

Заключение

Проведенные экспериментальные исследования показали, что регулирование в турбокомпрессорах с БНА является перспективным направлением по улучшению эксплуатационных, технико-экономических показателей современных автотранспортных двигателей. Это отражается в значительном улучшении экономичности дизеля типа СМД-62 на неноминальных режимах работы, повышении коэффициента приспособляемости на 8%, снижении максимальной температуры отработавших газов на режимах предельной мощности. Улучшение теплового состояния ДВС позволит в будущем произвести форсирование двигателя по мощности.

Список литературы:

1. Жуков В.А., Курин М.С. Влияние параметров наддува на рабочий процесс дизеля ЯМЗ – 840 // *Авіаційно – космічна техніка і технологія*. – 2003. – №41/6. – С. 23 – 26. 2. US Pat. №0110768 A1/2003. Exhaust gas recirculation system with variable geometry turbine and bypass venture assembly / Gerald N. Coleman, David A.

Pierpont. 3. US Pat. № 0079474 A1/2003. Exhaust gas turbocharger for an internal combustion engine / Helmut Finger. 4. US Pat. № 4679398/1987. Variable capacity turbocharger control device / Fumio Nishiguchi, Masato Noguchi. 5. Moody Joseph F. Variable geometry turbocharging with electronic control // *SAE Techn. Pap. Ser.* – 1986. – № 860107. – 11 p. 6. Garrett. Turbocharger advancements for high speed diesels // *Diesel Progr. N. Amer.* – 1986. – Vol. 52, № 9. – P. 13 – 14. 7. Manz P. W., Emmenthal K. D. Passenger car diesel engines charged by different systems for improved fuel economy // *Int. Conf. Fuel Eff. Power Trains and Veh.: VECON'84, (London, 22–24 Oct.), 1984.* – P. 211 – 218 (англ.). 8. Franklin P.C. Performance development of the Holset variable geometry turbocharger // *SAE Techn. Pap. Ser.* – 1989. – № 890646. – P. 137 – 149. 9. Парсаданов І.В. Підвищення якості і конкурентноспроможності дизелів на основі комплексного паливно – економічного критерію: Монографія. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. – 244 с. 10. Байков Б.П., Бордуков В.Г., Иванов П.В. Турбокомпрессор для наддува дизелей: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1975. – 200 с.

УДК 621.43 : 629.113

У.А. Абдулгасис, д-р техн. наук, Г.П. Подзноев, канд. геол.-мин. наук,
А.У. Абдулгасис, асп.

БЛОЧНЫЕ МОДУЛИ КОРРЕКЦИИ СОСТАВА ВОДЫ В ОХЛАЖДАЮЩИХ СИСТЕМАХ ДВС

Введение

Охлаждающая система автотракторных ДВС, как и других теплоэнергетических установок (тепловозов, дизель-поездов, водогрейных котлов и т. п.) предъявляют весьма жесткие нормативные требования к качеству используемой воды по ряду таких основных показателей, как общая жесткость, соленосодержание, рН, Eh и др. В настоящее время разработаны и освоены в производстве многочисленные системы централизованной коррекции воды для теплоэнергетических установок как стационарного (котельные и паротурбинные установки, так и передвижного (тепловозы, дизель-поезда, суда и т.п.) типа.

Формулирование проблемы

Для реальных условий эксплуатации автотранспорта весьма затруднительно выдерживать нормативные требования к качеству заливочной воды и соблюдать постоянство ее состава во времени.

В подобных условиях необходима универсальная по широкому диапазону состава используемой исходной заливочной воды и в тоже время малогабаритная индивидуализированная блочно-модульная система коррекции качества охлаждающей воды, специализированная применительно к условиям работы автотранспортных средств и которая может быть встроена в транспортное средство или же установлена стационарно в любом автотранспортном предприятии.

Решение проблемы

Для решения проблемы и выбора наиболее эффективного варианта водоподготовки охлаждающей системы ДВС необходим тщательный качественно-количественный и причинно-следственный анализ факторов и критериев коррозионных процессов, которыми являются: минерально-солевой состав воды, температурный режим в системе охлаждения, пространственная стереометрия путей циркуляции охлаждающей жидкости и конструкционные матери-

лы охлаждающей системы. Последние три фактора изначально заложены в конструкцию того или иного типа автотранспортного средства и практически неизменны в течение всего периода эксплуатации ДВС. В отличие от этого минерально-солевой состав заливочной воды в условиях реальной эксплуатации автотранспортных средств весьма изменчив в довольно широких пределах своих качественно-количественных характеристик. Ее коррозионная агрессивность определяется совокупностью следующих составляющих: дисперсно-коллоидные взвеси, ионно-солевой состав, растворенные газы, уровень кислотности-щелочности (рН), окислительно-восстановительный потенциал (Еh).

1. Дисперсно-коллоидные взвеси имеют размерность в пределах 10^{-6} - 10^{-4} мм и в системе охлаждения накапливаются в участках с пониженными скоростями циркуляции воды, вызывая гидравлическое сопротивление потоку, уменьшение пропускной способности системы и закупорку ее локальных участков.

Наиболее простым и приемлемым методом удаления механических взвесей может служить однопоточная периодическая фильтрация через слой кварцевого песка (0,5-1,2 мм) в смеси с дробленным антрацитом (0,6-1,4 мм [2,3]). При условно оптимизированном общем расходе доливочной воды в пределах $75 \text{ дм}^3/\text{мес}$ с единичными разовыми порциями залива исходной воды по $2,5 \text{ дм}^3$ и задаваемым временем ее очистки - 5 мин производительность фильтра составит $30 \text{ дм}^3/\text{час}$. Принимая площадь фильтрации, равной $1,0 \text{ дм}^2$ как наиболее рациональную, высота фильтрующего слоя составит около 0,25 м при скорости фильтрации $1,5 \text{ м/час}$ и диаметре фильтра 112 мм.

2. Ионно-солевой состав охлаждающей воды включает в себя сумму растворенных примесей в виде ионов, отдельных молекул, комплексных соединений или молекулярных ассоциатов с размером частиц менее 10^{-6} мм, а также истинно растворенные газы (O_2 , CO_2 , и др.). Основными ионно-солевыми компонентами и характеристиками охлаждающей воды являются:

- катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Fe^{2+} , Cu^{2+} ;
- анионы OH^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , HS^- ;
- общее солесодержание (г/дм^3),
- общая жесткость (мг-экв/дм^3).

При эксплуатации ДВС обессоливание исходной воды возможно методами ионного обмена [4,5]. С точки зрения экономичности и эффективности наиболее применимы в практике водоподготовки относительно дешевые отечественные катиониты марок СК-1 (сульфоуголь ГОСТ 5696), КУ-1 и КУ-2-8 (ГОСТ 20298-74) и аниониты АН-31, АН-221 и АВ-17-8 (ГОСТ 20301-74) с полной обменной емкостью соответственно 500, 1700, 2800, 1500 и 800 г-экв/ м^3 .

Реакции при катионном обмене обратимы и мо-

гут протекать в прямом или обратном направлении в зависимости от изменения условий катионирования. Исходя из принятых выше параметров фильтрующей системы и оптимальной производительности ионно-обменного блока для снижения экстремальной исходной жесткости заливочной воды с 30 до 0,2 мг-экв/ дм^3 (норматив для тепловозов и дизель-поездов [1]) в объеме $75 \text{ дм}^3/\text{мес}$, скорости фильтрации $1,5 \text{ м/час}$ и минимизированном количестве катионита - $2,5 \text{ дм}^3$, потребуется около 30 суток для полного насыщения данного объема катионита КУ-2-8 при его рабочей емкости 950 г-экв/м^3 . Время фильтрования заливочной порции исходной воды объемом $2,5 \text{ дм}^3$ через слой катионита высотой 0,25 м также составит около 5,0 минут. Суммарная высота слоя катионита до проскока должна быть не менее 1,0 м (каскад из 3 фильтров высотой по 0,35 м и диаметром 112 мм) с общей загрузкой катионитом около $10,5 \text{ дм}^3$.

Насыщенный при Na-катионировании катионит регенерируется с помощью раствора хлорида натрия, а в случае H-катионирования - раствором соляной или серной кислоты. При нормативном расходе хлорида натрия около 300 г/г-экв на регенерацию катионита потребность в нем составит 0,7 кг (100% NaCl) или $10\text{-}12,5 \text{ дм}^3$ его 6-7 %-ого раствора. Общий расход воды с учетом отмывки катионита от продуктов регенерации составит - $22\text{-}25 \text{ дм}^3$, а для сульфогля - в пределах $18\text{-}21 \text{ дм}^3$. Регенерация катионита при H-катионировании проводится преимущественно более дешевой серной кислотой, расход которой при вышеприведенных параметрах составит около 540 г (100% H_2SO_4) или $10\text{-}10,5 \text{ дм}^3$ ее 5%-ого раствора.

Помимо этого в схемах катионирования необходима периодическая операция взрыхляющей промывки катионита продолжительностью 20-30 мин, на что требуется дополнительное количество предварительно очищенной воды и аппаратурная система осуществления такой промывки

При анионировании кислотные остатки после H-катионирования обмениваются на ионы (OH^-) с помощью анионитов, отрегенированных щелочью. Реакции OH^- -анионирования в отличие от катионного обмена являются необратимыми. Поскольку широко используемый в практике водоподготовки отечественный низкоосновной анионит АН-31 имеет полную обменную емкость по сульфат-иону значительно более высокую, чем для хлорид-иона (соответственно 1500 и 850 г-экв/ м^3), совпадающую с общей тенденцией преобладания сульфат-ионов в природных водах примерно в такой же пропорции (среднеэкстремальное по SO_4^- в пределах $15\text{-}16 \text{ мг-экв/дм}^3$, а по Cl^- около $11\text{-}12 \text{ мг-экв/дм}^3$), он наиболее приемлем при очистке воды для охлаждающей системы ДВС. Для анионита АВ-17-8 этот показатель одинаков для обоих ионов (430 г-экв/м^3).

Принимая среднюю рабочую обменную емкость АН-31 по сумме анионов на уровне 800 г-экв/ дм^3 для очистки воды в пределах вышепринятых

параметров предыдущих стадий фильтрации и катионирования потребуется 2,8 дм³ анионита или около 5,5-6,0 дм³ при двухступенчатой схеме анионирования. При условной площади фильтрования 1 дм² высота одной ионнообменной колонки составит 280-300 мм.

Насыщенный анионит регенерируется с помощью раствора едкого натра (NaOH) для чего требуется 135-140 г щелочи (100%-ой) или 3,4 дм³ ее 4,0%-го раствора. После регенерации анионит отмывается очищенной водой в объеме 30 дм³ на его расчетное количество.

Из проведенных расчетов следует, что эффективность применения ионного обмена при очистке воды для охлаждающей системы ДВС натолкнется на существенные организационно-структурные проблемы, связанные в первую очередь с необходимостью создания сопровождающей системы регенерации ионнообменных фильтров с ее достаточно сложным реагентным блоком и необходимостью утилизации рассольных продуктов регенерации. Подобная система может быть реализована в крупных автохозяйствах и трудноосуществима с практической точки зрения для индивидуализированного транспорта.

Более интересным и перспективным с этой точки зрения представляется хорошо изученный и широко освоенный в производственной практике метод электродиализа с использованием эффекта направленного движения ионов в солевом растворе. При пропускании электрического тока через солевой раствор катионы диффундируют к отрицательно заряженному катоду, а анионы – к положительному аноду. Поместив на их пути ионно-селективные мембраны можно в межмембранном отделении получать обессоленную воду, в анодной секции – кислотный раствор, а в катодной – щелочной. На основании закона Фарадея для выделения или переноса 1 г-экв вещества требуется затратить 26,8 ампер в час (А·ч). При принятом расчетном среднеэкстремальном объеме соледержания исходной воды в пределах 60 мг-экв/дм³ для обессоливания требуется затратить около 1,6 А·ч/дм³ или 4,0 А·ч на одноразовый объем (2,5 дм³) доливочной воды. При расчетной оптимизированной плотности тока около 350 А/м² общая рабочая площадь электродных пластин составит 11,5 дм² или 5 электродиализных ячеек с оптимальными рабочими размерами электродных пластин 150×150 мм. Приведенные параметры электродиализной установки (ЭДУ) достаточно компактны для установки ее в автомобиле и вполне обеспечиваются характеристиками электропитания автомобиля, составляя 5-8% от мощности его генератора.

В рассмотренной выше системе электродиализа помимо рабочей камеры обессоливания исходной воды необходима емкость для сбора рассола из анодной и катодной камер, периодически опорожняемая по мере наполнения.

В отличие от ионного обмена электродиализное

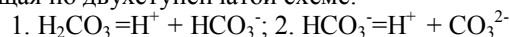
обессоливание исходной воды не требует сложного цикла периодической регенерации (восстановления) системы с существенным расходом реагентов и воды, более компактно в аппаратном оформлении и обеспечении контроля за технологическим процессом. В принципе эффективность электродиализа возрастает при увеличении соледержания в исходной воде, что позволяет получать кондиционную опресненную воду даже из морской воды и солевых рассолов.

3. Растворенные в воде газы (кислород и углекислый газ) являются весьма активными участниками коррозионных процессов в охлаждающей системе ДВС, но отличаются друг от друга характером своего воздействия.

Кислород обладает сильными окислительными свойствами и легко взаимодействует с железом блока цилиндров, образуя здесь плотные корки гидроокисей и окисей – Fe(OH)₂, Fe(OH)₃, Fe₂O₃, и Fe₃O₄ с низким коэффициентом теплопроводности. Концентрация кислорода воздуха в исходной воде как и для всех газов находится в обратной зависимости от температуры:

Температура, °С	0	20	40	60	80	100
O ₂ , мг/л	14,6	9,1	6,5	4,8	2,9	0

Углекислый газ, присутствующий в воздухе в количестве 0,3-0,4 %, также растворяется в воде по аналогичной температурной зависимости. При этом образуется угольная кислота (H₂CO₃), диссоциирующая по двухступенчатой схеме:



с образованием растворимых бикарбонатных комплексов Ca(HCO₃)₂ и Mg(HCO₃)₂. Последние при повышенной температуре разрушаются до труднорастворимых карбонатов (произведение растворимости соответственно 4,8·10⁻⁹ и 2,1·10⁻⁵) и выпадают в осадок в виде накипных корок на нагретых металлических поверхностях [6].

Предварительный нагрев воды до 80-90°С снижает концентрацию растворенных газов в 4-5 раз, адекватно снижая и их агрессивное действие.

4. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) определяется присутствием в воде таких окислителей, как растворенный кислород и углекислый газ, избыточные минеральные и органические кислотные радикалы и ионы. В присутствии этих компонентов железо поверхности блока цилиндров и медь радиатора при повышенных температурах подвергаются химической и электрохимической коррозии. В последнем случае коррозия связана с образованием микрогальванических пар между металлами с разным электродным потенциалом, например меди и железа. Ионы меди, образующиеся при химической коррозии радиатора или присутствующие в исходной воде, циркуляционным потоком переносятся к блоку цилиндров, где восстанавливаются до металла. Вследствие значительной разницы электродных по-

тенциалов меди (+0,345) и железа (-0,441) между зародышем меди и железом образуется разность потенциалов (электродвижущая сила) в 0,786 вольта с перетоком электронов (гальванический ток) от железа к меди. При этом железо приобретает избыточный положительный заряд, нейтрализуемый переходом железа в раствор. Процесс непрерывно возобновляется и на стыке зародыша меди, раствора и железа формируется точечная каверна (питтинг). В дальнейшем, возникшая за счет зародыша меди электрохимическая система внутри язвенной полости, обособляется от физико-химической системы охлаждающей воды и саморазвивается автокаталитически. Так как зона активной коррозии в глубине каверны (анодная зона) будет пересыщена анионами, а в устье ее – не насыщена, то железо на поверхности блока цилиндров, приобретая избыток электронов, становится катодом, интенсифицируя тем самым анодную коррозию в глубине каверны [7].

Снижение или предотвращение электрохимической коррозии возможно двумя способами:

1. Искусственно подняв потенциал железа до такового для меди путем наложения катодного тока на поверхность двигателя на его контакте с омывающей охлаждающей водой [8,9]. В большинстве практических случаев защитный ток для системы железо - природная вода составляет около 100 мА/м², что вполне вписывается в возможности системы электропитания автомобиля. В тоже время для использования в охлаждающих системах ДВС он требует специфических предварительных исследований, тщательного расчета и конструирования защитной катодной системы.

2. Путем создания в зоне развития электрохимической коррозии на поверхности блока цилиндров покрытия из металла с более отрицательным потенциалом, чем у железа, например, алюминия с электродным потенциалом -1,67 В. При этом железо приобретает катодную поляризацию, превышающую по своему значению необходимый защитный потенциал, и становится катодом по отношению к алюминию. Помимо этого алюминий отличается значительно более высокой стойкостью к окислительным процессам и теплопроводностью (213 Вт/м·К) в сравнении с таковым чугуна, что улучшает теплопередачу в системе «двигатель – охлаждающая вода».

Заключение

1. Основными факторами накипеобразования, химической и электрохимической коррозии в охлаждающей системе ДВС является солевой состав используемой для охлаждения воды, присутствие в ней растворенных кислорода и углекислого газа в сово-

купности с наличием локальных участков с высоким температурным потенциалом.

2. Снижение негативных последствий коррозионных процессов может быть достигнуто глубокой коррекцией солевого состава исходной воды или использованием защитных покрытий из более электроотрицательного металла.

3. Коррекцию солевого состава исходной охлаждающей воды возможно осуществить путем ионного обмена и электродиализом. При этом ионнообменный способ требует довольно сложной и дорогостоящей системы регенерации ионитов, что затруднительно реализовать в условиях реальной системы эксплуатации в значительной степени индивидуализированных автотранспортных средств. В этих условиях наиболее приемлем метод электродиализа, позволяющий создать компактный блочный модуль обессоливания воды с долговременным циклом работы от системы энергопитания автомобиля.

4. Необходимо проведение комплекса опытно-конструкторских работ по созданию и практической апробации систем коррекции состава исходной воды электродиализом в виде блочных модулей, встраиваемых в двигательный отсек автомобиля. В конструктивном плане блок подготовки охлаждающей воды будет включать в себя фильтрационный модуль очистки от грубодисперсных примесей, электродиализный блок, рассольную емкость, систему электропитания и систему автоматического контроля.

Список литературы:

1. Инструкция по приготовлению и применению воды для охлаждения двигателей тепловозов и дизель-поездов. – М.: МПС, 1984. – 47 с.
2. Фейзиев Г.К. Высокоскоростные методы умягчения, опреснения и обессоливания воды. – М.: Энергоатомиздат. – 1988. – 193 с.
3. Водоподготовка. Процессы и аппараты. – М.: Атомиздат, 1977. – 352 с.
4. Гребенюк В.Д. Обессоливание воды ионитами. – М.: Химия, 1980. – 80 с.
5. Пат. № 50630. Укр. Абдулгазиз У.А., Эреджепов М.К., Менасанова С.Е. Система водяного охлаждения двигателя внутреннего сгорания. – 2002, Бюл. № 10.
6. Жукова Л.А. Теория статического и динамического осаждения и соосаждения ионов. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 80 с.
7. Маттссон Э. Электрохимическая коррозия. – М.: Металлургия, 1991. – 157 с.
8. Техника борьбы с коррозией / Р. Юхневич, В. Богданович, Е. Валашковский, А. Видуховский. – М.-Л.: Химия, 1980. – 224 с.
9. Бекман В. Катодная защита. Справочник. – М.: Металлургия, 1992. – 176 с.