

УДК 622.322+502.3

**ОЦЕНКА РАССЕЙВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В АТМОСФЕРЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ОБЪЕКТОВ НАКОПЛЕНИЯ НЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ**

© 2016 С.П. Шкаруппа

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 21.11.2016

В работе представлены результаты анализа и оценки рассеивания в атмосфере углеводородов для объектов накопления нефтесодержащих отходов. Выполнены экспериментальные исследования интенсивности рассеивания в атмосфере углеводородов для объектов накопления жидких углеводородсодержащих отходов. Предложен алгоритм для определения выброса загрязняющих веществ с поверхности нефтешламонакопителей и их рассеивания в атмосфере с учётом специфики объектов накопления жидких углеводородсодержащих отходов. В работе использовался системный подход к решению поставленных задач, исследования проводились с помощью методов моделирования. Написана программа расчёта выбросов загрязняющих веществ и их рассеивания в атмосфере от нефтешламонакопителей.

Ключевые слова: *рассеивание, углеводороды, загрязняющие вещества, нефтешламонакопитель*

Нефтеперерабатывающие предприятия, как и большинство производств не являются безотходными. Основной отход производства нефтяной шлам – конгломерат из высокомолекулярных соединений нефтепродуктов, минеральных частиц различного состава и пластовой воды. Нефтешламы накапливаются в прудах дополнительного отстоя (ПДО) или шламонакопителях (ШН), которые построены согласно проектов, разработанных для нефтеперерабатывающих предприятий, и являются неотъемлемой частью технологического процесса. С поверхности нефтешламонакопителей (НШН) свободно испаряются токсичные и пожароопасные вещества. Определить выброс и рассчитать его рассеивание очень важно для определения токсического и пожароопасных характеристик объекта, используемых при оценке риска [1]. К настоящему времени достигнут определенный прогресс в исследовании процессов распространения реальных выбросов опасных веществ в атмосфере. С другой стороны имеющиеся методики не всегда достаточно достоверны, и не всегда верифицированы по надежным экспериментальным данным. Возможно, именно этим обусловлен и тот факт, что в отечественных нормативно-методологических документах долгие годы отсутствовали пригодные к практическому применению методики расчета последствий при рассеянии в атмосфере аварийных выбросов [2]. В связи с этим, безусловно, представляет интерес разработка моделей и методик расчета распространения веществ в атмосфере от мест накопления нефтесодержащих отходов. Причем ценность этих методик должна определяться, как достоверностью собственно моделей рассеяния, так и степенью их

гибкости в применении к конкретным практическим ситуациям [3, 4]. То есть необходимы универсальные модели развития аварийных ситуаций, интегрированные с моделями распространения загрязняющих веществ в атмосфере.

Цель работы: является адаптация математической модели для описания и расчета процессов рассеяния углеводородов в атмосфере с учетом, как реальных свойств выброса, так и реальных свойств атмосферы.

В настоящей работе предложено определять выброс от НШН расчётным методом, комбинируя экспериментальные данные о замерах концентраций и методики расчёта рассеивания. Расчёт рассеивания отражён в законодательной базе тремя основными методиками: ОНД-86 «Методика расчёта концентрации в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий», «Методика оценки последствий химических аварий» Токси-2, Методика последствий аварийных выбросов опасных веществ «Токси-3» [5-7]. Из предложенных методик ОНД-86 используется для расчёта рассеивания выбросов от объекта при его функционировании в штатном режиме. Токси 2 и Токси 3 рассчитывают рассеивание аварийных выбросов. Описание используемых методик даётся в статьях [8, 9].

Согласно ГОСТ 17.2.3.02-78 при определении количества выбросов из источников в основном должны быть использованы прямые методы измерения концентрации вредных веществ и объёма газо-воздушной смеси в местах выделения веществ в атмосферу. В качестве основного метода контроля на рассматриваемых объектах принимается инструментально-аналитический, при котором выполняются прямые (инструментальные) измерения на источниках выбросов. Методики и средства контроля определяются в соответствии с «Перечнем методик выполнения измерений

Шкаруппа Светлана Петровна, кандидат химических наук, доцент кафедры «Химическая технология и промышленная экология». E-mail: sp0512@yandex.ru

концентраций загрязняющих веществ в выбросах промышленных предприятий».

В экспериментальных исследованиях распространения веществ в атмосфере за основу контроля качества атмосферного воздуха была выбрана схема из методики ОНД-90. В соответствии с методикой замеры производились с наветренной и подветренной стороны по краям накопителя. С подветренной стороны на расстоянии 30-100 м от края накопителя в зависимости от направления ветра проводились замеры концентраций в дополнительных точках. Замеры проводились по сетке шагом 10 метров до достижения расстояния 100 м от края ИШН, а далее шаг сетки увеличивался до 50 м в пределах приземного слоя. Анализы концентраций углеводородов в атмосферном воздухе проводились как суммарно (по углеводородам), так и по индивидуальным компонентам методом газо-жидкостной хроматографии.

Чтобы получить информацию о пространственной изменчивости концентраций вредных веществ в воздухе и по экспериментальным данным составить карту загрязнения воздуха, необходимо систематически проводить отборы проб воздуха в узлах регулярной сетки с фиксированным шагом не более 20 м. Такие экспериментальные исследования распространения веществ в атмосфере затруднены. В связи с этим особую значимость приобретает математическое моделирование этого процесса и особенно его численное моделирование, как наиболее универсальный и достоверный способ получения информации. Поэтому для построения полей концентрации используются методы математического моделирования процессов рассеяния примесей в атмосферном воздухе, реализуемые на ЭВМ. Математическое моделирование предполагает наличие достоверных данных о метеорологических особенностях и параметрах выбросов [2, 8, 9]. Расчетные концентрации должны совпадать с наблюдаемыми в точках отбора проб. По отношению расчётных и экспериментальных значений концентраций в точках определялся коэффициент достоверности расчётов. Формулы для расчёта рассеивания по методикам ОНД-86 и Токси-2 можно представить в виде:

$$C(x, y, z) = W f^R(x, y, z) \quad (1)$$

где $C(x, y, z)$ – концентрация в точке с координатами (x, y, z) , $(\text{г}/\text{м}^3)$; W – мощность выброса (скорость испарения) с поверхности шламонакопителя $(\text{г}/\text{с})$; $f^R(x, y, z, u, \dots)$ – распределительная функция рассеивания вредного вещества $(\text{с}/\text{м}^3)$,

Для сопоставления результатов расчёта с экспериментальными данными необходимо учитывать влияние других источников загрязнения. Поэтому к формуле (1) добавляется фоновая концентрация вещества, равная сумме концентраций,

образованных от всех источников загрязнения, кроме рассматриваемого источника. С учётом фоновой концентраций формула примет вид:

$$C'(x, y, z) = W f^R(x, y, z) + C_\phi \quad (2)$$

где C_ϕ – фоновая концентрация вредного вещества $(\text{г}/\text{м}^3)$, образованная неучтёнными источниками.

Имея массив экспериментальных данных по замерам концентраций вредных веществ можно составить систему:

$$\left. \begin{aligned} W f^R(x_1, y_1, z_1, u, \dots) + C_\phi &\approx C_{\text{эксп}_1}(x_1, y_1, z_1) \\ W f^R(x_2, y_2, z_2, u, \dots) + C_\phi &\approx C_{\text{эксп}_2}(x_2, y_2, z_2) \\ \dots \\ W f^R(x_i, y_i, z_i, u, \dots) + C_\phi &\approx C_{\text{эксп}_k}(x_k, y_k, z_k) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

С учётом выброса от t площадных объектов (ИШН):

$$\left. \begin{aligned} \sum_{j=1}^t W_j f_j^R(x_1, y_1, z_1, u, \dots) + C'_\phi &\approx C_{\text{эксп}_1}(x_1, y_1, z_1) \\ \sum_{j=1}^t W_j f_j^R(x_2, y_2, z_2, u, \dots) + C'_\phi &\approx C_{\text{эксп}_2}(x_2, y_2, z_2) \\ \dots \\ \sum_{j=1}^t W_j f_j^R(x_i, y_i, z_i, u, \dots) + C'_\phi &\approx C_{\text{эксп}_k}(x_k, y_k, z_k) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где C'_ϕ – фоновая концентрация вредного вещества $(\text{г}/\text{м}^3)$, равная сумме концентраций, образованных от всех источников загрязнения, кроме рассматриваемых.

Решая эту систему методом наименьших квадратов, можно определить мощность выброса и фоновую концентрацию для различных распределительных функций, соответствующих тем или иным методикам. Для определения достоверности результатов используется коэффициент детерминации R_d .

$$R_d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k \left[\sum_{j=1}^t W_j f_j^R(x_i, y_i, z_i, u, \dots) + C_\phi - C_{\text{эксп}_i}(x_i, y_i, z_i) \right]^2}{\sum_{i=1}^k (C_{\text{эксп}_i}(x_i, y_i, z_i))^2 - \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^k C_{\text{эксп}_i}(x_i, y_i, z_i) \right)^2} \quad (5)$$

Применение такой схемы исследования в чистом виде невозможно. При расчете необходимо условие однородности объектов: расположенные рядом ИШН часто схожи по составу и не могут сильно отличаться по количественным характеристикам выбросов. Такие объекты объединяются в группы. Мощность выброса у группы считается общей. Необходимы дополнительные ограничения для физически неправдоподобных малых и больших величин мощности выбросов. Для системы вводятся ограничения:

при отрицательных значениях фоновой концентрации или при значениях фоновой концентрации больше плотности вещества, фоновая концентрация не учитывается (приравняется к нулю); при получении отрицательного значения мощности выброса или значения интенсивности испарения с поверхности выше интенсивности испарения дизельной фракции данный источник не учитывается. Если указанные условия не выполняются, расчёт проводится заново, до выполнения условий:

$$\left. \begin{array}{l} \text{если } 0 < C_{\phi} < \rho, C_{\phi} = C_{\phi} \\ \text{если } 0 > C_{\phi} \text{ или } C_{\phi} > \rho, C_{\phi} = 0 \end{array} \right\} \\ \left. \begin{array}{l} \text{если } 0 < W_j \text{ и } W_j / S_j < 9,45 \cdot 10^{-6} \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ с}), W_j = W_j \\ \text{если } 0 > W_j \text{ или } W_j / S_j > 9,45 \cdot 10^{-6} \text{ кг}/(\text{м}^2 \text{ с}), W_j = 0 \end{array} \right\} \quad (6)$$

где S_j – площадь накопителя (или группы накопителей); W_j / S_j – интенсивность испарения веществ с поверхности.

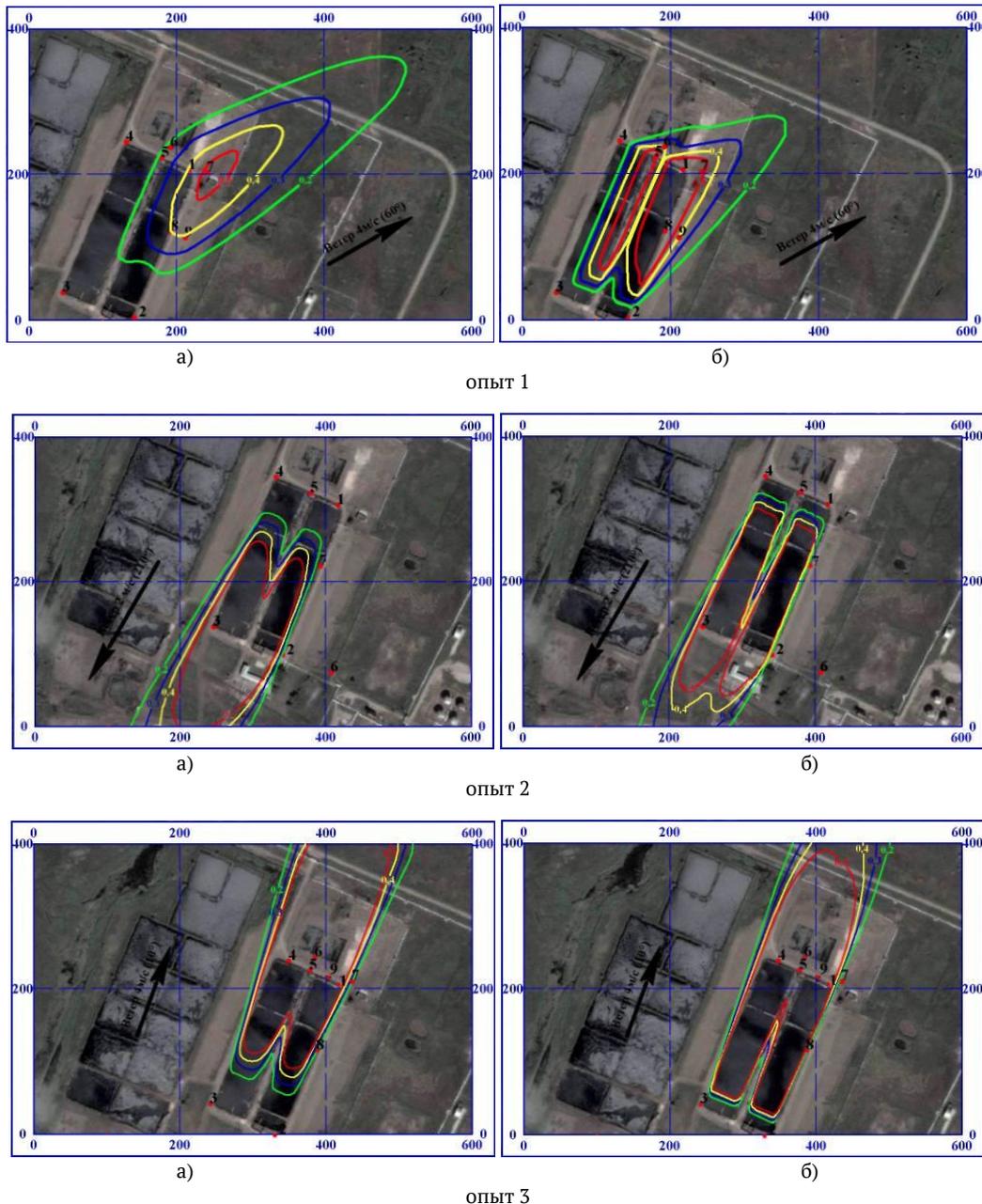


Рис. 1. Результаты расчета изолиний концентрации по трем опытам (М: 8000): а)ОНД086; б) модифицированная Токси-2

Решение системы методом наименьших квадратов с учётом дополнительного условия позволяет получить значения выбросов углеводородов и концентрации фона.

Для проверки применимости указанных методик были произведены замеры углеводородов рядом с накопителями нефтяных отходов. В качестве объектов исследования были выбраны

ПДО Нефтегорского НСП. ПДО расположенные на открытой равнине местности были поделены на секции, облицованы монолитным бетоном толщиной 40 см и под ним два слоя рубероида. Площадь ПДО Нефтегорского нефтестабилизирующего предприятия (НСП) 16 500 м². Вблизи объектов определялось направление ветра и его скорость. Каждая точка отбора фиксировалась на GPS-навигаторе. Угол направления ветра определялась по флюгеру, скорость ветра определялась анемометром АРИ-49. Угол направления ветра измерялся по часовой стрелке, где 0° соответствовало направлению ветра с юга на север. Все пробы отбирались в приземном слое. Отбор проб и анализ проведен аккредитованной аттестованной лабораторией ООО «БПО-Отрадный» в соответствии с ГОСТ 12.1.005-88, ГН 2.2.5.1313-03, ПНД Ф 13.1.2:25-99, МУ № 4945-88, МУ №5853-91.

Был проведен вычислительный эксперимент по программе «DiffusionPro». В программу заносились точки контуров ПДО и точки с замерами концентраций. Выброс рассчитывался от двух объектов рассчитывался общий. Данная программа позволяет для каждой методики определить значение выброса и фоновую концентрацию методом наименьших квадратов, рассчи-

тать концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы, найти точки соответствующие заданным концентрациям, рассчитать изолинии соответствующих концентраций и вывести их на экран (рис. 1). Так как количественные характеристики выброса углеводородов с поверхности накопителей заранее неизвестны, то в программе по предложенному выше алгоритму определялись значения выброса с поверхности накопителя и фоновые концентрации загрязняющих веществ. В программу заносились точки контуров ШН. Поверхность накопителя разбивалась на точечные источники. ПДО объединялись в группу, для них выброс считался общим. ШН были представлены в виде двух объектов не входящих в группу. Математическим описанием этих объектов является система (4). Значения выброса от старых ШН, покрытых коркой, не соответствовало условию (6) и приравнивалось нулю. Испарения с поверхности практически отсутствуют, что подтверждают проведенные расчеты. По результатам расчёта для каждой методики по формуле (5) были определены коэффициенты достоверности результатов. Результаты расчётов представлены на рис. 1. Результаты расчётов выброса от ПДО с использованием методик ОНД-86 и Токси-2 приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Сравнение результатов расчёта выброса и фоновой концентрации по методикам ОНД-86 и Токси-2

Методика	Опыт 1			Опыт 2			Опыт 3		
	W, г/с	C _ф , мг/м ³	R _d	W, г/с	C _ф , мг/м ³	R _d	W, г/с	C _ф , мг/м ³	R _d
ОНД-86	0,84	1,26	0,128	0,90	1,43	0,171	1,85	0,72	0,212
Токси-2	1,98	1,12	0,287	1,39	1,44	0,19	4,65	0,46	0,377

Таблица 2. Сравнение результатов расчёта концентрации по методикам ОНД-86 и Токси-2 с экспериментальными данными

Точки	Экспериментальные данные, мг/м ³	Без учёта фона		С учётом расчётного значения фоновой концентрации углеводородов	
		ОНД-86, мг/м ³	Токси-2, мг/м ³	ОНД-86, мг/м ³	Токси-2, мг/м ³
опыт 1					
1	2,56	0,40	0,69	1,66	1,81
2	1,50	0,70	0,80	1,26	1,12
3	1,05	0,90	0,98	1,26	1,12
4	1,27	0,50	0,80	1,26	1,12
5	1,30	0,22	0,56	1,48	1,68
6	1,10	0,24	0,41	1,5	1,53
7	1,02	0,51	0,57	1,77	1,69
8	2,31	0,40	0,71	1,66	1,83
9	1,36	0,39	0,42	1,65	1,54
опыт 2					
1	2,46	0,70	1,00	1,44	1,44
2	1,24	0,20	0,08	1,54	1,52
3	2,41	0,88	0,94	2,37	2,38
4	1,41	0,56	1,20	1,44	1,44
5	1,02	0,50	0,89	1,44	1,44
6	1,74	0,78	1,21	1,44	1,44
7	1,32	0,68	1,03	1,46	1,47
8	1,00	0,78	0,90	1,44	1,44

опыт 3					
1	4,32	1,40	1,98	2,12	2,44
2	0,9	0,20	0,70	0,72	0,46
3	1,19	0,40	0,99	0,72	0,46
4	1,51	0,81	1,39	1,53	1,85
5	1,04	1,20	1,24	1,92	1,7
6	1,04	1,31	1,32	2,03	1,78
7	0,73	1,01	0,85	1,73	1,31
8	0,93	0,71	1,41	1,43	1,87
9	2,46	1,21	1,81	1,93	2,27

Как видно из расчётов, методики показывают разные результаты. Прежде всего, это связано с тем, что методика ОНД-86 не учитывает состояние атмосферы и расчёт ведётся на наилучшие условия атмосферы (инверсия). Поэтому площадь загрязнения при расчёте по методике ОНД-86 выше, чем при расчёте с использованием Токси-2. Модифицированная методика Токси-2 предпочтительней, так как её коэффициент достоверности выше и сам характер рассеивания не имеет явного максимума концентраций за пределами накопителей. Отсутствие возможности учитывать текущее состояния атмосферы является ключевым недостатком ОНД-86, что делает невозможным её применения для расчета рассеивания углеводородов от НШН и прогнозирования риска токсического поражения.

Выводы: используя модифицированную методику Токси-2 можно провести расчёт распространения опасных веществ от мест накопления углеводородсодержащих отходов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Шкаруппа, С.П. Оценка риска для здоровья персонала при эксплуатации объектов накопления нефтесодержащих отходов / С.П. Шкаруппа, А.Ю. Шуляк // Известия Самарского научного центра РАН. Том 15, №3(6), 2013. С. 2016-2020.
2. Сумской, С.И. Верификация методик оценки последствий аварийных выбросов газа от источников продолжительного действия / С.И. Сумской, А.И. Пчельников и др. // Безопасность труда в промышленности. 2005. № 8. С. 28-35.
3. Шуляк, А.Ю. Математическое моделирование маскопереноса в процессе испарения многокомпонентных жидкостей / А.Ю. Шуляк, С.П. Шкаруппа, А.М. Штеренберг // Вестник Самарского гос. техн. университета. Серия «Физико-математические науки». 2013. №3(32). С. 98-109.
4. Шкаруппа, С.П. Моделирование процесса испарения углеводородсодержащих отходов / С.П. Шкаруппа, А.Ю. Шуляк // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2014. №3(43). С. 180-191.
5. Методика расчёта концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. Госкомгидромет. Общесоюзный нормативный документ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 94 с.
6. Методика оценки последствий химических аварий (Методика «Токси». Редакция 2.2) // Методики последствий аварий на опасных производственных объектах: Сб. док-тов / ГУП «НТЦ Промышленная безопасность». Сер. 27, Декларирование промышленной безопасности и оценка риска. Вып. 2. – М., 2002. С. 121-204.
7. Методика последствий аварийных выбросов опасных веществ. (Методика «Токси». Редакция 3.1) // Моделирование аварийных ситуаций на опасных производственных объектах. Программный комплекс Токси+ (Версия 3.0): Сб. док-тов / ГУП «НТЦ Промышленная безопасность». Сер. 27, Декларирование промышленной безопасности и оценка риска. Вып. 5. – М.: 2006, С. 4-105.
8. Шуляк, А.Ю. Миграционные процессы в приземном слое атмосферы. Модели и расчёт для накопителей углеводородсодержащих отходов / А.Ю. Шуляк, С.П. Шкаруппа, Б.Ю. Смирнов, Д.Е. Быков // Известия Самарского научного центра РАН. Спец. выпуск «XIII Конгресс «Экология и здоровье человека». 2008. Т. 1. С. 249-252.
9. Шуляк, А.Ю. Расчёт рассеивания выбросов для накопителей нефтесодержащих отходов / А.Ю. Шуляк, С.П. Шкаруппа // Известия Самарского научного центра РАН. Спец. выпуск «Проблемы нефти и газа». 2007. С. 149-152.

ASSESSMENT OF HYDROCARBONS DISPERSION IN ATMOSPHERE AT OPERATION THE OBJECTS OF OIL WASTE ACCUMULATING

© 2016 S.P. Shkaruppa
Samara State Technical University

In work the results of analysis and estimates of hydrocarbon dispersion in atmosphere for objects of oil waste accumulating are provided. Pilot studies of intensity of hydrocarbons dispersion in the atmosphere for objects of accumulating liquid carbon-containing waste are executed. The algorithm for determination the pollutants emission from the surface of petrosoludges collectors and their dispersion in atmosphere taking into account specifics of objects of accumulating liquid carbon-containing waste is offered. In work system approach to the solution of objectives was used, researches were conducted by means of modeling methods. The program of calculation of pollutants emissions and their dispersion in atmosphere from petrosoludges collectors is written.

Key words: *dispersion, hydrocarbons, pollutants, petrosoludges collector*

Svetlana Shkaruppa, Candidate of Chemistry, Associate Professor at the Department "Chemical Technology and Industrial Ecology". E-mail: cp0512@yandex.ru