

углей. Проанализирована взаимосвязь между объемом пор и максимальным содержанием влаги в угле различных степеней метаморфизма. Показано, что безопасная влажность зависит от марки угля и от класса крупности для большинства марок.

Определено влияние влаги на насыпную плотность угольных концентратов и угольных шихт, проанализированы изменения влаги при размораживании и подготовке угля к коксованию, а также подтверждено влияние влаги на сыпучесть угольной шихты.

Содержание влаги в заряде угля значительно влияет на термический режим коксовой батареи и на расход тепла на коксование. Влага также изменяет тепловые свойства каменноугольной шихты при загрузке: для влажного материала коэффициент теплопроводности намного выше, чем для сухого материала и воды раздельно.

Показано, что максимальное содержание влаги зависит от природы угля, степени его метаморфизма, выраженного такими показателями, как выход летучих веществ, отражение витринита, содержание углерода и водорода, а также значение теплоты сгорания. При переходе угля от грубого класса крупности до мелкого максимальная влагоемкость повышается из-за увеличения удельной поверхности угля. Максимальная влагоемкость практически не зависит от степени окисленности и химического состава угольной золы.

Установлено, что насыпная плотность достигает максимума для сухого угля и уменьшается до минимума в зависимости от крупности кусков при влажности 6-10 %.

Приведена классификация угольных шихт по показателю влажности.

Повышение влажности угля ведет к снижению его размолоспособности, что затрудняет однородность измельчения и снижает текучесть угля. Увеличение влажности шихты приводит к повышению теплоты сгорания коксового газа, способствует образованию неравномерного по крупности кокса, увеличению его пористости и снижению механической прочности, а также приводит к уменьшению срока службы печей.

Ключевые слова: влага, уголь, коксование, схема подготовки, коксовой газ, математические уравнения.

Автор для переписки Д. В. Мирошниченко, e-mail: dvmir79@gmail.com

DOI: 10.31081/1681-309X-2022-0-1-15-21

Спеціальність 161. УДК: 665.63

ОПЕРАТИВНИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕСУ ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ ВУГЛЕВОДНЕВОЇ СИРОВИНИ

© **Набіль Абдель Сатер¹, А. Б. Григоров²**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2, Україна

¹ *Набіль Абдель Сатер, аспірант кафедри технології переробки нафти, газу та твердого палива (ТПНГТП), e-mail: nabil.abdelsater@outlook.com*

² *Григоров Андрій Борисович, докт. техн. наук, проф. кафедри ТПНГТП, e-mail: grigorovandrey@ukr.net*

У статті розглянуто шляхи вирішення проблеми, що виникає при первинній переробці нафтової, газоконденсатної та іншої вуглеводневої сировини, що в технічній літературі має назву «ефект накладення фракцій». Ця проблема пов'язана з використанням технологічного обладнання, зокрема ректифікаційних колон, і може бути вирішена шляхом оперативного контролю і регулювання технологічних параметрів (температури, тиску, кількості зрошення, тощо) процесу поділу вуглеводневої сировини на фракції.

Оперативний контроль поділу сировини на фракції повинен базуватися на системі, яка включає блок оперативного контролю технологічних параметрів (за показниками якості отриманих фракцій) та блок корегування, який дозволяє оперативно вести регулювання параметрів до необхідного рівня, що забезпечить певну якість отриманої продукції.

Первинна інформація про якісні характеристики отриманих фракцій, зокрема вміст домішок (X , %) більш низькокиплячих компонентів іншої фракції, повинна надходити від датчиків, що розташовані на трубопроводах основних матеріальних потоків, що виходять з ректифікаційної колони.

В якості контрольованих показників для визначення X , запропоновано використовувати показник відносної діелектричної проникності, що є мірою електричних властивостей як сировини, так і отриманих фракцій, а також значення таких фізико-хімічних показників як густина та кінематична в'язкість.

Експериментально встановлено, що зі збільшенням вмісту у досліджуваних фракціях домішок суміжних фракцій з меншими температурними межами википання відбувається зниження значень зазначених величин. На підставі цих даних були отримані рівняння множинної регресії, які спроможні адекватно ($R^2=0,9847\div 0,9969$) визначати величини вмісту домішок X в суміжних фракціях.

Отримані рівняння дають змогу оперативно визначити ефект накладення суміжних фракцій, що може бути використано при впровадженні системи оперативного контролю процесу ректифікації на установках первинної переробки вуглеводневої сировини.

Ключові слова: вуглеводнева сировина, ректифікація, фракція, накладення фракцій, легкокиплячі домішки, оперативний контроль, діелектрична проникність.

Автор для листування А. Б. Григоров, e-mail: grigorovandrey@ukr.net

Ефективна робота установок первинної переробки вуглеводневої нафтової або газоконденсатної сировини в значній мірі залежить від процесу ректифікації. Особливістю процесу ректифікації є виникнення ефекту накладення дистильатних фракцій який призводить до зменшення виходу тих або інших фракцій. Величина ефекту накладення суміжних фракцій визначається як різниця між значенням температури початку і кінця кипіння суміжних фракцій [1].

Наближення кількості вилученої фракції до кількості її потенціального вмісту в вуглеводневій сировині є основною задачею, над рішенням якої працюють колективи передових науково-дослідних інститутів та випробувальних лабораторій світової нафтопереробної галузі [1-3].

Спиралючись на дані, представлені в роботі [2], пари мазуту містять у своєму складі понад 5 % (мас.) вуглеводнів дизельної фракції, а до складу гудрону потрапляють до 10 % мас. вуглеводнів вакуумного дистильату [3]. Слід зауважити, що ці дані отримані при штатному режимі експлуатації атмосферно-вакуумних трубчастих установок (АВТ), але при виникненні аварійних ситуацій ці цифри будуть значно більшими.

Зменшити ефект накладення фракцій можливо як за рахунок вдосконалення технологічного обладнання (наприклад, зміни кількості і конструкції тарілок), так і за рахунок своєчасного оперативного регулювання технологічних параметрів роботи ректифікаційних колон: температури, тиску, швидкості парів та кількості холодного зрошення колони [2, 4]. При цьому, оперативне регулювання технологічних параметрів можливе лише за рахунок їх оперативного контролю за якістю отриманої продукції.

Накладення фракцій можна наглядно проаналізувати на основі кривих істинних температур кипіння (ІТК) [5], отриманих при випробуваннях в лабораторних умовах проб, відібраних з безперервно діючої установки АВТ. Враховуючи час (не менш ніж 60 хв.), що потрібен на отримання кривих ІТК, неможливо здійснювати безперервний оперативний контроль процесу ректифікації на установках первинної переробки вуглеводневої сировини.

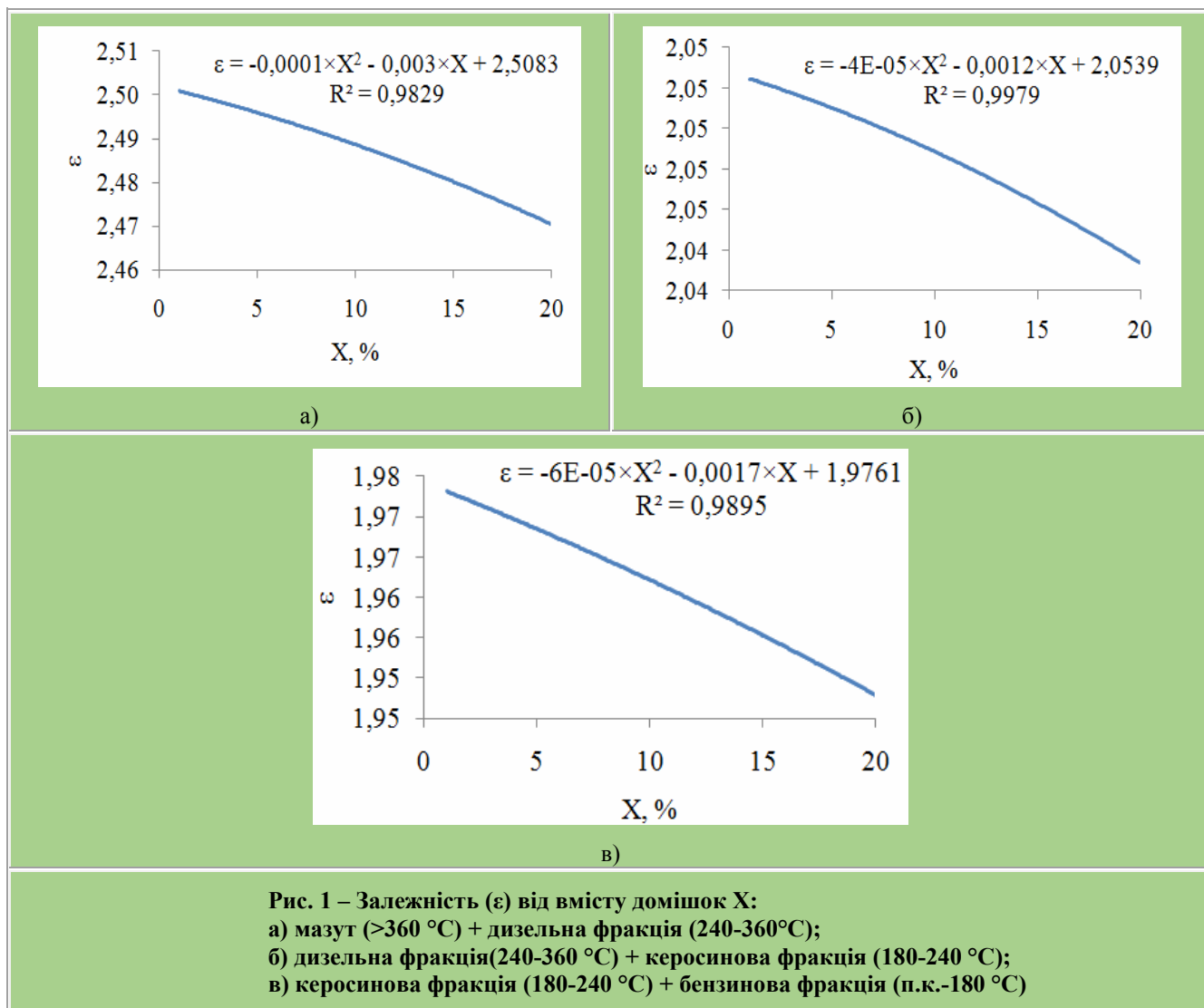
Мета даної роботи – вдосконалити спосіб оперативний контроль процесу первинної переробки вуглеводневої сировини шляхом зниження ефекту накладення суміжних фракцій.

Оперативний контроль процесу первинної переробки вуглеводневої сировини запропоновано реалізувати шляхом впровадження системи, що поєднує блок оперативного контролю технологічних параметрів (за показниками якості отриманих дистильатних фракцій) та блок корекції, який дозволяє відразу провести регулювання параметрів до необхідного рівня, котрий забезпечує певну якість отриманої продукції. При цьому, первинна інформація про якісні характеристики отриманих фракцій повинна надходити від датчиків, що розташовані на трубопроводах основних матеріальних потоків, що виходять з ректифікаційної колони.

Принцип дії таких датчиків повинен базуватися на вимірюванні тих показників якості отриманих фракцій, які об'єктивно характеризують їх склад та можуть бути оперативно визначені. Так, враховуючи електричні властивості нафти і нафтопродуктів, а саме те що вони є неполярними діелектриками [6], для оперативного визначення їх якості часто використовують показник відносної діелектричної проникності (ϵ) [7-9].

Дані представлені в роботах [10, 11] свідчать про те, що з підвищенням температури кипіння вуглеводневих фракцій, збільшуються величини відносної діелектричної проникності (ϵ). Отже, присутність в досліджуваній

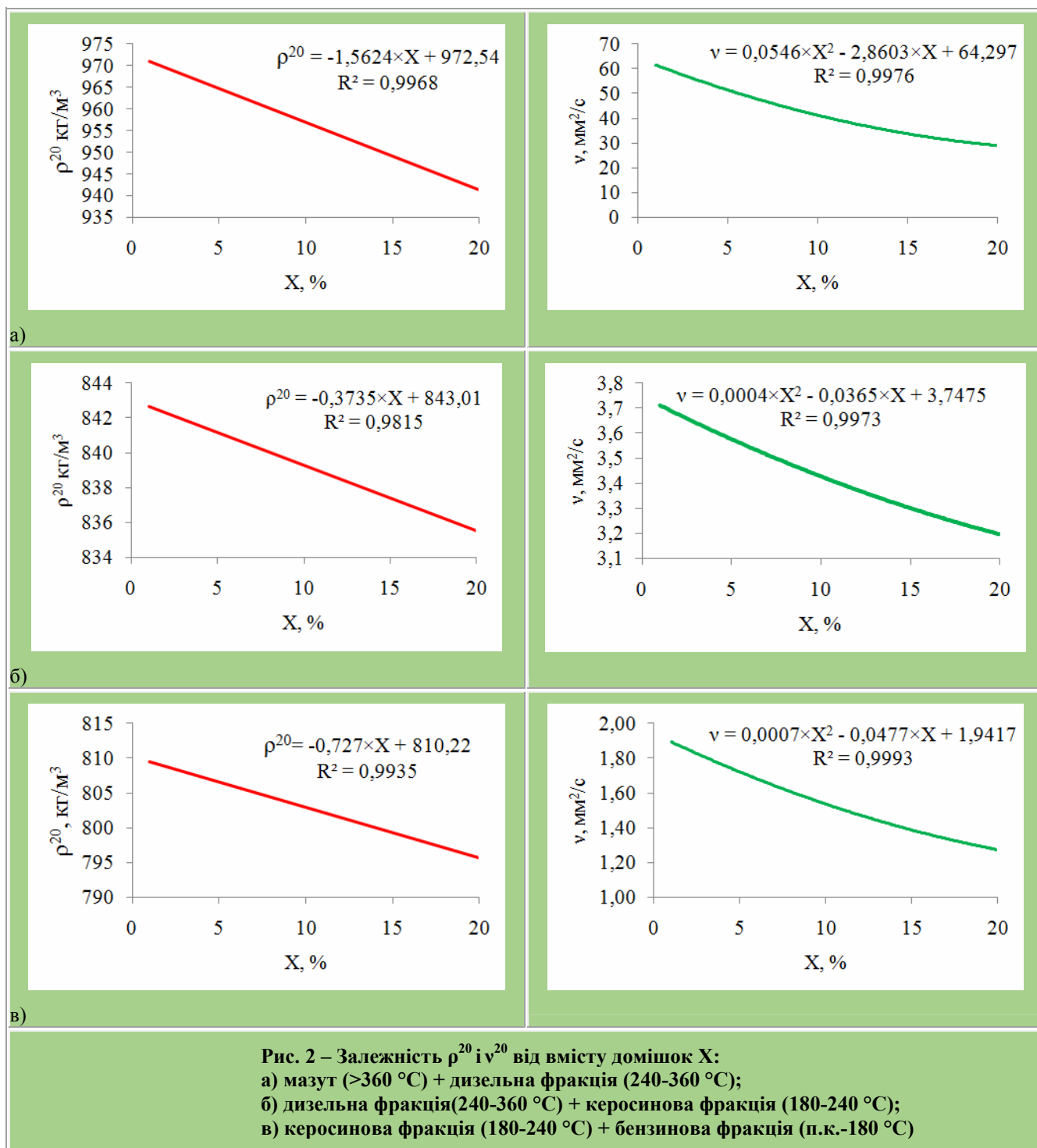
фракції домішок (X , %) більш низькокиплячих компонентів іншої фракції сприяє зниженню величини відносної діелектричної проникності (ϵ), що підтверджується отриманими даними, які представлені на рис. 1.



Спираючись на дані, наведені в роботах [12, 13] разом з показником (ϵ) для оперативного контролю якості фракцій в потоці можна використовувати такі фізико-хімічні показники як густина (ρ^{20} , $\text{кг}/\text{м}^3$) і кінематична в'язкість (ν^{20} , $\text{мм}^2/\text{с}$), які також суттєво залежать від хімічного складу нафти та її фракцій, що підтверджується даними, представленими на рис. 2.

Аналізуючи дані, представлені на рис. 1-2, зауважимо, що зі збільшенням вмісту у досліджуваних фракці-

ях домішок суміжних фракцій з меншими температурними межами википання, знижуються величини ϵ , ρ^{20} і ν^{20} . Таке зниження, у свою чергу, дає змогу визначити ефект накладення сумісних фракцій, що може бути використано при впровадженні системи оперативного контролю процесу ректифікації на установках первинної переробки вуглеводневої сировини.



Проведенні дослідження дали змогу розрахувати рівняння множинної регресії (див. табл. 2), з використанням пакету STATISTICA 10, а саме модуля «Multiply linear regression» [14]. Ці рівняння можна використовувати

для визначення ефекту накладення суміжних фракцій, вираженого вмістом легкокиплячих домішок X в складі досліджуваної фракції.

Таблица 2

Рівняння множинної регресії для визначення вмісту домішок X при накладенні досліджуваних суміжних фракцій

№ п/п	Найменування суміжних фракцій	Рівняння регресії при $\rho=0,95$	R^2	Похибка оцінки, %
1.	«Керосинова фр. – Бензинова фр.»	$X=1247,08-274,6 \times \varepsilon-0,87 \times \rho^{20}$	0,9966	0,6395
		$X=793,08-387,43 \times \varepsilon-14,72 \times v^{20}$	0,9847	1,3292
2.	«Дизельна фр. – Керосинова фр.»	$X=2971,33-748,46 \times \varepsilon-1,7 \times \rho^{20}$	0,9935	0,8637
		$X=822,45-350,51 \times \varepsilon-30,29 \times v^{20}$	0,9908	1,0306
3.	«Мазут – Дизельна фр.»	$X=646,39-17,15 \times \varepsilon-0,62 \times \rho^{20}$	0,9968	0,6023
		$X=582,07-224,84 \times \varepsilon-0,31 \times v^{20}$	0,9969	0,5959

Досить високі значення (0,9847-0,9969) коефіцієнту детермінації R^2 свідчать про адекватність отриманих рівнянь регресії, які з похибкою на рівні 0,5959-1,3292 % визначають X в суміжних фракціях.

Розраховані за експериментальними даними приватні коефіцієнти еластичності (E_i , %) які знаходяться у діапазоні значень -150,31÷-4,183 %, свідчать про істотний вплив показників ε , ρ^{20} і v^{20} , що входять до рівнянь регресії, на величину X суміжних фракцій.

Висновки

Одним із основних напрямків забезпечення ефективно роботи установок первинної переробки вуглеводневої сировини є підвищення чіткості поділу дистильованих фракцій, яка досягається як конструктивним удосконаленням апаратів (ректифікаційних колон), так і своєчасним регулюванням технологічних параметрів процесу (температури, тиску, швидкістю руху парової фази, кількістю зрошення). Таке регулювання неможливе без оперативного контролю значень технологічних параметрів, яке можна здійснювати за якістю отриманої продукції.

Основним контрольованим показником виступає величина вмісту домішок (X, %) низькокиплячої суміжної фракції в досліджуваній фракції, що у технічній літературі має назву «ефект накладення фракцій».

Оперативний контроль величини (X, %) запропоновано здійснювати за значенням показника (ε) та таких фізико-хімічних показників якості як ρ^{20} і v^{20} . Для цього, було отримано рівняння множинної лінійної регресії, адекватність яких підтверджують досить високі значення (0,9847-0,9969) коефіцієнту детермінації R^2 . Похибка оцінювання величини (X, %) в суміжних фракціях знаходиться на рівні 0,5959-1,3292 %.

Розраховані за експериментальними даними приватні коефіцієнти еластичності свідчать про те, що використання показників якості ε , ρ^{20} і v^{20} в рівняннях регресії для розрахунку величини ефекту накладення суміжних фракцій, вираженого в X є статистично обґрунтованим.

Бібліографічний список

1. Асатрян А. А., Ясьян Ю. П. Технологические установки первичной переработки анализ возникающих проблем // Деловой журнал *Neftegaz. RU*. 2017. № 9. С. 62-64.
2. Ахметов С. А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов. Уфа, 2002. - 672 с.
3. Капитонова О. В., Осипов Э. В. Наложение нефтяных фракций при разделении мазута под вакуумом // Вестник Казанского технологического университета. Казань. 2015. Т. 18. № 20. С. 88-90.
4. Мановян А. К. Технология первичной переработки нефти и природного газа: учебное пособие для вузов. 2-е изд. Москва: Химия, 2001. 568 с.
5. Курсанов Ю. Г., Шишов М. Г., Коняева А. П. Анализ нефти и нефтепродуктов: учеб.-метод. пособие. Екатеринбург, 2016. 88 с.
6. Чеников И. В. Химия и физика нефти: учебное пособие. Краснодар, 2010. 293 с.
7. Ming fang Wu, Dedong Tang The oil productmoisture meter based on the electromagnetic resonance // *J Instrument Technique and Sensor*. 2008. №4. p. 16-18.
8. Guan L., Feng X. L., Li Z. C., Lin G. M. Determination of octane numbers for clean gasoline using dielectric spectroscopy // *Fuel*. 2009. №88(8). p. 1453-1459. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2009.02.017>
9. Rudnev Vasilij A., Boichenko Alexander, Karnozhytskiy Pavel V. Classification of gasoline by octane number and light gas condensate fractions by origin with using dielectric or gas-chromatographic data and chemometrics tools // *Talanta*, 2011. № 84(3). p. 963–970. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.02.049>
10. Скворцов Б. В., Силов Е. А. Исследование корреляционных зависимостей между октановым числом и электродинамическими параметрами углеводородных

продуктов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, 2009. Т. 11. №5. С.64–71.

11. Балакирев В. А., Сотников Г. В., Ткач Ю. В., Яценко Т. Ю. Микроволновые методы интенсификации добычи нефти // Электромагнитные явления. 2001. № 2 (6). Т.2. С. 255–288.

12. Билинский И. И., Огородник К. В., Яремичена Н. А. Анализ методов и средств измерения плотности нефтепродуктов // Наукові праці ВНТУ. 2016. № 2. С.1–14.

13. Преобразователи вязкости FVM. Emerson Process Management. MC-001901, ред. А. 03/2014. 6 с. URL: <https://www.emerson.com/documents/automation/brochure-micro-motion-ru-64836.pdf>

14. Халафян А. А. Контроль качества, анализ процессов, планирование экспериментов в пакете Statistica. Москва: Книжный дом "Либроком", 2013 384 с.

Рукопис надійшов до редакції 22.12.2021

DOI: 10.31081/1681-309X-2021-0-1-15-21

Specialty 161. U.D.C.: 665.63

OPERATIONAL CONTROL OF THE PROCESS OF PRIMARY PROCESSING OF HYDROCARBONS

© Nabil Abdel Sater, A. B. Grigorov, Doctor of Technical Sciences (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", 61002, Kharkiv, Kirpicheva st., 2, Ukraine)

The article considers the ways to solve the problem that arises during the primary processing of hydrocarbon (oil, gas condensate, etc.) raw materials and in the technical literature is called: "the fraction superposition effect". This problem is related to the use of technological equipment, including distillation columns, and can be solved by operational control and regulation of technological parameters (temperature, pressure, amount of fusion, etc.) of the process of separation of hydrocarbons into fractions. Operational control of the raw material division into fractions should be based on a system that includes a unit of operational control of technological parameters (quality indicators of distillate fractions) and a correction unit that allows immediate adjustment of parameters to the required level to ensure a certain quality of products.

Primary information on the qualitative characteristics of the obtained fractions, in particular the content of impurities (X, %) of lower-boiling components of another fraction, should come from sensors located on the pipelines of the main material flows coming from the distillation column.

As controllable indicators for determining (X,%), it has been proposed to use the indicator of relative permittivity – a measure of electrical properties of both raw materials and obtained fractions, supplemented by values of physicochemical parameters such as density and kinematic viscosity.

It has been experimentally established that the increasing of the content of impurities in the studied fractions of adjacent fractions with lower boiling points leads to a decrease in the values of all mentioned indicators. Based on these data, a multiple regression equations were obtained, which adequately ($R^2 = 0.9847 \div 0.9969$) with an error of 0.5-1.3 % can determine the values of X in adjacent fractions.

The obtained equations, in turn, allow to quickly determine the effect of the imposition of compatible fractions, which can be used in the implementation of the system of operational control of the rectification process at the hydrocarbons primary processing plants.

Keywords: hydrocarbon raw materials, rectification, fractions, superposition, low-boiling impurities, operational control, dielectric constant.

Corresponding author A. B. Grigorov, e-mail: grigorovandrey@ukr.net

DOI: 10.31081/1681-309X-2021-0-1-15-21

Спеціальність 161. УДК: 665.63

ОПЕРАТИВНЫЙ КОНТРОЛЬ ПРОЦЕССА ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

© Набиль Абдель Сатер, А. Б. Григоров, докт. техн. наук (Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», 61002, г. Харьков, ул. Кирпичёва, 2, Украина)

В статье рассмотрены пути решения проблемы, возникающей при первичной переработке нефтяного, газоконденсатного и другого углеводородного сырья, которая в технической литературе называется «эффект наложения фракций». Эта проблема связана с использованием технологического оборудования, в частности ректификационных колонн, и может быть решена путем

оперативного контролю и регулирования технологических параметров (температуры, давления, количества орошения и т.п.) процесса разделения углеводородного сырья на фракции.

Оперативный контроль разделения сырья на фракции должен базироваться на системе, включающей блок оперативного контроля технологических параметров (по показателям качества полученных дистиллятных фракций) и блок коррекции, позволяющий провести регулирование параметров до необходимого уровня, обеспечивающего определенное качество полученной продукции. Первичная информация о качественных характеристиках полученных фракций, в частности, о содержании примесей (X , %) более низкокипящих компонентов другой фракции, должна поступать от датчиков, расположенных на трубопроводах основных материальных потоков, выходящих из ректификационной колонны.

В качестве контролируемых показателей для определения X , предложено использовать показатель относительной диэлектрической проницаемости (ϵ), являющийся мерой электрических свойств как сырья, так и полученных фракций, а также значения таких физико-химических показателей, как плотность и кинематическая вязкость. Экспериментально установлено, что при увеличении содержания в исследуемых фракциях примесей смежных фракций с меньшими температурными пределами выкипания происходит снижение упомянутых величин. На основании этих данных были получены уравнения множественной регрессии, которые адекватно ($R^2=0,9847\div 0,9969$) могут определять величины содержания примесей X в смежных фракциях.

Полученные уравнения позволяют оперативно определить эффект наложения смежных фракций, что может быть использовано при внедрении системы оперативного контроля ректификационного процесса на установках первичной переработки углеводородного сырья.

Ключевые слова: углеводородное сырье, ректификация, фракция, наложение фракций, низкокипящие примеси, оперативный контроль, диэлектрическая проницаемость.

Автор для переписки А. Б. Григоров, e-mail: grigorovandrey@ukr.net

DOI: 10.31081/1681-309X-2022-0-1-21-28

Спеціальність 161. УДК: 629.3.027.5:66.092-977

ОДЕРЖАННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДУ РІДКИХ ПРОДУКТІВ ПІРОЛІЗУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ АВТОМОБІЛЬНИХ ШИН

© С. В. Пиш'єв¹, Ю. В. Липко², А. О. Шляхова³, Б. О. Корчак⁴

Національний університет «Львівська політехніка», 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, Україна

¹Пиш'єв Сергій Вікторович, докт. техн. наук, проф., проф. кафедри хімічної технології переробки нафти та газу (ХТНГ), e-mail: gajva@polynet.lviv.ua

²Липко Юрій Васильович, аспірант кафедри ХТНГ, e-mail: lypko.yu.v@ukr.net

³Шляхова Аліна Олександрівна, студентка гр. ХТМ-21 кафедри ХТНГ, e-mail: alina.shliakhova@ukr.net

⁴Корчак Богдан Орестович, канд. техн. наук, асист. кафедри цивільної безпеки, e-mail: kor4ak93@gmail.com

Розглянуто актуальну проблему накопичення відпрацьованих автомобільних шин в навколишньому середовищі та запропоновано раціональні шляхи її вирішення. Розглянуто «традиційний» (термічний) метод, суть якого полягає у наступних технологічних операціях: вивільнення з шин металевих частин, подрібнення гумового матеріалу, що лишився після здійснення цієї операції, та нагрівання до високих температур без доступу повітря. В результаті піролізу відпрацьованих автомобільних шин отримують газ, рідку фракцію та технічний вуглець. Для проведення процесу піролізу відпрацьованих автомобільних шин запропоновано принципову технологічну схему процесу, котру реалізовано в дослідно-промисловому масштабі. Цільовим продуктом процесу піролізу є рідкі продукти піролізу відпрацьованих автомобільних шин, масовий вихід яких становить близько 35 % за масою.

З метою подальшого раціонального використання рідких продуктів піролізу відпрацьованих автомо-