

УДК 661.183.2

**В.Ф. Олонцев, Е.А. Фарберова, А.А. Минькова,
К.Н. Генералова, К.С. Белоусов**

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ В ПРОЦЕССЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

В настоящее время многообразие углеродных сорбентов используется для очистки воздуха и воды, в производстве металлов, в полимерной химии, пищевой промышленности, в энергетике, медицине, фармакологии и других областях.

Основные направления развития сорбционных технологий – исследование новых видов углеродсодержащего сырья и связующих веществ для синтеза углеродных соединений различного назначения; создание материалов с рациональными физико-механическими и адсорбирующими свойствами; разработка и внедрение промышленных технологий регенерации адсорбентов для их многоциклового использования; изучение областей применения углеродных материалов с целью повышения эффективности их использования в адсорбционных технологиях.

Производство адсорбентов для экологических целей в развитых странах достигает 500 г на человека в год. В России углеродные адсорбенты и носители катализаторов не используются в должном объеме из-за недостаточной степени развития сырьевой базы, малых объемов производства, невысокой эффективности реализованных технологий и низкого уровня автоматизации процесса. В то время как углеродсодержащие материалы перспективны в применении и в связи с доступностью сырья, относительно невысокой стоимостью адсорбентов, возможностью регенерации и утилизации, низким удельным расходом, универсальностью, допускающей их применение в любом адсорбционном и целом ряде каталитических процессов.

В статье рассмотрены факторы, которые оказывают влияние на формирование пористой структуры, углеродных адсорбентов. Оптимальные темпы нагрева и степень обгара позволяют

получить механически прочные поглощающие материалы с развитой структурой пор, характеристики активированного угля зависят от вида и марок исходного сырья. Повышение качества активированных углей промышленного применения является результатом совершенствования технологий оптимального управления процессами карбонизации и активации.

Ключевые слова: пористая структура, активированный уголь, скорость нагрева, карбонизация, спеченый уголь.

**V.F. Olontsev, E.A. Farberova, A.A. Minkova,
K.N. Generalova, K.S. Belousov**

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

OPTIMIZATION OF POROUS STRUCTURE OF ABSORBENT CARBON IN THE COURSE OF TECHNOLOGICAL PRODUCTION

Currently, the diversity of carbon sorbents used to clean air and water, in the production of metals, polymer chemistry, food industry, energy, medicine, pharmacology, and other fields.

The main directions of development of sorption technologies – study of new types of carbonaceous materials and binders for the synthesis of carbon compounds for various purposes; the creation of materials with rational mechanical and adsorptive properties; development and implementation of industrial technologies regeneration of adsorbents for their high cycle use; study of applications of carbon materials to improve the efficiency of their use in adsorption technology.

Production of adsorbents for environmental purposes in developed countries reaches 500 g per person per year. In Russia, the carbon adsorbents and catalysts are not used in the proper amount due to insufficient degree of development of raw material base, low volume production, low efficiency of implemented technologies and low-level process automation. While carbonaceous materials and are promising in application due to the availability of raw materials, the relatively low cost adsorbents, the possibility of recovery and recycling, low specific consumption, flexibility, permitting their use in any number of adsorption and catalytic processes generally.

The article examines the factors that influence the formation porous structure of carbon adsorbents. Optimal rates of heating and allow the degree of ablation to receive mechanically strong absorbing materi-

als developed pore structure, activated carbon characteristics depend on the type and brand of the feedstock. Improving the quality of activated carbon industrial application is the result of improved technology of optimal control of carbonization and activation processes.

Keywords: *porous structure, activated carbons, heat rate, carbonization, conglomerate carbon.*

К углеродным макропористым адсорбентам можно отнести активированные угли, активированные волокна и ткани, которые представляют собой класс высокомолекулярных пористых углеродных материалов, имеющих развитую удельную поверхность и обладающих способностью эффективно и избирательно поглощать молекулы веществ различной химической природы из газовых, парогазовых и жидких сред. Углеродные адсорбенты существенно отличаются от других высокопористых материалов, таких как кокс, пемза и графит, содержанием микропор и супермикропор. Технический углерод вследствие малого размера частиц обладает более высокой удельной поверхностью (до $100 \text{ м}^2/\text{г}$) и относится к углеродным нанопористым адсорбентам.

Одним из наиболее важных показателей всех типов углеродных адсорбентов является их пористая структура [1]. Теоретические основы адсорбции на углеродных адсорбентах разработаны академиком М.М. Дубининым. Предложенная и обоснованная модель пористой структуры углеродных адсорбентов [2] позволяет получить представление об идеализированной структуре пор поглощающих углеродных материалов.

В соответствии с классификацией М.М. Дубинина [3], основанной на механизмах, протекающих в порах адсорбционных и капиллярных процессов, поры разделяют по эквивалентному радиусу, равному удвоенному отношению площади нормального сечения поры к ее периметру, на микропоры с эквивалентным радиусом $r < 0,6...0,7 \text{ нм}$, супермикропоры с $0,6...0,7 < r < 1,5...1,6 \text{ нм}$ и макропоры с $r > 100...200 \text{ нм}$.

Микропоры и супермикропоры являются поглощающими [4], вследствие большой геометрической поверхности их скелета, играют определяющую роль при адсорбции газов, паров и жидкостей. Объем микропор и супермикропор может достигать $1,3...1,5 \text{ см}^3/\text{г}$. Углеродные адсорбенты содержат поры и других разновидностей. Мезопоры с объемом $0,04...0,20 \text{ см}^3/\text{г}$ и удельной поверхностью скелета до $100 \text{ см}^3/\text{г}$ участвуют в адсорбции крупных молекул органических ве-

ществ из растворов. У некоторых лабораторных образцов объем мезопор достигает $0,7 \text{ см}^3/\text{г}$, а удельная поверхность $200\text{...}450 \text{ см}^2/\text{г}$. Макропоры углеродных адсорбентов ввиду малой удельной поверхности скелета ($<2 \text{ см}^3/\text{г}$) важны как транспортные артерии, их роль существенна в процессах катализа и хемосорбции, они служат в качестве контейнеров для хранения ацетилен-ацетонового раствора в производстве ацетиленовых баллонов, наполненных активированным углем.

Выбор химических методов обработки ископаемого угля фосфорной кислотой, хлористым цинком и поверхностно-активными веществами подразумевает конкретный вид используемого сырья и требуемых свойств полученного карбонизата, его пористой структуры. Газификация углеродсодержащего сырья водяным паром и углекислым газом согласно разработанным технологическим регламентам позволяет получить широкую номенклатуру активированных углей, характеризующихся порами различных разновидностей и развитой структуры. Следует отметить, что каждый углеродный материал демонстрирует особые свойства при активации. Традиционные технологии получения активированных углей многостадийны, энергоемки и экологически опасны.

Для получения углеродных адсорбентов могут быть использованы различные материалы органического происхождения: древесина, лигнин, фруктовые косточки, скорлупа орехов, торф, ископаемые угли. При этом последние являются наиболее используемым и перспективным сырьем, их доля в производстве адсорбентов составляет $>60 \%$ при наблюдаемой тенденции к увеличению. На основе ископаемых углей можно получать как дешевые адсорбенты одноразового использования, так и высококачественные гранулированные активированные угли с высокой механической прочностью, возможностью регенерации и развитой системой пор требуемого размера.

Основными предпосылками использования ископаемых углей для получения адсорбентов являются широкий ассортимент их исходных свойств, сравнительная дешевизна и известная схема технологической переработки, обеспечивающая получение различных марок промышленных активированных углей высокого качества. Для производства адсорбентов можно использовать широкую гамму углей, начиная бурыми и заканчивая антрацитами, при этом в зависимости от свойств используемого сырья будут изменяться: технология его переработки, качество и область применения получаемых активированных углей [5].

С точки зрения целесообразности технологической переработки в углеродные адсорбенты ископаемые угли можно условно разделить на две группы. В первую входят неспекающиеся и слабоспекающиеся угли, на основе которых получают дешевые дробленые адсорбенты. Использование таких углей для получения промышленных гранулированных адсорбентов требует применения связующих веществ. Вторую группу образуют спекающиеся угли, применяемые в основном для получения угольных гранул, механическая прочность которых обусловлена способностью углей спекаться при термической обработке с образованием прочного кокса, благодаря чему возможно уменьшение расхода или исключение связующего.

Важно заметить, что большой интерес как сырье для получения адсорбентов экологического назначения вызывают бурые угли. Развитая первичная пористость полукоксов и коксов бурых углей позволяет использовать их без дополнительной активационной обработки в фильтрах-поглотителях в качестве дешевых адсорбентов одноразового использования для очистки сточных вод различных производств.

Антрациты в исходном состоянии обладают высокой механической прочностью и значительными адсорбционными свойствами вследствие развитой системы микропор и отсутствием крупных открытых пор. Антрациты имеют низкую реакционную способность, которая в процессе термической обработки снижается еще больше, поэтому для их активации применяются наиболее эффективные технологические процессы, например обработка в кипящем слое [6].

Технологический процесс производства углеродных адсорбентов из ископаемого сырья включает в себя стадии сушки, карбонизации и активации предварительно отформированных угольно-смоляных гранул. Аппаратурное оформление стадий может быть различным вплоть до самого высокого уровня автоматизации процесса. На первой стадии из угольных гранул удаляют избыточную влажность, при этом происходит повышение их механической прочности и извлечение низкокипящих летучих веществ.

Карбонизация углеродсодержащих материалов охватывает широкую область температур и осуществляется в среде инертных газов. На этой стадии происходит удаление низкомолекулярных летучих веществ и перестройка внутренней структуры углеродного материала. Таким образом получают уголь-сырец с зародышной системой тонких пор, которая продолжает свое развитие в процессе активации. Объем

микропор карбонизованных углей недоступен для молекул с критическим размером $>0,4$ нм.

На стадии активации в присутствии активирующихся газов (CO_2 , H_2O), которые диффундируют в поры карбонизата, происходит их взаимодействие с углем, что приводит к развитию системы адсорбирующих пор и их количества. Причем увеличение доступности пор, проявляющееся в возрастании пикнометрической плотности относительно веществ с критическим диаметром молекул $>0,4...0,5$ нм, достигается у карбонизатов из различных видов обрабатываемого сырья (торф, лигнин, плодовые косточки, каменный уголь, термореактивные полимеры).

При использовании в качестве углеродсодержащего сырья антрацита необходимость в стадии карбонизации отпадает. Также стадии карбонизации и активации совмещаются в один при получении активированных углей путем активации с использованием химических добавок. Как уже отмечалось, выбор химического активатора зависит от вида сырья и требуемых свойств сорбента.

На величину удельной поверхности и пористости материалов оказывают влияние структурные особенности и тип исходных углей. Были получены карбонизованные материалы из каменного угля инертнитовой и витринитовой групп, бурого угля, полимерного материала на основе фенолформальдегидной смолы, скорлупы орехов, древесины. В табл. 1 приведены технические характеристики исходного сырья для последующей карбонизации до содержания летучих веществ 1...2 % (мас.) при скорости нагрева $0,17$ °C/с до 850 °C. Такая высокотемпературная карбонизация позволяет сформировать микропоры малых размеров.

Содержание летучих веществ, характеризующее углеродсодержащие материалы, определяет степень потери массы при термической обработке, происходящее за счет удаления влаги и летучих в процессе карбонизации и за счет обгара при активации. Зольность, или содержание минеральных компонентов в ископаемых углях является важным фактором при оценке пригодности углей в процессах их переработки в адсорбенты. Исходная зольность в процессе карбонизации и последующей активации увеличивается в 3–4 раза за счет потери массы вследствие удаления летучих веществ и выгорания углерода, что существенно снижает прочность и способствует развитию системы сорбирующих пор.

Таблица 1

Характеристики углеродсодержащих материалов

Исходное сырье	Содержание в углеродном материале, мас. %		Характеристики карбонизованного материала			
	летучие вещества	зола	удельный объем микропор, см ³ /г	характеристическая энергия адсорбции, кДж/моль	полуширина микропор, нм	удельная поверхность микропор, м ² /г
Каменный уголь Т	16,2	3,0	0,12	10,8	0,38	316
Каменный уголь 2СС	21,7	2,5	0,14	10,9	0,38	368
Каменный уголь Г	39,4	3,0	0,15	11,6	0,35	429
Каменный уголь Д	48,0	2,6	0,16	11,4	0,36	444
Бурый уголь	49,0	6,0	0,17	11,0	0,37	460
Полимерный материал	57,0	0,4	0,24	10,7	0,38	632
Скорлупа орехов	79,0	0,4	0,23	10,7	0,38	605
Древесина	–	–	0,22	10,1	0,41	537

Данные о микропористой структуре карбонизованных материалов, рассчитанные с использованием математического аппарата теории объемного заполнения пор [7], приведены в табл. 1.

При высокотемпературной карбонизации в углеродсодержащих материалах формируется объем микропор малых размеров, доступных для молекул диоксида углерода при 20 °С и практически недоступных для более крупных молекул неорганических веществ. Таким образом, формирующийся объем микропор представляет однородно-микропористую структуру, и изотермы адсорбции диоксида углерода хорошо описываются уравнением Дубинина–Радушкевича [7]:

$$Q = \exp\left(-\left(\frac{A}{E}\right)^2\right), \quad (1)$$

где Q – степень заполнения объема микропор; A – дифференциальная мольная работа адсорбции; E – параметр функции распределения, который назван характеристической энергией адсорбции.

Если заменить степень заполнения предельной величиной адсорбции, отвечающей заполнению всего адсорбционного пространства или объема пор (a_0), и величиной адсорбции (a) при равновесной давлении (p) и температуре (T) и принять в качестве параметра термического уравнения предельный объем адсорбированного пространства

(W_0) $Q = \frac{a}{a_0}$, $a_0 = \frac{W_0}{\gamma^0}$, где γ^0 – мольный объем при предельном заполнении, то уравнение (1) имеет вид

$$a_0 = \frac{W_0}{\gamma^0} \cdot \exp\left(-\left(\frac{A}{E}\right)^2\right). \quad (2)$$

Принимая во внимание соотношение для характеристической энергии адсорбции для стандартного пара, например бензола (E_0), и рассматриваемого вещества (E)

$$E = \beta \cdot E_0,$$

где β – коэффициент аффинности характеристических кривых, можно получить уравнение (2) для общего случая адсорбции паров различных веществ [7]

$$a_0 = \frac{W_0}{\gamma^0} \cdot \exp\left(-\left(\frac{A}{\beta \cdot E}\right)^2\right). \quad (3)$$

Используя уравнение (3), можно вычислить предельный объем адсорбционного пространства микропор и характеристическую энергию адсорбции диоксида углерода, по которой с учетом коэффициента аффинности рассчитана характеристическая энергия адсорбции стандартного пара бензола.

Значения параметров микропористой структуры, измеренные адсорбционными методами, зависят от используемого в исследованиях адсорбата. Одним из наиболее эффективных физико-химических методов получения более полной информации о пористости углеродсодержащих материалов является метод малоуглеродного рассеяния рентгеновских лучей. Задача перехода от обобщенных размеров пор к гео-

метрическим рассмотрена в работе [8], где предложено определять значение размеров пор как величину обратно пропорциональную характеристической энергии адсорбции. В работе [9] сделан вывод, что средние отклонения вычисленных значений изотерм адсорбции не зависят от величины коэффициента k , и для микропор $X = \frac{k}{E_0}$, где X – полуширина щели, значение постоянной $k = 10$ кДж·нм/моль, выбрано на основе независимых опытов. Значение геометрической поверхности микропор S_M может быть рассчитано по соотношению $s_M = \frac{W_0}{X_0} \cdot 1000$.

Пористость твердых остатков термической деструкции углей выражает суммарный объем всех разновидностей пор в структуре и вычисляется по формуле

$$V_{\Sigma} = \frac{1}{\delta} - \frac{1}{d},$$

где δ – кажущийся удельный вес, г/см³; d – истинный удельный вес, г/см³.

С ростом содержания летучих веществ увеличивается объем микропор, а значение геометрической поверхности микропор изменяется с ростом этого показателя практически в два раза. Процесс парогазовой активации представляет собой окисление отдельных углеродных плоских слоев реагента с образованием щелей и трещин молекулярных размеров, которые составляют микропоры активированного угля. Формирующийся при активации объем адсорбирующих пор в общем случае пропорционален доле удаляемого углеродсодержащего вещества или степени обгара.

Для каждого сырья существует оптимальный темп нагрева для производства механически прочных адсорбентов с развитой структурой пор. В табл. 2 приведены данные о влиянии скорости нагрева гранул на их пористую структуру. Активирование проводили во вращающихся барабанных печах с внешним обогревом при использовании в качестве реагента смеси дымовых газов и водяного пара в течение 1,5...2 ч. Процесс активации необходимо проводить при условиях, способствующих образованию макропор и переходных пор. Основным фактором, влияющим на образование микропор, является температура. Доказано, что уменьшение температуры нагрева ведет к увеличению

вероятности образования пор этой разновидности, но в то же время увеличивает длительность процесса. Вращающиеся печи имеют преимущество, связанное с отсутствием градиента температур между пристенными и центральными участками. Перемешивание материала придает гранулам большую механическую прочность и позволяет получить однородные гранулы.

Таблица 2

Характеристики пористой структуры активированного угля

Скорость нагрева, °С/мин	Суммарный объем пор, см ³ /г	Объем микропор, см ³ /г	Объем мезопор, см ³ /г	Объем макропор, см ³ /г
3	0,21	0,06	0,03	0,12
10	0,43	0,10	0,03	0,30
20	0,53	0,11	0,05	0,37

Процесс активации целесообразно проводить в условиях исключения поверхностного обгара. Свойства углеродного адсорбента зависят от степени обгара, с повышением обгара уменьшается механическая прочность (табл. 3).

Оптимальные свойства гранулированного активированного угля достигаются при обгаре 50 %, что соответствует объему микропор около 0,4 см³/г, прочности 58 %. Дальнейшее увеличение степени обгара ведет к увеличению объема мезопор и уменьшению прочности гранул.

Таблица 3

Технологические характеристики активированного угля

Степень обгара, %	Прочность на стирание, %	Насыпная плотность, см ³ /г	Суммарный объем пор, см ³ /г
37,6	91,5	0,69	0,56
48,5	88,2	0,47	0,82
62,0	75,9	0,42	0,91
72,5	65,9	0,41	1,06

Основной целью процесса активации является развитие структуры пор во всем объеме активируемой частицы, для чего необходимо взаимодействие углерода с газом-окислителем во всем объеме. Следовательно, одним из направлений интенсификации процесса является использование карбонизата с развитой внутренней поверхностью и разветвленной структурой, что позволит значительно облегчить диффузию молекул газа-окислителя к центру активируемой частицы.

Объем микропор и суммарный объем пор, формирующихся при активации, в первую очередь зависят от выхода целевого продукта (обгара) и характера процесса активирования, связанного с преимущественным выгоранием фрагментов внутренней и периферийной структуры угольных частиц. Плотность и суммарный объем пор активированного угля существенно зависят от характеристик исходного углеродсодержащего материала, поэтому регулирование этих параметров необходимо начинать с выбора сырья и его предварительной обработки.

Результаты исследований в области адсорбционных технологий позволяют сделать вывод, что многие характеристики активированных углей определяются природой исходного сырья, однако научные основы взаимосвязи между свойствами ископаемых углей различных стадий метаморфизма различного петрографического состава и показателями качества адсорбентов недостаточно изучены. В условиях промышленного производства не реализованы технологические схемы и теоретические основы направленного получения адсорбентов требуемого качества из ископаемых углей. Решение задачи установления параметров пористой структуры и адсорбционных свойств для основных типов активированных углей (рекуперационных, газовых, обесцвечивающих) позволяет получать продукты с оптимальными свойствами, обосновывать производство и применение марок углей данного типа.

В заключение необходимо отметить, что задача оптимального управления сложным процессом парогазовой активации в условиях выпуска продукции широкого ассортимента состоит в регулировании основных показателей химико-технологического процесса в зависимости от свойств и вида исходного сырья, конкретных условий проведения процесса, марок готового продукта и технологических ограничений. Научные исследования показали, что оптимальное управление производством активированного угля с использованием новых технологий на существующем оборудовании позволяет сформировать высокую пористую структуру углеродных сорбентов.

Внедрение в промышленность научно-технических разработок, направленных на повышение качества активированных углей, увеличение их ассортимента, интенсификация аппаратурно-технологических процессов производства с использованием перспективных методов контроля и управления и наращивание новых производственных мощностей с использованием различных видов сырья позволяет решить вопрос удовлетворения потребности в качественных активированных

углях. Огромное количество активированных углей необходимо в настоящее время для решения экологических проблем – подготовки питьевой воды, очистки сточных вод и газовых выбросов, рекуперации паров органических соединений, тонкого разделения технологических газов. Интенсификация процессов химической, нефтехимической и биотехнологической промышленности, связанная с переходом к массообменным аппаратам новых конструкций, требует значительной механической прочности углеродных адсорбентов. Различные отрасли техники нуждаются в селективных адсорбентах, обладающих молекулярно-ситовыми свойствами, обусловленными заданной пористой структурой.

В работе представлены результаты исследований, выполненных в соответствии с Постановлением Правительства России № 218 от 09.04.2010 г. «О мерах государственной поддержки развития кооперации российских высших учебных заведений и организаций, реализующих комплексные проекты по созданию высокотехнологических производств» по теме «Создание высокотехнологичного адаптивного производства углеродных сорбентов и фильтрующих материалов, как основы отечественной сорбционной, экологической и противогазовой техники нового поколения».

Список литературы

1. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. – М.: Химия, 1984. – 216 с.
2. Dubinin M.M. Generalization of the theory of volume filling of micropores to nonhomogeneous microporous structures // Carbon. – 1985. – Vol. 23. – P. 373–380.
3. Дубинин М.М. Адсорбция и пористость: учеб. пособие. – М.: Изд-во ВАХЗ, 1972. – 172 с.
4. Олонцев В.Ф. Современные технологии высококачественных углеродных сорбентов. Сообщение 1. Технологии на основе ископаемого сырья // Хим. промышленность. – 1997. – Т. 749, № 11. – С. 31–35.
5. Костомарова М.А., Передерий М.А., Суринова С.И. Получение адсорбентов из ископаемых углей // Химия твердого топлива. – 1976. – № 2. – С. 5–15.
6. Махорин К.Е., Тищенко А.Т. Установки с кипящим слоем. – Харьков: Техника, 1976. – 231 с.

7. Дубинин М.М., Астахов В.А. Углеродные адсорбенты // Изв. АН СССР. Сер. химическая. – 1971. – № 1. – С. 5–11.

8. Дубинин М.М. Новое в области адсорбции паров микропористыми адсорбентами // Журн. физ. химии. – 1987. – Т. 61, № 5. – С. 1301–1305.

9. Дубинин М.М., Поляков Н.С., Катаева Л.И. Неоднородные микропористые структуры и адсорбционные свойства углеродных адсорбентов // Изв. АН СССР. Сер. химическая. – 1970. – № 12. – С. 2691–2699.

References

1. Kinle Kh., Bader E. Aktivnye ugli i ikh promyshlennoe primenenie [Active coals and their industrial application]. Moscow: Khimiya, 1984. 216 p.

2. Dubinin M.M. Generalization of the theory of volume filling of micropores to nonhomogeneous microporous structures. *Carbon*, 1985, vol. 23, pp. 373–380.

3. Dubinin M.M. Adsorbtsiya i poristost [Adsorption and porosity]. Moscow, 1972. 172 p.

4. Olontsev V.F. Sovremennye tekhnologii vysokokachestvennykh uglerodnykh sorbentov [Modern technologies of high-quality carbon sorbents]. Tekhnologii na osnove iskopaemogo syrya. *Khimicheskaya promyshlennost*, 1997, vol. 749, no. 11, pp. 31–35.

5. Kostomarova M.A., Perederij M.A., Surinova S.I. Poluchenie adsorbentov iz iskopaemykh uglej [Receiving adsorbents from fossil coals]. *Khimiya tverdogo topliva*, 1976, no. 2, pp. 5–15.

6. Makhorin K.E., Tishchenko A.T. Ustanovki s kipyaschim sloem [Installations with the boiling layer]. Kharkov: Tekhnika, 1976. 231 p.

7. Dubinin M.M., Astakhov V.A. Uglerodnye adsorbenty [Carbon adsorbents]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya khimicheskaya*, 1971, no. 1, pp. 5–11.

8. Dubinin M.M. Novoe v oblasti adsorbtsii parov mikroporistymi adsorbentami [New in the field of adsorption of vapors microporous adsorbents]. *Zhurnal fizicheskoy khimii*, 1987, vol. 61, no. 5, pp. 1301–1305.

9. Dubinin M.M., Polyakov N.S., Kataeva L.I. Neodnorodnye mikroporistye struktury i adsorbtsionnye svoystva uglerodnykh adsorbentov [Non-uniform microporous structures and the adsorptive properties of carbon adsorbents]. *Izvestiya AN SSSR. Seriya khimicheskaya*, 1970, no. 12, pp. 2691–2699.

Получено 23.03.2015

Об авторах

Олонцев Валентин Федорович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры материалов, технологий и конструирования машин Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: olontsevvf@gmail.com).

Фарберова Елена Абрамовна (Пермь, Россия) – кандидат химических наук, доцент кафедры химии и биотехнологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: elenafarb@gmail.com).

Генералова Ксения Николаевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры материалов, технологий и конструирования машин Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: generalovakn_21_1992@mail.ru).

Минькова Анфиса Андреевна (Пермь, Россия) – магистрант кафедры материалов, технологий и конструирования машин Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: minkova20@gmail.com).

Белоусов Константин Сергеевич (Пермь, Россия) – аспирант кафедры материалов, технологий и конструирования машин Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: bk@apex.cc.).

About the authors

Valentin F. Olontsev (Perm, Russian Federation) – Doctor in Technical Sciences, Professor, Department of Materials and Technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: olontsevvf@gmail.com).

Elena A. Farberova (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Technical Sciences, Department of Chemical Technology and Biotechnology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: elenafarb@gmail.com).

Kseniya N. Generalova (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Materials and Technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: generalovakn_21_1992@mail.ru).

Anfisa A. Minkova (Perm, Russian Federation) – Undergraduate Student, Department of Materials and Technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: minkova20@gmail.com).

Konstantin S. Belousov (Perm, Russian Federation) – Postgraduate Student, Department of Materials and Technology, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation; e-mail: bk@apex.cc.).