берут примерно в соотношении 3 : 1, то есть на 1 мас. часть глины должно приходиться 3 мас. части известняка. Известная горная порода мергель представляет собой природную тесную смесь известняка и глины именно в таком соотношении. Там, где есть запасы мергеля, цементные заводы пользуются этим сырьем.

Первый этап самый дорогостоящий, именно на него приходится 70% себестоимости цемента. Приготовление сырьевой смеси заключается в получении однородной тонкоизмельченной смеси известняка и глины.

Обжиг сырьевой смеси — наиболее энергоемкая и ответственная операция, в результате которой образуется клинкер. Обжиг проводят во вращающихся (ротационных) печах, которые представляют собой огромные цилиндрические барабаны с углом наклона продольной оси барабана печи к горизонту 3–4°. Благодаря этому сырьевая смесь, загруженная в верхнюю часть печи, при медленном вращении барабана постепенно перемещается к нижнему, выходному концу. В печь загружают исходную сырьевую смесь, а выгружают из нее цементный клинкер. Образование клинкера сопровождается рядом сложных физических и химических процессов, в результате которых появляются новые минералы.

Вторая стадия тоже состоит из нескольких этапов. Это дробление клинкера, сушка минеральных добавок, дробление гипсового камня, помол клинкера совместно с гипсом и активными минеральными добавками. По выходе из вращающейся печи клинкер, состоящий из прочных камневидных окатанных гранул, интенсивно охлаждают воздухом с 1000 до 100–200° С в холодильниках. Помол клинкера с добавкой гипса — заключительная технологическая операция. В результате получают тонкозернистый порошок темно-серого или зеленовато-серого цвета, который и называют цементом. Полученный в результате помола цемент хранят в больших железобетонных банках — силосах, вмещающих до 10 тыс. т цемента. Здесь он постепенно охлаждается, а остатки содержащегося в нем свободного оксида кальция, взаимодействуя с влагой воздуха, гасятся. Это значительно улучшает технологические свойства цемента. Из силосов цемент отгружают потребителям в вагонах-цементовозах, автоцементовозах, крытых железнодорожных вагонах. Часть цемента упаковывают в пяти- или шестислойные бумажные мешки.

В общем виде материальный баланс производства показан на рисунке 24 и в таблицах 4–5. Материальный баланс производства цемента можно представить только для конкретного вида сырьевых материалов, топлива и способа производства. Тепловой баланс в меньшей степени зависит от вида сырья. Например, для сухого способа производства с материалом и воздухом поступает около 37 кДж/кг клинкера, расход тепла от сгорания топлива равен 2990 кДж/кг клинкера, что примерно соответствует 100 кг условного топлива на тонну клинкера. При этом на процессы клинкерообразования (получение портландцементного клинкера) расходуется лишь 1674 кДж/кг клинкера.

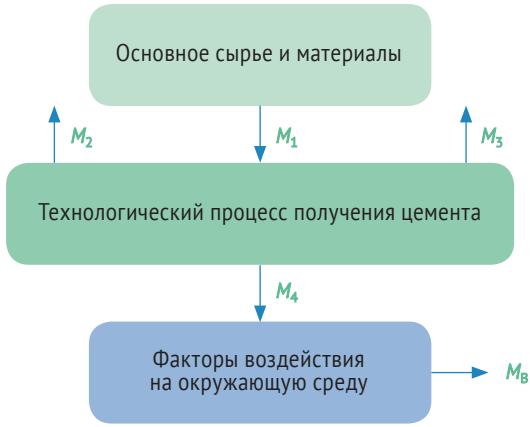


Рис. 24. Материальный баланс производства цемента: M_1 — поток основного сырья и материалов; M_2 — поток вспомогательного сырья и материалов; M_3 — поток готовой продукции; M_4 — поток загрязняющих веществ; M_B — выбросы в атмосферу

Таблица 4. Материальный баланс производства 1 т цемента

Приход			Расход		
Статья баланса	Масса, кг	Объем, $м^3$	Статья баланса	Масса, кг	Объем, $м^3$
Производство портландцементного клинкера					
Сырьевые материалы (сухие)	1770		Портландцемент-ный клинкер	950	
			Технологические газы (H_2O и CO_2)	910	
Топливо (у.т.)	100		Безвозвратный унос	10	
Воздух		1920	Отходящие газы		990
			Нагретый воздух		930
ИТОГО	1870	1920	ИТОГО	1870	1920
Производство цемента					
Портландцементный клинкер	950		Цемент	1000	
Гипс	50				
ИТОГО	1000		ИТОГО	1000	

Таблица 5. Тепловой баланс печи сухого способа производства

Приход		Расход	
Статья баланса	кДж/кг клинкера	Статья баланса	кДж/кг клинкера
С материалом и воздухом	37	Клинкерообразование	1674
		Испарение воды	39
		Потери теплоты отходящими газами	582
Теплота сгорания топлива	2990	Потери теплоты в окружающую среду	586
		Потери теплоты в холодильнике	146
ИТОГО	3027	ИТОГО	3027

При производстве цемента используются преимущественно мокрый, сухой, полусухой и комбинированный способы (рис. 25–26). Перечисленные технологии различаются по способам приготовления сырьевой смеси и обжига клинкера. Способ выбирают в зависимости от технологических и технико-экономических факторов — свойств сырья, его однородности и влажности, наличия достаточной топливной базы и др.

Мокрый способ производства

Технология производства цемента по мокрому способу известна с начала XX в., и ее развитие осуществлялось преимущественно путем совершенствования технических средств.

В соответствии с требованиями этой технологии сырьевые компоненты подвергаются измельчению до тонкости помола шлама с содержанием до 85–90 % частиц размером 80 и менее мкм. В целях минимизации расхода электроэнергии на помол, обеспечения достаточной гомогенизации компонентов и реологических свойств шлама процесс измельчения осуществляется с добавлением воды.

Мокрый способ производства используют при изготовлении цемента из мягких пород — мела (карбонатный компонент), глины (силикатный компонент). Влажность глины при этом не должна превышать 20 %, а влажность мела — 29 %. Мокрым этот способ назван потому, что измельчение сырьевой смеси производится в водной среде, на выходе получается шихта в виде водной суспензии — шлама влажностью 30–50 %.

Измельченный материал (шлам) поступает во вращающуюся печь, где осуществляется процесс сушки шлама, декарбонизации, спекания (сопровождается химическими реакциями с получением заданных минералов, обладающих вяжущими свойствами) и охлаждения клинкера. В качестве теплоносителя используются газы с температурой факела 1800–2000° С. Продукты сгорания направлены противотоком к движению материала во вращающейся печи.

Сырье
- карбонатный компонент $CaCO_3$ (мел, известняк, мергель и др.)
- алюмосиликатный компонент (глины, золы, шлаки и др.)
- корректирующий (железосодержащий) компонент

Вода
- централизованное водоснабжение
- природные источники (артезианские скважины, водные объекты)

Энергия
- природный газ
- каменный и бурый угли
- топочный мазут
- альтернативные виды топлива

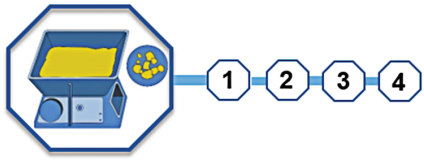
Вспомогательные материалы
- упаковочные материалы

Мокрый способ	Сухой способ	Комбинированный способ		Мокрый способ	Сухой способ	Комбинированный способ
Эмиссии • Пыль неорганическая, с содержанием SiO_2 менее 70 %				*Оборудование природоохранное* • Электрофильтры и рукавные фильтры с эффективностью очистки в пределах 95–99 %		
• NO_X ⩽ 800 мг/м³ • NO_2 ⩽ 400 мг/м³ • CO ⩽ 600 мг/м³ • Пыль неорганическая ⩽ 1000 мг/м³	• NO_X ⩽ 500 мг/м³ • NO_2 ⩽ 400 мг/м³ • CO ⩽ 600 мг/м³ • Пыль неорганическая ⩽ 50 мг/м³	• NO_X ⩽ 500 мг/м³ • NO_2 ⩽ 400 мг/м³ • CO ⩽ 600 мг/м³ • Пыль неорганическая ⩽ 50 мг/м³	Помол сырья Обжиг клинкера	*Оборудование основное* • Вращающиеся печи ИТС 6–2015. НДТ 3. *Энергия* • 5,7, до 6,9 ГДж/т клинкера	*Оборудование основное* • Вращающиеся печи ИТС 6–2015. НДТ 3. *Энергия* • 2,65, до 4,65 ГДж/т клинкера	*Оборудование основное* • Вращающиеся печи ИТС 6–2015. НДТ 3. *Энергия* • 3,95, до 4,54 ГДж/т клинкера
Эмиссии • Пыль неорганическая			Охлаждение клинкера	*Оборудование основное* • Клинкерные холодильники		
Эмиссии • Пыль неорганическая			Помол цемента	*Оборудование основное* • Мельницы *Энергия* • 100, до 135 кВт·ч/т цемента	*Оборудование основное* • Мельницы *Энергия* • 110, до 140 кВт·ч/т цемента	*Оборудование основное* • Мельницы *Энергия* • 90, до 100 кВт·ч/т цемента
Эмиссии • Пыль неорганическая			Упаковка, складирование	*Оборудование природоохранное* • Рукавные фильтры • Электрофильтры ИТС 6–2015. НДТ 6. Рукавный фильтр: затраты 250–800 тыс. руб. Электрофильтр: затраты 1800–4000 тыс. руб.		

Рис. 25. Технологические процессы производства цемента мокрым, сухим и комбинированным способами производства

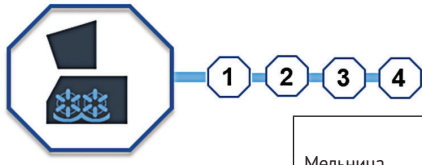
ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ – производство цемента

Этап 1 – дробление сырья



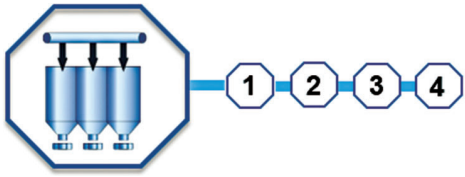
Показатель	Дробилка		
	Щековая	Молотковая	Валковая
Уд. эл. энергии q, кВт·ч/т	0,3–0,6	0,4–1,8	0,2–0,5
Производительность Q, т/ч	300–500	150–200	60–100

Этап 2 – измельчение сырья



Мельница	Q, т/ч	q, кВт·ч/т	Технология 1	2	3	4
Сырьевая смесь, энергия						
Необходимость воды при помоле			+	–	–	+
Шаровая	до 180	15–20	+	+	+	+
Мельница-болтушка (глиноболтушка)	100 м³/ч	0,5–1,0	+	–	–	–
Самоизмельчения «Гидрофол»	150–400	8–12	+	–	–	+
Самоизмельчения «Аэрофол»	до 250	10–12	–	+	+	–
Вертикальная тарельчато-валковая	300–500	5–7	–	+	+	–

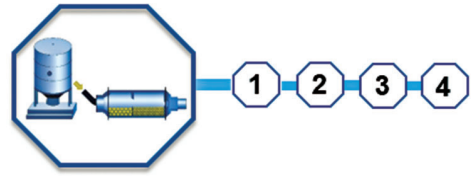
Этап 3 — перемешивание компонентов (корректировка и усреднение)



Способ корректирования	Технология			
	1	2	3	4
Сырьевая смесь, энергия				
Порционный	+	–	–	+
Поточный	+	+*	+*	+
Усреднение сырьевой муки на всех этапах производства	–	+	+	–
Усреднение сырьевой муки в силосе	–	+	+	–

* Поточный нейтронный анализатор.

Этап 4 — обезвоживание / сушка / грануляция

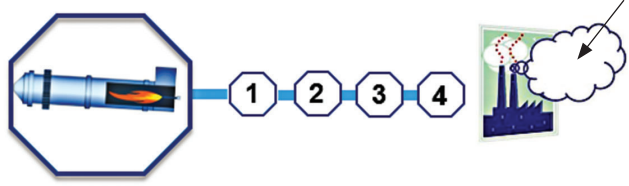


Процессы	Технология			
	1	2	3	4
Сырьевая смесь, энергия				
Обезвоживание (пресс-фильтр)	–	–	–	+
Сушка	–	+	+*	+
Грануляция	–	+	–	–

* Интегрировано в процесс измельчения.

Этап 5 — обжиг сырьевой смеси (шлама / муки)
(НДТ 3 технологии 2, 3, 4)

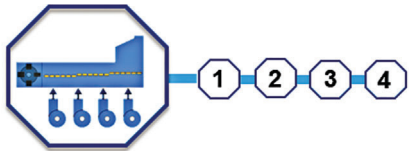
Пыль, NO_2, SO_2, CO, CO_2, HCl, HF, металлы, диоксины, шум



Основное оборудование	Технология			
	1	2	3	4
Сырьевая смесь, энергия				
Вращающаяся печь	+	+	+	+
Циклонный теплообменник	–	–	+	+
Запечный декарбонизатор	–	–	+	+

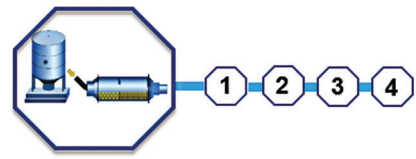
Рис. 26. Этапы производства цемента

Этап 6 — охлаждение клинкера



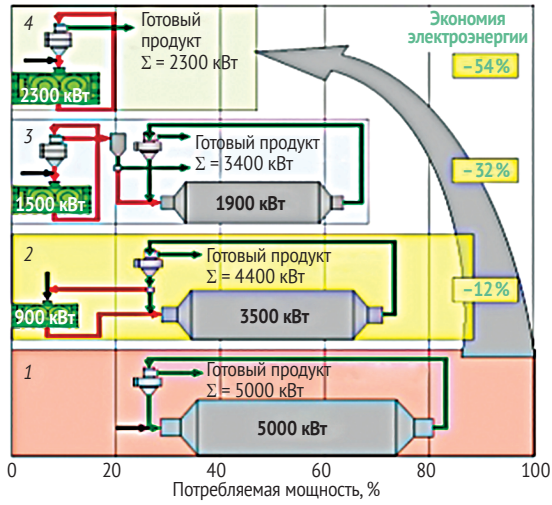
Холодильник	КПД, %	$t_{кл}$, °C	$t_{втор.возд}$, °C
Рекуператорный	65–75	130–150	300–350
Барабанный	65–75	100–300	500–600
Колосниковый	65–90	70–200	600–700
Колосниковый с беспроваль-ной решеткой	90	90	до 900

Этап 7 — измельчение клинкера с добавками



Мельница	Процесс			
	1	2	3	4
Шаровая	+	+	+	+
Вертикальная тарельчато-валковая	+	+	+	+
Роллер-пресс (валко-вый измельчитель)	+	+	+	+

Эффективность измельчения



1 — помол в шаровой мельнице
2, 3 — помол в пресс-валках + домол в шаровой мельнице
4 — помол в пресс-валках

Рис. 26 (окончание)

Полусухой способ производства

В середине XIX в. была разработана и нашла широкое применение технология, получившая название полусухого способа, в соответствии с которой сырьевые материалы с естественной влажностью до 15–18 % высушивались в сушильных барабанах до влажности не более 5 % и затем измельчались в шаровых мельницах с одновременной сушкой.

Полученная сырьевая мука направлялась на гранулятор, куда впрыскивалась вода из расчета получения гранул с влажностью ≈ 8 %. Гранулы (размером 10–15 мм) поступали на конвейерный кальцинатор, где осуществлялись

процессы досушки, подогрева и декарбонизации гранулированной шихты, которая далее направлялась на обжиг во вращающуюся печь. Существенным недостатком полусухого способа являются высокие требования к получению достаточной прочности гранул, разрушение которых вызывает резкое увеличение пылевыбросов в атмосферу и ускорение выхода из строя кальцинатора.

Комбинированный способ производства

Сущность технологии комбинированного способа производства — в том, что процесс измельчения и гомогенизации сырья осуществляется аналогично технологии мокрого способа. Подготовленный в соответствии с требуемыми физическими и химическими показателями шлам направляется в прессфильтр, где происходит частичное механическое обезвоживание шлама от влажности 40–45 до 16–20 %. Агломерация полученного кека осуществляется в грануляторах или сушилках-дробилках, в которых при обработке кека обеспечивается придание ему размеров и формы для оптимизации процесса обжига. Обжиг клинкера проводят по сухому способу.

Сухой способ производства

Сухой способ заключается в том, что сырьевые материалы перед помолом или в его процессе высушиваются. И сырьевая шихта выходит в виде тонкоизмельченного сухого порошка.

Промышленная технология сухого способа производства цемента разработана в 30-е гг. XIX в. Основным преимуществом данной технологии является более низкий расход топлива на производство клинкера по сравнению с другими технологиями, и особенно с технологией мокрого способа. При сухом способе навстречу горящим газам подают не шлам, а размолотое в порошок сырье: известняк, глину, шлаки. При этом экономится топливо, которое при мокром способе расходуется на испарение воды. Так, при мокром способе затраты тепла на выпаривание влаги из шлама достигают 40–50 % от общего расхода на обжиг клинкера, в то время как при сухом способе при естественной влажности сырья 6–25 % эти затраты соответственно составляют 10–25 %.

До 90-х гг. XX в. широкое распространение сухого способа сдерживалось его недостатками в части повышенного пылевыделения, особенно в печах с конвейерными кальцинаторами, и более сложным процессом усреднения сырьевой шихты.

В конце XX в. по мере разработки высокоэффективных агрегатов для помола сырья с одновременной сушкой, пылеулавливающих аппаратов, технологических линий мощностью до 4,0 млн т в год (для технологии мокрого способа максимальная мощность составляет 650 тыс. т в год) широкое распространение получил высокоэффективный сухой способ производства, которому, по всей вероятности, принадлежит будущее цементного производства.

Независимо от способа получения, цемент характеризуется одинаковыми характеристиками химических веществ (табл. 6).

Таблица 6. Сведения о химических веществах процесса производства цемента

№ п/п	Наименование химического вещества/продукта	Основной/вспомогательный процесс образования	Процесс/Установка	Назначение	Сведения о веществе			
					Номер CAS	Агрегатное состояние	Молекулярная формула	
1	Цемент	Основной процесс	Получение цемента	Целевой продукт	65997-15-1	Твердое	–	
2	Кальция карбонат	Основной процесс	Получение портландцементного клинкера/сырьевая мельница, вращающаяся печь	В составе сырья — известняка, мела, мергеля, отходов щебеночного производства	471-34-1	Твердое	$CaCO_3$	
3	Каолин	Основной процесс	Получение портландцементного клинкера/сырьевая мельница, вращающаяся печь	В составе сырья — глины, глинистых сланцев, суглинка	1332-58-7	Твердое	$Al_2[Si_2O_5](OH)_4$	

Сведения о веществе					
	Гигиенические нормативы[a)]				Краткое описание опасности и основные характеристики[b)]
	В воздухе рабочей зоны		В атмосферном воздухе городских и сельских поселений		
	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	
	–/8 (по силикат-содержащей пыли, в т. ч. цементу)	3	0,3/0,1/– (по пыли неорганической, содержащей двуокись кремния 20–70 %, в т. ч. цементу)	3	Сложный продукт, представляющий собой смесь химических веществ, полученных путем обжига или спекания при температурах более 1200° С сырья: в основном карбоната кальция, оксида алюминия, кремнезема и оксида железа, заключенных в кристаллическую массу. *Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Вызывает раздражение кожи, серьезные повреждения глаз. При контакте с кожей может вызывать аллергическую реакцию. При вдыхании пыли вызывает раздражение верхних дыхательных путей, может поражать легкие в результате продолжительного воздействия (фиброгенное действие). *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c)].
	–/6 (по известняку/ кальциту)	4	0,5/0,15/– (по карбонату кальция и пыли неорганической, содержащей двуокись кремния менее 20 %, в т. ч. известняку, мелу)	3	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Вызывает раздражение кожи, глаз и верхних дыхательных путей. Может поражать легкие в результате продолжительного воздействия при вдыхании пыли (фиброгенное действие). *Воздействие на окружающую среду* Вредно для водных организмов: ErC_{50} > 14 мг/л (водоросли, 72 ч).
	–/8 (по силикат-содержащей пыли, в т. ч. глине)	3	0,3/0,1/– (по пыли неорганической, содержащей двуокись кремния 70–20 %, в т. ч. глине, глинистому сланцу)	3	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Вызывает раздражение кожи, глаз и верхних дыхательных путей. Может поражать легкие в результате продолжительного воздействия при вдыхании пыли (фиброгенное действие). *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c)].

№ п/п	Наименование химического вещества/ продукта	Основной/ вспомогательный процесс образования	Процесс/ Установка	Назначение	Сведения о веществе			
					Номер CAS	Агрегатное состояние	Молекулярная формула	
4	Кремний диоксид	Основной процесс	Получение портланд-цементного клинкера/ сырьевая мельница, вращающаяся печь, цементная мельница	В составе сырья — песка, лесса, глины; золошлаковых отходов (золы), доменных шлаков, отсевов щебеночного производства, заменяющих сырьевые компоненты; добавок — опоки, трепла; выбросов	14808-60-7 (кварц)	Твердое	SiO_2	
5	Боксит	Основной процесс	Получение портланд-цементного клинкера/ сырьевая мельница, вращающаяся печь	Сырье	1318-16-7	Твердое	$Al_2O_3 \cdot nH_2O$	
6	Сульфид железа	Основной процесс	Получение портланд-цементного клинкера/ сырьевая мельница, вращающаяся печь	В составе сырья — пиритного огарка	1317-37-9	Твердое	FeS	

Таблица 6 (продолжение)

Сведения о веществе					
	Гигиенические нормативы[a)]				Краткое описание опасности и основные характеристики[b)]
	В воздухе рабочей зоны		В атмосферном воздухе городских и сельских поселений		
	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	
	6/2 (по кремнию диоксиду кристалли-че-скому при содержании в пыли от 10 до 70 %) –/4 (по кремнию диоксид кристалли-ческий при содержании в пыли от 2 до 10 %)	3	0,3/0,1/– (по пыли неорганической, содержащей двуокись кремния 20–70 %, в т. ч. цемент, пыль цементного производства — глина, песок, глинистый сланец, доменный шлак и др.) 0,5/0,15/– (по пыли неорганической, содержащей двуокись кремния менее 20 %, в т. ч. пыль цементного производства — известняк, мел, боксит и др.)	3	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Вызывает раздражение кожи, глаз и верхних дыхательных путей. Пыль кристаллического кремния (кварц, кристобалит) может поражать легкие в результате продолжительного воздействия при вдыхании (фиброгенное действие). *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c)].
	–/6	4	–	–	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Вызывает раздражение кожи, глаз и верхних дыхательных путей. Может поражать легкие в результате продолжительного воздействия при вдыхании пыли (фиброгенное действие). *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c)].
	–	–	–	–	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* В форме мелкодисперсной пыли может воспламеняться на воздухе. *Воздействие на организм человека* Вредно при проглатывании: LD_{50} = 300—2000 мг/кг (в/ж, крысы). *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c)].

№ п/п	Наименование химического вещества/ продукта	Основной/ вспомогательный процесс образования	Процесс/ Установка	Назначение	Сведения о веществе			
					Номер CAS	Агрегатное состояние	Молекулярная формула	
7	Оксид железа	Основной процесс	Получение портланд-цементного клинкера/ сырьевая мельница, вращающаяся печь	В составе сырья — железной руды, пиритного огарка; отходов, заменяющих сырьевые компоненты (золошлаковых отходов (золы), доменных шлаков и др.)	1309-37-1	Твердое	Fe_2O_3	
8	Фторид кальция	Основной процесс	Получение портланд-цементного клинкера/ сырьевая мельница, вращающаяся печь	В составе сырья — плавикова шпата (минирализатор)	7789-75-5	Твердое	CaF_2	
9	Шлаки доменные и шлаки цветной металлургии, в т. ч. содержащие:	Основной процесс	Получение портланд-цементного клинкера/ сырьевая мельница, вращающаяся печь	В составе отходов, заменяющих сырьевые компоненты (золошлаковых отходов (золы), доменных шлаков и др.); добавок	–	Твердое	–	
	Оксид кальция				1305-78-8	Твердое	CaO	

Таблица 6 (продолжение)

Сведения о веществе					
	Гигиенические нормативы[a]				Краткое описание опасности и основные характеристики[b]
	В воздухе рабочей зоны		В атмосферном воздухе городских и сельских поселений		
	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	
	–/6	4	–/0,04/–	3	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* При вдыхании пыли вызывает раздражение верхних дыхательных путей, может поражать легкие в результате продолжительного воздействия (фиброгенное действие). *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c].
	2,5/0,5	3	0,2/0,03/– (по фторидам неорганическим плохорастворимым, в т. ч. фториду кальция)	2	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Может причинить вред при проглатывании: LD_{50} = 4250—4417 мг/кг (в/ж, крысы). При вдыхании пыли вызывает раздражение верхних дыхательных путей, может поражать легкие в результате продолжительного воздействия (фиброгенное действие). *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c].
	–/6 (по пыли доменного шлака)	4	0,3/0,1/– (по пыли неорганической, содержащей двуокись кремния 20–70 %, в т. ч. пыль цементного производства— доменный шлак)	3	Не является химическим веществом. Сведения о диоксиде кремния, входящем в состав, — см. выше; сведения по основным компонентам — оксидам кальция, алюминия, магния и титана — приведены ниже.
	1	2	0,3 (ОБУВ)	–	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Вредно при проглатывании: LD_{50} = 500—2000 мг/кг (в/ж, крысы). Вызывает химические ожоги кожи и глаз. Вызывает раздражение верхних дыхательных путей. *Воздействие на окружающую среду* Вредно для водных организмов: LC_{50} = 50,6 мг/л (рыбы, 96 ч).

№ п/п	Наименование химического вещества/ продукта	Основной/ вспомогательный процесс образования	Процесс/ Установка	Назначение	Сведения о веществе			
					Номер CAS	Агрегатное состояние	Молекулярная формула	
9	Оксид алюминия	Основной процесс	Получение портландцементного клинкера/ сырьевая мельница, вращающаяся печь	В составе отходов, заменяющих сырьевые компоненты (золошлаковых отходов (золы), доменных шлаков и др.); добавок	1344-28-1	Твердое	Al_2O_3	
	Оксид магния				1309-48-4	Твердое	MgO	
	Диоксид титана				13463-67-7	Твердое	TiO_2	
10	Золошлаковые отходы	Основной процесс	Получение портландцементного клинкера/ сырьевая мельница, вращающаяся печь	Отходы, заменяющие сырьевые компоненты; добавка	–	Твердое	–	

Таблица 6 (продолжение)

Сведения о веществе					
	Гигиенические нормативы[a)]				Краткое описание опасности и основные характеристики[b)]
	В воздухе рабочей зоны		В атмосферном воздухе городских и сельских поселений		
	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	
	–/6	4	–/0,01/0,005	2	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Вызывает раздражение кожи, глаз и верхних дыхательных путей. Может поражать легкие в результате продолжительного воздействия при вдыхании пыли (фиброгенное действие). *Воздействие на окружающую среду* Вызывает изменение органолептических свойств воды.
	4	4	0,4/0,05/–	3	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Вызывает раздражение кожи и глаз. *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c)].
	–/10	4	0,5 (ОБУВ)	–	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Вызывает раздражение глаз. Может вызвать раздражение верхних дыхательных путей, поражать легкие в результате продолжительного воздействия при вдыхании пыли (фиброгенное действие). Предполагается, что данное вещество вызывает раковые заболевания (канцерогенное действие). *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c)].
	–	–	–	–	Не является химическим веществом. Сведения по основным компонентам — диоксиду кремния, а также оксидам кальция, алюминия, железа, титана и магния — приведены выше.

№ п/п	Наименование химического вещества/ продукта	Основной/ вспомогательный процесс образования	Процесс/ Установка	Назначение	Сведения о веществе			
					Номер CAS	Агрегатное состояние	Молекулярная формула	
11	Нефелиновый шлам, в т. ч. содержащий:	Основной процесс	Получение портландцементного клинкера/ сырьевая мельница, вращающаяся печь	Отходы, заменяющие сырьевые компоненты; добавка	–	Твердое	–	
	Ортосиликат кальция (белит)				1344-95-2	Твердое	Ca_2SiO_4	
12	Сульфат кальция	Основной процесс	Получение цемента/ цементная мельница	Добавка (ангидрит, фосфогипс)	7778-18-9	Твердое	$CaSO_4$	
13	Сульфат кальция дигидрат	Основной процесс	Получение цемента/ цементная мельница	Добавка (гипс, фосфогипс)	10101-41-4	Твердое	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	

Таблица 6 (продолжение)

Сведения о веществе					
	Гигиенические нормативы[a)]				Краткое описание опасности и основные характеристики[b)]
	В воздухе рабочей зоны		В атмосферном воздухе городских и сельских поселений		
	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	
	–	–	–	–	Не является химическим веществом. Сведения по основному компоненту — ортосиликату кальция — приведены ниже.
	6/2 (по силикатсодержащей пыли, силикатам, в т. ч. цеолиты, пыль стекла и стеклянных строительных материалов)	3	0,3/0,1/– (по пыли неорганической, содержащей двуокись кремния 20–70 %, в т. ч. цемент, пыль цементного производства	3	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Вызывает раздражение кожи, глаз и верхних дыхательных путей. Пыль может поражать легкие в результате продолжительного воздействия при вдыхании (фиброгенное действие). *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c)].
	–	–	–	–	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Вызывает раздражение глаз и верхних дыхательных путей. Может вызывать астму и аллергический дерматит в условиях производства. *Воздействие на окружающую среду* Вызывает изменение органолептических свойств воды (сульфаты).
	2	3	–	–	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Не оказывает негативного воздействия[c)]. Может вызывать астму и аллергический дерматит в условиях производства. *Воздействие на окружающую среду* Вызывает изменение органолептических свойств воды.

№ п/п	Наименование химического вещества/ продукта	Основной/ вспомогательный процесс образования	Процесс/ Установка	Назначение	Сведения о веществе			
					Номер CAS	Агрегатное состояние	Молекулярная формула	
14	Фосфогипс, в т. ч. содержащий:	Основной процесс	Получение цемента/ цементная мельница	Добавка	–	Твердое	–	
	Фосфор (V) оксид				1314-56-3	Твердое	P_2O_5	
15	Азота оксид	Основной процесс	Получение цемента/ сырьевая мельница, вращающаяся печь, холодильник, цементная мельница	Эмиссии (выбросы)	10102-43-9	Газ	NO	
16	Серы диоксид	Основной процесс	Получение цемента/ сырьевая мельница, вращающаяся печь, холодильник, цементная мельница	Эмиссии (выбросы)	7446-09-5	Газ	SO_2	

Таблица 6 (продолжение)

Сведения о веществе					
	Гигиенические нормативы[a)]				Краткое описание опасности и основные характеристики[b)]
	В воздухе рабочей зоны		В атмосферном воздухе городских и сельских поселений		
	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	ПДК, мг/м^3	Класс опасности	
	2 (по кальцию сульфату дигидрату)		0,5 (ОБУВ по пыли (неорганической) гипсового вяжущего из фосфогипса с цементом)	–	Не является химическим веществом. Сведения о сульфате кальция (ангидрит и гидрат), входящем в состав, — см. выше; сведения о пентаксиде фосфора приведены ниже.
	1	2	0,15/0,05/–	2	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Смертельно при вдыхании: LC_{50} = 1217 мг/м^3 (инг., крысы, 1 ч). Вызывает химические ожоги кожи и глаз. *Воздействие на окружающую среду* Вредно для водных организмов: EC_{50} = 66,5 мг/л (водоросли, 72 ч).
	5 (по оксидам азота в пересчете на NO_2)	3	0,4/–/0,06	3	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Окисляющий газ: может вызвать или усилить возгорание. *Воздействие на организм человека* Смертельно при вдыхании: LC_{50} = 57,5 ppm (инг., крысы, 4 ч). Вызывает химические ожоги кожи и глаз. Может поражать органы (дыхательную систему, ЦНС, систему крови) в результате продолжительного воздействия. *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c)].
	10	3	0,5/0,05/–	3	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Не опасен. *Воздействие на организм человека* Токсично при вдыхании: LC_{50} = 884,14 ppm (инг., крысы, 4 ч). Смертельная концентрация для человека 2660 мг/м^3 (при вдыхании в течение 10 мин). Вызывает химические ожоги кожи и глаз. *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c)].

№ п/п	Наименование химического вещества/ продукта	Основной/ вспомогательный процесс образования	Процесс/ Установка	Назначение	Сведения о веществе			
					Номер CAS	Агрегатное состояние	Молекулярная формула	
17	Углерода оксид	Основной процесс	Получение цемента / сырьевая мельница, вращающаяся печь, холодильник, цементная мельница	Эмиссии (выбросы)	630-08-0	Газ	CO	

Примечания

[a] Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28 января 2021 года № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 “Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания”».

[b] Основные характеристики согласно справочным материалам и сведениям, представленным в базах данных по химическим веществам:
- База данных ChemADVISOR. — URL: https://www.chemadvisor.com/Online (дата обращения: 20.12.2021);
- База данных Европейского Химического Агентства (ECHA). — URL: https://echa.europa.eu/ (дата обращения: 20.12.2021);
- База данных АРИПС «Опасные вещества». — URL: http://www.rpohv.ru/online/ (дата обращения: 20.12.2021);
- *Гусева Т. В.* Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справочные материалы. — М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2005.

[c] Согласно принятым на международном уровне подходам к классификации опасности химических веществ — Рекомендациям ООН «Согласованная на глобальном уровне система классификации опасности и маркировки химической продукции» (GHS). — URL: https://unece.org/ru/ghs-rev7-2017 (дата обращения: 20.12.2021).

Идентификационные данные вещества:

Номер CAS (Chemical Abstracts Service), или CAS Number — уникальный численный идентификатор химического вещества, внесенного в Реестр Химической Реферативной службы (подразделение Американского химического общества)

Таблица 6 (окончание)

Сведения о веществе					
	Гигиенические нормативы[a]				Краткое описание опасности и основные характеристики[b]
	В воздухе рабочей зоны		В атмосферном воздухе городских и сельских поселений		
	ПДК, мг/м³	Класс опасности	ПДК, мг/м³	Класс опасности	
	20	4	5,0/3,0/3,0	4	*Опасность, обусловленная физико-химическими свойствами* Чрезвычайно легковоспламеняющийся газ: образует воспламеняющиеся смеси с воздухом в концентрации 10,9 об. % и более. *Воздействие на организм человека* Токсично при вдыхании: LC_{50} = 1300 ppm (инг., крысы, 4 ч). Поражает органы (ЦНС, систему крови, иммунную систему и др.) в результате продолжительного воздействия. Предполагается, что данное вещество может отрицательно повлиять на способность к деторождению (репродуктивная токсичность). *Воздействие на окружающую среду* Не оказывает негативного воздействия[c].

Показатели опасности, обусловленной токсикологическими свойствами вещества:

LC_{50} (Letal Concentration) — средняя смертельная концентрация в воздухе — концентрация вещества, вызывающая гибель 50 % животных при 1- или 4-часовом ингаляционном (инг.) воздействии.

LD_{50} (Letal Dose) — средняя смертельная доза — доза вещества, вызывающая гибель 50 % животных при однократном введении в желудок (в/ж) или нанесении на кожу (н/к).

Показатели опасности, обусловленной экотоксикологическими свойствами вещества:

LC_{50} (Letal Concentration) — средняя смертельная концентрация — концентрация вещества в воде, вызывающая гибель 50 % водных организмов (гидробионтов) при установленном времени воздействия (96-часовом для рыб, 48-часовом для ракообразных, 72- или 96-часовом для водорослей) в течение заданного периода наблюдения.

EC_{50} (Effective Concentration) — средняя эффективная концентрация — концентрация вещества в воде, вызывающая негативный эффект (изменение тест-реакции, выраженной в гибели гидробинтов, снижении интенсивности размножения, снижении подвижности или других типичных поведенческих характеристик, а также в подавлении некоторых биохимических процессов, протекающих в клетках и ферментных системах) у водных организмов на 50 % при установленном времени воздействия в течение заданного срока наблюдений.

ErC_{50} (Effective Reduction Concentration) — средняя эффективная концентрация в части снижения скорости роста — концентрация вещества в воде, вызывающая угнетение роста водорослей на 50 % при установленном времени воздействия в течение заданного периода наблюдения.

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ЦЕМЕНТА

Цемент служит сырьем для строительных растворов и бетонов. Бетон является самым востребованным в мире стройматериалом, изготавливаемым путем смешивания воды, цемента, мелкого заполнителя (песка) и крупного заполнителя (щебня, гравия). Состав бетона выражают в виде массового расхода материалов (кг), необходимых для приготовления 1 м^3 бетонной смеси (табл. 7).

Таблица 7. Пример подобранного состава бетона

Водоцементное отношение, % от массы	Содержание воздуха, %	Количество, кг/м^3			
		Вода	Цемент	Мелкий заполнитель	Крупный заполнитель
52,1	4,0	150	288	832	1040

Если пропорциональное соотношение компонентов в бетоне отобразить в виде объемных процентов (рис. 27), то видно, что бóльшую часть (более 80 %) занимают заполнители.

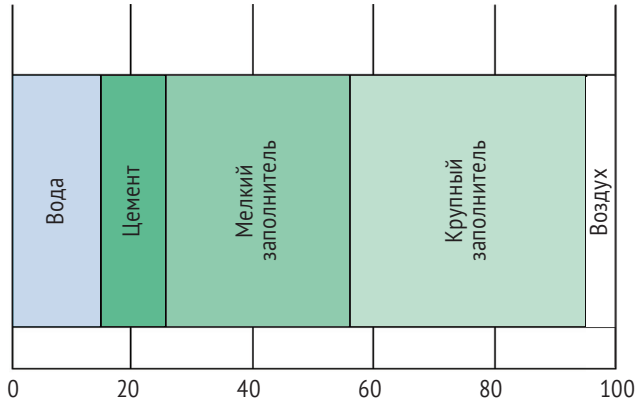


Рис. 27. Соотношение компонентов в бетоне, %

Существуют следующие разновидности бетона: бетон, изготовленный непосредственно на месте строительных работ, и свежий бетон с завода по производству бетонной смеси. Готовый продукт либо поставляется на места строительства, либо утилизируется в качестве сырья для переработанного бетона на заводах по производству материалов вторичной обработки. Кроме того, введение модифицирующих добавок ведет к существенному изменению структуры и свойств затвердевшего бетона.

Изделия из бетона, изготавливаемые на специальных заводах железобетонных изделий, называют сборными железобетонными конструкциями. К сборным железобетонным конструкциям относятся: сегменты туннелей, применяемых при строительстве туннелей щитовым способом, сборные перекрытия, водопропускные трубы, несущие стены и электрические столбы. Производство сборного железобетона непосредственно на заводе значительно упрощает контроль над процессом строительства и позволяет стабилизировать качество продукта.

Мягкая консистенция свежеприготовленного бетона позволяет создавать объекты различной формы путем заливания бетона в предназначенные для этого опалубки. Еще не застывший бетон в мягком состоянии называют свежим бетоном. Пройдет несколько часов после заливки бетона, прежде чем цемент начнет постепенно взаимодействовать с водой в ходе химической реакции гидратации, что приведет к его затвердеванию.

При этом одновременно повышаются прочность и плотность бетона благодаря изменению структуры цемента, происходящему в ходе химической реакции. В случае с обычным бетоном реакция гидратации осуществляется на 70–80 % в течение четырех недель (28 суток). При этом продукты гидратации цемента тонким слоем обволакивают зерна заполнителя, сцепляя их. Процесс затвердевания в первый месяц после бетонирования определяет свойства бетона. Качество обеспечения правильного ухода за бетоном решает, длительным будет срок его службы или нет. Поэтому важно не только уметь правильно смешивать сырье, но и после тщательно следить за дальнейшим формированием конечного продукта. Время влияет на изменения свойств бетона, позволяя мягкой бетонной смеси превращаться в материал, создающий прочный каркас, который можно использовать на протяжении долгого времени (рис. 28). Как можно заметить, бетон, идущий в ногу со временем, обладает многими качествами, не свойственными другим промышленным материалам.

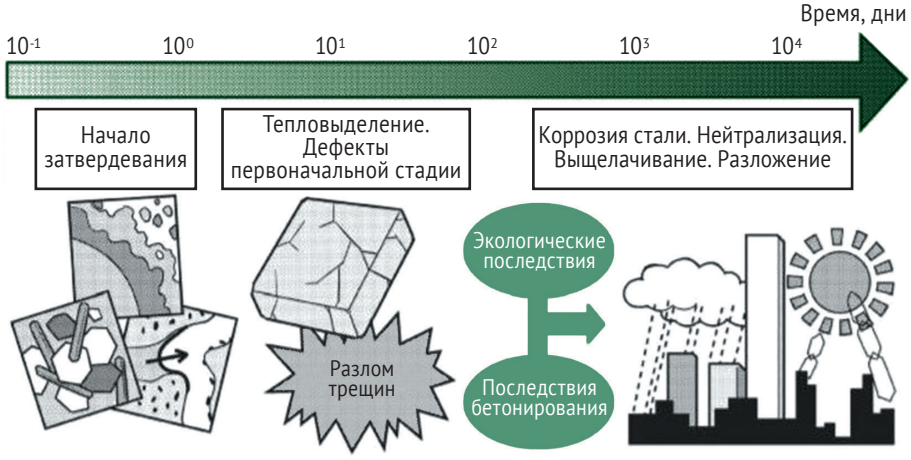


Рис. 28. Жизненный цикл бетонного сооружения

Поскольку затвердевший бетон содержит большое количество заполнителя, то после завершения «жизненного цикла» бетонного сооружения возможна переработка бетона с получением бетонолома, на основе которого делают вторичные искусственные заполнители.

Поэтому при экологической оценке жизненного цикла необходимо учитывать не только влияние самого материала, но и процессов, сопровождающих его по жизненному циклу, — от добычи сырья для его изготовления до уничтожения, захоронения или, что более предпочтительно, повторного его использования для изготовления новых материалов. Это позволяет «замкнуть» жизненный цикл материала и решить экологические задачи — сократить количество отходов и обеспечить ресурсосбережение. Экологическая безопасность материалов должна рассматриваться и оцениваться не по принципу «здесь и сейчас», а «везде и всегда». При этом оцениваются не только прямые (явные) негативные воздействия, такие как эмиссия вредных веществ, образование отходов и т. п., но и косвенные эффекты (дефицит сырья, влияние на здоровье человека, ухудшение качества окружающей среды, нагрузки при перевозке материалов и т. д.) (рис. 29).

Рис. 29. Система показателей для комплексной экологической оценки материалов

И в этом контексте жизненный цикл цемента (и бетона) можно представить следующим образом (рис. 30).

Рис. 30. Жизненный цикл цемента и бетона

Возвращаясь к производству основного, главного компонента бетона, который обусловливает все его свойства, — изготовлению цемента, следует сказать, что при его производстве некоторые технологические процессы могут совмещаться в одном агрегате или, напротив, одинаковые процессы протекать в нескольких агрегатах и осуществляться в другой последовательности. В связи с тем, что отдельные сырьевые материалы имеют различные технологические свойства (прочность, влажность, липкость, абразивность, размалываемость, спекаемость и др.), то для организации наиболее экономичного процесса их переработки и в соответствии с состоянием технологического оборудования и систем автоматизации были разработаны и получили промышленную реализацию различные способы производства цемента.

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

Производить цемент, состав и свойства которого соответствуют современному портландцементу, практически начали в первой половине XIX в. в Англии (с 1825 г.). Первые цементы получали в шахтных печах периодического действия, смешивая компоненты в смесительных механических установках. И лишь после 1900 г. шахтные печи стали заменять на более производительные вращающиеся печи непрерывного производства. Поэтому сравнение технологий по технологическим циклам развития производства возможно лишь с начала XX в., когда происходит модернизация производства цемента и появляется мокрый, сухой и комбинированный способы производства (рис. 31).

Сухой и комбинированный способы производства относят к энергосберегающим способам.

У каждого из вышеперечисленных способов производства цемента (мокрого, сухого, комбинированных) есть свои достоинства и недостатки.

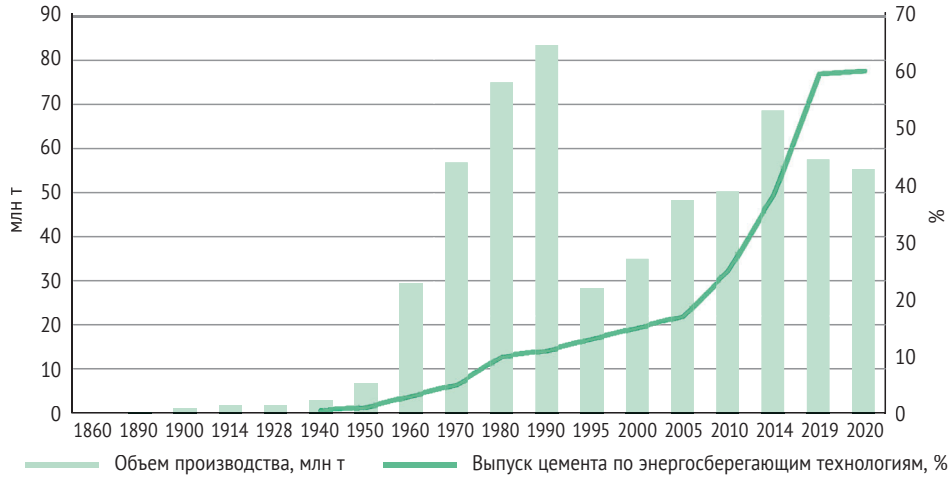


Рис. 31. Сравнение технологий по технологическим циклам по ключевым показателям

Так, например, в присутствии воды облегчается измельчение материалов и проще достигается однородность смеси, но расход тепла на обжиг сырьевой смеси при мокром способе на 30–40 % больше, чем при сухом (рис. 32).

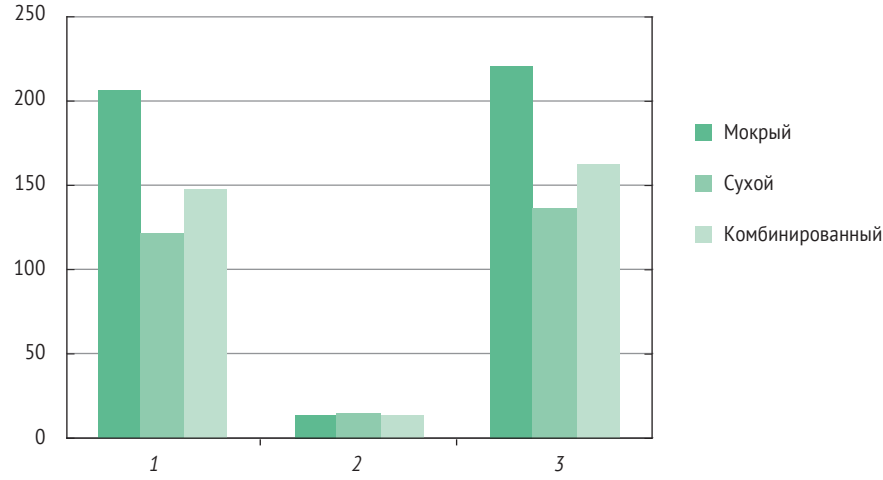


Рис. 32. Среднегодовые показатели энергоресурсов по способам производства, кг у. т. (1 кг = 8,141 кВт·ч):
1 — удельный расход топлива; *2* — удельный расход электроэнергии;
3 — приведенные энергозатраты

Кроме того, значительно возрастает необходимый объем печи при обжиге мокрой сырьевой смеси (рис. 33), так как значительная часть ее выполняет функции испарителя воды.

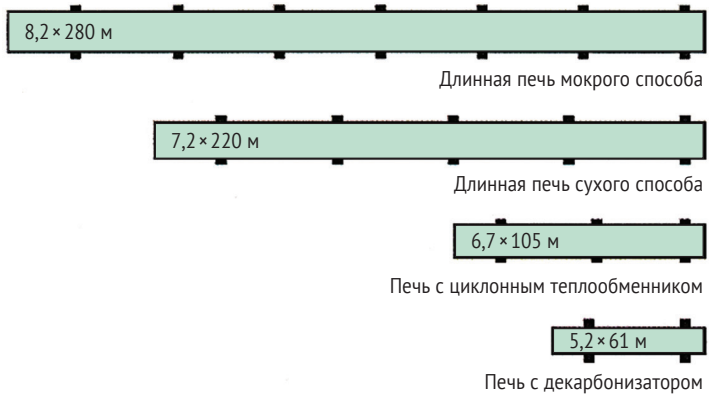


Рис. 33. Расчетные размеры вращающейся печи для производства 5000 т клинкера в сутки (по данным журнала ZKG 4/1999)

Выбор способов производства портландцементного клинкера определяется рядом факторов технологического и технико-экономического характера: свойствами сырья, его однородностью и влажностью, наличием достаточной топливной базы в районе строительства завода.

При природной влажности сырья более 18–20 % оказывается целесообразным мокрый способ. Этот способ выгодно применять также при использовании двух мягких компонентов (глины и мела), так как измельчение их легко достигается разбалтыванием в воде. Используют мокрый способ при пестром химическом составе.

Сухой способ рационально применять при однородном по составу сырье, если влажность его не превышает 18–20 %. На практике имеются примеры успешного функционирования предприятий с использованием мела и мергеля с влажностью до 26 % (Белорусский цементный завод, построенный в 1980-х гг., работает на таком сырье с конца прошлого века).

Полусухой способ даст хорошие результаты при изготовлении клинкера из достаточно пластичных сырьевых материалов, когда при грануляции смеси образуются прочные и термостойкие гранулы.

При хорошей фильтруемости сырьевых шламов предпочтение следует отдавать комбинированному способу.

При сухом способе производства известняк и глину после выхода из дробилки высушивают до влажности примерно 1 % и измельчают в сырьевую муку. После измельчения ее дозируют, усредняют и корректируют в специальных смесительных силосах и подают в циклонные теплообменники.

Главные преимущества сухого способа производства портландцементного клинкера:

– более высокий съем клинкера с 1 м^2 печного агрегата, чем в мокром способе;
– экономичность способа (снижение расхода топлива, энергетических затрат, себестоимости 1 т цемента).

При мокром способе ниже расход электроэнергии на измельчение, так как размол материалов в водной среде протекает легче, причем часть сырьевых материалов способна размучиваться (распускаться) в воде — глина, мел. Если оба сырьевых компонента мягкие (мел + глина), то экономия энергии при измельчении может достигать 10 кВт·ч на тонну сырья. Проще и надежнее осуществляется усреднение шихты по сравнению с порошкообразным состоянием в сухом способе.

При приготовлении сырьевого шлама необходимо дополнительно вводить от 30 до 50 % воды, а затем ее приходится удалять испарением (в цементной печи), а это связано с излишними затратами топлива и энергии — в 1,5–2,0 раза больше, чем при сухом способе. В результате при мокром способе удельный расход тепла колеблется от 5800 до 6500 кДж/кг клинкера, а при сухом способе составляет 3100–3500 кДж/кг клинкера, что ведет к снижению себестоимости продукции.

При сухом способе приготовления шихты сушка сырья производится: перед измельчением или одновременно с измельчением в дробилках или мельницах. При мокром способе производства шлам перемещается гидротранспортом — самотеком или с помощью центробежных насосов, при сухом же способе применяют пневмотранспорт, шнеки и элеваторы, что повышает загрязнение пылью воздуха в цехах и на территории завода и требует установки дополнительного оборудования для обеспылевания аспирационного воздуха.

Объем печных газов при сухом способе на 35–40 % меньше, чем при мокром способе при одинаковой производительности печей. В результате при сухом способе производства снижается стоимость обеспыливания печных газов, имеются более широкие возможности использования тепла отходящих из печи газов для сушки сырья, что позволяет снизить общий расход топлива на производство клинкера, хотя это и вызывает усложнение технологии производства.

Таким образом, вновь строящиеся и проектируемые цементные заводы в нашей стране рассчитаны на изготовление цемента по сухому способу как более экономичному (рис. 34). Такая же тенденция наблюдается и во всех промышленно развитых странах мира.

Средний расход топлива в России на обжиг тонны клинкера при мокром способе производства составляет 206,5 кг у. т. против 121,5 кг у. т./т клинкера при сухом способе производства. На выпуск такого же количества цемента расходуется примерно 115–125 кВт·ч электроэнергии. В промышленно развитых странах эти показатели в полтора раза меньше, да и выход продукции с кубометра печей в России существенно ниже. В себестоимости нашего цемента затраты на топливо и электроэнергию составляют в среднем 40 %, а на отдельных предприятиях — и 60 %.

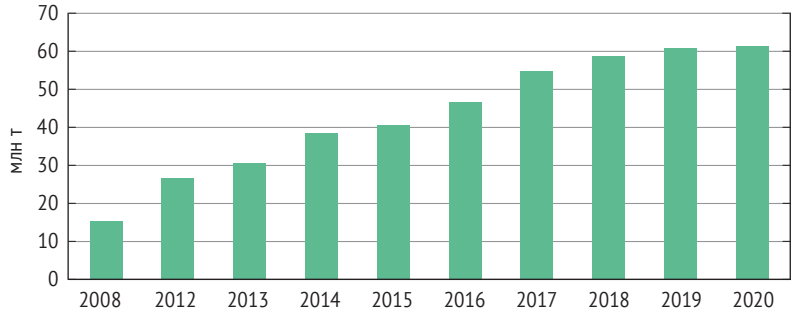


Рис. 34. Выпуск цемента в России энергоэффективными способами

В экологическом аспекте мокрый способ оказывает наибольшее негативное воздействие на окружающую среду с учетом затрат материальных ресурсов и выбросов загрязняющих веществ (рис. 35).

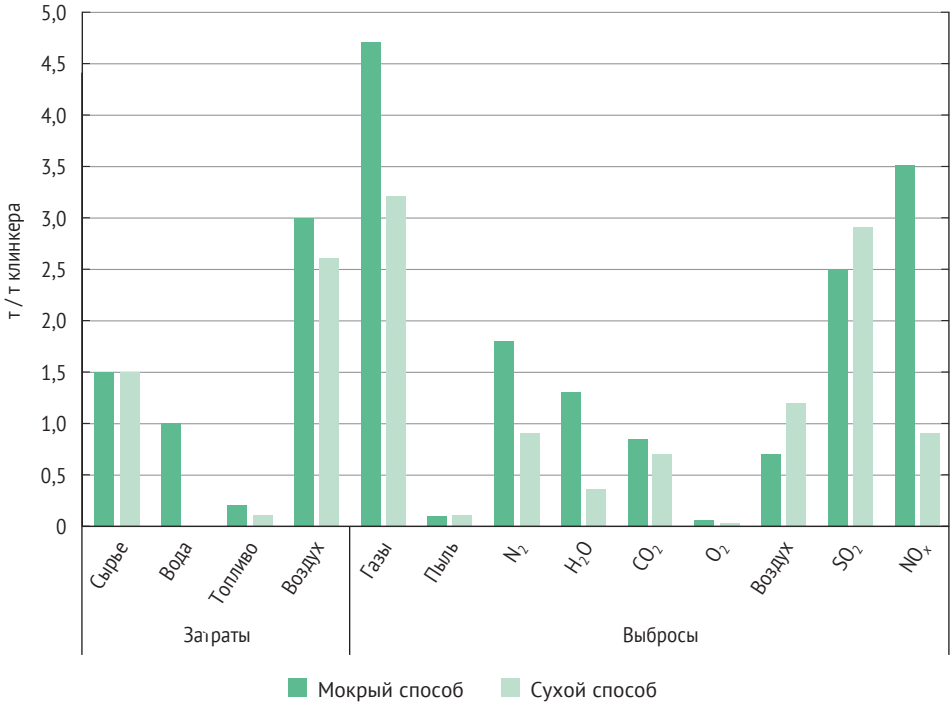


Рис. 35. Материальный баланс процесса производства портландцементного клинкера по мокрому и сухому способам производства

Потребление материальных ресурсов и выбросов увеличивается на 1,5 т/т клинкера. Производство портландцементного клинкера по мокрому способу требует расхода топлива примерно в два раза больше, чем по сухому. Тепло, получаемое при сжигании технологического топлива, расходуется на тепловые

процессы клинкерообразования, испарение воды, а также теряется с отходящими газами, с воздухом из клинкерного холодильника, с горячим клинкером и на прямые потери в окружающую среду.

С другой стороны, при сухом способе производства несколько увеличиваются выбросы горячего третичного воздуха, что связано с использованием современных клинкерных холодильников, охлаждающих портландцементный клинкер до температур менее 80–100° С. Аэрозоли вращающихся печей сухого способа отличаются высокой дисперсностью частиц (до 75 % частиц размером менее 5 мкм) и высокой температурой по сравнению с мокрым способом. Но из-за снижения расхода материалов, топлива, выбросов газов и пыли в атмосферу данная технология является более прогрессивной как в экономическом, так и в экологическом аспектах.

Эффективность тепловых процессов, как правило, характеризуют коэффициентом полезного действия, представляющим отношение полезно используемой энергии к затрачиваемой. Однако в ряде случаев энергетический (тепловой) КПД характеризует процесс недостаточно полно.

В 1950-е гг. для оценки эффективности теплотехнических процессов стали применять метод, основанный на совместном использовании законов термодинамики с учетом особой роли окружающей среды; появился термин «эксергия». Под эксергией понимается работа, которая может быть получена из системы при ее обратимом переходе в состояние равновесия с окружающей средой. Таким образом, эксергия является частью энергии, заключенной в системе, которая может быть использована с практической точки зрения.

Эксергия определяется разностью значений свойств системы и окружающей среды. Чем больше это различие, тем эксергия выше, а если система имеет параметры окружающей среды, то ее эксергия равна нулю. Значение эксергии зависит от параметров окружающей среды (температуры, давления и состава).

Эксергетический метод является эффективным способом анализа и оптимизации теплотехнологических систем и позволяет оценивать степень совершенства процессов передачи и преобразования теплоты и энергии.

Эксергетический анализ делится на два вида: метод эксергетических потерь, или энтропийный метод, который заключается в расчете потерь эксергии во всех отдельных типовых процессах, составляющих рассматриваемую систему, и метод эксергетических потоков, или балансовый метод, заключающийся в расчете эксергии входных и выходных потоков системы и составлении эксергетического баланса и определении потерь эксергии как разности эксергии входных и выходных потоков.

Теоретические методы эксергетического анализа можно считать разработанными достаточно полно, но в задачах прикладного характера он применяется в основном при исследовании и оптимизации низкотемпературных теплообменных процессов. В промышленных печах полезный продукт производится из неэнергетического сырья, а энергия для этого подводится при сжигании топлива. Наряду с полезными продуктами при этом получаются и хвостовые продукты, которые не используются, но их образование является составной частью технологического процесса.

В обжиговых системах цементного производства процессы теплообмена являются вспомогательными для осуществления главной задачи: проведения структурных и химических преобразований в исходном продукте в соответствии с необходимым температурным режимом. Таким образом, возможность перенесения эксергетических методов на установки по обжигу клинкера остается под вопросом и требует дальнейшего изучения.

В 1996–2005 гг. М. Э. Вердиян и его сотрудники осуществили новый подход к эксергетическому анализу процесса получения цемента. Эксергия преобразуемого материала определена ими как способность реагировать на совершаемое на него воздействие. Значение эксергии исходной шихты определяется эксергией выбранных компонентов. Из этого следует, что необходимо стремиться к выбору исходных компонентов, обладающих высокими значениями их эксергий. Показано, что эксергия шихты $E_{\text{шихты}}$ находится в зависимости от параметров, характеризующих используемые сырьевые компоненты, технологию их приготовления и обжига:

$$E_{\text{шихты}} = f(KH, R_{008}, Pe, W, T, S),$$

где KH — химический состав сырьевой шихты; R_{008} — степень измельчения шихты; Pe — степень перемешивания шихты; W — влажность; T — степень термообработки; S — технология приготовления и обжига шихты.

Выполненные расчеты показали, что максимальная эксергия сырья имеет место при его минимальной влажности и максимальной пористости. Поэтому, выбирая соответствующие сырьевые материалы, минимальное энергопотребление можно заложить уже на первой стадии производства цемента. Природное сырье и сухие продукты сгорания топлива в предлагаемой модели окружающей среды отнесены к веществам отсчета, их химическая эксергия равна нулю. Поэтому химическая эксергия в процессе обжига клинкера будет ненулевой для топлива, клинкера, паров воды и техногенных продуктов, используемых в качестве сырьевых добавок.

Однако другие исследователи, комментируя полученные результаты, указывали, что «серьезным недостатком обсуждаемого материала представляется отсутствие указаний на способ вычисления эксергии», а также на то, что приведенные М. Э. Вердияном значения являются не эксергией в традиционно понимаемом смысле, а частью затрачиваемой энергии, необходимой для получения готового продукта[32]. В этом случае рассмотренный подход можно полноправно считать энергетическим анализом технологии получения цемента.

При этом в работах М. Э. Вердияна, П. В. Беседина и П. А. Трубаева рассматриваются отдельно эксергетический анализ процессов обжига цементного клинкера и расчет, и формирование эксергии цемента в мельницах.

Сравним энергетическую эффективность различных технологических процессов обжига клинкера во вращающихся печах с колосниковыми клинкерными холодильниками (табл. 8).

[32] Энерготехнологический анализ процессов в технологии цементного клинкера. — Белгород, 2005.

Таблица 8. Сравнение технологий производства цемента

Статья баланса	Энергия, кДж/кг	Эксергия, кДж/кг	Статья баланса	Энергия, кДж/кг	Эксергия, кДж/кг
Мокрый способ производства					
Газообразное топливо	5961	5663	Портландцементный клинкер	1674	947
			Испарение воды	2629	1075
			Потери теплоты с отходящими газами	850	2022
Теплосодержащие потоки	113	26	Потери теплоты в окружающую среду	733	1043
			Потери теплоты в холодильнике	188	602
ИТОГО	6074	5689	ИТОГО	6074	5689
Сухой способ производства					
Газообразное топливо	2990	2840	Портландцементный клинкер	1674	947
			Испарение воды	39	21
			Потери теплоты с отходящими газами	582	594
Теплосодержащие потоки	37	1	Потери теплоты в окружающую среду	586	834
			Потери теплоты в холодильнике	146	445
ИТОГО	3027	2841	ИТОГО	3027	2841
Комбинированный способ производства					
Газообразное топливо	3730	3544	Портландцементный клинкер	1674	947
			Испарение воды	913	975
			Потери теплоты с отходящими газами	473	502
Теплосодержащие потоки	63	26	Потери теплоты в окружающую среду	586	701
			Потери теплоты в холодильнике	147	445
ИТОГО	3793	3570	ИТОГО	3793	3570

Для наглядной интерпретации эксергетического баланса разных способов производства цемента приведены диаграммы Грамассмана-Шаргута (рис. 36–38).

Тепловые балансы и эксергия материальных потоков, которые, безусловно, будут изменяться в зависимости от состава сырьевой смеси и технологических параметров работы печи, существенно различаются по способам производства.

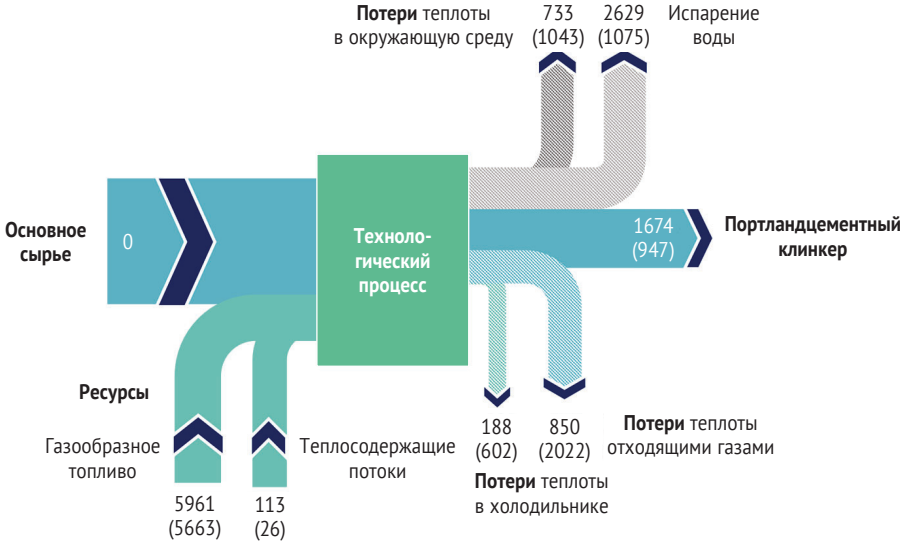


Рис. 36. Расчет эксергии для мокрого способа производства цемента, кДж/кг

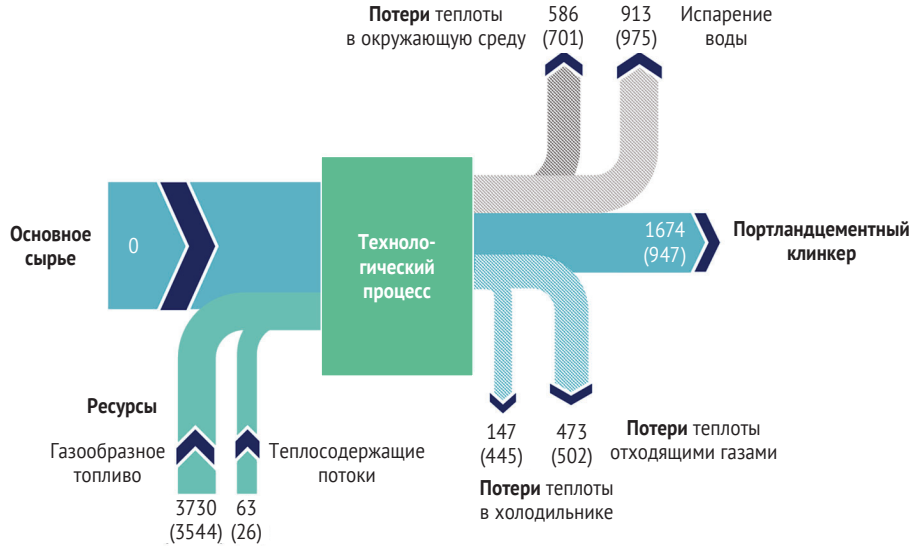


Рис. 37. Расчет эксергии для комбинированного способа производства цемента, кДж/кг

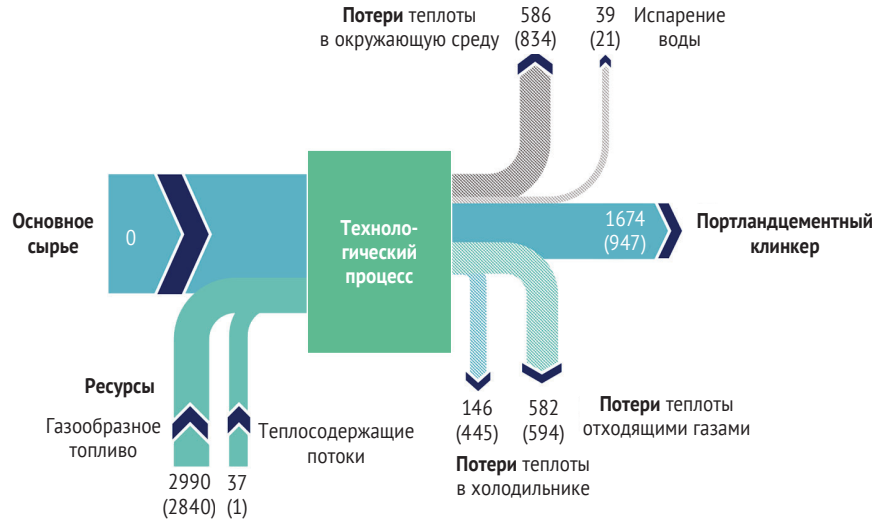


Рис. 38. Расчет эксергии для сухого способа производства цемента, кДж/кг

Эксергетический КПД $\eta_э$ будет выражать степень совершенства процессов передачи энергии в установке, а $\eta_{э.п}$ — эффективность использования энергии для получения конечного продукта (рис. 39). Аналогом эксергетического КПД $\eta_э$ является тепловой КПД $\eta_{тепл}$, а $\eta_{э.п}$ — технологический КПД $\eta_{техн}$.

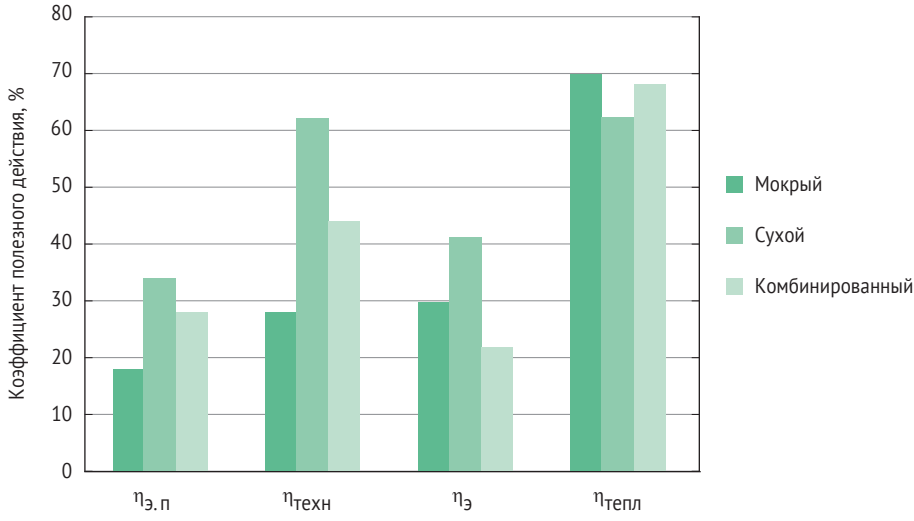


Рис. 39. Энергетическая эффективность процесса обжига клинкера

Тепловой КПД, характеризующий потери теплоты в процессе, для рассматриваемых вариантов меняется мало, причем наихудшее его значение — для

сухого способа с наименьшим расходом топлива. Это объясняется наибольшими потерями в этом способе теплоты с отходящими газами и через корпус печи.

Но эксергетические КПД $\eta_э$ и $\eta_{э.п}$ со снижением расхода топлива растут, что связано с уменьшением эксергии топлива на входе при постоянной эксергии клинкера и мало меняющейся эксергии отходящих газов на выходе. Так как затраты теплоты на химические реакции преобразования сырья в клинкер постоянны, технологический КПД растет со снижением расхода топлива.

ОТХОДЫ И ВТОРИЧНЫЕ РЕСУРСЫ

При производстве цемента не образуется промышленных отходов или вторичных ресурсов. Наоборот, отходы многих производств могут использоваться в качестве сырьевых материалов и/или природного топлива при производстве портландцементного клинкера и цемента.

Использование отходов в качестве сырьевых материалов и/или природного топлива при производстве цемента

Современное развитие материального производства сопровождается вовлечением в хозяйственный оборот огромных объемов вещества и энергии. На каждый рубль национального дохода затрачивается 1 тонна природного вещества (воды, минерального сырья, топлива, биомассы, атмосферного кислорода), а готовая продукция составляет не более 1% от массы вещества, используемого для нужд народного хозяйства. В целом по промышленности затраты на материалы и энергоносители составляют почти три четверти всей суммы затрат на производство продукции.

Многие отходы — белитовый (нефелиновый), доменный шлак, зола — близки по своему химическому составу к используемым в цементной промышленности природным компонентам, поэтому одним из рациональных вариантов экономии топлива при обжиге клинкера является использование техногенных материалов в качестве сырьевых компонентов (рис. 40).

В настоящее время в Российской Федерации образуется в год около 5 млрд т отходов, при этом 4 млрд т — при добыче полезных ископаемых и около 300 млн т — на обрабатывающем производстве (в том числе в нефтяной, химической и автомобильной промышленности).

С 2014 г. Россия находится в процессе перехода на принципиально новую систему в области обращения с отходами. Основная цель нового государственного регулирования в области обращения с отходами в РФ — стимулирование экономическими способами возвращения в оборот отходов, которые можно использовать как вторичное сырье, в том числе тех, которые сегодня захораниваются на полигонах или вне их без извлечения полезных компонентов, что ведет к возрастанию нагрузки на окружающую среду, причиняет вред здоровью населения, наносит ущерб экономике в целом.

Рис. 40. Возможности использования отходов промышленного производства в качестве сырьевых компонентов при производстве цементного клинкера

Проблема загрязнения территории страны различными отходами с каждым годом становится острее. В России ежегодно образуется 55–60 млн т только твердых коммунальных отходов (ТКО). И лишь 5–7 % из них перерабатываются, в то время как в странах Евросоюза перерабатывается до 60 % ТКО. По данным правительства, экологический ущерб от этого составляет более 68 млрд руб. По статистике, на сегодняшний день 2 % всей площади РФ погребены под свалками, и каждый год количество занятых ими земель увеличивается на площадь, равную Москве и Санкт-Петербургу, вместе взятым.

Для России сегодня главное — найти решения, которые позволят, во-первых, снизить образование и сократить долю отходов, размещаемых на полигонах. А во-вторых, поддержать формирование «индустрии отходов», отрасли, обеспечивающей переработку накопленных и вновь образующихся отходов.

В европейских странах вопросы утилизации твердых бытовых отходов достаточно успешно решаются уже не первое десятилетие, принося участникам этого процесса многомиллионные доходы. Высокий потенциал использования бытовых отходов в промышленности и энергетике признают и в России. В рамках Ялтинского международного экономического форума, который прошел в апреле 2017 г., спецпредставитель Президента РФ по вопросам природоохранной деятельности, экологии и транспорта С. Иванов подчеркнул, что мусор является новым возобновляемым источником энергии и перспективным видом топлива. «Мусора нам хватит и нашим потомкам на всю жизнь», — заявил Иванов[33].

[33] Сергей Иванов назвал мусор источником энергии «для нас и наших потомков» // Рамблер. — 2017. — 21 апр. — URL: https://news.rambler.ru/ecology/36683701-sergey-ivanov-nazval-musor-istochnikom-energii-dlya-nas-i-nashih-potomkov/ (дата обращения: 05.12.2021).

Одним из актуальных направлений утилизации твердых бытовых отходов на сегодняшний день является переработка отходов в альтернативное топливо (АТ) с последующим его использованием на цементных предприятиях. Современные технологии позволяют с высокой эффективностью перерабатывать отходы, сортируя материалы, которые обладают достаточной теплотворной способностью и являются пригодными для производства топлива.

Цементная промышленность — это большой экологический резерв, имеющий все возможности для эффективной утилизации различного вторичного сырья: отходов переработки газа, металла, нефти, угля, биомассы, автомобильных шин, сельскохозяйственных отходов и бытового мусора (табл. 9).

Таблица 9. Производство и использование техногенных материалов

Наименование отходов	Годовой выход	Использование, %	Наличие в отвалах
Золы и шлаки ТЭС, млн т	40	7	1500
Шлаки доменные, млн т	40	20	360
Шлаки цветной металлургии, млн т	50	2	450
Электротермофосфорные шлаки, млн т	20	8	130
Шлаки сталеплавильные, млн т	10	0,5	70
Древесные отходы, млн $м^3$	до 100	до 20	н/д
Фосфогипс, млн т	25	5	280
Огарки пиритные, млн т	7	30	40
Отсевы известняка, млн т	175	7	н/д
Шины изношенные, млн т	12	4	н/д
Отходы строительства и сноса, млн $м^3$	13	20	н/д
Твердые бытовые отходы, млн $м^3$	180	3	н/д

Поскольку в качестве сырьевых материалов могут применяться различные типы отходов, то перед тем как принять решение об их применении, должны быть рассмотрены основные принципы их использования, такие как предварительная сортировка и анализ технологических процессов по их подготовке.

Портландцементный клинкер характеризуется определенным составом, который предопределяет гидравлические свойства цемента. Это означает, что все сырьевые материалы и зола топлива должны быть тщательно подобраны по минеральному составу и скорости подачи, чтобы получить заданный состав клинкера.

Чтобы сохранить стандартное качество клинкера, должны быть проведены предварительные исследования по влиянию отходов на процессы клинкерообразования. Окончательное решение о том, какой тип отходов будет принят к использованию на конкретном заводе, не может быть типовым.

Ко вторичным ресурсам, заменяющим карбонатные и глинистые компоненты, относятся доменные шлаки и шлаки цветной металлургии, золошлаковые отходы, нефелиновый шлам, отсевы щебеночного производства и производства

извести. Железосодержащим компонентом могут служить огарки, железорудные концентраты, хвосты железосодержащие, шламы и пыли черной металлургии.

Отходы, используемые в качестве сырьевых материалов, обычно подаются в печь в том же месте, где производится подача обычных сырьевых материалов, например по месту подачи сырьевой смеси.

При выборе и применении отходов в качестве сырьевого материала следует принимать во внимание следующие факторы:

– изначально отходы состоят из тех же оксидов, что и клинкер;
– низкая концентрация тяжелых металлов, однако необходимо учитывать присутствие ртути, таллия и аналогичных металлов;
– регулярный контроль материалов с отбором и анализом используемых отходов.

Другим, чрезвычайно важным и востребованным, является использование промышленных отходов (вторичных ресурсов) для создания цементов специального назначения (рис. 41). Специальные цементы, выпуск которых в настоящее время в России крайне низок, получают при температурах 1100–1300° С, что позволяет существенно снизить топливно-энергетические затраты на их производство, уменьшить «углеродный след» и существенно расширить области применения. Многие технологии специальных цементов были разработаны в советское время в НИИЦементе и МХТИ им. Д. И. Менделеева, а в настоящее время разрабатываются на кафедре химической технологии композиционных и вяжущих материалов РХТУ им. Д. И. Менделеева.

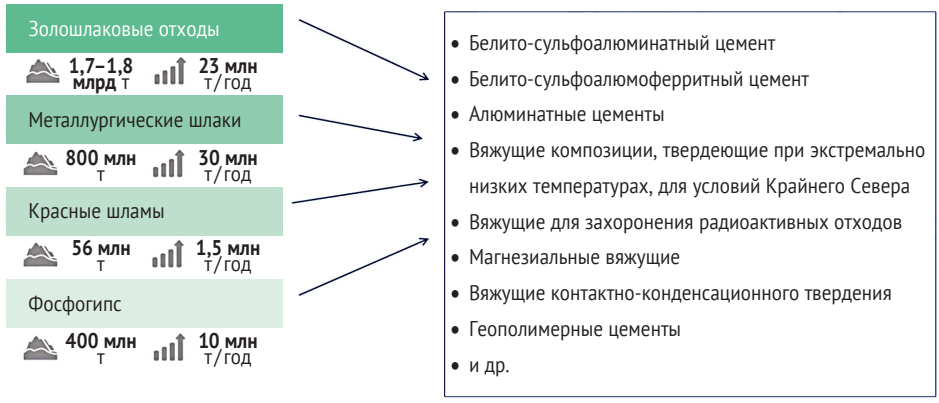


Рис. 41. Использование промышленных отходов для производства цементов специального назначения

Использование отходов в качестве сырьевых материалов при производстве цемента относится к наилучшим доступным технологиям производства цемента (ИТС 6-2015 — НДТ 1).

Различные типы отходов могут заменять природное ископаемое топливо в производстве цемента (рис. 42) и будут способствовать, с одной стороны, сохранению природных источников и, с другой стороны, снижению материало- и энергозатрат.

Рис. 42. Виды отходов, которые могут быть использованы в качестве альтернативного топлива

Имеются все предпосылки использования альтернативных видов топлива в цементных печах: высокие температуры в печи (температура материала свыше 1450° С, а газовой среды в зоне спекания — около 2000° С) и пребывание материала в зоне спекания более 7 с позволяют полностью нейтрализовать тяжелые металлы и токсичные вещества, технология безотходна.

Ряд цементных заводов в России в течение нескольких лет уже эффективно используют древесную щепу, отработанные покрышки, осадки сточных вод, заменяя ими природное топливо. В планах — использование RDF[34].

В результате прямые выбросы CO_2 из традиционных видов топлива сокращаются, но происходят прямые выбросы CO_2 из отходов («преобразование отходов в энергию») (рис. 43).

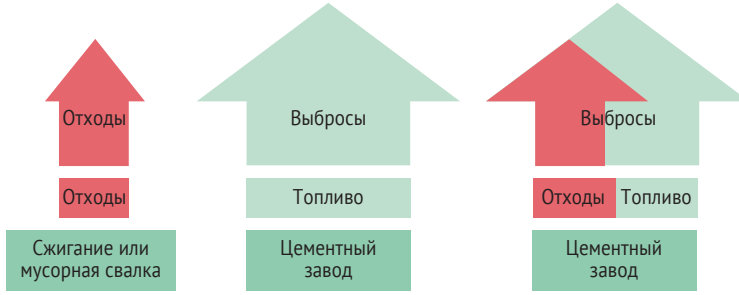


Рис. 43. Косвенная экономия выбросов CO_2 за счет использования отходов в качестве альтернативного топлива

Одни цементные заводы совершенно легально используют RDF из ТКО и автопокрышки — топливо подается в печь как отходы, а заводы имеют лицензию

[34] RDF — топливо на основе мусора — очищенная от вредных примесей высококалорийная горючая фракция размером ~25 мм. RDF представляет собой твердое топливо, производится путем измельчения и обезвоживания твердых бытовых отходов.

на обращение с отходами. Несколько цементных заводов работают без лицензии на обращение с ТКО и подают отходы (в основном древесные с примесью ТКО) как продукт — сертифицированное альтернативное топливо.

На сегодняшний день правовые основы утилизации отходов в цементной промышленности в целях предотвращения вредного воздействия отходов производства и потребления на здоровье человека и окружающую среду, а также вовлечения отходов в хозяйственный оборот в качестве дополнительных источников сырья предусмотрены в «Стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года», однако реализация их затягивается.

Таким образом, замена природных сырьевых материалов и ископаемого топлива в производстве цемента различными типами отходов будет способствовать сохранению природных источников, а также снижению материалоемкости и энергозатрат и повышению ресурсо- и энергоэффективности производства.

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Российская цементная промышленность находится в числе самых быстрорастущих мировых индустрий и характеризуется достаточной конкурентоспособностью на внутреннем рынке и низкой конкурентоспособностью на мировом рынке. Основным показателем неконкурентоспособности цементной отрасли России является все еще высокая доля производства цемента по «мокрому» способу, составляющая на сегодняшний день 46%. Этот способ гораздо более энергоемкий, чем используемый в развитых странах мира сухой способ. Поэтому для компаний важно постепенно переходить на более прогрессивные энергосберегающие технологии.

Однако переход на сухой способ производства влечет за собой проблемы. Если цена тонны условного топлива у нас в стране повысится до уровня западной, то не менее 80% цемента Россия вынуждена будет производить по сухому способу или же вообще прекратить его производство. Ведь дешевле станет покупать его в Турции, Польше, Китае. Энергоемкий мокрый способ производства цемента неконкурентоспособен по сравнению с сухим, более дешевым. На коренную же реконструкцию и модернизацию производства требуются очень большие средства.

Предприятия отрасли не в состоянии самостоятельно осуществить серьезные мероприятия по техническому перевооружению, тем более переход на более экономичный и производительный сухой способ. На реконструкцию одного предприятия годовой мощностью в 1 млн т цемента требуется 60–70 млн долл. Для того чтобы построить более или менее крупный завод, который должен производить не менее 0,25–0,3 млн т продукции в год, необходимо вложить от 45 до 60 млн долл. А чтобы построить крупный завод мощностью, например, 4,0–4,5 млн т, нужно вложить уже от 270 млн до 360 млн долл. Поэтому сейчас не стоит зацикливаться только на сухом способе производства — необходимо

планомерно, настойчиво и продуманно готовить финансовую и техническую почву для его внедрения, когда появятся инвестиции.

А пока необходимо использовать менее капиталоемкие и эффективные технологии, существующие давно, например помол сырья и цемента в замкнутом цикле. При этом намного повышается качество цемента и на 15–30 % сокращаются расходы электроэнергии на его помол.

Есть еще целый ряд опробованных технических решений, обеспечивающих существенное уменьшение расхода топлива на обжиг клинкера при мокром способе его производства. Одно из них — снижение влажности шлама за счет применения новых, более эффективных его разжижителей, позволяющих сократить до 15–20 кг удельный расход топлива. Экономии ресурсов способствует и применение новых высокоэффективных материалов для футеровки подготовительных зон вращающихся печей, а дополнительное питание печей техногенными продуктами повышает их производительность и снижает расход топлива не менее чем на 10 %. Все вышеперечисленное позволяет приблизить мокрый способ производства по удельным расходным показателям к сухому, обеспечить ему конкурентоспособность.

Внедрение современного оборудования с циклонными теплообменниками и декарбонизаторами, с холодильниками пятого поколения на самых современных помольных установках с предизмельчителями и сепараторами последних моделей позволит расходовать на тонну клинкера не более 100–110 кг топлива.

Для снижения энергозатрат и повышения энергоэффективности на предприятиях следует начинать мероприятия с осуществления первичных технических решений, интегрированных в технологический процесс. К таким первичным мерам можно отнести следующие:

– оптимизация процессов обжига и охлаждения портландцементного клинкера;
– повышение однородности состава сырья;
– повышение точности дозировки топлива;
– регулирование газодинамического режима работы печи и холодильника;
– использование компьютерных систем управления агрегатами.

Рассматривая принципы обеспечения энергоэффективности применительно к производству цемента, можно выделить следующие пути снижения энергозатрат:

– использование «нетрадиционных» сырьевых компонентов;
– использование альтернативного топлива;
– утилизация тепла отходящих газов для выработки электрической энергии;
– снижение доли клинкера в цементе;
– использование новых перспективных видов цементов, таких как solidia cement, celitement и биоцемент, геополимерный и белитовый цементы;
– технологический прогресс и инновации.

В 2015 г. компания ООО «СМ Про» сделала прогноз экономики цементных предприятий России — посчитала затраты на производство 1 тонны цемента по сухому и мокрому способам производства с учетом стоимости привлеченного

для реализации новых проектов заемного капитала в 2013–2020 гг. (рис. 44). Как мы видим, сегодня прогноз оправдался, с 2017 г. началось доминирование сухого способа производства.

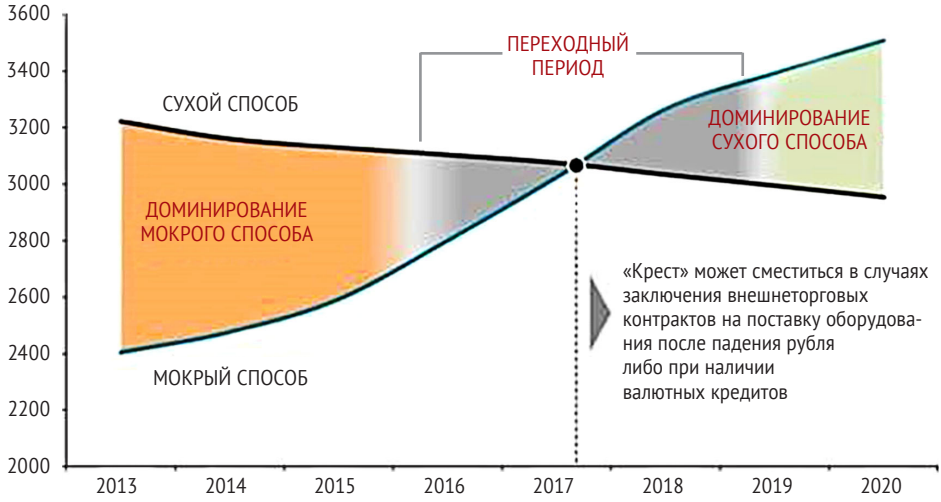


Рис. 44. Затраты на производство 1 т цемента по сухому и мокрому способам в 2013–2020 гг., руб./т (факт и прогноз)

По оценкам исполнительного директора ООО «СМ Про» Евгения Высоцкого, на горизонте до 2025 г. в России достаточно мощностей для удовлетворения потребностей строительной индустрии. Сложившийся профицит на рынке — это результат двух составляющих: с одной стороны — отсутствие спроса (и здесь планы государства в строительной индустрии дают надежду на возможное изменение в будущем), с другой стороны — ввод новых линий суммарной мощностью, с учетом текущего ассортимента, около 35 млн т цемента в год. Выступая в сентябре 2019 г. на XVII Международной Центрально-Азиатской конференции «Цементная промышленность и рынок» BusinessCem Tashkent 2019, Е. Высоцкий, проведя стратегический анализ конкурентоспособности каждого предприятия, показал, что в текущих условиях Индекс конкурентоспособности (К-Индекс) отдельных новых сухих предприятий сопоставим с К-Индексом отдельных мокрых предприятий.

По словам Е. Высоцкого, это означает, что кроме способа производства на конкурентоспособность предприятия влияет удаленность предприятия от ключевых рынков продаж, то есть логистика.

В настоящее время выбор способа производства не является определяющим фактором для оценки конкурентоспособности предприятия, гарантирующего стабильный финансовый результат собственнику. Сухой или мокрый способ производства — это вопрос себестоимости. Но, кроме себестоимости, существенные составляющие стоимости товара у потребителя — финансовые затраты на тонну и логистика. При этом необходимо помнить и об

экологичности производства. Сегодня на заводах мокрого способа производства на которых установлены современные рукавные фильтры или электрофильтры, выбросы (особенно взвешенных веществ) существенно ниже, чем на отдельных предприятиях сухого способа производства, введенных в эксплуатацию в последние 10–15 лет.

Таким образом, сегодня сухой способ производства или мокрый — не ключевой фактор конкурентного преимущества.

Об экологичности производства цемента свидетельствует клинкер-фактор, или соотношение клинкер/цемент (то есть содержание клинкера в цементе): чем ниже это соотношение, тем меньше парникового газа CO_2 выделяется при получении 1 кг цемента (рис. 45).

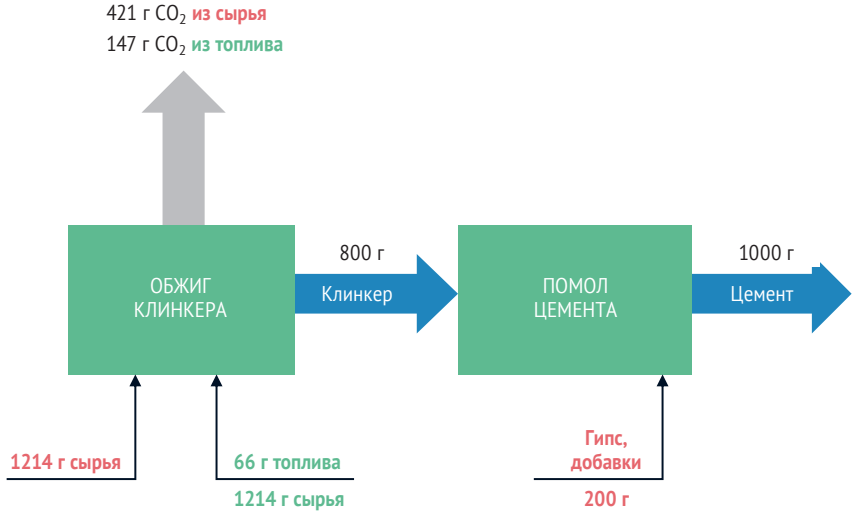


Рис. 45. Выбросы CO_2 при производстве 1 кг цемента

Выброс парниковых газов, особенно диоксида углерода (CO_2), связан главным образом со сжиганием топлива и с декарбонизацией известняка, который в чистом виде содержит 44 масс.% CO_2. Производство цемента отнесено к приоритетным источникам выбросов парниковых газов в промышленности не только в Евросоюзе, но и во многих странах мира.

Однако диоксид углерода не включен в перечень нормируемых параметров производства. Напротив, в Евросоюзе выбросы CO_2 от производства цемента включены в Систему торговли выбросами парниковых газов.

Во многих странах мира разрабатываются и действуют отраслевые руководства по повышению энергоэффективности, и в ряде случаев по сокращению выбросов парниковых газов. Отраслевыми руководствами по повышению энергоэффективности являются Energy Star (США), Руководство по энергоменеджменту (Великобритания), Директива о промышленных выбросах (ЕС).

Организация «Инициатива по устойчивому развитию цементной промышленности»[35] (Cement Sustainability Initiative, CSI) совместно с Международным энергетическим агентством (International Energy Agency, IEA) установила в качестве приемлемого целевого показателя на 2050 г. выбросы в размере 370 кг CO_2 на 1 кг портландцемента. Эта цель соответствует сценарию повышения температуры окружающей среды во всемирном масштабе к 2100 г. на 2° С.

Помимо надлежащего проведения операций обжига цементного клинкера рекомендуется использовать следующие методы предотвращения и контроля выбросов CO_2:

- выбор технологического процесса и режима работы, способствующих повышению эффективности энергопотребления (сушка / предварительный нагрев / предварительный обжиг);
- выбор топлива с низким отношением содержания углерода к калорийности (например, природный газ, дизельное топливо или некоторые отходы, используемые в качестве топлива);
- увеличение использования биогенного (нейтрального в отношении выбросов CO_2) топлива;
- выбор сырья с низким содержанием органических веществ;
- производство многокомпонентных цементов, которые потенциально позволяют существенно снижать потребление топлива и, соответственно, выбросы CO_2 в расчете на тонну конечного продукта.

В общемировой практике наблюдается снижение клинкер-фактора начиная с 1990 г. (рис. 46). Анализ данных, представленных на рисунке 47, показывает, что наименьшее соотношение клинкер/цемент характерно для Индии и Бразилии, являющихся лидерами по производству цемента.

Поэтому производство многокомпонентных цементов (где клинкер-фактор составляет 0,70–0,75) позволяет существенно снизить потребление и сырьевых материалов, и топлива, что, соответственно, ведет к снижению выбросов CO_2. В связи с этим видовой структуре производства цемента уделяется большое внимание.

В видовой структуре производства цемента обращает на себя внимание продолжающаяся длительное время тенденция снижения доли выпуска шлакопортландцемента. Если в 1990 г. его доля в общем выпуске составляла около 28 %, то в настоящее время — около 3 %. Это ведет к повышению себестоимости цемента и, соответственно, к росту цены. В 2010 г. промышленность выпускала 48 % бездобавочных цементов и 52 % — цементов с добавками, а в 2020 г. выпуск

[35] Глобальная ассоциация производителей цемента и бетона — Global Cement and Concrete Association (GCCA), одним из учредителей которой является Холдинг «ЕВРОЦЕМЕНТ груп», объявила о создании стратегического партнерства со Всемирным советом предпринимателей по устойчивому развитию — World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). Стороны намерены сотрудничать и создавать синергию программ двух организаций и их участников. С 1 января 2019 г. WBCSD передал под эгиду GCCA деятельность CSI. В настоящее время членами GCCA являются десять компаний — лидеров отрасли из разных стран: LafargeHolcim, CEMEX, CNBM, CRH, Dangote, «Евроцемент», HeidelbergCement, Taiheiyo, Ultratech и Votorantim.

цементов с добавками снизился до 31 %, доля портландцемента без минеральных добавок выросла на 12 %, до 34,95 млн т. Портландцемента с добавками наши заводы произвели 19,77 млн т — это на 1,5 % меньше, чем в 2019 г. На 2,9 % — до 1,4 млн т — сократилось производство шлакопортландцемента (2,5 % всего производства цемента в стране). Происходит неуклонное снижение цементов с добавками. Заменителем клинкера в цементе, помимо шлака, могут быть золы-унос, пуццоланы, известняк и др.

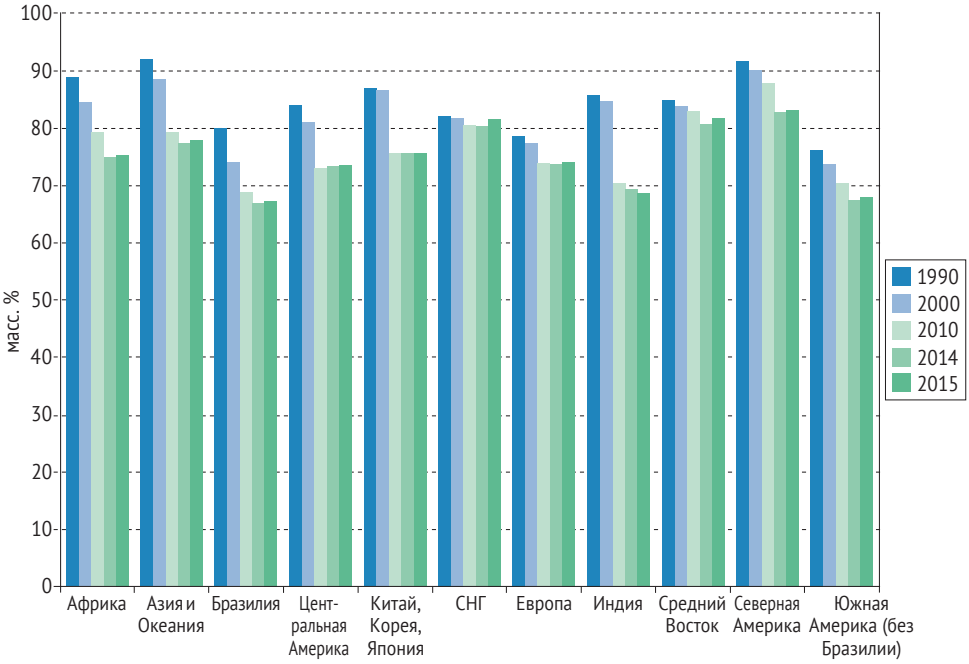


Рис. 46. Динамика изменения соотношения клинкер/цемент (средневзвешенное значение) в 1990–2015 гг. (по данным VDZ)

Изменение видовой структуры потребления цемента в основном проходило в период экономических реформ 1990-х гг. В 2015–2021 гг. структура потребления по видам практически не изменилась, поскольку цементные заводы России приспособились к потребностям рынка.

Особо стоит отметить, что текущие потребности рынка представляются малообоснованными и вызваны общим снижением культуры использования цементов по их назначению. Нередко вместо малоклинкерных цементов используются бездобавочные цементы. Так, например, цемент ЦЕМ I используется для производства кладочных и штукатурных растворов и в выпуске многих изделий, где экономически, а иногда и технически целесообразно применять низкомарочные и добавочные цементы.

В условиях снижения темпов строительства на протяжении 2016–2021 гг. наблюдается рост потребления высокомарочного цемента для производства более качественной и конкурентоспособной продукции. В случае возобновления

темпов роста строительства в 2021 г. доля высокой марки в потреблении цемента также продолжит расти. А по дорожной карте к 2050 г. клинкер-фактор в России должен снизиться с 0,889 (как в 2020 г.) до 0,67.

Мировые производители цемента считают, что необходимо переходить на экоустойчивые методы производства. 1 сентября 2020 г. Всемирная ассоциация цемента и бетона (GCCA) во главе с новым генеральным директором Дайной МакЛауд объявила о запуске инициативы «Climate Ambition 2050». Сорок ведущих мировых производителей цемента, участвующих в ней, должны перейти на производство «углеродно-нейтрального» бетона к 2050 г. Ассоциация обозначила основные пункты программы реализации инициативы.

Согласно инициативе, для успешного перехода к производству «углеродно-нейтрального» бетона цементной промышленности необходимо:

– устранить прямые выбросы CO_2;
– сократить и устранить косвенные выбросы CO_2;
– внедрить использование новых технологий декарбонизации на производстве в промышленном масштабе;
– сократить как содержание клинкера в цементе, так и содержание цемента в бетоне;
– перерабатывать строительный лом для повторного использования в качестве заполнителя при изготовления бетона;
– улучшить способность бетона к поглощению CO_2 на протяжении жизненного цикла;
– повысить энергоэффективность готовой продукции, что позволит сократить расходы на отопление построенных из такого бетона зданий.

Выступая на заседании в рамках 75-й сессии Генеральной ассамблеи ООН, которая проходила с 15 по 30 сентября 2020 г. в Нью-Йорке, генеральный директор GCCA отметила, что сокращение выбросов загрязняющих веществ является лишь частью задачи, стоящей перед цементной промышленностью. Конечная цель, поставленная организацией, заключается в построении безотходной экономики — от утилизации до переработки и повторного использования отходов и строительного лома в производстве строительных материалов.

Ряд мировых производителей цемента уже скоординировали свои стратегические планы. Безусловным лидером является международный холдинг LafargeHolcim. Так, предприятия холдинга к 2030 г. сократят удельные выбросы CO_2 при производстве цемента до 475 кг на тонну продукта, по сравнению с 576 кг/т в 2018 г. Таким образом, холдинг сократит удельные выбросы на 21 % по сравнению с показателями 2018 г. За тот же период компания сократит косвенные выбросы от потребления электроэнергии на 65 %. А к 2030 г. LafargeHolcim доведет до 37 % долю отходов, используемых на производстве в качестве топлива, а также запустит первое предприятие по производству цемента с нулевым уровнем выбросов CO_2. Через 10 лет предприятия LafargeHolcim будут ежегодно перерабатывать 100 млн т отходов для использования в качестве топлива и сырья при производстве продукции. Только в 2019 г. на заводах компании переработали 48 млн т отходов — самый высокий показатель среди производителей цемента в мире.

В июле 2020 г. стало известно, что LafargeHolcim начал продажу бетона из линейки ECOPact, изготавливаемого на основе цемента с низким содержанием клинкера. Удельные выбросы CO_2 при производстве ECOPact на 30–100 % ниже, чем при производстве бетона на основе бездобавочного цемента марки CEM I. Продажи бетона уже начались в США, и впоследствии компания начнет поставлять продукцию на рынки Великобритании, Канады и стран Латинской Америки.

Снижение удельных выбросов CO_2 в продукции ECOPact достигается за счет использования строительного лома в процессе производства. Лом тонкой фракции используется для замены клинкера при изготовлении цемента, а лом крупной фракции — в качестве заполнителя. Доступность подобного лома означает, что локация производственной инфраструктуры не привязана к карьерам заполнителей, что позволяет сократить логистические расходы и, следовательно, снизить расход топлива при транспортировке.

Предприятия международного холдинга HeidelbergCement планируют достичь показателей по удельным выбросам CO_2 при производстве цемента ниже 525 кг на тонну продукта уже к 2025 г., что сократит удельные выбросы CO_2 на 30 % от показателя 1990 г. Изначальная постановка цели предполагала достижение данного показателя к 2030 г.

В октябре 2020 г. на заводе Buzzi Umcem в Вернаске (Италия) состоялся торжественный запуск установки улавливания CO_2 (CCUS), разработанной в рамках совместного проекта CLEANKER. Проект предусматривает производство «чистого» в отношении выбросов CO_2 клинкера (CLEAN clinKER) при помощи технологии кальциево-карбонатного цикла (Calcium Looping, CaL). Цель проекта — продемонстрировать концепцию CaL, интегрированную в процесс производства цемента, на уровне технологической готовности TRL7 (демонстрация прототипа системы в условиях эксплуатации).

Ассоциация производителей бетона Великобритании (UK Concrete) представила программу по сокращению удельных выбросов CO_2 в цементной и бетонной промышленностях страны к 2050 г. Согласно этой программе, за счет карбонизации бетона и увеличения его теплоемкости, а также использования данного материала в строительстве промышленность сможет сократить удельные выбросы углекислоты еще на 56 %. За последние 30 лет цементная и бетонная промышленности сократили объем выбросов на 53 %. В 2018 г. на тонну производимой продукции приходилось 676,25 кг CO_2. Таким образом, производители цемента и бетона в Великобритании будут поглощать 156 % производимых ими выбросов CO_2.

Ожидается, что к 2050 г. цементные и бетонные предприятия страны сократят удельные выбросы углекислоты за счет:

– использования технологии улавливания и хранения CO_2 (CCUS) при производстве цемента (на 61 %);
– полного отказа от ископаемого топлива в пользу водорода и топлива, полученного из биомассы (на 16 %);
– производства цемента с низким содержанием клинкера и производства бетона из такого цемента (на 12 %);

– перехода на использование электротранспорта (на 7 %);
– сокращения непрямых выбросов путем использования энергии плазмы и технологий CCUS при выработке электроэнергии, а также повышения эффективности работы цементных заводов и бетонных узлов с помощью искусственного интеллекта (на 4 %).

РОЛЬ ОТРАСЛИ В ЭКОНОМИКЕ. АНАЛИЗ ПРИОРИТЕТНЫХ ПРОБЛЕМ ОТРАСЛИ

После Второй мировой войны начался бум в строительной индустрии по всему миру, и производство цемента росло огромными темпами до 2013 г. Так, если в 1950 г. мировое производство цемента составило 130 млн т, то в 2019 г. — более 4100 млн т (рис. 47).

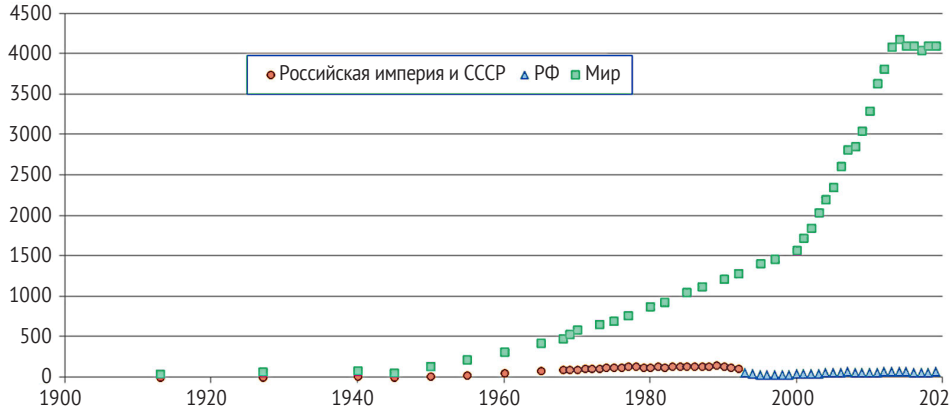


Рис. 47. Выпуск цемента по годам, млн т

Цемент — универсальный строительный материал и поэтому заслуженно считается наиболее значимым товаром в своей отрасли. Изменение в объемах его производства может указывать на силу строительной отрасли государства, которая играет не последнюю роль в экономике в целом.

В XXI в. центры мирового производства цемента находятся в Азии. Только Китай в 2020 г. произвел более 2300 млн т, или 57 % от мирового объема. Высокие показатели, а также высокие темпы роста производства демонстрируют Вьетнам, Индонезия и Египет, которые, скорее всего, в 2021–2024 гг. обойдут США.

В мире всего лишь 12 стран производят объемы, превышающие 50 млн т в год. Среди них и Россия — крупнейший производитель цемента. В топ-12 входят 8 азиатских стран (рис. 48).

Первое место в мировом выпуске цемента занимает Китай.

Производство цемента в Китайской Народной Республике неизменно росло на протяжении нескольких последних десятилетий. Здесь у Китая нет конкурентов ни сейчас, ни на ближайшие десятилетия. Если Россия исчисляет

годовое производство десятками миллионов тонн, Индия сотнями миллионов, то КНР считает миллиардами. Год за годом фиксировались все новые и новые рекорды. Прирост производства тоже поражает. К примеру, с 1980 по 1990 г. всего за 10 лет производство цемента в КНР выросло в 2,6 раза, а с 1990 по 2000 г. еще в 2,9 раза.

№	Страна	илн т
1	Китай	2200
2	Индия	320
3	Вьетнам	95
4	США	89
5	Египет	76
6	Индонезия	74
7	Иран	60
8	Россия	57
9–10	Бразилия	55
9–10	Республика Корея	55
11	Япония	54
12	Турция	51
	Остальные страны	914
	Мировая продукция в 2019 г.	**4100**

Рис. 48. Список стран по производству цемента
(по данным Американской ассоциации производителей цемента)

С 2000 по 2010 г. цементникам Поднебесной удалось увеличить объем производства цемента еще в три раза и вплотную подойти к отметке в 2 миллиарда тонн, которая была взята уже в 2012 г. (рис. 49). К следующей отметке в 2,5 миллиарда цементники Китая вплотную приблизились в 2014 (выпущено 2492 млн т), но после этого наступил 2015, и цементная промышленность Китая впервые за много лет продемонстрировала откат назад. В 2016 г. удалось немного отыграть ситуацию и вернуться на уровень 2013 г. Однако в 2017 г. выпуск цемента снизился на 3,6 %, составив 2330,84 млн т, продолжал снижаться

и в 2018 г. В 2019 г. объемы производства немного подросли. Но в I квартале 2020 г. производство цемента упало на 29,5 % по сравнению с началом 2019 г. На фоне пандемии COVID-19 цементная промышленность Китая показала значительное снижение результатов, а крупнейший цементный холдинг CNBM отчитался о снижении прибыли за первый квартал 2020 г. на 64,5 %. Если для цементной промышленности РФ разрыв от –5 до –8 % можно назвать совсем некритичным, то для китайских производителей цемента это означало откат на уровень 2012 г. Но уже во II квартале 2020 г. ситуация с производством цемента не только выровнялась, но и поставила новый абсолютный рекорд; III и IV кварталы прошли довольно ровно с постоянным превышением прошлогодних показателей.

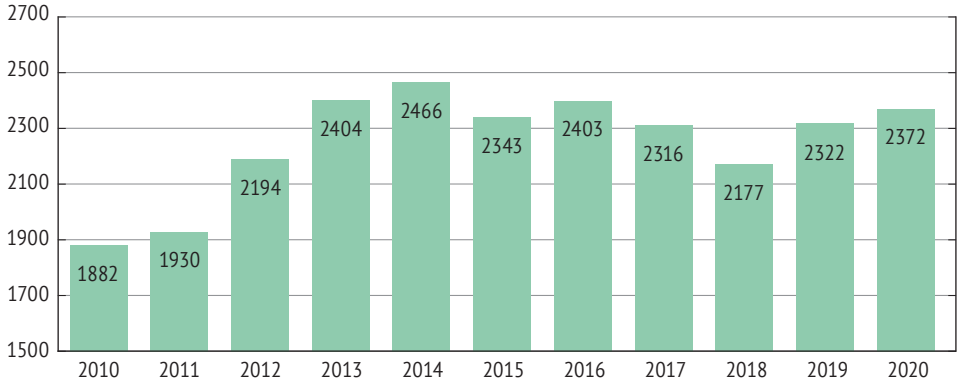


Рис. 49. Годовой объем производства цемента в Китае в 2010–2020 гг., тыс. т (по данным Национального статистического бюро КНР)

Согласно официальным данным Национального статистического бюро КНР, за период с января по декабрь 2020 г. цементная промышленность Китая выпустила цемента в объеме 2371,91 млн т. Это на 2,2 % больше, чем в 2019 г., на 9 % больше, чем в 2018-м, и на 2,4 % больше, чем в 2017 г. Символический барьер в 2,4 млрд т так и не преодолен, но общая тенденция производства цемента положительная, что дает основания предположить, что и в следующем 2021 г. рост производства главного строительного материала в КНР продолжится. И, может быть, отметка в 2,5 млрд т цемента уже скоро будет достижимой для цементной промышленности Китая.

Тем не менее за 10 дней Китай производит столько же цемента, сколько цементная промышленность России за весь год. При этом количество произведенного цемента на душу населения в Китае составляет 1729 кг/чел., в мире — 530 кг/чел., в то время как в России — 373 кг/чел.

Сопоставимый с Китаем рывок в мировом масштабе совершил лишь Вьетнам — рост в 31 раз в период 1990–2017 гг. в абсолютном выражении. А доля Вьетнама в общемировом выпуске цемента выросла с 0,2 % в 1990 г. до 1,9 % в 2019 г. Примерно в 5 раз нарастили выпуск цемента Индия, Саудовская Аравия

и Индонезия. Их доли в мировом производстве увеличились в 1,5 раза. В 4 раза увеличилось производство в Иране и Египте. При этом доля этих стран в мировом выпуске цемента выросла незначительно.

США, Турция, Южная Корея, Россия, Бразилия и Япония в 1990–2018 гг. сократили свои доли в мировом производстве. В наибольшей степени относительное сокращение коснулось США, России и Японии. В абсолютном выражении сократили выпуск цемента только Россия и Япония — примерно в одинаковой степени — 66 и 67 % в 2017 г. к уровню 1990 г. соответственно.

Таким образом, 75 % роста мирового производства цемента за период 1990–2018 гг. пришлось на рост отрасли в Китае. 7,5 % обеспечила Индия. Вклад остальных стран незначителен.

1 января 2015 г. был подписан договор о формировании Евразийского экономического союза (ЕАЭС), который сегодня включает пять государств-членов — это Республика Армения, Республика Беларусь, Республика Казахстан, Киргизская Республика и Российская Федерация. Рынок цемента ЕАЭС имеет потенциал к дальнейшей консолидации. Объем основного производства и потребления цемента приходится на Россию: 81 % — в мощностях, 80 % — в производстве и 80 % — в потреблении. На долю иностранных международных цементных холдингов приходится около 20 % мощностей ЕАЭС.

Если посмотреть структуру мощностей на мировом цементном рынке в 2016 г., то мощности ЕАЭС составляют около 10 % (рис. 50).

В числе самых острых технологических проблем многих цементных предприятий в ЕАЭС в настоящее время — низкая энергоэффективность и, как следствие, высокая себестоимость выпускаемой продукции. Причины низкой производительности на уровне процесса производства — крайне низкая загрузка мощностей, использование мокрой технологии, приводящей к чрезмерному потреблению энергии. В то же время структура производства цемента в странах ЕАЭС кардинально отличается от мировой: так, в 2015 г. доля производства мокрым способом в России, Казахстане и Армении составляла 48,0 %, 30,8 % и 31,0 %, соответственно. Однако в странах ЕАЭС наблюдается тенденция к модернизации производства. Так, в России происходит увеличение загрузки мощностей по производству цемента сухим способом (рис. 51). При этом на протяжении 2016–2020 гг. количество мощностей по производству цемента не изменяется (рис. 52).

В 2020 г. потребление цемента в странах ЕАЭС снизилось на 1,6 % (рис. 53).

Ключевыми тенденциями в 2021 г. для стран ЕАЭС стали восстановление и рост потребления цемента, постепенный рост строительного сектора как основного драйвера цементной отрасли и рост интеграции между членами ЕАЭС.

К числу актуальных проблем цементной отрасли стран ЕАЭС следует отнести недостаточно высокое качество производимой продукции и наличие контрафакта. Перспективы предприятий цементной промышленности как России, так и стран ЕАЗС заключаются в формировании цивилизованного рынка цемента, где основными игроками станут стратегические участники-цементники, заинтересованные в долгосрочном развитии рынка.

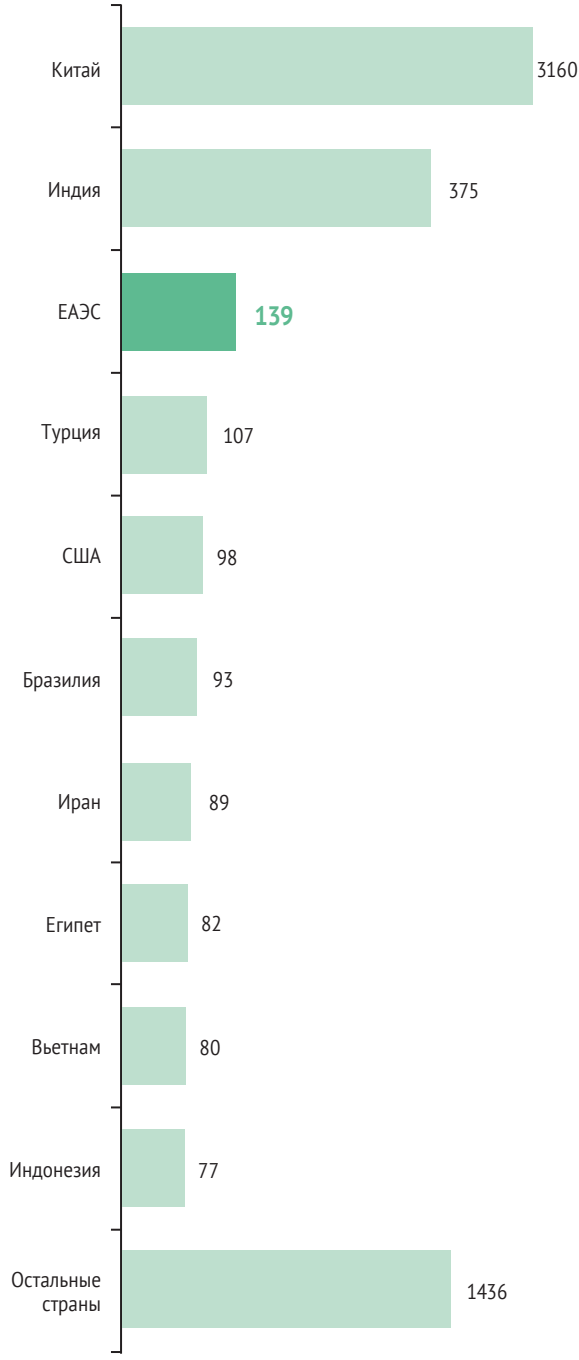


Рис. 50. Структура мощностей
на мировом цементном рынке в 2016 г., млн т
(по данным аналитиков Ernst&Young)

Рис. 51. Доля загрузки мощностей
по производству цемента сухим способом в России в 2012–2015 гг., %
(по данным ежегодного опроса Ernst&Young)

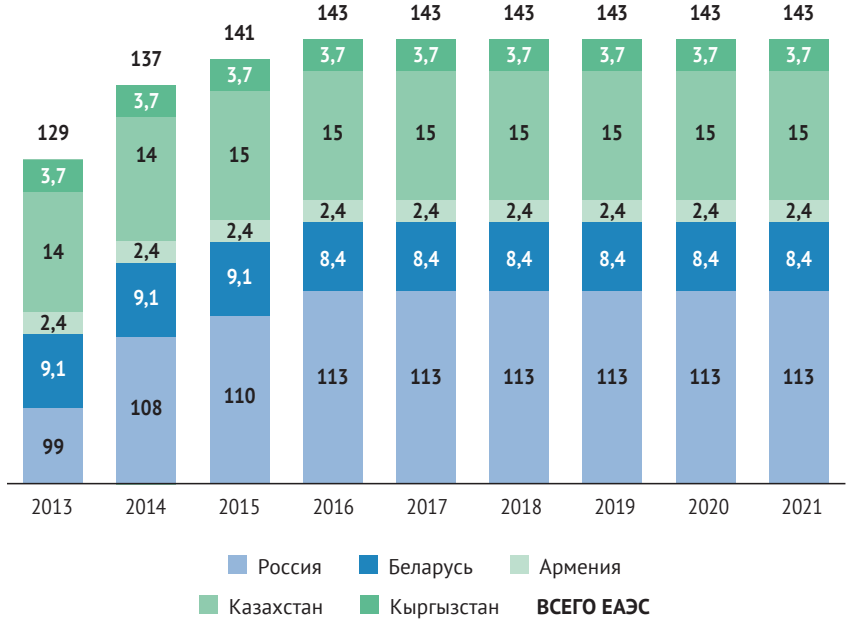


Рис. 52. Мощности по производству цемента в странах ЕАЭС, млн т

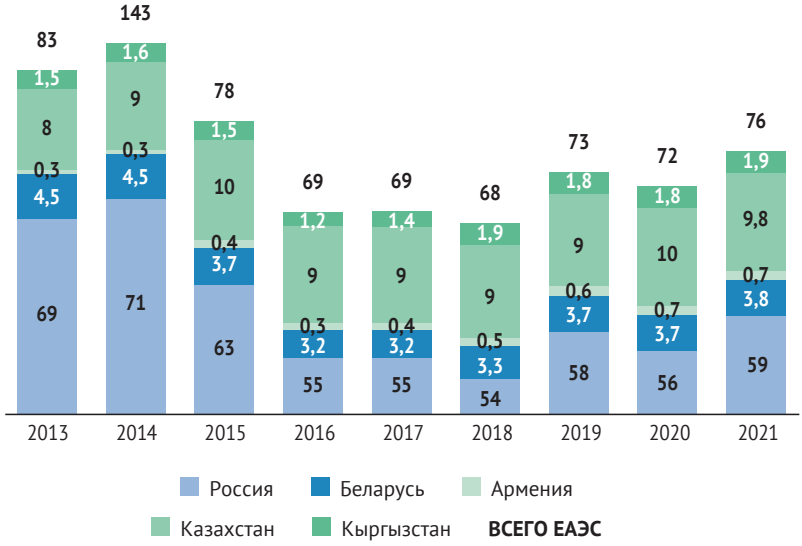


Рис. 53. Потребление цемента в странах ЕАЭС, млн т

В России максимальный объем производства цемента 84,7 млн т был достигнут в 1989 г. Анализ производства и потребления цемента за последние 30 лет, по данным компании СМ ПРО и аналитического агентства «Амикрон-консалтинг», свидетельствует о цикличном развитии российского рынка, который подвержен внешним факторам и макроэкономическим тенденциям (рис. 54–55).

Ввод новых 26 технологических линий в России общей мощностью ~36 млн т цемента в год и наличие еще потенциальных 7 современных технологических линий мощностью 15 млн т наряду с падением рынка сформировали существенный профицит мощностей на российском рынке. При этом валовой объем потребления увеличивается с каждым следующим периодом роста. С 2014 г. рынок упал более чем на 20%. Небольшой рост производства цемента в 2019 г. (до 57,7 млн т) в 2020 г. опять сменится падением до 55,98 млн т (97,1% к уровню аналогичного периода предыдущего года). Однако, как и прогнозировалось, в 2021 г. выпуск цемента увеличился на 7% и составил 59,89 млн т.

По данным СМ ПРО, общий профицит мощностей на рынке стран России, Беларуси и Казахстана составляет более 63 млн т. Цементная промышленность стран находится в жесточайшей конкуренции, результатом которой является остановка действующих предприятий и отдельных технологических линий, а в некоторых случаях — банкротство предприятий.

Есть вероятность, что статистика производства может завышаться по ряду предприятий, в особенности по заводам, входящим в крупные холдинговые структуры. Так, по оценке «Амикрон-консалтинг», объемы выпуска снизились в 2019 г. по сравнению с 2016 г. на 0,6%, в то время как по данным Росстата — на 0,3%. Тем не менее, ситуация на рынке цемента все еще остается более прозрачной, чем в других секторах экономики.

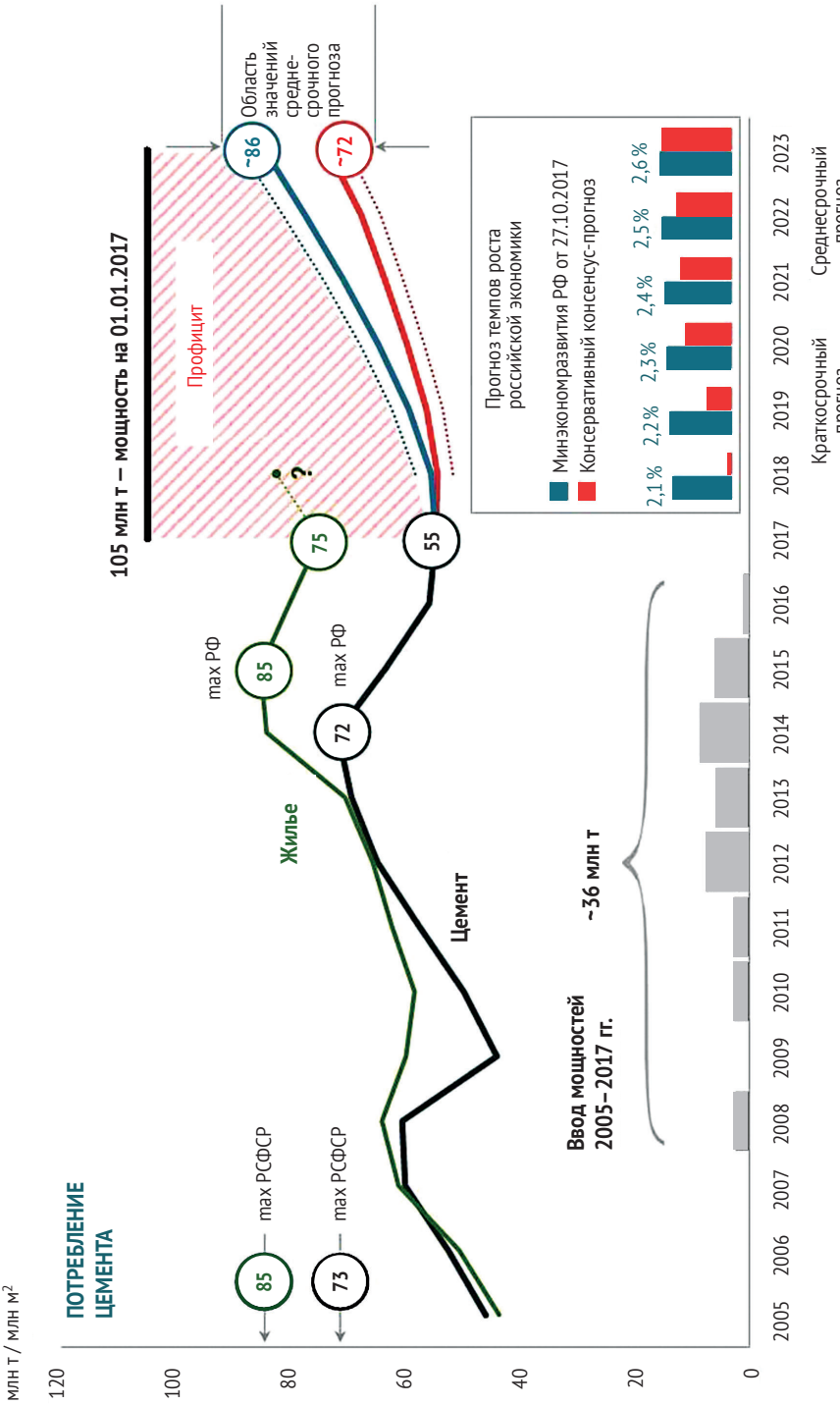


Рис. 54. Прогноз баланса производства и потребления цемента на федеральном уровне (по данным НИИ ПСМ и СМПРО на 2018 г.)

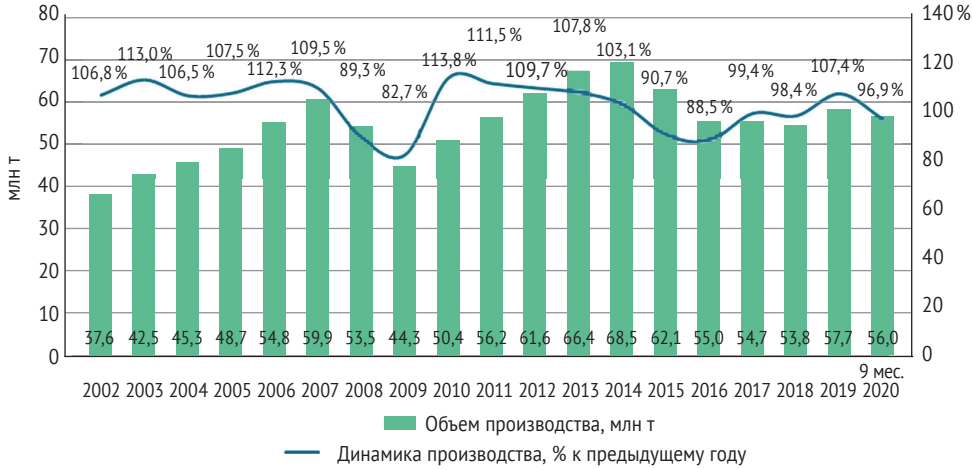


Рис. 55. Выпуск цемента в РФ по годам (по данным «Амикрон-консалтинг»)

Не в последнюю очередь это связано с наличием доступной информации о железнодорожных поставках, которая позволяет отслеживать реальную динамику отгрузки цемента с заводов и сопоставлять ее с данными о производственных показателях.

В 2018 г. аналитики ожидали роста производства цемента на 3 %. При этом основными драйверами должны были стать реализация «Стратегии развития жилищной сферы Российской Федерации на период до 2025 года», при которой ежегодный ввод жилья должен был быть 120 млн м^2, рост выдачи ипотечных кредитов, вызванный дальнейшей либерализацией кредитных ставок и реализацией указа Президента России В. В. Путина о компенсации части ипотечных кредитов при рождении второго ребенка. Однако по итогам 2018 г. объем производства цемента в Российской Федерации сократился на 1,8 % (до 53,6 млн т). Потребление за тот же период составило 54,0 млн т, снизившись, по сравнению с 2017 г., на 1,5 млн т (2,7 %).

Небольшой рост производства цемента в 2019 г. (до 57,7 млн т) в 2020 г. опять сменится падением до 55,98 млн т (97,1 % к уровню аналогичного периода предыдущего года). В среднесрочной и долгосрочной перспективе положительными факторами для отрасли станут антикризисные мероприятия Правительства России и региональных властей, пакеты поддержки предприятий и населения, а также реновация жилого фонда, реализация проектов комплексного освоения территорий, увеличение доли строительства цементобетонных дорог, выполнение национального проекта «Жилье и городская среда» и иных инициатив Президента России В. В. Путина. Реконструкция ряда предприятий цементной промышленности включена в перечень важнейших строек, финансируемых за счет средств федерального бюджета. Из-за отсутствия этих средств основным источником финансирования становятся собственные средства предприятий, заемные и привлеченные средства.

По данным НИИ ПСМ и СМПРО, цементная промышленность имеет огромную закредитованность — объем задолженности отрасли перед банками

составляет ≈ 250 млрд руб. Стоимость заемного финансирования для крупных предприятий в 2015–2020 гг. составляла 12–18 %, для мелких и средних — более 15 %.

Загрузка мощности предприятий последние 2–3 года в среднем по отрасли ≈ 50–60 %, мощности превосходят объем потребления цемента почти в 2 раза. Даже при самом лучшем сценарии развития экономики в отрасли мощностей достаточно для удовлетворения спроса на горизонте до 2025–2030 гг., при этом еще лет 10 строить новые заводы не надо.

В последние годы в российской цементной промышленности начали формироваться элементы 4-й промышленной революции, которая характеризуется развитием кибернетических систем и их применением. Она осуществляется на основе глубокого внедрения технологии интернета и высокопроизводительной электроники в различных технологических процессах, среде обитания человека, экологии и др. Среди ее средств — формирование и обработка больших массивов данных, создание цифровых двойников, искусственный интеллект, интеллект вещей и др. «Умная» система сама должна автоматически разрабатывать новые технологии, настраивать оптимальные режимы работы производственных линий, выпускать в нужных объемах продукцию с заданными потребительскими свойствами.

Таким образом, основные тренды развития цементной промышленности Российской Федерации сегодня и в ближайшем будущем включают в себя также цифровизацию, наряду с переходом на энергосберегающие технологии, использованием альтернативного топлива и снижением негативного воздействия на окружающую среду.

Определять развитие отрасли в ближайшее время будут динамика потребления цемента и неразрывно связанная с ней динамика изменения цен.

Стоимость цемента на рынке и прибыльность цементного бизнеса будут больше зависеть от консолидации рынка и рационального поведения крупнейших игроков, чем от динамики спроса. Рынок все еще находится в критической зоне 50 процентов использования мощности с одной стороны и высокой концентрации производства с другой.

Приближение к максимальным значениям потребления цемента в Российской Федерации 1989 г. в средне- и долгосрочной перспективе возможно при одновременном влиянии следующих факторов:

– рост мировых цен на топливно-энергетические товары;
– рост или, в худшем случае, сохранение достигнутых объемов жилищного строительства;
– существенный рост промышленного и инфраструктурного строительства;
– сохранение текущего уровня цементоемкости строительства;
– сохранение текущей, то есть низкой доли использования минеральных добавок при производстве бетона и других строительных материалов на основе цемента.

Российская цементная промышленность находится в тяжелом и продолжительном кризисе. Несколько проектов строительства новых линий заморожены с неопределенными перспективами возобновления инвестиций. Дальнейшая консолидация отрасли была бы в интересах всех участников и снизила бы

накал конкуренции. Однако привлекательность российских цементных активов сомнительна в силу высокой долговой нагрузки, дисбаланса спроса и предложения, внешнеполитических рисков. К этому следует добавить внешнее давление на рынок со стороны Казахстана, Турции и Ирана, а также отдельных стран Западной Европы.

С одной стороны, строительство новых цементных производств, которое началось в середине нулевых годов, может рассматриваться как позитивная динамика инновационного развития. С другой стороны, это стало одной из причин кризиса перепроизводства цемента и обострения конкуренции.

Для решения финансовых проблем производителей цемента необходима консолидация отрасли и существенный рост потребления.

В цементной отрасли назрело множество проблем. Ряд из них носят общий характер для всех игроков рынка: падение спроса со стороны строителей гражданско-жилых объектов (70–80 % потребления цемента в стране формируется застройщиками жилья), ежегодный рост тарифов естественных монополий, за которыми не поспевает цементный рынок, недоступность банковского кредитования, проблемы с контрафактной продукцией, недостаточно тщательная защита прав производителей цементной продукции, а также отсутствие драйверов отрасли в виде реализации крупных инфраструктурных проектов с применением цемента.

Огромной проблемой для отрасли по-прежнему остается наличие старых заводов, требующих модернизации в соответствии с экологическими стандартами, а также требованиями к качеству продукции. По мнению большинства участников рынка, драйвером отрасли может стать инфраструктурное строительство с применением продукции цементных предприятий, внедрение инновационных технологий, дешевые кредиты, а также государственные программы по сносу аварийного жилья в регионах (для стимулирования жилищного строительства). Назрела необходимость изменений в части нормативной базы и внедрения новых технологий.

Сохранение текущего состояния производственных фондов предприятий отрасли приведет к усилению негативного воздействия на экологию и повышению финансовой нагрузки, связанной с ужесточением законодательства в области охраны окружающей среды. Таким образом, модернизация производственных мощностей и решение вопроса экологической безопасности являются приоритетами промышленной политики как России, так и стран ЕАЭС.

Одна из главных задач экологической политики на среднесрочный период — применение принципа нормирования допустимого воздействия на окружающую среду на основе показателей наилучших доступных технологий.

Целью внедрения механизма НДТ, помимо снижения уровня промышленного загрязнения, будет являться ускоренное технологическое развитие цементной отрасли. Заводы, обязанные принимать меры, направленные на снижение отрицательного воздействия на окружающую среду в целях сохранения себестоимости на конкурентном уровне, будут вынуждены сконцентрировать усилия на модернизации и повышении эффективности технологий, а также на оптимизации производственных издержек. Внедрение механизма НДТ также

избавит от необходимости установления единых для всех предприятий регламентов, которые могут не учитывать особенности процессов производства, применяемого сырья и т. п.

Проблем в цементной отрасли назрело немало. Так, рост цен на цементную продукцию не поспевает за тарифами естественных монополий — разница может доходить до 1200 руб. за 1 т цемента.

В среднесрочной и долгосрочной перспективах положительными факторами для отрасли станут реновация жилого фонда, реализация проектов комплексного освоения территорий, увеличение доли строительства цементобетонных дорог, использование минеральных вяжущих для укрепления грунтов и 3D-печать.

Важнейшей проблемой цементной промышленности является снижение конкурентоспособности цементных предприятий России. В целях повышения эффективности работы цементных предприятий необходимо решить следующие проблемы:

А) на макроуровне:
- увеличение вклада предприятий в ВВП;
- модернизация предприятий по производству цемента с целью выпуска конкурентоспособной продукции;
- ослабление до минимума зависимости страны от импорта цемента и расширение экспорта продукции;
- увеличение налоговых поступлений в консолидированный бюджет РФ;
- снижение до минимума потребления природных ресурсов: сырья, топлива, минеральных добавок;
- улучшение экологии за счет вовлечения в оборот вторичных сырьевых ресурсов (что должно стать общегосударственной задачей), использование экологически чистого оборудования и технологий;
- восстановление отраслевой науки;
- восстановление машиностроительной базы цементной промышленности;
- снижение доли энергозатратных производств;
- повышение уровня автоматизации технологических процессов предприятий, введенных в эксплуатацию в 1990 г.;

Б) на микроуровне:
- обеспечение потребности региональных рынков в строительных материалах по объемам, ассортименту и качеству;
- формирование эффективных рыночно ориентированных бизнес-структур нового поколения;
- повышение производительности труда;
- повышение спроса на квалифицированные научно-технические кадры.

Необходимость рационального использования и экономии топливно-энергетических ресурсов указывает на то, что назрела объективная необходимость коренной реконструкции отечественной цементной промышленности на основе ввода производственных фондов с использованием энергосберегающих технологий и вывода из эксплуатации морально и физически изношенного оборудования.

10 мая 2016 г. Правительством РФ утверждена «Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года».

Целями Стратегии являются:

– формирование высокотехнологичной, конкурентоспособной, устойчивой и сбалансированной (в части спроса и предложения) промышленности строительных материалов инновационного типа, обеспечивающей внутренний и внешний рынки качественной, доступной и энергоэффективной продукцией;
– снижение зависимости отрасли от зарубежных технологий, оборудования и сырьевых компонентов;
– обеспечение занятости населения и повышение уровня жизни граждан.

Реализация перечисленных в Стратегии мер, таких как повышение финансовой доступности ресурсов для инновационных проектов, восстановление отраслевой науки и обеспечение ее устойчивой связи с производством путем организации деятельности отраслевых НИИ, а также применение инструментов налогового стимулирования инвестиционной деятельности предприятий, позволит провести реконструкцию и создать материалоемкую и энергоэффективную отечественную цементную промышленность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Анализ рынка цемента в России в 2017–2021 гг., оценка влияния коронавируса и прогноз на 2022–2026 гг. : демоверсия отчета BusinesStat. — 2021. — URL: https://businesstat.ru/images/demo/cement_russia_demo_businesstat.pdf (дата обращения: 08.12.2021).
2. *Артоболевский И. И.* Очерки истории техники в России (1861–1917) / И. И. Артоболевский, А. А. Благонравов. — Москва : Наука, 1975. — 397 с.
3. *Ахназарова С. Л.* Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. — Москва : Высшая школа, 1985. — 327 с.
4. *Беседин П. В.* Энерготехнологический анализ процессов в технологии цементного клинкера / П. В. Беседин, П. А. Трубаев ; под общ. ред. П. В. Беседина. — Белгород : Издательство БГТУ им. В. Г. Шухова ; БИЭИ, 2005. — 460 с.
5. *Вайс В. М.* Чудо-порошок / В. М. Вайс. — Ленинград : Стройиздат, 1966. — 140 с.
6. *Василик Г. Ю.* Цементная промышленность России в 2018 году / Г. Ю. Василик, Е. М. Еремина // Цемент и его применение. — 2018. — № 6. — С. 22–33.
7. *Василик Г.* Ю. Цементная промышленность России в 2020 году / Г. Ю. Василик, Е. М. Еремина // Цемент и его применение. — 2020. — № 6. — С. 22–33.
8. *Вердиян М. А.* Новое направление в повышении энергетической эффективности цементного производства / М. А. Вердиян, В. Б. Хлусов, О. Е. Адаменко, В. Н. Третьяков // Цемент. — 1994. — № 5/6. — С. 27–29.
9. *Вердиян М. А.* Новые принципы организации процессов приготовления и обжига комбинированной сырьевой смеси / М. А. Вердиян, В. Б. Хлусов, О. Е. Адаменко, В. Н. Третьяков // Цемент. — 1995. — № 2. — С. 20–23.
10. *Вердиян М. А.* Эксергетический анализ при снижении энергозатрат в производстве цемента / М. А. Вердиян, Д. А. Бобров, О. Е. Адаменко [и др.] // Цемент. — 1995. — № 5–6. — С. 35–44.

11. *Высоцкий Е. В.* Итоги отрасли в 2017 году. Прогноз балансов спроса и предложения в промышленности строительных материалов // Материалы конференции «Dry Mix Open 2018» (Москва, 28 февраля — 1 марта 2018 г.). — URL: https://www.spsss.ru/dry-mix-open/konferenciya-dry-mix-open-2018-god/materialy-konferencii/ (дата обращения: 06.12.2021).
12. *Гузь В. А.* Российская цементная промышленность в 2019 году / В. А. Гузь, В. И. Жарко, Е. В. Высоцкий // Цемент и его применение. — 2020. — № 1. — С. 20–25.
13. *Гузь В.* А. Российская цементная промышленность в 2020 году / В. А. Гузь, Е. В. Высоцкий, А. В. Черников // Цемент и его применение. — 2021. — № 1. — С. 24–27.
14. *Жарко В. И.* Российская цементная промышленность в 2018 году / В. И. Жарко, Е. В. Высоцкий, А. В. Черников // Цемент и его применение. — 2019. — №1. — С. 18–27.
15. *Запорожец И. Д.* Основные даты истории развития способов получения и применения гидравлических вяжущих (цементов) / И. Д. Запорожец, В. В. Кинд // Труды Ленинградского индустриального института (раздел строительного дела и гидротехники). — 1937. — № 9, вып. 2. — С. 129–142.
16. *Значко-Яворский И. Л.* Открытие искусственного гидравлического цемента в России и развитие производства гидравлических вяжущих веществ во второй половине XVIII — первой половине XIX в. / И. Л. Значко-Яворский. Материалы по истории строительной техники : сб. статей. — Вып. 1. — Москва : Госстройиздат, 1961. — С. 49–99.
17. *Значко-Яворский И. Л.* Очерки истории вяжущих веществ : От древнейших времен до середины XIX века / И. Л. Значко-Яворский. — Москва ; Ленинград, 1963. — 496 с.
18. *Значко-Яворский И. Л.* К истории развития отечественной науки и техники производства цемента : [Посвящается проф. В. А. Кинду] / И. Л. Значко-Яворский, И. Г. Савелов ; Министерство промышленности строительных материалов КиргССР. — Фрунзе : Мектеп, 1974. — 50 с.
18. *Зубехин А. П.* Визит королю Si / А. П. Зубехин, П. П. Гайджуров, М. М. Лось. — Ростов-на-Дону : Книжное издательство, 1991. — 224 с.
20. *Исида Т.* Бетон. Занимательное строительство. Бетон : манга / Т. Исида, художник Харуо ; перевод [с японского] С. Л. Плехановой. — Москва : ДМК-Пресс, 2019. — 210 с.
21. *Князева В. П.* Экология : основы реставрации / В. П. Князева. — Москва : Архитектура, 2005. — 398 с.
22. Обзор цементной отрасли стран Евразийского экономического союза 2015–2016. [Аналитические исследования Ernst&Young]. — URL: http://soyuzcem.ru/upload/iblock/05d/05d1534bab46f8f29b01321e4763587b.pdf (дата обращения: 20.10.2021).
23. *Потапова Е. Н.* История технологий вяжущих материалов / Е. Н. Потапова. — Москва : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2014. — 152 с.
24. *Потапова Е. Н.* История вяжущих материалов / Е. Н. Потапова. — Санкт-Петербург : Лань, 2018. — 224 с.
25. *Потапова Е. Н.* Производство цемента / Е. Н. Потапова, М. А. Волосатова // Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий / [гл. ред. Д. О. Скобелев] ; ФГАУ НИИ «ЦЭПП». — Москва : Санкт-Петербург : Реноме, 2019. — С. 455–514.
26. Российский рынок цемента в 2020 г., прогнозы на 2021–2025 гг. // Аналитическое агентство «Амикрон-консалтинг». — 2021. — 21 янв. — URL: http://amikron-c.ru/archives/9103 (дата обращения: 14.11.2021).
27. *Сидельковский Л. Н.* Эксергетические балансы огнетехнических процессов / Л. Н. Сидельковский, Э. Я. Фальков. — Москва : Типография № 3 Управления по печати Мосгорисполкома, 1967. — 57 с.
28. Союзцемент. Обзор цементной отрасли стран Евразийского экономического союза. — URL: https://soyuzcem.ru/upload/iblock/05d/05d1534bab46f8f29b01321e4763587b.pdf (дата обращения: 25.11.2021).

29. Распоряжение Правительства РФ от 10 мая 2016 г. № 868-р [Об утверждении стратегии развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года] // Консорциум «Кодекс» : Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. — URL: https://docs.cntd.ru/document/420353735 (дата обращения: 14.11.2021).
30. *Трубаев П. А.* Интенсификация и оптимизация энерготехнологических процессов на примере обжига цементного клинкера : автореф. дисс. ... доктора технических наук : специальности: 05.17.08 — процессы и аппараты химической технологии, 05.17.11 — технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов / П. А. Трубаев. — Белгород, 2006. — 565 с.
31. Эксергетические расчеты технических систем : Справ. пособие / [В. М. Бродянский и др.]. — Киев : Наукова думка, 1991. — 360 с.
32. PROрынок : Цемент : Анализ рынка цемента России. — 2020. — Декабрь. — URL: http://surl.li/awvbd (дата обращения: 07.12.2021).