

СОВМЕСТНЫЙ ПИРОЛИЗ УГЛЯ И ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ

^{1,2}Н.У.Нурғалиев , ¹Ж.Б. Исақова , ³А.Колпек, ¹Е.К. Айбульдинов ,
³А.С.Сабитов, ³Э.Е. Копишев, ^{1,3}Т.Т. Машан, ^{1,3}Л.А. Кусепова, ¹Г.Ж. Алжанова,
^{1,4}Г.Г. Абдиюсупов, ^{1,5}М.Т. Өмірзақ

¹Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

²Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,

³Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

⁴CCS Services – Central Asia, Алматы, Казахстан,

⁵Sauda Exports&Import, Алматы, Казахстан

 Корреспондент-автор: nurgaliev_nao@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru, elaman_@mail.ru

В статье предварительно проведен технический и элементный состав исходного сырья (угля и высоковязкой нефти), а также определены физико-химические показатели смолы сырья. Совместный пиролиз угля и высоковязкой нефти осуществляли при различных добавках нефти в интервале 5-30 %. опыты проводили в алюминиевой реторте до 520 °С, в результате которых получены такие продукты, как смола, пиролизный газ и полукокс. При этом наибольший относительный прирост выходов смолы и пиролизного газа наблюдался при добавке высоковязкой нефти, составляющей 20 %, что по всей видимости связано с наблюдаемым синергетическим эффектом, основанном на взаимодействии угля и нефтяных фракций в процессе термической обработки.

Ключевые слова: уголь, высоковязкая нефть, совместный пиролиз, смола, пиролизный газ, полукокс.

КӨМІР МЕН ТҮТҚЫРЛЫҒЫ ЖОҒАРЫ МҰНАЙДЫҢ БІРЛЕСКЕН ПИРОЛИЗИ

^{1,2}Н.У.Нурғалиев , ¹Ж.Б. Исақова , ³А. Колпек, ¹Е.К. Айбульдинов ,
³А.С. Сабитов, ³Э.Е. Копишев, ^{1,3}Т.Т. Машан, ^{1,3}Л.А. Кусепова, ¹Г.Ж. Алжанова,
^{1,4}Г.Г. Абдиюсупов, ^{1,5}М.Т. Өмірзақ

¹Жаңа химиялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

²Қ.Құлажанов атындағы технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

⁴CCS Services – Central Asia, Алматы, Қазақстан,

⁵Sauda Exports&Import, Алматы, Қазақстан,

e-mail:nurgaliev_nao@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru, elaman_@mail.ru

Мақалада бастапқы шикізаттың (көмір және жоғары тұтқыр мұнай) техникалық және элементтік құрамы алдын-ала жүргізіліп, шикізат шайырының физика-химиялық көрсеткіштері анықталды. Көмір мен тұтқырлығы жоғары мұнайдың бірлескен пиролизі әртүрлі мұнай қоспаларында 5-30% аралығында жүзеге асырылды. Тәжірибелер алюминий ретортында 520 °С-ге дейін жүргізілді, нәтижесінде шайыр, пиролиз газы және жартылай кокс сияқты өнімдер пайда болды. Сонымен қатар, мұнай мен пиролиз газының шығымдылығының ең үлкен салыстырмалы өсімі жоғары тұтқыр мұнай қоспасында байқалды, ол 20%-ды құрайды, бұл термиялық өндеу процесінде көмір мен мұнай фракцияларының өзара әрекеттесуіне негізделген синергетикалық әсерге байланысты.

Түйін сөздер: көмір, тұтқырлығы жоғары мұнай, бірлескен пиролиз, шайыр, пиролиз газы, жартылай кокс.

COMBINED PYROLYSIS OF COAL AND HIGH-VISCOSITY OIL

^{1,2}N.U. Nurgaliyev , ¹Zh.B. Iskakova , ³A. Kolpek, ¹Ye.K. Aibuldinov ,
³A.S. Sabitov, ³E.Ye. Kopishev, ^{1,3}T.T. Mashan, ^{1,3}L.A. Kusepova, ¹G.Zh. Alzhanova,
^{1,4}G.G. Abdiyussupov, ^{1,5}M.T. Omirzak

¹ Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

² Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,

³ L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

⁴ CCS Services – Central Asia, Almaty, Kazakhstan,

⁵ Souda Exports&Import, Almaty, Kazakhstan

e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru , zhanariskakova@mail.ru, elaman_@mail.ru

In the article provides a preliminary technical and elemental composition of the feedstock (coal and high-viscosity oil), and also determines the physicochemical properties of the resin of the feedstock. Coal and high-viscosity oil were combined pyrolysis with various oil additives in the range of 5-30%. The experiments were carried out in an aluminum retort at temperatures up to 520 °C, resulting in the following products: tar, pyrolysis gas, and semi-coke. The greatest relative increase in oil and pyrolysis gas yields was observed with the addition of high-viscosity oil, amounting to 20%, which is apparently due to the observed synergy effect based on the interaction of coal and oil fractions during heat treatment.

Keywords: coal, high-viscosity oil, combined pyrolysis, tar, pyrolysis gas, semi-coke.

Введение. Во многих странах (Казахстан, Китай и др.) запасы угля значительно больше, чем запасы нефти и природного газа. Все больший интерес в настоящее время привлекают исследования по совместному пиролизу угля и высоковязкой нефти, биомассы, горючего сланца, отходов полимерных пластиков и других органических материалов. Исследования в основном сосредоточены на двух аспектах. Один из них – это оптимизация выхода смолы и компонента, а другой – учет синергетического эффекта при пиролизе. Например, при совместном пиролизе биомассы было обнаружено, что такой подход улучшает не только выход и свойства смолы, но и теплотворную способность кокса, смолы и газа [1].

Характеристики пиролиза угольного топлива и нефтяного шлама и были изучены с помощью термогравиметрического анализатора в атмосфере аргона [2]. В исследовании [3] основное внимание уделяется потенциальному использованию горючего сланца в качестве сырья для коксования угольной смеси, а также предлагается сопиролиз различных марок углей со сланцем с точки зрения коксования угольной смеси. Добавление низкосортного угля к сланцу может повысить выход смолы и увеличить содержание газов CO, CH₄ и H₂ при микроволновом нагреве [4]. Кроме того, при пиролизе низкосортного угля и пластика выход кокса снижается, а выход смолы повышается с увеличением доли пластиковой добавки [5]. Результаты исследования

микроволнового сопиролиза угля и биомассы показали, что микроволновый абсорбер может косвенно нагревать частицы угля и биомассы, которые относительно прозрачны для микроволн и влияют на выход и качество продукта, выступая в качестве каталитических прекурсоров [6]. Синергетический эффект от совместного пиролиза низкосортного угля и биомассы становится все более значительным по мере уменьшения марки угля, возможно, потому, что исходная структура этих углей содержит крупные поры и небольшие кластеры ароматических структур, которые легко сохраняются в виде смолы при быстром сопиролизе [7]. При исследовании характеристик сопиролиза угля и сельскохозяйственных отходов было обнаружено, что соотношение смешивания является основным фактором, влияющим на выход и состав смолы и газа, а синергетический эффект значителен во время пиролиза угля и биомассы, но минимален во время совместного пиролиза [8]. При изучении характеристик сопиролиза различных марок угля и горючего сланца обнаружена синергия в ходе процесса, при этом уголь обеспечивает водород для горючего сланца, что увеличивает выход смолы и служит компонентом смолы с высокой добавленной стоимостью [9]. Совместный пиролиз опилок и битуминозного угля (в различных соотношениях смешивания и температурах) улучшает выход газа, но снижает выход смолы [10]. Авторы в работе [11] обобщили результаты исследований по сопиролизу угля и отходов,

таких как плавающие в сточных водах водоросли, солома, отходы пластика, отходы смазочного масла, отходы минерального масла и горючий сланец. Авторы предложили использовать синергетические эффекты в зависимости от различных целевых продуктов для добавления соответствующих отходов и улучшения выхода газа, кокса и смолы, а также качества продуктов.

Таким образом, типы и свойства используемых добавок влияют на пиролиз угля. Добавки перераспределяют и модифицируют продукты пиролиза. Например, тяжелая смола преобразуется в легкую смолу, или выход газа с высокой теплотворной способностью увеличивается или уменьшается.

Такое углеводородное сырье как тяжелая (высоковязкая) нефть с высокой плотностью и сложным составом в основном используется в качестве мазута [12]. Обычно такая нефть имеет повышенную влажность и вязкость, что связано с повышенным содержанием в их составе смолисто-асфальтеновых веществ. Нефтеперерабатывающие заводы не способны перерабатывать высоковязкие нефти по стандартным схемам [13]. Однако по мере повышения температуры тяжелая нефть может свободно перетекать во влажные частицы угля полностью из-за повышенной текучести тяжелой нефти во время совместного пиролиза с углем. Уголь и тяжелая нефть могут полностью реагировать во время пиролиза, чтобы получить продукты с высокой добавленной стоимостью. Этот эффект достигается за счет того, что тяжелая нефть не только связывает частицы угля вместе, но и значительно увеличивает площадь контакта угля и тяжелой нефти. В связи с этим, целью данной работы является исследование влияния добавок высоковязкой нефти на выход продуктов совместного пиролиза (смола, пиролизный газ и полукокс).

Материалы и методы. В качестве сырья для совместного пиролиза выбраны уголь месторождения «Сарыадыр» и высоковязкая нефть месторождения «Зайсан».

Для определения влажности, зольности, летучих веществ, серы, выходов продуктов по-

лукокования, плотности, элементного состава и др., использовали методы в соответствии с ГОСТ 11014-2001, ГОСТ 11022-95 (ISO 1171-97), ГОСТ 1437-75, ГОСТ 3168-93, ГОСТ 1437-75, ГОСТ 6382-2001, ГОСТ 10538-87, ГОСТ 8606-93 (ISO 334-92), ASTM D 5291 (Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Petroleum Products and Lubricants).

Пиролиз проводили в алюминиевой реторте до 520 °С в соответствии с методикой, описанной в работе [14]. Пиролиз осуществляли при различных добавках нефти (5, 10, 15, 20, 25, 30 %) при массовых соотношениях угля и нефти соответственно 95/5, 90/10, 85/15, 80/20, 75/25, 70/30.

Результаты и обсуждение. Для сравнения в таблице 1 приведены результаты элементного и технического анализа исходного сырья – угля и нефти. Как видно, высоковязкая нефть обладает очень низкой зольностью и существенно более высокими значениями выходов летучих веществ и содержания углерода и водорода по сравнению с углем.

Результаты физико-химических показателей смолы угля и высоковязкой нефти, представленных в таблице 2, показали, что во фракционном составе как смолы угля, так и смолы нефти присутствуют в основном среднекипящие и высококипящие фракции. Причем в смоле нефти преобладают среднекипящие фракции (44,1 %), которые содержат множество важных компонентов (комплексные смеси), таких как ароматические углеводороды, смолы, циклические и оксигенсодержащие соединения, являющиеся ключевыми для производства бензина и других моторных топлив. Вместе с тем, в смоле угля преобладают высококипящие фракции (47,4 %), содержащие более тяжелые соединения, такие как асфальты, вакуумные дистилляты, парафины и цинковые соединения, коксы. Сравнительный анализ группового состава угля и нефти показал, что в смоле угля содержатся больше ароматических углеводородов и гетероатомных соединений, чем в смоле нефти, в которой, в свою очередь, преобладают парафины и изо-парафины и нафтены.

Таблица 1- Характеристики исходного сырья

Параметр, %	Вид сырья	
	Уголь	Высоковязкая нефть
Влажность на рабочую массу, Wtr	6,4	6,5
Зольность на сухую массу, Ad	31,31	0,1
Выход летучих и связанный углерод кокса	30,1	93,4
Элементный состав на сухую массу:		
C	58,3	81,6
H	5,6	10,1
N	1	0,5
O	3	6,1
S	0,5	1,7

Таблица 2 - Физико-химические показатели смолы угля и высоковязкой нефти

	Уголь	Высоковязкая нефть
Плотность, т/м ³	0,935	0,994
Фракционный состав, %:		
нк – 200 °С	13,2	19,1
200 – 360 °С	39,4	44,1
>360 °С	47,4	36,8
Групповой состав, %:		
Парафины и изо-парафины	26,7	38,3
Олефины и циклоолефины	10,3	12,4
Нафтены	3,5	17,2
Ароматические углеводороды	32,1	22,6
Гетероатомные соединения	27,4	9,5

Таблица 3 - Результаты процесса совместного пиролиза угля и нефти

№	Образец	Влага, War, %	Смола, %	Полукок, (крекинг-остаток) %	Газ, %
1	Уголь	6,4	5,1	84,8	3,7
2	Высоковязкая нефть (ВВН)	6,5	74,9	7,2	11,4
3	Уголь/ВВН (95/5)	6,4	9,2	79,1	4,3
4	Уголь /ВВН (90/10)	6,4	12,1	76,4	4,6
5	Уголь/ВВН(85/15)	6,4	15	72,5	5
6	Уголь/ВВН(80/20)	6,4	20,4	65,9	5,5
7	Уголь/ВВН(75/25)	6,4	23,1	62,4	5,9
8	Уголь/ВВН(70/30)	6,4	25,3	59,1	6,2

Выход продуктов совместного пиролиза угля и нефти (смола, пиролизный газ, полукок) и нефти (смола, пиролизный газ, полукок). Результаты проведения процесса совместного пиролиза угля и высоковязкой нефти приведены в таблице 3 и на рисунке 1. Добавление высоковязкой нефти к углю от 5 до 30 % приводит к бла-

гоприятному протеканию совместного пиролиза, что отражается на существенном повышении выхода смолы с 5,1 до 25,3 %, вследствие того, что нефть характеризуется повышенным содержанием смолисто-асфальтеновых веществ. Также наблюдается постепенное увеличение пиролизного газа с 3,7 до 6,2 %, а содержание полукокса значительно снижается с 84,8 до 59,1 %. Аналогичный эффект от добавки высоковязкой нефти к углю в процессе их совместного пиролиза наблюдается в работе [15], в которой

выход кокса снизился на 20%, а выход газа и смолы увеличился на 7,74 и 12,18%. При этом количество гидроксильных групп на поверхности кокса уменьшилось, а содержание алканов и фенолов в смоле снизилось на 7,89 и 8,10%, соответственно. Содержание ароматических веществ увеличилось на 21,60 %. Содержание CO_2 , CH_4 и C_nH_m увеличилось примерно в два раза по сравнению с исходным количеством, тогда как содержание CO и H_2 уменьшилось на 2,88 и 22,18% соответственно.

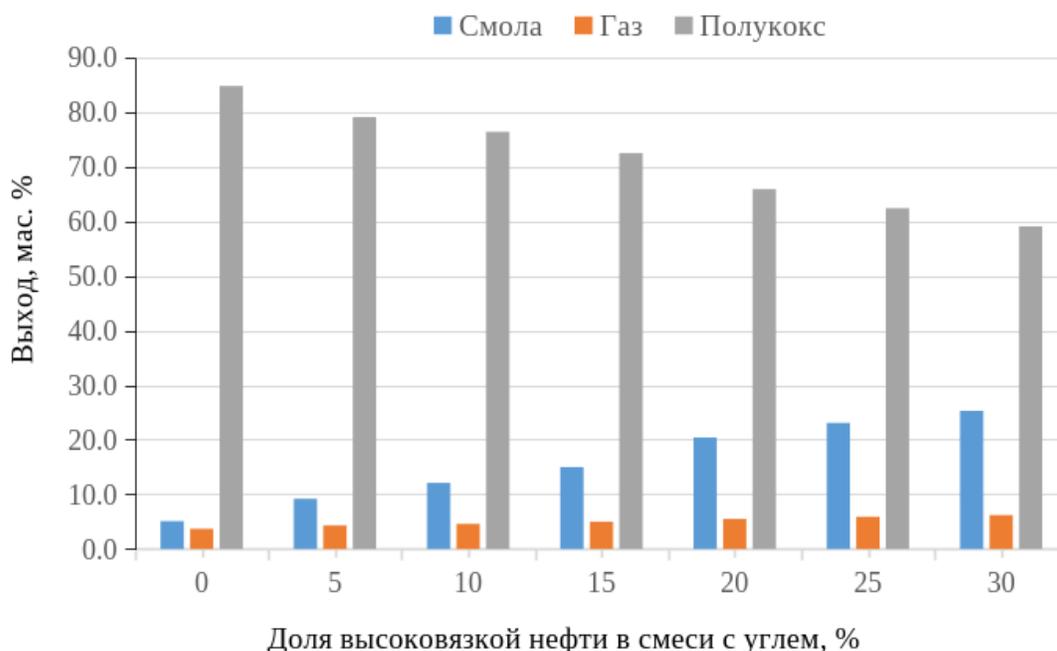


Рис. 1 - Влияние различных добавок высоковязкой нефти к совместному пиролизу с углем

На рисунках 2 и 3 приведен относительный прирост выходов смолы и пиролизного газа ($V=(V_{i+1}-V_i)/V_i$) при добавках в интервале 10-30 %, откуда видно, что наибольший прирост выхода наблюдается при добавке высоковязкой нефти, составляющей 20 %. Это можно объяснить наблюдаемым синергетическим эффектом, основанном на взаимодействии угля и нефтяных фракций в процессе термической обработки. Механизм этого эффекта можно рассмотреть по нескольким ключевым аспектам: 1) повышение температуры пиролиза и ускорение реакций (высоковязкая нефть содержит углеводороды, которые при нагревании могут выделять дополнительную энергию и повышать температуру

в реакционной зоне, что способствует ускорению термохимических реакций); 2) коагуляция и улучшение теплопередачи (нефть может образовывать тонкие пленки на поверхности угольных частиц, что улучшает теплопередачу, а это помогает избежать перегрева отдельных участков и способствует более равномерному распределению тепла и разложению угля); 3) каталитическое действие (некоторые компоненты высоковязкой нефти могут играть роль катализаторов, ускоряя реакции пиролиза и способствуя более полному разложению угля, что повышает выход ценных продуктов); 4) снижение образования коксующихся остатков (это улучшает выход и качество конечных продуктов пиролиза и снижает про-

блемы, связанные с образованием кокса. Таким образом, синэнергетический эффект позволяет повысить эффективность пиролиза угля, улучшить выход ценных продуктов и снизить отрицательные последствия, связанные с образованием коксующихся остатков.

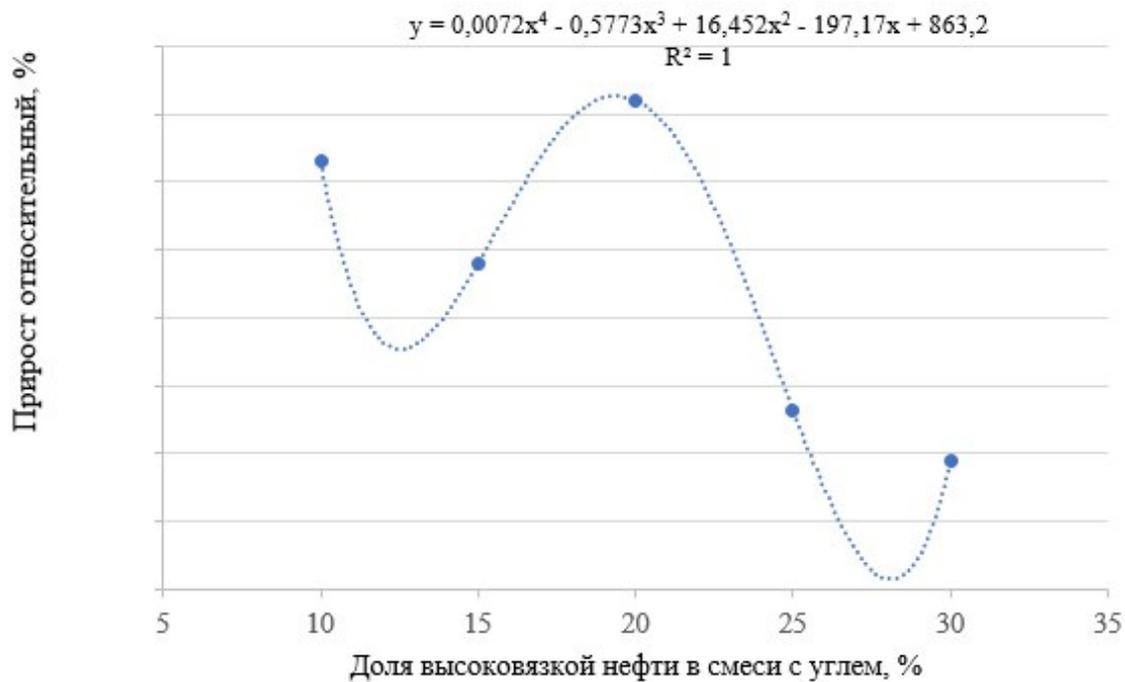


Рис. 2 - Влияние высоковязкой нефти на относительный прирост выхода смолы

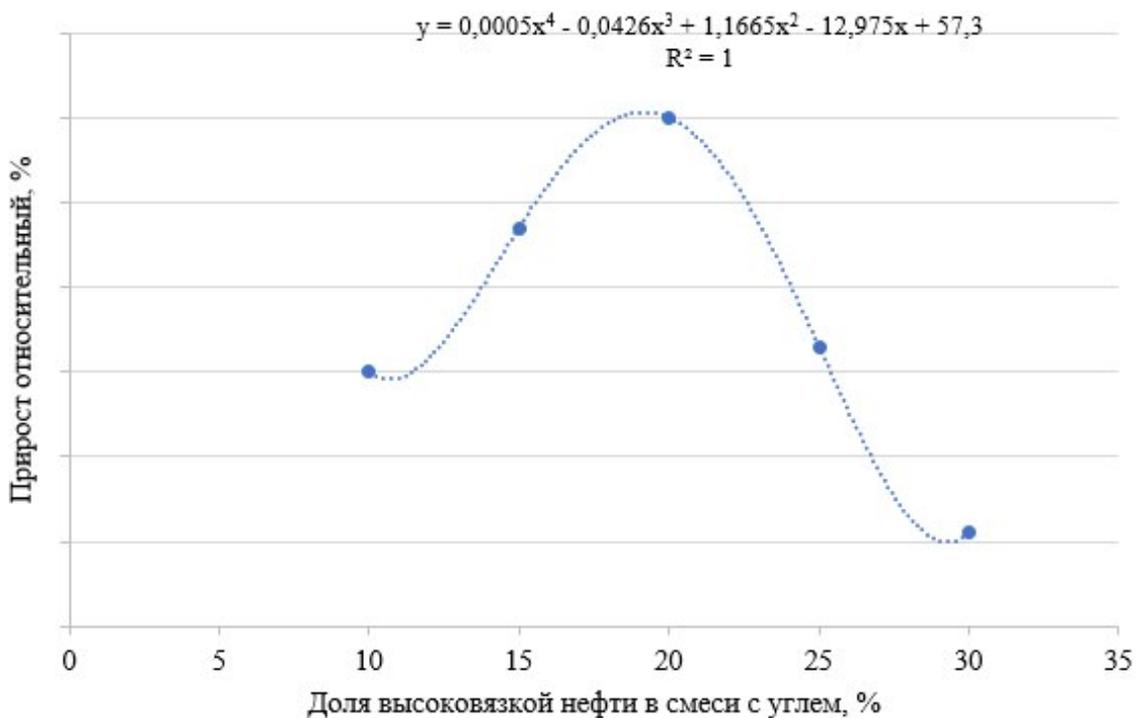


Рис. 3 - Влияние высоковязкой нефти на относительный прирост выхода пиролизного газа

Выводы. Результаты данной работы продемонстрировали реализацию возможности совместного пиролиза угля и высоковязкой нефти. Добавки последней приводят к небольшому увеличению пиролизного газа и существенному повышению смолы, за счет в основном высокого содержания смол и асфальтенов в высоковязкой нефти. Также наблюдается значительное снижение полукокса. Добавка высоковязкой нефти к углю в количестве 20 % приводит к максимальному относительному приросту выходов смолы и пиролизного газа, что может быть связано с синергетическим эффектом, который основан на взаимодействии угля и нефтяных фракций в процессе их термической деструкции. Таким образом, несмотря на большие трудности переработки высоковязкой нефти по стандартным методам, возможным решением проблемы вовлечения такой нефти в топливно-энергетический и

нефтехимический баланс может быть проведение совместного пиролиза высоковязкой нефти с подходящим (по физико-химическим характеристикам) сырьем. Таким образом, совместный пиролиз угля и высоковязкой нефти может быть перспективным направлением и значительным потенциалом для создания эффективных и экологически чистых технологий в области переработки углеводородных ресурсов. Данная методология может способствовать улучшению качественных характеристик продуктов, а также повышению общей эффективности процесса.

Финансирование. Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (№ BR21882171 «ЦУР 9.4: Развитие «зеленой» экономики Казахстана путем переработки минерального сырья и отходов методом пиролиза»).

Литература

1. Abnisa, F.; Wan Daud, W. M. A. A review on co-pyrolysis of biomass: An optional technique to obtain high-grade pyrolysis oil // *Energy Convers. Manage.*, 2014.- Vol.87.- P.71-85.
DOI 10.1016/j.enconman.2014.07.007
2. Xiaoyu Li, Xiaoxi Yang, Gang Cheng, Hongqing Feng, Xiaojie Liu, Yufeng Ma. Experimental study on co-pyrolysis of oil sludge and coal // *Advanced Materials Research*, 2012.- Vol. 356-360.- P. 2515-2519.
DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.356-360.2515
3. Xiangchun Liu, Ping Cui, Qiang Ling, Zhigang Zhao, Ruilun Xie. A review on co-pyrolysis of coal and oil shale to produce coke // *Frontiers of Chemical Science and Engineering.*- 2020.-Vol. 14.- P. 504 - 512.
DOI 10.1007/s11705-019-1850-z
4. Song, Y.-h.; She, J.-m.; Lan, X.-z.; et al. Pyrolysis of Low Metamorphic Coal and Oil Shale by Microwave Irradiation // *Coal Convers*, 2012.- Vol.35 (2).- P. 22-26.
5. Lan, X.-z., Liu, Q.-n., Song, Y.-h. Study on co-pyrolysis of low metamorphic coal and plastic with microwave // *Coal Convers.*- 2012. - Vol. 35(1).- P. 16-19.
6. Mushtaq F., Mat R., Ani F. N. A review on microwave assisted pyrolysis of coal and biomass for fuel production // *Renewable Sustainable Energy Rev.*- 2014. - Vol. 39.- P.555-574.
DOI 10.1016/j.rser.2014.07.073
7. Soncini R. M., Means N.C., Weiland N.T. Co-pyrolysis of low rank coals and biomass: Product distributions // *Fuel.*- 2013. -Vol. 112.- P. 74-82. DOI 10.1016/j.fuel.2013.04.073
8. Aboyade A.O., Carrier M., Meyer E.L., Knoetze H., Görgens J.F. Slow and pressurized co-pyrolysis of coal and agricultural residues // *Energy Convers. Manage.*- 2013. - Vol. 65.- P. 198-207. DOI 10.1016/j.enconman.2012.08.006
9. Miao Z.-y., Wu G.-g., Li P., Meng X.-l., Zheng Z.-l. Investigation into co-pyrolysis characteristics of oil shale and coal // *Int. J. Min. Sci. Technol.* -2012. - Vol. 22.- P. 245-249.

DOI 10.1016/j.ijmst.2011.09.003

10. Liang P., Han Z.-h., Wu J.-f., Zhang R., Bi J. Research on synergetic reactivity of bituminous coal and saw dust during copyrolysis in a fixed bed // *J. Chem. Ind. Eng.*- 2014. - Vol. 35 (1).- P. 1-5.
11. He X.-m., Wang C.-x., Fu P.-r., et al. Survey of Co-pyrolysis of Rank Coal and Waste // *Energy Environ. Prot.*- 2014. - Vol. 28 (1). - P. 25-29.
12. Zhang J.-m., Liu G. Comprehensive Utilization of Low-Temperature Coal Tar // *Coal Convers.*- 2010. - Vol. 33(3).- P. 92-96.
13. Тухватуллина А.З., Кемалов А.Ф., Кемалов Р.А., Юсупова Т.Н. Анализ состава и свойств высоковязких нефти и их влияние на процессы коксования // *Материалы Международной научно-практической конференции «Высоковязкие нефти и природные битумы: проблемы повышения эффективности разведки и разработки месторождений»*, Казань.- 2012.-С. 314-316.
14. Нургалиев Н.У., Исакова Ж.Б., Колпек А., Айбульдинов Е.К., Сабитов А.С., Копишев Э.Е., Салихов Р.М., Петров М.С., Алжанова Г.Ж., Абдюсупов Г.Г., Өмірзақ М.Т. Исследование физико-химических характеристик угля и продуктов его пиролиза // *Вестник КазУТБ*, 2024. - №3 (24). - С.277-287. DOI 10.58805/kazutb.v.3.24-470.
15. Yong-hui Song, Qiao-na Ma, Wen-jin He. Co-pyrolysis Properties and Product Composition of Low-Rank Coal and Heavy Oil // *Energy & Fuels*, 2016. - Vol. 31(1). – P. 217–223. DOI 10.1021/acs.energyfuels.6b02106.

References

1. Abnisa, F.; Wan Daud, W. M. A. A review on co-pyrolysis of biomass: An optional technique to obtain high-grade pyrolysis oil // *Energy Convers. Manage*, 2014.- Vol.87.- P.71-85.
DOI 10.1016/j.enconman.2014.07.007
2. Xiaoyu Li, Xiaoxi Yang, Gang Cheng, Hongqing Feng, Xiaojie Liu, Yufeng Ma. Experimental study on co-pyrolysis of oil sludge and coal // *Advanced Materials Research*, 2012.- Vol. 356-360.- P. 2515-2519.
DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.356-360.2515
3. Xiangchun Liu, Ping Cui, Qiang Ling, Zhigang Zhao, Ruilun Xie. A review on co-pyrolysis of coal and oil shale to produce coke // *Frontiers of Chemical Science and Engineering.*- 2020.-Vol. 14.- P. 504 - 512.
DOI 10.1007/s11705-019-1850-z
4. Song, Y.-h.; She, J.-m.; Lan, X.-z.; et al. Pyrolysis of Low Metamorphic Coal and Oil Shale by Microwave Irradiation // *Coal Convers*, 2012.- Vol.35 (2).- P. 22-26.
5. Lan, X.-z., Liu, Q.-n., Song, Y.-h. Study on co-pyrolysis of low metamorphic coal and plastic with microwave // *Coal Convers.*- 2012. - Vol. 35(1).- P. 16-19.
6. Mushtaq F., Mat R., Ani F. N. A review on microwave assisted pyrolysis of coal and biomass for fuel production // *Renewable Sustainable Energy Rev.*- 2014. - Vol. 39.- P.555-574.
DOI 10.1016/j.rser.2014.07.073
7. Soncini R. M., Means N.C., Weiland N.T. Co-pyrolysis of low rank coals and biomass: Product distributions // *Fuel.*- 2013. -Vol. 112.- P. 74-82. DOI 10.1016/j.fuel.2013.04.073
8. Aboyade A.O., Carrier M., Meyer E.L.,Knoetze H., Görgens J.F. Slow and pressurized co-pyrolysis of coal and agricultural residues // *Energy Convers. Manage.*- 2013. - Vol. 65.- P. 198-207. DOI 10.1016/j.enconman.2012.08.006

9. Miao Z.-y., Wu G.-g., Li P., Meng X.-l., Zheng Z.-l. Investigation into co-pyrolysis characteristics of oil shale and coal // Int. J. Min. Sci. Technol. -2012. - Vol. 22.- P. 245-249.

DOI 10.1016/j.ijmst.2011.09.003

10. Liang P., Han Z.-h., Wu J.-f., Zhang R., Bi J. Research on synergetic reactivity of bituminous coal and saw dust during copyrolysis in a fixed bed // J. Chem. Ind. Eng.- 2014. - Vol. 35 (1).- P. 1-5.

11. He X.-m., Wang C.-x., Fu P.-r., et al. Survey of Co-pyrolysis of Rank Coal and Waste // Energy Environ. Prot.- 2014. - Vol. 28 (1). - P. 25-29.

12. Zhang J.-m., Liu G. Comprehensive Utilization of Low-Temperature Coal Tar // Coal Convers.- 2010. - Vol. 33(3).- P. 92-96.

13. Tuhvatullina A.Z., Kemalov A.F., Kemalov R.A., Jusupova T.N. Analiz sostava i svojstv vysokovjazkih nefiti i ih vlijanie na processy koksovaniya // Materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Vysokovjazkie nefiti i prirodnye bitumy: problemy povysheniya jeffektivnosti razvedki i razrabotki mestorozhdenij», Kazan'. - 2012.-S. 314-316.[in Russian]

14. Nurgaliev N.U., Iskakova Zh.B., Kolpek A., Ajbul' dinov E.K., Sabitov A.S., Kopishev Je.E., Salihov R.M., Petrov M.S., Alzhanova G.Zh., Abdijusupov G.G., Ömirзақ M.T. Issledovanie fiziko-himicheskikh karakteristik uglja i produktov ego piroliza // Vestnik KazUTB, 2024. - №3 (24). - S.277-287. DOI 10.58805/kazutb.v.3.24-470. [in Russian]

15. Yong-hui Song, Qiao-na Ma, Wen-jin He. Co-pyrolysis Properties and Product Composition of Low-Rank Coal and Heavy Oil // Energy & Fuels, 2016. - Vol. 31(1). – P. 217–223.

DOI 10.1021/acs.energyfuels.6b02106

Сведения об авторах

Нургалиев Н.У. -кандидат химических наук, ассоциированный профессор, ;Казахский университет технологии и бизнеса имени К.Кулажанова, Астана Казахстан, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Искакова Ж.Б.- кандидат химических наук, ассоциированный профессор (доцент), Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: zhanariskakova@mail.ru;

Колпек А.- кандидат химических наук, ассоциированный профессор (доцент), Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,e-mail: aynagulk@mail.ru;

Айбульдинов Е.К.-доктор PhD, Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана,Казахстан, e-mail: elaman_@mail.ru;

Сабитов А.С.- докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: sawy552@gmail.com;

Копишев Э.Е.-кандидат химических наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: eldar_kopishev@mail.ru;

Машан Т.Т.- кандидат химических наук, доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: togzhan-mashan@mail.ru;

Кусепова Л.А.-кандидат химических наук, доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: kusepova71@mail.ru;

Алжанова Г.Ж.-докторант, Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: galiya.alzhanova@gmail.com;

Абдиюсупов Г.Г.-менеджер, ТОО «CCS Services – Central Asia»,Астана, Казахстан, e-mail: gaziz_86@inbox.ru;

Өмірзақ М.Т.- доктор PhD, ТОО «Sauda Exports&Import», Астана Казахстан,e-mail: madi.omirzak@gmail.com

Information about the authors

Nurgaliyev N.U.- Candidate of Chemical Science, Associate Professor, , Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Iskakova Zh.B.-Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N.

Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: zhanariskakova@mail.ru;

Kolpek A.- Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aynagulk@mail.ru;

Aybuldinov E.K.- PhD, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: elaman_@mail.ru;

Sabitov A.S.- Doctoral Student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: sawy552@gmail.com;

Kopishev E.Ye. - Candidate of Chemistry Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: eldar_kopishev@mail.ru;

Mashan T.T.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: togzhan-mashan@mail.ru;

Kusepova L.A.- Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: kusepova71@mail.ru;

Alzhanova G.Zh. - Doctoral Student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: galiya.alzhanova@gmail.com;

Abdiyussupov G.G.- Manager, CCS Services – Central Asia LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: gaziz_86@inbox.ru;

Ómirzak M.T.- PhD, Sauda Exports&Import LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: madi.omirzak@gmail.com