

УДК 66.011+66.023.2

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ВЕДЕНИЯ ПРОЦЕССА КРЕКИНГА УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ В РАСПЛАВЛЕННЫХ СРЕДАХ

Гликин М. А., Мамедов Б. Б., Черноусов Е. Ю.

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF HYDROCARBON FEEDSTOCKS CRACKING IN MOLTEN MEDIA

Glikin M. A., Mamedov B. B., Chernousov E. Yu.

Рассмотрены основные преимущества и недостатки металлов, солей и оксидов металлов при использовании их в качестве рабочего расплава в процессе крекинга углеводородов. В ходе анализа физико-химических свойств и термодинамических расчетов для приготовления расплавов предложены $LiCl$, KCl , $NaCl$, $MgCl_2$, $CaCl_2$, $CuCl$, $ZnCl_2$, $FeCl_3$ и их эвтектические бинарные смеси. На основании материального и теплового балансов предложена конструкция реактора, работающего в автотермическом режиме при коксообразовании $\geq 8\%$ по массе на сырую нефть.

Ключевые слова: хлориды металлов, термическая стабильность, эвтектика, автотермический режим, двухзонный реактор.

Введение. Основной тенденцией развития химической промышленности является создание новых эффективных процессов, к которым в определенной мере можно отнести процессы с применением расплавов [1]. В ряде работ [1-5] описаны преимущества ведения деструктивных процессов в различных расплавах. Однако современная химическая технология относится к отраслям промышленности с умеренной динамикой совершенствования существующих принципов работы и внедрения новейших разработок в технологическое оформление производств. Зачастую это связано с тем, что для практической реализации новых технологических процессов является недостаточным наличие надежных экспериментальных данных, полученных в лабораторных условиях. При проектировании установки необходимой мощности важно точно знать, как применить имеющиеся экспериментальные данные для эффективной организации технологического процесса. Как правило, для этого необходимо решить ряд возникающих задач. Для исследуемого процесса крекинга углеводородного сырья в расплавленных средах основными такими задачами являются подбор расплава, его регенерация, поддержание

необходимого теплового режима и определение конструктивных особенностей реакционной аппаратуры.

Цель. Целью работы является решение основных технологических задач, возникающих при практической реализации исследуемого процесса крекинга углеводородного сырья в расплавленных средах.

Изложение основного материала. При экспериментальных исследованиях изучаемого процесса первым стоит вопрос о выборе веществ для приготовления расплава. Для деструктивной переработки углеводородов возможно применение, в основном, металлов, их солей и оксидов [1]. Основными требованиями, которые предъявляются к готовому расплаву, являются подходящий температурный интервал существования жидкой фазы расплава, его термическая и химическая стабильность, соответствие физико-химических свойств (плотность, вязкость, поверхностное натяжение, теплоемкость, теплопроводность, способность к смачиванию кокса и др.) параметрам ведения процесса и возможная каталитическая активность. В зависимости от используемого сырья в исследуемом процессе температура крекинга может составлять от 400 до 600 °С [6]. Соответственно применяемый расплав должен иметь температуру плавления ≤ 400 °С и температуру кипения ≥ 600 °С. Применение расплава с высокими значениями плотности (более 3 г/мл) и вязкости (более $150 \cdot 10^{-3}$ Па·с) усложняет барботаж [7] через него исходного сырья и затрудняет перемещение расплава в реакционной аппаратуре. Для обеспечения изотермических условий протекания реакций и эффективного подвода тепла в зону крекинга целесообразно использовать расплавы с высокими значениями теплоемкости и теплопроводности. При распаде молекул углеводородов в расплаве накапливается кокс, который в зависимости от природы расплава может

находиться в виде мелкодисперсных частиц, равномерно распределенных по всему объему (расплавы оксидов и солей металлов [1]), либо в виде коксовой корки над слоем расплава (расплавы металлов [6]). Очевидно, это обуславливается соотношением плотностей кокса и расплава, а также способностью расплава смачивать поверхность образующегося кокса. Для эффективной работы реактора крекинга расплав должен быть физически стабильным при рабочих температурах, давление насыщенных паров (ДНП) не должно превышать 1-2 мм.рт.ст. Также расплав не должен химически либо другим образом взаимодействовать с перерабатываемым сырьем, продуктами и другими реагентами, поступающими в реактор, кроме случаев, когда расплав оказывает каталитическое действие в протекающих реакциях [5]. Соответствие расплава данным требованиям позволяет вести крекинг углеводородов в непрерывном режиме и по мере необходимости проводить его регенерацию (выжиг кокса) кислородсодержащими реагентами (воздух, CO₂, H₂O и др.) [1,3,4]. В табл. 1 указаны основные преимущества и недостатки использования в качестве рабочего расплава металлов, их солей и оксидов.

Анализируя таблицу 1, можно сделать вывод, что наиболее подходящими компонентами для приготовления рабочего расплава в условиях исследуемого процесса крекинга являются соли металлов. Индивидуальные соли металлов и их различные смеси (в т.ч. эвтектические смеси) могут иметь температуру плавления от практически комнатной до 1000 °С и более [1]. Смешение солей позволяет не только создавать расплавы с необходимой температурой плавления, ДНП, плотностью, вязкостью, но и каталитически активные системы [1]. Устойчивость солей к окислению дает возможность проводить регенерацию расплава путем барботажа кислородсодержащих реагентов (выжиг кокса) без остановки реактора крекинга. Наличие

коррозионностойких конструкционных материалов решает проблему коррозии реакционных аппаратов.

Для деструктивных процессов наиболее часто применяются галогениды щелочных и щелочноземельных металлов, а также галогениды металлов переменной валентности. Главным образом применяются хлориды, что объясняется их доступностью и дешевизной по отношению к другим галогенидам. Иногда требуется более равномерно распределять кокс по объему расплава или абсорбировать расплавом попутно образующийся H₂S. В таких случаях в расплав вносят добавки – стеклообразующие оксиды (B₂O₃, SiO₂, MoO₂, V₂O₅ и др.) или карбонаты и гидроксиды щелочных и щелочноземельных металлов в количестве до 20% по массе [1]. Ниже (табл. 2) приведены некоторые физико-химические свойства расплавов различных хлоридов

Решающим фактором использования того или иного расплава является его термическая стабильность. Необратимые химические превращения большинства приведенных хлоридов при температурах 400...600 °С маловероятны, поэтому основной характеристикой стабильности является ДНП. При указанных температурах в жидком состоянии находятся только CuCl и ZnCl₂. Их ДНП при 500 °С составляет <1 и 1264 Па соответственно [8]. Для приведенных эвтектических смесей хлоридов, которые применяются в качестве рабочих расплавов, в литературе нет надежных данных об их ДНП в заданном диапазоне температур. В действительности же важно знать не значение ДНП для расплава, а кинетику его испарения и потери из реакционной аппаратуры. Для этого проведена серия экспериментов, в ходе которых фиксировалась потеря массы образца расплава во времени. Навеска расплава (100 г) выдерживалась при температуре 600 °С в течение 3 часов. Потеря массы расплава фиксировалась как разница между массой расплава до и после нагревания (табл. 3).

Таблица 1

Основные преимущества и недостатки применения расплавов металлов, их оксидов и солей

Используемый расплав	Преимущества	Недостатки
Металлы	- широкий температурный интервал существования расплава; - низкое ДНП при рабочих температурах; - высокие значения теплоемкости и теплопроводности.	- высокая плотность и вязкость расплава; - кокс находится на поверхности расплава; - высокая способность к окислению.
Соли металлов	- доступность; - возможность применения каталитически активных компонентов; - кокс распределяется по всему объему расплава; - возможность подбора смесей с необходимыми свойствами.	- многие соли термически нестабильны при рабочих температурах; - высокая коррозионная активность некоторых солей.
Оксиды металлов	- широкий интервал рабочих температур; - стеклообразующие оксиды способствуют равномерному распределению кокса.	- не применяются в восстановительных средах (наиболее эффективны в реакциях окисления).

Таблица 2

Свойства расплавов хлоридов металлов и их эвтектических смесей [8,9]

Состав расплава, мол. доли	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	$t_{кип}, ^\circ\text{C}$	M, г/моль	Свойство расплава при 500 °C			
				ρ , г/мл	μ , мПа·с	C_p , Дж/моль·K	ДНП, Па
LiCl	614	1360	42,5	2,06	–	60,71	–
NaCl	801	1465	58,5	2,14	–	66,99	–
KCl	770	1407	74,5	1,97	–	66,99	–
MgCl ₂	708	1412	95,0	1,69	–	92,53	–
CaCl ₂	772	1627	111,0	2,05	–	81,35	–
AlCl ₃	192**	183	133,5	1,31	–	130,63	–
CuCl	430	1367	99,5	3,53	2,67	66,19	<1
ZnCl ₂	318	732	136,0	2,43	98	92,46	1264
FeCl ₃	304	315	162,5	2,90	–	82,20	–
LiCl (0,57); KCl (0,43)	352	*	56,3	2,01	*	63,41	*
NaCl (0,5); KCl (0,5)	660	*	66,5	2,05	*	66,99	*
NaCl (0,23); CuCl (0,77)	325	*	90,1	3,32	*	66,37	*
CuCl (0,12); ZnCl ₂ (0,88)	283	*	131,6	2,53	*	89,31	*
NaCl (0,62); ZnCl ₂ (0,38)	400	*	88,0	2,31	*	76,67	*
KCl (0,69); ZnCl ₂ (0,31)	433	*	93,6	2,18	*	74,89	*
MgCl ₂ (0,44); NaCl (0,56)	451	*	74,6	1,89	*	78,23	*
CuCl (0,87); CaCl ₂ (0,13)	385	*	101,0	3,32	*	68,16	*
NaCl (0,51); AlCl ₃ (0,49)	150	*	95,3	1,57	*	98,17	*
NaCl (0,48); FeCl ₃ (0,52)	156	*	112,6	2,71	*	74,90	*
KCl (0,45); FeCl ₃ (0,55)	206	*	122,9	2,65	*	75,36	*

* нет надежных литературных данных.

** температура плавления AlCl₃ в закрытой колбе при давлении 1715 мм.рт.ст.

Таблица 3

Экспериментальные данные по термической стабильности расплавов

Состав расплава	Потеря массы, %	Состав расплава	Потеря массы, %
CuCl	0,23	KCl (0,69); ZnCl ₂ (0,31)	0,59
ZnCl ₂	2,46	MgCl ₂ (0,44); NaCl (0,56)	0,17
LiCl (0,57); KCl (0,43)	0,11	CuCl (0,87); CaCl ₂ (0,13)	1,98
NaCl (0,23); CuCl (0,77)	0,16	NaCl (0,51); AlCl ₃ (0,49)	34,63
CuCl (0,12); ZnCl ₂ (0,88)	1,37	NaCl (0,48); FeCl ₃ (0,52)	32,77
NaCl (0,62); ZnCl ₂ (0,38)	0,56	KCl (0,45); FeCl ₃ (0,55)	27,94

Следует отметить, что на практике рабочая температура составляет ~500 °C и для нормальной работы технологической установки потери расплава не должны превышать 1...2 % в сутки, поэтому можно применять достаточно большое количество расплавов.

Вязкость расплавов хлоридов большинства металлов при 400...600 °C не превышает $100 \cdot 10^{-3}$ Па·с, что является вполне приемлемым показателем в условиях исследуемого процесса. Отсутствие данных по вязкости эвтектических смесей хлоридов не является критичным, т.к. гидродинамические режимы работы реактора позволяют вести технологические расчеты без значения коэффициента вязкости [7].

Для оценки возможного взаимодействия расплава с исходным сырьем, продуктами и реагентами проведен соответствующий

термодинамический анализ (табл. 4). Дана оценка возможных реакций хлоридов с H₂, C, H₂O и образующимся в ходе крекинга H₂S. С кислородом воздуха, который применяется для регенерации расплава, хлориды металлов в исследуемых условиях не реагируют.

Из таблицы 4 видно, что большинство хлоридов термодинамически устойчивы при температурах 400...600 °C, что дает возможность широкого их применения в любых сочетаниях. Исключение составляют AlCl₃ и FeCl₃, которые не только реакционноспособны в данных условиях, но и также термически нестабильны, что ограничивает их применение. Возможность реакций CuCl и ZnCl₂ с H₂S можно рассматривать с положительной стороны – расплав удерживает нежелательный компонент продуктов крекинга.

Таблица 4

Термодинамическая оценка

Реакция	-lgK _p при t, °C			Реакция	-lgK _p при t, °C		
	400	500	600		400	500	600
2LiCl + H ₂ → 2Li + 2HCl	39,50	33,18	28,33	CaCl ₂ + 2H ₂ O → Ca(OH) ₂ + 2HCl	9,80	8,65	7,76
2LiCl + 2C → Li ₂ C ₂ + Cl ₂	50,89	43,33	37,50	CaCl ₂ + H ₂ S → CaS + 2HCl	6,11	4,57	3,38
LiCl + H ₂ O → LiOH + HCl	6,40	5,63	4,90	2AlCl ₃ + 3H ₂ → 2Al + 6HCl	40,25	32,72	26,99
2LiCl + H ₂ S → Li ₂ S + 2HCl	10,51	8,59	7,13	4AlCl ₃ + 3C → Al ₄ Cl ₃ + 6Cl ₂	158,42	134,17	115,62
2NaCl + H ₂ → 2Na + 2HCl	38,82	32,44	27,55	AlCl ₃ + 3H ₂ O → Al(OH) ₃ + 3HCl	-5,89	-4,33	-3,17
2NaCl + 2C → Na ₂ C ₂ + Cl ₂	55,88	47,36	40,79	2AlCl ₃ + 3H ₂ S → Al ₂ S ₃ + 6HCl	2,69	0,86	-0,52
NaCl + H ₂ O → NaOH + HCl	10,40	8,80	7,55	2CuCl + H ₂ → 2Cu + 2HCl	0,35	-0,17	-0,51
2NaCl + H ₂ S → Na ₂ S + 2HCl	16,35	13,42	11,17	2CuCl + C → Cu ₂ C + Cl ₂	112,47	97,16	81,67
2KCl + H ₂ → 2K + 2HCl	42,47	35,59	30,30	CuCl ₂ * + 2H ₂ O → Cu(OH) ₂ + 2HCl	7,21	6,48	5,92
2KCl + 2C → K ₂ C ₂ + Cl ₂	52,37	45,62	39,28	2CuCl + H ₂ S → Cu ₂ S + 2HCl	-3,82	-3,93	-3,96
KCl + H ₂ O → KOH + HCl	12,38	10,55	9,13	ZnCl ₂ + H ₂ → Zn + 2HCl	9,27	7,10	5,44
2KCl + H ₂ S → K ₂ S + 2HCl	19,76	16,45	13,92	ZnCl ₂ + 2C → ZnC ₂ + Cl ₂	89,16	71,93	47,11
MgCl ₂ + H ₂ → Mg + 2HCl	26,22	21,69	18,22	ZnCl ₂ + 2H ₂ O → Zn(OH) ₂ + 2HCl	7,72	7,17	6,79
MgCl ₂ + 2C → MgC ₂ + Cl ₂	47,61	40,27	34,63	ZnCl ₂ + H ₂ S → ZnS + 2HCl	-2,07	-2,40	-2,64
MgCl ₂ + 2H ₂ O → Mg(OH) ₂ + 2HCl	2,97	2,75	2,57	2FeCl ₃ + 3H ₂ → 2Fe + 6HCl	-5,07	-6,30	-7,17
MgCl ₂ + H ₂ S → MgS + 2HCl	3,60	2,31	1,32	6FeCl ₃ + 2C → 2Fe ₃ C + 9Cl ₂	124,02	102,82	86,67
CaCl ₂ + H ₂ → Ca + 2HCl	38,44	32,38	27,72	FeCl ₃ + 3H ₂ O → Fe(OH) ₃ + 3HCl	3,50	3,76	3,96
CaCl ₂ + 2C → CaC ₂ + Cl ₂	48,00	40,58	34,85	2FeCl ₃ + 3H ₂ S → Fe ₂ S ₃ + 6HCl	-14,99	-13,87	-12,88

* для Cu(I) характерно диспропорционирование 2Cu⁺ → Cu²⁺ + Cu

Кроме подбора необходимого расплава важным этапом на пути реализации исследуемого процесса является его эффективная организация. Проведение процессов с применением жидких теплоносителей и наличием в них некондиционных углеводородов (кокса) дает возможность организации автотермического технологического режима с одновременной регенерацией расплава [1, 3, 4]. Интенсивность выжигания кокса определяется расходом окислительного реагента и условиями соблюдения необходимого теплового режима в реакторе, который определяется исходя из материально и теплового балансов потоков. Пример материального и теплового балансов крекинга 1000 кг/ч сырой западносибирской нефти в расплаве NaCl+ZnCl₂ при 500 °C представлен в таблицах 5 и 6 (данные экспериментальных исследований).

Таблица 5

Материальный баланс

Приход	кг/ч	Расход	кг/ч
Сырая нефть	1000	Газы	42
		Бензиновая фракция	233
		Дизельная фракция	457
		Тяжелый газойль	186
		Кокс	82
Итого:	1000	Итого:	1000

Из теплового баланса следует, что для работы реактора в автотермическом режиме необходимо выжигать 95,3% образующегося кокса или 7,8% кокса на исходное сырье. Теплота от сжигания оставшихся 4,7% (или 1,4% на исходное сырье) кокса может покрыть возможные тепловые потери или же быть утилизирована другим способом, например временным повышением расхода окислителя или добавлением в него водяного пара.

Следует отметить, что для обеспечения работы реактора в автотермическом режиме при переработке нефтяного сырья коксообразование должно быть на уровне не ниже 8% масс. на сырую нефть.

Таблица 6

Тепловой баланс

Приход	кДж/ч	Расход	кДж/ч
Сырая нефть	17600	Газы	42000
Тепло от выжигания кокса	2731420	Бензиновая фракция	243485
		Дизельная фракция	477565
		Тяжелый газойль	194370
		Кокс	34440
		Подогрев нефти и испарение углеводородов при 500°C	578569
		Тепловой эффект крекинга	350000
		Тепло на нагрев воздуха до 500 °C	474164
		Тепло, уносимое с газами окисления	225500
		Избыток тепла	128927
Итого:	2749020	Итого:	2749020

Для аппаратного оформления деструктивных процессов в расплавах различными авторами было разработано несколько конструкций реакторов [3, 4, 10]. Учитывая все особенности процесса крекинга углеводородного сырья в расплавах хлоридов металлов, наиболее подходящей является конструкция работающего по принципу восходящего прямого тока реактора с отдельными зонами крекинга и окисления и циркулирующим между ними расплавом (рис.).

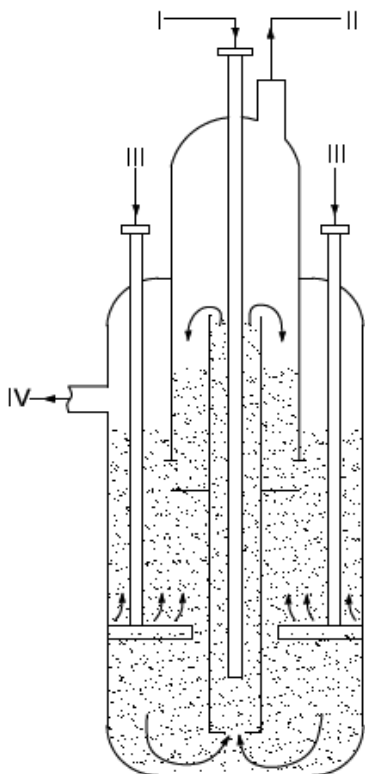


Рис. Схема реактора крекинга углеводородов в расплаве.
I – исходное сырье; II – продукты крекинга;
III – кислородсодержащий реагент; IV – газы окисления

Данная конструкция реактора позволяет крекировать практически любое углеводородное сырье с максимально эффективными энергетическими показателями.

Результаты исследований. Анализируя свойства различных металлов, солей и оксидов металлов, становится очевидным, что далеко немногие индивидуальные вещества могут быть использованы в качестве рабочего расплава. Подходящими веществами для приготовления расплава при крекинге углеводородов являются хлориды щелочных (LiCl , KCl , NaCl) и щелочноземельных (MgCl_2 , CaCl_2) металлов, а также металлов переменной валентности (CuCl , ZnCl_2 , FeCl_3). Но наиболее эффективным является применение эвтектических смесей хлоридов (различные комбинации вышеуказанных солей), что улучшает эксплуатационные свойства расплава: снижается температура плавления, вязкость, плотность, повышается стабильность расплава.

Коксообразование при крекинге углеводородов позволяет работать реактору в автотермическом режиме, что снимает вопрос подведения тепла в зону реакции. Предложенная конструкция реактора позволяет проводить целевые превращения и регенерацию соли-катализатора в одном аппарате при непрерывном режиме его работы.

Выводы

1. На основании физико-химических свойств проведен анализ возможности применения различных веществ в качестве расплава для

крекинга углеводородов. Наиболее подходящими являются бинарные эвтектические смеси LiCl , KCl , NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 , CuCl , ZnCl_2 , FeCl_3 .

2. Проведен термодинамический анализ возможных превращений хлоридов металлов с исходным сырьем, продуктами и реагентами, в результате чего подтверждается возможность их использования.

3. На основании материального и теплового балансов доказана возможность работы реактора в автотермическом режиме при коксообразовании не менее 8 % по массе на сырую нефть.

4. Предложена энергоэффективная конструкция реактора, работающего по принципу восходящего прямотока с отдельными зонами крекинга и окисления и циркулирующим между ними расплавом.

Литература

1. Неорганические расплавы-катализаторы превращения органических веществ / [Ю. С. Чекрышкин, Е. В. Пантелеев, И. В. Шакиров, А. П. Хайменов.]. – М.: Наука, 1989. – 134 с.
2. Печуро Н. С. Технология органических веществ / Н. С. Печуро, О. Ю. Песин, В. Н. Конохов // Итоги науки и техники. – М., 1984. – Т. 9. – С. 3-59.
3. Зубцов Е. И. Технология синтез-газа из угля в расплаве: дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.01 / Зубцов Евгений Иванович. – Харьков, 2011. – 155 с.
4. Тарасов В. Ю. Основы пиролиза природного газа в жидком высокотемпературном теплоносителе: дисс. ... канд. техн. наук: 05.17.01 / Тарасов Вадим Юрьевич. – Львов, 2007. – 149 с.
5. Исследование кинетики крекинга индивидуальных углеводородов в расплаве хлоридов натрия и цинка / М. А. Гликин, Б. Б. Мамедов, Е. Ю. Черноусов, Е. Ю. Нечистяк Е. Ю. // Хімічна промисловість України. – 2014. – № 3 (122). – С. 42-47.
6. Черноусов Е. Ю. Крекинг сырой нефти в расплаве металлов / Е.Ю. Черноусов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2013. – № 14 (203). – С. 64-68.
7. Гликин М. А. Моделирование гидродинамических условий для процесса крекинга углеводородного сырья в расплавах / М. А. Гликин, Е. Ю. Черноусов, Е.И. Зубцов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 6, № 6 (66). – С. 27-32.
8. Фурман А. А. Неорганические хлориды (химия и технология) / А. А. Фурман. М.: Химия, 1980. – 416 с.
9. Справочник по расплавленным солям / Пер. с англ. под ред. и с доп. А. Г. Морачевского. – Т. 1. – Л.: Химия, 1971. – 168 с.
10. Тменов Д. Н. Интенсификация процессов пиролиза / Д. Н. Тменов, С. П. Гориславец – Киев: Техника, 1978. – 192 с.

References

1. Neorganicheskie rasplavy-katalizatory prevrashheniya organicheskikh veshhestv / [Yu. S. Chekryshkin, E. V. Panteleev, I. V. Shakirov, A. P. Hajmenov.]. – M.: Nauka, 1989. – 134 s.
2. Pechuro N. S. Tehnologija organicheskikh veshhestv / N. S. Pechuro, O. Ju. Pesin, V. N. Konohov // Itogi nauki i tehniki. – M., 1984. – T. 9. – S. 3-59.

3. Zubcov, E. I. Tehnologija sintez-gaza iz uglja v rasplave: diss. ... kand. tehn. nauk: 05.17.01 / Zubcov Evgenij Ivanovich. – Har'kov, 2011. – 155 s.
4. Tarasov, V. Ju. Osnovy piroliza prirodnogo gaza v zhidkom vysokotemperaturnom teplonositele: diss. ... kand. tehn. nauk: 05.17.01 / Tarasov Vadim Jur'evich. – L'vov, 2007. – 149 s.
5. Issledovanie kinetiki krekinga individual'nyh uglevodorodov v rasplave hloridov natrija i cinka / M. A. Glikin, B. B. Mamedov, E. Ju. Chernousov, E. Ju. Nechistjak // Himichna promislovist' Ukraini. – 2014. – № 3 (122). – S. 42-47.
6. Chernousov E. Ju. Kreking syroj nefti v rasplave metallov / E. Ju. Chernousov // Visnik Shidnoukraïns'kogo nacional'nogo universitetu im. V. Dalja. – 2013. – № 14 (203). – S. 64-68.
7. Glikin M. A. Modelirovanie gidrodinamicheskikh uslovij dlja processa krekinga uglevodorodnogo syr'ja v rasplavah / M. A. Glikin, E. Ju. Chernousov, E. I. Zubcov // Vostochno-Evropskij zhurnal peredovykh tehnologij. – 2013. – T. 6, № 6 (66). – S. 27-32.
8. Furman A. A. Neorganicheskie hloridy (himija i tehnologija) / A. A. Furman. M.: Himija, 1980. – 416 s.
9. Spravochnik po rasplavlennym solyam / Per. s angl. pod red. i s dop. A. G. Morachevskogo. – T. 1. – L.: Himiya, 1971. – 168 s.
10. Tmenov D. N. Intensifikacija processov piroliza / D. N. Tmenov, S. P. Gorislavec – Kiev: Tehnika, 1978. – 192 s.

Глікін М. А., Мамедов Б. Б., Черноусов С. Ю. Технологічні аспекти ведення процесу крекінгу вуглеводневої сировини в розплавлених середовищах

Розглянуто основні переваги та недоліки металів, солей і оксидів металів при використанні їх як робочого розплаву в процесі крекінга вуглеводнів. В ході аналізу фізико-хімічних властивостей і термодинамічних розрахунків для приготування розплавів запропоновані $LiCl$, KCl , $NaCl$, $MgCl_2$, $CaCl_2$, $CuCl$, $ZnCl_2$, $FeCl_3$ та їх евтектичні бінарні суміші. На підставі матеріального і теплового балансів запропонована конструкція реактора, що працює в автотермічний режимі при коксоутворенні $\geq 8\%$ за масою на сиру нафту.

Ключові слова: хлориди металів, термічна стабільність, евтектика, автотермічний режим, двозонний реактор.

Glikin M. A., Mamedov B. B., Chernousov E. Yu. Technological aspects of hydrocarbon feedstocks cracking in molten media

The article describes the main technological aspects of the hydrocarbon feedstocks cracking in molten media. Justification of the selection to use as a working melt the eutectic mixtures of salts $LiCl$, KCl , $NaCl$, $MgCl_2$, $CaCl_2$, $CuCl$, $ZnCl_2$, $FeCl_3$ is particularly described. The thermodynamical evaluation of the melt interaction with the raw materials, reagents and products is conducted. Material and heat balances, calculated from the experimental data, are presented. An energy-efficient design of the reactor is proposed, which works according to the principle of cocurrent upflow with separate zones of cracking and oxidation and circulating melt between them. The possibility of reactor operation under an autothermal regime at coke formation $\geq 8\%$ by weight of the crude oil is demonstrated.

Key words: metal chlorides, thermal stability, eutectic, autothermal mode, dual-zone reactor.

Глікін Марат Аронович – д.т.н., професор, завідувач кафедри технології органічних речовин, палива і полімерів, Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Северодонецьк). maratglik@rambler.ru

Мамедов Борис Бахлулович – к.х.н., доцент, доцент кафедри технології органічних речовин, палива і полімерів, Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Северодонецьк). boris.mamedov@mail.ru

Черноусов Євген Юрійович – аспірант кафедри технології органічних речовин, палива і полімерів, Технологічний інститут Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Северодонецьк). eychernousov@gmail.com

Рецензент: **Суворін О. В.** – д.т.н., доцент.

Стаття подана 06.10.2014