

Набіль Абдель Сатер, Григоров А.Б., д. техн. н., професор

МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ НАПРЯМКУ ПЕРЕРОБКИ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СИРОВИНИ

*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут",
Харків, Україна*

Ключові слова: вуглеводнева сировина; класифікація; схема переробки; критерій прогнозування; діелектрична проникність; кінематична в'язкість; коксівність.

Вступ. Відомо, що на економічний розвиток будь-якої країни світу суттєвим образом впливає її забезпеченість у енергоресурсах, зокрема вуглеводнями, які, на теперішній час, є основною сировиною для виробництва різних видів палива. Ефективне функціонування нафтопереробної промисловості відноситься до ключових моментів, які знаходять своє відображення в енергетичній стратегії країни та сприяють її сталому розвитку. На цьому фоні, роботи, що пов'язані з раціональним використанням існуючих технологічних схем переробки вуглеводневої сировини (ВС); з підвищенням загальної культури виробництва та зменшенням шкідливого навантаження на навколишнє середовище, відрізняються своєю актуальністю.

Аналіз публікацій. Прогнозування напрямку переробки (глибини переробки) ВС є тим самим механізмом керування яким, можна здійснювати вплив на показники ефективної роботи установок її первинної, шляхом поєднання в одному технологічному процесі схем первинної переробки з вторинними термічними і термокаталітичними процесами, а також з методами глибокої селективної очистки отриманих продуктів.

Практичне впровадження методу прогнозування напрямку переробки ВС передбачає введення такого певного інтегрального критерію прогнозування (КП), що дозволить класифікувати вуглеводневу сировину за певними типами. На підставі віднесення сировини до певного типу, буде скомпонована раціональна технологічна схема її переробки, що при мінімальних виробничих витратах, дозволить отримувати товарні продукти конкретного асортименту та рівня якості, який відповідає стандартам, прийнятим в Україні і країнах ЄС.

Спираючись на данні, що представлені в технічній літературі, для визначення напрямку переробки нафти, сьогодні використовують її технологічну класифікацію за типами. За цією класифікацією, в залежності від густини, фракційного складу і вмісту парафіну, нафта поділяється на 4 типу [1]. Представлені показники не враховують вміст в нафті смолисто-асфальтенових речовин, які істотно ускладнюють процес її переробки, в наслідок утворення на поверхнях технологічного обладнання високотемпературних відкладень. При цьому, виникає потреба введення в існуючу класифікацію додаткового показника якості або створення нової класифікації вуглеводневої сировини за типами.

З огляду на це, для прогнозування напрямку переробки вуглеводневої сировини введемо технологічну класифікацію, що буде базуватися саме на означеному вище КП. Спираючись на світовий багаторічний досвід у сфері визначення якості нафти та продуктів зазначимо, що до складу КП доцільно підбирати показники, які характеризують

природу ВС і імовірні властивості продуктів її переробки та є інформативними з технологічної точки зору.

Враховуючи, що будь-яка ВС та продукти її переробки проявляють ярко виражені діелектричні властивості то одним з показників, який повинен входити до складу КП є безрозмірний показник – відносна діелектрична проникність (ϵ).

Сьогодні, показник (ϵ) в наслідок своїх позитивних властивостей (оперативності визначення, відсутності при визначенні складного лабораторного обладнання та реактивів тощо) знайшов широке застосування в датчиках рівня нафти та нафтопродуктів, що встановлюються на сировинних і товарних резервуарах, рефлексних ємкостях [2–4]. Також, вона використовується в портативних засобах визначення вмісту в нафті та нафтопродуктах води [5], визначення октанового числа автомобільних бензинів [6], визначенні якості змащувальних олив в експлуатації [7] та при ідентифікації речовин у складі нафти [8]. З іншого боку, показник (ϵ) відноситься до інтегральних показників тобто на його величину впливає хімічний склад ВС, який, в свою чергу, сильно залежить від родовища ВС [9, 10] і наявності у її складі забруднюючих домішок (води, хлористих солей та механічних домішок).

Отже, універсальний КП, тобто без прив'язки до конкретного складу ВС і родовища, буде складатися з показника (ϵ), що доповнений іншими стандартизованими фізико-хімічними показниками якості, наприклад, кінематичною в'язкістю (v^{20} , мм²/с) та коксівністю за Конрадсоном (x_k , %).

Кінематична в'язкість відноситься до числа найважливіших технологічних властивостей вуглеводневої сировини, яка залежить від її фракційного і хімічного складу (чим вищий вміст у сировині висококиплячих фракцій, тим вище її в'язкість) та характеризує прокачуваність нафти при її транспортуванні по заводським нафтопроводам [11]. Окрім цього, кінематична в'язкість дає змогу оцінити придатність вуглеводневої сировини для виробництва змащувальних матеріалів. Тобто, вуглеводневу сировини з значенням $v^{20} \geq 80$ мм²/с, доцільно використовувати для виробництва різних видів рідких змащувальних олив.

Показник коксівності за Конрадсоном, як і v^{20} , характеризує наявність в ВС смол і асфальтенів (x_a , %). При їх високому вмісті ($x_a \geq 10$ % мас.), характерному для важкої нафти, з одного боку, ускладнюється отримання високоякісних базових олив, в наслідок застосування спеціальних (селективного та адсорбційного) методів їх глибокого очищення, з іншого – така сировина є бажаною для виробництва нафтового коксу і різних видів бітумів.

Проведені нами лабораторні дослідження включали в себе визначення величини ϵ , v^{20} , x_k , x_a для 4 групи ВС, що склалися з: Група № 1 – газові конденсати; Групи №2, №3, №4 – нафти різних типів.

Вся ВС була попередньо підготовлена в умовах промислів та доведена в лабораторії до найбільш жорстких вимог, що висуваються [1]: вміст води – 0,1 % мас.; вміст хлористих солей – 40 мг/дм³; вміст механічних домішок – 0,05 % мас. Така глибока підготовка дозволила звести до мінімуму вплив забруднюючих домішок на показники якості ВС, що входять до складу КП.

Результати вимірювання величини (ϵ) при 25 °С представлено у табл. 1.

Аналізуючи данні, наведені у табл. 1 очевидно, що між середніми значеннями величин (ϵ) для груп ВС, що розраховані при N=20, існують співвідношення наступного вигляду

$$\bar{\epsilon}_{\text{№1}} < \bar{\epsilon}_{\text{№2}} < \bar{\epsilon}_{\text{№3}} < \bar{\epsilon}_{\text{№4}} \quad (1)$$

Таблиця 1 – Значення показника (ϵ) для груп досліджуваної ВС

Група	Кількість досліджуваних проб (N)	Тип ВС [1]	Мінімальне значення (ϵ)	Максимальне значення (ϵ)	Середнє значення ($\bar{\epsilon}_{N_0}$)
№1	20	0	1,87	2,05	2,01
№2	20	1	2,12	2,45	2,31
№3	20	3	2,46	2,64	2,57
№4	20	4	2,71	2,92	2,85

Найменші значення $\bar{\epsilon}_{N_01}$ зумовлені високим (80–95 % об.) вмістом в газових конденсатах світлих фракцій, що википають при температурі до 360 °С, у той час як у нафти таких фракцій не більше 60 % об.; меншим вмістом в їх складі, у порівнянні з нафтовою сировиною, сірковмісних сполук, смол і асфальтенів [12].

На наступному етапі досліджень було встановлено взаємозв'язок величини параметру (ϵ) з v^{20} , X_k та X_a , який представлено на рис. 1–3.

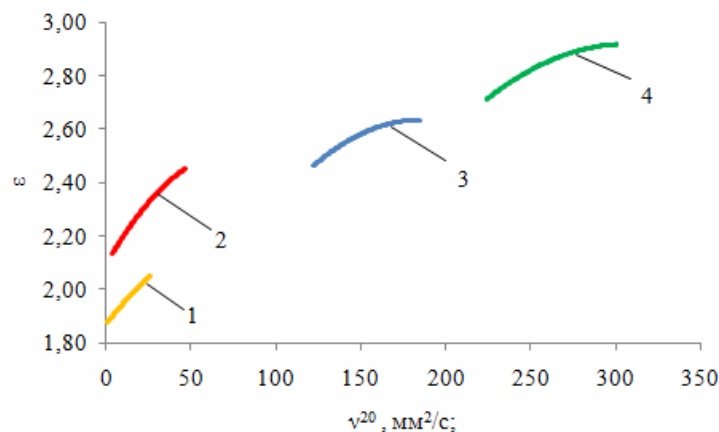


Рисунок 1 – Залежність параметру (ϵ) від v^{20} :
1 – Група №1; 2 – Група №1; 3 – Група №1; 4 – Група №4

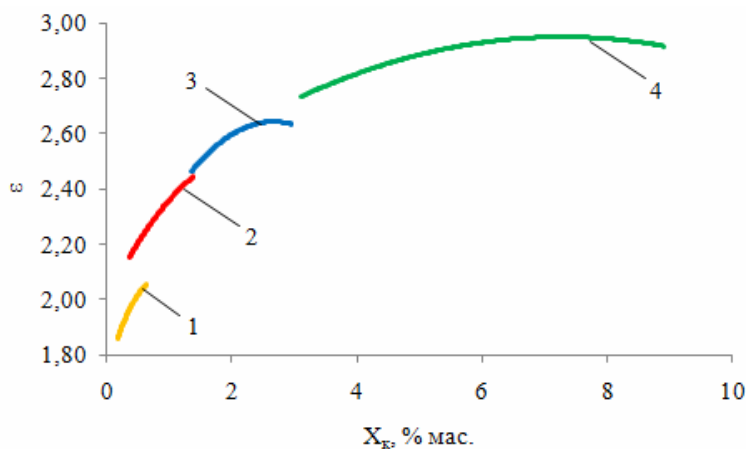


Рисунок 2 – Залежність параметру (ϵ) від X_k :
1 – Група №1; 2 – Група №1; 3 – Група №1; 4 – Група №4

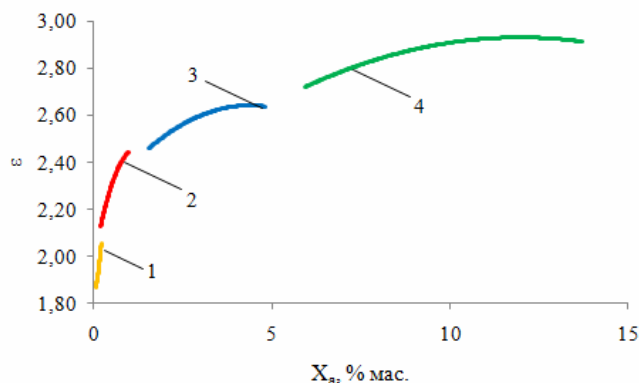


Рисунок 3 – Залежність параметру (ϵ) від X_a :
1 – Група №1; 2 – Група №1; 3 – Група №1; 4 – Група №4

Отримані данні свідчать про те, що величини v^{20} , X_k і X_a для зразків, що входять до групи №4, в порівнянні з групами №1, №2 і №3, характеризуються більшими значеннями: 224,3–300,6 мм²/с, 3,10–8,91 % мас. і 5,95–13,70 % мас, відповідно. Це пояснюється тим, що до хімічного складу важких нафт входить більша кількість, у порівнянні з нафтами груп №1–№3, різноманітних високомолекулярних сполук, як лінійної так і циклічної будови (наприклад, гетероциклічні сполуки з гетероатомами N, O, S). Саме ці сполуки є не бажаними компонентами при виробництві палив та змащувальних оливо, бо мають схильність до окиснення. І, навпаки, значення цих показників для ВС з групи №1, яка зазвичай переробляється за паливним напрямком, характеризуються найменшими значеннями: 0,9–26,4 мм²/с, 0,17–0,64 % мас. і 0,06–0,22 % мас, відповідно.

Враховуючі тісний зв'язок показника (ϵ) з v^{20} , X_k і X_a можна запропонувати його використання як додаткового класифікаційного признаку ВС [10]. Його використання може бути реалізовано, шляхом порівняння фактично виміряного значення з встановленим значенням ($\bar{\epsilon}_{N_0}$) для кожного типу (див. табл. 1), що є особливо доцільним при оперативному визначенні типу ВС, з подальшим прогнозуванням напрямку її технологічної переробки.

Для більш точної оцінки типу ВС за результатами проведених досліджень, запропонуємо модель для визначення КП

$$\text{КП} = -11,45 + 6,82 \times \epsilon + 0,02 \times v^{20} + 0,23 \times X_k. \quad (2)$$

Зазначимо, що для зручності у використанні, при отриманні даної моделі було застосовано певне спрощення, зокрема про лінійний характер залежності КП від показників якості.

На підставі проведених досліджень, граничні значення КП для кожного типу нафти, у відповідності до прийнятих міжнародних класифікацій [1]: тип 0 – $\text{КП} \leq 1,50$; тип 1, 2 – $1,50 \leq \text{КП} \leq 5,50$; тип 3 – $5,50 \leq \text{КП} \leq 11,00$; тип 4 – $\text{КП} > 11,00$.

Висновки. До початку технологічної переробки вуглеводневої сировини, запропоновано використовувати метод прогнозування напрямку її переробки. Даний метод базується на технологічній класифікації вуглеводневої сировини за типами. Впровадження даного методу дозволить раціоналізувати використання існуючих технологічних схем переробки, без їх суттєвого переоснащення; буде сприяти підвищенню загальної культури виробництва та зменшенню шкідливого навантаження на довкілля.

В якості основного класифікаційного признака при оперативному визначенні типу сировини, пропонується використовувати величину (ϵ), для точної оцінки типу сировини – критерій прогнозування (КП), який формується по принципу комбінування (ϵ) з такими стандартизованими показниками як кінематична в'язкість (ν^{20} , мм²/с) та коксівність за Конрадсоном (X_k , % мас).

На підставі проведених експериментальних досліджень встановлено, що при ВС відноситься до 0 типу; при ВС відноситься до 1, 2 типу; при ВС відноситься до 3 типу; при ВС відноситься до 4 типу

Література

1. ГОСТ 31378. МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ НЕФТЬ. Общие технические условия. Crude petroleum. General specifications. М.: Стандартинформ, 2009. – 12 с.
2. Brajesh Kumar. A Review on Capacitive-Type Sensor for Measurement of Height of Liquid Level / Brajesh Kumar, G. Rajita, Nirupama Mandal. // Measurement and Control. – 2014. - №47(7 1). – P. 219-224.
3. Bera S.C. Study of a modified capacitance-type level transducer for any type of liquid / S.C. Bera, H. Mandal, S. Saha, A. Dutta // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2014. – № 63(3). – P. 641–649.
4. Andreas Och. Accuracy Bounds and Measurements of a Contactless Permittivity Sensor for Gases Using Synchronized Low-Cost mm-Wave Frequency Modulated Continuous Wave Radar Transceivers / Andreas Och, Jochen O. Schrattecker, Stefan Schuster et al // Sensors. – 2019. – № 19(15). – 3351; <https://doi.org/10.3390/s19153351>.
5. Wu Mingfang. The oil product moisture meter based on the electromagnetic resonance / Wu Mingfang, Tang Dedong // J Instrument Technique and Sensor. – 2008. – №4. – P. 16–18.
6. Guan L. Determination of octane numbers for clean gasoline using dielectric spectroscopy / L. Guan, X.L. Feng, Z.C. Li, G.M. Lin // Fuel. – 2009. – № 88(8). – P. 1453–1459.
7. Григоров А.Б. Диэлектрическая проницаемость трансмиссионных масел / А.Б. Григоров, И.С. Наглюк // Автомобильный транспорт. – 2010. – №26. – С. 43–46.
8. Abhishek Punase. Stability Determination of Asphaltenes through Dielectric Constant Measurements of Polar Oil Fractions / Abhishek Punase, Berna Hascakir // Energy Fuels. – 2017. – №31(1). – P. 65–72.
9. Руднев В.А. Исследование диэлектрических свойств газовых конденсатов / В.А. Руднев, П.В. Карножицкий, А.Ф. Климчук // Вестник Нац. техн. ун-та "ХПИ". – 2007. – № 32. – С. 24–33.
10. Григоров А.Б. Диэлектрическая проницаемость нефти как дополнительный классификационный признак / А.Б. Григоров, В.А. Руднев // Вопросы химии и химической технологии. – 2013. – № 2. – С. 51–53.
11. Severa L. Temperature dependent kinematic viscosity of different types of engine oils / L. Severa, M. Havlíček, V. Kumbar // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. – 2009. – № 8. – P. 95–102.
12. Рахимов Т.Х. Совершенствование процесса первичной переработки нефти и газового конденсата с получением серосодержащих соединений и углеводородов / Диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук. Специальность 05.17.07. – 2020. – 125 с.

Bibliography (transliterated)

1. GOST 31378. MEZHGOSUDARSTVENNYY STANDART NEFT'. Obshchiye tekhnicheskkiye usloviya. Crude petroleum. General specifications. M.: Standartinform, 2009. – 12 p.
2. Brajesh Kumar. A Review on Capacitive-Type Sensor for Measurement of Height of Liquid Level / Brajesh Kumar, G. Rajita, Nirupama Mandal. // Measurement and Control. – 2014. – №47(7 1). – P. 219–224.
3. Bera S.C. Study of a modified capacitance-type level transducer for any type of liquid / S.C. Bera, H. Mandal, S. Saha, A. Dutta // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. – 2014. – № 63(3). – P. 641–649.
4. Andreas Och. Accuracy Bounds and Measurements of a Contactless Permittivity Sensor for Gases Using Synchronized Low-Cost mm-Wave Frequency Modulated Continuous Wave Radar Transceivers / Andreas Och, Jochen O. Schrattenecker, Stefan Schuster et al. // Sensors. – 2019. – № 19(15). – 3351; <https://doi.org/10.3390/s19153351>.
5. Wu Mingfang. The oil product moisture meter based on the electromagnetic resonance / Wu Mingfang, Tang Dedong // J Instrument Technique and Sensor. – 2008. – №4. – P. 16–18.
6. Guan L. Determination of octane numbers for clean gasoline using dielectric spectroscopy / L. Guan, X.L. Feng, Z.C. Li, G.M. Lin // Fuel. – 2009. – № 88(8). – P. 1453–1459.
7. Grigorov A.B. Dielektricheskaya pronitsayemost' transmissionnykh masel / A.B. Grigorov, I.S. Naglyuk // Avtomobil'nyy transport. – 2010. – №26. – P. 43–46.
8. Abhishek Punase. Stability Determination of Asphaltenes through Dielectric Constant Measurements of Polar Oil Fractions / Abhishek Punase, Berna Hascakir // Energy Fuels. – 2017. – №31(1). – P. 65–72.
9. Rudnev V.A. Issledovaniye dielektricheskikh svoystv gazovykh kondensatov / V.A. Rudnev, P.V. Karnozhitskiy, A.F. Klimchuk // Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KHPI". – 2007. – № 32. – P. 24–33.
10. Grigorov A.B. Dielektricheskaya pronitsayemost' nefti kak dopolnitel'nyy klassifikatsionnyy priznak / A.B. Grigorov, V.A. Rudnev // Voprosy khimii i khimicheskoy tekhnologii. – 2013. – № 2. – P. 51–53.
11. Severa L. Temperature dependent kinematic viscosity of different types of engine oils / L. Severa, M. Havlíček, V. Kumbar // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. – 2009. – № 8. – P. 95–102.
12. Rakhimov T.KH. Sovershenstvovaniye protsessa pervichnoy pererabotki nefti i gazovogo kondensata s polucheniyem serosoderzhashchikh soyedineniy i uglevodorodov / Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata khimicheskikh nauk. Spetsial'nost' 05.17.07. – 2020. – 125 p.

УДК 621.382:622.276

Набіль Абдель Сатер, Григоров А.Б.

**МЕТОД ПРОГНОЗУВАННЯ НАПРЯМКУ ПЕРЕРОБКИ
ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СИРОВИНИ**

В статті запропоновано раціоналізувати роботу установок з переробки вуглеводневої сировини, за рахунок її класифікації за типами, використовуючи критерій прогно-

зування (КП) напрямку переробки. Такий підхід у загальному випадку буде сприяти раціональному використанню технологічного обладнання, зниженню металоємності апаратів та схем переробки, зниженню енергетичних витрат за рахунок рекуперації надлишкового тепла та зниження теплообміну з навколишнім середовищем, ефективному використанню насосного обладнання. При цьому, також буде підвищуватися загальна культура виробництва та буде спостерігатися зменшенням шкідливого навантаження на довкілля. Експериментальні дослідження показали, що показники відносної діелектричної проникності (ϵ), кінематичною в'язкістю (ν^{20} , мм²/с) та коксівністю за Конрадсоном (x_k , %) вуглеводневої сировини, суттєво залежать від її хімічного та фракційного складу. Зважаючи на це, запропонований КП повинен базуватися на урахуванні означених вище показників. Експериментальні дослідження дозволили визначити певні граничні значення КП у відповідності до яких, вуглеводневу сировину можна віднести до певного типу: тип 0 – $КП \leq 1,50$; тип 1, 2 – $1,50 \leq КП \leq 5,50$; тип 3 – $5,50 \leq КП \leq 11,00$; тип 4 – $КП > 11,00$.

На підставі розрахованих значень КП, в подальшій перспективі, можна розробити раціональні схеми технологічної переробки вуглеводневої сировини, які будуть відноситися до паливного, оливного та комбінованого напрямку (варіанту). В залежності від потреби у певних видів нафтопродуктів, цільовими компонентами, які отримують при реалізації даних схем є вуглеводневі гази, моторні і котельні палива, змащувальні оливи, нафтовий кокс, бітуми, побічні продукти – гази деструкції, парафін, смоли і асфальтени.

Ключові слова: вуглеводнева сировина; класифікація; схема переробки; критерій прогнозування; діелектрична проникність; кінематична в'язкість; коксівність.

Набилъ Абдель Сатер, Григоров А.Б.

МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

В статье предложено рационализировать работу установок по переработке углеводородного сырья, за счет его классификации по типам, используя критерий прогнозирования (КП) направления переработки. Такой подход будет способствовать рациональному использованию технологического оборудования, снижению металлоемкости аппаратов и схем переработки, снижению энергетических затрат за счет рекуперации избыточного тепла и снижению теплообмена с окружающей средой, эффективному использованию насосного оборудования. При этом также будет повышаться общая культура производства, что в свою очередь, способствует уменьшению вредной нагрузки на окружающую среду. Экспериментальные исследования показали, что показатели относительной диэлектрической проницаемости (ϵ), кинематической вязкостью (ν^{20} , мм²/с) и коксуемости по Конрадсону (x_k , %) углеводородного сырья существенно зависят от его химического и фракционного состава. Ввиду этого, предлагаемый КП должен базироваться на учете указанных выше показателей. Экспериментальные исследования позволили определить предельные значения КП в соответствии с которыми, углеводородное сырье можно отнести к определенному типу: тип 0 – $КП \leq 1,50$; тип 1, 2 – $1,50 \leq КП \leq 5,50$; тип 3 – $5,50 \leq КП \leq 11,00$; тип 4 – $КП > 11,00$.

На основании рассчитанных значений КП, в дальнейшей перспективе, можно разработать рациональные схемы технологической переработки углеводородного сы-

рья, которые будут относиться к топливному, масляному или комбинированному направлению (варианту). В зависимости от потребности в определенных видах нефтепродуктов, целевыми компонентами, получаемыми при реализации данных схем, будут являться углеводородные газы, моторные и котельные топлива, смазочные масла, нефтяной кокс, битумы, побочные продукты – деструкции, парафин, смолы и асфальтены.

Ключевые слова: углеводородное сырье; классификация; схема переработки; критерий прогнозирования; диэлектрическая проницаемость; кинематическая вязкость; коксуемость.

Abdel Nabil Sater, Grigorov A.B.

METHOD OF FORECASTING THE DIRECTION OF PROCESSING HYDROCARBONS

In the article it is offered to rationalize work of installations on processing of hydrocarbonic raw materials, at the expense of its classification on types, using criterion of forecasting (KP) of the direction of processing. This approach will generally contribute to the rational use of technological equipment, reducing the metal consumption of devices and processing schemes, reducing energy costs by recovering excess heat and reducing heat exchange with the environment, efficient use of pumping equipment. At the same time, the general culture of production will increase and the harmful load on the environment will be reduced. Experimental studies have shown that the relative dielectric constant (ϵ), kinematic viscosity (ν^{20} , mm^2 / s) and Conradson coking ($x_k, \%$) of hydrocarbons, significantly depend on its chemical and fractional composition. In view of this, the proposed CP should be based on the above indicators. Experimental studies have allowed determining certain limit values of KP in accordance with which, hydrocarbons can be attributed to a certain type: type 0 – $KП \leq 1,50$; type 1, 2 – $1,50 \leq KП \leq 5,50$; type 3 – $5,50 \leq KП \leq 11,00$; type 4 – $KП > 11,00$.

On the basis of the calculated values of KP, in the future, it is possible to develop rational schemes of technological processing of hydrocarbons, which will be related to the fuel, oil and combined direction (option). Depending on the needs of certain types of petroleum products, the target components obtained in the implementation of these schemes are hydrocarbon gases, motor and boiler fuels, lubricating oils, petroleum coke, bitumen, by-products – degradation gases, paraffin, resins and asphaltenes.

Keywords: hydrocarbon raw materials; classification; processing scheme; forecasting criteria; dielectric constant; kinematic viscosity; coking.