

ДОБЫЧА И ОБОГАЩЕНИЕ УГЛЯ

Александр Владимирович Григорьев

АНО «ИПЕМ», зам. генерального директора, кандидат экономических наук

Илья Сергеевич Курошев

Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»,
начальник отдела металлургической, нефтегазовой и горнорудной промышленности

ВВЕДЕНИЕ

Уголь представляет собой горючую осадочную породу, которая состоит преимущественно из углерода с содержанием минеральных примесей (силикаты, карбонаты, сульфиды и т. д.¹) и других химических элементов (водород, кислород, азот и др.). Ископаемый уголь может быть экономически выгодно использован или в качестве энергетического топлива, или в качестве одного из видов технологического сырья.

В зависимости от значений показателя отражения витринита², теплоты сгорания (на влажное беззольное состояние) и выхода летучих веществ (на сухое беззольное состояние) выделяют три вида угля:³

- бурый уголь;
- каменный уголь;
- антрацит.

Данные виды угля различаются и по степени метаморфизма⁴. Бурый уголь характеризуется низкой стадией метаморфизма, низким содержанием углерода и низкой теплотой сгорания. Каменный уголь характеризуется средней стадией метаморфизма, средним содержанием углерода и более высокой теплотой сгорания. Максимальной стадией метаморфизма и максимальным содержанием углерода отличается антрацит. В зависимости от ряда параметров угли подразделяют на технологические марки (табл. 1.1).

В качестве энергетического топлива широко используются угли марок Д, ДГ, Г, СС, Т, Б, А. Основным видом использования угля как технологического сырья является производство каменноугольного кокса, который применяется в черной металлургии. Для слоевого коксования могут применяться угли следующих марок: К, КЖ, Ж, ГЖ, ОС, Г, КС, КСН, ДГ, ТС, СС.

Для различных углехимических процессов могут использоваться угли различных марок: угли марки Г подходят для газификации, марки Б — для выделения гуминовых веществ, марок Д, ДГ, Г, ГЖ — для производства синтетического жидкого топлива, марки А — для производства карбида кремния и карбида алюминия⁵. Антрацит (марка А) может также применяться в определенных технологических процессах металлургических предприятий и для производства электродов.

¹ Рашевский В. В. Качество углей ОАО «СУЭК». — М. : Кучково поле, 2011. — С. 28.

² Витринит — гелифицированный компонент ископаемых углей.

³ Согласно ГОСТ 25543–2013. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам, с изменениями.

⁴ Метаморфизм — изменение в структуре и составе горных пород под действием химических и физических причин.

⁵ Рашевский В. В. Качество углей ОАО «СУЭК». — С. 37–39.

Таблица 1.1. Технологические марки угля⁶

Вид угля	Наименование марки	Обозначение марки
Бурый	Бурый	Б
Каменный	Длиннопламенный	Д
	Длиннопламенный газовый	ДГ
	Газовый	Г
	Газовый жирный отощенный	ГЖО
	Газовый жирный	ГЖ
	Жирный	Ж
	Коксовый жирный	КЖ
	Коксовый	К
	Коксовый отощенный	КО
	Коксовый слабоспекающийся низкометаморфизованный	КСН
	Коксовый слабоспекающийся	КС
	Отощенный спекающийся	ОС
	Тощий спекающийся	ТС
	Слабоспекающийся	СС
	Тощий	Т
Антрацит	Антрацит	А

В зависимости от размеров кусков, получаемых при добыче, каменный уголь делится на ряд классов (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Классы крупности угля⁷

Класс крупности		Размер кусков, мм
П	Плитный	100–200 (300)
К	Крупный	50–100
О	Орех	25–50
М	Мелкий	13–25
С	Семечко	6–13
Ш	Штыб	0–6
Р	Рядовой	0–200 (300)

Одной из важнейших характеристик угля как энергетического топлива является удельная теплота сгорания (измеряется в джоулях на килограмм). Значение данного показателя изменяется в широких пределах и зависит как от свойств и состава органической массы, так и от зольности и влажности углей. Различают высшую и низшую удельную теплоту сгорания⁸.

Качество коксующихся углей зависит от множества показателей. Определение важнейших показателей для них осложняется тем, что угольная шихта для коксования формируется из углей различных марок, которые по-разному влияют на характеристики шихты. В качестве

⁶ Согласно ГОСТ 25543–2013. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам, с изменениями.

⁷ Согласно ГОСТ 19242–73. Угли бурые, каменные и антрацит. Классификация по размеру кусков, с изменениями.

⁸ Рашевский В. В. Качество углей ОАО «СУЭК». — С. 26.

главного свойства коксующихся углей рассматривают их спекаемость, т. е. способность переходить в пластическое состояние. Для оценки спекаемости существует много различных методов, подавляющее большинство которых основано на определении различных параметров пластической массы (свободное вспучивание, пластометрический метод, дилатометрия по методу Адигера — Арну, метод Рога, метод Грей — Кинга и др.)⁹. В рамках одного из методов — пластометрического — рассматриваются такие показатели, как толщина пластического слоя, величина пластометрической усадки, виды пластометрической кривой¹⁰.

При оценке содержания вредных минеральных примесей обычно рассчитывают содержание серы и зольность. Распространенным параметром также является влажность угля.

УГЛЕДОБЫВАЮЩИЕ ПРЕДПРИЯТИЯ РОССИИ

По данным Минэнерго России, по состоянию на 1 января 2018 г. добычу угля осуществляли 161 угольное предприятие, в том числе 53 угольные шахты и 108 разрезов¹¹. В то же время по данным угольных компаний и ФГУП «ЦДУ ТЭК» была собрана информация о 207 угледобывающих предприятиях (в том числе 56 шахтах и 151 разрезе), действующих по состоянию на конец 2018 г. (табл. 1.3).

Согласно собранным данным в период с 2000 г. в России было открыто или восстановлено 56 разрезов и 20 шахт, что составляет 37% и 32% соответственно от их общего количества. При этом 25 из 56 новых разрезов, а также 17 из 20 новых шахт были открыты в Кемеровской области.

Таблица 1.3. Угледобывающие предприятия России (по состоянию на конец 2018 г.)

Субъект РФ	Угольный бассейн	Марка угля	Разрезы	Шахты	Обогатительные фабрики	Добыча угля в 2018 г., млн т
Тульская обл.	Подмосковный	Б	1	–	–	0,2
Мурманская обл.	Архипелаг Шпицберген	Ж	–	1	–	0,1
Республика Коми	Печорский	К, Ж, ГЖО	1	4	3	9,5
		Д	–	1	1	0,4
Ростовская обл.	Донецкий	А	–	4	3	5,4
Оренбургская обл.	Южно-Уральский	Б	1	–	–	< 0,1
Новосибирская обл.	Горловский	А	3	–	2	14,5
Республика Хакасия	Минусинский	Д, ДГ, Г	8	–	2	23,0
Кемеровская обл.	Кузнецкий	А, Т, ТС, ОС, СС, К, КС, КСН, КО, КЖ, Д, ДГ, Г, ГЖ, ГЖО, Ж	59	42	44	255,7
	Канско-Ачинский	Б	2	–	–	0,3

⁹ Там же. — С. 32.

¹⁰ ГОСТ 1186–2014. Угли каменные. Метод определения пластометрических показателей.

¹¹ Уголь: Об отрасли // Министерство энергетики Российской Федерации : [офиц. сайт]. — URL: <https://minenergo.gov.ru/node/433> (дата обращения: 29.10.2019).

Таблица 1.3 (окончание)

Субъект РФ	Угольный бассейн	Марка угля	Разре- зы	Шахты	Обогати- тельные фабрики	Добыча угля в 2018 г., млн т
Красноярский край	Канско-Ачинский	Б	9	–	–	40,4
		ДГ	1	–	–	1,4
	Тунгусский	Д, Т	2	–	–	
Иркутская обл.	Иркутский	Б	3	–	–	7,7
		Д, Г	7	–	1	6,4
	Тунгусский	Д	1	–	–	
Республика Тыва	Улуг-Хемский	Ж, ГЖ	3	1	–	1,8
Республика Бурятия	Месторождения Бурятии и Забай- кальского края	Б	4	–	–	3,0
		Д	2*	–	1*	2,3*
Забайкальский край		Б	7	–	–	8,7
		Д	1*	–	–	12,8*
		Ж, ГЖ	1	–	–	
Амурская обл.	Нижнезейский	Б	2	–	–	3,6
	Буреинский	Д	1	–	–	0,1
Хабаровский край	Буреинский	Г	2	1	2	6,1
Приморский край	Бикино-Уссурийский	Б	4	–	–	7,8
	Раздольненский	Б	1	–	–	
		Д	1		1	0,6
Республика Саха (Якутия)	Южно-Якутский	К, Ж	5		4	17,2
	Зырянский	Ж	1	–	–	
	Ленский	Д	3	–	–	
		Б	3	–	–	0,3
Сахалинская обл.	Сахалинский	Б	4	–	–	8,5
		Д, ДГ	4	–	–	2,3
Камчатский край	Месторождения севера Дальнего Востока	Б	1	–	–	< 0,1
ВСЕГО	–	–	149	55	64	439,1**

Примечания:

* Тугнуйский и Никольский разрезы с обогатительной фабрикой в различных источниках относят либо к Бурятии, либо к Забайкальскому краю. В данной таблице они учтены в Бурятии, но большая часть добычи угля по данным Росстата учитывается по Забайкальскому краю.

** Расхождение суммы по регионам с итоговым значением по России связано с округлением.

Добыча угля указана по данным Росстата¹², журнала «ТЭК России»¹³ и прочих источников. Количество предприятий указано по данным угольных компаний и прочих источников.

¹² Производство важнейших видов промышленной продукции по отраслям экономики в январе — декабре 2018 г. / Росстат; НИУ «ВШЭ». — URL: http://sophist.hse.ru/rstat_data/ecbase/prvid122018/%D0%9A-2_53_10_1029_%D0%BF%D1%83%D0%B1%D0%BB.xls (дата обращения: 04.01.2019).

¹³ Итоги производственной деятельности отраслей ТЭК в январе — декабре 2018 года // ТЭК России. — 2019. — № 1. — С. 53–100.

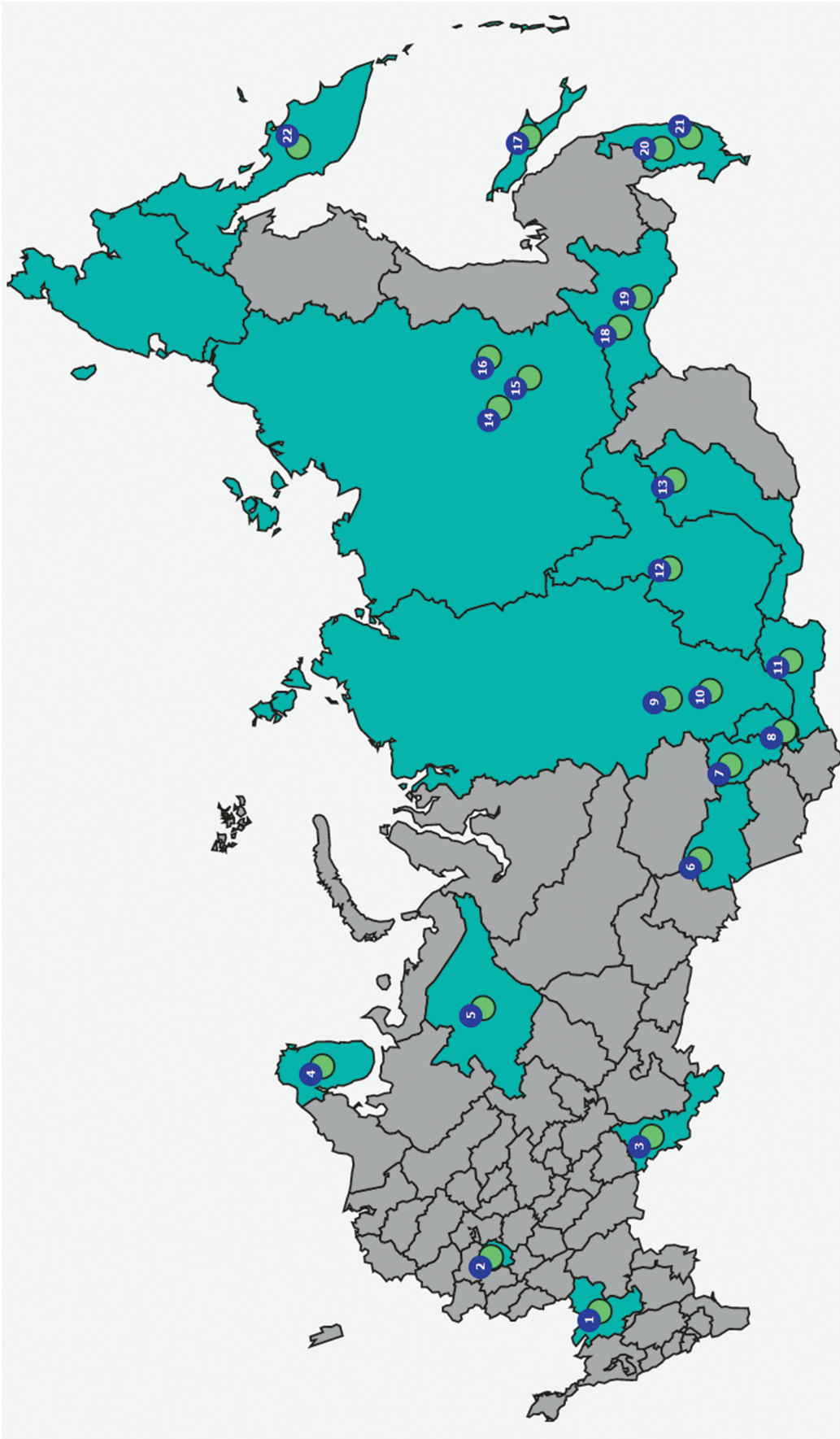


Рис. 1.1. Карта-схема расположения угольных бассейнов Российской Федерации:

- 1 — Донецкий бассейн; 2 — Подмосковный бассейн; 3 — Южно-Уральский бассейн; 4 — Архипелаг Шпицберген; 5 — Печорский бассейн; 6 — Горловский бассейн; 7 — Кузнецкий бассейн; 8 — Минусинский бассейн; 9 — Канско-Ачинский бассейн; 10 — Тунгусский бассейн; 11 — Улуг-Хемский (Черемховский) бассейн; 12 — Иркутский (Черемховский) бассейн; 13 — месторождения Бурятии и Забайкалья; 14 — Южно-Якутский бассейн; 15 — Зырянский бассейн; 16 — Ленский бассейн; 17 — Сахалинский бассейн; 18 — Нижне-Зейский бассейн; 19 — Бурейнский бассейн; 20 — Бикино-Уссурийский бассейн; 21 — Раздольненский бассейн; 22 — месторождения севера Дальнего Востока

ИСТОРИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Зарождение угледобывающей промышленности в мире

Добыча угля — одна из древнейших отраслей горной промышленности. Примитивная добыча велась уже в Древнем Китае и античной Греции, где он использовался в качестве топлива. Об этом свидетельствует упоминание в трудах ученика Аристотеля Теофраста, который в 315 г. до н. э. называл уголь «горящими камнями» — «антраксом» (позднее появилось название «антрацит»).

Каменный уголь использовался и в средневековой Европе: одно из первых документированных упоминаний о применении угля для обогрева жилищ относится к Франции 1095 г.¹⁴ В 1537 г. в Цвиккау (территория нынешней земли Саксония¹⁵) основано первое товарищество для добычи каменного угля¹⁶. Первый фундаментальный труд по горному делу был написан в Средние века в Западной Европе Агриколой (XV в.) и содержал подробное описание принципов вскрытия месторождений, способов крепления стволов шахт, применявшихся в то время орудий труда, способов транспортировки добытых полезных ископаемых на поверхность земли.

За период развития угольной промышленности технологический процесс добычи угля значительно трансформировался. Можно выделить основные технологические способы добычи угля:

- с применением ручного труда (с помощью кайла, обушка, лопаты);
- с применением ручного труда и паровых машин (в основном для водоотлива и транспортировки угля);
- с применением механических приспособлений;
- с применением электрооборудования для основных процессов добычи и транспортировки угля.

Первые горные выработки имели глубину 3–4 метра, подъем и спуск в которых осуществлялся с помощью камней-ступеней или по наклонному тоннелю. Рост спроса на уголь привел к расширению горных выработок и увеличению глубины до 20–30 метров: углубляться дальше обычно мешала грунтовая вода. Одним из первых механизмов для подъема воды из шахты были нории¹⁷, для работы которых использовалась сила домашних животных. К XVII в. по мере развития технологий водоотлива и крепления выработок глубина строительства шахт была увеличена до 120 метров.

С XVII–XVIII вв. облик угольной отрасли стал качественно изменяться. Если ранее добыча угля осуществлялась исключительно с применением ручного труда и силы животных (например, для транспортировки угля и водоотвода), то в этот период появляются новые технологии (применение паровых машин для откачки воды и подъема угля, появление новых способов проходки стволов шахт, отбойка твердых пород порохом¹⁸).

Применение паровых машин значительно ускорило подъем воды из шахт: паровая машина, делавшая около 10 подъемов в минуту, выкачивала количество воды, для удаления которой ранее требовалось около 50 лошадей¹⁹. Увеличилась не только глубина, но и длина горных выработок, в связи с чем стали использоваться вагонетки.

¹⁴ Губанов В. А. Этапы развития угольной промышленности: технико-технологический аспект // Экономика. Право. Менеджмент. — 2014. — Вып. 2 (2). — URL: <http://izdatelstvo.bgu.ru/epm/dl.ashx?id=1396> (дата обращения: 04.01.2019).

¹⁵ Земля в составе ФРГ.

¹⁶ Германия // Горная энциклопедия. — URL: <http://www.mining-enc.ru/g/germaniya/> (дата обращения: 04.01.2019).

¹⁷ Нория — подъемно-транспортирующее устройство непрерывного действия с рабочим органом в виде замкнутой цепи или ленты с закрепленными ковшами (или черпаками) для захвата и перемещения жидкостей и сыпучих материалов (вертикально либо под углом 60–80°). Максимальная высота подъема, как правило, не превышает 60 м. Цит. по: Большая Российская энциклопедия. — URL: https://bigenc.ru/technology_and_technique/text/2671021 (дата обращения: 04.01.2019).

¹⁸ Грунь В. Д. История угледобычи в России / под общ. ред. Б. Ф. Братченко. — М., 2003.

¹⁹ Паровые машины // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона. — СПб., 1897. — Т. XXII^а.

Увеличение глубины шахт сделало малоэффективной естественную приточную вентиляцию горных выработок, что в сочетании с применением открытого огня для освещения повлекло за собой череду взрывов метана и угольной пыли. Сократить аварийность в шахтах получилось в 1815 г. с изобретением предохранительной лампы Дэви, которая в дальнейшем была модернизирована в прототип анализатора присутствия взрывоопасных газов в воздухе горных выработок.

Первые попытки механизации технологических процессов за рамками паровых машин относятся к середине XIX в. В этот период были созданы первые врубовые машины, среди которых наиболее перспективными оказались цепные, применявшиеся вплоть до начала XX в. Другим важным нововведением в области добычи угля было применение качающихся, скребковых и ленточных конвейеров. Особое практическое значение это изобретение приобрело к концу XIX — началу XX в. в связи с эксплуатацией маломощных пластов, разработка которых невозможна с использованием вагонеток²⁰.

Совершенствование инструментов, применявшихся для добычи угля, особенно быстро происходило после появления электропривода, что позволило решить проблему механизированной откатки под землей. Впоследствии электроприводом стали оснащаться комбайны для выемки угля, транспортные средства, подъемные устройства, системы вентиляции и водоотлива шахт. Внедрение двигателей внутреннего сгорания (ДВС) привело к распространению самосвалов и экскаваторов (хотя одноковшовый паровой экскаватор на рельсовом ходу был изобретен еще в 1834 г.), что позволило организовать добычу угля открытым способом, характеризующимся высокой производительностью труда²¹.

Мировым лидером в угледобыче долгое время была Великобритания. Уже к XIV в. на ее территории добывалось больше всего каменного угля в Европе, однако по современным меркам объемы добычи оставались низкими. Широкое распространение уголь получил в Англии XVII в. по причине нехватки промышленной древесины, однако резкий рост угледобычи и повышение важности угольной отрасли в экономике страны произошли позднее — в середине XVIII в. под влиянием перехода к плавке чугуна на угольном коксе.

Великобритания, обладавшая самыми передовыми технологиями угольной отрасли, долгое время занимала первое место в мире по объемам добычи: доля страны в мировой угледобыче в середине XIX в. составляла 65%. К 1913 г. доля Великобритании на мировом рынке снизилась до 22% в связи с бурным ростом угольной промышленности в других странах (в основном, в Германии и США) (рис. 1.2). В течение XX в. стремительный рост объемов угледобычи продемонстрировали СССР и Австралия, а в начале XXI в. — Китай, Индия и Индонезия.

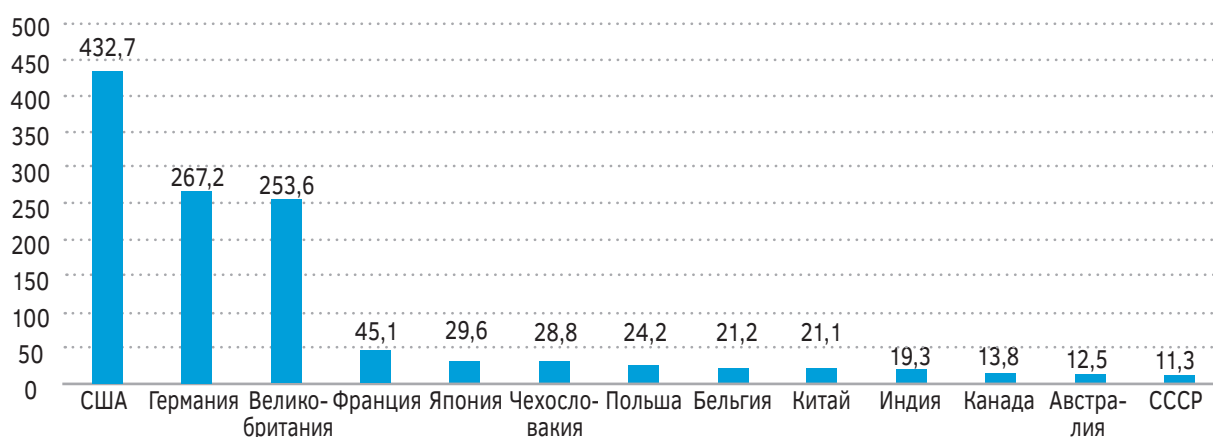


Рис. 1.2. Добыча ископаемого угля в основных угледобывающих странах в 1922 г.²²

²⁰ Введение в специальность. Основы экономики топливно-энергетического комплекса : учеб. пособие. — М. : Изд. дом МЭИ, 2009.

²¹ Там же.

²² Грунь В. Д. История угледобычи в России.

Совершенствование технологического процесса добычи угля было направлено на повышение производительности труда, а также на добычу угля в более сложных геолого-географических условиях, поскольку месторождения с наиболее пригодными для добычи условиями вырабатывались в первую очередь и объем доступных запасов угля сокращался. В то же время эволюция технологического процесса добычи угля способствовала повышению безопасности процесса добычи, улучшению качественных характеристик угля и степени его извлечения.

Зарождение угледобывающей промышленности в России

Россия значительно позже европейских стран приступила к промышленному освоению добычи угля. Первые сведения о поиске и разведке ископаемых углей в России относятся к началу XVIII в., когда Петром I были организованы специальные экспедиции в различные районы страны. В Донбассе залежи каменного угля были открыты в 1721 г. (в районе современных городов Лисичанск и Шахты). Добывавшийся здесь уголь использовался в солеварном и кузнечном деле. В 1721 г. были также обнаружены угольные месторождения на реке Томь (Кузбасс) и в Центральной России (Подмосковный бассейн). Первые угольные шахты в России появились на Урале (в районе современного г. Кизел), в районе Тулы, на Украине (в районе современного Лисичанска: построенная здесь шахта стала выдавать уголь в 1796 г. и была основным угледобывающим предприятием до 1860-х гг.)²³.

Угольная промышленность России в XIX в. тесно связана с ростом промышленного потенциала страны и расширением сети железных дорог, что способствовало неуклонному росту добычи. К 1900 г. значительно выросло применение паровых машин (табл. 1.4). Кроме того, на шахтах Донбасса работало несколько десятков врубовых машин зарубежного производства. Однако уровень механизации угледобычи в России был существенно ниже, чем в зарубежных странах. Так, доля механизированной подрубки угля в 1914 г. составляла в России 1,7%, в США — 50,7%, в Бельгии — 10%, в Англии — 8,5%²⁴. Почти все процессы на шахтах дореволюционной России выполнялись вручную: основными орудиями производства были кайло, обушок, лопата, санки. Низкий уровень механизации сказывался на производительности труда: годовая выработка на одного шахтера Донбасса составляла 153 т/год (12,8 т/месяц), в Англии — 264 т/год, во Франции — 203 т/год.

Таблица 1.4. Использование паровых машин
в каменноугольной промышленности по годам в России²⁵

	1885 г.	1890 г.	1895 г.	1900 г.
Количество паровых машин	322	442	626	1526
Мощность, л. с.	12 637	17 223	28 979	64 152

В результате в 1913 г. Россия добывала всего 29,2 млн т угля — в 18 раз меньше, чем США, в 10 раз меньше, чем Германия и Великобритания. В результате перед 1914 г. импорт угля покрывал 15% потребностей страны. К 1916 г. объем добычи составил 34,6 млн т, при этом 80% производства приходилось на Донбасс.

Отечественная угольная промышленность составляла всего 2,5% мировой добычи²⁶.

²³ Угольная промышленность // Горная энциклопедия [сайт]. — URL: <http://www.mining-enc.ru/u/ugolnaya-promyshlennost> (дата обращения: 04.01.2019).

²⁴ Грунь В. Д. История угледобычи в России.

²⁵ Там же.

²⁶ Введение в специальность. Основы экономики топливно-энергетического комплекса : учеб. пособие.

После гражданской войны 1918–1920 гг. 70% шахт оказались разрушенными, непригодными для эксплуатации, сложилось тяжелое положение с топливом. Разработанный в 1920 г. план ГОЭЛРО предусматривал увеличение за 10–15 лет объема добычи угля до 62,5 млн т. Добыча каменного угля превзошла уровень 1913 г. к 1929 г.²⁷

К концу 1-й пятилетки (1932 г.) добыча угля достигла 64,4 млн т, строились новые шахты: было построено 138 шахт в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке, в Средней Азии, активно строились новые шахты в Подмосковном бассейне²⁸. В этот период были освоены новые угольные бассейны и месторождения: Карагандинский в Казахстане, Райчихинское на Дальнем Востоке, Ткварчели в Закавказье, Букачачинское в Восточной Сибири и др.

К 1937 г. уровень механизации качественно повысился: механизация зарубки достигла 87%, доставки — 85%, откатки — 48%. В течение 1929–1940 гг. было построено 285 шахт общей годовой производственной мощностью более 100 млн т²⁹. В период 1930–1940 гг. производительность труда выросла в два раза (с 15,9 до 30,6 т/месяц), что было связано как с механизацией, так и с интенсификацией и реорганизацией труда в рамках «стахановского движения». Параллельно проводилась электрификация шахтного оборудования (насосного, вентиляционного, транспортного). Появились широкозахватные комбайны, которые стали основной угледобывающей техникой во всех угольных бассейнах страны (табл. 1.5). Внедрение комбайнов позволило в три раза повысить уровень самого трудоемкого процесса в очистных забоях — навалки угля.

Механизация угледобычи стала возможна благодаря развитию отечественного угольного машиностроения — появились заводы в Горловке, Ленинграде, Конотопе, Харькове, Томске и других городах.

Таблица 1.5. Доля механизированной навалки угля
(% к общему объему добычи угля в очистных забоях)³⁰

Бассейн	1951 г.	1955 г.	1960 г.	1965 г.
Донецкий	23,1	37,5	47,8	58,1
Кузнецкий	35,2	50,2	54,9	61,3
Карагандинский	26,1	62,1	73,6	84,5
Печерский	9,8	44,8	67,5	89,3
Подмосковный	1,2	4,0	41,9	48,0
Всего по отрасли	16,3	33,1	48,8	67,5

В военные годы основные бассейны Европейской части СССР оказались на оккупированной территории, что потребовало активного строительства новой промышленной базы на востоке страны: были построены десятки шахт в Кузбассе; новые разрезы для добычи угля открытым способом в Казахстане и Красноярском крае; начато освоение Печорского бассейна. Широкое распространение получил открытый способ добычи угля, позволяющий быстро наращивать объемы производства: если в 1940 г. на добычу открытым способом приходилось около 4% от всего объема добычи, то к 1950 г. его доля увеличилась до 10,4%, а к 1965 г. — до 24,3%³¹. Совершенствование экскаваторного оборудования способствовало как росту производительности труда, так и увеличению глубины разрезов до 100–150 м.

²⁷ Угольная промышленность // Горная энциклопедия [сайт]. — URL: <http://www.mining-enc.ru/u/ugolnaya-promyshlennost> (дата обращения: 04.01.2019).

²⁸ Введение в специальность. Основы экономики топливно-энергетического комплекса : учеб. пособие.

²⁹ Грунь В. Д. История угледобычи в России.

³⁰ Там же.

³¹ Там же.

В послевоенные годы наряду с восстановлением шахт, разрушенных в годы войны, ускоренными темпами создавались предприятия угольной отрасли в новых и уже освоенных бассейнах. К 1965 г. угледобыча в СССР выросла более чем в 3 раза по сравнению с довоенным уровнем 1940 г. и составила 577,7 млн т. Росту добычи способствовал активный рост производительности труда в послевоенное время (табл. 1.6).

Развитие комбайновой выемки ускорило замену деревянных крепей на металлические. Они широко стали внедряться в 1947 г., когда началось производство податливых забойных стоек трения с клиновым замком. К 1951 г. на пологих и наклонных пластах металлическими крепями было закреплено 17% всех лав, а в 1965 г. — 47%. Активно развивались погрузочные машины, к 1965 г. уровень механизации погрузки угля и породы составил 67%, что сократило трудоемкость проведения выработок на 30–50% по сравнению с погрузкой вручную и способствовало росту производительности труда³².

Таблица 1.6. Производительность труда рабочего по добыче угля, т/месяц³³

Год	На шахтах	На разрезах	Всего
1950	27,8	96,3	30,1
1955	32,5	174,7	37,8
1960	35,0	213,7	41,9
1970	45,6	306,4	58,5
1980	46,1	441,5	69,1
1990	38,7	398,1	65,5
1991	30,7	369,7	56,8

В 1960-х гг. начался массовый переход от комбайновой технологии к механизированным комплексам, включающим в себя узкозахватные комбайны или струги, забойные скребковые конвейеры и гидрофицированные передвижные крепи, состоящие из линейных секций, распределительной и контрольно-регулирующей гидроаппаратуры и гидрокоммуникаций. Такие комплексы сохраняют свою целостность при передвижении по всей длине лавы и от забоя к забою по мере выемки угля вслед за комбайном, что значительно упрощает проведение подготовительных работ в горных выработках. Внедрение очистных механизированных комплексов позволило повысить производительность труда в отрасли в 1,6 раза.

Важным достижением в области технологии явились разработка методов обогащения угля и создание новой отрасли по переработке угля.

В топливно-энергетическом балансе России доля угля в 1950-е гг. достигала 65%, а в 1960-х гг. стала снижаться до 40–50%. В 1970–1980-е гг. угольное топливо еще активнее вытеснялось нефтегазовым.

Распад СССР привел к тому, что значительная часть ранее созданной угольной базы оказалась на Украине и в Казахстане. На долю России в 1990 г. приходилось 55,7%, Украины — 23,7%, Казахстана — 18,8% общесоюзной добычи угля. Россия получила 271 из 574 угледобывающих предприятий бывшего СССР. В Европейской части страны их осталось 82 из 333. Почти полностью была утеряна мощная база высококачественных углей Донбасса и Караганды, отошел к Казахстану уникальный по мировым меркам Экибастузский угольный бассейн. Россия также лишилась многих заводов горного машиностроения.

³² Грунь В. Д. История угледобычи в России.

³³ Там же.

Помимо этого, в ходе реструктуризации и осуществления новой политики в период 1993–2004 гг. было закрыто 202 особо убыточных предприятия, в результате чего были ликвидированы производственные мощности по добыче угля, составившие около 90 млн т, а частичное выбытие мощностей составило 122 млн т³⁴. Ввода мощностей в 1994–1999 гг. практически не происходило. Рост вводимых мощностей начался с 2000 г. За период 2000–2006 гг. он составил 154 млн т. В тот же период возобновился рост добычи. В 2018 г. объем добычи превысил советский уровень (рис. 1.3).

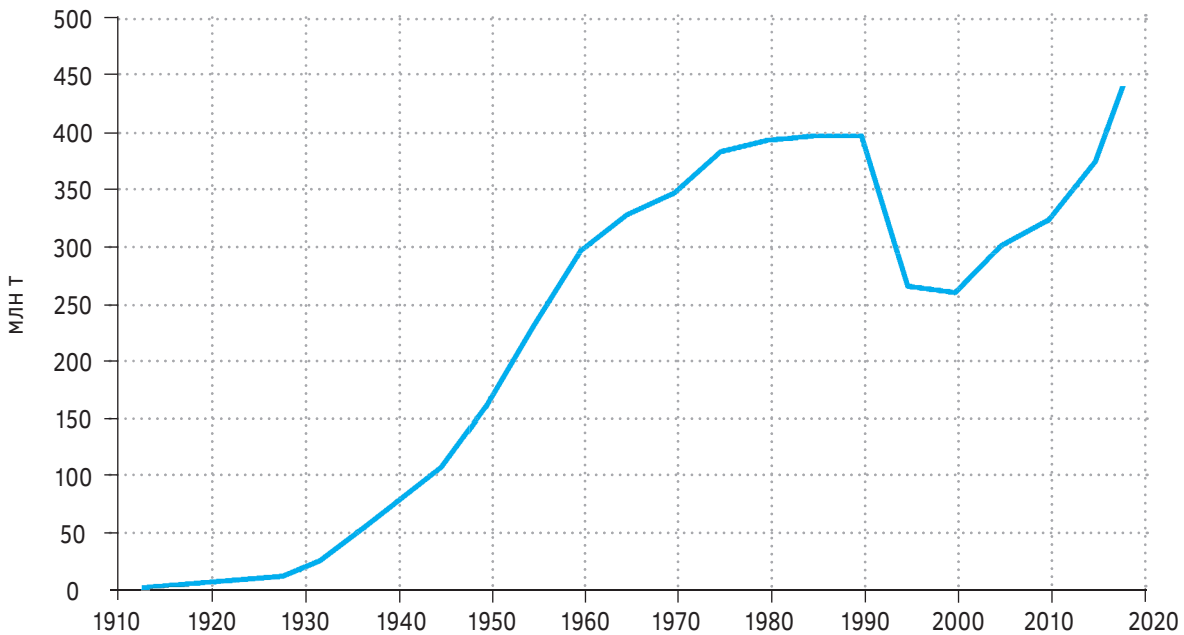


Рис. 1.3. Динамика добычи угля в России³⁵

ЦИКЛЫ РАЗВИТИЯ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С развитием угледобывающей отрасли закономерно изменялись применяемые технологии добычи, условия труда, структура себестоимости добычи, рентабельность добычи и использования угля. Историю развития угледобычи можно условно разделить на цикл зарождения, характеризующийся локальными случаями добычи и использования угля, и промышленный период развития угольной отрасли.

Цикл зарождения угледобывающей отрасли характеризуется примитивной ручной добычей в мелких горных выработках (искусственная полость, сделанная в недрах земли или на поверхности) с неизменно низкой производительностью труда. При этом уголь использовался в качестве топлива во многих странах и регионах: в Древнем Китае, античной Греции,

³⁴ Чернова В. Э. Актуальность энергосбережения. Государственная политика в области повышения эффективности использования энергии : учеб. пособие. — СПб., 2014. — URL: <http://www.nizrp.narod.ru/metod/kaffiniuch/5.pdf> (дата обращения: 04.10.2019).

³⁵ http://istmat.info/files/uploads/17850/narhoz_rsfsr_1958_g_promyshlennost.pdf;
<http://istmat.info/node/17051>;
http://istmat.info/files/uploads/18147/narhoz_rsfsr_1956_promyshlennost.pdf;
http://istmat.info/files/uploads/17062/narhoz_rsfsr_70_let_mat._proizvodstvo.pdf;
http://istmat.info/files/uploads/20469/narhoz_1965_toplivo.pdf;
http://istmat.info/files/uploads/15622/narodnoe_hozyaystvo_rsfsr_v_1975_g.pdf.

средневековой Европе. В конце допромышленного периода формируется новое неэнергетическое направление в использовании продукта — коксование. Ю. Петерсон в 1589 г. получил кокс из каменного угля, применяемый впоследствии при выплавке металлов, а А. Дерби в 1709 г. впервые выплавил железо с помощью кокса, полученного из каменного угля, вместо применявшегося древесного угля³⁶.

Дальнейшее развитие угольной отрасли происходило благодаря постоянно растущему спросу на топливные ресурсы и кокс, обусловленному технологическим прогрессом и развитием промышленности. По этой причине технологические циклы становления угледобывающей отрасли можно соотнести с основными циклами развития мировой промышленности (табл. 1.7).

Таблица 1.7. Характеристика технологических циклов развития угледобывающей промышленности³⁷

Период, годы	Цикл	Вид топлива	Основные направления использования	Технологические лидеры
1740–1830	Первый (ранняя промышленная добыча угля)	Древесный уголь	Текстильная промышленность, текстильное машиностроение, выплавка чугуна, обработка железа	Великобритания, Франция
1830–1880	Второй (начало технического развития)	Каменный уголь	Паровой двигатель, железнодорожное строительство, транспорт, машиностроение, пароходостроение, угольная промышленность, станкоинструментальная промышленность, черная металлургия	Великобритания, Франция, Германия, США
1880–1930	Третий (начало механизации добычи)	Каменный уголь, нефть, гидроэнергия	Электротехническое, тяжелое машиностроение, производство и прокат стали, электроэнергетика, неорганическая химия	Германия, США, Великобритания, Франция, Нидерланды
1930–1980	Четвертый (совершенствование технологий добычи)	Нефть, уголь, газ, гидроэнергия, атомная энергия	Автомобилестроение, цветная металлургия, органическая химия, производство и переработка нефти	США, страны Западной Европы, СССР, Канада, Австралия, Япония
1980–1990	Пятый (повышение качества угля и КПД его сжигания)	Нефть, уголь, газ, гидроэнергия, возобновляемые источники энергии	Электронная промышленность, телекоммуникации, роботостроение, производство и переработка газа, информационные услуги	США, ЕС, Япония

³⁶ Губанов В. А. Этапы развития угольной промышленности: технико-технологический аспект. — URL: <http://izdatelstvo.bgu.ru/epm/dl.ashx?id=1396> (дата обращения: 04.01.2019).

³⁷ Глазьев С. Ю. О стратегии развития экономики России : науч. докл. / под ред. С. Ю. Глазьева. — М. : ООН РАН, 2011. — 48 с. — Препринт. — URL: http://russian-greens.ru/docs/dokl_new_economic_strategy.pdf (дата обращения: 04.01.2019).

Таблица 1.8. Основные этапы циклов развития угледобывающей промышленности

Цикл	Научно-технический этап	Технико-экономический этап	Экономическо-социальный этап	Социально-регуляторный этап
Первый (ранняя промышленная добыча угля)	Появление механических и осветительных приспособлений для добычи угля	Увеличение объемов и производительности добычи угля	Замещение древесного топлива каменным углем для отопления	Рост численности шахтеров при сохранении тяжелых условий труда
Второй (начало технического развития)	Применение паровых двигателей в угольной промышленности	Увеличение объемов и производительности добычи угля	Рост потребления угля в паровых машинах и металлургии, активное развитие промышленности	Рост численности шахтеров при сохранении тяжелых условий труда
Третий (начало механизации добычи)	Внедрение драглайнов, конвейеров, применение буровзрывной выемки с механизированной зарубкой	Увеличение объемов и производительности добычи угля, развитие открытой добычи	Рост потребления угля в электроэнергетике	Рост численности и квалификации работников, улучшение условий труда
Четвертый (совершенствование технологий добычи)	Применение узкозахватной выемки комбайнами и стругами с индивидуальной металлической крепью	Увеличение объемов и производительности добычи угля, развитие обогащения	Рост конкуренции на рынке энергоресурсов под влиянием роста доступности иных видов топлива	Рост квалификации работников, улучшение условий труда
Пятый (повышение качества угля и КПД его сжигания)	Повышение автоматизации технологии добычи угля, повышение эффективности сжигания угля	Увеличение производительности добычи угля при стабилизации объемов добычи	Стабилизация потребления угля под влиянием ужесточения природоохранного законодательства, отказ от неэкологических технологий	Сокращение численности работников, переход работников на удаленное управление процессом добычи

Первый технологический цикл

Промышленный период развития угольной отрасли начинается с появления первых механических приспособлений для облегчения ручного труда. Однако их уровень оставлял низкими темпы роста производительности труда, и ручной труд продолжал преобладать над машинным.

Появляются первые изменения в технологии процесса добычи угля: например, в 1761 г. был выдан патент на механическое приспособление для подрубки угольного пласта. Появляются основные операции обогащения: дробление, ручная сортировка, измельчение³⁸. В 1815 г. изобретена рудничная лампа, конструкция которой не позволяла при воспламенении горючей газовой смеси, попадающей внутрь лампы, распространяться пламени наружу, в противном случае это привело бы к внешнему взрыву газовой смеси, что снизило количество аварий в шахтах.

В этот период на фоне снижения запасов древесины расширяется использование каменного угля для отопления жилых домов, в особенности в Англии.

³⁸ Губанов В. А. Этапы развития угольной промышленности: технико-технологический аспект. — URL: <http://izdatelstvo.bgu.ru/epm/dl.ashx?id=1396> (дата обращения: 04.01.2019).

Второй технологический цикл

Массовое использование паровых двигателей на фабриках послужило основой промышленного развития. Каменный уголь стал основным энергоносителем не только в Англии, но и во всей Европе³⁹.

К этому периоду относится и распространение технологических процессов металлургии, использующих уголь: коксования и пудлингования (способ переплавки чугуна на железо на каменном угле, изобретенный в 1880-х гг. английским металлургом Кортон). В то же время развитие легкой промышленности потребовало изготовления оборудования, что создало дополнительный спрос на металлопродукцию.

Расширение использования угля в паровых двигателях и металлургии стало одним из важнейших аспектов промышленной революции. Создание крупных машинных производств и развитие рыночных отношений потребовали решения транспортных проблем, в связи с чем активно развивали железнодорожный транспорт (который, в свою очередь, также стал крупным потребителем угля).

В течение XIX в. разрабатывались технологии для повышения производительности труда в угольной промышленности. В 1835 г. в США был выдан патент основной машины для открытого способа разработки — одноковшового парового экскаватора на рельсовом ходу, в 1852 г. в Англии — патент на дисковую врубовую машину для угольных шахт. В 1860 г. французский инженер М. Кувре изобретает многоковшовый экскаватор, а в 1864 г. в Великобритании изготовлена первая цепная (баровая) врубовая машина; в Германии в 1876 г. изобретен гидравлический станок вращательного бурения⁴⁰.

Третий технологический цикл

Третий цикл характеризуется развитием электроэнергетики. Впервые уголь для выработки электроэнергии был использован в 1880 г.⁴¹

Увеличение спроса на уголь стимулирует развитие угольных технологий. В США создан первый в мире драглайн для открытых горных работ. В 1902–1906 гг. в угольных шахтах Англии появляются скребковые и ленточные конвейеры, а в Германии — качающиеся конвейеры для транспортировки добытого угля⁴².

Для сокращения затрат начинает широко применяться буровзрывная выемка с механизированной зарубкой (1930–1940 гг.).

Четвертый технологический цикл

Четвертый цикл характеризуется качественным и количественным развитием энергетики. Активно строятся ГЭС, АЭС, ТЭС на углеводородном топливе, что способствует постепенному сокращению доли угля в топливно-энергетическом балансе развитых стран. Технологическое развитие угольной промышленности в течение данного цикла было направлено на совершенствование технологий добычи. В частности, были внедрены узкозахватная выемка комбайнами и стругами с индивидуальной металлической крепью (1955–1970 гг.) и комплексно-механизированная выемка комбайнами и стругами с гидрофицированной металлической крепью (1961–1980 гг.)⁴³.

³⁹ Игошев Б. М. История технических инноваций : учеб. пособие для школьников. — Екатеринбург, 2012.

⁴⁰ Губанов В. А. Этапы развития угольной промышленности: технико-технологический аспект. — URL: <http://izdatelstvo.bgu.ru/epm/dl.ashx?id=1396> (дата обращения: 04.01.2019).

⁴¹ Там же.

⁴² Там же.

⁴³ Там же.

Пятый технологический цикл

Стремительный рост энергопотребления и возрастающее внимание к проблемам экологии привели к необходимости энергосбережения и постепенной переориентации отдельных стран на источники энергии, оказывающие наименьшее воздействие на окружающую среду. Это приводит к постепенному отказу отдельных стран от угольного топлива в пользу более экологичных источников энергии. Дальнейшее использование угля зависит от мировой климатической политики и развития технологий.

Данный технологический цикл, который продолжается по настоящее время, направлен на сокращение выбросов и повышение КПД угольных станций за счет процессов обогащения угольного топлива и совершенствования технологий сжигания (например, в циркулирующем кипящем слое, на сверхкритических и суперсверхкритических параметрах пара). Развитие автоматизированных систем управления повышает степень автоматизации процесса угледобычи.

Эволюция технологий добычи угля

Стоит отметить, что каждый цикл обусловлен определенным этапом, который дает новый толчок к развитию технологий. Последовательное прохождение всех этапов приводит к завершению цикла развития отрасли, после чего цикл повторяется (рис. 1.4).

Ресурсоэффективность в рамках исторического развития отраслей промышленности рассматривается как важнейший фундаментальный концепт перехода технологического развития на новый уровень. При этом метод исследования сосредоточен на изучении реакции отрасли как целого на изменяющиеся условия, без подробного описания механизма работы и внутреннего устройства той или иной технологии, так как в рамках поставленной задачи это не является первостепенным объектом изучения.

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ УГЛЕДОБЫЧИ

В настоящее время добыча угля осуществляется подземным (шахтным) или открытым (на карьерах) способом, в зависимости от глубины залегания породы (в отдельных случаях возможна комбинированная разработка месторождений).

Добыча подземным способом

Схема технологического процесса добычи угля подземным способом с использованием в забое самотечно-напорного гидротранспорта приведена на рис. 1.5, основные этапы добычи угля подземным способом — в табл. 1.9.

Основными технологическими этапами добычи угля подземным способом являются проведение горных выработок и разрушение горной породы, подъемно-транспортные работы, транспортировка и складирование угля.

При проведении горных выработок различают основные и вспомогательные процессы:

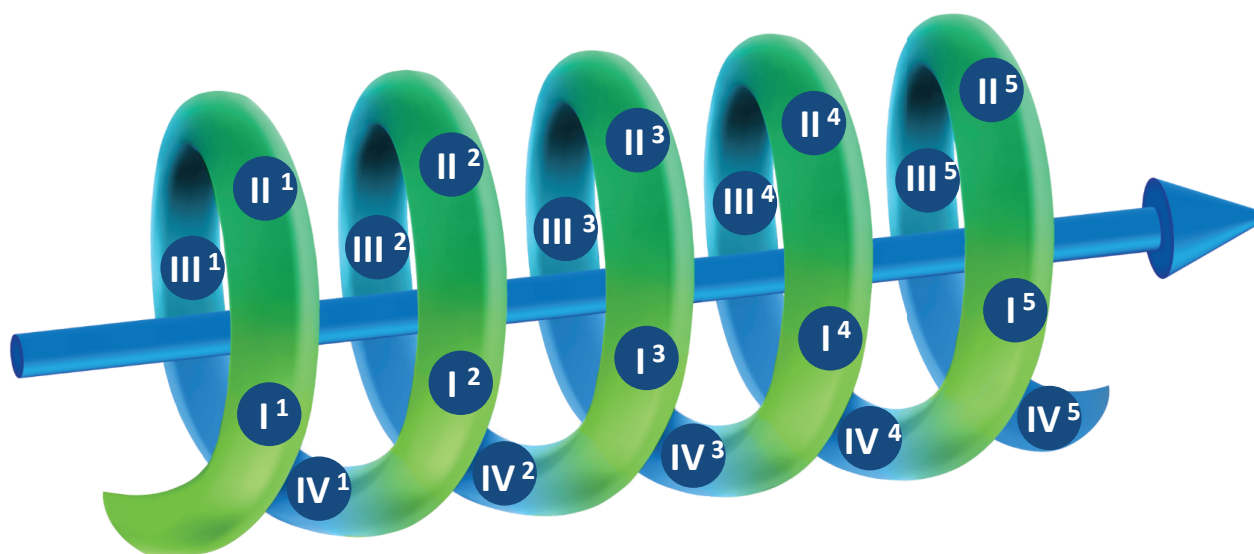
- основные — проведение и крепление выработки;
- вспомогательные — возведение временной крепи, навеска вентиляционных труб, наращивание конвейера или настилка рельсовых путей, прокладка труб, кабелей и др.

Классификация технологических схем проведения горных выработок

В зависимости от однородности пересекаемых пород проведение выработок делится на:

- выработки в однородных породах (в случае, если забой выработки пересекает только один вид пород);
- выработки в неоднородных породах (в случае, если забой выработки пересекают два и более вида пород).

Проведение выработки по однородной породе осуществляется сплошным забоем (уголь и вмещающая порода вынимаются одновременно) при мощности пласта до 0,6 м или при большей мощности пласта, но при низком качестве угля.



I Научно-технический этап



II Техничко-экономический этап



III Экономическо-социальный этап



IV Социально-регуляторный этап

- I¹** — появление механических и осветительных приспособлений для добычи угля
- II¹** — увеличение объемов и производительности добычи угля
- III¹** — замещение древесного топлива каменным углем для отопления
- IV¹** — рост численности шахтеров при сохранении тяжелых условий труда
- I²** — применение паровых двигателей в угольной промышленности
- II²** — увеличение объемов и производительности добычи угля
- III²** — рост потребления угля в паровых машинах и металлургии, активное развитие промышленности
- IV²** — рост численности шахтеров при сохранении тяжелых условий труда
- I³** — внедрение драглайнов, конвейеров, применение буровзрывной выемки с механизированной зарубкой
- II³** — увеличение объемов и производительности добычи угля, развитие открытой добычи
- III³** — рост потребления угля в электроэнергетике
- IV³** — рост численности и квалификации работников, улучшение условий труда

- I⁴** — применение узкозахватной выемки комбайнами и стругами с индивидуальной металлической крепью
- II⁴** — увеличение объемов и производительности добычи угля, развитие обогащения
- III⁴** — рост конкуренции на рынке энергоресурсов под влиянием роста доступности иных видов топлива
- IV⁴** — рост квалификации работников, улучшение условий труда
- I⁵** — повышение автоматизации технологии добычи угля, повышение эффективности сжигания угля
- II⁵** — увеличение производительности добычи угля при стабилизации объемов добычи
- III⁵** — стабилизация потребления угля под влиянием ужесточения природоохранного законодательства, отказ от неэкологических технологий
- IV⁵** — сокращение численности работников, переход на удаленное управление процессами добычи

Рис. 1.4. Эволюция технологий добычи угля

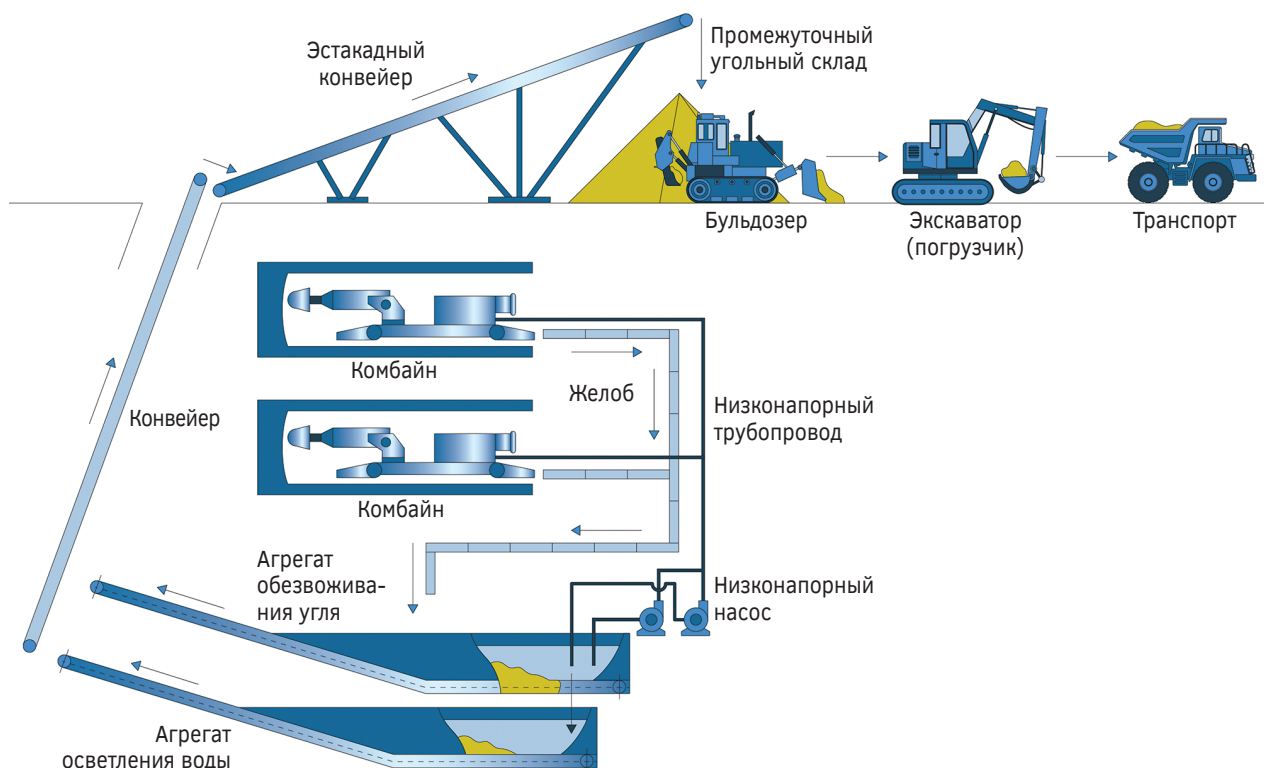


Рис. 1.5. Схема технологического процесса добычи угля подземным способом с использованием в забое самотечно-напорного гидротранспорта⁴⁴

При неоднородных породах выработка проводится как сплошным забоем, так и уступным забоем, т. е. с раздельной выемкой угля и породы. При этом вначале проводят выемку угольного пласта на некоторую величину, а затем — вмещающих пород.

В зависимости от места размещения породы проведение выработок подразделяется по способам:

- узким забоем;
- широким забоем.

При проведении выработок узким забоем уголь вынимается только в пределах поперечного сечения выработки, а порода, полученная от подрывки, выдается на поверхность шахты.

При проведении выработок широким забоем уголь вынимается на ширину, превышающую изначальную ширину выработки. В образовавшемся пространстве (раскоске) размещаются породы от подрывки.

В зависимости от способа отделения горных пород от угольного массива выделяют следующие технологии работ:

- работы с помощью проходческих комбайнов применяются по углю и породе средней крепости (коэффициент крепости $f = 5-6$);
- буровзрывные работы применяются в породах любой крепости;
- ручные работы с использованием отбойного молотка применяются в особых случаях (проведение водосточной канавки, на крутом падении пласта);
- комбинированные работы представляют собой комбинацию различных применяемых технологий⁴⁵.

⁴⁴ ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля. — М. : Бюро НДТ, 2017.

⁴⁵ Васюков Ю. Ф. Горное дело : учеб. для учащихся горн. техникумов. — М. : Недра, 1990. — С. 58–61.

Таблица 1.9. Основные этапы добычи угля подземным способом⁴⁶

№	Этап процесса (подпроцесс)	Основное технологическое оборудование
1	Проведение горных выработок и разрушение горной породы	Проходческие комбайны, буровые установки, насосные установки, зарядные машины, вентиляционные трубы, источники электроэнергии
1.1	Проведение горных выработок с разрушением пород путем взрыва	Проходческие комбайны, буровые установки, зарядные машины, системы детонации, крепи механизированные, насосные установки, вентиляционные трубы, источники электроэнергии
1.2	Проведение горных выработок с применением проходческих комбайнов	Проходческие комбайны, насосные установки, вентиляционные трубы, источники электроэнергии
1.3	Крепление горных выработок	Проходческие комбайны, крепи механизированные
2	Подъемно-транспортные работы	Ленточные и скребковые конвейеры, выемочные машины, скипы, подлавные (скребковые) перегружатели, дробилки, насосные станции, источники электроэнергии
2.1	Очистные работы	Выемочные машины, лавные скребковые конвейеры, подлавные (скребковые) перегружатели, дробилки, насосные станции, источники электроэнергии
2.2	Транспортировка горной массы в забое	Конвейеры (ленточные и скребковые), перегружатели (конвейерные, скребковые), источники электроэнергии
2.3	Транспортировка горной массы на поверхность	Скиповой подъемник, конвейеры (ленточные, скребковые), источники электроэнергии
3	Транспортировка горной массы на поверхности	Конвейеры (ленточные и скребковые), питатели, железнодорожные вагоны, локомотивы, погрузчики, источники электроэнергии
4	Складирование угля и отходов производства	Погрузчики, бульдозеры, скреперы, экскаваторы (в том числе драглайны)
5	Вентиляция и дегазация	Вентиляторы главного проветривания, передвижные дегазационные установки с водокольцевыми насосами, модульные дегазационные установки
6	Осушение, водоотлив, водоотведение и водоснабжение	Насосные установки, водосборники, установки главного водоотлива, трубопроводы
7	Природоохранные технологии	Стационарные оросительные, распылительные, оросительно-вентиляционные установки, поливооросительные машины, пылеулавливающие установки, пруды-отстойники, установки для хлорирования воды, биоокислительные каналы, нефтеловушки, отвалообразователи непрерывного действия, осветлители, фильтры, флотационные установки, фильтр-прессы, установки обеззараживания
7.1	Предотвращение загрязнения атмосферного воздуха	Оросительные установки, пылеулавливающие установки
7.2	Очистка сточных вод	Пруды-отстойники, установки для хлорирования воды, биоокислительные каналы, нефтеловушки
7.3	Утилизация отходов производства	Отвалообразователи, автосамосвалы, бульдозеры, погрузчики, конвейеры

⁴⁶ ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля.

При добыче угля подземным способом требуются материальные ресурсы (вода) и энергоресурсы (электроэнергия, нефтепродукты и т. д.). В зависимости от технологии производства и используемого оборудования различаются удельные показатели потребления материальных и энергетических ресурсов.

Таблица 1.10. Расход сырья, материалов и энергоресурсов при добыче угля подземным способом⁴⁷

Наименование	Единицы измерений	Расход на 1 т продукции	
		минимальный	максимальный
Электроэнергия	кВт·ч/т	15,6	191,2
Свежая вода	м³/т	0,07	0,7
Топливо	т. у.т./т	0,0001	0,01

Добыча открытым способом

На рис. 1.6 представлена общая схема технологического процесса при добыче угля открытым способом, основные этапы добычи угля открытым способом — в табл. 1.11.

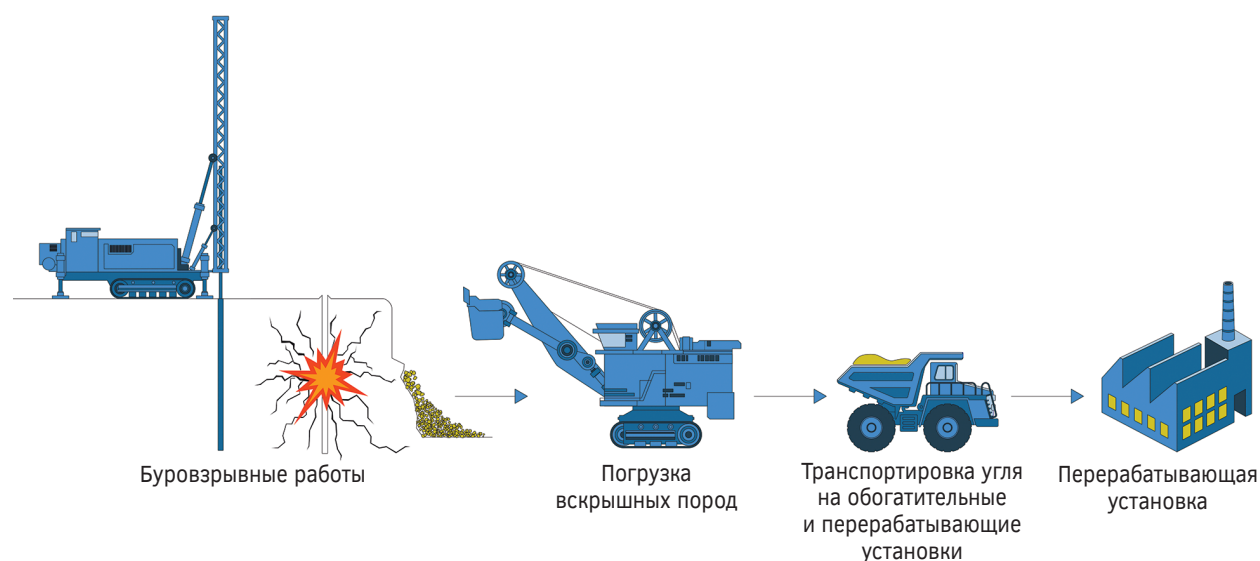


Рис. 1.6. Схема технологического процесса добычи угля открытым способом⁴⁸

При подготовке угля к выемке из крепких (например, скальных) пород применяются буровзрывные работы, при подготовке к выемке из полускальных пород может применяться механическое рыхление, а при выемке из мягких пород — гидравлическое разрушение.

Выемочно-погрузочные работы представляют собой отделение от массива мягкой или предварительно разрыхленной крепкой породы с последующей погрузкой в транспортные средства или непосредственно в отвал. Основным средством для проведения выемочно-погрузочных работ являются экскаваторы, иногда применяется и другая техника (скреперы, бульдозеры, погрузчики и т. д.).

⁴⁷ Там же.

⁴⁸ Там же.

Экскаваторы могут быть одноковшовыми и многоковшовыми. Одноковшовые экскаваторы характеризуются циклическим действием — они последовательно выполняют операции копания и перемещения горной массы в ковше, поворачиваясь вокруг своей оси. Многоковшовые экскаваторы характеризуются непрерывным действием — они производят выемку и погрузку горной массы в процессе перемещения ковшей по круговой траектории.

Таблица 1.11. Основные этапы добычи угля открытым способом⁴⁹

№	Этап процесса (подпроцесс)	Основное технологическое оборудование
1	Подготовка горных пород к выемке	Бульдозеры, буровые станки, вакуумные машины, передвижные насосные установки, смесительно-зарядные машины, забоечные машины, системы детонации, навесные рыхлители на тракторном шасси, бульдозерно-рыхлительные агрегаты, гидромониторы, кабелепередвижчик
1.1	Буровзрывные работы	Бульдозеры, буровые станки, вакуумные машины, передвижные насосные установки, смесительно-зарядные машины, забоечные машины, системы детонации, кабелепередвижчик
1.2	Механическое рыхление	Навесные рыхлители на тракторном шасси, бульдозерно-рыхлительные агрегаты
1.3	Гидравлическое разрушение	Гидромониторы
2	Выемочно-погрузочные работы (экскавация)	Экскаваторы (одноковшовые и многоковшовые), погрузчики, бульдозеры, скреперы и землеройно-транспортные машины
2.1	Экскавация одноковшовыми экскаваторами	Одноковшовые экскаваторы
2.2	Экскавация многоковшовыми экскаваторами	Многоковшовые экскаваторы (роторные и цепные)
2.3	Экскавация прочими видами техники	Погрузчики, бульдозеры, скреперы и землеройно-транспортные машины
3	Транспортировка горной массы (перемещение карьерных грузов)	Карьерные самосвалы, грейдеры, скреперы, щебнеразбрасывающие машины, бульдозеры, локомотивы, полувагоны, шпалоподблочные и ремонтные машины, краны на железнодорожном ходу, конвейеры, скипы, канатные дороги, кабелепередвижчик
3.1	Перевозка карьерными самосвалами	Карьерные самосвалы, грейдеры, скреперы, щебнеразбрасывающие машины, бульдозеры
3.2	Перевозка железнодорожным транспортом	Локомотивы (тепловозы, реже — электровозы), полувагоны, бульдозеры, шпалоподблочные и ремонтные машины, краны на железнодорожном ходу, кабелепередвижчик, толкатель, устройство маневровое
3.3	Транспортировка конвейером	Конвейеры, кабелепередвижчик
3.4	Транспортировка прочими видами транспорта	Скипы, канатные дороги, кабелепередвижчик
4	Складирование и отгрузка угля	Погрузчики, экскаваторы, погрузочные комплексы, машины для обдувки вагонов от снега и обработки вагонов от примерзания
4.1	Складирование угля на штабелях	Погрузчики, бульдозеры
4.2	Отгрузка угля потребителям	Погрузчики, экскаваторы, погрузочные комплексы, машины для обдувки вагонов от снега и обработки вагонов от примерзания

⁴⁹ ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля.

№	Этап процесса (подпроцесс)	Основное технологическое оборудование
5	Осушение, водоотлив, водоотведение и водоснабжение	Устройства для регулирования внутрикарьерного стока, водосборники, насосные установки, трубопроводы, кабелепередвижник
6	Природоохранные технологии	Стационарные оросительные, распылительные, оросительно-вентиляционные установки, поливооросительные машины, пылеулавливающие установки, пруды-отстойники, установки для хлорирования воды, биоокислительные каналы, нефтеловушки, отвалообразователи непрерывного действия, кабелепередвижник
6.1	Предотвращение загрязнения атмосферного воздуха	Стационарные оросительные, распылительные, оросительно-вентиляционные установки, поливооросительные машины, пылеулавливающие установки, кабелепередвижник
6.2	Очистка сточных вод	Пруды-отстойники, установки для хлорирования воды, биоокислительные каналы, нефтеловушки, кабелепередвижник
6.3	Утилизация отходов производства	Отвалообразователи, автосамосвалы, бульдозеры, погрузчики, конвейеры, кабелепередвижник

Экскаваторные забои могут быть торцовыми (используются для одноковшовых и роторных экскаваторов), фронтальными (используются для цепных экскаваторов на рельсовом ходу и фронтальных погрузчиков) и тупиковыми (для проходки траншей).

По взаимному расположению экскаватора и транспортного средства выемка может быть организована следующими способами: верхним черпанием и верхней погрузкой, нижним черпанием и нижней погрузкой, смешанным черпанием и погрузкой. По характеру движения транспортных средств под погрузку различают две схемы движения: тупиковую и сквозную.

Для экскаваторов с механической лопатой максимальная производительность достигается при работе в торцевых забоях, поскольку в таких случаях угол поворота стрелы составляет до 90°, и возможно организовать сквозную схему движения транспорта. При работе экскаваторов с механической лопатой в тупиковом забое необходимо увеличить угол поворота стрелы, а самосвалы вынуждены двигаться по тупиковой схеме. При работе экскаваторов с механической лопатой во фронтальном тупиковом забое также высок угол поворота стрелы, а сами экскаваторы вынуждены часто перемещаться.

При добыче угля открытым способом широко используются материальные ресурсы (вода) и энергоресурсы (электроэнергия, нефтепродукты и т. д.). Расход материалов и энергоресурсов на тонну товарного угля и, как следствие, количество выбросов, сбросов и образующихся отходов зависят от принятой технологии производства и от горно-геологических условий месторождения. В связи с этим удельные расходные показатели по материалам и энергоресурсам (на тонну угля) различаются в несколько раз (табл. 1.12).

Таблица 1.12. Расход сырья, материалов и энергоресурсов при добыче угля открытым способом⁵⁰

Наименование	Единицы измерений	Расход на 1 т продукции	
		минимальный	максимальный
Электроэнергия	кВт·ч/т	0,4	28,4
Свежая вода	м³/т	0,005	0,06
Топливо	т. у.т./т	0,0002	0,005

⁵⁰ ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля.

Обогащение угля

Важным показателем, определяющим приоритетную схему обогащения угля (рис. 1.7), является его обогатимость, которая характеризует способность добытого угля к разделению на продукты различного качества. Показатель обогатимости рассчитывают как отношение выхода фракций промежуточного продукта (промпродукта) к выходу беспородной массы (концентрата) по результату процесса обогащения. К промпродукту относят фракции плотностью от 1400–1500 до 1800 кг/м³ для каменного угля и 1800–2000 кг/м³ для антрацитов. В зависимости от значения показателя обогатимости каменные угли и антрациты делят на четыре категории: от легкой (показатель обогатимости < 5%) до очень трудной (показатель обогатимости > 15%)⁵¹.

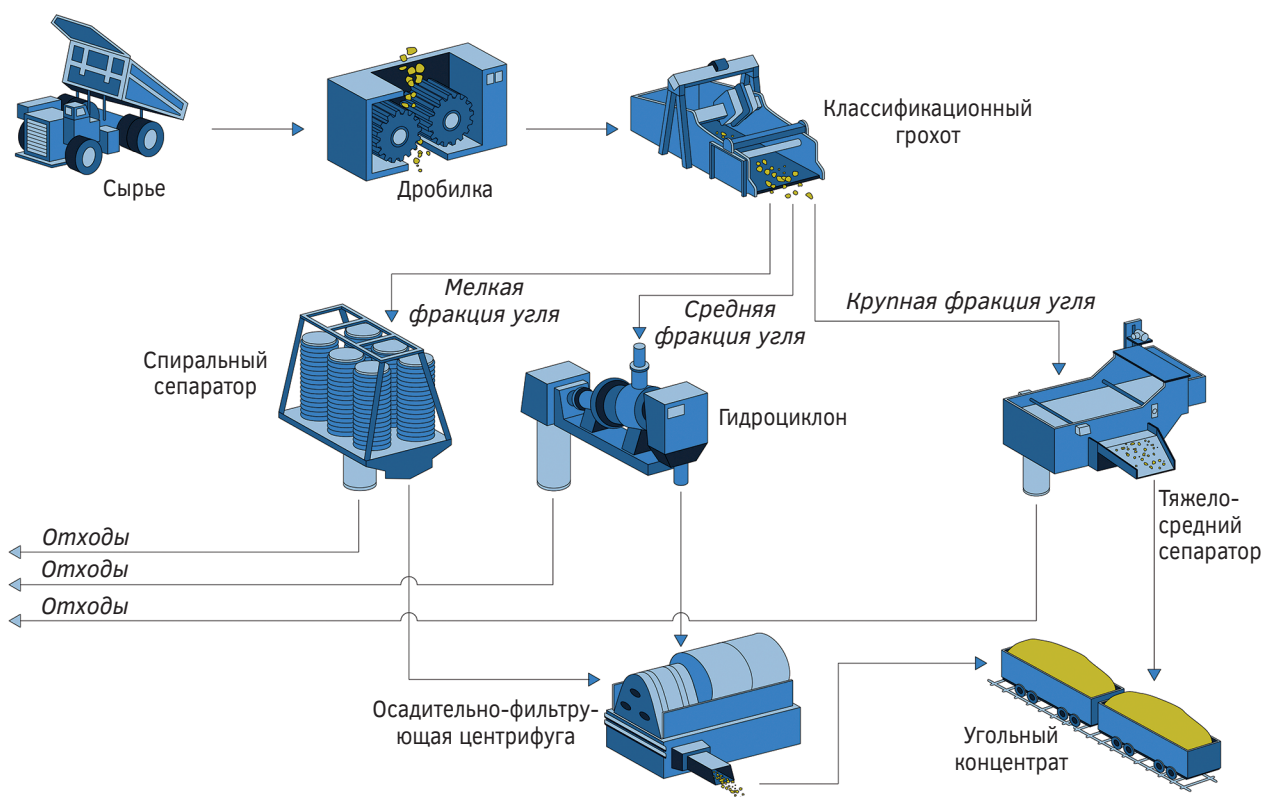


Рис. 1.7. Общая схема технологического процесса обогащения угля⁵²

В зависимости от обогатимости угля, добытого на определенном месторождении, применяют различные методы обогащения (табл. 1.13).

Гравитационное обогащение сухим способом применяется в редких случаях, поскольку оно пригодно лишь при обогащении легкообогатимого угля с крупностью кусков не более 80 мм, при этом образуются большие объемы пыли, которую необходимо улавливать. Применение сухого обогащения целесообразно лишь по отношению к углю с содержанием внешней влаги 3–5%, иначе потребуются подсушка. Даже в таких условиях при сухом обогащении наблюдается низкая эффективность по сравнению с мокрым процессом.

⁵¹ ГОСТ 10100–75. Угли каменные и антрацит. Метод определения обогатимости.

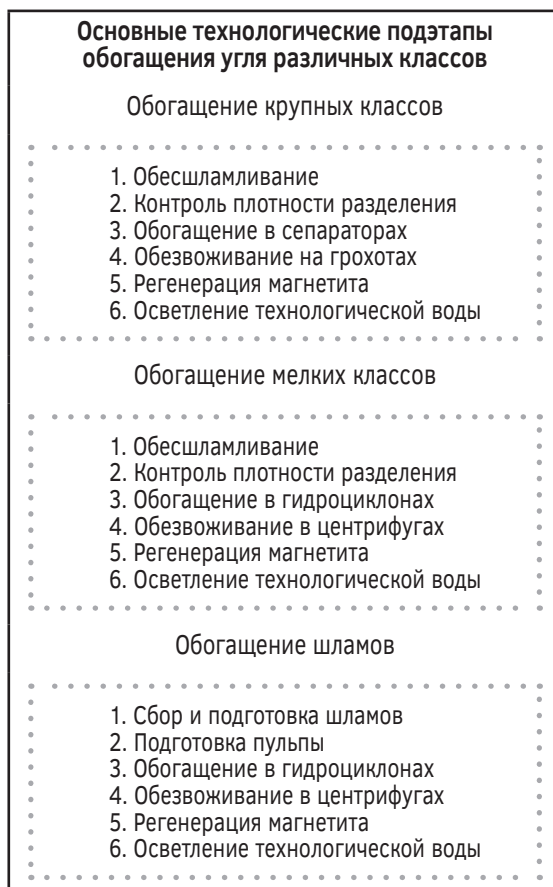
⁵² Там же.

Таблица 1.13. Основные способы обогащения угля и их применимость⁵³

Способ обогащения	Применимость способа
Гравитационное обогащение сухим способом	Легкообогащаемый уголь с малой крупностью кусков (до 80 мм) и 3–5% внешней влаги
Гравитационное обогащение мокрым способом	Все виды угля
Отсадка	Легкообогащаемый уголь
Обогащение в тяжелых средах	Труднообогащаемый уголь
Флотация	Угольный шлам (< 0,5 мм)

Мокрые гравитационное обогащение является наиболее универсальным и широко распространенным способом. Отсадка применяется преимущественно для легкообогащаемого угля, а обогащение в тяжелых средах — для труднообогащаемого.

Флотация применяется исключительно для обогащения угольных шламов (например, подрешеточного продукта) — мелкодисперсных частиц с крупностью обычно менее 0,5 мм. Электрическая сепарация и прочие методы применяются крайне редко.

Рис. 1.8. Основные технологические подэтапы обогащения угля различных классов крупности⁵⁴

⁵³ ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля.

⁵⁴ Там же.

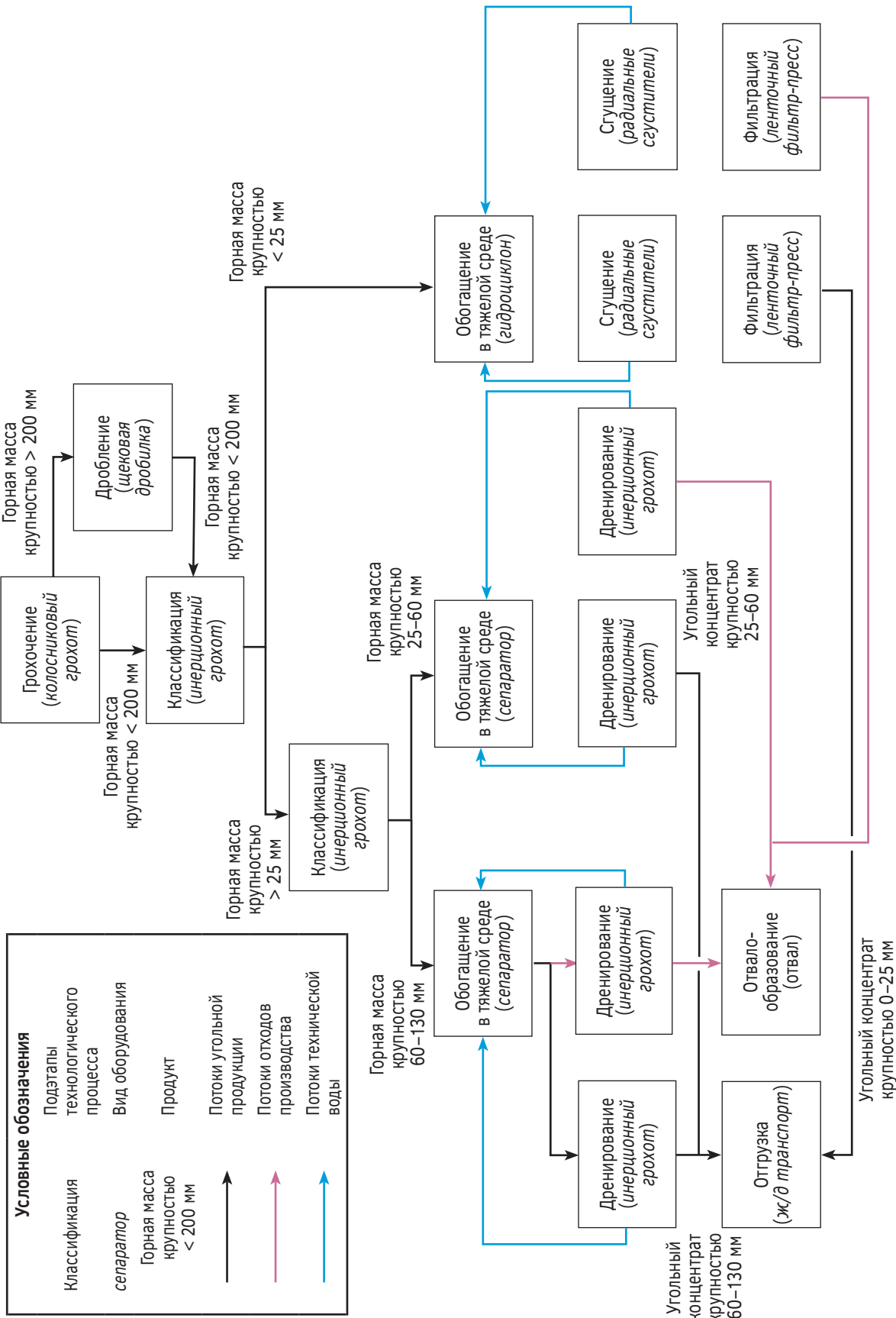


Рис. 1.9. Типовая схема потоков угля, отходов производства и технической воды по подэтапам технологического процесса
Источник: ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля.

Таблица 1.14. Основные этапы обогащения угля⁵⁵

№	Этап процесса (подпроцесс)	Основное технологическое оборудование
1	Прием угля	Устройства для передвижки вагонов, вагоноопрокидыватели, рыхлители, железоотделители, погрузчики
2	Подготовительные процессы	Питатели, дробилки, классификаторы, грохоты, дуговые сита
2.1	Дробление	Дробилки, железоотделители
2.2	Сортировка сырья по крупности	Классификаторы, грохоты
2.2.1	Грохочение ⁵⁶	Грохоты
2.2.2	Классификация	Классификаторы, грохоты
2.2.3	Обесшламливание угля	Дуговые сита, грохоты
3	Гравитационное обогащение	Сепараторы, отсадочные машины, концентрационные столы, шлюзы, желоба, насосы, гидроциклоны
3.1	Обогащение в тяжелых средах	Тяжелосредные сепараторы, тяжелосредные гидроциклоны, насосы
3.2	Обогащение отсадкой (не применяется для шламов)	Отсадочные машины, насосы
3.3	Обогащение в наклонно текущем потоке	Концентрационные столы, шлюзы, желоба, винтовые сепараторы, насосы, сепараторы противоточные
3.4	Сухое обогащение	Сепараторы, отсадочные машины
4	Флотация (только для шламов)	Флотационные машины, насосы, станция приготовления флокулянтов
5	Электрическая сепарация (только для шламов)	Электростатические, коронные, диэлектрические, трибоадгезионные, комбинированные сепараторы
6	Специальные методы обогащения	Амальгаматоры, сита, магнитные и термомангнитные сепараторы, аэросуспензионные сепараторы, рентгенометрические сепараторы, сепараторы обогащения по форме, трению и объемной прочности и т. д.
7	Обезвоживание, сгущение, сушка	Бункеры, грохоты, элеваторы, центрифуги, фильтры, сушильные аппараты, насосы
7.1	Дренаживание	Грохоты, элеваторы
7.2	Центрифугирование	Центрифуги
7.3	Сгущение	Отстойники
7.4	Фильтрация	Фильтр-прессы, вакуум-фильтры, гипербар-фильтры
7.5	Сушка	Барабанные сушилки, трубы-сушилки, прочие сушилки
8	Брикетиrowание	Прессы (ударные, валковые, вальцовые, шнековые), экструдеры, гомонезаторы, конвейеры, дозаторы, мешалки, сушильный аппарат, бункеры, грохоты, питатели, насосы
9	Складирование и отгрузка угля	Штабелеукладчики, дробилки, погрузчики, грохоты, экструдеры, конвейеры, толкатели, питатели, весы
10	Природоохранные технологии	Пылеулавливающие установки, водно-шламовое хозяйство, отстойники, установки для хлорирования воды, биоокислительные каналы, нефтеловушки, отвалообразователи, автосамосвалы, бульдозеры, погрузчики, конвейеры
10.1	Предотвращение загрязнения атмосферного воздуха	Пылеулавливающие установки
10.2.1	Осветление оборотных вод	Водно-шламовое хозяйство
10.2.2	Очистка сточных вод	Отстойники, установки для хлорирования воды, биоокислительные каналы, нефтеловушки
10.3	Обращение с отходами производства	Отвалообразователи, автосамосвалы, бульдозеры, погрузчики, конвейеры

⁵⁵ ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля.⁵⁶ Грохочение также применяется на последующих этапах технологического процесса для обезвоживания и подготовки угольного концентрата к отгрузке.

При обогащении угля любым способом используются энергоресурсы (электроэнергия, нефтепродукты и т. д.). При обогащении угля самым распространенным способом — гравитационным мокрым — используется вода. Большая часть воды, используемой при обогащении угля мокрым гравитационным способом, циркулирует по замкнутой схеме с возвратом в технологический процесс. В связи с этим забор свежей воды на обогащение угля удается сократить в несколько раз. Кроме того, при обогащении зачастую применяются различные материалы — технические жидкости, магнетит, флокулянты, коагулянты и т. д.

Расход материалов и энергоресурсов на тонну угольного концентрата и, как следствие, количество выбросов, сбросов и образующихся отходов зависят не только от принципиальной технологической схемы производства, но и от сложности обогащения углей, поэтому удельные расходные показатели по материалам и энергоресурсам (на тонну угольного концентрата) различаются в несколько раз (табл. 1.15).

Таблица 1.15. Расход сырья, материалов и энергоресурсов⁵⁷

Наименование	Единицы измерений	Расход на 1 т продукции	
		минимальный	максимальный
Электроэнергия	кВт·ч/т	3,2	19,3
Свежая вода	м³/т	0,001	0,2
Оборотная вода	м³/т	0,2	6,8
Потребление топлива (твердого)	т у. т./т	0,001	0,02
Потребление пара	Гкал/т	0,002	16

СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ

Сравнение технологий добычи угля по технологическим циклам

Для сравнения технологий добычи угля по технологическим циклам необходимо определить показатели, пригодные для сравнения согласно соответствующим условиям:

- актуальность на протяжении всех технологических циклов развития угольной промышленности;
- наличие сопоставимых статистических данных за рассматриваемый период.

В качестве наиболее распространенных критериев, характеризующих угольную промышленность, можно выделить: ресурсоемкость, энергоемкость, экологичность, трудоемкость. Учитывая изменение используемых ресурсов в течение истории, критерий ресурсоемкости не пригоден для сравнения технологий добычи угля на всех технологических циклах. Экологичность и энергоемкость добычи угля не отражены статистическими данными за продолжительный период времени, что также не позволяет использовать их для сравнения. Поэтому сравнение технологий различных технологических циклов развития угольной промышленности производилось по критерию трудоемкости, причем для сравнения применялся показатель среднеотраслевой производительности труда (отношение объема добычи угля к численности занятых в отрасли).

Наличие статистического ряда данных позволило провести сравнение среднеотраслевой производительности труда в добыче угля России и СССР с 1890 г., который относится

⁵⁷ ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля.

к третьему технологическому циклу в принятой классификации. Удельное значение добычи на одного работника угольной отрасли в тот период находилось в диапазоне 55–162 т/чел. Рост удельной добычи был связан с активным развитием и внедрением механизированного оборудования, что положительно отразилось на трудоемкости процесса добычи и транспортировки угля на поверхность из горных выработок. Технологическая оснащенность в период первого и второго технологических циклов развития угольной промышленности позволяет предположить прямую зависимость производительности труда от уровня механизации добычи угля. Как следствие, трудоемкость добычи в период до 1890 года была выше.

Активное развитие электрооборудования и рост объемов добычи угля открытым способом позволили увеличить производительность труда в четвертом технологическом цикле до уровня 303–896 т/чел.

Снижение производительности в начале пятого технологического цикла до 336 т/чел. в 1995 г. связано с увеличением доли убыточных предприятий. Последующая реструктуризация отрасли, наряду с расширением открытой добычи, позволила увеличить производительность до 2691 т/чел. в 2017 г. Таким образом, средняя производительность в течение прошедшего периода пятого технологического цикла увеличилась в 2,4 раза по сравнению с четвертым технологическим циклом и в 13 раз по сравнению с рассмотренным периодом третьего технологического цикла.

На рис. 1.10 представлены объемы добычи угля и показатель производительности труда в рамках технологических циклов развития отрасли.



Рис. 1.10. Объемы добычи угля и показатель производительности труда в рамках технологических циклов развития отрасли⁵⁸

⁵⁸ Составлено по данным: Уголь: Об отрасли. — URL: <https://minenergo.gov.ru/node/433> (дата обращения: 29.10.2019); Грунь В. Д. История угледобычи в России.

Сравнение применяемых технологий добычи угля

Сравнение применяемых в настоящее время технологий целесообразно производить по основным показателям ресурсосбережения и энергоэффективности, так как данные показатели относятся к важнейшим задачам развития современных технологий. Добыча угля осуществляется подземным (шахтным) или открытым (на карьерах) способом в зависимости от глубины залегания породы.

Открытый способ добычи угля используется преимущественно при глубине залегания породы до 100–150 метров. На участке месторождения механизированным способом снимается верхний слой почвы (вскрышные породы), после чего производится дробление породы при помощи горного оборудования (главным образом, экскаваторов) или буровзрывным способом. Открытый способ добычи не предполагает строительства шахты, что определяет ряд преимуществ по сравнению с подземным способом добычи:

- добыча угля открытым способом характеризуется меньшей продолжительностью подготовительных работ, что позволяет быстрее выйти на проектную мощность и требует меньше капитальных затрат;
- используемая при проведении добычи угля открытым способом техника обладает более высокими показателями производительности, так как нет ограничений по размерам и маневренности;
- открытые горные выработки характеризуются большей безопасностью и лучшими условиями труда по сравнению с добычей угля на шахтах;
- на разрезах осуществляется обычно более полная выемка угля, чем на шахтах.

Подземный способ добычи применяется при значительной глубине залегания пластов угля. До места залегания угля прокладывают вертикальные и (или) горизонтальные стволы, которые формируют шахту. Уголь при помощи выемочного комбайна дробится и по конвейерной системе доставляется до подъемников. По причине больших затрат на строительство и эксплуатацию шахты подземный способ применяется преимущественно для добычи угля коксующихся марок.

К преимуществам добычи угля подземным способом относятся меньшее негативное воздействие, оказываемое на окружающую природную среду, по сравнению с открытой добычей, главным образом, за счет меньшей площади нарушенных земель, но более высокими удельными показателями расхода электроэнергии по сравнению с добычей угля открытым способом (рис. 1.11–1.12).

Добыча угля открытым способом получает все большее развитие, объемы добытого этим способом угля растут. Однако естественным ограничением применения открытого способа добычи служат горно-геологические условия, связанные с мощностью и глубиной залегания угольных пластов. Кроме того, добыча угля открытым способом отличается большим удельным расходом топлива (в основном, за счет моторного топлива) в сравнении с подземным способом.

Эффективность открытого способа добычи угля в конкретных случаях определяется величиной коэффициента вскрыши (отношение массы (объема) вскрышной породы к массе добываемого угля). В зависимости от значения коэффициента проводится оценка возможности разработки месторождения открытым способом, определение целесообразной глубины разреза, расчет необходимого количества техники и оборудования на время работы разреза, планирование себестоимости добываемого угля⁵⁹.

⁵⁹ Технология добычи минерально-сырьевых ресурсов. — Тверь, 2012.

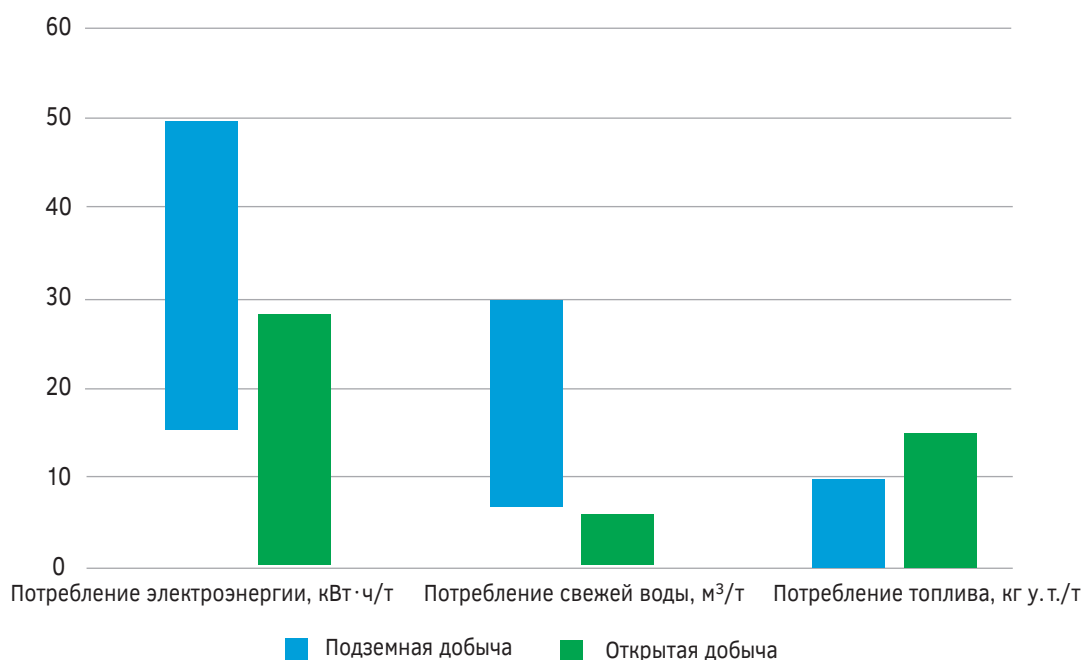


Рис. 1.11. Сравнение технологий

Источник: ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля.

Сравнение негативного воздействия добычи угля открытым и подземным способами на окружающую среду проводилось на основании маркерных показателей, отобранных на основании критериев определения наилучших доступных технологий (НДТ) информационно-технического справочника по добыче и обогащению угля⁶⁰.

Согласно Федеральному закону⁶¹ термин «наилучшие доступные технологии» — это технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения.

Для определения маркерных веществ из перечня выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и сбросов загрязняющих веществ в водные объекты при добыче и обогащении угля в ИТС-37 приняты следующие критерии маркерных веществ:

- вещество оказывает негативное воздействие на окружающую среду;
- вещество характерно исключительно для рассматриваемого технологического процесса;
- вещество присутствует в эмиссиях в значительном количестве и на подавляющем большинстве рассматриваемых предприятий.

В табл. 1.16, 1.17 представлено сравнение удельных показателей выбросов и сбросов маркерных веществ по технологиям добычи и обогащения угля, а также технологический показатель для технологий, относящихся к перечню НДТ. Эти данные показывают, что при добыче угля открытым способом выбросы пыли и сбросы загрязняющих веществ существенно выше, чем при добыче подземным способом.

⁶⁰ ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля.

⁶¹ Федеральный закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды», ст. 1.

Таблица 1.16. Сравнение выбросов маркерных веществ в атмосферу при добыче и обогащении угля⁶²

Вид деятельности	Маркерное вещество	Удельный объем и/или масса выбросов загрязняющих веществ после очистки, г/т	Технологический показатель НДТ, г/т*
Добыча угля подземным способом	Пыль неорганическая	0,001–106,0	≤ 85,0
Добыча угля открытым способом	Пыль неорганическая	14,5–897,0	≤ 598,0
Обогащение угля	Пыль неорганическая	0,6–35,0	≤ 23,3
Обогащение угля**	Пыль неорганическая	0–216,0	≤ 144,0

* Показатель для добычи указан на тонну добытого угля, для обогащения — на тонну обогащенного угля.

** Для предприятий, осуществляющих термическую сушку угля.

Таблица 1.17. Сравнение сбросов маркерных веществ в водные объекты при добыче угля⁶³

Вид деятельности	Маркерное вещество (показатель)	Удельный объем и/или масса выбросов загрязняющих веществ после очистки, г/т	Технологический показатель НДТ, г/т*
Добыча угля подземным способом	Кислотность воды	–	5,5–9 pH
	Взвешенные вещества	3,1–147,0	≤ 98,0
	Железо	0–3,5	≤ 2,3
	Нефть и нефтепродукты	0–1,0	≤ 0,7
Добыча угля открытым способом	Кислотность воды	–	5,5–9 pH
	Взвешенные вещества	0–429,9	≤ 286,6
	Железо	0–38,4	≤ 25,7
	Нефть и нефтепродукты	0–1,1	≤ 0,7

* Показатели указаны на тонну добытого угля.

Таблица 1.18. Образование вскрышных и вмещающих отходов при добыче угля⁶⁴

Вид деятельности	Наименование	Класс опасности	Единицы измерения	Объем и/или масса образования отходов до очистки в расчете на тонну продукции
Добыча угля подземным способом	Вмещающие породы	V	кг/т	2,9–307,4
Добыча угля открытым способом	Вскрышные породы и отходы добычи угля	IV–V	т/т	1,9–34,4

⁶² ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля.

⁶³ Там же.

⁶⁴ Там же.

Наибольшие удельные показатели образования отходов при добыче угля приходится на вмещающие породы при подземной добыче и вскрышные породы и отходы добычи угля при открытой добыче угля (табл. 1.18). Данные отходы являются наименее опасными видами отходов: они относятся к IV–V классам опасности (практически неопасные отходы).

К остальным видам отходов, формирующихся при добыче угля, относятся: лампы ртутные, ртутно-кварцевые, люминесцентные (относятся к I (наивысшему) классу опасности), аккумуляторы и кислота аккумуляторная (II класс опасности), отходы масел и нефтепродуктов (III класс опасности), а также оргтехника, зола и шлак (образуются при сжигании угля в котельных и при электросварке), отходы систем водоснабжения и водоочистки, резина и пластмассы, коммунальные отходы, металлолом, которые относятся к малоопасным и наименее опасным классам отходов.

Утилизация опасных отходов практически во всех случаях угледобывающими предприятиями не осуществляется, эти отходы передаются для утилизации и захоронения специализированным организациям. Кроме того, эти виды отходов не являются специфичными для угольной отрасли: они формируются во многих других отраслях промышленности и экономической деятельности.

Отходы малоопасного и наименее опасного классов также в большинстве своем не являются специфичными для угольной отрасли. Например, зола и шлак образуются в процессе сжигания твердого топлива в котельных, металлолом — в процессе ремонта оборудования и т. д. В качестве специфичных отходов рассматриваются вмещающие породы.

При этом объемы образования отходов загрязняющих веществ на тонну угля различаются в несколько раз, а нередко на 2–3 порядка, что обусловлено как используемыми технологиями производства, так и горно-геологическими условиями месторождений. В силу этого выбор каких-либо видов отходов для установления технологических показателей невозможен⁶⁵.

Прочими факторами негативного воздействия на окружающую среду от добычи угля подземным способом являются шум и вибрация. Шумовое воздействие осуществляется многочисленными видами оборудования: буровыми установками, выемочно-погрузочной техникой, транспортными средствами и т. д. Вибрационное воздействие связано с работой комбайнов, буровых установок и другого горношахтного оборудования. Снижение шумового воздействия обеспечивается применением глушителей шума, шумоизоляции, беруш и противошумных наушников, а также путем ограничения времени пребывания в условиях высокого шума. Снижение вибрационного воздействия обеспечивается средствами виброзащиты⁶⁶.

РОЛЬ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ГЛОБАЛЬНОЙ ЭКОНОМИКЕ

Уголь применяется в различных областях промышленности: его используют для получения электрической энергии (энергетический уголь), как сырье для металлургической (коксующийся уголь) и химической промышленности (углехимия), производства графита, извлечения редких и рассеянных элементов. Широкое распространение угля стало возможно благодаря низкой себестоимости и значительными запасами по сравнению с другими источниками энергии. По данным Международного энергетического агентства, в период 2000–2017 гг. доля угля в мировой структуре производства электроэнергии находилась в диапазоне 38–41%.

Промышленную добычу угля в мире осуществляют более 60 стран, однако 90,0% объема мировой угледобычи приходится на долю 10 стран (рис. 1.12), крупнейшими из которых являются Китай, Индия, США и Австралия. Россия занимает 6-е место по добыче угля в мире.

⁶⁵ Там же.

⁶⁶ Там же.

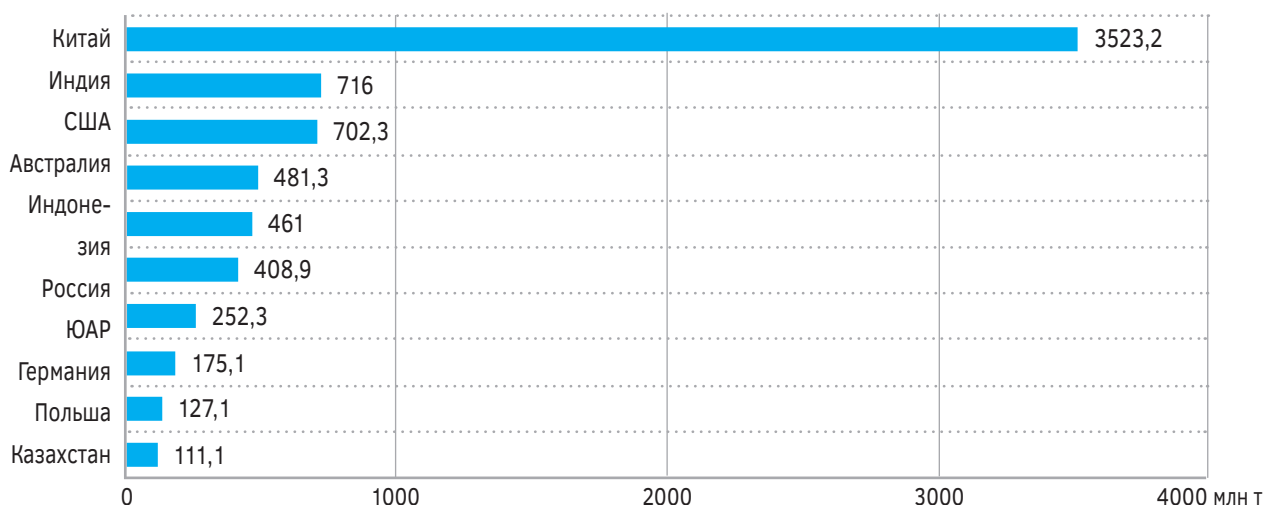


Рис. 1.12. Производство угля крупнейшими странами-углепроизводителями в 2017 г.⁶⁷

Наиболее активное развитие угольная отрасль получила на протяжении последних 20 лет, в течение которых в большинстве стран отмечен существенный рост добычи угля: наибольший темп роста зафиксирован в Индонезии (более 10 раз), в Китае (в 2,5 раза), в Австралии и Индии (более чем в 2 раза), в России (в 1,5 раза), а также в ЮАР и Казахстане (в 1,2 раза)⁶⁸. Ряд крупнейших производителей сократили добычу угля: США и Германия — почти на 30%, Польша — на 65%. Причины падения угледобычи в США связаны с началом промышленной добычи сланцевого газа, в результате которой большая часть предприятий электроэнергетики отказалась от использования угля и перешла на газовое топливо. Германия и Польша вынуждены сокращать объемы производства под давлением экологической политики национальных правительств и Евросоюза, которая предполагает сокращение вредных выбросов от сжигания угля с целью защиты окружающей среды. Учитывая высокую роль угля в энергетике этих стран (в Польше до последнего времени более 90% электроэнергии производилось на угольных ТЭС), сокращение угледобычи негативно сказывается на состоянии их экономики.

Мировая угледобыча достигла пика к 2013 г., когда объем добытого угля составил 8270,9 млн т (3978,9 т н. э.)⁶⁹. В период 2013–2017 гг. добыча угля начала постепенно снижаться: в 2017 г. объем мировой добычи составил уже 7727,3 млн т (93,4% от уровня 2013 г.). Данная тенденция отмечена практически во всех регионах мира, за исключением Южной Америки и Африки, где за этот период производство даже несколько выросло.

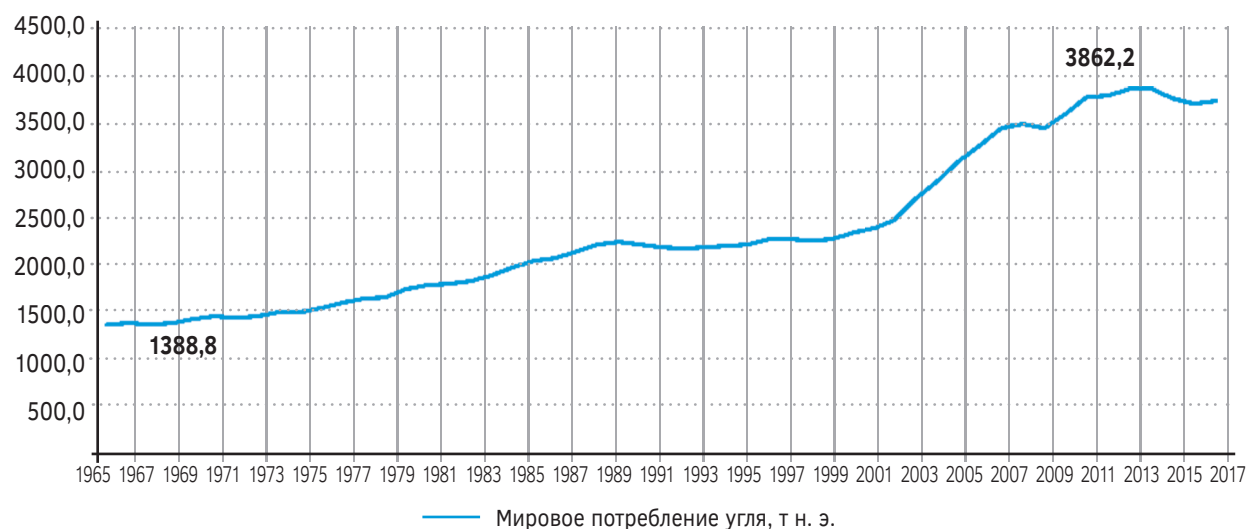
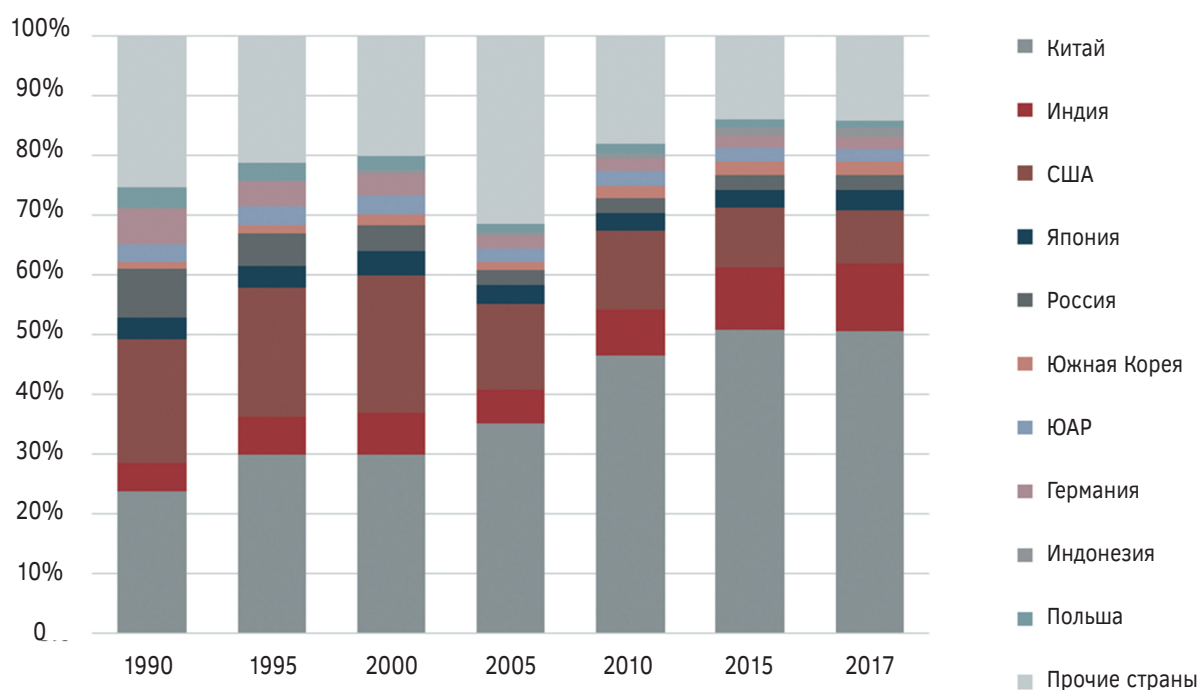
Лидером потребления угля является Китай, на долю которого приходится более половины мирового потребления. Всего на долю первой десятки крупнейших углепотребителей приходится более 85% объема мирового потребления. Россия занимает пятое место в мире по объему потребления угля.

Потребление угля в Индии, Японии, Республике Корея, Индонезии продолжает расти. Сокращается потребление угля в Германии, Польше и других странах ЕС (рис. 1.14).

⁶⁷ По данным ФГБУ «ЦДУ ТЭК» (Уголь России и мира: производство, потребление, экспорт, импорт. — URL: http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/5/499/) и Statistical Review of World Energy — all data, 1965–2017 (2018. — URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>).

⁶⁸ http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/5/499/

⁶⁹ <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-coal.pdf>

Рис. 1.13. Динамика мирового потребления угля⁷⁰Рис. 1.14. Доля потребления угля крупнейших стран-потребителей в мировом потреблении, %⁷¹

В России производство угля на протяжении последних лет возрастает, главным образом, за счет роста спроса на российскую угольную продукцию на мировом рынке. При этом потребление угля внутри страны сократилось в два раза за период 1990–2017 гг.

⁷⁰ Statistical Review of World Energy — all data, 1965–2017. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (accessed: 04.10.2019).

⁷¹ Уголь России и мира: производство, потребление, экспорт, импорт. — URL: http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/5/499/ (дата обращения: 04.10.2019).

Доля мировых поставок угля составляет около 15% от объема его добычи, что свидетельствует о том, что большинство добываемого угля используется угледобывающими странами для собственных нужд. Однако крупнейшие экспортеры угля, к которым относятся Австралия, Индонезия, Россия, Колумбия (их экспорт обеспечивает более 80% мировых поставок), продолжают наращивать поставки.

Доля России в мировом экспорте угля в 2017 г. составила около 18%, при этом экспортные поставки угля за период 1995–2018 гг. увеличились более, чем в 6 раз (с 30 до 199 млн т). Особенностью российского экспорта угля является удаленность основных месторождений от морских портов и стран-потребителей, что обуславливает значительную долю транспортной составляющей в цене угля, а это, в свою очередь, негативно сказывается на конкурентоспособности на мировом рынке.

К крупнейшим странам-импортерам угля относятся Китай и Индия (рис. 1.15), которые также являются крупнейшими производителями угля. Столь высокий спрос на уголь в этих странах связан с высокими темпами роста экономики и значительной долей угля в энергобалансе. Многие другие страны — импортеры угля сконцентрированы в Азиатско-Тихоокеанском регионе (рис. 1.15), что делает его основным и наиболее перспективным рынком. Развитие угольных портов Дальнего Востока, а также Восточного полигона ОАО «РЖД» способствует снижению транспортных издержек, что увеличивает потенциал дальнейшего развития экспортных поставок из России.



Рис. 1.15. Структура мирового импорта угля в 2017 г., %⁷²

⁷² Уголь России и мира: производство, потребление, экспорт, импорт. — URL: http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/5/499/ (дата обращения: 04.10.2019).

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

Развитие технологий в угольной промышленности России, которые могут привести к повышению производительности труда в отрасли, можно подразделить на проекты в следующих областях:

- геологоразведка;
- добыча;
- переработка;
- транспортировка;
- повышение технологической и экологической безопасности;
- добыча, переработка и утилизация шахтного метана⁷³.

Инновационные технологии в области геологоразведки

В области геологоразведки новые научно-технические решения направлены на разработку методов, повышающих точность определения параметров залегания угольных пластов. В настоящее время существует ряд проектов, которые поэтапно до 2030 г. должны «выйти» на стадию эксплуатации. К ним относятся:

- внедрение лазерных аналитических технологий и использование улучшенного моделирования для повышения точности датчиков;
- использование лазерных технологий при разработке переносных ручных приборов для химического экспресс-анализа на месте;
- разработка скважинных радаров для измерения параметров во время бурения;
- развитие геофизического моделирования для улучшения программного моделирования и планирования добычи;
- развитие методов обнаружения, визуализации, интерполяции, моделирования и прогноза геологических аномалий приборами, размещающимися перед рабочим органом горного оборудования и др.;
- развитие методов виртуального сопоставления геологической информации.

Инновационные технологии добычи угля

Развитие инновационных технологий в области добычи угля направлено главным образом на:

- циклично-поточные технологии, которые предполагают применение поточного (непрерывно действующего) конвейерного транспорта для перемещения горных пород в технологическом потоке в сочетании с циклическими буровзрывными работами и циклично действующими одноковшовыми экскаваторами (или погрузчиками) в забое, осуществляющими выемку и погрузку взорванной горной массы на конвейер или (чаще) в бункер дробилки или грохота;
- поточные технологии, которые отличаются полным совмещением во времени рабочих процессов и операций по добыче (извлечению) и непрерывной выдачей полезного ископаемого в течение времени, предусмотренного экономически обоснованным режимом работы;
- роботизированные технологии, которые предполагают использование в поточных технологиях полностью автоматизированного оборудования;
- скважинные технологии извлечения угля (включая его газификацию и гидролизацию), которые предполагают создание подземного газогенератора путем формирования

⁷³ Плакиткина Л. С. Интенсификация инновационного процесса в угольной промышленности России // Горная промышленность. — 2011. — № 3 (97). — С. 4. — URL: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/126> (дата обращения: 04.01.2019).

сбоечного канала между скважинами или приведение угля в подвижное состояние путем гидромеханического воздействия на пласт и выдачи его в виде гидросмеси на поверхность⁷⁴;

- селективные технологии, которые предполагают раздельное извлечение угля разной сортности и пустых пород;
- гидрозабойка и гидрогелевая забойка. В качестве материалов для гидрозабойки обычно применяется вода, в зимний период при открытой добыче угля возможно также применять водные растворы солей NaCl и CaCl₂ или снежно-ледяную смесь. Для уменьшения пылевыведения при массовых взрывах может применяться забойка скважин гидрогелем. Гидрогель изготавливают на специальном заправочном пункте или непосредственно в баках машины, предназначенной для заполнения скважин гидрогелем.

К перспективным технологиям в области транспортировки угля относится дальнейшая электрификация транспорта, что позволит сократить выбросы загрязняющих веществ от работы двигателя внутреннего сгорания и повысить безопасность горных выработок.

Некоторые передовые технологии в области добычи угля уже начали реализовываться в отдельных российских компаниях по добыче угля. Примеры такого применения:

- Технология отработки «нераспачкованных» пластов с глубиной залегания более 300 м применена на разрезе «Восточный» в Кузбассе (ХК «СДС-Уголь»). Данная технология предполагает более полную отработку пластов и внутреннее отвалообразование, что позволяет сохранить сельскохозяйственные земли.
- Поточная технология с полной конвейеризацией транспорта добытого угля при наклонном падении угольных пластов и отработке вскрышных пород внедрена на разрезе «Восточный».
- Технологии открыто-подземной добычи угля при отсутствии людей в очистных забоях внедряются на разрезе «Распадский».
- Проект «Умный разрез», реализуемый ХК «СДС-Уголь» на разрезе «Первомайский» на участке Соколовского месторождения Кемеровской области, уже введен в эксплуатацию. К особенностям технологии относятся рекультивация земли в течение всего времени работы предприятия и транспортировка угля и породы конвейерно-ленточным способом.

Добыча, переработка и утилизация метана

В России 70% шахт относятся к метаноопасным шахтам III категории, сверхкатегорийным и выбросоопасным⁷⁵. При этом, по данным АО «Газпром промгаз», прогнозные ресурсы метана в основных угольных бассейнах России оцениваются в 83,7 трлн м³, что соответствует примерно трети прогнозных ресурсов природного газа страны. Значительные запасы газа и потенциал повышения безопасности добычи угля определяют важность развития извлечения и переработки метана, содержащегося в угольных пластах. Следует отметить, что в 2011 г. метан угольных пластов был признан в России самостоятельным полезным ископаемым и внесен в Общероссийский классификатор полезных ископаемых и подземных вод⁷⁶. К высокоперспективным относятся Кузнецкий (13,1 трлн м³) и Печорский

⁷⁴ Плакиткина Л. С. Интенсификация инновационного процесса в угольной промышленности России.

⁷⁵ Кудинов Е. В. Проект добычи метана из угольных пластов в Кузбассе. Круглый стол: Дегазация, добыча и утилизация метана угольных месторождений. Российская энергетическая неделя. Устойчивая энергетика меняющегося мира [электронная презентация]. — 34 с. — URL: https://minenergo.gov.ru/sites/default/files/10/25/12815/4_2_2_Degazaciya_dobycha_i_utilizaciya_metana_ugolnyh_mestorozhdeniyKudinov_doklad_na_Ross_energ_nedele_04_10_18.pdf (дата обращения: 04.01.2019).

⁷⁶ Приказ от 22 ноября 2011 года № 570-ст «О принятии и введении в действие Изменения 1/2011 ОКПИПВ к Общероссийскому классификатору полезных ископаемых и подземных вод ОК 032–2002» / Минпромторг России. Росстандарт. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/902318425> (дата обращения: 04.01.2019).

(1,9 трлн м³) угольные бассейны, в которых осуществляется попутная и промышленная добыча метана⁷⁷. Однако большинство проектов извлечения метана из угольных пластов характеризуются низкой экономической эффективностью. Разработка более рентабельных технологий извлечения метана может значительно увеличить потенциал данного направления.

На настоящий момент существует три направления извлечения метана из угольных пластов:

- дегазация угольных шахт с последующей утилизацией метана;
- добыча метана вне действующих или проектируемых шахт путем бурения с поверхности специальных скважин с применением искусственных способов повышения газопроницаемости угольных пластов (это направление является перспективным методом получения газа с высоким (75–95%) стабильным содержанием метана для широкого применения в народном хозяйстве);
- добыча метана из закрытых шахт.

Дегазация связана с необходимостью обеспечения безопасности труда шахтеров, снижения аварийности в угольных шахтах. Впоследствии к этим причинам добавились задачи повышения экологичности угледобычи и возможность использования получаемого при дегазации угольного метана⁷⁸. В рамках этой технологии метан разной концентрации является попутным полезным ископаемым.

Для совершенствования способов заблаговременного извлечения метана и угольных пластов ведутся работы в следующих основных направлениях:

- совершенствование технологии воздействия в режиме кавитации, которое включает выбор и разработку рабочих агентов и режимов воздействия, обеспечивающих реализацию механизма самоподдерживающегося разрушения угля в широком диапазоне горно-геологических условий;
- гидровоздействие вспенивающимися жидкостями с подачей в пласт в определенном режиме выбранных солей и кислот с обеспечением термодинамических условий, способствующих бурному выделению углекислого газа;
- поэтапная гидродинамическая обработка угольных пластов, использующая эффект набухания угля во время гидровоздействия;
- обработка угольных пластов с использованием эффекта гидроудара⁷⁹.

Основной задачей развития технологий интенсификации газоотдачи угольных пластов является установление эффективной связи ствола добывающей скважины с природной системой трещин в угольном пласте, обеспечивающей интенсивный приток метана к скважине. В настоящее время получили распространение следующие методы воздействия на пласты:

- гидравлический разрыв пластов;
- метод кавернообразования в необсаженном стволе скважины;
- бурение горизонтальных, наклонно-направленных и многозабойных скважин;
- закачка в угольные пласты диоксида углерода и азота.

В России для развития данного направления был создан научный полигон по отработке технологии добычи метана из угольных пластов и состоялся запуск первого метаноугольного промысла.

Технологии угледобычи обладают значительным потенциалом повышения производительности, сокращения трудоемкости производства, повышения рентабельности отрасли, минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Следует понимать, что для развития технологий угольной отрасли потребуются значительные инвестиции, а также комплекс мер государственной поддержки.

⁷⁷ Пармузин П. Н. Зарубежный и отечественный опыт освоения ресурсов метана угольных пластов : монография. — Ухта : УГТУ, 2017. — URL: <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-zarubezhnyy-i-otechestvennyy-opyt-osvoeniya-resursov-metana-ugolnyh-plastov.pdf> (дата обращения: 04.01.2019).

⁷⁸ Пармузин П. Н. Зарубежный и отечественный опыт освоения ресурсов метана угольных пластов.

⁷⁹ Там же.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Васючков, Ю. Ф. Горное дело : учеб. для учащихся горн. техникумов / Ю. Ф. Васючков. — М. : Недра, 1990. — 512 с. — (Среднетехническое образование).
2. Введение в специальность. Основы экономики топливно-энергетического комплекса : учеб. пособие / Н. Д. Рогалев, А. Г. Зубкова, В. Я. Пейсахович, О. А. Лыкова, Д. Г. Шувалова ; МЭИ. — М. : Изд. дом МЭИ, 2009. — 160 с.
3. Германия // Горная энциклопедия [сайт]. — URL: <http://www.mining-enc.ru/g/germaniya/> (дата обращения: 04.10.2019). — Загл. с экрана.
4. Глазьев, С. Ю. О стратегии развития экономики России : науч. докл. / С. Ю. Глазьев, В. В. Ивантер, В. Л. Макаров [и др.] ; под ред. С. Ю. Глазьева. — М. : ООИ РАН, 2011. — 48 с. — Препринт. — URL: http://russian-greens.ru/docs/dokl_new_economic_strategy.pdf (дата обращения: 04.01.2019).
5. ГОСТ 10100–75. Угли каменные и антрацит. Метод определения обогатимости. — Введ. 1976–01–01. — М. : Изд-во стандартов, 2004. — 45 с.
6. ГОСТ 1186–2014. Угли каменные. Метод определения пластометрических показателей. — Введ. 2016–04–01. — М. : Стандартиформ, 2015. — 18 с.
7. ГОСТ 19242–73. Угли бурые, каменные и антрацит. Классификация по размеру кусков, с изменениями. — Введ. 1975–01–01. — М. : Изд-во стандартов, [2002]. — 2 с.
8. ГОСТ 25543–2013. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по генетическим и технологическим параметрам, с изменениями. — Введ. 2015–01–01. — М. : Стандартиформ, 2016. — 22 с.
9. Грунь, В. Д. История угледобычи в России / В. Д. Грунь, В. Е. Зайденварг, В. Г. Килимник, Ю. Н. Малышев ; под общ. ред. Б. Ф. Братченко. — М. : [ЗАО «Росинформуголь»], 2003. — 480 с.
10. Губанов, В. А. Этапы развития угольной промышленности: технико-технологический аспект / В. А. Губанов // Экономика. Право. Менеджмент. — 2014. — Вып. 2 (2). — URL: <http://izdatelstvo.bgu.ru/epm/dl.ashx?id=1396> (дата обращения: 04.01.2019).
11. Игошев, Б. М. История технических инноваций : учеб. пособие для школьников / Б. М. Игошев, А. П. Усольцев ; Урал. гос. пед. ун-т. — Екатеринбург, 2012. — 237 с.
12. История Германии : учеб. пособие : в 3 т. / под общ. ред. Б. Бонвеча, Ю. В. Галактионова. — М. : КДУ, 2008. — Т. 2 : От создания Германской империи до начала XXI века / А. М. Бетмакаев, Т. А. Бяликова, Ю. В. Галактионов [и др.] ; отв. ред. Ю. В. Галактионов ; сост. науч.-справ. аппарата А. А. Мить. — М. : КДУ, 2008. — 672 с. — URL: <https://history.wikireading.ru/156841> (дата обращения: 04.01.2019).
13. ИТС 37–2017. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча и обогащение угля. — М. : Бюро НДТ, 2017. — 294 с. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/556173717> (дата обращения: 04.01.2019).
14. Котурницкий, П. В. Паровые машины / П. Котурницкий // Энциклопедический словарь : в 86 т. / изд.: Ф. А. Брокгауз, И. А. Ефрон. — СПб., 1890–1907. — Т. XXII^А (44) : Оуэн — Патент о поединках. — СПб. : Типо-литогр. И. А. Ефрона, 1897. — С. 862–874.
15. Кудинов, Е. В. Проект добычи метана из угольных пластов в Кузбассе. Круглый стол: Дегазация, добыча и утилизация метана угольных месторождений. Российская энергетическая неделя. Устойчивая энергетика меняющегося мира [электронная презентация] / Е. В. Кудинов ; ООО «Газпром добыча Кузнецк». — 34 с. — URL: https://minenergo.gov.ru/sites/default/files/10/25/12815/4_2_2_Degazaciya_dobycha_i_utilizaciya_metana_ugolnyh_mestorozhdeniyKudinov_doklad_na_Ross_energ_nedele_04_10_18.pdf (дата обращения: 04.01.2019). — Загл. с экрана.
16. Пармузин, П. Н. Зарубежный и отечественный опыт освоения ресурсов метана угольных пластов : монография / П. Н. Пармузин ; УГТУ. — Ухта : УГТУ, 2017. — 109 с. — URL: <http://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-zarubezhnyy-i-otechestvennyy-opyt-osvoeniya-resursov-metana-ugolnyh-plastov.pdf> (дата обращения: 04.01.2019).
17. Плакиткина, Л. С. Интенсификация инновационного процесса в угольной промышленности России / Л. С. Плакиткина // Горная промышленность. — 2011. — № 3 (97). — С. 4. — URL: <https://mining-media.ru/ru/article/newtech/126> (дата обращения: 04.01.2019).
18. Приказ от 22 ноября 2011 года № 570–ст «О принятии и введении в действие Изменения 1/2011 ОКПИПВ к Общероссийскому классификатору полезных ископаемых и подземных вод ОК 032–2002» / Минпромторг России. Росстандарт. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/902318425> (дата обращения: 04.01.2019).
19. Рашевский, В. В. Качество углей ОАО «СУЭК» / В. В. Рашевский, В. Б. Артемьев, С. А. Силютин ; Сиб. угол. энергет. компания (СУЭК). — М. : Кучково поле, 2011. — 574 с. — (Серия «Библиотека горного инженера» ; т. 5, кн. 1).
20. Технология добычи минерально-сырьевых ресурсов : метод. разработка к расчетно-граф. работе для студ., обучающихся по спец. 280402 «Природоохранное обустройство территорий» : в составе учебно-методического комплекса / сост.: В. А. Беляков, А. Н. Болтушкин, О. С. Мисников ; Тверской гос. техн. ун-т, Каф. ГТП. —

- Тверь : ТвГТУ, 2011. — (УМК-М). — URL: <http://lib.tstu.tver.ru> (дата обращения: 05.01.2019).
21. Технология добычи минерально-сырьевых ресурсов / Федеральное агентство по образованию, Тверской гос. техн. ун-т. — Тверь, 2012.
22. Уголь России и мира: производство, потребление, экспорт, импорт / ЦДУ ТЭК. — 2018. — URL: http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/5/499/ (дата обращения: 04.10.2019). — Загл. с экрана.
23. Угольная промышленность // Горная энциклопедия [сайт]. — URL: <http://www.mining-enc.ru/u/ugolnaya-promyshlennost> (дата обращения: 04.01.2019). — Загл. с экрана.
24. Чернова, В. Э. Актуальность энергосбережения. Государственная политика в области повышения эффективности использования энергии : учеб. пособие / В. Э. Чернова, Т. В. Шмулевич ; СПбГТУРП. — СПб., 2014. — 68 с. — URL: <http://www.nizrp.narod.ru/metod/kaffiniuch/5.pdf> (дата обращения: 04.10.2019).
25. Энергетика: история, настоящее и будущее : в 4 т. — Киев, 2005–2010. — Т. 1 : От огня и воды к электричеству / В. И. Бондаренко, Г. Б. Варламов, И. А. Вольчин [и др.]. — Киев : Изд. дом «АДЕФ-Украина», 2005. — 304 с.
26. Statistical Review of World Energy — all data, 1965–2017 // BP p. l. c. [Official website]. — 2018. — URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (accessed: 04.01.2019). — Screen heading.