

Кроме того, энергоэффективность здания почти не рассматривается в качестве одного из критериев оценки рыночной стоимости квартиры в связи с низкими действующими тарифами.

В существующей государственной программе, начиная с 2015 г., затраты на тепловую модернизацию входят в состав капитального ремонта лишь в ограниченном объеме. Бюджетные средства на дорогостоящие меры тепловой модернизации включаются в план капремонта на основании вывода технического анализа о существующих дефектах ограждающих конструкций и их влияния на структурную целостность здания.

Следует отметить, что сравнительно низкий уровень осведомленности населения, проектировщиков, застройщиков и подрядчиков об энергоэффективности также недостаточно стимулирует тепловую модернизацию жилых зданий.

УДК 678.042

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА СИМПЛЕКС-РЕШЕТЧАТОГО ПЛАНИРОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ПОДХОДА ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СОСТАВА РАСТВОРИТЕЛЕЙ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ИНГРЕДИЕНТОВ НЕФТИ**

*И. В. ПРИХОДЬКО, Д. А. БЛИЗНЕЦ, А. С. НЕВЕРОВ, Ж. Н. ГРОМЫКО  
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

На многих месторождениях добыча нефти осложняется асфальто-смолистыми и парафиновыми отложениями (АСПО), которые оседают на поверхности нефтепромыслового оборудования и скапливаются в призабойной зоне скважин. В связи со вступлением многих нефтяных месторождений в позднюю стадию разработки, характеризующуюся благоприятными условиями для образования АСПО, связанных с высокой обводненностью продукции скважин и низкими забойными давлениями, проблема борьбы с ними приобретает особую остроту. Эта проблема не менее актуальна и в процессе длительного хранения нефтепродуктов на складах горючего и нефтебазах. В результате окислительной полимеризации и конденсации происходит накопление асфальто-смолистых веществ на днище и стенках резервуаров. На начальных стадиях окисления содержание в нефтепродуктах смолистых веществ невелико, и они полностью растворимы, но по мере углубления процесса окисления количество смолистых веществ увеличивается, а их растворимость снижается. Борьба с ними требует значительных материальных и трудовых затрат. Данная проблема решается уже несколько десятилетий, тем не менее она остается актуальной и на сегодняшний день.

Применение растворителей для удаления АСПО является одним из наиболее известных и распространенных направлений борьбы с подобными осложнениями. Несмотря на значительный объем теоретических и практических разработок по удалению отложений, в промышленных условиях не всегда удается достичь положительных результатов. В соответствии с современными представлениями, нефть и нефтеподобные объекты представляют собой сложные системы органических веществ, находящиеся в состоянии метастабильной дисперсной системы, в которой размеры и свойства дисперсных частиц зависят от равновесия энергий кинетического движения молекул и потенциалов их парного взаимодействия. Основными факторами, инициирующими процесс отложения тяжелых органических соединений, являются снижение температуры и давления нефтяного потока по мере движения от забоя скважины к устью, состав нефти и закачиваемые в процессе интенсификации добычи вещества. В пластовых условиях парафины полностью растворены в нефти, но при снижении температуры нефтяного потока протекает классический фазовый переход парафинов из жидкого состояния в твердое. Для осуществления этого перехода, помимо снижения температуры, необходима свободная поверхность, на которой будет происходить зарождение и рост кристаллов парафина. В отличие от парафинов, асфальтены существуют в нефти частично растворенными и частично в коллоидном состоянии. Состояние асфальтенов в нефти определяется главным образом их молекулярной массой и присутствием смол. В исходных пластовых условиях смолы, адсорбированные на поверхности асфальтенов, играют роль стабилизаторов, препятствуя необратимой агрегации асфальтенов. Под действием

внешних факторов часть смол десорбируется с поверхности асфальтеновых частиц, в результате чего развиваются процессы необратимой агрегации асфальтенов, что приводит к потере устойчивости частиц в среде и к их отложению на стенках оборудования. Исследования промышленной практики показывают, что основная роль в формировании асфальте-носмолопарафиновых отложений, приводящих к значительным технологическим и экономическим проблемам, принадлежит асфальтенам. Сама по себе кристаллизация парафинов на твердых поверхностях не является достаточным условием для формирования устойчивых отложений, так как образующиеся в отсутствие асфальтенов кристаллы парафинов слабо сцеплены между собой и легко срываются потоком нефти. Асфальтены в процессе отложения тяжелой органики играют две крайне важные роли. Они, являясь полярными соединениями, выполняют функцию «клея» в процессе повышения прочности отложений и со временем асфальтеновая масса полимеризуется и уплотняется, в результате чего дополнительно повышается прочность отложений и ухудшается их растворимость в органических растворителях.

Для оценки совместимости асфальтенов с растворителями можно использовать теорию, разработанную применительно к системам «полимер-растворитель». В настоящее время существует несколько теорий, использование которых дает возможность количественно оценивать растворяющую способность того или иного растворителя, но наиболее широкое применение получила теория регулярных растворов Гильдебранда-Скетчарда, которая связывает взаимную растворимость компонентов с так называемой «плотностью энергии когезии» (ПЭК). Предложенная методика позволяет подбирать составы смесей растворителей, оптимальные по совместимости с данным полимером. В основе метода лежит анализ положения трехмерных параметров растворимости полимеров и растворителей на концентрационном треугольнике Розебума. Предполагается, что идеальной совместимостью обладают тот полимер и растворитель, у которых совпадает положение точек на концентрационном треугольнике, соответствующих их трехмерному параметру растворимости. Положение точки на треугольной диаграмме показывает только соотношение составляющих параметра растворимости, а не его величину. Поэтому оценку совместимости различных веществ по положению соответствующих точек на концентрационном треугольнике можно производить только, если количественно их параметры растворимости сильно не различаются. Максимально допустимое различие в значениях параметров растворимости равно 1,8. Данная методика подтверждена экспериментально. Разработанная программа для ЭВМ, позволяет автоматизировать поиск растворителей и пластификаторов для полимеров. Одним из наиболее доступных и эффективных методов регулирования совместимости компонентов композиции является варьирование состава последней с целью подбора количественного соотношения компонентов, обеспечивающего оптимальную их совместимость при удовлетворительных эксплуатационных свойствах. В первую очередь при выборе растворителей необходимо руководствоваться вопросами стоимости, доступности и экологической безопасности. Проведенные эксперименты показали, что введение в нефть небольших количеств индивидуальных растворителей незначительно влияет на ее вязкость. Поэтому была изучена возможность использования для этих целей смесей растворителей. Вышеприведенный теоретический подбор состава смесевых растворителей не всегда приемлем, поскольку растворители, оптимальные в отношении совместимости, могут не подходить по различным критериям. В этом случае желательно иметь удобный метод экспериментального подбора состава композиционного растворителя, не требующий для нахождения оптимального состава проведения большого количества экспериментов.

В тех случаях, когда компонентов в смеси не более двух, анализ и оптимизация их свойств не представляют существенных трудностей и достаточно подробно рассмотрены в литературе. Использование двухкомпонентных систем не всегда позволяет достичь намеченной цели. Наибольший интерес вызывают тройные системы, позволяющие в широких интервалах варьировать свойства смеси путем изменения ее состава. Однако построение диаграмм состояния для таких систем представляет определенную проблему, связанную с необходимостью проведения большого числа экспериментов. Уменьшить их количество можно, используя методы математического планирования эксперимента. Планирование эксперимента в тройных системах может быть реализовано с использованием симплекс-решетчатых планов, предложенных Шефе. Эти планы позволяют по сравнительно небольшому числу экспериментальных точек, равномерно разбросанных по симплексу, математически рассчитать значение анализируемой функции в любой его точке, что дает возможность построения изолиний анализируемого свойства.

По результатам исследования вязкости нефти установлено, что среди индивидуальных растворителей наилучшей растворяющей способностью по отношению к асфальто-смолистым и парафиновым отложениям нефти обладают толуол, бензол и четыреххлористый углерод. Тем не менее, введение большинства индивидуальных растворителей незначительно влияет на вязкость нефти, особенно при повышенных температурах. По-видимому, это обусловлено отсутствием растворителей, у которых термодинамические критерии совместимости точно соответствовали бы аналогичным критериям нефти. Добиться приемлемого сочетания этих параметров можно, используя смесевые растворители, у которых термодинамические критерии совместимости с нефтью можно регулировать, изменяя их состав. Предложен метод подбора оптимального состава смесевых растворителей, основанный на аддитивности составляющих трехмерного параметра растворимости, в координатах которого построена треугольная диаграмма. С помощью метода симплекс-решетка-того планирования определен оптимальный состав трехкомпонентной смеси растворителей, наиболее эффективно снижающей вязкость нефти. Показано, что наименьшей вязкостью обладает композиция, полученная смешиванием однопроцентных растворов толуола, четыреххлористого углерода и бензола в исследованной нефти в соотношении 7:1,5:1,5, соответственно.

УДК 621.1.016

## ДВУХМЕРНАЯ НЕЛИНЕЙНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕССА ВО ФРИКЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТАХ ТОРМОЗОВ

Ю. А. ПШЕНИЧНОВ

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Исследование тепловой нагруженности колодочных тормозов показывает, что для быстродействующих пассажирских тормозов тепловая нагрузка в зоне фрикционных элементов тормозов растет очень быстро [1, 2]. В таких случаях применение для расчета теплового состояния одномерной математической модели может приводить к существенному завышению уровня температур в элементах тормозов [3].

В связи с этим была разработана двухмерная нелинейная математическая модель теплового процесса во фрикционных элементах тормозов, которая учитывает теплоотвод с их боковых поверхностей. При составлении модели было принято, что в высокоинтенсивных режимах торможения необходимо учитывать зависимость теплофизических характеристик материалов фрикционных элементов от температуры, а также зависимости коэффициентов теплоотдачи от времени и температуры поверхности фрикционных элементов.

Математическая модель включает два двухмерных нелинейных уравнения теплопроводности

$$C_1(T_1) \frac{\partial T_1}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \cdot \lambda_1(T_1) \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_1(T_1) \frac{\partial T_1}{\partial y} \right), \quad (1)$$

$$C_2(T_2) \frac{\partial T_2}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left( r \cdot \lambda_2(T_2) \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_2(T_2) \frac{\partial T_2}{\partial y} \right), \quad (2)$$

где  $\lambda_1(T_1)$  – зависимость коэффициента теплопроводности материала колеса от температуры;  $\lambda_2(T_2)$  – зависимость коэффициента теплопроводности материала колодки;  $C_1(T_1)$ ,  $C_2(T_2)$  – зависимости удельной теплоемкости материалов колеса и колодки соответственно;  $\tau$  – время;  $r$  – радиальная координата;  $y$  – поперечная координата;  $T_1(r, y, \tau)$  и  $T_2(r, y, \tau)$  – искомые функции температуры двух координат  $r$  и  $y$  и времени  $\tau$ .

Уравнения (1) и (2) дополним начальными и граничными условиями. Начальные условия примем в виде

$$T_1(r, y, 0) = T_{01}(r, y), \quad (3)$$

$$T_2(r, y, 0) = T_{02}(r, y), \quad (4)$$