

УДК: 622.692.4

## ОБ ОСАЖДЕНИИ БАЛЛАСТОВ В СМЕСЯХ НЕСОВМЕСТИМЫХ НЕФТЕЙ

Г.Г. Исмайылов, Э.Х. Искендеров, Ф.Б. Исмайылова

*Результаты исследований последних лет показывают, что существуют специфические проблемы, связанные со смешиванием различных видов сырой нефти. Несовместимость смешиваемых нефтей, в частности, может привести к засорению, иногда даже остановке трубопроводных систем. Одной из причин, которая вызывает несмешиваемость различных сырых нефтей, является присутствие твердых органических веществ в виде осажженных смол и асфальтенов в смеси нефтей. Эти вещества, являющиеся балластами, часто выпадают в осадок из раствора смеси нефтей. С целью изучения влияния фактора смешивания сырых нефтей на их качественные характеристики в лабораторных условиях исследованы различные пробы нефтей и их смеси. Было установлено, что при смешивании происходят нелинейные отклонения свойств смеси, и в нефтяных смесях могут проявляться заметные аномалии в изменении качественных показателей. При этом изменения содержания таких балластов, как смолы и асфальтены, в смеси не происходит согласно правилу аддитивности.*

*В работе также исследовалась кинетика осаждения различных балластов (смол, асфальтенов и парафинов, а также воды, солей и механических примесей) в смеси несовместимых нефтей. Было установлено, что основная масса всех балластов осаждается в течение 8–10 ч. Исследования показали, что в зависимости от химического состава нефтей проявление несовместимости в смесях может также выражаться в интенсивном выпадении различных балластов.*

*Ключевые слова: смешивание нефтей, балласты, механические примеси, осаждаемые балласты, асфальтены, неаддитивность, физико-химические свойства.*

### Введение

В отличие от внешнего (магистрального), при внутрипромысловом транспорте часто имеет место транспорт многокомпонентных, многофазных реологических сложных систем скважины до пунктов подготовки нефти, где продукция постоянно меняет свои физико-химические и реологические свойства, а также товарные качества во времени. Более того, в технологических трубопроводах количество возникающих технико-технологических задач, требующих своего решения, гораздо разнообразнее и порой сложнее, чем при магистральном транспорте [1]. Проблема повышения эффективности технологических процессов при сборе, подготовке и транспорте может усугубляться также разнообразием и сложностью внутренней структуры отмеченных транспортируемых систем, что обусловлено наличием в них различных включений [2, 3]. По этой причине недостаточно обоснованный выбор режимных параметров перекачки и расчетных схем внутрипромысловых трубопроводов без учета структурных особенностей нефтяных смесей в газонефтедоборной сети может лишь увеличить энергетические затраты и число осложнений в нефте-

газодобыче. Такие системы, как правило, относятся к реологическим неравновесным жидкостям, и кривые течения для них в большинстве случаев нелинейные [3, 4].

Отмеченное аномальное поведение неньютоновских нефтей может объясняться различными факторами. При этом для структурообразующих нефтей наиболее определяющими факторами являются наличие и взаимодействие парафиновых и асфальтено-смолистых составляющих.

Как известно, конструкция сети и особенности расположения районов (регионов) добычи не позволяют транспортировать нефть от конкретных месторождений в пункты поставки с сохранением их первоначальных качеств. Существующие системы технологических и магистральных нефтепроводов технологически могут обеспечить транспортировку нефти только в смеси. Однако существуют специфические проблемы, связанные со смешиванием различных видов сырой нефти. Первой и основной проблемой является несовместимость нефтей друг с другом, что приводит к засорению, иногда даже остановке оборудования (трубопроводы, резервуары, теплообменники, печи, ректификационные колонны и т.д.).

## Методы исследования

Результаты исследований [5, 6, 9] показывают, что одной из причин, которая вызывает несмешиваемость различных сырых нефтей, является присутствие органических твердых веществ в виде осажженных асфальтенов в смеси нефтей. Известно, что асфальтены являются растворимыми в ароматических соединениях, таких как, например, толуол, но нерастворимыми в соединениях парафина, таких как *n*-пентан. Основной проблемой, связанной с присутствием асфальтенов в различных видах сырой нефти, является то, что асфальтены часто выпадают в осадок из раствора смесей различных нефтей. Они до сих пор остаются нерешенными, поэтому существует необходимость создания практических и экономически выгодных средств и способов определения способности к смешиванию разноразных нефтей.

Исследования последних лет привели к выводу, что нелинейные отклонения свойств смеси разноразных нефтей от существующих моделей идеальных смесей скорее всего обусловлены структурными превращениями нефтяных нанофаз [6–8]. При концентрациях асфальтенов в смеси нефтей, соответствующих границам нанофаз, возможно возникновение нежелательных проявлений несовместимости.

Существующие в настоящее время различные модели рассматриваемых процессов пока не позволяют прогнозировать изменения показателей качества испытуемых нефтяных смесей с точностью, необходимой для инженерных расчетов. По этой причине существующие рекомендации по технологиям смешивания следует дополнить критериями, учитывающими взаимовлияние в составе

отдельных компонентов, позволяющих производить необходимую оценку «недопустимых», а также «оптимальных» концентраций асфальтенов и других высокомолекулярных химических соединений в перекачиваемых нефтяных смесях [5, 6].

С целью изучения влияния смешения разноразных нефтей на их реологические и физико-химические свойства в лабораторных условиях были исследованы пробы нефтей различных месторождений и их смеси. Были изучены физико-химические свойства сырых нефтей месторождений Булла (далее – БН) и Гарачухур (далее – ГН) Азербайджана. С целью определения физико-химических свойств исследуемых нефтей БН и ГН, а также их различных смесей были использованы существующие стандартные лабораторные методы испытания. Согласно существующим в настоящее время ГОСТам для каждой нефти были определены физико-химические параметры, которые представлены в табл. 1, где указаны и соответствующие ГОСТы их определения. Как видно из данной табл. 1, пробы нефтей БН и ГН по реологическим и физико-химическим показателям отличаются между собой. На примере указанных нефтей БН и ГН было установлено, что независимо от очередности смешения нефтей наблюдаются нелинейные изменения свойств смеси. В нефтяных смесях (ГН + БН) и (БН + ГН) выражаются заметные аномалии в изменениях качественных показателей. В частности, результаты определений физико-химических показателей смеси нефтей (ГН + БН) в зависимости от массовой смешиваемой доли нефти БН в смеси показаны в табл. 2.

## Результаты и их обсуждение

На основе данных табл. 2 были построены зависимости изменений показателей смеси (плотности, кинематической вязкости, содержания смолы, асфальтенов и парафинов) от массовой доли смешиваемой нефти. Указанные зависимости представлены соответственно на рис. 1–5. Как видно из рис. 1–5, аномальное изменение в указанных показателях происходит для смеси (ГН + БН) при массовой доле 0,42

смешиваемой нефти БН. Для смеси (БН + ГН) отмеченное изменение происходит при массовой доле 0,58 смешиваемой нефти ГН. Из рис. 1–5 также видно, что, в отличие от парафинов, изменения содержаний смол и асфальтенов в смеси нефтей (ГН + БН) и (БН + ГН) не происходят согласно линейному закону.

Далее в стандартных условиях исследовалась кинетика осаждения различных балластов в смеси (42–58%)

указанных выше нефтей ГН и БН. Для этого сразу после приготовления каждая смесь при температуре 20°C в течение суток была оставлена на отстой, и через каждый час, согласно существующим ГОСТам, были определены количество осаждаемых балластов из неё. Результаты часовых замеров по определению количества осадков балластов смола-асфальтен-парафинов (далее – САП), механических примесей, воды и солей из смеси ГН:БН (42–58%) при стандартных условиях представлены в табл. 3., где

также приведены значения суммарных значений количества осадков балластов в течение 24 ч. На базе данных таблицы были построены зависимости изменения количества осаждаемых балластов (САП + механические примеси, вода, соли) от времени. Кинетика осаждения балластов из смеси нефтей представлена на рис. 6. Как видно из рисунка, основная масса балластов в смеси осаждается в течение 8–10 ч, причем до 8 ч количество осадка интенсивно растет, а после начинает резко падать. После 10 ч процесс осаждения замедляется и практически завершается.

## Заключение

На основе лабораторных исследований нефтей Азербайджана было установлено, что существуют специфические проблемы, связанные со смешиванием различных видов сырой нефти.

Основной причиной, которая вызывает несмешиваемость различных видов сырой нефти, является присутствие органических твердых веществ в смеси различных видов сырой нефти. Возможность или невозможность смешивания 2-х различных видов сырой нефти, можно определить

путем проведения лабораторных испытаний. Проведенные нами лабораторные исследования показали, что при смешивании различных нефтей в зависимости от их химического состава проявление несовместимости в смесях может выражаться также в интенсивном выпадении различных балластов, что может привести к засорению, иногда даже остановке промысловых технологических нефтепроводов сбора и транспорта продукции скважин.

**Таблица 1. Физико-химические показатели сырых нефтей месторождений Булла (БН) и Гарачухур (ГН) Азербайджана**

Показатели	Сырые нефти		Методы проведения анализов
	БН	ГН	
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	973,4	914,7	ГОСТ 3900
Кинематическая вязкость при 20°C, сСт	15,76	6,41	ГОСТ 33
Смола, масс. %	10,27	13,28	Хроматография
Асфальтены, масс. %	0,23	0,64	ГОСТ 11858
Парафины, масс. %	13,34	2,53	ГОСТ 11851
Давление упругости насыщенных паров, кПа	16,2	9,7	ГОСТ 1756
Температура застывания, °C	+ 9	+ 3	ГОСТ 20287
Мехпримеси, масс. %	5,72	6,42	ГОСТ 6370
Соли, мг/л	480,6	530,3	ГОСТ 21534
Содержание воды, масс. %	43,2	56,4	ГОСТ 2477

Таблица 2. Изменение физико-химических показателей смеси нефтей БН + ГН

Показатели	Массовая доля нефти БН в смеси													
	0,01	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,35	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48		
Плотность при 20 С, кг/м <sup>3</sup>	908,5	917,6	920,3	923,8	926,7	932,1	936,4	939,1	942,5	943,4	945,7	946,6		
Кинематическая вязкость при 20 С, сСт	7,36	8,75	9,48	11,59	13,83	15,95	19,46	24,84	28,35	34,42	42,35	49,27		
Смола, масс. %	13,19	13,11	13,07	13,02	12,89	13,26	13,35	13,39	13,42	13,46	13,51	13,65		
Асфальтены, масс. %	0,65	0,62	0,59	0,56	0,54	0,57	0,60	0,62	0,63	0,64	0,65	0,67		
Парафины, масс. %	2,59	3,29	4,12	4,86	5,34	7,35	8,16	8,67	8,73	8,86	8,89	9,05		
Давление упругости насыщенных паров, кПа	9,8	10,1	10,2	11,8	12,3	11,9	11,8	11,5	11,3	11,2	11,1	10,9		
Температура застывания, °С	+3	+3	+3	+3	+6	+6	+6	+6	+6	+6	+6	+6		
Мехпримеси, масс. %	6,39	6,38	6,37	6,36	6,35	6,21	6,19	6,17	6,16	6,15	6,14	6,13		
Соли, мг/л	528,6	526,4	523,1	520,9	518,7	512,3	511,9	510,7	509,8	509,1	508,3	507,2		
Содержание воды, масс. %	55,3	54,8	53,6	52,9	52,1	51,3	50,8	50,2	49,9	49,6	49,2	48,7		

продолжение табл. 1

Массовая доля нефти БН в смеси															
0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,68	0,75	0,80	0,85	0,90	0,92	0,94	0,96	0,98
950,3	952,1	954,5	955,8	956,5	955,8	954,2	954,7	958,6	961,5	964,3	967,6	968,8	969,7	971,1	972,4
56,09	58,41	62,35	67,83	71,62	69,33	65,24	59,16	31,95	26,45	20,89	18,54	17,92	15,30	14,12	13,61
13,92	14,08	14,12	14,25	14,39	14,08	13,56	13,24	12,85	12,62	12,09	11,98	11,76	11,52	11,41	11,25
0,69	0,72	0,74	0,76	0,78	0,69	0,63	0,61	0,58	0,49	0,43	0,39	0,36	0,34	0,32	0,30
9,07	9,21	9,26	9,34	9,42	10,08	10,21	10,76	11,34	11,43	11,71	12,54	12,63	12,72	12,85	13,08
10,8	10,6	10,4	10,2	9,8	10,2	10,6	11,3	11,8	12,5	13,7	14,5	14,8	14,9	15,2	15,6
+6	+6	+9	+9	+9	+9	0	0	0	0	0	+3	+3	+3	+3	+3
6,12	6,11	6,09	6,07	6,05	6,03	6,01	5,98	5,97	5,95	5,93	5,89	5,86	5,84	5,82	5,78
506,4	505,8	505,1	504,3	503,2	501,4	500,8	498,5	497,6	495,3	492,7	490,6	489,5	488,9	487,6	486,9
48,5	48,1	47,6	47,2	46,9	46,8	46,6	46,5	45,1	44,9	44,7	44,5	44,2	43,9	43,7	43,6

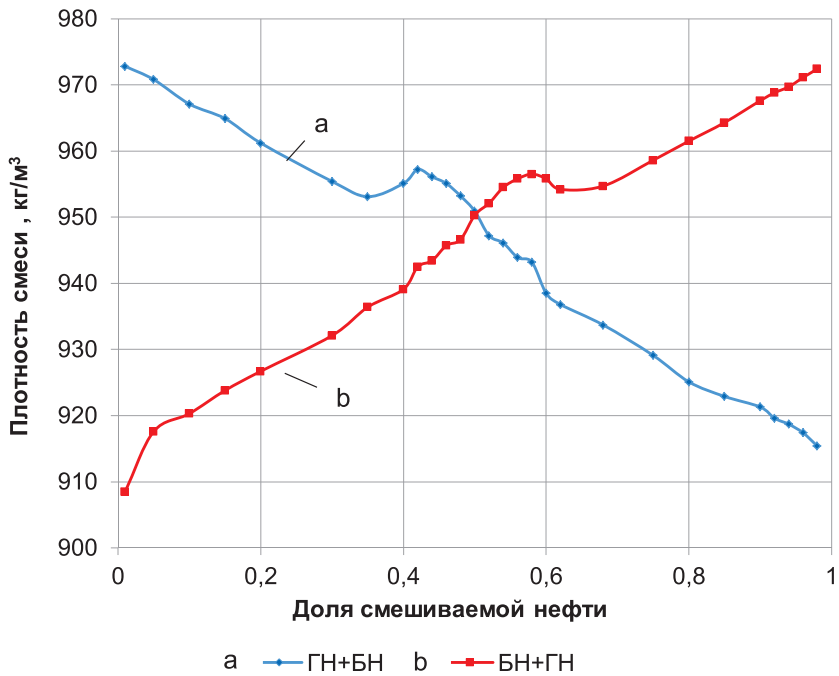


Рисунок 1. Изменение плотности смеси

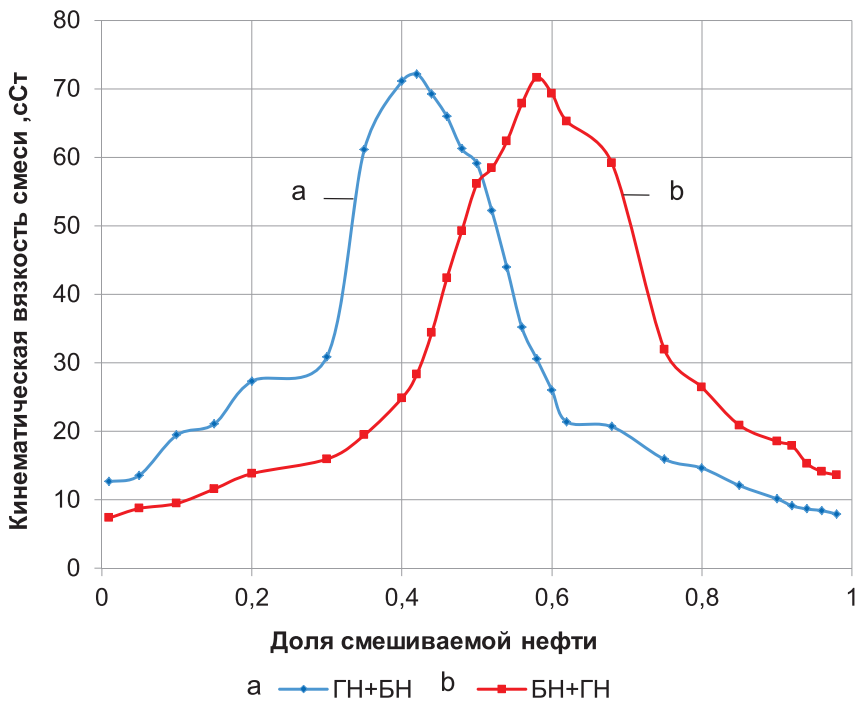


Рисунок 2. Изменение кинематической вязкости смеси

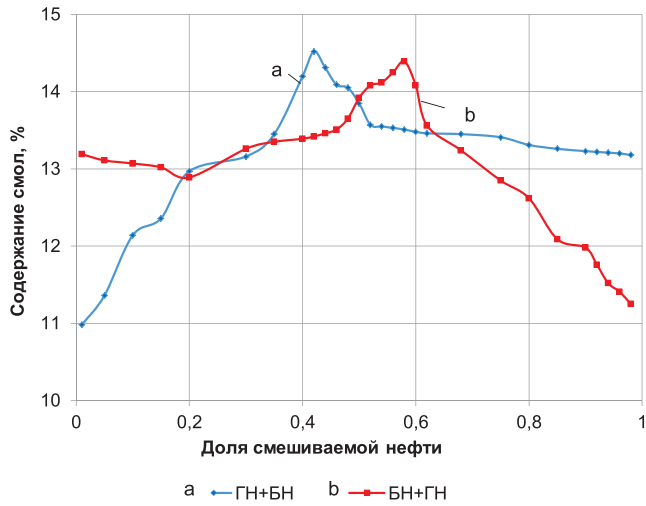


Рисунок 3. Изменение содержание смол в смеси

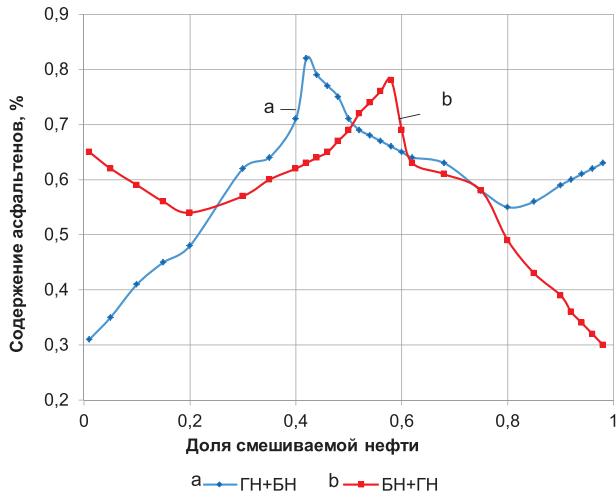


Рисунок 4. Изменение содержания асфальтенов в смеси

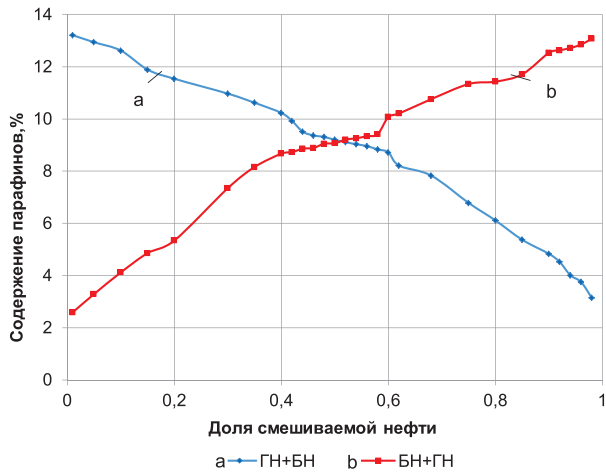


Рисунок 5. Изменение содержания парафинов в смеси

Таблица 3. Количество осажденных балластов из смеси ГН : БН (42 : 58%) при t=20°C

Балласты	Время, час											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
САП + мехпримеси, масс. %	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,11	0,19	0,28	0,18	0,09	0,05	0,04
Суммарные САП + мехпримеси, масс. %	0,03	0,07	0,12	0,18	0,26	0,37	0,56	0,84	1,02	1,11	1,16	1,20
Вода, масс. %	0,9	1,1	1,2	1,3	1,8	2,1	3,8	5,9	2,7	1,6	0,9	0,8
Суммарная вода, масс. %	0,9	2,0	3,2	4,5	6,3	8,4	12,2	18,1	20,8	22,4	23,3	24,1
Соли, мг/л	10,1	11,3	11,6	12,1	12,5	13,2	14,3	20,5	16,3	12,1	11,2	10,1
Суммарные соли, мг/л	10,1	21,4	33,0	45,1	57,6	70,8	85,1	105,6	121,9	134,0	145,2	155,3
<i>продолжение табл. 3</i>												
Балласты	Время, час											
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
САП + мехпримеси, масс. %	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
Суммарные САП + мехпримеси, масс. %	1,23	1,26	1,29	1,32	1,34	1,36	1,38	1,40	1,42	1,43	1,44	1,45
Вода, масс. %	0,6	0,5	0,7	0,6	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
Суммарная вода, масс. %	24,7	25,2	25,9	26,5	26,9	27,2	27,4	27,6	27,8	28,0	28,2	28,3
Соли, мг/л	9,1	6,2	9,3	8,3	5,2	4,8	4,5	4,1	3,9	3,5	3,7	3,6
Суммарные соли, мг/л	164,4	170,6	179,9	188,2	193,4	198,2	202,7	206,8	210,7	214,2	217,9	221,5

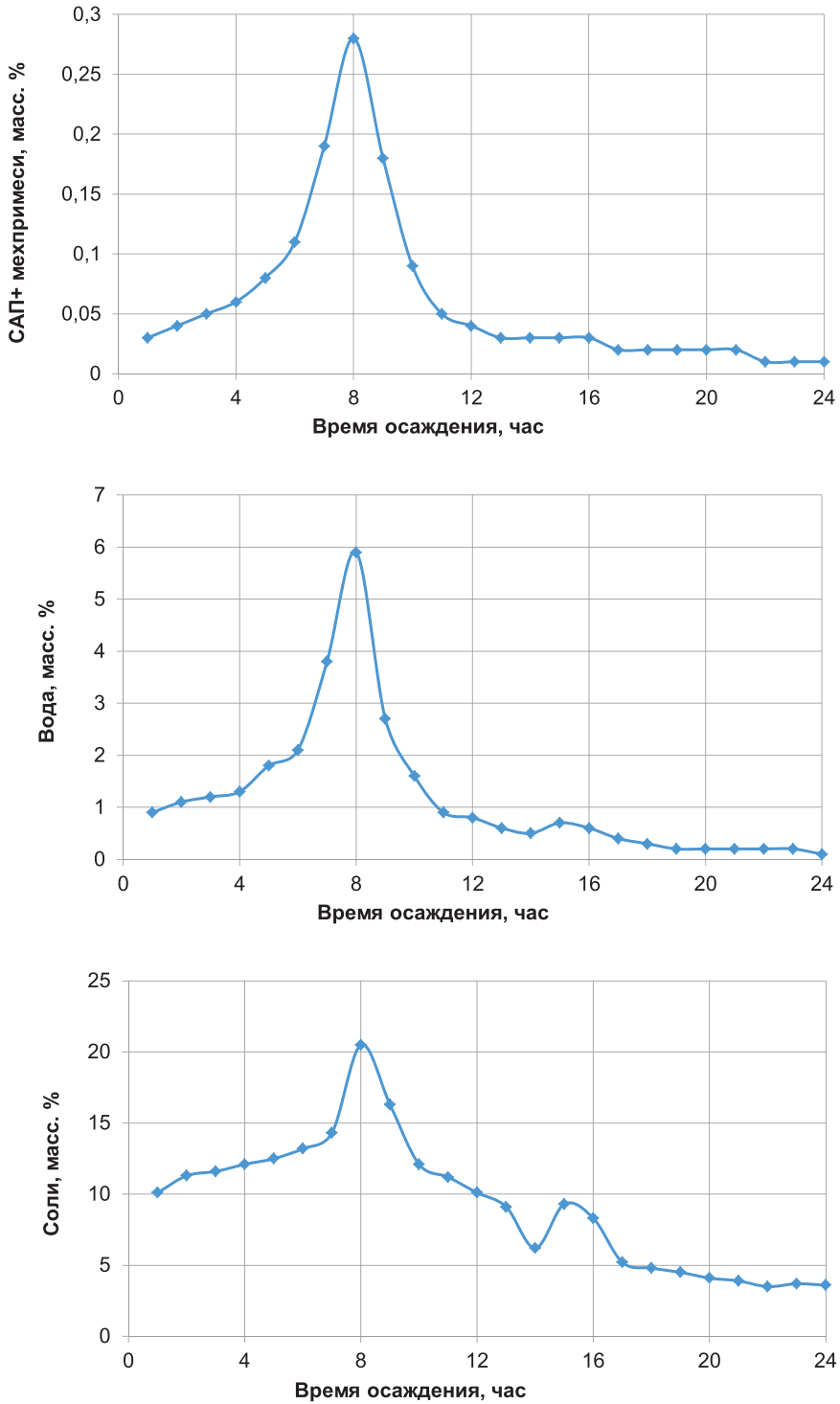


Рисунок 6. Кинетика осаждения балластов из смеси ГН : БН (42 : 58%) при (t=200°C)



## Список использованной литературы

1. Промысловый сбор и подготовка аномальных нефтей. Сборник научных трудов ВНИИСПТнефть Уфа 1986, 137с.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Галямов А.К. и др. Гидродинамика трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. М.; Недр, 1984, 287с.
3. Мирзаджанзаде А.Х., Максудов Ф.Г., Нигматулин Р.И. и др. Теория и практика применения неравновесных систем в нефтедобыче. Баку, Элм, 1985, 220с.
4. Саттаров Р.М. Научные основы диагностирования и определения свойств реологически сложных систем, применяемых в нефтегазодобыче. Баку, 1982, 339с.
5. Исмайылов Г.Г., Серкебаева Б.С., Адыгезалова М.В. О некоторых проблемах промысловой подготовки нефти и воды. – Известия Высших технических Учебный Заведений Азербайджана, 2016, т. 18, №1, с. 29–38.
6. Евдокимов И.Н. Нанотехнологии управления свойствами природных нефтегазовых флюидов. – М., МАКС-Пресс, 2010, 364 с.
7. Евдокимов И.Н., Лосев А.П. Особенности анализа ассоциативных углеводородных сред. Применимость рефрактометрических методов. – Химия и технология топлива и масел, 2007, №2, с. 38–41.
8. Евдокимов И.Н., Лосев А.П. Проблема инверсии в промысловых водонефтяных эмульсиях. Традиционные представления и их экспериментальное обоснование. – Бурение и нефть, 2010, №3, с. 16–17.
9. Нурмамедова Р.Г., Исмайылов Г.Г. Об изменении показателей качества нефтей при их смешении. – Вестник Казахстанско-Британского Технического Университета, 2013, №1 (24), с. 19–27.

## ҮЙЛЕСПЕЙТІН МҰНАЙ ҚОСПАЛАРЫНДАҒЫ БАЛЛАСТАРДЫҢ ШӨҒІ ТУРАЛЫ

Г.Г. Исмайылов, Э.Х. Искендеров, Ф.Б. Исмайылова

*Соңғы жылдардағы зерттеу нәтижелері шикі мұнайдың әртүрлі түрлерін араластыруда нақты проблемалар бар екенін көрсетеді. Аралас мұнайлардың үйлесімсіздігі, атап айтқанда, бітелуге, кейде тіпті құбыр жүйелерінің тоқтап қалуына әкелуі мүмкін. Әр түрлі шикі мұнайдың араласпауының себебін мұнай қоспасында тұндырылған шайырлар мен асфальтендер түрінде қатты органикалық заттардың болуы. Балластар болып табылатын бұл заттар көбінесе мұнай қоспасының ерітіндісінен тұнбаға түседі. Зертханалық жағдайда шикі мұнайды араластыру факторының олардың сапалық сипаттамаларына әсерін зерттеу мақсатында мұнай мен олардың қоспаларының әртүрлі үлгілері зерттелді. Араластыру кезінде қоспаның сызықтық емес ауытқулары пайда болатындығы және мұнай қоспаларында сапа көрсеткіштерінің өзгеруінде айтарлықтай ауытқулар байқалатыны анықталды. Бұл ретте, шайыр және асфальтен ретінде осындай балластардың мазмұнын өзгерту қоспада аддитивтілік ережесіне сәйкес болмайды.*

*Сондай-ақ, жұмыста әр түрлі балластардың (шайырлар, асфальтендер мен парафиндер, сондай-ақ су, тұздар мен механикалық қоспалар) үйлеспейтін мұнайдың қоспасындағы тұндыру кинетикасы зерттелді. Барлық балластардың негізгі бөлігі 8–10 сағат ішінде тұндырылатыны анықталды.*

*Зерттеулер көрсеткендей, мұнайдың химиялық құрамына байланысты қоспалардағы сәйкессіздіктің көрінісі әртүрлі балластардың қарқынды жоғалуында да көрінуі мүмкін.*

*Түйінді сөздер: мұнайды араластыру, балластар, механикалық қоспалар, балластарды тұндыру, асфальтендер, зияндылық, физикалық-химиялық қасиеттері.*

## ON THE DEPOSITION OF BALLASTS IN MIXTURES OF INCOMPATIBLE OILS

G.G. Ismayilov, E.Kh. Iskenderov, F.B. Ismayilova

*Recent studies show that there are specific problems associated with mixing different types of crude oil. Incompatibility of miscible oils in particular can lead to clogging, sometimes even shutdown of piping systems. One of the reasons that cause the immiscibility of various crude oils is the presence of solid organic substances in the form of precipitated resins and asphaltenes in a mixture of oils. These substances, which are ballasts, often precipitate from a solution of oil mixtures. In order to study the influence of the displacement factor of crude oils on the quality characteristics of oils in laboratory conditions, various samples of oils and their mixtures were studied. It was found that when oil is mixed, nonlinear deviations of the properties of the mixture occur and noticeable anomalies in the change in the quality indicators can be expressed in oil mixtures. In this case, changes in the content of ballasts such as resin and asphaltenes in the mixture do not occur according to the additivity rule.*

*The kinetics of the deposition of various ballasts (resins, asphaltene and paraffins, as well as water, salt and mechanical impurities) in a mixture of incompatible oils was also studied. It was found that the bulk of all ballasts are besieged within 8-10 hours. Studies have shown that, depending on the chemical composition of the oils, the manifestation of incompatibility in mixtures can also be expressed in the intense discharge of various ballasts.*

*Key words: oil mixing, ballasts, mechanical impurities, ballast deposition, asphaltenes, non-additivity, physico-chemical properties.*

### Информация об авторах

**Исмайылов Гафар Гуламгусейн** – доктор технических наук, профессор, декан газонефтепромышленного факультета Азербайджанского Государственного Университета Нефти и Промышленности, [asi\\_zum@mail.ru](mailto:asi_zum@mail.ru).

**Искандаров Ельман Хейруллаи** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспорт и хранения нефти и газа», [e.iskenderov62@mail.ru](mailto:e.iskenderov62@mail.ru).

**Исмайылова Фидан Бабали** – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Транспорт и хранения нефти и газа», [fidan.ismayilova.2014@mail.ru](mailto:fidan.ismayilova.2014@mail.ru).

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г. Баку, Азербайджан.