

Рис. 7–115. Внешний вид нагревательного индукционного муфеля из конструкционного графитированного материала и теплоизоляции из графитированного углеродного войлока [7–157]

ствуется ликвидации: брака за счет отклонений отдельных параметров от заданных интервалов, подгаров изделий и выделений на их поверхности продуктов испарения углерода. Данное обстоятельство особенно важно для графитации полуфабриката на сажевой основе.

В результате выполненной работы доказана возможность графитации таких блоков при времени: нагревания 4 ч, выдержке при температуре 2800°C 2 ч и времени охлаждения 5 ч (суммарное время 11 ч). Длина зон нагревания l_n и охлаждения $l_{охл}$ (рис. 7–116) 1560 и 1300 мм соответственно. Количество контейнеров в зоне нагревания и выдержки 6, в зоне охлаждения 2.

При нагревании и выдержке при заданной температуре 6 контейнеров затраты электроэнергии, потребляемой индуктором от машинного генератора, составили 1941,6 кВтч. Учитывая дополнительные расходы на привод машинного генератора и реактивные потери, которые равны примерно 30% от мощности машинного генератора, суммарные затраты установки составили 2524 кВтч. Следовательно, удельный расход находится в пределах 14–15 кВтч/кг графитируемых блоков.

7.13. Непрерывная графитация

Среди всех технологических процессов производства порошковых углеграфитовых материалов условия труда при работе на описанных

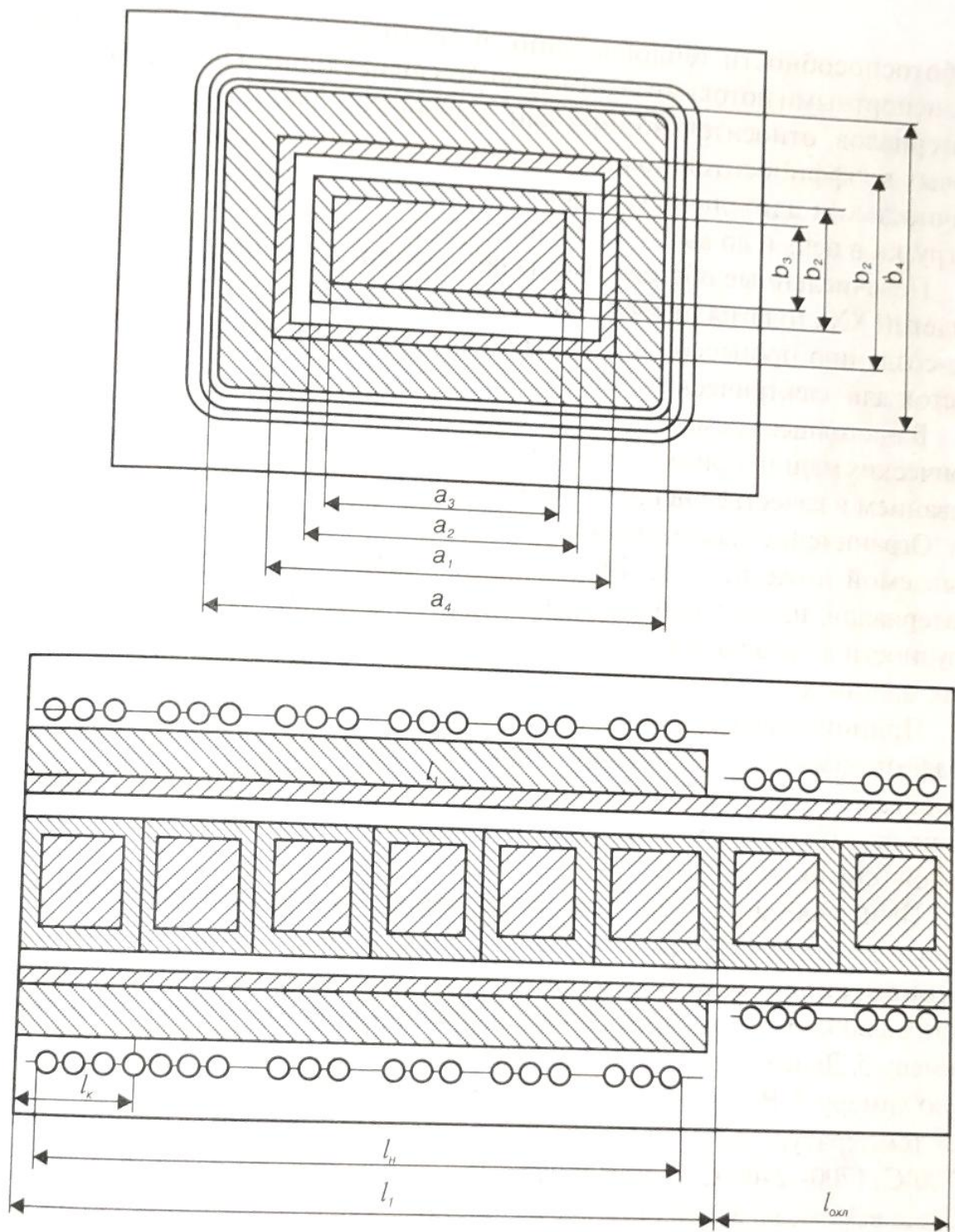


Рис. 7-116. Проходной индуктор для подогрева; графитации и охлаждения графитируемых заготовок для электродов [7-157]

выше печах графитации с прямым нагреванием загруженной в печь продукции за счет протекания через заготовки электрического тока представляются наиболее сложными. Это обстоятельство связано: с необходимостью применения высоких температур вплоть до 3000°C , их неравномерным распределением в объеме зерна печи, выделениями реакционно-активных летучих и газов, которые способны к нарушению

работоспособности теплоизоляции и вентиляции печей, большими транспортными потоками сыпучих теплоизолирующих и пересыпочных материалов, относительно низкими значениями электрических и тепловых коэффициентов полезного действия печных установок, периодичностью и длительностью протекания графитации заготовок от их загрузки в печь и до выгрузки из нее.

Перечисленные обстоятельства обусловили в течение многих десятилетий XX столетия проведение с весьма скромным результатом работ по созданию процессов и печей непрерывной графитации заготовок щеток для электрических машин.

В настоящее время для графитации полуфабриката для щеток электрических машин применяется печь непрерывной графитации с использованием в качестве внешнего нагревателя графитированного материала. Ограничение максимальной температуры нагревания щеток в описываемой ниже печи до 2400°C делает невозможным производство материалов, изготовленных на высокотемпературном пеке и вызывает трудности в наладке коммутации щеток на основе сажи на электрических машинах.

Принципиальная схема этой печи, показанная на рис. 7—117, имеет графитированные нагреватели, передающие тепло графитируемым заготовкам с помощью конвекции и лучеиспускания. Нагреватели состоят из отдельных синхронно передвигающихся, контактирующих между собой плиток 1.

Печь работает в атмосфере азота, непрерывно подаваемого в ее рабочую зону под небольшим избыточным давлением. Блоки для графитации периодически перемещаются в контейнерах 2 на графитовых направляющих с помощью механизма 3 и попадают из питателя 4 в форкамеру 5. Далее толкателем 6 контейнеры передвигаются в нагревательную камеру 7. Режим нагревания регулируется тремя зонами, имеющими температурные интервалы: комнатная температура — 900°C , 900 — 1700°C , 1700 — 2400°C . В этой зоне размещаются графитированные трубки 13 для выброса в вентиляцию выделяющихся при графитации паров металлов, металлоидов и карбидов. После выдержки при этой температуре контейнеры поступают в камеру охлаждения 9. Из камеры охлаждения они передаются в форкамеру (шлюзовую камеру) 10 и выгружаются из печи. Нагревательные плитки передвигаются в направлении выгрузки заготовок и по мере их повреждения периодически заменяются на новые в начале камеры нагревания. Замена вызвана их пластической деформацией выше 2000°C и испарением материала, которое возрастает ~ на два порядка после превышения указанной температуры.

В целях уменьшения рабочих площадей некоторые варианты установок непрерывной графитации размещались вертикально, как это ча-

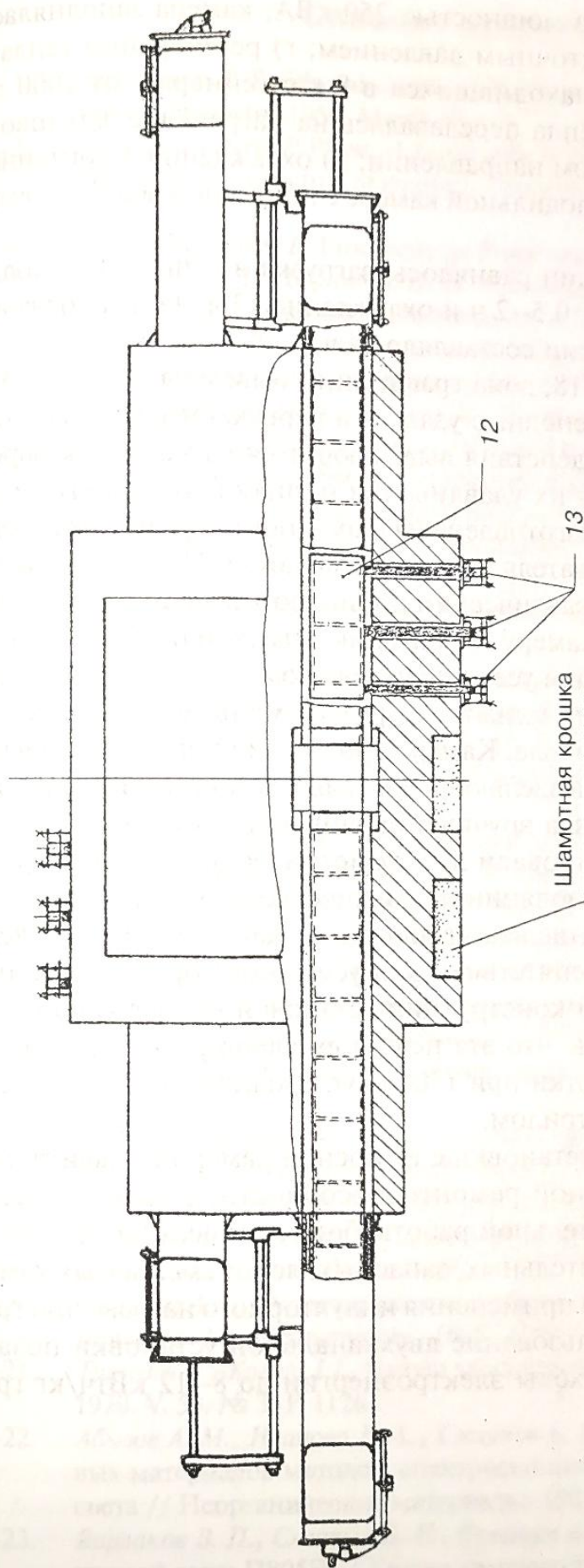


Рис. 7-118. Полупромышленная печь графитации непрерывного действия [7-159]:

1 — нагреватель; 2 — клапан безопасности; 3 — стол загрузки; 4 — стол выгрузки; 5 — рама опорная; 6 — гидроцилиндр; 7 — гидроцилиндр толкателя; 8 — холодильник; 9 — вентилятор жаропроchnый; 10 — электродвигатель; 11 — гидростанция; 12 — нагреватель нижний; 13 — электроды нагревателей

сто практикуется в строительстве электрических печей. Другим преимуществом указанного варианта конструкции является возможность продвижения графитируемых заготовок по каналу за счет гравитации. Этот вариант конструкции не нашел практического применения вследствие частого зависания (заклинивания) заготовок прямоугольного сечения в канале печи.

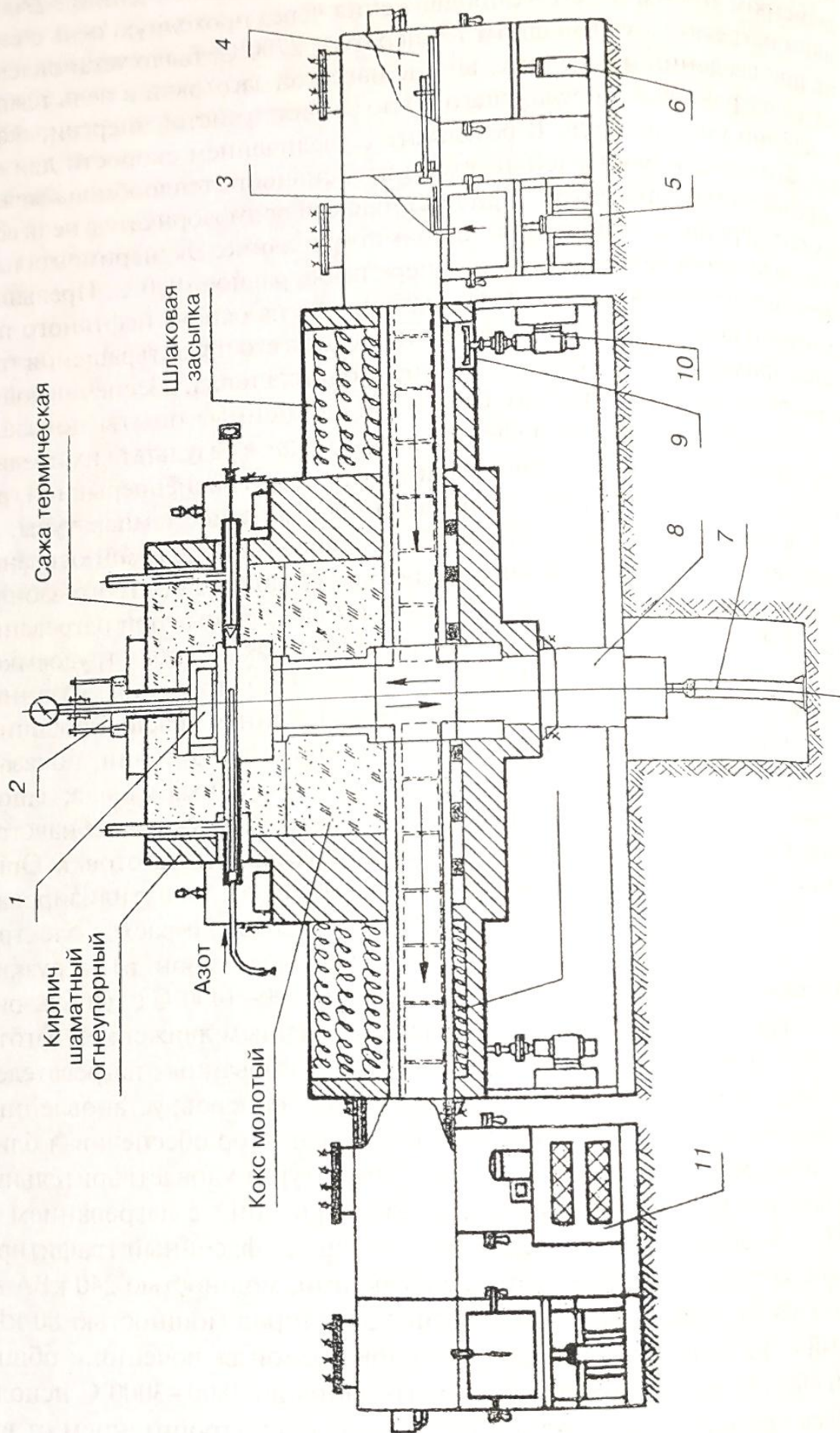
Описанная в разделе 7.11 установка индукторного стенда после ее отработки явилась основой для создания печи непрерывной графитации с проходным индуктором, показанным на рис. 7-116. Для теплоизоляции вместо графитированного войлока применялась ламповая сажа. Печь не была доведена до промышленного освоения вследствие недопустимо частого забивания трубок для выброса паров примесей. Кроме того, вследствие высокой газопроницаемости муфеля, выделяемые из заготовок пары примесей, заполняют стенки муфеля и делают его непригодным для применения. Этот общий недостаток печей непрерывной графитации не был преодолен вследствие отмеченных ранее высоких температур обратной конденсации выделяющихся из графитируемых материалов паров. Решением этой проблемы могло бы стать непроверенное в опытах применение галогенов (хлора или хлоро-фторсодержащих соединений), уменьшающее в основном до десятков градусов температуры обратной конденсации паров галоидов. Однако удельный расход электрической энергии до 20 кВтч / кг графитированных заготовок в печи этой конструкции может в условиях электроугольного производства привести к недопустимым экономическим затруднениям. К другим трудностям использования непрерывной графитации относятся необходимость сооружения специальной системы водоохлаждения печей с автоматическим контролем температуры воды, включая резервную систему и создание условий взрывобезопасности на случай проникновения в рабочие камеры кислорода воздуха и его возможного взаимодействия с выделяемым из изделий при графитации водородом. Это требует применения автоматизации управления движением контейнеров в печи, синхронным, обязательно одновременным открытием дверок загрузочных и разгрузочных камер печи, продувок камер нейтральным газом после загрузки и выгрузки заготовок из печи, автоматического регулирования температуры отдельных зон печных каналов.

Применение на электроугольных заводах спекания заготовок электрошесток с максимальной температурой до 800°C вызвало трещинообразование в них после их помещения в индукторную камеру графитации. Эти дефекты были устранены после предварительного нагревания заготовок до 1300°C в специальной камере подогрева на графитированных нагревателях, встроенной в печь с индукционным нагреванием.

А. П. Вощанкин, В. П. Перевезенцев и Л. В. Синельникова в работе [7-158] расчетным и экспериментальным путем показали изменение

температуры при графитации длинномерных заготовок длиной 2700 и диаметром 100 мм путем их продвижения через проходную печь с внешним нагревателем, имевшим температуру 2700°С. Было установлено, что при введении предварительно не нагретой заготовки в печь температура нагревателя, передающего тепло за счет лучистой энергии, скачкообразно уменьшается. В результате с увеличением скорости движения заготовки в печи уменьшается интенсивность теплообмена между нагревателем и заготовкой. При поступлении полуфабриката в печь возникают перепады температур по диаметру и длине. Экспериментально установлено предельное значение перепадов, равное 1000°С. Превышение этого значения для плотных материалов на основе нефтяного пирролизного кокса вызывает их разрушение. Для его предотвращения требуется применение дополнительного источника тепла, обеспечивающего нагревание заготовки до 1000°С. Выполненные опыты показали возможность ликвидации дефектов в заготовках в результате их предварительного нагревания в пристроенной к макету печи непрерывной графитации установки для подогрева до указанной выше температуры.

Как было показано ранее, наиболее сложной проблемой освоения печей непрерывной графитации является устранение быстрого забивания трубок, через которые из печи выходят выделяемые при нагревании выше 1800°С пары летучих. Их замена требует, как правило, трудоемкой разборки печи и неприемлема на практике. Для устранения указанных трудностей была разработана полупромышленная графитировочная печь непрерывного действия с выносной зоной графитации, показанная на рис. 7–118 [7–159]. Печь имела два проходных канала, заполненных азотом с небольшим избыточным давлением, в которых навстречу друг другу в контейнерах перемещались нагреваемые заготовки. Организация встречного движения контейнеров позволила утилизировать тепло охлаждаемых заготовок и уменьшить удельный расход электрической энергии при графитации. Печь состояла из зон: а) загрузки с шлюзованием в форкамере; б) подогрева до 1000–1400°С с использованием тепла, передаваемого из канала со встречным движением заготовок и от встроенных дополнительных графитированных нагревателей; одновременно на подогреве находилось 9 контейнеров; установленный внутри канала этой зоны жаропрочный вентилятор обеспечивал близкие к равномерным распределения температур и удовлетворительную передачу тепла встречному каналу; в) графитации с нагреванием до 2500°С, в которой размещался один контейнер; фасонный графитированный нагреватель в виде плиты с разрезами, мощностью 240 кВА запитывался от трех однофазных трансформаторов мощностью 80 кВА каждый с последовательно-параллельной схемой включения и общим током 4000 А; при необходимости нагревания до 2800–3000°С использовалось прямое индукционное нагревание с электропитанием от вы-



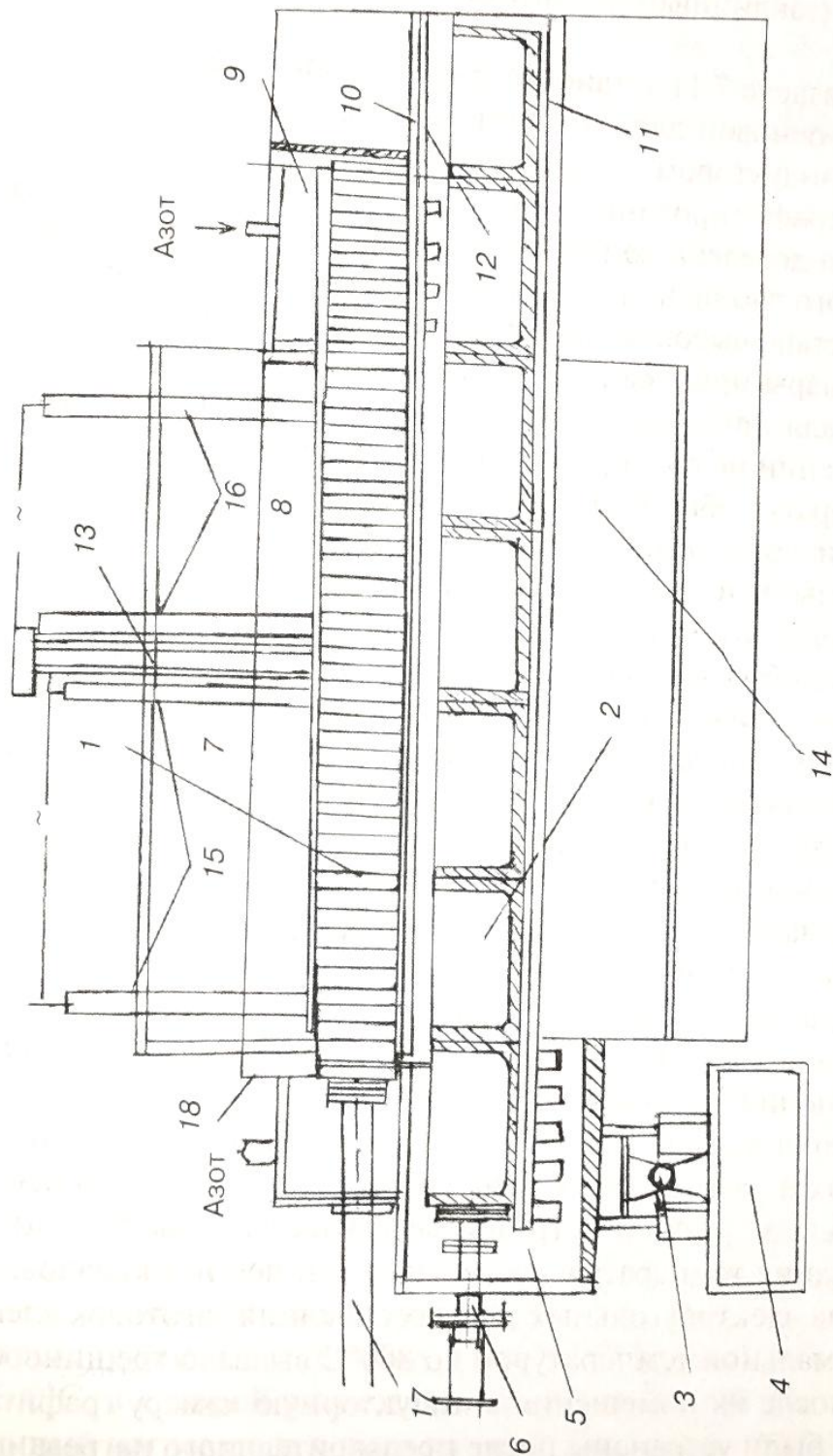


Рис. 7-117. Схема печи непрерывной графитации полуфабриката электродов с графитовыми нагревателями: 1 — нагревательные графитированные плитки; 2 — контейнеры с графитируемыми заготовками; 3 — механизм загрузки заготовок; 4 — питатель; 5 — форкамера; 6 — толкатель контейнеров; 7 — зона предварительного нагревания; 8 — зона графитации; 9 — камера охлаждения; 10 — камера выгрузки; 11 — стол выгрузки контейнеров; 12 — стол выгрузки нагревательных плиток; 13 — трубка для удаления летучих с камерой их конденсации; 14 — теплоизоляция; 15, 16 — электроды со скользящим контактом для подвода электрического тока к нагревательным плиткам; 17 — толкатель нагревательных плиток; 18 — питатель нагревательных плиток

сокочастотного генератора мощностью 250 кВА; камера заполнялась азотом с небольшим избыточным давлением; г) регенерации тепла с охлаждением заготовок, находившихся в 8 контейнерах, от 2000 до 1000°C. Основная часть тепла передавалась на нагревание заготовок, перемещаемых во встречном направлении; д) охлаждения 4 контейнеров от 1000°C до 250°C в холодильной камере с проточной водой; е) выгрузки с форкамерой.

Общее время графитации равнялось: загрузка в печь — 1 ч, подогрев — 10 ч, графитация — 0,5–2 ч и охлаждение 12 ч. Таким образом, суммарное время графитации составляло 24 ч.

Как видно из рис. 7–118, зона графитации выведена из печи. Это позволяет освободить ее основные узлы, и в первую очередь графитированные нагреватели, от действия выделяющихся из заготовок паров примесей, создать условия их улавливания и упростить ремонт печи. Камера графитации была изготовлена из шамотного кирпича, отделенного от графитового нагревателя термической сажей. После загрузки в нее одного контейнера гидравлическим цилиндром ее поднимали из канала. Для теплоизоляции камеру графитации отделяли от гидроцилиндра (подъемника) пустотелым усеченным конусом из графитированного материала, соединенным толкателем резко уменьшенного сечения из графитированного материала. Камеру продували горячим газом в устройство для улавливания выделяющихся зольных примесей, а при засорении подводящего канала вручную прочищали шомполом. Температуру нагревателя регулировали дилатометрическим термометром. Создание надежной теплоизоляции гидравлического подъемника камеры графитации и обеспечение изотермического теплового режима термообработки оказалось препятствием для успешного промышленного освоения рассматриваемой конструкции установки непрерывной графитации. Следует отметить, что эта печь нормально работала в целях механотермической обработки при 1700°C углеродного волокна из сополимера с полиакрилонитрилом.

К числу преимуществ установки с выносной камерой графитации, кроме ее удовлетворительной ремонтоспособности, следует отнести возможность ее продолжительной работы без остановки на ремонт за счет изготовления дополнительных, запасных, легко сменяемых камер графитации и возможности применения индукторного нагрева при графитации до 2800°C. Использование двухканальной установки позволяет довести удельные расходы электроэнергии до 8–12 кВтч/кг графитируемых заготовок.

Список литературы

- 7-1. *Braithwaite E. R.* Edward Goodrich Acheson. 1856–1931 // *J. of Royal Institute of chemistry.* 1956. March. P. 116.
- 7-2. *Debye P., Scherer P.* *Physical Zeitschrift.* 1916. В 17. S. 277; 1917. В 18. S. 291.
- 7-3. *Bernal D.* The structure of graphite. *Proceedings Royal society.* 1924. A 106. P. 749.
- 7-4. *Lipson H., Stokes R.* *Proceedings Royal society.* 1942. A 181. № 924. P. 121.
- 7-5. *Курдюмов А. В., Боримчук Н. И.* Механизм превращения ромбоэдрического графита в алмаз // *Доклады АН СССР.* 1987. Т. 187. С. 602.
- 7-6. *Курдюмов А. В., Пилянкевич А. Н.* Фазовые превращения в углероде и нитриде бора. Киев: Наукова думка. 1979. 188 с.
- 7-7. *Мельниченко В. М., Сладков А. М., Никулин Ю. Н.* Строение полимерного углерода // *Успехи химии.* 1982. Т. 60. В. 5. С. 736.
- 7-8. *Christu N., Fitzner E, Fritz B.* Graphitierungsgrad von Künstlichen Graphiten // *Berichte Deutscher Keramischer Gesellschaft.* 1964. Bd. 41. № 2. S. 143.
- 7-9. *Franklin R. E.* The interpretation of diffuse X-Ray diagrams of carbon // *Acta Crystallography.* 1950. V. 3. Pt. 2. P. 107.
- 7-10. *Franrlin R. E.* The structure of graphitic carbons // *Ibid.* 1951. V. 4. № 3. P. 253.
- 7-11. *Bacon G. E.* The interlayer spacing of graphite // *Ibid.* 1951. V. 4. Part 6. P. 558.
- 7-12. *Houska C. R. and Warren B. E.* X-Ray study of the graphitization of carbon black // *J. applied physics.* 1954. V. 25. P. 1503.
- 7-13. *Modern aspects of graphite technology,* ed. By Blackman L.C.F. Clivland, Qh: 1970. 320 p.
- 7-14. *Maire J. and Mering J.* The evolution of organization parameters during the graphitization of carbon. In: *The 1st conference on industrial carbon and graphite.* London: Soc.Chem. Ind, 1958. P. 204.
- 7-15. *Касаточкин В.И. и Каверов А.Т.* Кинетика и механизм гомогенной графитации углерода // *Доклады АН СССР.* 1957. № 5.
- 7-16. *Касаточкин В. И.* Некоторые вопросы исследования тонкой структуры ископаемых углей // *Известия АН СССР. Сер.хим.* 1951. № 9.
- 7-17. *Kesler F.M. and Vecerzikova V.* Rentgenometrische Studie dem Graphitierungsvorganges.
- 7-18. *Noda T., Inagaki M.* Analytical determination of carbon varieties in electrographitized carbon products by X-Ray diffraction method. In: *5th conference on carbon.* N.-Y: Pergamon Press, 1963. P. 84.
- 7-19. *Фиалков А. С.* Углерод, межслоевые соединения и композиты на его основе. М.: Аспект Пресс, 1997. 717 с.
- 7-20. *Фиалков А. С.* Формирование структуры и свойств углеграфитовых материалов. М.: Metallургия, 1965. 288 с.
- 7-21. *Tuinistra F., Koenig J.L.* Raman spectrum of graphite // *J. of Chem. Physic.* 1970. V. 53. № 3. P. 1126.
- 7-22. *Абызов А. М., Иванова Е. А., Смирнов Е. Н.* Исследование углеграфитовых материалов методом спектроскопии комбинационного рассеяния света // *Неорганические материалы.* 1987. Т. 23. № 10. С. 1664.
- 7-23. *Варлаков В. П., Смирнов Б. Н., Фиалков А. С.* Характеристика структуры печной сажи П805Э // *Химия твердого топлива.* 1982. № 4. С. 100.

- 7-24. *Fitzer E., Rozploch F.* Some remarks on Raman spectroscopy of carbon structures. – High Temperatures – High Pressures. 1988. V. 20. P. 449.
- 7-25. *Wang A., Dhamelincourt P., Dubessy J. et al.* Characterization of graphite alteration in uranium deposit by micro-Raman spectroscopy, X-Ray diffraction transmission electron microscopy and scanning electron microscopy // Carbon. 1989. V. 27. № 2. P. 209.
- 7-26. *Vidano R. P., Fishbach D. B., Willis L. J. and Loehr T. M.* Observation of Raman band shifting with excitation wave length for carbons and graphites // Solid state communications. 1981. V. 39. № 2. P. 341.
- 7-27. *Franklin R.* Crystalite growth in graphitizing and non-graphitizing carbons // Nature. 1956. № 4501. P. 239.
- 7-28. *Maire J., Mering J.* Graphitization of soft carbons. In: Chemistry and physics of carbon. Ed. by Walker P. N.-Y.: Marcel Dekker Inc., 1970. V. 6. P. 125.
- 7-29. *Гегузин Я. Ю.* Физика спекания. М.: Наука, 1967. 360 с.
- 7-30. *Джейл Ф. Х.* Полимерные монокристаллы. Л.: Химия, 1968.
- 7-31. *Pacaulte A.* The kinetics of graphitization. In: Chemistry and physics of carbon. Ed. By Walker P. N.-Y.: Marcel Dekker Inc., 1971. V. 7. P. 107.
- 7-32. *Fischbach D. B.* The kinetics and mechanism of graphitization // In: Chemistry and physics of carbon. Ed. by Walker P. N.-Y.: M. Dekker Inc., 1971. V. 7. P. 1.
- 7-33. *Bragg H., Dennis H., Baker L. Bhole N.* Graphitization: decomposition of C_xH . – In: 16th Biennial Conference on Carbon. Extended Abstracts and Program. American Carbon Comitee. 1983, July 18–22, San-Diego. California. P. 122.
- 7-34. *Ruland W. X.* Ray studies of the carbonization and graphitization of acenaphtilen and bifluorenil // Carbon. 1965. V. 2. № 4. P. 365.
- 7-35. *Feldman M. H., Goedel W. V., Gossen W.* Studies of self- diffusion in graphite using C^{14} tracer / J. of applied physic. 1952. V. 23. P. 1200.
- 7-36. *Касаточкин В. И. и Каверов А. Т.* Электрические свойства и структура переходных форм углерода // Доклады АН СССР. 1958. Т. 120. № 5. С. 1007.
- 7-37. *Фиалков А. С.* Углеродитовые материалы. М.: Энергия. 1979. 319 с.
- 7-38. *Фиалков А. С., Давидович Я. Г., Юрковский И. М.* О предпочтительной кристаллизации в углеродитовых материалах // Доклады АН СССР. 1966. Т. 166. № 1. С. 77.
- 7-39. *Whittaker M. P., Grinsdorf L.* The irreversible expansion of carbon bodies during graphitization // Carbon. 1969. V. 7. P. 615.
- 7-40. *Берти В., Джирели А.* Теоретическое и технологическое исследование по обессериванию легких нефтяных дистиллятов. IV международный нефтяной конгресс. Т. IV. Технология переработки нефти и сланцев. М.: Гостоптехиздат. 1956.
- 7-41. *Bourot X.* Thesis 3 éme cycle // Universite d'Orlean. 1982.
- 7-42. *Фиалков А. С., Гумилевская Г. П., Гринберг М. Б.* Об изменении в связующем в первой стадии спекания // Журнал прикладной химии. 1962. Т. 35. № 10. С. 2308.
- 7-43. *Loch L. D., Tucker K. M., Joo L. A.* Effect of coke- sizing on puffing characteristics of baked stock. In: 13th Bienial conference on carbon. Extended abstracts and program. American carbon comitee. 1977, July 18 – 22, Irvin, California. P. 193.

- 7-44. *Иванов А. И., Крылов В. Н.* Процессы удаления серы из нефтяного кокса при высоких температурах и его кинетика // Журнал прикладной химии. 1960. № 9.
- 7-45. *Красюков А. Ф.* Нефтяной кокс (производство, свойства). М.: Химия, 1966. 264 с.
- 7-46. *Селезнев А. Н.* Углеродистое сырье для электродной промышленности. М.: Информационно-издательский дом Профиздат. 255 с.
- 7-47. *Wajzer L., Jasienko S., Lukoszek J.* Pore volume and pore sizes in antracites formed by «puffing». In: 9th International Conference on Carbon. Baden-Baden, 1996. P. 166.
- 7-48. *Nelson B. and Riley D. P.* The thermal expansion of graphite from 15^o C to 800^o C. Part 1, experimental. Proceedings physical society. 1945. V. 57. № 324. P. 477.
- 7-49. *Walker P., Mc Kinstry H., Wright C.* X-Ray diffraction studies of graphitized carbon // Industrial engineering chemistry. 1953. № 8. P. 1714.
- 7-50. *Baskin G., Meyen L.* Lattice constants of graphite at low temperatures // Physical review. 1955. V. 100. № 2. P. 544.
- 7-51. *Bonijoly M., Oberlin M. and Oberlin A.* Comparison between progressive graphitization and phase changes graphitization (natural graphite formation). In: 15th Biennial conference on carbon. Extended Abstracts and Program. American Carbon Comitee, Philadelphia. 1981. P. 496.
- 7-52. *Griffiths D and Marsh H.* Phase contrast high resolution electron microscopy studies of structure in carbon and graphite // Proceedings of the 5th International carbon and graphite conference. Lond.: Society Chemical Industry. 1978. 18-21 Sept. V. 1. P. 3.
- 7-53. *Fishbach D. B. and Porabaugh M. E.* Magnetic susceptibility and kinetics of «graphitization» on glass-like carbons // Carbon. 1983. V. 21. № 4. P. 429.
- 7-54. *Касаточкин В. И., Замолуев В. К., Каверов А. Т.* Связь теплофизических свойств с атомно-молекулярной структурой углерода при гомогенной графитации // Атомная энергия. 1959. № 3.
- 7-55. *Kanter M.* The mechanism for atom motion in graphite crystals. In: Kinetics of high-temperature processes. N.-Y: Technology Press of Massachusetts institute of technology, 1958. P. 6164.
- 7-56. *Гегузин Я. Е., Лившиц И. М.* О механизме и кинетике залечивания изолированной поры в кристаллическом теле // Физика твердого тела. 1962. Т. 4. Вып. 5. С. 1326.
- 7-57. *Oberlin A., Terriere G.* Graphitization studies of soft carbons and antracites by electron microscopy. In: 11th Biennial conference on carbon. Extended Abstracts and Program. American Carbon comitee. Gatlinburg, Tennessy. 1973. P. 22.
- 7-58. *Hathhorne H. M.* The mechanics of stretch-graphitization of glassy carbon fibres // J. materials science. 1976. V. 311. P. 97.
- 7-59. *Варлаков В. П., Смирнов Б. Н., Агафонов М. В., Фиалков А. С.* Исследование структуры граничных слоев пеков и фенольных смол в зависимости от их толщины и от кривизны поверхности в композициях на основе техуглеродов // Коллоидный журнал. 1989. Т. 51. № 6. С. 1179.
- 7-60. *Варлаков В. П., Смирнов Б. Н., Агафонов М. В., Фиалков А. С.* Исследование зависимости толщины граничных слоев пека от температуры спе-

- кания в композиции на основе технического углерода // Коллоидный журнал. 1991. Т. 53. № 5. С. 812.
- 7-61. *Ban L. L., Crawford D., Marsh H.* Phase contrast electron microscopy study of structure in non-graphitizing PVD carbon heat treated to 2973 K. In: 1st International Baden-Baden Conference on carbon. 1974. P. 119.
- 7-62. *Buseck P., Huang Bo-Jun, Keller P.* Electron microscopy investigation of the structure of annealed carbons // Energy and fuels. 1987. V. 1. № 1. P. 105.
- 7-63. *Warren B. E.* X-Ray study of the graphitization of carbon black // Proceedings on first and second conference on carbon. Lond.: Pergamon press, 1955.
- 7-64. *Хоменко А. А., Ганкевич Л. Т., Шулепин Б. М. и др.* Влияние высоких давлений на графитацию коксов, обогащенных игольчатыми и сферолизовыми компонентами структуры // Известия АН СССР. Неорганические материалы. 1976. Т. 12. № 2. С. 125.
- 7-65. *Kakuta M., Kohriki M., Sanada Y.* Relationships between the characteristic of petroleum feedstock and the graphitizability of the petroleum cokes // J. of material science. 1980. V. 15. P. 1671.
- 7-66. *Steward E. G., Coock B. B.* Graphitization in oriented carbons // Zeitschrift crystallographie. 1960. B. 114. S. 245.
- 7-67. *Noda T., Inagaki M.* Heat treatment of carbon under various pressures // Nature. 1962. V. 196. № 4856. P. 772.
- 7-68. *Noda T., Inagaki M.* Heat treatment of carbon under various pressures. In: 6th Biennial conference on carbon. Extended Abstracts and Program. American carbon comitee. 1963. Pitsburg. III – 24. P. 1.
- 7-69. *Касаточкин В.И. и Финкельштейн Г.Б.* Гомогенная и гетерогенная графитация углерода // Доклады АН СССР. 1958. № 5.
- 7-70. *Hirt T. J. and Palmer H. B.* Carbon films from decomposition formation kinetics. In: 5th Biennial conference on carbon. Buffallo. Lond., N.-Y: Pergamon Press, 1963.
- 7-71. *Левинтович И. Я., Котосонов А. С., Остронов Б. Г. и др.* Влияние термоокислительной обработки коксопековых композиций на структуру графитированного материала // Химия твердого топлива. 1983. № 6. С. 124.
- 7-72. *Walker P., Imperial G. I.* Interlayer spacing of graphitic carbons // Nature. 1957. № 4596. P. 1184.
- 7-73. *Котосонов А. С., Винников В. А., Фролов В. И., Остронов В. Г.* Влияние механического давления при карбонизации органических полимеров на их графитируемость при высоких температурах // Доклады АН СССР. 1969. Т. 185. № 6. С. 1316.
- 7-74. *Inagaki M., Harada S., Sato S. at all.* Carbonization of polyimid film «картон» // Carbon. 1989. V. 27. № 2. P. 253.
- 7-75. *Yoshida R., Unima H., Mackawa G. at all.* Graphitization of coal-derived asphaltenes under a pressure of 1 GPa // High temperatures – High pressures. 1987. V. 19. P. 555.
- 7-76. *Непрошин Е. И., Островская Т. А., Сазонов Г. Г. и др.* Деформация частиц кокса в процессе термомеханической обработки // Конструкционные материалы на основе углерода. Сб. трудов НИИГРАФИТ. № 9. М.: Металлургия, 1974. С. 59.

- 7-77. Фяалков А. С., Смирнов Б. Н., Рабинович С. М. Возникновение полос деформации при нагружении высокотемпературного пироуглерода // Доклады АН СССР. 1976. Т. 225. № 4. С. 387.
- 7-78. Boder H., Fitzer E. Effect of hot pressing on the structure of carbon artifacts // Carbon. 1970. V. 8. P. 453.
- 7-79. Noda T., Kato H. Heat treatment of carbon under high pressure // Carbon. 1968. V. 6. № 2. P. 125.
- 7-80. Kamia K., Inagaki M., Saito H., Noda T. Effect of pressure on graphitization of carbon. VII. Effect of pre-heat treatment on graphitization of carbon under high-pressure // Bulletin chemical society of Japan. 1970. V. 43. № 3. P. 926.
- 7-81. Lin Dinghao. A discussion of saving electric expense by using an additive for the graphitizing process. In: 16th Biennial conference on carbon. Extended Abstracts and program. American Carbon Comitee, San Diego, California, 1883. July 18-22. P. 124.
- 7-82. Marsh H., Warburton A. Catalysis of graphitization // J. applied chem. 1970. V. 20. № 5. P. 133.
- 7-83. Noda T. Graphitization of carbon under high pressure // Carbon. 1968. V. 6. № 2. P. 125.
- 7-84. Кольцова Н. А., Мельник А. Н., Ершов В. А., Степанова Л. В. Рентгено-структурные характеристики углеродных материалов в процессе получения карбида кальция // Журнал прикладной химии. 1987. № 6. С. 1221.
- 7-85. Oberlin A., Rouchy J.P. Transformation des carbones non graphitables par treatment thermique on presence de fer // Carbon. 1971. V. 9. № 1. P. 39.
- 7-86. Лопато Ю. С., Перевезенцев В. П., Хакимова Д. К. и др. Каталитическая графитация углерода // Известия АН СССР. Неорганические материалы. 1973. Т. 9. № 10. С. 1708.
- 7-87. Оуа А., Yutaka A. and Оtani S. Catalytic graphitization of phenolic resin carbon by finely-divided nickel // Fuel. 1980. V. 59. № 8. P. 595.
- 7-88. Костиков В. И., Непрошин Е. И., Островская Т.А. и др. Исследование жидкофазной графитации стеклоуглерода в присутствии насыщенного углеродом расплава Ni - C // Коллоидный журнал. 1978. Т. 60. № 3. С. 451.
- 7-89. Городецкий А. Е., Евко Э. И., Захаров А. П. Кристаллизация аморфного углерода движущимися частицами никеля // Физика твердого тела. 1976. Т. 18. № 2. С. 619.
- 7-90. Marsh H., Crawford D. and Taylor D. W. Catalytic graphitization by iron of isotropic carbon from polyfurfuryl alcogol, 725-1090 K. A high resolution electron microscope study // Carbon. 1983. V. 21. № 1. P. 81.
- 7-91. Оуа А., Оtany S. Catalytic graphitization of carbons by various metals // Carbon, 1979. V. 17. P. 131.
- 7-92. White J.L, Price R.J. Hot working of graphite for graphite matrix nuclear fuels // Carbon, 1965. V. 2. № 4. P. 327.
- 7-93. Непрошин Е. И., Островская Т. А., Перцов А. В. и др. Исследование взаимодействия стеклоуглерода с расплавом Zr - C эвтектического состава // Коллоидный журнал. 1974. Т. 36. № 5. С. 883.
- 7-94. Демин А.В., Ракчеева В.И., Перкова Г.А., Шипков Н.Н. Новый класс искусственных графитов // Цветные металлы. 1970. № 4. С. 61.

- 7-95. *Hagio T., Matsushita Y., Kobayashi K.* Effect of hot-pressing temperature on sintered polycrystalline graphite made from pitch coke with B_2O_3 addition // 13th biennial conference on carbon. Extended abstracts and program. 1977. July 18-22. Irvin, California. P. 326.
- 7-96. *Kobayashi K., Hagio T., Miyazaki K., Honda H.* Effect of boron carbide addition on some properties of hot-pressed polycrystalline graphite made from coke powder // *Ibid.* P. 324.
- 7-97. *Hagio T., Ogawa I., Kobayashi K.* Effect of boron addition on some properties of hard-type carbons // *J. materials science.* 1986. V. 21. P. 4147.
- 7-98. *Lowell C. E.* Solid solution of boron in graphite // *J. American ceramic society.* 1967. V. 50. № 3. P. 142.
- 7-99. *Miyazaki K., Hagio T., Kobayashi K.* Graphite and boron carbide composites made by hot - pressing - *material science.* 1981. V. 16. P. 752.
- 7-100. *Hagio T., Matsushita Y., Kobayashi K., Honda N.* Effect of hot-pressing temperature on sintered polycrystalline graphite made from pitch with B_2O_3 addition. In: 13th Biennial Conference on carbon. Extended Abstracts and program. 1977. July 18-22. Irvin, California. P. 326.
- 7-101. *Hagio T., Nakamiso M and Kobayashi K.* Thermal conductivities and Raman spectra of boron doped carbon materials // *Carbon.* 1987. V. 25. № 5. P. 637.
- 7-102. *Henig G. P.* Electron microscopy of graphite containing boron // *J. applied physics.* 1963. V. 34. № 1. P. 237.
- 7-103. *Albert P. et Parisot J.* Influence certains catalyseurs de graphitisation sur les propriete du graphite, en particulier sur les conductibilites electrique // *J. chimie physique.* 1960. V. 57. № 10. P.
- 7-104. *Фридман А. М., Аветьян М. Г., Михайлова Н. А., Матющенко Г. Н.* Методика моделирования тепловых полей печей графитации // Конструкционные материалы на основе углерода. Тематический сборник трудов НИИГРАФИТ. № 13. М.: Металлургия, 1978. С. 6.
- 7-105. *Fitzer E., Weisenburger S.* Kinetics of graphitization within the first minute of heat treatment // *Carbon.* 1976. V. 14. P. 323.
- 7-106. *Соседов В. П., Сасс-Тиссовский В. Б., Князева Н. С.* Принципы проектирования печей графитации // Повышение качества графитированной продукции – основная задача электродной промышленности. Челябинск: Областная типография обл. упр. печати, 1966. С. 220.
- 7-107. *Николаев Н. Н., Ганзен А. П., Китова В. А. и др.* Термические напряжения в цилиндрических заготовках при графитации // Там же. С. 48.
- 7-108. *Anonim.* Graphite, synthetic // *Bulletin American ceramical society.* 1994. V. 73. № 6. P. 102.
- 7-109. *Барабанов В. И., Зайцев Г. Г., Кутейников А. Ф., Костиков В. И.* Закалка искусственных графитов // Доклады АН СССР. 1980. Т. 254. № 4. С. 864.
- 7-110. *Fitzer E., Weisenburger S.* Graphitization studies by «in situ» X-Ray technique // In: 11th Biennial conference on carbon. Extended Abstracts and Program. American carbon comitee, Gatlinburg, Tennessee. 1973. P. 22.
- 7-111. *Kipling J. J., Shooter P. V., Young R. N.* The effect of sulfur on the graphitization of carbon derived from polivinilchloride – sulfur systems // *Carbon.* 1966. V. 4. P. 333.
- 7-112. *Franklin R.* Crystalite growth in graphitizing and non-graphitizing carbons // *Proceedings Royal society.* 1951. A – 209. № 1097. P. 196.

- 7-113. *Фиалков А. С., Бавер А. И., Смирнов Б. Н.* О структурных изменениях при нагревании неграфитирующихся углеродных материалов // *Химия твердого топлива*. 1970. № 6. С. 95.
- 7-114. *Фиалков А. С., Чеканова В. Д., Огарева Н. Н.* Исследование формирования пористой структуры стеклоуглерода в процессе термообработки // *Труды ВНИИЭИ*. М.: Энергия, 1972. Т. 2. С. 153.
- 7-115. *Фиалков А. С., Колпикова Е. Ф., Клепикова Г. В. и др.* Структурные превращения полимера (на основе фурфуролового спирта) в процессе направленного пиролиза // *Химия твердого топлива*. 1990. № 2. С. 136.
- 7-116. *Dresselhaus M. S. and Steinbeck J.* Liquid carbon // *Tanso*. 1988. № 132. P. 44.
- 7-117. *Буряков Г. А., Волокитин Е. П.* Программное управление печами графитации с регулируемым сопротивлением керна // *Труды ВНИИЭИ*. Т. 2. М.: Энергия, 1972. С. 117.
- 7-118. *Электротермическое оборудование: Справочник под редакцией А. П. Альтгаузена*. М.: Энергия, 1967. 380 с.
- 7-119. *Грузинов М. Д., Белоусов В. Г., Гладков А. И. и др.* Выборы оптимальных параметров графитировочных печей, силовых трансформаторов и совершенствование конструкции графитировочных печей // *Повышение качества графитированной продукции – основная задача электродной промышленности*. Челябинск: Областная типография обл.упр. по печати, 1966. С. 220.
- 7-120. *Зинченко А. И., Кралин Л. А., Фокин В. П. и др.* Технический прогресс на Новочеркасском электродном заводе. М.: Центр. инс-т информации и технико-экономических исследований цветной металлургии, 1967. 52 с.
- 7-121. *Lamprey H.* Technology and quality. Conrady: Nurenberg GmbH. 2000.
- 7-122. *Перевезенцев В. П., Петров Е. Н.* Сравнительный анализ охлаждаемой и неохлаждаемой подины печей графитации // *Сборник научных трудов НИИГРАФИТ. Структура и свойства углеродных материалов*. М.: Металлургия, 1984. С. 77.
- 7-123. *Соседов В. П.* Особенности электрического и теплового режимов печи графитации // *Конструкционные углеграфитовые материалы*. Сб. трудов № 1. М.: Металлургия, 1964. С. 99.
- 7-124. *Redmount M. B. and Heintz E. A.* Manufacture of graphite electrodes // In: *Introduction of carbon products*. University of Alicante secretariado de Publicaciones 1997. P. 519.
- 7-125. *Агроскин А. А.* Тепловые и электрические свойства углей. М.: Госуд. научно-техническое изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1959. 265 с.
- 7-126. *Kelly B. T.* Physics of graphite. Lond., New Jersey: Publisher Ltd., 1981. 477 p.
- 7-127. *Соседов В. Н., Матющенко Г. Н., Авдеенко М. А.* Экспериментальное определение температурных полей керна печи при графитации углеродных материалов // *Конструкционные материалы на основе углерода*. Тематический отраслевой сб. трудов. № 10. С. 42.
- 7-128. *Знамеровский В. Ю., Коцюр В. А. и др.* Безопасная экономичная эксплуатация газоздушных трактов // *Цветные металлы*. 1987. № 1. С. 68.
- 7-129. *Темкин И. В.* Производство электроугольных изделий. М.: Высшая школа, 1975. 232 с.

- 7-130. Фиалков Л. С. ... ства. М.: Госэнергоиздат, 1958. 280 с.
- 7-131. Осташевская Н. С. Антрациты Горловского бассейна Западной Сибири сырье для производства электродов. Новосибирск: Наука, Сиб.отд., 127 с.
- 7-132. Чичулин Н. И. Исследование термической обработки электродных готовок в промышленных графитировочных печах. Диссерт... на соискание ученой степени кандидата технических наук. 1974. В Челябинский политехнический институт.
- 7-133. Хольм Р. Электрические контакты / Под ред. Д. Э. Брускина и А. А. Ницкого. М.: Изд-во иностранной литературы, 1961. 461 с.
- 7-134. Wege E. Studies on the influence of graphitization time and temperature on the ash content of electrographite // Carbon. 1965. V. 2. № 4. P. 349.
- 7-135. Пирогов В. И. Разработка технологии получения термоантрацита в печах графитации. Автореф... на соискание ученой степени канд. Техн. наук. В надз. в НИИГРАФИТе, М., 2005. 24 с.
- 7-136. Доржиев М. Н., Евсеев Е. М., Серебренникова Л. Е. Научные основы применения постоянного тока для процесса графитации // Совершенствование технологии и улучшение качества электродной продукции. Сб. научных трудов. Выпуск 5. Челябинск: Южно-Уральское книжное издательство, 1973. С. 121.
- 7-137. Доржиев М. Н., Серебренникова Л. Е., Лыков В. А. Опыт графитации электродной продукции на ДЭЗ'е постоянным током силой 50 А. Там же. С. 105.
- 7-138. Марковский Л. Я., Оршанский Д. Л., Прянишников В. П. Химическая термотермия. М.-Л.: ГОНТИ химической литературы, 1952. 408 с.
- 7-139. Гумилевская Г. П., Юрковский И. М., Галкина Н. И., Шендеров Д. Л. Влияние температуры на свойства Ботогольского графита, применяемого в электроугольной промышленности // Труды ВНИИЭИ, М.: Энергия, 1970. Т. 1. С. 93.
- 7-140. Юрковский И. М., Приходько Е. Л. Влияние температуры на структуру рафинированного графита // Там же. С. 106.
- 7-141. Фиалков А. С., Васлянина Н. В., Суховерхов В. Ф. Новые графитные электроды для спектрального анализа // Журнал прикладной химии. 1960. № 4.
- 7-142. Mrosowski S. Carbons in the transition range – II // Carbon. 1979. V. 17.
- 7-143. Campbell D., Jackson Q., Wynne-Jones W.G.K. Electron spin resonance in polymer carbons. Effect of halogens and interhalogen compounds // Carbon. 1963. V. 1. № 4898. P. 1090.
- 7-144. Новое в технологии соединений фтора / Под ред. Н. Исикава. М.: Мир, 1984. 591 с.
- 7-145. Русанов А. К. Спектральный анализ руд и минералов. М.-Л.: Мир, 1964. 615 с.
- 7-146. Гончаров В. В., Бурдаков Н. С., Виргильев Ю. С. и др. Действие облучения на графит ядерных реакторов. М.: Атомиздат, 1978. 272 с.
- 7-147. Соккер Г. А., Нагорный В. Г. Физико-химические свойства углеродных материалов // Конструкционные материалы. Сб. трудов НИИГРАФИТа № 1. М.: Металлургия, 1964. С. 110.

- 7-148. *Нагорный В. Г., Тищенко И. Я., Фролов В. И.* Влияние хлора на процесс графитации углеродных материалов // Конструкционные материалы на основе графита. Сб. трудов НИИГРАФИТа. № 6. 1971. С. 7.
- 7-149. *Новак Ю. В., Перкова Г. А., Кутейников А. Ф.* Удаление примесей в процессе формирования структуры графита // Конструкционные материалы на основе углерода. Тематич. отрасл. сб. трудов НИИГРАФИТа. № 14. М.: Металлургия, 1979. С. 36.
- 7-150. *Новак Ю. В., Перкова Г. А., Кутейников А. Ф.* Исследование процесса газотермического рафинирования крупногабаритных заготовок графита // Там же. С. 40.
- 7-151. *Лазарев В. С.* Технология получения спектральных чистых электродов и порошковых углеродистых материалов и конструкция печи // Труды ВНИИЭМ, Электроугольный филиал ВНИИЭМ. Т. XXIV. Электроугольные материалы и изделия. М.: Энергия, 1966. С. 52.
- 7-152. *Вайнштейн И. К., Мазель Е. В.* Способ контроля графитирования угольных электродов. А.С. № 9389 от 28.07.52.
- 7-153. *Фиалков А. С., Давидович Я. Г., Бавер А. И. и др.* Дилатометрический термометр. А.С. № 233250 от 21.03.1966 – Оpubл. в бюлл. «Открытия изобретения. Пром. образцы и товарные знаки». 1969. № 2. С. 96.
- 7-154. *Баевский П. Я., Ильичев Ю. Д., Новик М. А., Чижов И. В.* Измерение температуры в промышленных печах графитации дилатометрическими термометрами // Электроугольные материалы и изделия. Труды ВНИИЭИ. Т. 3. М.: Энергия, 1975. С. 203.
- 7-155. *Фиалков А. С., Фрейман Е. А., Беляева И. Г. и др.* Особенности графитации электрощеточного полуфабриката с использованием индукционного нагрева // Сб. ЦИНТИ электротехпром, серия Электротехнические материалы. 1976. № 12. С. 9.
- 7-156. *Фиалков А. С., Бавер А. И., Очкин Б. М.* Применение индукционного метода для графитации электроугольных изделий // Сб. ЦИНТИ электротехпром, серия Электротермия. 1976. № 1. С. 5.
- 7-157. Исследование и создание индукционной установки для непрерывной графитации электрощеточного полуфабриката. Теоретические и экспериментальные исследования. Отчет по теме ОПТ 127. Руководитель Е. А. Фрейман. М.: ВНИИЭТО, 1976. 253 с.
- 7-158. *Воцанкин А. Н., Перевезенцев В. П., Синельникова Л. В.* Расчет температурного поля в длиномерных заготовках при графитации // Конструкционные материалы на основе углерода. Тематический отрасл. сб. трудов НИИГРАФИТа. № 12. М.: Металлургия, 1977. С. 18.
- 7-159. Отчет № 1698 ВНИИЭИ по теме АО 42024: Проведение исследований, разработка конструкции и внедрение в эксплуатацию опытно-промышленного образца графитационной печи с оптимальным режимом и автоматическим управлением процесса, Елец. 1977. Ответственный исполнитель В. П. Лебедев.