

УТИЛИЗАЦИЯ СТОЧНЫХ ВОД РЕМОНТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ПУТЕМ ИХ СЖИГАНИЯ В СМЕСИ С ТОПОЧНЫМ МАЗУТОМ

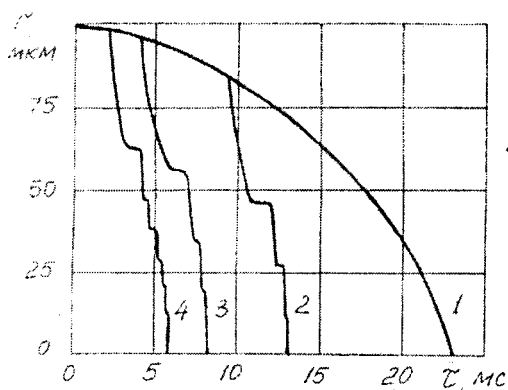
В.П. ИВАНОВ, доктор технических наук,
В.В. ДОМОРАЦКИЙ, аспирант (БелНИИЖ)

На ремонтном предприятии образуется в течение года до 20 тыс. т. нефтесодержащих сточных вод в виде отходов технологических процессов: разборочно-очистного, восстановления деталей, приработочно-испытательного и других. Содержание нефтяных фракций в сточных водах достигает 1100 мг/л. Жидкие стоки содержат моторные и трансмиссионные масла, консистентные смазки, топливные фракции, СОЖ, промывочные жидкости и др. Эти отходы представляют опасность для водного бассейна и почвы.

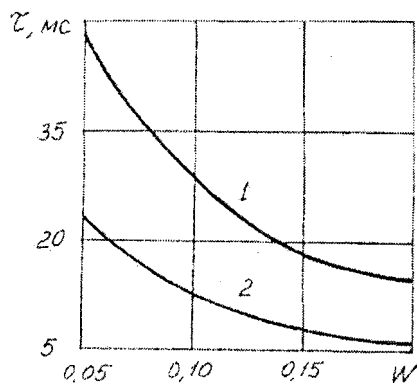
В то же время на ремонтном предприятии эксплуатируются котельные, потребляющие мазут. Сжигание этого топлива без экологической модернизации котельного агрегата приводит к выбросам в атмосферу оксидов азота в дымовых газах с превышением в 1,5...2 раза предельно-допустимых норм.

В качестве комплексного решения в деле уменьшения экологической опасности для почвы, водного и воздушного бассейнов предложено сжигание мазута в смеси с нефтесодержащими сточными водами [1, 2]. Смесь представляет собой водо-топливную эмульсию (ВТЭ) равномерно распределенных частиц воды размером 8...20 мкм в мазуте. Поступающие в зону горения капли ВТЭ нагреваются до температуры кипения воды и наружные слои капель разрушаются водяными парами на мно-

жество более мелких капель. При этом увеличиваются площадь соприкосновения топлива с окислителем и теплообмен между факелом и теплоносителем, а время сгорания топлива и длина факела уменьшаются. Наличие воды в топливе обуславливает снижение на 50...100 К максимальной температуры факела ВТЭ по сравнению с температурой горения обезвоженного мазута. Поскольку образование NO в топке котла происходит в наиболее высокотемпературной зоне, а время пребывания продуктов сгорания в зоне горения недостаточно для протекания обратных реакций разложения оксидов азота, то снижение максимальных температур факела котла приводит к снижению массы NO_x в дымовых газах [3]. При горении топлива массовая доля концентрации NO_x определяется не только термодинамическими факторами, но и



а.



б.

Рис. 1. а) Зависимость размеров капель ВТЭ от времени горения:

1) $W=0,05$; 2) $W=0,10$; 3) $W=0,15$; 4) $W=0,20$;

б) зависимость времени выгорания капель от влагосодержания ВТЭ: 1) $n=3$, $r=100$ мкм; 2) $n=2$, $r=150$ мкм.

условиями смесеобразования, воспламенения и сгорания топлива. В результате нагревания капель ВТЭ происходит изменение их размеров. В работе [4] отмечено, что микровзрыв капли при достижении ее температуры T , равной температуре кипения воды, происходит один раз, при этом температура T не зависит от влагосодержания W топливной смеси. Предварительные исследования не подтвердили эти допущения.

Цель работы заключалась в изучении и описании процесса сжигания ВТЭ и определении условий снижения содержания оксидов азота в дымовых газах.

Зависимость теплообмена капли ВТЭ с окружающей средой в зоне горения может быть представлена в виде:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right), \quad (1)$$

где c , ρ , λ - теплоемкость, плотность и коэффициент теплопроводности материала среды капли; τ - время горения; r - радиус капли.

Изменение радиуса капли ВТЭ при ее нагревании подчиняется зависимости

$$\frac{dr}{d\tau} = \frac{1+k_2(T-T_1)}{\rho k} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial r} - \alpha(T_g - T) \right), \quad (2)$$

где k_2 - параметр, управляющий скоростью срыва внешней оболочки капли; k - удельная теплота испарения эмульсии; T_1 - температура окончания микровзрыва; T_g - температура газа. Коэффициент теплоотдачи $\alpha = Nu \lambda_g / R$, Nu - критерий Нуссельта, λ_g - коэффициент теплопроводности газа. Теплопроводность капли ВТЭ при рассматриваемой температуре за-

висит от влагосодержания W и коэффициентов теплопроводности мазута λ_m и воды λ_w [5]:

$$\lambda = \left[\lambda_w \left(1 - \left(1 - \frac{3\lambda_w^2}{2\lambda_w\lambda_m + \lambda_w^2} \right) W \right) \right] / \left[1 + \left(\frac{3\lambda_w}{2\lambda_w + \lambda_m} - 1 \right) W \right]. \quad (3)$$

Критерием начала микровзрыва явилось достижение массы m водяных паров внутри капли критического значения. Принимая, что температура, плотность и теплоемкость эмульсии линейно зависят от аналогичных показателей мазута и воды, можно показать, что количество пара в капле может быть записано в виде

$$m = 4 \pi k_p W \int (T - 373) r^2 dr, \quad (4)$$

где $k_p = (W \rho_w c_w + (1-W)(\rho_m c_m + \rho_w c_w) + (W-2) \rho_m c_m) / k$, индексы m и w указывают, к какой компоненте эмульсии параметры относятся, интеграл берется по области капли, для которой $T > 373$ К.

Однако одно и то же количество пара оказывает различное влияние на капли различного размера. Чтобы учесть размер капли, разделим массу пара на некоторую величину, характеризующую массу капли и прочность поверхностной пленки. Так как масса тонкого поверхностного слоя капли пропорциональна квадрату радиуса, а масса всей капли - третьей степени радиуса, то в качестве нормирующей ве-

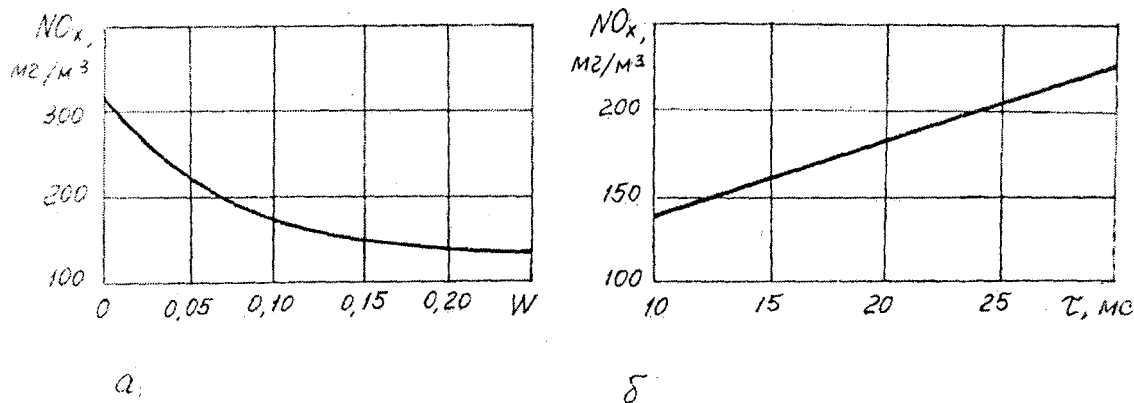


Рис.2. Зависимость содержания оксидов азота в дымовых газах при сжигании водотопливной эмульсии от:

- а) влагосодержания топлива;
- б) времени выгорания капель ВТЭ в факеле котла.

личины принято значение r^n , где $2 < n < 3$. Меньшие величины n характерны для капель, срываемый поверхностный слой которых более тонок и, следовательно, обуславливают более краткие промежутки между последовательными микровзрывами. Критерий начала процесса срыва внешней оболочки капли

$$q = \frac{k_p W}{r^n} \int (T - 373) r^2 dr \geq q_0, \quad (5)$$

где q_0 - критическое значение критерия, интеграл также берется по области капли, для которой температура выше температуры кипения воды.

Таким образом, слагаемое $k_2 (T - T_1)$ в уравнении (2) определяет процесс срыва оболочки капли ВТЭ в факеле котла. Скорость разрушения поверхностного слоя зависит от параметра k_2 , который принима-

ется равным 0 при невыполнении неравенства (5), а также в соответствии с критерием прекращения микровзрыва, при $T < 373$ К. Температура окончания микровзрыва, принятая в пределах

$363 < T_1 < 373$ К, влияет на соотношение скоростей срыва оболочки в начале и конце микровзрыва. Увеличение T_1 приводит к возрастанию длительности микровзрыва, в основном за счет его конечной фазы. Для оценки влияния объемной доли воды в ВТЭ на время сгорания капель топлива был проведен ряд численных экспериментов при различных значениях начального радиуса капли r , показателя n и влагосодержания W . Критическое значение критерия q_0 устанавливалось из условия отсутствия микровзрывов при $r = 100$ мкм и $W < 0,05$. Зависимость радиуса капли ВТЭ в факеле котла от времени для четырех

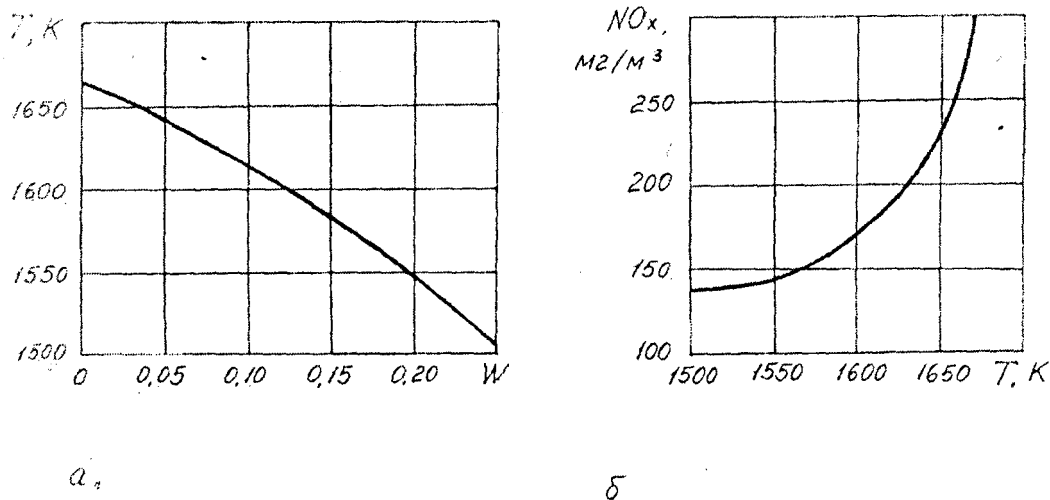


Рис.3. а) Зависимость температуры факела ВТЭ от влагосодержания топливной смеси; б) влияние температуры факела ВТЭ на содержание азота в дымовых газах котла.

значений W при $n = 3$ представлена на рис. 1, а. Число микровзрывов резко возрастает с ростом W , а уменьшение радиуса капли приводит к сокращению промежутков времени между последовательными микровзрывами. Этот эффект является следствием закона А.Срезневского [6], согласно которому время испарения обезвоженной капли топлива пропорционально квадрату ее начального радиуса. Характер кривых на рис. 1, а указывает, что уменьшение размеров капель в факеле котла от времени горения в большей степени обусловлено дроблением капли (вертикальные участки кривых) по сравнению со временем прогревания поверхностных слоев (горизонтальные участки). Вторая особенность процесса горения ВТЭ для $n = 3$ заключается в том, что время разрушения капли после первого микровзрыва практически не зависит от W , что объясняется малой длительностью микровзрыва. Для значений n в интервале $2 < n < 3$ выявлено, что с уменьшением величины n сокращается количество последовательных микровзрывов и происходит увеличение значения радиуса капли, начиная с которого прекращаются микровзрывы.

Для того чтобы оценить уменьшение времени сгорания ВТЭ по сравнению со временем сгорания обезвоженного мазута, необходимо знать соотношение времени разрушения капли и времени испарения ее осколков. Поскольку время разрушения капли намного меньше времени испарения, то введение воды в топливо приводит к более быстрому сгоранию ВТЭ по сравнению с мазутом. Процессы разрушения капли и испарения ее осколков частично перекрываются. Осколки от первого микровзрыва испаряются и горят одновременно с дальнейшим разрушением капли, а время разрушения капли и время сгорания ее осколков имеют один порядок. Зависимость времени выгорания капель топливной смеси в факеле котла показывает, что с ростом влагосодержания топлива время сгорания ВТЭ сокращается (рис. 1, б). Топливный факел полидисперсен. Очевидно, что для капель с большим начальным радиусом требуется больше времени для полного сгорания, поэтому дополнительное дробление капель топливной эмульсии парами воды приводит к повышению скорости горения ВТЭ по сравнению с горением обезвоженного мазута.

Экспериментальные исследования по термической утилизации водо-топливных эмуль-

сий, в виде смеси мазута с вторичным энерго-ресурсом из нефтесодержащих сточных вод, проводились на ОАО Полоцкий завод "Проммашремонт". Вторичный энергоресурс представлял собой мелкодисперсную эмульсию обводненных нефтефракций сточных вод ремонтного предприятия. Топливная эмульсия сжигалась в котле ДКВР 6,5-13 при режимах горения 100%, 75% и 50% от номинальной мощности, с коэффициентами избытка воздуха в топке котла от 1,05 до 1,15. Эксперименты показали, что факел ВТЭ с содержанием воды до 25% от объема топлива горит устойчиво при различных режимах горения, а наличие воды в топливе оказывает влияние на выброс оксидов азота в атмосферу. С увеличением влагосодержания топлива происходит снижение содержания оксидов азота в дымовых газах котла ДКВР 6,5-13 (рис. 2, а). Сравнительный анализ влияния влагосодержания топлива ВТЭ и содержания NO_x в дымовых газах позволяет качественно оценить влияние времени выгорания капель топлива в факеле котла на уровень образования оксидов азота (рис. 2, б). Характер графика указывает на линейную зависимость окисления связанного азота топлива и молекулярного азота воздуха от времени пребывания в зоне горения. На рис. 3, а представлен график зависимости температуры факела ВТЭ от влагосодержания топлива. Для малых W изменение температуры обратно пропорционально изменению выделяемой при сгорании теплоты. Анализ зависимостей, представленных на рис. 2, а и 3, а, позволяет графически выявить взаимосвязь между температурой в зоне горения и содержанием оксидов азота в дымовых газах котла (рис. 3, б).

Сжигание нефтесодержащих сточных вод с топочным мазутом позволяет снизить объемы не утилизируемых жидких отходов ремонтного предприятия на 10...15% от объема сжигаемого топлива. Наличие сточных вод в топливе приводит к уменьшению однородности, вязкости и поверхностного натяжения внешней пленки капли, снижает ее прочность, улучшает дробление ВТЭ в факеле котла. С увеличением влагосодержания топлива повышается эффективность его сжигания, уменьшается выброс оксидов азота с дымовыми газами в атмосферу. Горючие добавки в виде вторичного энергоресурса из нефтефракций сточных вод позволяют уменьшить потребление мазута на 3...5%.