

ДРЕВЕСИНА КАК ХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ. ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ III. ПИРОЛИЗ ДРЕВЕСИНЫ КАК МЕТОД ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ

Г.Н. Кононов¹, А.Н. Зарубина¹, А.Н. Веревкин¹, В.Д. Зайцев¹, Д.Б. Чекунин²

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

²Научно-исследовательский институт — филиал АО «Гознак», 115162, г. Москва, ул. Мытная, д. 19

kononov@mgul.ac.ru

Представлена история пирогенетической переработки древесины. Рассмотрены этапы развития этой отрасли лесохимии с древних времен до нашего времени. Подробно изложены особенности технологий ямного, кучного и кострового углежжения. Рассмотрены принципиальные схемы углевыжигательных печей периодического и непрерывного действия, а также современные ретортные технологии пиролиза древесины и отходов ее механической и химической переработки. Данная статья является третьей в цикле «Древесина как химическое сырье — история и современность», первая и вторая опубликованы в журнале «Лесной вестник / Forestry Bulletin». 2020, т. 24, № 1, № 5.

Ключевые слова: лесохимия, пиролиз древесины, древесный уголь

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Зарубина А.Н., Веревкин А.Н., Зайцев В.Д., Чекунин Д.Б. Древесина как химическое сырье. История и современность. III. Пиролиз древесины как метод ее переработки // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2021. Т. 25. № 3. С. 126–141. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-126-141

Пиролиз древесины — это метод ее термохимической переработки, в результате которого происходит глубокая деструкция основных компонентов древесины и образуются ценные продукты. Из всех продуктов пиролиза наиболее востребован древесный уголь. В древности он использовался в качестве восстановителя при выплавке меди и ее сплавов, а впоследствии и железа. Помимо этого древесный уголь применяли для изготовления взрывчатых веществ, и в первую очередь дымного пороха. Что касается сорбционных свойств древесного угля, то его способность поглощать газы была открыта К. Шееле и Ф. Фонтана еще в 1773 г. В дальнейшем, на основании исследований по активации угля в конце XIX — начале XX вв. активный уголь начали использовать в промышленном масштабе.

К классическим методам получения древесного угля относится углежжение, т. е. выжигание угля в яме или в куче. По мере научно-технического развития кучное углежжение сменилось углежжением в печах. Периодически действующие печи были заменены туннельными ретортами непрерывного действия, а затем и вертикальными ретортами.

Современное оборудование для пирогенетической переработки древесины представлено установками типа «Поликор» и «Эколон», основанными на использовании большого количества реторт небольшого размера и парогазовой смеси пиролиза в качестве рециркулирующего топлива. В настоящее время древесный уголь крупномасштабно производится в странах, в которые его применяют в качестве восстановителя (Бразилия и Китай), а также в качестве топлива (ряд Африканских стран).

Основные перспективы производства древесного угля в развитых странах связаны с расширением и оптимизацией его использования в таких различных промышленных производствах, как получение высокочистого кремния, сероуглерода и сорбентов широкого спектра действия.

Кроме древесного угля к продуктам пирогенетической переработки древесины относятся древесные смолы, пек, скипидар, березовый деготь, уксусная кислота, древесный спирт (метанол) и другие продукты, востребованные в той или иной степени в разные периоды развития лесохимической промышленности.

Цель работы

Цель работы — рассмотрение технологий пирогенетической переработки древесины на фоне их исторического развития с характеристикой получаемых продуктов и их использованием на разных стадиях развития технологий.

Материалы и методы

1. Древесный уголь — основной продукт пиролиза

Пиролиз — самый древний из всех способов химической переработки древесины, который представляет собой деструкцию химических соединений под действием высоких температур без доступа кислорода (от греч. *pyr* — огонь и *lysis* — разложение или распад). В качестве синонимов пиролиза употребляются такие термины, как «сухая перегонка», «термолиз», «карбонизация», «углефикация». Предшествовали пиролизу кустарные промыслы — углежжение, смолокурение и дегтекурение. И если в первом случае сырьем служила в основном листовая древесина,

а продуктом — древесный уголь, во втором случае как сырье использовалась просмоленная хвойная древесина, а продуктом была древесная смола, то в третьем, исконно русском промысле, использовалась березовая кора для получения берестового дегтя. Классический пиролиз совмещает эти три процесса. Со временем появились новые термолитические технологии — газификация и ожижение древесины в целях получения газообразного топлива, т. е. синтез-газа, и жидких продуктов для их дальнейшей химической переработки [1].

В процессе пиролиза в результате воздействия высоких температур (400...600 °С) происходит глубокая деструкция основных компонентов древесины, которая приводит к образованию твердого остатка — угля, жидких продуктов, называемых «жижкой» и отстойной смолой, и таких неконденсируемых газов, как метан, угарный газ, углекислый газ, водород и т. д. Основным продуктом пиролиза древесины является древесный уголь — продукт глубокой деструкции основных компонентов древесинного вещества, состоящий преимущественно из углерода [2]. «Жижка» представляет собой водный слой, состоящий из огромного количества различных соединений, однако промышленное значение из них имеют только уксусная кислота и метанол — «древесный спирт», образующиеся из углеводов древесины. Отстойная смола — это смесь соединений ароматической природы, из продуктов деструкции лигнина и экстрактивных веществ. Продукты переработки отстойной смолы используются в качестве ингибиторов окисления различных видов моторного топлива, антисептирующих составов, пластифицирующих агентов и т. д. [3].

Однако традиционно наиболее востребован основной продукт пирогенетической переработки — древесный уголь. Человечество познакомились с древесным углем и его свойствами достаточно давно. Последователь Аристотеля, древнегреческий философ Теофраст (370–285 гг. до н. э.) описывал способы изготовления угля в ямах [2]. На первых этапах освоения металлургического производства возникла потребность в новых источниках топлива, поскольку размеры металлических самородков были небольшими, и изготавливать из них изделия нужной формы было невозможно, то их необходимо было переплавлять. Первой химической реакцией, с которой познакомился человек, было горение. Наблюдая за горением древесины, древние металлурги разработали методы получения древесного угля. Использование древесного угля обусловило разработку высокотемпературной выплавки меди и ее сплавов, а впоследствии и железа [1].

Выплавку металлов в течение длительного времени могли осуществлять лишь кустарным способом,

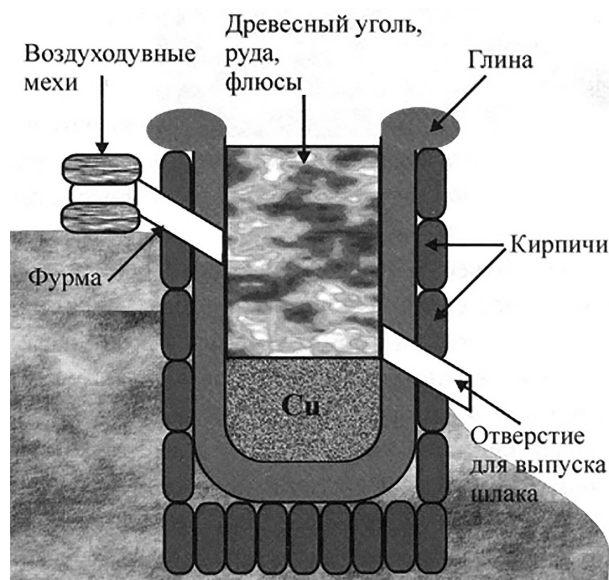


Рис. 1. Принципиальная схема печи, используемая для выплавки меди

Fig. 1. Schematic diagram of a furnace used for smelting copper

т. е. с использованием костров. Некоторые африканские племена добывали железо из руды следующим способом: в яму укладывали дрова, их поджигали, после чего сверху укладывали слой руды, а поверх него снова накладывали слой древесины. Образующийся в результате горения древесный уголь восстанавливал железо из руды. По окончании процесса образовавшееся железо (точнее, чугун) использовали для получения изделий. Попытки смоделировать подобное были предприняты и в наше время. Так, в 1938 г. англичанин Г.Г. Коглен провел эксперимент с выплавкой меди из малахита. Поместил в глиняный горшок кусочек минерала, обложил его древесным углем и, нагревая смесь, получил чистый металл [4].

Впоследствии древние мастера рыли плавильные ямы и на склонах высоких холмов и гор с неветряной стороны (отсюда и название первых плавильных печей — «горн») складывали печи из камней, обмазанных глиной (рис. 1) [4, 5]. Древесный уголь и по сей день используется в металлургическом производстве в качестве покровного флюса, защищающего расплавленный металл от окисления [2].

Технология применения древесного угля была известна древним японцам, которые переняли ее у китайцев (рис. 2). Используя опыт Китая и совершенствуя свое мастерство, японские мастера разработали собственные технологии: куро-дзуми («черный уголь») и сиро-дзуми («белый уголь»), получаемые пиролизом при сравнительно низкой температуре с быстрым ее повышением до 1000 °С и последующим кондиционированием и посыпанием минеральным мелкодисперсным материалом [6]. Помимо применения древесного



Рис. 2. Добыча угля в древнем Китае
Fig. 2. Coal mining in ancient China

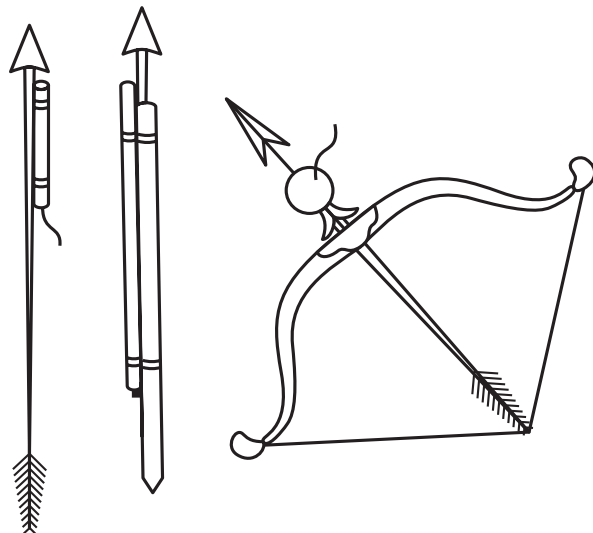


Рис. 3. Пороховые зажигательные стрелы
Fig 3. Powder fire arrows

угля как источника энергии и восстановителя в древние времена его применяли и в военном деле. Известно, что еще с 360 г. до н. э. в ходе военных действий употребляли зажигательные смеси, в состав которых входили древесный уголь, пакля, смола и нефть [7]. Так называемый дымный порох,

состоящий из древесного угля, аммиачной селитры и серы, по-видимому, был самой первой взрывчатой смесью, доступной человеку. Считается, что родина дымного пороха — Древний Китай [8].

Известно, что книга «Тайное Дао подлинного происхождения вещей» (приблизительно около 850 г. н. э.) содержит сведения о 35 эликсирах, один из которых изготавливали с применением меда и селитры, а также угля, и использовали в качестве ароматической смеси, сгорающей с образованием приятно пахнущего дыма. Еще одним способом использования дымного пороха является его применение в пиротехнике для изготовления фейерверков. Днем рождения фейерверка можно считать 1264 г., когда во дворце императора Лицзун на празднике, устроенном в честь его матери, подожгли трубочки (так называемые «земляные крысы»), содержащие «огненную смесь» и они стали летать по дворцу в разные стороны [9].

Древние китайские мастера применяли древесный уголь для производства военных приспособлений. Следует отметить, что китайские ученые были достаточно изобретательны в отношении химического оружия. Так, начиная с III в. н. э. в китайской армии стали применять стрелы с наконечником, снабженным зажигательной смесью, изготовленной на основе древесного угля, и запальным шнуром (их называли «хоцзянь»; рис. 3) [10]. В энциклопедии XI в. «У цзин цзуньяо» («Важнейшее из основ военной науки») в разделе «Огневое и химическое оружие» уделено большое внимание различным пороховым видам оружия, часть из которых использовалась в качестве зажигательных бомб, а часть — в качестве метательных снарядов. В указанных видах оружия доля селитры была меньше, чем в более поздних аналогах, что свидетельствует о их создании для поджигания, а не в качестве взрывчатых смесей. В произведении «Записки о защите крепостей» приведены сведения о существовании оружия, напоминающего современный огнемет. Приспособление (под названием «хоцян») изготавливали из заткнутого с одного конца полого бамбукового ствола, заправляли в него пороховую смесь, которую впоследствии поджигали и направляли на противника [11].

В отличие от других углеродистых веществ, которые можно использовать в составе дымного пороха, древесный уголь содержит больше углерода и меньше смолообразных продуктов, что делает его идеальным претендентом на роль горючего материала в порохе [9]. Затем дымный порох заменили бездымным порохом на основе нитроцеллюлозы. Тем не менее дымный порох и сейчас в применяется небольших объемах для производства некоторых пиротехнических изделий.

Следует отметить, что лечебные свойства угля были известны еще Гиппократу (V—IV вв. до н.э.), который предлагал использовать уголь для предотвращения проблем с пищеварением [13]. Свойства древесного угля поглощать растворенные вещества, пары и газы были известны еще в XV в. Уголь применялся для продления сроков хранения мяса, дичи, очистки воды, но это применение носило неосознанный характер.

Способность древесного угля поглощать газы впервые заметили немецкие химики К. Шееле и Ф. Фонтана в 1773 г. Они предложили устройство, позволяющее очищать воздух от дурно пахнущих веществ. Впоследствии изобретение оказалось невостребованным [14]. В 1785 г. году русский ученый Т.Е. Ловиц на основании экспериментов по очистке винной кислоты углем установил, что древесный уголь способен поглощать растворенные вещества из растворов [12]. В 1791 г. он описал способ очистки воды с помощью угля, высказал рекомендации по его применению для очистки растворов селитры. Открытие привело к созданию в 1792 г. на Петербургском винном заводе производства древесного угля, предназначенного для очистки винно-водочных изделий, а на флоте — для очистки воды и консервирования мяса [14]. В 1794 г. древесный уголь стали использовать на сахарно-рафинадном заводе в Англии, а в 1812 г. был выдан первый патент на очистку сахарных сиропов углем [15]. К 1808 г. относится и использование этого метода во Франции [14].

После экспериментов французского ученого Л. Фигье по исследованию свойств костяного угля древесный уголь безуспешно конкурировал с ним и на некоторое время был забыт. Дальнейшее развитие производства древесного угля обусловило улучшение его свойств. Так, опыты по активации древесных опилок карбонатом магния и торфа водяным паром не дали достаточно хорошего результата. Однако в 1900–1901 гг. с выдачей патентов ученому Л.М. Острейко сначала по активации растительного материала хлоридом кальция, а затем по активации диоксидом углерода и водяным паром появилась тенденция к изменению ситуации. В 1909 г. на химическом заводе в Ратиборе (Силезия) по патенту была выпущена партия порошкового активного угля под маркой «Эпонит» [15].

Практическое применение активированного угля связано с изобретением противогаза русским ученым Н.Д. Зелинским. Впервые во время Первой мировой войны был установлен факт применения против людей химического оружия. Тогда не были известны эффективные меры защиты от него. Первоначально применяли мокрые марлевые повязки, однако это не дало положительных результатов. В июне 1915 г. ученый Зелинский выступил на заседании Санитарно-технического

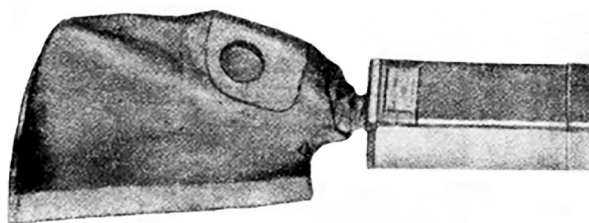


Рис. 4. Противогаз Н.Д. Зелинского
Fig. 4. The N.D. Zelinsky Gas mask

отдела Русского технического общества с докладом о возможности использования древесного угля в качестве противохимической защиты. Через два месяца, 12 августа, он сделал доклад о поглощательных способностях древесного угля и представил свои первые экспериментальные конструкции прототипа противогаза (рис. 4). Как писал Зелинский в статье «Уголь как противогаз», мысль о применении древесного угля в качестве сорбента появилась после прочтения статьи, в которой речь шла о применении солдатами земли в качестве противохимической защиты, что натолкнуло его на мысль об использовании адсорбции для извлечения токсичных газов из воздуха [16].

2. Кустарное углежжение, смоло- и дегтекурение

В России о производстве «уголья» (древесного угля) впервые упоминается в Новгородской таможенной грамоте 1571 г., касающейся сбора пошлин «на Торговой стороне в Государственной опричнине» [12]. Древесный уголь широко использовался в металлургической отрасли, особенно в производстве чугуна. Россия была одним из мировых лидеров по производству чугуна и даже экспортировала его в Англию. Помимо этого уголь шел на кузнечное производство для изготовления «черного пороха» и бытовых целей.

Классической древней технологией получения древесного угля является углежжение, которое, в свою очередь, подразделяется на ямное и кучное. При ямном способе углежжения яму закладывали сухим хворостом и небольшими поленьями, после чего поджигали. После сгорания первой партии закладывали поверх новую, и так повторяли, пока яма не будет полностью заполнена. После этого верхний слой закрывали дерном на несколько дней [3]. Кучное углежжение подразделяется на углежжение в «стоячей» и «лежачей» куче. При устройстве стоячей кучи сначала выбирали место (оно называется током), которое должно располагаться на ровном сухом месте, защищенном от действия сильного ветра. В центре тока выкладывали 3- или 4-гранную трубу (канал) из мелких сухих дров, вокруг которой выкладывали «ставу» дров в несколько ярусов. Ближе к трубе накладывали мелкие сухие дрова (для более полного разжигания кучи), далее

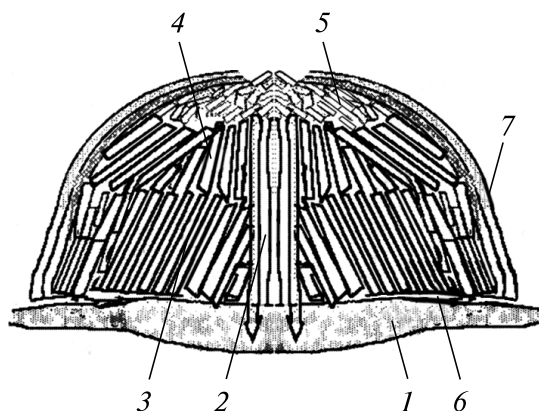
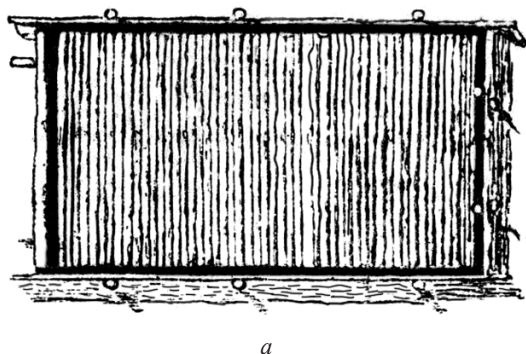
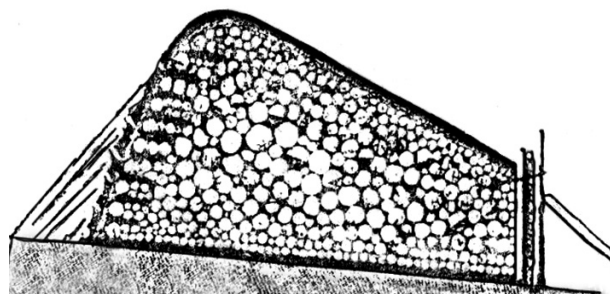


Рис. 5. Схема «стоячей» кучи в разрезе: 1 — ток; 2 — канал; 3 — нижний ярус; 4 — верхний ярус; 5 — чапец; 6 — настил; 7 — дерн
Fig. 5. Scheme of a «standing» heap in section: 1 — current; 2 — channel; 3 — lower tier; 4 — upper tier; 5 — cap; 6 — flooring; 7 — turf



a



b

Рис. 6. Схема «лежачей» кучи: а — вид сверху; б — вид сбоку
Fig. 6. Scheme of a «lying» heap: а — top view; б — side view

к периферии — более крупные. Рядом с трубой дрова укладывали вертикально. При движении от центра к периферии угол наклона дров увеличивался до определенного значения (не более 60°), чтобы дрова смогли удерживать насыпку. Верхняя покрывка состояла из двух слоев: внутреннего (покрывки) — из ветвей, листвы, мха и внешнего (осыпки) — из песка с примесью глины или дерна. С краев кучи оставляли пороги, т. е. отверстия для притока свежего воздуха. Поверх третьего ряда выкладывали «чапец» и разжигание кучи начиналось с канала [17, 18] (рис. 5).

В лежачих кучах дрова укладывали горизонтально. Ток в таких кучах располагался под наклоном, вдоль тока укладывали нетолстые лежки, на которые накладывали переугливаемые бревна, а с боковых сторон вместо осыпки устанавливали барьеры в виде жердей и досок. В нижнем конце тока у каждого из конца лежек вбивали по колу, препятствующему раскатыванию бревен [17] (рис. 6).

Существовали также способы углежжения в кострах (лежачих или вертикальных). На площадку укладывали бревна (рис. 7), на которые дрова клали поперек. Зажигательный канал устраивали параллельно дровам. Костер обносили деревянным забором, а пространство между кучей и забором укладывали землей [12] (рис. 8).

Несмотря на примитивность технологии и низкое качество получаемого угля, в некоторых странах (Бразилии, странах Африки и Юго-Восточной Азии) до сих пор сохраняется традиционный метод пиролиза древесины — кучное углежжение [19]. Отрицательными сторонами технологии углежжения являются низкий выход угля и зависимость от погодных условий. Впоследствии углежжение сменилось пиролизом в стационарных печах [20].

Аналогичные способы использовались в возникшей в России для смоло- и дегтекурения еще в XI в. Так, при ямном способе получения смолы, в земле на возвышенном месте выкапывали коническую яму (майдан), ее обмазывали глиной и обкладывали изнутри еловой или березовой корой. На небольшом расстоянии от дна ямы укладывали железную решетку, под которой устанавливали стоячую трубу, ведущую к приемнику. Яму заполняли смолем или берестой, поджигали и закрывали дерном с небольшими отверстиями для доступа воздуха (рис. 9). Процесс длился около 7 дней.

В качестве сырья для получения смолы использовали специально заготовленные смолье-подсочки — просмоленную комлевую часть ствола дерева, простоявшего с частично снятой корой в течение 5–6 лет, остальную часть ствола оставляли в лесу. Этот варварский метод заготовки сырья был запрещен при Екатерине II (1775) и подтвержден указом по лесному управлению (1798). Тогда в качестве сырья стали использовать пневый осмол (10–20-летние пни с корнями), рудняк или колодник (сухостойные деревья), волоховый осмол (сухие верхушки деревьев) и стволовой осмол (просмоленную часть ствола после специальной подсочки). При этом древесный уголь был побочным продуктом такого «производства».

При получении дегтя сырьем выступала береста или березовая древесина с корой, в последнем

случае получали и березовый уголь. Позднее при перегонке бересты добавляли смолу и получали суррогат — половинник или половинчатый деготь.

При костровом способе смолокурения в целях использования летучих продуктов кучу дров — курень в форме усеченного конуса закрывали плетеными из хвороста щитами, обмазанными изнутри глиной, между щитами и дровами делали засыпку из мелкого древесного угля. Пары по трубам поступали в три последовательно соединенные бочки, где и конденсировались. Из верхней части выходили более летучие вещества (вода и скипидар), а смола скапливалась на дне, где для нее был устроен особый приямок (рис. 10).

В начале XVIII в. в смоло- и дегтекурении стали использовать сначала глиняные, а затем чугунные котлы — корчаги, имеющие отверстие в нижней части. Для получения дегтя корчагу ставили на бочку для приема дегтя, наполняли берестой, поджигали и закрывали сверху такой же корчагой.

В случае смолокурения половину корчаги закапывали в землю, подсоединяли трубы для стока смолы к нижнему отверстию, верх обкладывали черепицей и обмазывали глиной и вокруг корчаг разводили огонь. Корчаги ставили в ряд, одну за другой (рис. 11).

Корчажная смола была лучше ямной и костровой. Для получения кроме смолы, угля и скипидара перед закладкой измельченного смолья в корчагу вставляли сетку из толстой проволоки, загружали смолье, накрывали крышкой, снабженной газоотводной трубой в верхней части, из которой парогазовая смесь поступала в конденсатор, разделяясь на водный и скипидаровый слой. Уголь после окончания процесса извлекали из корчаги в сетке и гасили водой.

В конце XVIII века из полученной корчажной (жидкой) смолы отгоняли скипидар с получением пека (густой смолы). Так, из 38 пудов смолы получали 24...26 пудов пека и 4...6 пудов скипидара (1 пуд = 16,38 кг) [12].

Наряду с описанными продуктами из смолистой древесины и березовой коры путем сжигания при недостатке воздуха получали дровяную сажу — сырье для изготовления типографских красок, живописной туши, чернения кожи и т. д.

Начиная с первой четверти XIX в. для углежжения с одновременным получением шихты начали применять печи Шварца.

3. Пиролиз в камерных печах

Печь Шварца предложенная в 1825 г., представляла собой конструкцию из кирпичных стен, перекрытых сводом (рис. 12) [21]. На углах печи и у продольных стенок вкапывали столбы, которые сверху связывали поперечными балками. Сырье внутри печи обогревали топочными газами,

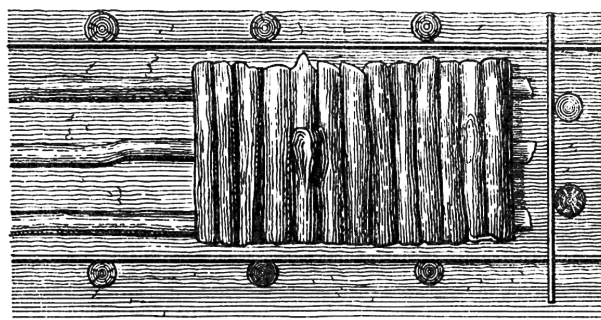


Рис. 7. Схема основания «лежащего» костра для углежжения
Fig. 7. Scheme of the «lying» fire base for charcoal burning

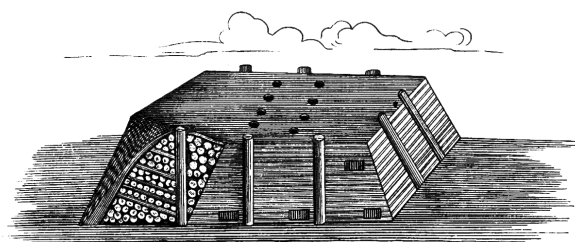


Рис. 8. Внешний вид «лежащего» костра для углежжения
Fig. 8. Appearance of a «lying» fire for charcoal burning

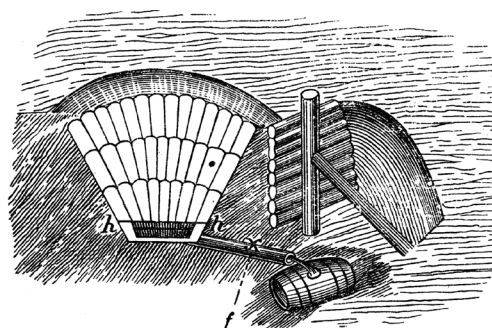


Рис. 9. Схема ямного способа получения древесной смолы или берестового дегтя
Fig. 9. Scheme of pit method of obtaining wood tar or birch tar

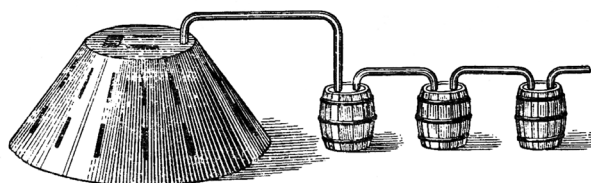


Рис. 10. Схема кострового способа смолокурения с получением скипидара
Fig. 10. Scheme of campfire tar-smoking method with obtaining turpentine

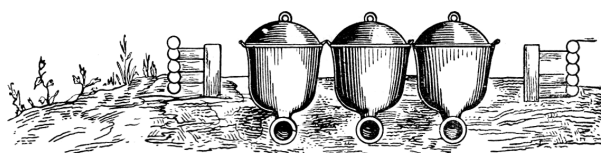


Рис. 11. Схема батареи корчаг для смолокурения
Fig. 11. Scheme korchag battery for tar smoking

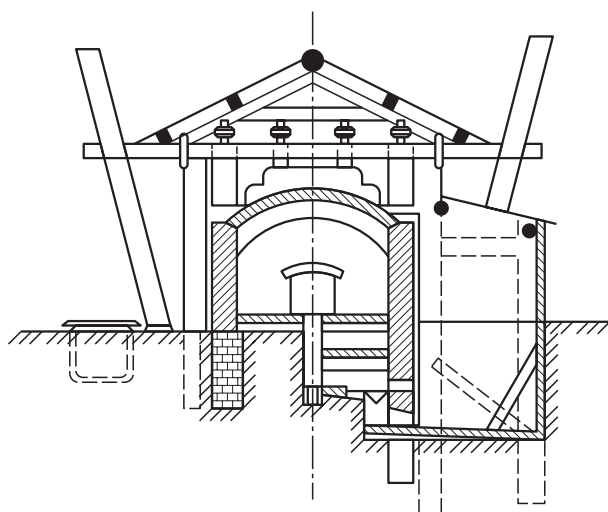


Рис. 12. Схема печи Шварца в разрезе
Fig. 12. Scheme of the Schwarz furnace

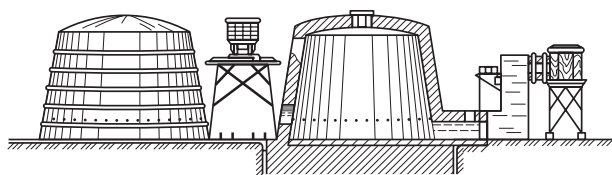


Рис. 13. Схема ульеобразной кильной печи
Fig. 13. Scheme of a beehive furnace («kilns»)

а саму топку располагали под печью. Топочные газы входили через отверстие в поде. Содержание углерода в угле, полученном переугливанием древесины в печи Шварца, составляло в среднем от 66 до 80 %. Позднее В.П. Суханов модернизировал печь таким образом, чтобы на выходе парогазовая смесь, образующаяся в результате пирогенетического разложения древесины, смешивалась со струей свежего воздуха и поджигалась, что позволяло повысить температуру внутри, однако летучие продукты при этом сгорали, а не подвергались переработке [20].

Помимо печей Шварца в промышленности середины XIX в. использовались также ульеобразные кильные печи, которые представляли собой аналоги костров, но с кирпичной кладкой, стянутой железными обручами (рис. 13). Температуру процесса поддерживали за счет горения внутри кильной печи. Для поддержания горения и притока воздуха в нижней части кильной печи имелось отверстие, соответствующее подвалам в кучах. Отличие от кучи состояло в том, что кильные печи представляли собой постоянно действующие сооружения [20].

Первоначально стены углевыжигательных печей были сложены из кирпича, однако кирпич обладает низкой теплопроводностью, что затрудняет передачу тепла через стенку в случае кондуктивного нагрева. Кроме того, в кирпич-

ных стенах могут возникать трещины, а так же кирпичные камеры относительно недолговечны. Дальнейшее развитие технологии привело к применению клепаного железа вместо кирпичной кладки и использованию аппаратов с контактным обогревом [3].

Рассмотренные способы пирогенетической переработки древесины позволяли получать как древесный уголь, так и жидкие продукты (смолу, деготь, скипидар).

Смолу использовали в судостроении, строительстве, в производстве канатов, для защиты железа от коррозии, в качестве смазочного материала при изготовлении толя, деготь — для приготовления мыла, мазей, в качестве фармацевтического сырья, скипидар — в качестве растворителя и т. д. В отличие от древесного угля, используемого в основном на внутреннем рынке, эти продукты активно экспортировались в количестве от 50 до 70 % общего объема годового производства.

Так, производство древесного угля в России в конце XVIII в. составляло около 300 000 т в год, а уже в XIX в. только на Урале его производили в количестве более 1 800 000 т в год. Весь производимый древесный уголь использовался для производства чугуна, стали и меди.

Древесная смола уже в XI в. была предметом международной торговли в Киевской Руси. В конце XIV в. русская смола называвшаяся важской (от р. Вага — левого притока р. Северная Двина), имела огромное значение на зарубежных рынках, а начиная с XVIII в., Россия поднялась на первое место в мире по производству и экспорту древесной смолы. Так, в начале XVIII в. экспортировалось 3 500 т смолы в год, в середине XVIII в. — 5 200 т, а к 1800 г. Россия экспортировала уже более 16 000 т смолы и около 15 000 т пека. Производство этих продуктов тяготело к северным губерниям России. К середине XIX в. насчитывалось около 12 000 дворов кустарных смолокуров и дегтярников, производивших около 20 000 т этих продуктов, а к концу XIX в. в России производили около 66 000 т дегтя (чистого и половинчатого), 50 000 т смолы, 7 500 т пека и 56 млн м³ светильного газа в год.

К началу XIX в. относятся первые попытки использования «кислой жидкости» (надсмольной воды — жижки). Впервые ее начали использовать в Санкт-Петербурге для уничтожения зловония в так называемых грязных местах за счет превращения летучих дурно пахнущих низших аминов в их ацетаты, активным компонентом при этом служила древесная (уксусная) кислота, содержащаяся в жижке.

Опытная установка сухой перегонки древесины с утилизацией всех продуктов, в том числе

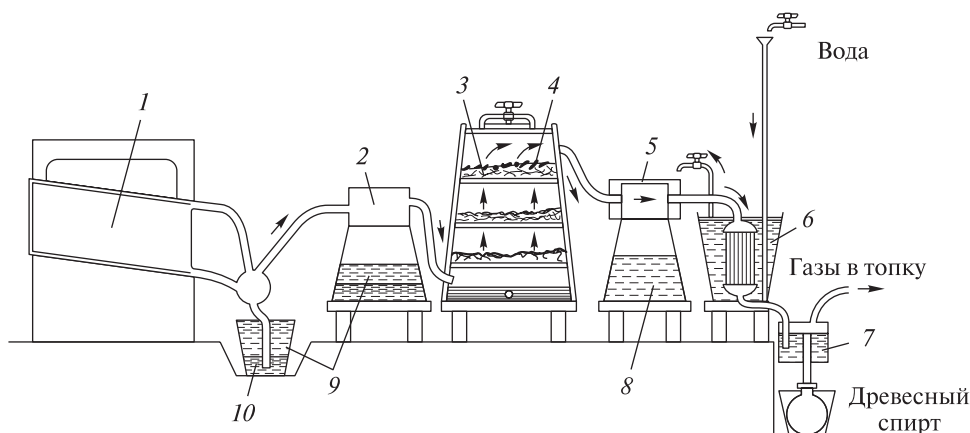


Рис. 14. Схема установки Вельской лесной школы для получения уксусной кислоты и древесного спирта: 1 — казан; 2 — холодильник для дегтя; 3 — солома; 4 — уголь; 5 — дефлегматор; 6 — холодильник для спирта; 7 — гидравлический запор; 8 — желтая древесная кислота; 9 — дегтярная вода; 10 — деготь

Fig. 14. Scheme of installation of the Velskaya forest school for the production of acetic acids and «wood alcohol»: 1 — cauldron; 2 — refrigerator for tar; 3 — straw; 4 — coal; 5 — deflegmator; 6 — refrigerator for alcohol; 7 — hydraulic lock; 8 — yellow wood acid; 9 — tar water; 10 — tar

и уксусной кислоты, была построена И.В. Овциным в 1824 г. в Санкт-Петербурге. В то время уксусную кислоту уже широко использовали в красильном и в ситценабивном производстве, но в основном она была иностранного происхождения или изготовленная из винного уксуса. Но уже в 1830 г. производство уксусной кислоты из древесины стало составлять 820 т. Ее использовали для получения солей алюминия, железа, меди, взамен железного купороса и ярь-медянки, свинца (свинцового сахара или сахара-сатурна) для протравного крашения тканей, при подготовки железных листов для лужения в кожевенном производстве, для сохранения мяса и рыбы вместо копчения, а в последствии для получения ацетатных растворителей. Владелец химического завода в Санкт-Петербурге Н.А. Жданов изготовил на ее основе дезинфекционную жидкость, с успехом применявшуюся в госпиталях Севастополя во время Крымской войны 1853–1856 гг. Знаменитый русский хирург Н.И. Пирогов писал: «Жидкость эта в самое короткое время превращает зловредный воздух в здоровый» [20].

Уксусную кислоту получали из жижки, обрабатывая ее мелом с получением древесного порошка (ацетата кальция), с последующей обработкой сульфатом натрия, прокаливанием для удаления смолистых веществ, обработкой 50 % серной кислотой с последующей перегонкой. Производство ее развивалось достаточно быстро, его объем к концу XIX в. составлял более 4 600 т уксусной кислоты и около 3 300 т древесного порошка.

Древесный (метиловый) спирт — мефил в незначительном количестве стали получать из надсмольной воды только в 60-е годы XIX в. Он

использовался для изготовления лаков, политуры, камфана (смеси со скипидаром 3:1), для осветительных ламп с некопящим ярким пламенем, не требующих стекол.

В конце XIX в. Вельской лесной школой была разработана установка для получения уксусной кислоты и древесного спирта (рис. 14), на которой из 30 кубических сажений березовых дров, при получении 2250 пудов угля, добывали 350 пудов древесного порошка, 550 пудов дегтя, и 25 пудов древесного спирта.

К концу XIX в. общее количество производимого древесного спирта не превышало, по-видимому, 1000 т, и только к 30-м годам XX в. его производство стало крупномасштабным.

4. Технологии промышленного пиролиза

Общая механизация технологий в начале XX в. привела к замене стационарных печей на вагонеточные реторты непрерывного действия [22]. В 1914–1915 гг. была спроектирована непрерывно действующая печь системы Аминова (рис. 15). Реторта представляла собой канал с кирпичной кладкой, состоящим из трех отсеков:

- 1) камеры приема (нижней изоляционной камеры);
- 2) верхней изоляционной камеры;
- 3) отсек для пиролиза.

В длину такая реторта была 55 м. Печь, к сожалению, не оправдала возложенных на нее надежд в отношении производительности и выхода целевого продукта. В условиях военного времени М.В. Аминову пришлось оставить свое место работы и, не запустив печь на полную эксплуатационную мощность, уехать на родину, а проведенные мероприятия по отладке работы печи все равно не дали положительного результата [17].

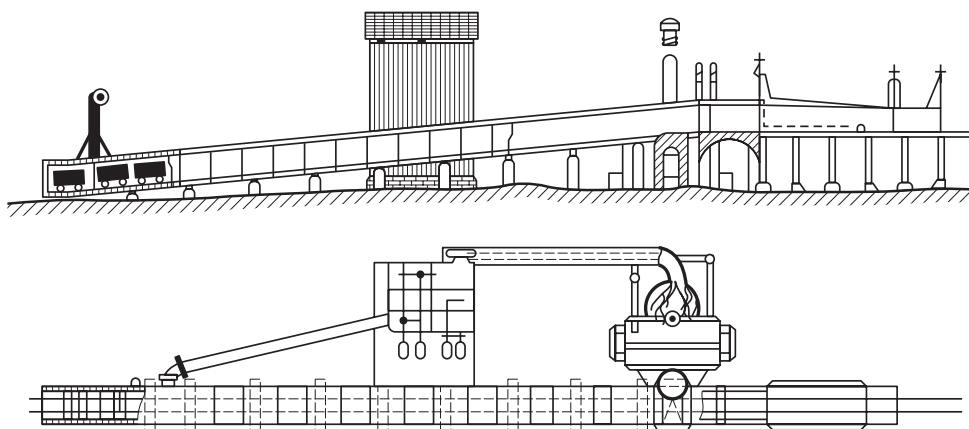


Рис. 15. Схема углевыжигательной печи Аминова
 Fig. 15. Scheme of the Aminov charcoal kiln

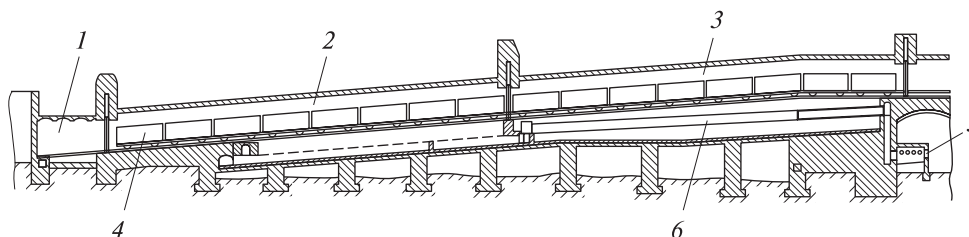


Рис. 16. Схема печи Аминова — Клячинского: 1 — нижняя изоляционная камера; 2 — камера сушки; 3 — камера пиролиза; 4 — вагончики с дровами; 5 — топка; 6 — calorifier
 Fig. 16. Scheme of the Aminov — Klyachinsky furnace: 1 — lower isolation chamber; 2 — drying chamber; 3 — pyrolysis chamber; 4 — trailers with firewood; 5 — firebox; 6 — heater

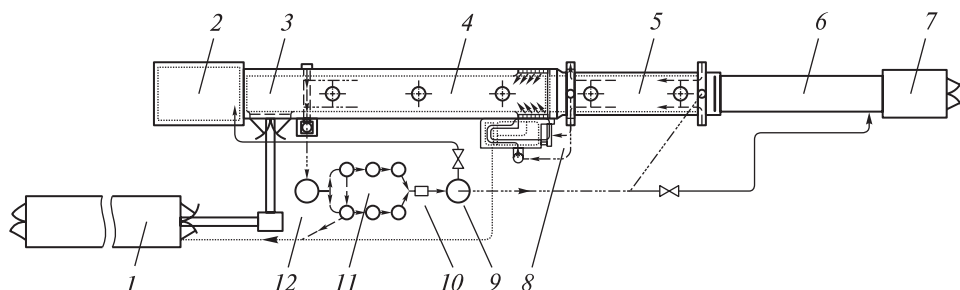


Рис. 17. Схема углевыжигательной печи Козлова: 1 — сушилка; 2 — помещение толкателя; 3, 7 — тамбуры; 4 — камера пиролиза; 5 — камера искусственного охлаждения; 6 — камера естественного охлаждения; 8 — calorifier; 9 — скруббер; 10 — вентилятор; 11 — конденсаторы; 12 — пылеулавливатель
 Fig. 17. Scheme of Kozlov's charcoal kiln: 1 — dryer; 2 — pusher room; 3, 7 — tambours; 4 — pyrolysis chamber; 5 — artificial cooling chamber; 6 — free cooling chamber; 8 — heaters; 9 — scrubber; 10 — fan; 11 — condensers; 12 — dust collector

Задачу модернизации печи Аминова поручили Н.К. Клячинскому, который разделил камеру пиролиза на две части — камеру сушки и камеру жжения, а способ нагрева изменил на конвективный, установив calorifier, через которые проходила парогазовая смесь, образующаяся в результате разложения древесины. Затем она, проходя через вентилятор, подавалась в холодильник, где конденсировалась и в дальнейшем шла на переработку (рис. 16) [17].

Еще одним примером печи непрерывного действия является углевыжигательная печь, спроектированная В.Н. Козловым. Печь состоит из трех камер:

- 1) сушки;
- 2) пиролиза;
- 3) охлаждения.

Последняя, в свою очередь, делится на железную камеру естественного и кирпичную камеру искусственного охлаждения. В начале камеры пиролиза и в конце камеры охлаждения установ-

лены изоляционные камеры и тамбуры, служащие для ввода вагонеток с древесиной в камеру пиролиза и выдачи вагонеток из камеры охлаждения. Пиролиз проходит под действием циркулирующих газов разложения древесины, прошедших через конденсационную камеру. Парогазовые продукты разложения проходят через пылеулавливатель, где осаждаются мелкодисперсные частицы древесного угля. Отсюда парогазовая смесь проходит конденсационную систему, после чего вентилятором направляется либо в калорифер, а затем и в камеру пиролиза или сушки, либо в камеру охлаждения (рис. 17).

Печь системы Козлова имела следующие преимущества:

- камера сушки была отделена в независимую камеру, в результате чего газообразные продукты в меньшей степени обогащались парами воды, жидкие продукты пиролиза обогащались уксусной кислотой, метиловым спиртом и другими ценными продуктами, что облегчало их дальнейшую переработку;

- нагревание древесины осуществлялось за счет циркулирующей смеси парогазовых продуктов разложения древесины;

- теплота, выделявшаяся в камере искусственного охлаждения, использовалась для нагрева проходящей через нее парогазовой смеси, прежде чем она поступит в калорифер;

- во всех частях аппарата поддерживалось избыточное давление, что исключало попадание кислорода из воздуха.

Среди существовавших типов реторт интересна также реторта Стаффорда, отличительной особенностью которой было поддержание температуры процесса за счет реакций экзотермического разложения основных компонентов, проходящих в интервале температур от 270 °С и выше. Реторта представляла собой стальной цилиндр, хорошо изолированный от потери тепла. Переугливаемый материал сначала высушивали, подавали в реторту, а затем подогревали до температуры 300...400 °С, после чего обогрев прекращали. Температуру в центральной зоне поддерживали на уровне 515 °С. Уголь, получаемый в результате пиролиза, постепенно отбирали из нижней части реторты, а сверху дискретно подавали новые порции древесины. Для контроля процесса были уставлены несколько пирометров, замеряющих температуру внутри печи (рис. 18) [17]. Печь необходимо было периодически останавливать для процесса очистки. Ретортой Стаффорда был оснащен один из заводов Г. Форда, где ежегодно перерабатывалось до 400 т различных древесных отходов.

5. Современные методы пиролиза

Последующее развитие технологии пиролиза привело к появлению в 1980-х гг. непрерывно

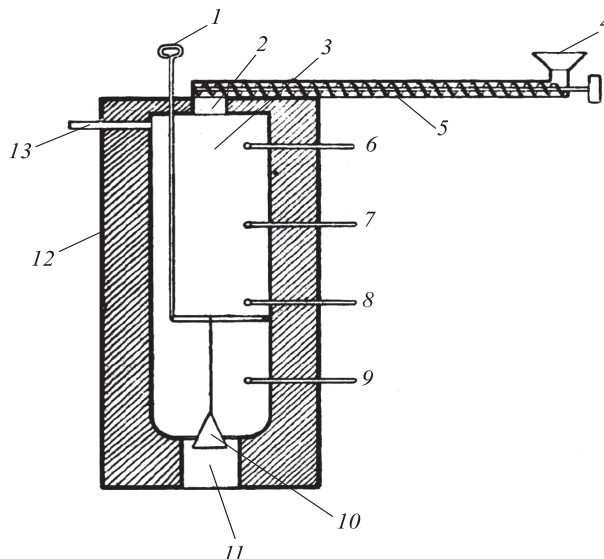


Рис. 18. Реторта Стаффорда: 1 — труба для подачи газа теплоносителя; 2 — отверстие для загрузки материала; 3 — зона пиролиза древесины; 4 — загрузочная воронка; 5 — шнековый питатель для подачи; 6–9 — пирометры; 10 — клапан для закрытия отверстия для выгрузки; 11 — отверстие для выгрузки угля; 12 — стенки реторты; 13 — труба для отвода газообразных продуктов пиролиза

Рис. 18. Scheme representation of a Stafford retort: 1 — pipe for supplying coolant gas; 2 — hole for loading material; 3 — wood pyrolysis zone; 4 — loading funnel; 5 — screw feeder for feeding; 6–9 — pyrometers; 10 — valve for closing the discharge hole; 11 — hole for unloading coal; 12 — retort walls; 13 — pipe for removing gaseous pyrolysis products

действующей вертикальной реторты [19], которая представляла собой большой цилиндр (диаметром от 2,7 до 3,8 м и высотой до 27 м), в нем циркуляция теплоносителя происходила непрерывно, как и процесс пиролиза. Переугливаемую древесину дискретно небольшими порциями загружали сверху, а получаемый уголь небольшими партиями отбирали со дна реторты. Верхний затвор автоматически открывался и закрывался, в зависимости от расположения ковша скипового механизма. Для обеспечения равномерного движения древесины в реторте был установлен стальной конус, обращенный основанием вниз. Он задерживал спуск центральной части столба древесины, уменьшая давление шихты на выгрузочный скребковый конвейер. Реторта имела четыре штуцера:

- 1) для выхода газообразных продуктов разложения;
- 2) ввода теплоносителя;
- 3) выхода газов;
- 4) ввода газов, охлаждающих уголь (рис. 19).

Последние исследования по модернизации оборудования для производства древесного угля связаны с разработкой кассетных установок повышенной производительности.

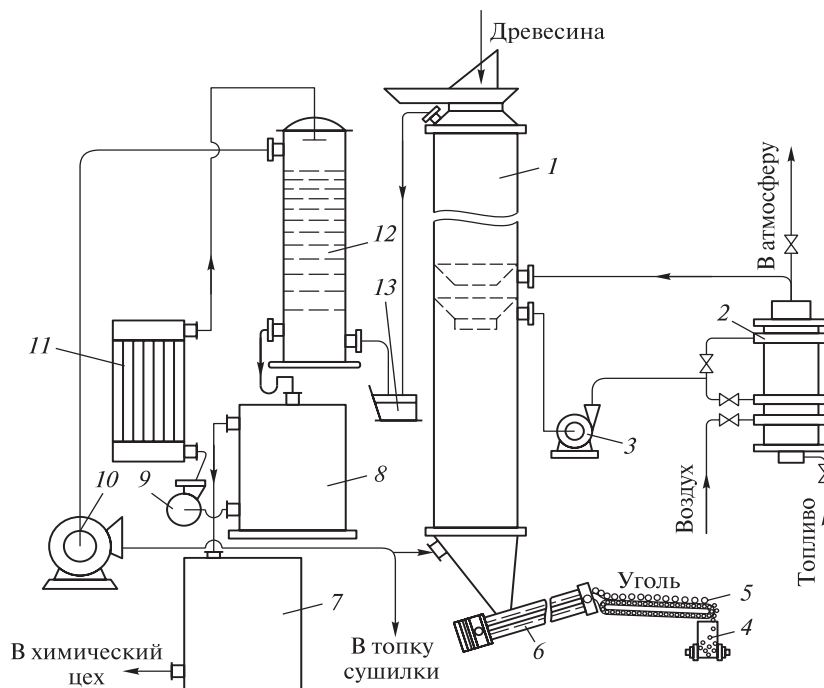


Рис. 19. Схема непрерывно действующей вертикальной реторты [1]: 1 — вертикальная реторта; 2 — топка; 3 — турбогазодувка второго контура; 4 — контейнер для угля; 5 — конвейер-стабилизатор; 6 — скребковый конвейер; 7 — сборник жидких продуктов пиролиза; 8 — сборник оборотной жидкости; 9 — насос; 10 — турбогазодувка; 11 — холодильник; 12 — скруббер; 13 — гидрозатвор

Fig. 19. Scheme of a continuous vertical retort: 1 — vertical retort; 2 — furnace; 3 — turbo-gas blowing of the second circuit; 4 — container for coal; 5 — stabilizer conveyor; 6 — scraper conveyor; 7 — collection of liquid pyrolysis products; 8 — collection of circulating liquid; 9 — pump; 10 — turbo gas blower; 11 — refrigerator; 12 — scrubber; 13 — water seal

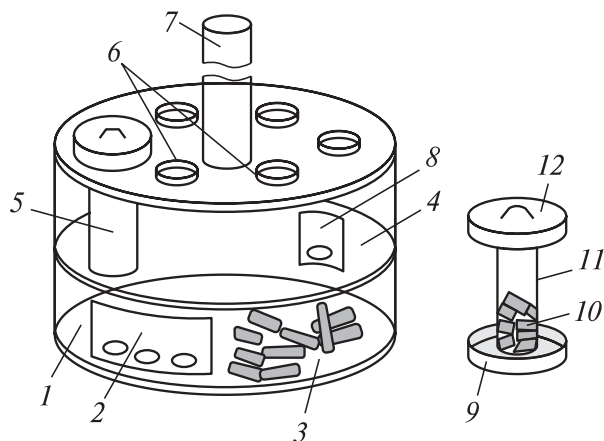


Рис. 20. Схема углевыжигательной печи Лесотехнической академии им. С.М. Кирова: 1 — топочное пространство; 2 — топочное отверстие; 3 — дрова в топке; 4 — пиролизная камера; 5 — реторта; 6 — ячейки; 7 — дымовая труба; 8 — дутьевой лючок; 9 — песчаный затвор; 10 — реторта с углем; 11 — колосник реторты; 12 — крышка реторты с затвором

Fig. 20. Scheme of charcoal kiln LTA im. S.M. Kirov: 1 — furnace space; 2 — furnace opening; 3 — firewood in the furnace; 4 — pyrolysis chamber; 5 — retort; 6 — cells; 7 — chimney; 8 — blowhole; 9 — sand gate; 10 — cake with coal; 11 — retort grate; 12 — retort lid with shutter

Первой из таких установок стала разработанная специалистами Лесотехнической академии (ЛТА) им. С.М. Кирова печь, в которой топка работает непрерывно, а небольшие реторты помещаются в пространство, нагреваемое перегретым теплоносителем, периодически вынимаются оттуда и загружаются новые (рис. 20) [24].

Дальнейшее развитие этого направления привело к разработке серии пиролизных аппаратов «Поликор», «Эколон» и др., имеющих повышенную производительность (до 1000 т/год). «Эколон» (рис. 21) представляет собой установку с достаточно большим количеством небольших реторт (до 36). Его можно использовать для производства угля, как и из древесины, так и из отходов лесозаготовок и деревообрабатывающих производств. Реторты представляют собой стальные цилиндры высотой 3,3 м и диаметром 1,02 м с наглухо приваренным дном и крышкой, откидывающейся на петлях при загрузке сырья и выгрузке угля. В верхних и нижних частях реторт приварены петли для зацепления строп подъемного механизма, расположенного на козловом кране. В нижней крышке сделаны отверстия для выхода газов, которые поступают в топку через

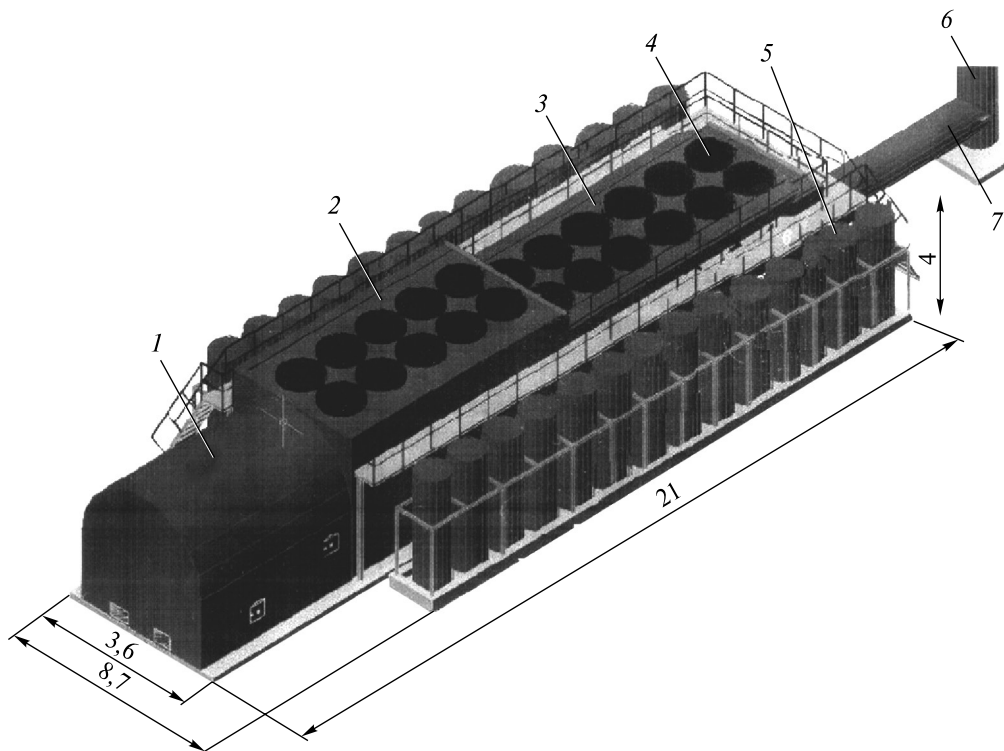


Рис. 21. Схема установки «Эколон 5,2»: 1 — топка; 2 — пиролизная камера; 3 — сушильная камера; 4 — зона пиролиза; 5 — реторты; 6 — лестницы и площадки; 7 — боров; 8 — дымовая труба
Fig. 21. Scheme of «Ekolon 5.2» installation: 1 — furnace; 2 — pyrolysis chamber; 3 — drying chamber; 4 — pyrolysis zone; 5 — retorts; 6 — ladders and platforms; 7 — hog; 8 — chimney

специальные каналы и сжигаются в ней. Сама печь разделена на две зоны:

- 1) сушки;
- 2) пиролиза.

Установка является непрерывно действующей, экологически чистой, а при утилизации избыточной тепловой энергии может дополнительно выполнять функции квартальной котельной [25].

По современным технологиям пирогенетической переработки древесины ни жидкие, ни газообразные продукты не востребованы вследствие хорошо развитой нефтепереработки и используются в качестве технологического топлива, как правило, в избыточном количестве. Приведем высказывание Д.И. Менделеева «Нефть — не топливо, топить можно и ассигнациями». Но нефть и уголь — не возобновляемые ресурсы, а древесина — возобновляема и экологична, и опыт ее 1000-летнего использования в нашей стране в качестве лесохимического сырья свидетельствует о том, что такое положение дел является расточительным и недальновидным, а комплексное использование всех продуктов пиролиза признается более рациональным.

6. Древесный уголь — материал будущего

В настоящее время ведущими странами мира производится более 25 млн т/год древесного угля. Лидерами производства древесного угля

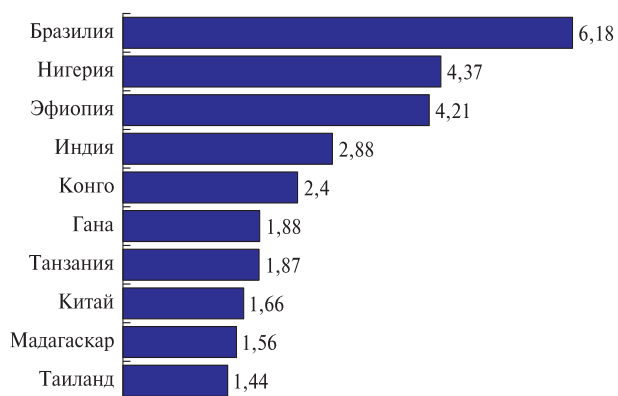


Рис. 22. Рейтинг ведущих стран по выработке древесного угля по состоянию на 2015 г., млн т/год [25]
Fig. 22. Rating of the leading countries for the production of charcoal as of 2015, million tons/year [25]

можно назвать те страны, которые используют уголь для удовлетворения своих промышленных потребностей, например Бразилию, в которой уголь используется в качестве восстановителя в металлургии, или Китай, где древесный уголь используют в качестве восстановителя в производстве кристаллического кремния. Кроме того, это страны, для которых древесный уголь является традиционным топливом (страны Африканского континента) (рис. 22) [26].

Российские предприятия производят древесного угля не многим более 100 тыс. т/год [19]. В настоящее время в качестве сырья используется специально заготовленная кондиционная древесина, что существенно сказывается на стоимости главного продукта пирогагенитической переработки древесины, поскольку расходы на сырье в пиролизном производстве составляют основную статью затрат [18]. Высокая стоимость предопределяет недостаточную конкурентную способность продукции по сравнению с ископаемым углем. Для снижения себестоимости угля интерес представляют отходы лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств, однако использование мелкодисперсных отходов ограничено тем, что уголь из такого сырья получается мелкий и низкой прочности [22]. Этот уголь можно эффективно перерабатывать в топливные брикеты.

Еще одним привлекательным сырьем для пиролиза может быть некондиционная древесина. Традиционно древесина, подвергнутая действию дереворазрушающих грибов, рассматривается как обременительный отход. Тем не менее, такую древесину можно использовать в качестве терморезистивного компонента при пиролизе еще одного обременительного отхода — гидролизного лигнина. Работы в этом направлении в настоящее время ведутся на кафедре «Химии и химической технологии в лесном комплексе» Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана под руководством профессора Г.Н. Кононова [27].

Основные тенденции производства и использования древесного угля связаны с расширением и оптимизацией использования древесного угля в различных промышленных производствах, например в производстве кремния и сероуглерода. Уменьшение себестоимости древесного угля позволит увеличить сферу применения древесного угля в химической промышленности, в качестве носителя катализаторов, сорбционных систем и восстановителя. Отдельный интерес из продуктов переработки древесного угля представляет активированный уголь, который используется в качестве сорбента для очистки водных систем. С учетом ужесточения экологического законодательства, можно ожидать, что активированный уголь станет наиболее распространенным сорбентом для улавливания токсичных загрязнений, очистки серосодержащих природных газов, процессов демеркуризации и т. д., а сырьевые источники для его производства являются возобновляемыми, следовательно, потенциально неисчерпаемыми.

Выводы

Анализ исторического развития пирогагенитических технологий переработки древесины позволил сделать следующие выводы.

1. На ранних стадиях развития технологии наиболее востребованным продуктом был древесный уголь, используемый в качестве восстановителя в кустарной металлургии и как компонент пирогагенитических композиций.

2. На индустриальном этапе развития технологий началось комплексное использование жидких продуктов пиролиза, а впоследствии и продуктов паро-газовых смесей.

3. В настоящее время пиролиз приобретает вид энергохимического процесса, единовременным продуктом которого является древесный уголь — высоковольтное сырье в различных технологиях и незаслуженно забытые другие ценные продукты пиролиза.

Список литературы

- [1] Выродов В.А., Кислицын А.Н., Глухарева М.И. Технология лесохимических производств. М.: Лесная промышленность, 1987. 352 с.
- [2] Бронзов О.В., Уткин Г.К., Кислицын А.Н. Древесный уголь. Получение, основные свойства, области применения древесного угля. М.: Лесная промышленность, 1979. 137 с.
- [3] Кононов Г.Н. Древесная смола // Большая Российская энциклопедия. Т. 9. М.: БОЭ, 2007. С. 329–330.
- [4] Шейпак А.А. История науки и техники. Материалы и технологии. В 2 ч. Ч. II. М.: МГИУ, 2010. 343 с.
- [5] Миттова И.Я., Самойлов А.М. История химии с древнейших времен до конца XX века. Долгопрудный: Интеллект, 2009. 416 с.
- [6] Толстоногов Э.Ю. Древесный уголь (технология производства, оборудование, экономика). Хабаровск: Хабаровское книжное издательство, 2003. 64 с.
- [7] Буллер М.Ф. Промышленные взрывчатые вещества. Сумы: Издательство СумГУ, 2009. 226 с.
- [8] Третьяков Г.М., Сиротинский В.Ф., Шехтер Б.И. Курс артиллерии. Том II. Боеприпасы, пороха и взрывчатые вещества. М.: Государственное издательство оборонной промышленности, 1952. 484 с.
- [9] Келли Дж. Порох. От алхимии до артиллерии: история вещества, которое изменило мир. М.: КоЛибри, 2005. 340 с.
- [10] История Китая с древнейших времен до начала XXI века. В 10 т. Т. 3. Троецарствие, Цзинь, Южные и Северные династии, Суй, Тан (220–07) / под ред. С.Л. Тихвинского. М.: Наука, 2013. 991 с.
- [11] История Китая с древнейших времен до начала XXI века. В 10 т. Т. 4. Период Пяти династий, империя Сун, государство Ляо, Цзинь, Си Ся (907–1279) / под ред. С.Л. Тихвинского. М.: Наука, 2013. 942 с.
- [12] Лукьянов П.М. История химических промыслов и химической промышленности России до конца XIX века. Том III. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 618 с.
- [13] Marsh H., Rodriguez-Reinoso F. Activated Carbon. Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books, 2006. 536 p.
- [14] Юркевич А.А., Ивахнюк Г.К., Федоров Н.Ф. Технологические основы производства химических компонентов систем жизнеобеспечения. СПб.: Лань, 2015. 368 с.
- [15] Кинле Х., Бадер Э. Активные угли, их промышленное применение. Л.: Химия, 1984. 216 с.
- [16] Фигуровский Н.А. Очерк возникновения и развития угольного противогаса Н.Д. Зелинского. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 205 с.

- [17] Васечкин В.С., Мишин А.Д. Химическая переработка древесины. Свердловск; М.: Гослестехиздат, 1933. 264 с.
- [18] Юрьев Ю.Л. Технология лесохимических производств. Пиролиз древесины. Екатеринбург: УГЛА, 1997. 99 с.
- [19] Вильданов Ф.Ш., Агабеков В.Е., Латыпова Ф.Н., Чанышев Р.Р., Просочкина Т.Р., Красько С.А., Булатова Ю.А. Лесохимия — современное состояние и перспективы развития. Ч. 2. Пиролиз древесины // Башкирский химический журнал. 2013. Т. 20. № 3. С. 123–128
- [20] Ногин К.И. Сухая перегонка дерева. Л.: Гослестехиздат, 1936. 498 с.
- [21] Славянский А.К., Шарков В.И., Ливеровский А.А., Буевской А.В., Медников Ф.А., Лямин В.А., Солодкий Ф.Т., Цацка Э.М., Дмитриева О.А., Никандров Б.Ф. Химическая технология древесины. М.: Гослестехиздат, 1962. 576 с.
- [22] Юрьев Ю.Л. Тенденции развития технологии пиролиза древесины // Леса России и хозяйство в них, 2016. № 3 (58). С. 58–63
- [23] Гордон Л.В., Скворцов С.О., Лисов В.И. Технология и оборудование лесохимических производств. М.: Лесная пром-сть, 1988. 360 с.
- [24] Левин А.Б., Семенов Ю.П., Малинин В.Г., Хроменко А.В. Энергетическое использование древесной биомассы. М.: ИНФРА-М, 2016. 199 с.
- [25] Ягодин В.И., Юдкевич Ю.Д. Новый энерготехнологический комплекс «ПОЛИКОР» для производства древесного угля и тепловой энергии из лесосечных отходов. Древесные отходы — потенциальный заменитель традиционных видов топлива. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургской ЛТА, 2002. С. 31
- [26] Куда девать лиственную древесину? Ч. 3. Производство древесного угля // ЛесПромИнформ, № 3 (125), 2017. С. 116–124
- [27] Кононов Г.Н., Зарубина А.Н., Зайцев В.Д. Влияние технологических факторов на процесс пиролиза модифицированного гидролизного лигнина // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Материалы 5-й научно-технической конференции-вебинара / под. ред. В.М. Гедьо. Санкт-Петербург, 16–18 июня 2020 г. СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского ЛТУ, 2020. С. 142–145.

Сведения об авторах

Кононов Георгий Николаевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-кор. РАЕН, ученый секретарь секции «Химии и химической технологии древесины» РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

Зарубина Анжелла Николаевна — канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Химия и химические технологии в лесном комплексе» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zarubina@mgul.ac.ru

Веревкин Алексей Николаевич — канд. хим. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

Зайцев Владислав Дмитриевич — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kelertak@bk.ru

Чекунин Дмитрий Борисович — канд. техн. наук, ст. науч. сотр. научно-исследовательского института филиал АО «Гознак», kelertak@bk.ru

Поступила в редакцию 01.10.2020.

Принята к публикации 22.12.2020.

WOOD AS A CHEMICAL RAW MATERIAL. HISTORY AND MODERNITY

III. WOOD PYROLYSIS AS PROCESSING METHOD

G.N. Kononov¹, A.N. Zarubina¹, A.N. Verevkin¹, V.D. Zaytsev¹, D.B. Chekunin²

¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²Research institute – Branch of Goznak, 19, Mytnaya st., 115162, Moscow, Russia

kononov@mgul.ac.ru

The article is devoted to the history of pyrogenetic wood processing. The stages of development of this branch of wood chemistry from ancient times to our time are considered. The features of the technologies of pit, heap and fire coal burning are described in detail. Considered are the schematic diagrams of batch and continuous charcoal kilns, as well as modern retort technologies for pyrolysis of wood and waste of its mechanical and chemical processing. This article is the third in the series «Wood as a chemical raw material — history and modernity», the first and second were published in the journal «Forestry Bulletin», volumes 24, № 1 and № 5.

Keywords: wood pyrolysis, wood chemistry, charcoal

Suggested citation: Kononov G.N., Zarubina A.N., Verevkin A.N., Zaytsev V.D., Chekunin D.B. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e. Istoriya i sovremennost'. III. Piroliz drevesiny kak metod ee pererabotki* [Wood as a chemical raw material. History and modernity. III. Wood pyrolysis as processing method]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2021, vol. 25, no. 3, pp. 126–141. DOI: 10.18698/2542-1468-2021-3-126-141

References

- [1] Vyrodov V.A., Kislitsyn A.N., Glukhareva M.I. *Tekhnologiya lesokhimicheskikh proizvodstv*. [Wood chemical technology]. Moscow: Forest industry, 1987, 352 p.
- [2] Bronzov O.V., Utkin G.K., Kislitsyn A.N. *Drevesnyy ugol'. Poluchenie, osnovnye svoystva, oblasti primeneniya drevsnogo uglya* [Wood charcoal. Production, basic properties, charcoal applications]. Moscow: Forest industry, 1979, 137 p.
- [3] Kononov G.N. *Drevesnaya smola* [Wood resin]. Great Russian Encyclopedia [Bol'shaya Rossiyskaya entsiklopediya]. T. 9. Moscow: BOE, 2007, pp. 329–330.
- [4] Sheypak A.A. *Istoriya nauki i tekhniki. Materialy i tekhnologii* [History of science and technology. Materials and technology]. Moscow: MSIU, 2010, 343 p.
- [5] Mittova I.Ya., Samoylov A.M. *Istoriya khimii s drevneyshikh vremen do kontsa XX veka* [History of chemistry from ancient times to the end of the 20th century]. Dolgoprudny: Intelligence, 2009, 416 p.
- [6] Tolstonogov E.Yu. *Drevesnyy ugol' (tekhnologiya proizvodstva, oborudovanie, ekonomika)* [Charcoal (production technology, equipment, economy)]. Khabarovsk: Khabarovsk book publishing house, 2003, 64 p.
- [7] Buller M.F. *Promyshlennyye vzryvchatye veshchestva* [Industrial explosives]. Sumy: Publishing House of SSU, 2009, 226 p.
- [8] Tret'yakov G.M., Sirotnitskiy V.F., Shekhter B.I. *Kurs artillerii. Tom II. Boepripasy, porokha i vzryvchatye veshchestva* [Artillery Course. Volume II. Ammunition, gunpowder and explosives]. Moscow: State publishing house of defense industry, 1952, 484 p.
- [9] Kelli J. *Porokh. Ot alkhimii do artillerii: istoriya veshchestva, kotoroe izmenilo mir* [Gunpowder. From alchemy to artillery: The story of the substance that changed the world]. Moscow: Colibri, 2005, 340 p.
- [10] *Istoriya Kitaya s drevneyshikh vremen do nachala XXI veka. V 10 t. T. 3. Troetsarstvie, Tsin', Yuzhnye i Severnye dinastii, Suy, Tan (220–07)* [The history of China from ancient times to the beginning of the XXI century. In 10 v. V. 3. Three Kingdoms, Jin, Southern and Northern dynasties, Sui, Tang]. Ed. S.L. Tikhvinskiy. Moscow: Science, 2013, 991 p.
- [11] *Istoriya Kitaya s drevneyshikh vremen do nachala XXI veka. V 10 t. T. 4. Period Pyati dinastiy, imperiya Sun, gosudarstvo Lyao, Tsin', Si Sya (907-1279)* [The history of China from ancient times to the beginning of the XXI century. In 10 v. V. 4. Five Dynasties Period, Song Empire, Liao State, Jin, Xi Xia] / by ed. S.L. Tikhvinskiy. Moscow: Science, 2013, 942 p.
- [12] Luk'yanov P.M. *Istoriya khimicheskikh promyslov i khimicheskoy promyshlennosti Rossii do kontsa XIX veka* [History of chemical crafts and the chemical industry of Russia until the end of the XIX century]. V. III. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1951, 618 p.
- [13] Marsh H., Rodriguez-Reinoso F. *Activated Carbon*. Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books, 2006, 536 p.
- [14] Yurkevich A.A., Ivakhnyuk G.K., Fedorov N.F. *Tekhnologicheskie osnovy proizvodstva khimicheskikh komponentov sistem zhizneobespecheniya* [Technological basis for the production of chemical components of life support systems]. St. Petersburg: Lan, 2015, 368 p.
- [15] Kinle H., Bader E. *Aktivnye ugli ikh promyshlennoe primeneniye* [Active carbons and their industrial application]. Leningrad: Chemistry, 1984, 216 p.
- [16] Figurovskiy N.A. *Ocherk vozniknoveniya i razvitiya ugol'nogo protivogaza N.D. Zelinskogo* [Essay on the origin and development of a coal gas mask N.D. Zelinsky]. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1952, 205 p.
- [17] Vasechkin V.S., Mishin A.D. *Khimicheskaya pererabotka drevesiny* [Chemical wood processing]. Sverdlovsk–Moscow: Goslestekhzdat, 1933, 264 p.
- [18] Yur'ev Yu.L. *Tekhnologiya lesokhimicheskikh proizvodstv. Piroliz drevesiny* [Wood chemical technology. Part 1. Wood pyrolysis]. Yekaterinburg: USFU, 1997, 99 p.
- [19] Vil'danov F.Sh., Agabekov V.E., Latypova F.N., Chanyshev R.R., Prosochkina T.R., Kras'ko S.A., Bulatova Yu.A. *Lesokhimiya — sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya. Ch. 2. Piroliz drevesiny* [Wood chemistry — the current state and development prospects. Part 2. Wood pyrolysis]. *Bashkirskiy khimicheskiy zhurnal* [Bashkir Chemical Journal], 2013, v. 20, no. 3, pp. 123–128.

- [20] Nogin K.I. *Sukhaya peregonka dereva* [Dry distillation of wood]. Leningrad: Goslestezhizat, 1936, 498 p.
- [21] Slavyanskiy A.K., Sharkov V.I., Liverovskiy A.A., Buevskoy A.V., Mednikov F.A., Lyamin V.A., Solodkiy F.T., Tsatska E.M., Dmitrieva O.A., Nikandrov B.F. *Khimicheskaya tekhnologiya drevesiny* [Chemical technology of wood]. Moscow: Goslembumizdat, 1962, 576 p.
- [22] Yur'ev Yu.L. *Tendentsii razvitiya tekhnologii piroliza drevesiny* [Trends in the development of wood pyrolysis technology]. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh* [Russian forests and household in them], 2016, no. 3 (58), pp. 58–63.
- [23] Gordon L.V., Skvortsov S.O., Lisov V.I. *Tekhnologiya i oborudovanie lesokhimicheskikh proizvodstv* [Technology and equipment of wood chemical production]. Moscow: Forest industry, 1988, 360 p.
- [24] Levin A.B., Semenov Yu.P., Malinin V.G., Khromenko A.V. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnoy biomassy* [Energy use of woody biomass]. Moscow: Infra-M, 2016, 199 p.
- [25] Yagodin V.I., Yudkevich Yu.D. *Novyy energotekhnologicheskii kompleks «Polikor» dlya proizvodstva drevesnogo uglya i teplovy energii iz lesoshechnykh otkhodov. Drevesnye otkhody — potentsial'nyy zamenitel' traditsionnykh vidov topliva* [New energy-technological complex «Polikor» for the production of charcoal and thermal energy from logging waste. Wood waste is a potential substitute for traditional fuels]. St. Petersburg: SPBLTA, 2002, p. 31.
- [26] *Kuda devat' listvennyuyu drevesinu? Ch. 3. Proizvodstvo drevesnogo uglya* [Where to put hardwood? Part 3. Charcoal production]. *LesPromInform*, 2017, no. 3 (125), pp. 116–124.
- [27] Kononov G.N., Zarubina A.N., Zaytsev V.D. *Vliyanie tekhnologicheskikh faktorov na protsess piroliza modifitsirovannogo gidroliznogo lignina* [Influence of technological factors on the process of pyrolysis of modified hydrolysis lignin]. *Les Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: materialy pyatoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii-vebinara* [Forests of Russia: politics, industry, science, education. Materials of the fifth scientific and technical conference-webinar]. Ed. V.M. Ged'o. St. Petersburg, June 16–18, 2020 St. Petersburg: SPbGLTU, 2020, pp. 142–145.

Authors' information

Kononov Georgiy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of section «Chemistry and engineering chemistry of wood» RHO of D. I. Mendeleev, kononov@mgul.ac.ru

Zarubina Anzhella Nikolaevna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of Department of «Chemistry and Chemical Technologies in the Forestry Complex» of the BMSTU (Mytishchi branch), zarubina@mgul.ac.ru

Verevkin Aleksey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Zaytsev Vladislav Dmitrievich — Postgraduate Student of the BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

Chekunin Dmitry Borisovich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher of the Scientific Research Institute — branch of JSC «Goznak», kelertak@bk.ru

Received 01.10.2020.

Accepted for publication 22.12.2020.