

Методика прогнозирования свойств компаундированных битумов

Проблема получения высококачественных битумов из нефтяных остатков решается несколькими способами: использованием более качественного сырья, совершенствованием технологии и оптимизацией параметров окисления, введением в сырье или готовый битум различных добавок [1–6]. Однако все перечисленные способы требуют существенных материальных затрат.

Одним из эффективных способов повышения качества нефтяных битумов является компаундирование [7–10]. Смешивая два-три компонента в различных соотношениях, можно получить большое число товарных марок битума. Такая технология требует использования автоматизированных систем управления. Показатели качества компаундированных битумов зависят как от свойств и соотношения компонентов, так и от процессов, протекающих при их смешивании. Информация о последних ограничена, что препятствует установлению строгой функциональной связи между входными и выходными переменными.

С помощью корреляционно-регрессионного метода анализа результатов многочисленных экспериментальных исследований (табл. 1) бинарных смесей окисленных нефтяных битумов с гудронами западносибирских нефтей были получены уравнения, позволяющие прогнозировать такие важные свойства компаундированных битумов, как температура размягчения по кольцу и шару, глубина проникания иглы (пенетрация) и растяжимость при температуре 25°C:

$$\ln t_{p,к.б} = b + m_1 x_6 t_{p,б} + m_2 (1-x_6) t_{p,г} \quad (1)$$

$$\ln \Pi_{к.б} = m_3 x_6 \ln \Pi_б + m_4 (1-x_6) \ln \Pi_г \quad (2)$$

$$\ln P_{к.б} = b_1 + m_5 t_{p,к.б} + m_6 \text{ИП}_{к.б} \quad (3)$$

где $t_{p,к.б}$, $t_{p,б}$, $t_{p,г}$ — температура размягчения (по КиШ) соответственно компаундированного, окисленного битумов и гудрона, °C; $\Pi_{к.б}$, $\Pi_б$, $\Pi_г$ — пенетрация при 25°C соответственно компаундированного, окисленного битумов и гудрона; $P_{к.б}$ — растяжимость при 25°C компаундированного битума, см; b , b_1 , m_1 – m_6 — коэффициенты регрессии, оцениваемые по экспериментальным данным; x_6 , $1-x_6 = x_г$ — массовая доля соответственно окисленного битума и гудрона в компаундированном битуме; $\text{ИП}_{к.б}$ — индекс пенетрации компаундированного битума, определяемый по уравнению:

$$0,02 \frac{20 - \text{ИП}_{к.б}}{10 + \text{ИП}_{к.б}} = \frac{\lg 800 - \lg \Pi_{к.б}}{t_{p,к.б} - 25}$$

Статистическую обработку экспериментальных данных и вывод уравнений регрессии проводили при помощи пакета анализа MS Excel.

Множественные коэффициенты корреляции R для уравнений (1)–(3), полученные по результатам многочисленных экспериментальных исследований, равны соответственно 0,990; 0,994 и 0,897. Их значения свидетельствуют о достаточно тесной взаимосвязи выходных показателей качества и входных переменных. Вывод о том, случайна или нет эта взаимосвязь, делается по результатам сравнения наблюдаемых и критических значений F - и t -статистик [11].

Значения F -статистик, определяющие значимость регрессии, для уравнений (1)–(3) равны соответственно 1758,46; 6943,28 и 304,27. Критическое значение F -статистик при уровне значимости $\alpha = 0,01$ для этих уравнений равно 99,49. Значения t -статистик, характеризующие статистическую значимость факторов, вклю-

ченных в уравнения (1)–(3), при $0 < x_6 < 1$ приведены в табл. 2.

Критическое значение всех t -статистик при уровне значимости $\alpha = 0,01$ равно 2,576. Все наблюдаемые значения F - и t -статистик больше критических. Следовательно, предлагаемые регрессионные уравнения пригодны для предсказания вышеупомянутых показателей качества компаундированных битумов, а входящие в них факторы имеют с вероятностью 99% тесную корреляционную связь с результирующими признаками. Полученные уравнения (1)–(3) наиболее точно прогнозируют показатели качества компаундированных битумов с пенетрацией от 30 до 200.

Адекватность разработанных моделей подтверждена результатами анализа полученной на установке «Битумная № 2» ОАО «Нафтан» в количестве 90 т опытной партии компаундированного битума, состоящего из 40% (масс.) окисленного битума и 60% (масс.) гудрона. Экспериментальные и расчетные значения температуры размягчения, пенетрации и растяжимости компаундированного битума приведены в табл. 3.

Уравнения регрессии (1)–(3) можно непосредственно использовать для прогнозирования свойств компаундированных битумов, приняв в качестве исходных данных соотношение и свойства входящих в их состав компонентов. Однако в производственной практике чаще всего необходимо подобрать такое соотношение имеющихся в наличии исходных компонентов, чтобы показатели качества получаемой товарной продукции удовлетворяли требованиям того или иного нормативного документа.

Иногда требуется установить, какими свойствами должен обладать

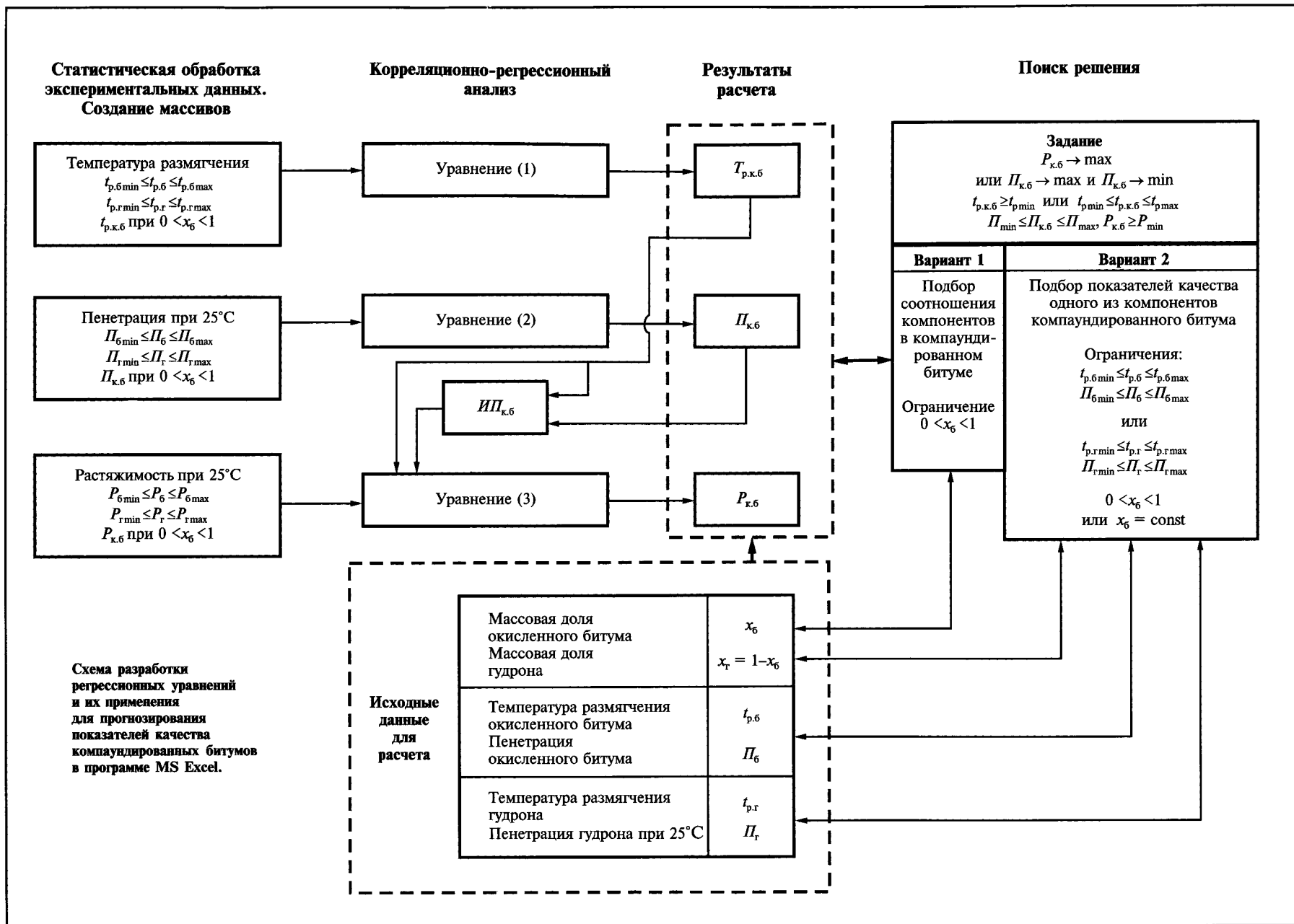


Таблица 1

Показатели	Образец									
	окисленного битума						гудрона			
	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Г1	Г2	Г3	Г4
Температура размягчения по КиШ (ГОСТ 11506—73), °С	97	81	73,5	67	60	56	34	33	31,5	30
Пенетрация при 25°С (ГОСТ 11501—78), 0,1 мм	13	14	21	26	39	41	386	490	530	600
Растяжимость при 25°С (ГОСТ 11505—75), см	3	4	5	8	25	25	75	50	65	55

Таблица 2

Фактор	Коэффициент	Значение коэффициента	Наблюдаемое значение t-статистики
Константа	b	3,379	118,908
$x_{6,r,6}^t$	m_1	0,011	30,608
$(1-x_6)^t$	m_2	0,0023	3,575
$x_6 \ln P_6$	m_3	0,98	186,893
$(1-x_6) \ln P_6$	m_4	1,00	372,687
Константа	b_1	6,49	45,992
$t_{p,k,6}$	m_5	-0,05	18,257
$ИП_{к,6}$	m_6	-0,33	9,841

Таблица 3

Показатели	Окисленный битум	Гудрон	Компаундированный битум	
			эксперимен	расчет
Температура размягчения (по КиШ), °С	86	34	46	45
Пенетрация при 25°С	12	386	96	94
Растяжимость при 25°С, см	5	75	98	96

отсутствующий ингредиент при заданном уровне качества смеси. Найти необходимые решения можно путем анализа имеющихся зависимостей между входными и выходными переменными при помощи программы «Поиск решения» MS Excel, которая позволяет решать задачи оптимизации при наличии некоторых ограничений.

На рисунке приведена принципиальная схема разработки регрессионных уравнений и их применения для прогнозирования показателей качества компаундированных битумов. Она содержит два варианта использования программы «Поиск ре-

шения»: подбор соотношения компонентов в компаундированном битуме; подбор показателей качества одного из ингредиентов при заданных показателях качества компаундированного битума.

Предлагаемая методика позволяет предсказывать основные показатели качества бинарных смесей окисленных нефтяных битумов с гудронами, определять диапазон изменения свойств отсутствующего ингредиента смеси и соотношения входящих в ее состав компонентов, в котором получаемая продукция имела бы заданный уровень качества.

При применении регрессионных моделей для прогнозирования следует учитывать случаи, когда фактические значения факторных признаков выходят за границы значений, на основе которых были определены коэффициенты уравнений регрессии. Регрессионные модели носят вероятностный характер, поэтому полученные с их помощью результаты требуют экспериментальной проверки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гун Р. Б. Нефтяные битумы. М., Химия, 1989. — 152 с.
2. Колбановская А. С., Давыдова А. Р., Давыдова К. И. — Доклады АН СССР, 1965, т. 165, № 2, с. 376—379.
3. Колбановская А. С. — Труды СоюздорНИИ, 1971, вып. № 49, с. 30—33.
4. Карташевский А. И. Проблемы производства и применения нефтяных битумов. Уфа, Башкирское книжное изд-во, 1973, вып. 2, с. 25—32.
5. Соломенцев А. Б., Жданюк В. К., Малаяр В. В. и др. — ХТТМ, 1999, № 5, с. 20—21.
6. Белокоп Н. Ю., Васкин А. В., Сюткин С. Н. — Нефтепереработка и нефтехимия, 2000, № 1, с. 72—74.
7. Кутыин Ю. А., Хайрудинов И. Р., Биктимирова Т. Г. и др. — Башкирский химический журнал, 1996, т. 3, вып. 3, с. 27—32.
8. Гуреев А. А., Сомов В. Е., Луговской А. И. и др. — ХТТМ, 2000, № 2, с. 49—51.
9. Ткачев С. М., Ельцов И. П., Али Халед А. и др. — Весты ПГУ, Серия В, Прикладные науки, 2001, с. 83—90.
10. Али Халед А., Хорошко С. И., Ткачев С. М. и др. Изучение свойств компаундированных битумов. Деп. в Бел. ИСА 01.06.2001, № Д 2001—44.
11. Статистика/Под ред. М. Р. Ефимовой. М., ИНФРА-М, 2000. — 336 с.

Полоцкий
государственный университет,
ОАО «Нафтан»