А.С. Дряхлов, *канд. хим. наук, директор ООО «ЭКАТЕК»;*
С.В. Лимаренко, *гл. инженер,*
В.А. Финтиктиков, *начальник ЦЗЛ,*
ОАО «Волгакабель»

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО ДОЖИГАНИЯ РАСТВОРИТЕЛЕЙ В ЭМАЛЬАГРЕГАТАХ С РЕЦИКЛОМ ГАЗОВОГО ПОТОКА

В настоящее время в России функционируют 7 кабельных заводов, изготавливающих эмалированные провода. Эмальпроизводства оснащены в основном современным импортным оборудованием, хотя на отдельных заводах еще действует старое оборудование. В данной статье рассматривается ряд актуальных проблем, связанных с эксплуатацией каталитических систем дожига растворителей. Все импортные эмальагрегаты оборудованы системами каталитического дожига растворителей, образующихся при сушке в эмальпечах эмалированных проводов, и рециркуляции газов с утилизацией тепла сгорания растворителей. В качестве катализатора используются цельнометаллические каталитические блоки прямоугольной формы, разные по размеру и в разном количестве в зависимости от диаметра выпускаемых эмалированных проводов.

Во всех импортных эмальагрегатах (М-120, ПГЗ, NORE, VREL,VREML, VREGPL, VEM-2000) нагрузка на катализатор определяется объемной скоростью 60000 ч$^{-1}$, то есть для дожигания растворителей объемной производительностью отходящих из эмальагрегата газов V_A = 750 м^3/ч требуется каталитический блок размером 610×305×67 мм, объем блока 12,5 л. На эмальагрегате VREL-144 установлено 5 таких блоков, следовательно, V_A = 3750 м^3/ч; на эмальагрегате VREML-160 установлено 5 блоков размером 610×305×99 мм (V = 18,4 л) и, следовательно, V_A = 5520 м^3/ч.

Проведенное нами обследование эффективности работы цельнометаллических блоков немецкой фирмы КАТЕС, ОАО «ВНИИКП» (катализатор КЦМП) и ООО «ЭКАТЕК» (катализатор ЭКАТЕК-3) на упомянутых выше эмальагрегатах позволило выявить следующее:

1. Содержание трикрезола в вытяжной трубе после эмальагрегата колебалось от 12 до 150 мг/м^3.

2. Содержание трикрезола, измеренное в зоне непосредственно за каталитическим блоком через стальную трубку, установленную вместо термопары, составило 2–60 мг/м^3 в зависимости от типа применяемого катализатора. В табл. 1 представлена часть результатов сопоставления концентрации трикрезола после катализатора эмальагрегата ($C_T^{//}$) и в вытяжной трубе ($C_T^{///}$). Концентрация трикрезола в вытяжной трубе ($C_T^{///}$), приведенная в табл. 1, должна быть равна концентрации трикрезола на входе в АДД ($C_T^{///}$). Существенное различие в содержании трикрезола в газовой фазе (в 3–10 раз) непосредственно в зоне за катализатором и в вытяжной трубе $C^{//}$ и $C^{///}$ обусловлено подсосом части загрязненного растворителем воздуха через шибера (регулирующие скорость циркуляции газов в эмальпечи, неплотность монтажа катализатора), минуя катализатор. Увеличение скорости циркуляции потока газов в эмальпечи приводило к уменьшению содержания трикрезола в 2–5 раз в вытяжной трубе по сравнению с первоначальными потоками меньшей скорости циркуляции. В качестве примера рассмотрим эмальагрегат NORE-192 АБ-2 в табл. 1. Начальная массовая концентрация трикрезола (C_T^O) в газовой фазе в эмальагрегате – 2990 мг/м^3. В атмосферу выбрасывается 500 м^3/ч очищенных газов с содержанием трикрезола за катализатором – 5,03 мг/м^3. Дополнительно к этому загазованность воздуха около эмальагрегата через ротики (нащельники), нередко случающаяся, вносит поправку в увеличение содержания трикрезола в вытяжной трубе.

3. Отсутствует согласованность в правильной оценке эффективности работы катализатора в эмальагрегате.

Рекомендуемые зарубежными фирмами–поставщиками эмальагрегатов технологические параметры их работы (температура зон эмалирования, соотношение потоков циркуляции газов и их выброса в атмосферу и т.д.) относятся к определенным маркам лаков, размерам проводов и т.д., а практика эксплуатации эмальагрегатов в течение длительного времени, да к тому же с применением других видов лаков и размеров проводов может приводить к другим условиям работы эмальагрегатов (меняется температура зон эмалирования, соотношение объемов циркулирующего и выбрасываемого в атмосферу потоков и т.д.). В этих меняющихся условиях необходим единый подход в оценке эффективности работы катализатора в эмальагрегате.

Если исходить из обычных утвердившихся представлений проточного (интегрального) аппарата, то это приводит, во-первых, к ложному выводу о заниженном превращении трикрезола на катализаторе и, во-вторых, к существенно заниженному определению начальной концентрации трикрезола. Занижение начальной концентрации растворителя объясняется тем, что за нее принимают текущую концентрацию в цикле, измеренную в точке до катализатора, которая значительно ниже начальной концентрации трикрезола. Поясним это на данных табл. 1. Как видно, начальная концентрация трикрезола в газовой фазе (C_T^0) состав-

ляет 2990 мг/м³. В прямом виде она не определяется, так как трикрезол испаряется в рецикле газового потока. Она может быть определена на хроматографе, оптико-акустическом газоанализаторе по диоксиду углерода, полученному путем отбора из эмальагрегата газового потока до или после катализатора со скоростью 1 л/мин и дожигания трикрезола в контрольном реакторе на алюмоплатиновом катализаторе АП-56 при $t = 350$ °С и объемной скорости 1000 ч$^{-1}$. При этих условиях достигается 100 % превращение трикрезола. Концентрация трикрезола рассчитывается по формуле:

$$C_T^0 = C_{CO2}^0 / 2{,}84, \qquad (1)$$

где 2,84 – коэффициент пересчета при переходе от диоксида углерода к трикрезолу.

Можно определить начальную концентрацию трикрезола из материального баланса по расходу растворителя в лаке в единицу времени и объемной производительности отходящих газов.

Степень превращения трикрезола определяется по формуле:

$$x = (C_T^0 - C_T) / C_T^0 \text{ (в долях от 1)},$$
$$\text{или (в процентах) } x = [(C_T^0 - C_T) / C_T^0] \times 100\ \%. \qquad (2)$$

Эмальагрегат представляет собой аппарат с рециклом газового потока или иначе проточно-циркуляционную установку. Однако наличие или отсутствие градиента по концентрации вещества и температуре по слою катализатора зависит от соотношения (n_i) скорости циркулирующего через катализатор газового потока ($V_Ц$) к скорости вывода его в атмосферу (V_A) $n_i = (V_Ц + V_A) / V_A$. Практически во всех эмальагрегатах реализуется промежуточный режим между аппаратом идеального вытеснения и смешения, поскольку величина n_i изменяется всего лишь от 2 до 8. В этом случае измерение величины концентрации до и после катализатора при установившемся стационарном состоянии дает величину степени превращения за последний проход (табл. 2).

$$x_K = (14{,}6[\text{мг/м}^3] - 5{,}03[\text{мг/м}^3]) / 14{,}6[\text{мг/м}^3] = 0{,}655. \qquad (3)$$

Естественно, что величины степени превращения за предыдущие проходы газа через катализатор будут такими же. Тогда концентрация трикрезола после катализатора при первом проходе циркуляционного потока газов через катализатор ($C_{i=1}$) равна входной концентрации того же потока при втором проходе ($C_{i=2}^0$), а выходная концентрация трикрезола после катализатора при втором проходе ($C_{i=2}$) равна входной концентрации ($C_{i=3}^0$) при третьем проходе циркуляционного потока газов и т.д.

Таким образом, переходя от последнего прохода через предыдущие к первому, мы достигаем начальной концентрации трикрезола, равной 2990 мг/м³, а отсюда определяется:

1) Суммарная величина степени превращения:

$$x = (2990 - 5{,}03) / 2990 = 0{,}9983.$$

Как видно, величина $x = 0{,}9983$ существенно отличается от величины степени превращения за последний проход – иначе ее называют величиной степени превращения за проход при установившемся стационарном состоянии процесса, равной 0,655, как и величина концентрации до катализатора, равная 14,6 мг/м³, существенно отличается от начальной концентрации трикрезола, равной 2990 мг/м³.

2) Число проходов циркуляционного потока через катализатор: $n = 6$. Эта величина очень важна для эксплуатации эмальагрегатов, ибо, измеряя экспериментально объемную производительность выходящих из эмальагрегата газов, можно рассчитать объемную производительность циркулирующего газового потока $[(V_Ц + V_A) = V_A \times n]$, поскольку экспериментально ее практически невозможно измерить.Для соблюдения технологии эмалирования необходимо знание величины циркуляционного потока. В некоторых случаях при наплывах на эмалированном проводе необходимо увеличить циркуляцию, а следовательно, и объемную производительность отходящих газов (оба этих показателя связаны между собой) или увеличить скорость движения провода. При низких температурах газов на катализаторе регулировкой шиберов нельзя допускать потока большого количества горячего воздуха на провод из-за возможной неравномерности покрытия провода вследствие бурного выделения растворителей из лака.

3) Величина разогрева катализатора при его установившемся стационарном состоянии (ΔT_K). Величина ΔT_K равна суммарному адиабатическому разогреву катализатора $\Delta T_{АД.}$, деленному на число проходов n_i:

$$\Delta T_K = \Delta T_{АД.} / n_i .$$

Величина $\Delta T_{АД.}$ рассчитывается по формуле:

$$\Delta T_{АД.} = Q(\text{ккал/г}) \times C_T^0(\text{г/м}^3) / C_P(\text{ккал/м}^3 \times {}^\circ\text{C}), \quad (4)$$

где Q – теплота сгорания трикрезола, равная 7,82 ккал/г;
C_T^0 – массовая начальная концентрация трикрезола, равная 2,99 г/м³ = 2990 мг/м³;
C_P – теплоемкость газов, равная практически теплоемкости воздуха 0,33 ккал/м³ × °С.

Следовательно, $\Delta T_{АД.} = 70{,}9$ °С, тогда $\Delta T_K = 70{,}9 / 6 = 11{,}8$ °С. Отметим, что величина $\Delta T_{АД.}$ при постоянной начальной концентрации растворителя (C_T^0) не зависит от скорости циркулирующего газового потока в отличие от величины ΔT_K. Одним из технологических параметров эмальагрегата является величина ΔT_K, характеризующая эффективность работы катализатора. На практике зачастую ΔT_K определить непросто (особенно когда температура газов до катализатора на 100–150 °С выше температуры газов после катализатора в силу целого ряда объективных и субъективных причин, в частности: замена импортных нагревателей на не совсем адекватные отечественные, близкое расположение термопар к нагревателям, изменение соотношения $(V_Ц + V_A) / V_A$, загрязненность эмальагрегата и т.д.).

В этих условиях легче всего «винить» катализатор в плохой работе. Но так ли это? Рассмотрим ра-

боту эмальагрегата NORE-192 АБ-2, на котором авторам не удалось установить температуру после катализатора выше температуры до катализатора (в отличие от эмальагрегатов № 5 и № 6, см. табл. 1). Как в этом случае оценить эффективность работы катализатора? Ведь в конечном итоге речь идет об экономии электроэнергии эмальагрегата за счет утилизации тепла сгорания растворителей. Ниже приводим параметры оценки работы катализатора после вывода эмальагрегата на режим:

1. Определяем объем выбросов в атмосферу, в данном случае он равен $V_A = 500$ м³/ч.

2. Из материального баланса рассчитываем начальную концентрацию трикрезола ($C_T^0 = 2{,}99$ г/м³) и сольвент-нафты ($C_{C.H.}^0 = 3{,}0$ г/м³) путем деления количества потребляемого трикрезола и сольвент-нафты (г/ч) на объемную производительность отходящих газов $V_A = 500$ м³/ч.

3. Оцениваем адиабатический разогрев сгорания смеси трикрезола и сольвента по формуле (4):

$$\Delta T_{АД.} = (7{,}82 \times 2{,}99 + 10{,}0 \times 3{,}0) / 0{,}33 = 172\ °C,$$

где 10,0 ккал/г – теплота сгорания сольвента.

4. С учетом потерь тепла в эмальагрегате фактический разогрев составит:

$$\Delta T_Ф = 172\ °C \times (0{,}8) = 137\ °C.$$

Эта величина разогрева и есть показатель утилизации тепла за счет сгорания растворителя.

5. При очередной остановке эмальагрегата первоначально отключаем подачу лака на провод и электронагревателями печи устанавливаем температуру после катализатора, которая в отсутствие подачи лака должна быть ниже на величину фактического разогрева, то есть:

$$T_{после} = 350 - 137 = 213\ °C.$$

6. Температура газов до катализатора, в отличие от температуры газов после катализатора, должна понизиться не на 137 °С, а меньше – на величину разогрева катализатора за один проход при установившемся стационарном состоянии. В нашем случае температура газов до катализатора в отсутствие подачи лака достигла 288 °С, величина разогрева до катализатора составила $\Delta T_{i(до)} = 402 - 288 = 114$ °С. По разности величин разогревов после катализатора 137 °С и до катализатора 114 °С определяем величину разогрева катализатора за один проход при установившемся стационарном состоянии:

$$\Delta T_{i=K} = 137 - 114 = 23\ °C.$$

7. Рассчитаем число проходов через соотношение величин фактических адиабатического разогрева (137 °С) и разогрева катализатора при установившемся стационарном состоянии (23 °С), равное 6. Отсюда можно рассчитать объемную производительность циркулирующего газового потока (практически измерить ее невозможно):

$$(V_Ц + V_A) = 500\ [м^3/ч] \times 6 = 3000\ м^3/ч.$$

Как видно, здесь выдерживаются основные технологические параметры дожигания смеси растворителя, несмотря на то что температура газов после катализатора (350 °С) ниже температуры газов до катализатора (402 °С): начальная концентрация растворителя равна 6 г/м³; объемная производительность отходящих газов – 500 м³/ч; соотношение объемных производительностей циркулирующих и отходящих газов в атмосферу равно 6; разогрев катализатора за один проход – 23 °С; адиабатический разогрев сгорания смеси растворителя – 172 °С; фактический разогрев – 137 °С; величина степени превращения растворителя больше 99,9 %.

Ясно одно, что необоснованное уменьшение начальной концентрации растворителя меньше 6 г/м³, как и соотношение объемных производительностей циркулирующих и отходящих газов в атмосферу $(V_Ц + V_A) / V_A$ ниже 6, приводит к увеличению затрат потребления электроэнергии эмальагрегатом.

Фирмы–производители эмальагрегатов рекомендуют (правда, без жесткого акцента) поддерживать начальную концентрацию растворителя в газовой фазе в зоне сушки эмалированного провода не более 10 г/м³. Однако на практике это ограничение существенно отличается и начальная концентрация растворителя достигает 20 г/м³ и более. Это приводит к нарушению качества эмалированного провода:

1) вследствие бурного выделения растворителя из лака;
2) спекания, оплавления катализатора, которое наблюдалось нами при эксплуатации всех катализаторов, в том числе немецкой фирмы КАТЕС.

Опыт эксплуатации импортных эмальагрегатов показывает, что как бы хорошо ни работали импортные эмальагрегаты, только одного катализатора, установленного в рецикле газового потока, недостаточно по разным причинам. В 1979–1993 годы НИИОГАЗ, ООО «ЭКАТЕК» совместно с ПО «Москабель» и «Молдавкабель» обеспечили все эмальагрегаты типа NORE, VREML, VREL, VREGPL, ПГЗ, М-120 аппаратами дополнительного дожига (АДД). Эффективность дожигания трикрезола и сольвент-нафты составляет 95–99 %. Особенность их эксплуатации состояла в том, что необходимая для эффективного дожигания растворителей температура 300 °С в основном обеспечивалась эмальагрегатом и не требовала дополнительного электроподогрева. Эти установки выполняли две функции:

1) доводили содержание растворителей в отходящих газах до санитарных норм;
2) брали на себя часть нагрузки в случае ухудшения работы основного каталитического блока.

По всей видимости, в эмальагрегатах нынешнего поколения установки дополнительного дожигания должны будут стать неотъемлемой частью эмальагрегата. Во всяком случае на импортном эмальагрегате VEM-200 (установлен на заводе «Молдавка-

бель» в начале 80-х годов) и современном эмальагрегате типа V-6 фирмы MAG (ОАО «Волгакабель») такие установки имеются.

С учетом указанных выше особенностей рассмотрим эффективность дожига растворителей в эмальагрегате типа V-6 фирмы MAG (ОАО «Волгакабель»).

Катализатор ЭКАТЕК-3. Разработан ООО «ЭКАТЕК» (город Дзержинск Нижегородской обл.). Загружен в эмальагрегат и аппарат дополнительного дожига вместо вышедшего из строя катализатора немецкой фирмы КАТЕС. Размеры каталитического блока, установленного в эмальагрегате: 1008×778×131 мм; в дополнительном дожиге: 568×348×99 мм. Представляет собой цельнометаллический блок, состоящий из полого прямоугольного каркаса (обечайки) и помещенной в него сборки из чередующихся между собой гофрированных и плоских тонких полос из жаропрочной стали с нанесенным на них активным слоем благородных металлов. Высота треугольного профиля гофрированных полос 3,1 мм. Активный слой может наноситься как непосредственно на поверхность пластин, так и на предварительно нанесенную подложку из оксидов алюминия или неблагородных металлов. Для герметизации обоих блоков при монтаже их в эмальагрегат и аппарат дополнительного дожига к каждому блоку крепится рамка, пазы которой прокладываются по возможности прографиченным асбестом.

Фактические параметры работы эмальагрегата фирмы MAG-6:

1. Объемная производительность выходящих из эмальагрегата газов в атмосферу, измеренная микроманометром ММН-200, – V_A = 300 м³/ч.

2. Начальная концентрация растворителей в эмальагрегате:

а) трикрезола C_T^0 = 4410[г/ч] / 300[м³/ч] = 14,7 г/м³;

б) сольвента C_C^0 = 464[г/ч] / 300[м³/ч] = 1,55 г/м³;

в) N-метилпирролидона C_M^0 = 1080[г/ч] / 300[м³/ч] = 3,6 г/м³.

Суммарно – 19,85 г/м³.

Начальная концентрация растворителей в эмаль-агрегате определяется из материального баланса. В табл. 3 представлен расход лака по ходам всех трех зон сушки эмалированного провода. Состав лака Сиватер-LAR: фенол = 18,56 % масс., трикрезол = 25,6 %, ксиленол = 19,84 %. Под концентрацией трикрезола в газовой фазе мы понимаем концентрацию вышеназванных компонентов в пересчете на трикрезол. В лаке растворитель составляет 64 % масс., тогда расход растворителей

$$m_T = 6{,}89[\text{кг/ч}] \times 0{,}64 = 4{,}41 \text{ кг/ч}.$$

Состав лака Аллотерм: N-метилпирролидон = 51,8 % масс., сольвент-нафта = 22,2 %, сухой остаток = 26 %. В этом лаке расход растворителя: 2,09[кг/ч] × 0,74 = 1,55 кг/ч. Итого расход растворителя 5,96 кг/ч = 5960 г/ч. Отсюда начальная концентрация растворителя в газовой фазе эмальагрегата равна:

$$C_p^0 = 5960[\text{г/ч}] / 300[\text{м}^3/\text{ч}] = 19{,}85 \text{ г/м}^3.$$

Расчет адиабатического разогрева катализатора при полном сгорании растворителя с концентрацией 19,850 г/м³ ведем по формуле (4). Значения величин теплоты сгорания 1 г трикрезола, сольвента и N-метилпирролидона (Q_i, ккал/г) равны соответственно 7,82; 10,0 и 7,22. Начальные массовые концентрации (C_i^0, г/м³) трикрезола, сольвента и N-метилпирролидона равны соответственно 14,7; 1,55; 3,6.

Суммарный адиабатический разогрев составит:

$$\Delta T_{\text{АД}} = (7{,}82 \times 14{,}7 + 10{,}0 \times 1{,}55 + 7{,}22 \times 3{,}6) / 0{,}33 = 115 + 15{,}5 + 26 = 474 \text{ °C}.$$

Усредненный фактический разогрев катализатора по всем трем зонам сушки за 1-й проход равен (табл. 3):

$$\Delta T_{i=1} = \frac{(610-522)+(607-551)+(609-535)}{3} = 73°\text{C}.$$

Именно эта величина разогрева должна фиксироваться показаниями термопар до и после катализатора.

Поскольку адиабатический разогрев $\Delta T_{\text{АД}}$ равен фактическому разогреву за один проход газов через катализатор ($\Delta T_{i=1}$), умноженному на число проходов газа (n_i), рассчитываем объемную производительность циркулирующего газового потока ($V_Ц + V_A$):

$$(V_Ц + V_A) = \Delta T_{\text{АД}} \times V_A / \Delta T_{i=1} = 474[°\text{C}] \times 300[\text{м}^3/\text{ч}] / 73[°\text{C}] = 1948 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Отсюда определяем число проходов газа через катализатор: 1948 / 300 = 6,49.

Это подтверждает принятую разработчиком эмальагрегата кратность циркуляции газового потока, равную 6.

Дополнительный дожиг

Из сопоставления температуры до катализатора ($t_{\text{до}}$ = 631 °C) и после катализатора ($t_{\text{после}}$ = 620 °C) (табл. 3) возникает предположение, что катализатор не работает. Однако это не так. При сравнении дожига растворителей на основном и дополнительном блоках видно, что подавляющая часть растворителя окисляется на основном блоке (табл. 3). Остаточная часть растворителя с концентрацией от 15 мг/м³ до 0,33 мг/м³ с эффективностью 98 % окисляется на катализаторе в аппарате дополнительного дожига. При этой концентрации растворителя разогрев катализатора по трикрезолу составил 0,12 °C, с учетом дожигания сольвента и N-метилпирролидона – 0,16 °C. В данном случае совершенно очевидно, что падение температуры после АДД обусловлено существенными теплопотерями через конструктивные элементы станка.

В заключение отметим довольно высокую эффективность дожига растворителей в эмальагрегате MAG-6 и АДД. Здесь действительно удовлетворяются в полной мере санитарные нормы по выбросам в атмосферу.

Таблица 1

Результаты обследования эффективности каталитического дожигания растворителей в горизонтальных эмальагрегатах типа NORE и аппаратах дополнительного дожига (АДД) в производстве эмалированных проводов

Эмальагрегат	Тип катализатора, количество блоков, шт.		Температура, °С					Массовая концентрация трикрезола, мг/м³					Степень превращения, %			Разрежение до АДД, мм. вод. ст., $P_{АДД}$	Сопротивление АДД, мм. вод. ст., $P_{АДД}$
			Эмальагрегат				АДД	Эмальагрегат			АДД						
	эмальагрегат	АДД	1-я зона	2-я зона	до катализатора	после катализатора	после катализатора	начальная, C^{0}_{m}	до катализатора, $C^{/}_{T}$	после катализатора $C^{//}_{T}$	до катализатора, $C^{///}_{T}$	после катализатора, $C^{////}_{T}$	Эмальагрегат, $x_{эа}$	АДД, $x_{адд}$	Суммарная, x		
NORE-192 АБ-2	НИИОГАЗ-19Д		320	400	402	350	286	2990	14,6	5,03	30,5	1,07	99,83	96,5	99,96	11	2,0
	2	2															
NORE-192 Л-4	КАТЕС		440	520	500	500	387	4500		6,3	45,5	1,45	99,86	96,8	99,97	13	3,0
	2	2															
NORE-192 Л-6	НИИОГАЗ-19Д		450	500	500	540	340	5000		8,0	42,0	1,39	99,84	96,7	99,97	15	4,0
	2	2															
NORE-192 Л-5	КЦМП		440	510	509	530	360	4800		15,0	70,0	7,0	99,69	90,0	99,85	13	5,0
	2	2															
NORE-192 АБ-2	КАТЕС		315	402	400	340	285	2500		3,75	20,0	0,64	99,85	96,8	99,97	14	4,5

ПРИМЕЧАНИЕ: В связи с тем что с точки зрения санитарных норм процесс дожигания растворителей (сольвент + трикрезол) определяет трикрезол, для упрощения расчетов по оценке эффективности дожига растворителей в эмальагрегате и АДД приведены результаты анализа только по трикрезолу и наличие сольвента в лаке и газовой фазе учтено в температурном режиме эмальагрегата. При необходимости такой анализ может быть сделан и по сольвент-нафте, тем более что исследование кинетики глубокого окисления сольвента и трикрезола показало их одинаковую реакционную способность, а отсутствие кинетических изотопных эффектов при замене водорода на дейтерий в боковых группах ($CH_3^{\bullet}$ на $СД_3^{\bullet}$; $OH^{\bullet}$ на $ОД^{\bullet}$) свидетельствует о том, что медленной стадией процесса является разрыв бензольного кольца.

Таблица 2

Сопоставление величин технологических параметров, полученных в эмальагрегате NORE-192 АБ-2, со значениями параметров интегрального реактора

NORE-192 АБ-2					Интегральный реактор		
Концентрация трикрезола, мг/м³			Степень превращения	Адиабатический разогрев, °C			
начальная, C_m^0	текущая, C_T				C_T^0, мг/м³	$C_т$, мг/м³	$\Delta T_{ад}$, °C
2990	за 1-й проход	1032	0,655	46,4	2990	5,03	70,9
	за 2-й проход	356	0,655	16,0			
	за 3-й проход	123	0,655	5,52			
	за 4-й проход	42,4	0,655	1,90			
	за 5-й проход	14,6	0,655	0,66			
	за 6-й проход	5,03	0,655	0,23			
2990	$\sum_{I=1}^{I=6}$	5,03	0,9983	70,9	2990	5,03	70,9

ПРИМЕЧАНИЕ: В этой таблице представлено изменение величин массовой концентрации и степени превращения трикрезола, а также адиабатического разогрева катализатора ($\Delta T_{ад}$) в эмальагрегате NORE-192 АБ-2 при возрастании отношения (n_i) – объемной производительности циркулирующего газового потока ($V_ц + V_A$) к объемной производительности отходящих из эмальагрегата газов (V_A, м³/ч) от $n_i = 6$ и сопоставление этих величин с аналогичными параметрами интегрального аппарата.

Таблица 3

Показатели технологического режима эмалирования проводов на эмальагрегате MAG-6 на 8 апреля 2004 года

Марка эмалированного провода	Диаметр провода, мм	№ хода провода по зонам сушки	Скорость провода, м/мин.	Марка лака	Расход лака, кг/ч		№ зоны сушки	Температура в зонах сушки эмальагрегата, °C		Состав растворителя в газовой фазе	Массовая концентрация растворителя в газовой фазе, мг/м³			Суммарная степень превращения, %
					Сиватер-LAR	Аллотерм		до катализатора	после катализатора		начальная	после катализатора эмальагр.	после катализатора АДД	
ПЭТВ-2	1,06	1	37	Сиватер-LAR	1,265	0	I	522	610	Трикрезол Сольвент N-метил-пирролидон	14700 1550 3600	15,0 — —	0,330 0,062 0,144	99,998 99,996 99,996
ПЭТ-200	1,40	2	28	Сиватер-LAR Аллотерм	1,06	0,741								
ПЭТ-200	1,32	3	29	Сиватер-LAR Аллотерм	1,03	0,713	II	551	607		19850	—	0,536	99,997
ПЭТ-200	1,18	4	30	Сиватер-LAR Аллотерм	0,899	0,636								
ПЭТВ-2	1,06	5	37	Сиватер-LAR	1,265	0	III	535	609					
ПЭТВ-2	1,25	6	32	Сиватер-LAR	1,373	0								
				ИТОГО:	6,89	2,09								

ПРИМЕЧАНИЕ: Температура газовых выбросов в АДД до катализатора равна 631 °C, а после катализатора составляет 620 °C.