

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ**

**Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ**

**Кафедра тракторов и автомобилей**

*А. Н. Карташевич, М. А. Недосеко*

**НОВЫЕ СИСТЕМЫ  
СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ  
ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ  
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО  
СГОРАНИЯ**

*Методические указания к лабораторной работе по дисциплине  
«Трактора и автомобили» для студентов специальностей  
1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов  
сельскохозяйственного производства, 1-74 06 06  
Материально-техническое обеспечение АПК,  
1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных  
и водохозяйственных работ*

**Горки  
БГСХА  
2012**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ

Кафедра тракторов и автомобилей

*А. Н. Карташевич, М. А. Недосеко*

# **НОВЫЕ СИСТЕМЫ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

*Методические указания к лабораторной работе по дисциплине  
«Трактора и автомобили» для студентов специальностей 1-74 06 01*

*Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного  
производства, 1-74 06 06 Материально-техническое обеспечение*

*АПК, 1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных  
и водохозяйственных работ*

Горки  
БГСХА  
2012

УДК 621.43.019.9

*Рекомендовано методической комиссией  
факультета механизации сельского хозяйства.  
Протокол № 6 от 24 февраля 2012 г.*

Авторы:

доктор технических наук, профессор *А. Н. Карташевич*;  
аспирант *М. А. Недосеко*

Рецензент:

кандидат технических наук, доцент *И. Л. Подшиваленко*

**Новые системы снижения токсичности отработавших газов двигателей внутреннего сгорания** : методические указания к лабораторной работе / А. Н. Карташевич, М. А. Недосеко. – Горки : БГСХА, 2012. – 30 с.

Дано описание новых систем снижения токсичности двигателей внутреннего сгорания, приведено описание реагентов, применяющихся в новых системах.

Для студентов специальностей 1-74 06 01 Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного производства, 1-74 06 06 Материально-техническое обеспечение АПК, 1-74 06 04 Техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ.

© УО «Белорусская государственная  
сельскохозяйственная академия», 2012

## ВВЕДЕНИЕ

Рост парка автомобильных двигателей, единичных мощностей и расширение сферы их применения приводят к загрязнению атмосферы токсичными веществами отработавших газов двигателей внутреннего сгорания, увеличению их вредного воздействия.

В развитых странах мира в результате соответствующих законодательных ограничений за последние 10–15 лет наблюдается устойчивая тенденция снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами автомобилей.

Выпускаемые промышленностью новые автомобили и трактора становятся «чище», а их топливная экономичность заметно улучшается.

Снижение токсичности всех новых тракторов и автомобилей должно быть таким, чтобы обеспечить уменьшение вредных выбросов по всем действующим нормам.

Решение задачи повышения экологических показателей дизелей приводит к необходимости внедрения в отечественное двигателестроение различных методов и устройств снижения токсичности отработавших газов (ОГ).

Существующие способы снижения токсичности и дымности ОГ дизеля подразделяются на следующие направления: рециркуляция ОГ, впрыск воды в цилиндры; нейтрализация ОГ на выпуске; применение альтернативных топлив, антидымных присадок и сажевых фильтров; обоснование оптимальных режимов эксплуатации; поддержание дизеля в технически исправном состоянии.

Но все эти способы не позволяют соответствовать новым требованиям, предъявляемым к токсичности выхлопных газов, которые вводятся в Европе. Для того чтобы дизельные двигатели отвечали новым требованиям стандартов Euro-4 и Euro-5, необходимо применение новой системы снижения токсичности отработавших газов дизельных двигателей. Такой системой является система SCR (селективной каталитической нейтрализации), где в качестве восстанавливающего реагента используется раствор мочевины AdBlue.

Методические указания разработаны с целью ознакомления студентов с устройством, принципом действия и условиями эксплуатации новых систем снижения токсичности двигателей внутреннего сгорания, а также основными материалами, которые применяются в этих системах в качестве реагентов.

## **1. СИСТЕМА СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕАГЕНТА ADBLUE (СПЕЦИАЛЬНЫЙ АКТИВНЫЙ РЕАГЕНТ)**

Название «AdBlue» является зарегистрированной торговой маркой ассоциации автомобильной промышленности Германии (Verband der Automobilindustrie – коротко VDA) для водного раствора мочевины AUS 32. Использование названия «AdBlue» возможно только при соответствии продукции требованиям ISO 22241 и при наличии лицензионного соглашения с VDA.

«AdBlue» используется в качестве добавочной рабочей жидкости в дизельных двигателях стандарта Евро-4 и Евро-5, оборудованных системой SCR (селективной каталитической нейтрализации) для очистки выхлопных газов от вредных примесей.

«AdBlue» состоит из раствора мочевины высокой чистоты (32,5 %) в деминерализованной воде (67,5 %). Мочевина – это вещество, участвующее в самой реакции нейтрализации оксида азота, а вода выбрана как несущая среда для нее. Процентное содержание мочевины тоже выбрано не случайно, а с точки зрения достижения максимально низкой температуры замерзания раствора. Температура замерзания раствора мочевины AdBlue – минус 11°C. Это как раз один из самых неудобных моментов в применении AdBlue. Еще один момент, на который обязательно следует обратить внимание при работе с AdBlue – это совместимые материалы, т.е. все оборудование и емкости для хранения должны быть сделаны из определенных материалов. Все эти детали и требования по хранению, перевозке и обороту AdBlue описаны в стандарте ISO 22441 (часть 3). В этом же стандарте ISO 22441 (часть 1) указаны технические условия на раствор мочевины для грузовиков AdBlue.

Реагент AdBlue абсолютно безвреден: он не относится к классу ядовитых, токсичных, опасных и горючих веществ, а, напротив, это экологически чистый продукт, применение которого ведет к улучшению экологии в целом.

Мочевина AdBlue прозрачна на вид и по запаху слегка отдает аммиаком, но никакой токсичностью не обладает, впрочем, как и любая другая.

AdBlue применяется в грузовых автомобилях (грузовиках) экологического стандарта Euro-4 и Euro-5: Volvo (Вольво), Mercedes (Мерседес), Iveco (Ивеко), DAF (Даф), Renault (Рено), Scania (Скания), MAN (Ман), Dawoo (Дэу), MAZ (МАЗ), KAMAZ (КамАЗ), а также в ряде дизельных легковых автомобилей.

Расход AdBlue составляет примерно 5 % от расхода топлива.

Реагент AdBlue позволяет не только защищать окружающую среду от негативного воздействия выхлопных газов, но и улучшает экономичность работы двигателя. При использовании технологии AdBlue оптимизируется работа двигателя, а значит, количество топлива, которое потребляется при движении, уменьшается. В среднем расходы топлива с использованием AdBlue меньше на 5 % в сравнении с соответствующими расходами без этой технологии.

### 1.1. Свойства системы снижения токсичности отработавших газов с применением реагента AdBlue

AdBlue – это раствор мочевины и воды, где 32,5 % по весу составляет мочевины. Этот раствор замерзает приблизительно при минус 11°C. В таком случае и лед, и вода всегда имеют одинаковую концентрацию. После оттаивания у реагента восстанавливаются все его первоначальные характеристики и свойства. Из графика (рис. 1) видно, что отклонение от данной концентрации в сторону большей доли мочевины или воды приводит к повышению точки замерзания AdBlue.

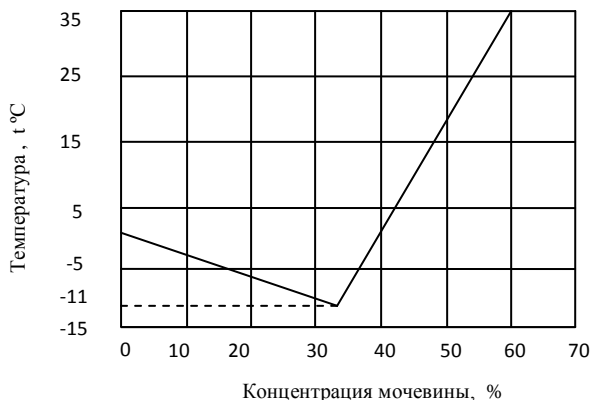


Рис. 1. График изменения температуры замерзания AdBlue в зависимости от концентрации раствора

Если не добавлен какой-либо краситель, раствор AdBlue бесцветен, AdBlue не вреден для кожи. В небольших количествах раствор также не токсичен, но очень неприятен на вкус. Раствор AdBlue очень коррозионный, особенно в отношении алюминия и меди. В случае попадания на металл или электрические соединения раствор необходимо смыть

как можно скорее. В качестве чистящего средства очень хорошо подходит вода (желательно теплая). AdBlue может высохнуть и образовать белые или серовато-коричневые кристаллы или отложения. Плотные отложения, образующиеся под воздействием высокой температуры, необходимо соскрести или нагреть до температуры более 500°C.

AdBlue имеет низкое поверхностное натяжение и быстро растекается по большой площади, поверхность которой становится очень скользкой. Поэтому в случае утечки, особенно при попадании на металл или электрические соединения, раствор необходимо смыть как можно скорее.

Производство жидкости AdBlue строго регламентировано.

Ассоциация автомобильной промышленности Германии (VDA) обладает авторскими правами на AdBlue.

Каждая партия AdBlue производства Zakłady Azotowe «Pulawy» S.A. проходит жесточайшие испытания на соответствие международным стандартам.

Технические условия на AdBlue определяются Немецким отраслевым стандартом DIN 70070 и международным стандартом ISO 22241.

Расход AdBlue в среднем составляет 1,5–2 л на 100 км, или 15–20 л на 1000 км.

Для автомобилей, соответствующих экологическому стандарту Евро-4, примерный расход составляет 4 %, Евро-5 – около 6% от количества потребляемого автомобилем топлива.

Жидкость AdBlue легко вступает в реакцию с различными веществами и материалами.

Жидкость AdBlue очень чувствительна к металлам: цинку, алюминию, меди, чугуна, латуни. При контакте с этими металлами образуются соли, которые при попадании в катализатор могут вывести его из строя. Эти металлы используются при производстве некоторых материалов, которые применяются в различном оборудовании. Именно поэтому рекомендуется использовать только оборудование, одобренное для работы с AdBlue.

Все материалы, контактирующие с AdBlue, не должны содержать посторонних примесей, таких как масла, топливо, горюче-смазочные материалы, растворители, пыль и другие химические или природные вещества.

Примеры нерекомендованных материалов:

- материалы, вступающие в реакцию с аммиаком и образующие составы, которые негативно влияют на SCR-катализаторную систему: малоуглеродистые стали, оцинкованные стали;
- медь, медные сплавы, цинк, свинец;

- алюминий, сплавы алюминия;
- магний, сплавы магния;
- пластики или материалы, покрытые никелем.

Примеры рекомендованных материалов:

- высоколегированные нержавеющие стали или нержавеющие стали 304, 304L, 316, 316L согласно ASTM A240/A276/A312;
- полиэтилен (LDPE) и полипропилен (PP) высокого давления;
- полиизобутилен (PIB);
- перфторалкокси(PFA), без примесей;
- полифторэтилен(PFE), без примесей;
- поливинилиденфторид (PVDF), без примесей;
- политетрафторэтилен (PTFE), без примесей.

Различного рода эластомеры (емкости, шланги) могут содержать множество примесей, способных проникнуть в жидкость AdBlue. В связи с этим необходимо тщательно исследовать возможность загрязнения AdBlue добавками, содержащимися в пластиковых материалах, находящихся в непосредственном контакте с продуктом.

Во избежание загрязнения AdBlue ёмкости для хранения должны быть оригинального исполнения и плотно закрытыми.

Минимальный срок хранения AdBlue – 1 год (12 месяцев). Температура хранения AdBlue: от –11 до +30°C. В таблице представлены минимальные сроки хранения при определенной температуре.

**Срок годности AdBlue в зависимости от температуры хранения**

Постоянная температура хранения, °C	Минимальный срок хранения, месяцы
10	36
25	18
30	12
35	6
>35	—*

\* Значительное сокращение срока годности.

AdBlue необходимо оберегать от попадания прямого солнечного света. При температуре ниже –11 градусов реагент кристаллизуется, однако при замерзании AdBlue своих свойств не теряет. Система SCR оснащена подогревом, и пока двигатель работает, мочевина (AdBlue) не замерзнет. Для полного промерзания при температуре –35 градусов автомобиль должен простоять без движения 2 дня.

AdBlue не расширяется как вода, поэтому бак для AdBlue не может лопнуть при длительном промерзании реагента в баке автомобиля.

Реагент AdBlue безвреден для людей и животных. AdBlue нетоксичен, негорюч и невзрывоопасен. Продукт сертифицирован как безопасный согласно директиве ЕС 67/548/ЕЕС.

## **1.2. Некоторые сведения о системе снижения токсичности отработавших газов с применением реагента AdBlue**

Мочевина используется в сельском хозяйстве как удобрение. Но AdBlue – это специально созданный продукт для применения в катализаторах SCR, и технологии производства AdBlue и мочевины для удобрений существенно различаются.

Предприятия, производящие удобрения, не пригодны для производства реагента AdBlue. Для того чтобы производить AdBlue для систем SCR, необходимо принципиально изменить процесс производства такой мочевины, а это – колоссальные инвестиции. Для обеспечения безотказной работы SCR-системы качественные характеристики реагента AdBlue должны контролироваться очень жестко, так как многие компоненты при превышении пороговой величины согласно стандарту DIN безвозвратно разрушают каталитическую систему, физически блокируя поры либо деактивируя активные центры.

Недостаточно эффективная работа SCR-системы в случае инертности каталитического нейтрализатора может вызвать повреждение двигателя в связи с увеличением давления отработавших газов.

Если не использовать жидкость AdBlue в SCR-системе, то выброс приравнивается к Евро-0. Впоследствии могут возникнуть технические проблемы.

В том случае, если AdBlue использоваться в системе не будет, то с большой вероятностью начнется нарушение режима температуры, работы и выход системы из строя. Все грузовики в обязательном порядке оснащаются специальными датчиками, показывающими наличие жидкости, при отсутствии которой система начинает ограничивать мощность двигателя. Именно поэтому заливать жидкость нужно обязательно.

Применение в системе дистиллированной воды запрещено. В состав такой воды входит большое количество примесей, таких как соли различных металлов, забивающие поры катализатора, в результате чего система SCR выходит из строя. При отрицательных температурах вода в системе замерзает и это может привести к повреждению компонентов системы. В отличие от воды во время замерзания AdBlue не расширяется.

## 2. СИСТЕМА SCR (СЕЛЕКТИВНОЙ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ)

Технология SCR (селективной каталитической нейтрализации) основана на впрыске строго дозированного количества реагента AdBlue в поток отработанных газов в присутствии катализатора (пентаоксид ванадия), в результате чего происходит химическая реакция превращения вредных оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) в безвредные вещества – азот и воду.

Система SCR представлена двумя поколениями. На рис. 2 приведена система SCR первого поколения с подачей сжатого воздуха.

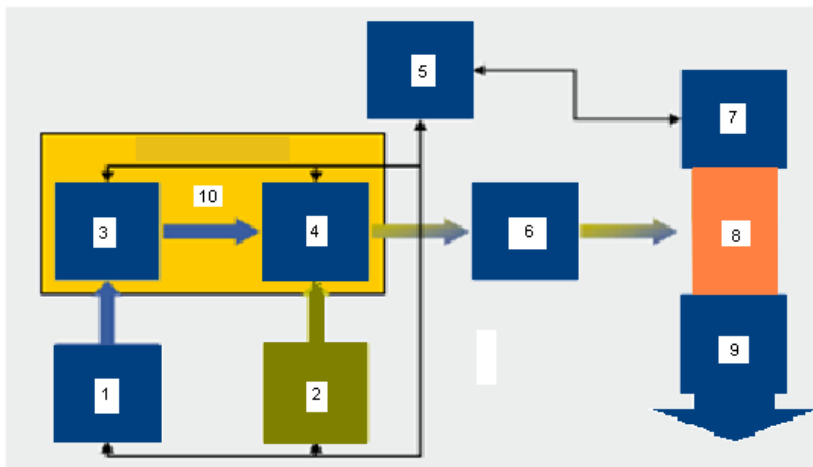


Рис. 2. Блок-схема системы SCR первого поколения:  
1 – емкость с реагентом AdBlue; 2 – подача воздуха; 3 – блок питания; 4 – дозатор; 5 – блок управления дозированием реагента; 6 – форсунка; 7 – двигатель; 8 – выхлопная система; 9 – SCR катализатор; 10 – блок дозирования мочевины

В системе дозирования первого поколения блок питания 3 подает AdBlue к дозатору 4. Там в зависимости от температуры и давления AdBlue дозируется клапаном инъекции в трубу, в которой AdBlue транспортируется ускоренным потоком воздуха в виде аэрозоля для впрыска форсункой 6 в выхлопные газы 8.

Системы второго поколения работают без сжатого воздуха (рис. 3).

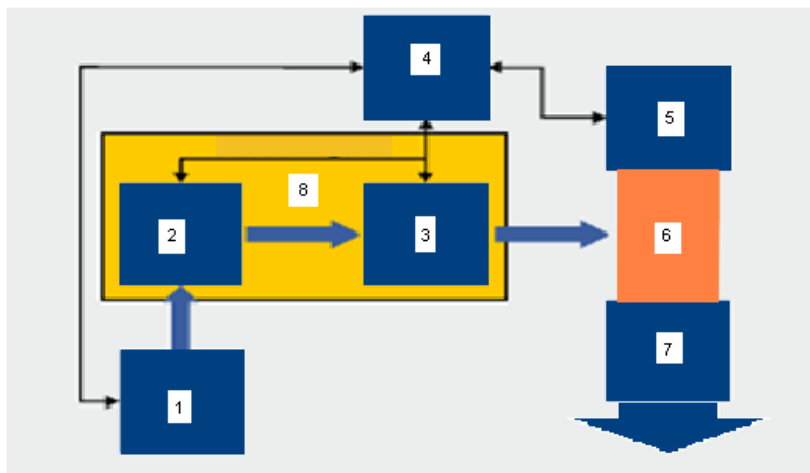


Рис. 3. Блок-схема системы SCR второго поколения:  
 1 – емкость с реагентом AdBlue; 2 – блок питания; 3 – дозатор; 4 – блок управления дозированием реагента; 5 – двигатель; 6 – выхлопная система; 7 – SCR катализатор; 8 – блок дозирования мочевины

Их особенностью является точное дозирование в поток выхлопных газов реагента AdBlue без использования сжатого воздуха. Это позволяет системе работать еще точнее в закрытых системах цикла.

Постоянное повышение требований приводит к увеличению элементов в системе (бак, бак AdBlue, агрегат, катализатор, пылевые фильтры и т.д.). Это означает, что построение пространства становится все меньше, расстояния для гидролитических процессов становятся все короче, форма катализатора меняется и т.д. Указанное выше свидетельствует о том, что необходимо учитывать все эти факторы и принять системы индивидуальных условий и требований.

Применение технологии SCR подтвердило возможность нейтрализовать выбросы окислов азота  $\text{NO}_x$  во время проведения испытательных циклов и в эксплуатационном режиме. Сочетание двигателей с низким уровнем твердых частиц в выхлопных газах и применения технологии селективной каталитической нейтрализации SCR для снижения концентраций окислов азота позволяет соответствовать требованиям стандартов Euro-4 и Euro-5.

## 2.1. Устройство системы SCR

Устроена система SCR следующим образом (рис. 4). Бак для AdBlue *1* стоит рядом с кабиной грузовика. Выполнен он, как правило, из пластика.

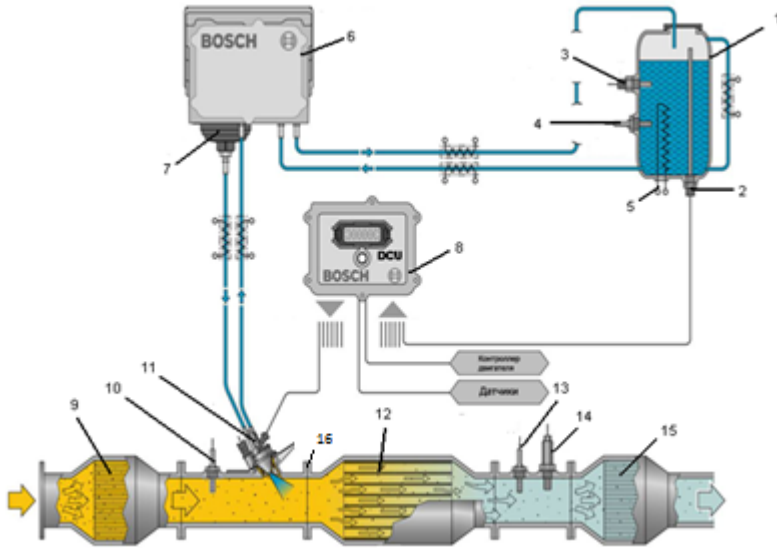


Рис. 4. Система подачи реагента AdBlue в выпускной коллектор:  
*1* – емкость с реагентом AdBlue; *2* – датчик уровня реагента; *3* – датчик качества раствора реагента; *4* – датчик температуры мочевины; *5* – змеевик; *6* – устройство, подающее реагент; *7* – фильтр тонкой очистки; *8* – дозирующее устройство; *9* – окислительный катализатор; *10*, *13* – датчик температуры; *11* – форсунка для впрыска реагента; *12* – катализатор SCR; *14* – датчик отработавших газов; *15* – каталитический нейтрализатор с накопителем; *16* – микшер

AdBlue почти не расширяется при замерзании, поэтому разрыва бака не происходит.

Внутри бака предусмотрен подогрев – змеевик *5*, соединенный с системой охлаждения двигателя. После бака установлено устройство, подающее реагент *6*, которое создает давление жидкости в магистрали. Магистраль подогревается электрически. После устройства, подающего реагент *6*, расположено дозирующее устройство *8*, объединен-

ное с блоком управления системой SCR. Впрыск должен быть достаточно точным, чтобы количество жидкости соответствовало объёму выхлопных газов в каждый конкретный момент. Непосредственно перед катализатором 12 стоит форсунка 11, подающая AdBlue в выпускной тракт.

В системе предусмотрены два фильтра AdBlue – грубой и тонкой 7 очистки, стоящие соответственно после бака 1 и устройства, подающего реагент 6. Катализатор, в который впрыскивается AdBlue, также нестандартный – в нем используется не платина, а ванадий. Именно в присутствии оксида этого металла реакция нейтрализации  $\text{NO}_x$  идет особенно активно. Ванадий не разрушается от серы, поэтому автомобили с SCR не так требовательны к качеству дизельного топлива.

Следует отметить, что система SCR уже ставится и на легковые автомобили, но принципиально их конструкции по сравнению с грузовыми автомобилями не различаются.

### **2.1.1. Устройство, подающее реагент**

Подающий модуль служит для подготовки и подачи реагента к форсунке (рис. 5).

Мочевина всасывается насосом мочевины из бака через всасывающий трубопровод 4 и фильтр. Фильтр предназначен для защиты системы нейтрализации SCR от повреждений частицами загрязнений, содержащимися в мочеvine. Подогрев мочевины обеспечивается нагревателем для трубопровода, который обеспечивает работу системы SCR и при низких температурах окружающей среды.

Нагреватель для трубопровода представляет собой резистор, изготовленный из проволоки из нержавеющей стали. Проволока намотана вокруг трубопровода спиралью и изолирована снаружи трубкой из пластика. Питание нагревателя трубопроводов осуществляется от блока управления двигателя через блок управления нагревателями трубопроводов для реагента.

Возвращающаяся от насоса мочевины по обратному трубопроводу 1 стекает обратно в бак.

Насос мочевины представляет собой мембранный насос. Его привод осуществляется бесщёточным двигателем постоянного тока. Насос мочевины интегрирован в корпус модуля подачи мочевины и управляется блоком управления двигателя.

Блок управления двигателя управляет двигателем насоса с помощью сигнала с широтноимпульсной модуляцией. Двигатель через шатун приводит в действие мембранный насос. При работающей систе-

ме SCR мембранный насос засасывает мочевины из бака и закачивает её в трубопровод подачи мочевины 3.

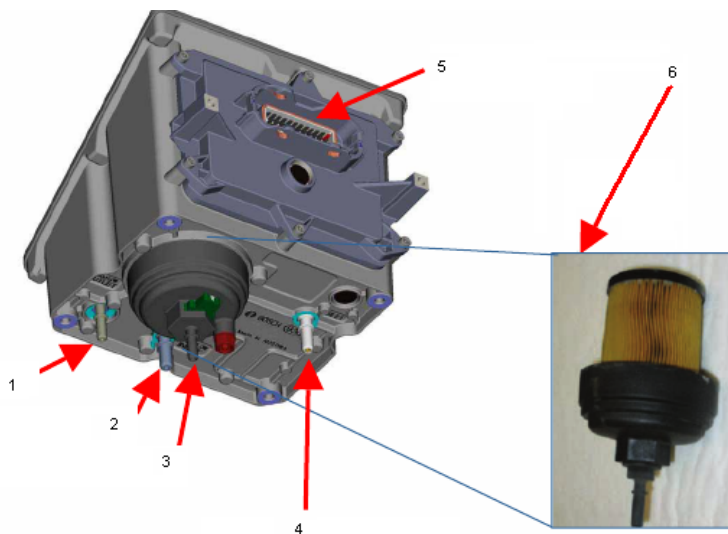


Рис. 5. Устройство, подающее реагент:

1 – штуцер для возврата реагента насосом в бак; 2 – штуцер для возврата реагента форсункой к насосу; 3 – штуцер подключения трубопровода подачи реагента к форсунке; 4 – штуцер подключения трубопровода всасывания реагента из бака; 5 – разъем управления насосом подающего устройства и диагностический разъем; 6 – фильтр тонкой очистки

Задачи насоса мочевины различаются в зависимости от положения клапана обратной перекачки мочевины:

- при включённом двигателе и выполнении условий, необходимых для работы системы нейтрализации SCR, насос подаёт мочевины из бака к форсунке мочевины под давлением примерно 5 бар;

- при выключении дизельного двигателя он перекачивает мочевины из трубопровода подачи мочевины 3 от форсунки мочевины обратно в бак.

При отключении дизельного двигателя клапан обратной перекачки мочевины переключает направление подачи мочевины. Вследствие этого мочевины из трубопровода подачи мочевины 3 возвращается в

бак мочевины. Эта профилактическая мера позволяет предупредить замерзание мочевины в трубопроводе подачи мочевины 3 и форсунке мочевины при низких температурах.

Процесс откачки мочевины из трубопровода 3 в бак мочевины длится примерно 1 мин. В течение этого времени запрещается отсоединять клеммы АКБ, поскольку в противном случае возможно замерзание мочевины в трубопроводе при низких температурах окружающей среды.

При выходе из строя клапана обратной перекачки мочевины возникает опасность замерзания её в трубопроводе подачи и форсунке при низких температурах окружающей среды. Если клапан останется переключённым в положение «откачка», создать давление в системе подачи мочевины невозможно. Включаются лампа check engine и контрольная лампа системной ошибки AdBlue® на дисплее комбинации приборов.

При выходе насоса мочевины из строя система SCR неработоспособна. Включаются лампа check engine и контрольная лампа системной ошибки AdBlue® на дисплее комбинации приборов.

### **2.1.2. Форсунка для впрыска реагента**

Форсунка (рис.6) закреплена на вводе, расположенном под углом к выпускной трубе. По команде она впрыскивает на смеситель под углом 10° дозированное количество реагента.

Управление форсункой осуществляет блок управления двигателя с помощью сигнала с широтноимпульсной модуляцией.

В форсунке мочевина находится под давлением, создаваемым насосом мочевины. В положении покоя игла форсунки 4 перекрывает выходное отверстие за счёт усилия пружины форсунки 3. Для впрыска мочевины блок управления двигателя посылает управляющий сигнал на электромагнитную катушку 6. При этом возникает магнитное поле, которое вытягивает якорь форсунки и иглу форсунки 4. Форсунка открывается, и происходит впрыск мочевины. Если управляющий сигнал на электромагнитную катушку 6 больше не поступает, магнитное поле исчезает и игла форсунки 4 перекрывает отверстие под действием пружины форсунки 3.

В случае неисправной форсунки впрыск мочевины в систему выпуска ОГ и соблюдение норм токсичности невозможны. Включаются

лампа check engine и контрольная лампа системной ошибки AdBlue ® на дисплее комбинации приборов.

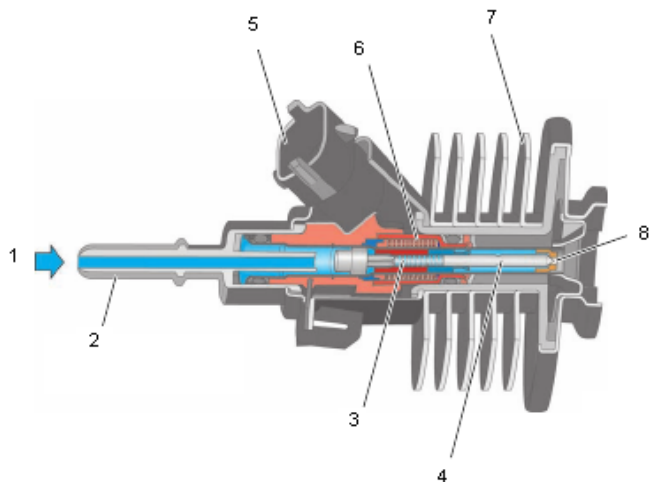


Рис. 6. Форсуна для подачи реагента:

1 – реагент; 2 – штуцер подключения трубопровода реагента от насоса; 3 – пружина форсунки; 4 – игла форсунки; 5 – электрический разъем от блока управления; 6 – катушка электромагнита; 7 – ребра охлаждения; 8 – распылитель форсунки

### 2.1.3. Микшер

В системе выпуска ОГ микшер (рис. 7) располагается сразу после форсунки.

Смеситель состоит из нескольких отклоняющих пластин, повернутых на небольшой угол, между которыми проходит поток ОГ.

В основном микшер играет роль отражающей поверхности для распылённых капель мочевины. Положение пластинчатого микшера выбрано так, что конус распыла впрыснутой мочевины по возможности полностью попадает на отражающую поверхность.

При соударении с отражающей поверхностью распылённые капли дробятся. Это приводит к тому, что впрыснутая мочевина быстрее испаряется и переходит в газообразное состояние. Кроме того, это

позволяет исключить попадание крупных капель распылённой мочевины на восстановительный катализатор. Дополнительно геометрическая форма микшера придаёт потоку ОГ вращательное движение. Это приводит к лучшему смешиванию и равновесному распределению капель распыла в потоке ОГ.

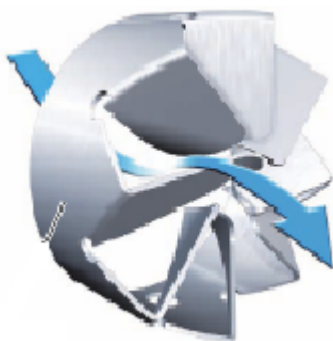


Рис. 7. Микшер

## 2.2. Принцип работы системы SCR

AdBlue состоит из аммиачного реагента – нитрата аммония и воды. Тепло в выпускной системе превращает нитрат аммония в аммиак ( $\text{NH}_3$ ) и угольную кислоту ( $\text{CO}_2$ ). Именно аммиак является активным веществом и основным компонентом постоянного процесса, происходящего в каталитическом нейтрализаторе системы SCR. В последующем химико-каталитическом процессе окись азота ( $\text{NO}_x$ ) превращается в газообразный азот ( $\text{N}_2$ ) и водяной пар ( $\text{H}_2\text{O}$ ) (рис. 8). Газообразный азот является естественной составляющей воздуха, которым мы дышим. Все имеющиеся остатки аммиака удаляются во встроенном очистном каталитическом нейтрализаторе.

В данной технологии химическая реакция восстановления (нейтрализации) происходит избирательно. Это означает, что в составе отработавших газов целенаправленно снижается только содержание оксидов азота. Содержащиеся в отработавших газах оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ) в катализаторе восстановления превращаются в азот ( $\text{N}_2$ ) и воду ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Для этого в поток отработавших газов перед катализатором непрерыв-

но впрыскивается восстановитель (мочевина). Мочевина содержится в отдельном дополнительном баке. При нагреве примерно до 200°C катализатор восстановления достигает рабочей температуры. Блок управления двигателя получает данные о температуре ОГ перед катализатором восстановления от датчика температуры ОГ.

Раствор мочевины Adblue забирается насосом мочевины из бака мочевины и под давлением примерно 5 бар прокачивается через обогреваемый трубопровод мочевины к форсунке мочевины.

Форсунка мочевины управляется блоком управления двигателя и впрыскивает мочевины в дозируемом количестве в трубопровод системы выпуска ОГ. Впрыснутая мочевина подхватывается потоком ОГ и равномерно распределяется микшером в отработавших газах. На участке к восстановительному катализатору, так называемом гидролизном участке, мочевина распадается на аммиак ( $\text{NH}_3$ ) и углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ).

В восстановительном катализаторе аммиак ( $\text{NH}_3$ ) вступает в реакцию с оксидами азота ( $\text{NO}_x$ ), образуя азот ( $\text{N}_2$ ) и воду ( $\text{H}_2\text{O}$ ).

Коэффициент полезного действия системы SCR определяется Н-окси-датчиком (датчиком содержания окиси азота).

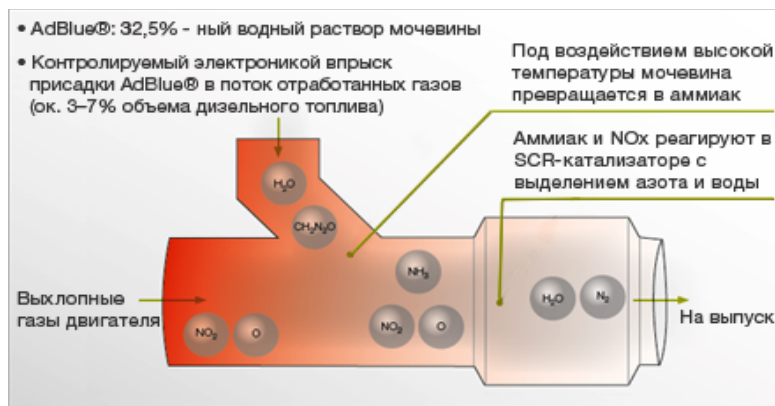


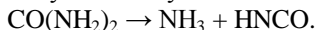
Рис. 8. Схема преобразования Adblue в  $\text{N}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$

Гидролизный участок находится между форсункой мочевины и восстановительным катализатором. Там из восстановителя (водного раствора мочевины) образуется необходимый для восстановления оксидов азота аммиак ( $\text{NH}_3$ ). Это происходит в результате реакции термоллиза и гидролиза впрыснутой мочевины.

Когда мочевины впрыскивается в поток горячих ОГ, вначале испаряется вода.

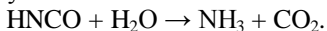
До входа в катализатор SCR мочевины должна полностью испариться. Чем выше равновесное распределение, тем больше коэффициент полезного действия восстановительного катализатора.

При термолитзе восстановитель (водный раствор мочевины) распадается на аммиак и изоциановую кислоту:



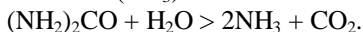
мочевины  $\rightarrow$  аммиак + изоциановая кислота

За этим следует реакция гидролиза, при которой изоциановая кислота реагирует с содержащейся в ОГ водой. При этом возникает ещё одна молекула аммиака и углекислый газ:

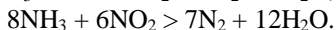


изоциановая кислота + вода  $\rightarrow$  аммиак + углекислый газ

В основном химическая реакция SCR процесса выглядит следующим образом: жидкость AdBlue впрыскивается в горячий отработавший выхлопной газ и подвергается гидролизу при температуре свыше 180°C с образованием аммиака (NH<sub>3</sub>):



Основной металл системы SCR является катализатором следующей реакции, при которой образуются исходные формы – азот и вода:



Для того чтобы блок управления двигателя дал команду на впрыск мочевины, должны быть выполнены следующие условия:

- восстановительный катализатор достиг рабочей температуры примерно 200°C;

- при низкой температуре окружающей среды обеспечено достаточное количество жидкой мочевины для впрыска.

Впрыск мочевины блоком управления двигателя прерывается при следующих условиях:

- при малом объёмном потоке ОГ, например на холостом ходу;
- когда температура ОГ снижается слишком сильно и рабочая температура восстановительного катализатора не достигается.

Внедрение системы SCR привело к тому, что использование AdBlue стало обязательным в европейских и американских автомобилях, выпущенных после 2006 года. При этом необходимо помнить, что при движении автомобиля реагент расходуется постоянно. По общим оценкам специалистов, реагента уходит 4–6 % от объема израсходованного дизельного топлива.

Следует отметить, что автомобиль с системой SCR на борту в повседневном использовании не отличается от автомобилей, которые отвечают нормам Евро-3. Какого-либо дополнительного ухода компоненты системы SCR (катализатор, дозирующее устройство или бак) не требуют. Наряду с экономичностью технология SCR обладает также тем преимуществом, что может использоваться вне зависимости от наличия дизельного топлива с низким содержанием серы.

Для того чтобы эффективность технологии SCR с последующей обработкой выхлопных газов осталась на прежнем уровне, необходимо избегать загрязнения реагента AdBlue посторонними веществами и частицами, а также не подвергать жидкость физическим состояниям сверх установленных пределов.

Преимущества технологии SCR следующие:

- с точки зрения соответствия стандарту Евро-5 и последующим стандартам, технология SCR – это самое надежное капиталовложение;
- SCR применима во всей Европе, помимо этого при сравнении с эквивалентными технологиями она больше подходит для низкокачественного дизельного топлива;
- системы SCR редко нуждаются в техническом уходе и используются на протяжении всего времени эксплуатации машины;
- технология SCR никак не влияет на периодичность технического ухода и смены масла в транспортном средстве;
- SCR прекрасно сочетается с двигателями высокой мощности. И в отличие от альтернативных систем SCR не предусматривает усиление системы охлаждения и системы смазки двигателя;
- по сравнению с другими, соответствующими стандартам Евро-4 и Евро-5 системами SCR потребляет наименьшее количество топлива.

Недостатки технологии SCR приведены ниже:

- очень сложная система управления;
- наличие дополнительного бака;
- необходимость заправляться специальной жидкостью (AdBlue) на специальных заправочных станциях;
- эта жидкость имеет свойство быстрой кристаллизации, что приводит к частому выходу из строя всей системы;
- эта жидкость замерзает при  $-11^{\circ}\text{C}$ , что затрудняет использование системы в холодное время года;
- система работает в очень узком диапазоне температур катализатора, что затрудняет ее использование на городском транспорте и автобусах.

Все детали двигателя при применении SCR должны отличаться высокой износостойкостью, поскольку подвергаются высоким темпе-

ратурам. Сама система состоит из резервуара для AdBlue, конвертора, оборудования для впрыска AdBlue, индикатора выброса выхлопных газов, а на панели имеется лампочка-индикатор. Все это существенно увеличивает массу транспортного средства и его стоимость.

### 3. СИСТЕМЫ SCR БЕЗ ADBLUE

#### 3.1. Система SCR Eaton

Глобальная американская корпорация Eaton – одна из немногих иностранных компаний, претендующих на место на немецком рынке систем очистки ОГ. Она разработала оригинальную систему удаления  $\text{NO}_x$  и сажи из ОГ в системе выпуска, «работающую на одной жидкости – дизельном топливе», по словам специалистов Eaton, более эффективную и экономичную, чем системы очистки ОГ других фирм (рис. 9). Системе, разработанной Eaton, для работы не требуется мочевины – аммиак образуется непосредственно в системе. Система включает в себя риформер *1*, преобразующий топливо, задерживающий фильтр  $\text{NO}_x$  (LNT) *2*, сажевый фильтр *3* и каталитический нейтрализатор *4*.

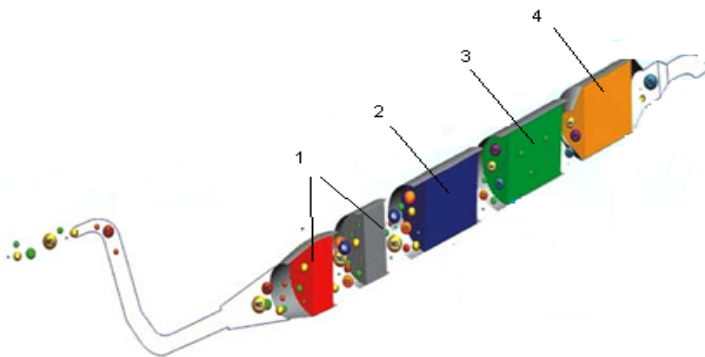


Рис. 9. Схема системы очистки ОГ, разработанной Eaton:  
*1* – риформер; *2* – фильтр LNT; *3* – сажевый фильтр; *4* – катализатор SCR

Система выпуска объединяет в себе несколько последовательно расположенных элементов: преобразователь с дозатором дизтоплива *1*,

предварительную «ловушку» 2 (Lean NO<sub>x</sub> Trap – LNT), накапливающую в себе NO<sub>x</sub> и серу, а также сажевый фильтр твердых частиц 3 и SCR-катализатор 4. Перечисленные составные части могут находиться как в блоке, так и раздельно, соединяясь между собой выпускными трубами. К примеру, прототип системы EAS, смонтированный на грузовике Freightliner FLC120 (двигатель Detroit Diesel 60), имеет второй вариант: сажевый фильтр и SCR-катализатор расположены за кабиной вертикально, а преобразователь с дозатором топлива занимают место вблизи с силовым агрегатом.

Процесс протекает следующим образом. Задерживающий фильтр LNT 2 захватывает NO<sub>x</sub> из ОГ. Когда LNT 2 насыщается окислами азота (а также соединениями серы, содержащимися в топливе), система управления начинает процесс регенерации (и десульфатации) LNT 2. В поток ОГ перед риформером 1 впрыскивается дизельное топливо. Риформер 1 разлагает топливо на водород и окись углерода CO. Попутно выделяется тепло, необходимое для регенерации сажевого фильтра 3. В LNT 2 в результате реакции с NO<sub>x</sub> продуктов риформинга топлива, поступающих из риформера 1, начинается процесс регенерации, в ходе которого NO<sub>x</sub> разлагаются на азот, аммиак NH<sub>3</sub> и водяной пар:  $\text{NO}_x + \text{CH}_x \rightarrow \text{N} + \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ . Далее поток ОГ попадает в сажевый фильтр 3, в котором задерживаются и непрерывно сжигаются частицы несгоревших углеводородов. Затем в каталитическом нейтрализаторе 4 аммиак NH<sub>3</sub>, образовавшийся в задерживающем фильтре LNT 2, вступает в реакцию с оставшимися в ОГ окислами азота NO<sub>x</sub>, образуя азот и воду.

### **3.2. Система Solid SCR (твердой селективной каталитической нейтрализации)**

Базовый принцип Solid SCR (рис. 10) тот же, что и в системе впрыска мочевины, которой сейчас оборудовано большинство выходящих на американский рынок дизельных автомобилей. Аммиак реагирует с оксидами азота в выхлопных газах и превращает их в азот и воду. Отличает эти системы источник аммиака. Вместо водного раствора мочевины, впрыскиваемого в выхлопную систему, новая система использует твердое вещество 2, известное как карбамат аммония – побочный продукт производства удобрений.

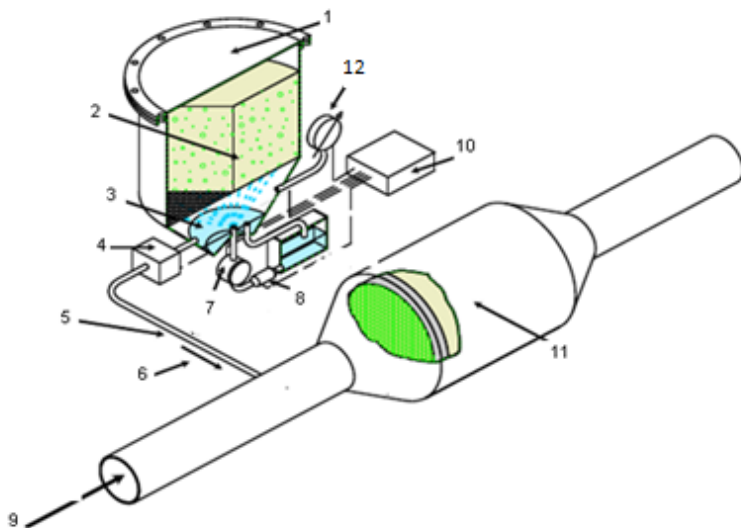


Рис. 10. Система Solid SCR 1-го поколения:

1 – контейнер; 2 – твердый восстановитель; 3 – теплоноситель; 4 – дозирующий клапан; 5 – подающая трубка; 6 – газообразный реагент; 7 – теплообменник; 8 – насос; 9 – отработавшие газы; 10 – контроллер; 11 – катализатор SCR; 12 – датчик температуры и (или) датчик давления

Карбамат аммония хранится в контейнере 1, похожем на масляный фильтр. Небольшое количество дизельного топлива, проходящее сквозь эту канистру после нагрева до 60°C, заставляет карбамат аммония сублимировать в газообразный аммиак. Аммиак и дизельное топливо проходят сквозь масляный сепаратор. Топливо возвращается, а аммиак впрыскивается в выхлопную систему для взаимодействия с оксидами азота. Процесс не расходует топливо, а система с твердым карбаматом аммония занимает примерно треть пространства, которое требуется канистре с водным раствором мочевины. Система с твердым веществом проще в использовании и установке и не нуждается в подогреве во время хранения, чтобы не замерзнуть в холодную погоду, как раствор мочевины.

Система Solid SCR представлена двумя поколениями: системой Solid SCR 1-го поколения (рис. 10) и системой Solid SCR 2-го поколе-

ния (рис. 11). Принцип действия их идентичен, только есть небольшие различия в устройстве этих систем.

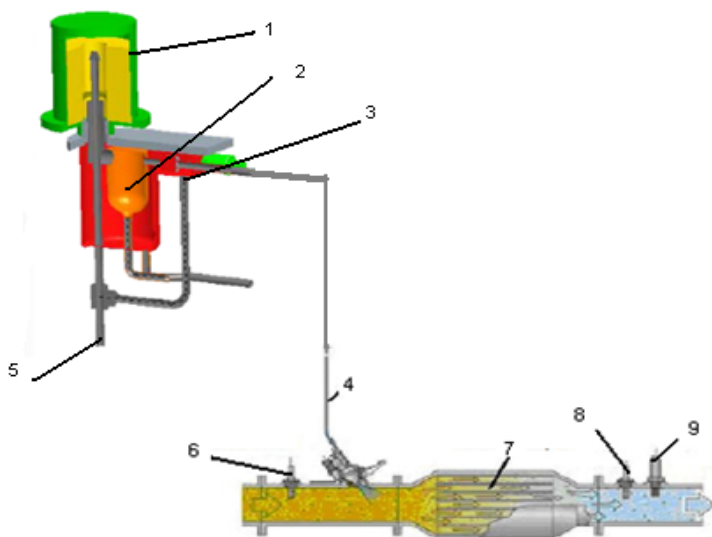


Рис. 11. Система Solid SCR 2-го поколения:

*1* – контейнер; *2* – клапан дозирования; *3* – датчик давления и (или) температуры; *4* – подающая трубка; *5* – насос питания; *6* – датчик температуры; *7* – катализатор SCR; *8* – датчик температуры; *9* – датчик ОГ

В системе Solid SCR 1-го поколения клапан дозирования *4* находится вне реактора *1*. В связи с этим необходима установка дополнительного обогревателя для этого клапана.

В системе Solid SCR 2-го поколения клапан дозирования *2* встраивается в среду теплоносителя, т. е. в реактор *1* и имеет такую же температуру, что и дизельное топливо. Дополнительный обогреватель не нужен.

В целом технология твердотельного SCR обеспечивает несколько преимуществ:

- высокая эффективность сокращения выбросов  $\text{NO}_x$  (даже при низких температурах выхлопных газов);
- поддержание экономически целесообразной инфраструктуры;

- возможность хранения небольшого количества аммиака на транспортном средстве;
- высокие преимущества в динамике дозирования;
- снижение потребления энергии;
- компактная упаковка и низкая стоимость.

Система SCR также может быть адаптирована на старые автобусы и грузовики с целью их модернизации в соответствии с современными стандартами по выбросам вредных веществ.

## **4. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ НОВЫХ СИСТЕМ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

### **4.1. Мочевина**

Мочевина (карбамид) – химическое соединение, диамид угольной кислоты.

Мочевина представляет собой белые или бесцветные кристаллы без запаха, легко растворимые в полярных растворителях: воде, спирте, жидком аммиаке, сернистом ангидриде. Нерастворим в неполярных растворителях (алканы, хлороформ).

Плотность карбамида составляет  $1,32 \text{ г/см}^3$ , температура плавления –  $132,7^\circ\text{C}$ , температура разложения –  $150\text{...}160^\circ\text{C}$ , температура замерзания – минус  $11^\circ\text{C}$ .

Химическая формула:  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ .

Карбамид при нормальных условиях пожаро- и взрывобезопасен, не токсичен. Выпускают карбамид двух марок: А – для использования в химической промышленности и животноводстве и Б – для использования в сельском хозяйстве.

### **4.2. Карбамат аммония**

Карбамат аммония производится непосредственно из  $\text{CO}_2$  и аммиака при давлении около 180 бар и температуре  $230^\circ\text{C}$ .

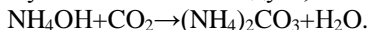
Карбамат аммония является побочным продуктом производства карбамида. В качестве базового для производства карбамида используются жидкий аммиак и газообразный  $\text{CO}_2$ .

Оба продукта вводятся в реактор. Стенки реактора более чем 27-метровой башни состоят в основном из двух металлов. Внешний слой выполнен из углеродистой стали, а внутренний – из нержавеющей стали с толщиной стенки до 6 мм.

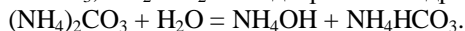
Под действием тепла (~ 230°C) и давления (~ 180 бар) образуется карбамат аммония. Используя обезвоживание в присутствии кислоты и тепла карбамат аммония превращается в мочевины и воду. При дополнительном обезвоживании и обработке получают белые гранулы.

Карбонат аммония (углекислый аммоний) –  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .

Аммоний (углекислый аммоний, аммоний карбонат) – бесцветное кристаллическое вещество. Хорошо растворяется в воде, легко разлагается при нагревании, неустойчив как на воздухе, так и в растворе:



Карбонат аммония – кристаллы белого, серого или розового цвета. Хорошо растворим в воде. Очень неустойчив как на воздухе, так и в растворе, так как уже при комнатной температуре выделяет аммиак, превращаясь в бикарбонат аммония  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ . При температуре 60°C быстро распадается на  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . Подвергается гидролизу:

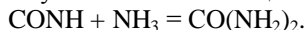


В пищевой промышленности классифицируются как эмульгаторы.

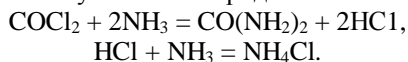
### 4.3. Способы производства карбамида

Разработано несколько способов производства карбамида.

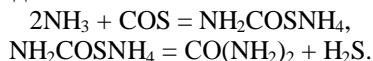
Карбамид может быть получен из аммиака и циановой кислоты:



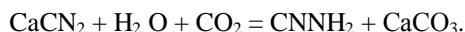
Кроме того, карбамид образуется взаимодействием фосгена и аммиака с одновременным получением хлорида аммония:



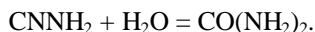
При взаимодействии аммиака с сероокисью углерода образуется тиокарбамат аммония, который разлагаясь при 100°C, образует карбамид и сероводород:



Цианамидный способ получения карбамида основан на разложении цианамид кальция двуокисью углерода с образованием цианамид:



В кислой среде при легком нагревании цианамид присоединяет воду, образуя карбамид:



Однако эти способы не нашли промышленного применения вследствие своей нерентабельности и трудности осуществления.

Изучался также способ производства карбамида из окиси углерода, серы и аммиака. Разработан способ получения карбамида обработкой газообразным аммиаком газов пиролиза кислого гудрона, содержащих окись углерода и серу. Проводились также исследования фотохимических реакций взаимодействия окиси углерода с аммиаком. В настоящее время карбамид в промышленном масштабе производится только прямым синтезом из аммиака и двуокиси углерода (рис. 12).

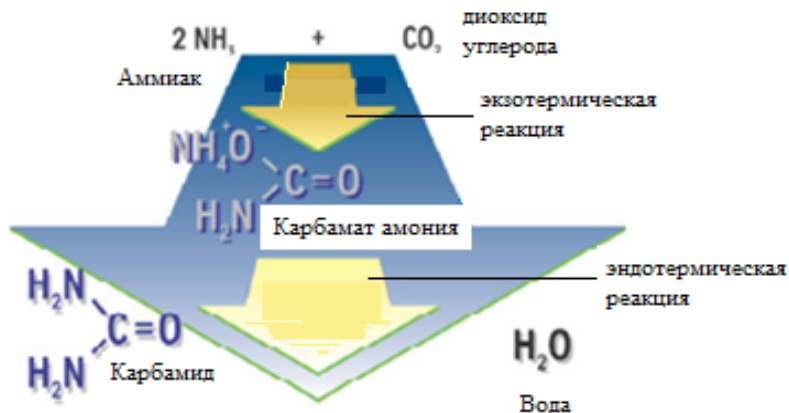
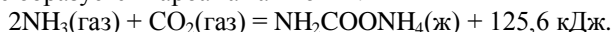


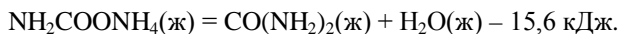
Рис. 12. Последовательность реакций, протекающих для синтеза карбамида

Синтез карбамида, впервые осуществленный А. И. Базаровым в 1870 г., протекает в две стадии:

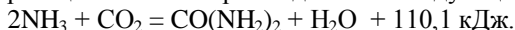
вначале образуется карбамат аммония:



Во второй стадии в результате отщепления воды образуется карбамид:



Суммарная реакция синтеза карбамида имеет следующий вид:



В технике этот способ получения мочевины является важнейшим.

Перспективным направлением использования карбамида является производство продукта AdBlue – 32,5 %-ного раствора карбамида, используемого для обработки отработавших газов дизельных двигателей. Применение данного раствора позволяет добиться соответствия состава выхлопных выбросов нормам Euro-4 и Euro-5. В этом случае более

предпочтительным является применение прилированного карбамида ввиду его физических свойств.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Решением проблемы уменьшения количества окислов азота стала технология снижения токсичности выхлопа SCR на основе раствора мочевины AdBlue, который используется как катализатор окислительных процессов. Эта технология получила название избирательной каталитической нейтрализации (Selective Catalytic Reduction), так как с помощью мочевины невозможно достичь снижения CO, углеводородов и сажи, которые удаляются другими способами. Поэтому применение систем SCR на двигателях тяжелой техники необходимо для достижения экологических нормативов Евро-4 и Евро-5 по выбросу вредных веществ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. О ж е р е л ь е в , М.Д. Выпускные системы. Технологии экологии / М.Д. Ожерельев // Автопарк 5 колесо. – 2011. – №1. – С. 33–35.
2. П а н ч и ш н ы й , В.А. Перспективные системы очистки отработавших газов дизелей / В.А. Панчишный, В.Д. Кутен, С.М. Моисеев // Основные средства. – 2009. – №9. – С. 21–23.
3. П и м е н о в , В.А. Экология. Обработка отработавших газов в системе выпуска / В.А. Пименов // Строительная техника и технологии. – 2009. – №2. – С. 17–19.
4. П р о т а с о в , С.Г. Чтобы легче дышалось. Системы очистки отработавших газов в системе выпуска / С.Г. Протасов // Основные средства. – 2009. – №1. – С. 10–15.
5. П р о т а с о в , С.Г. Первый раз в Euro-4 класс / С.Г. Протасов // Основные средства. – 2011. – №7. – С. 28–30.
6. С т е п а н о в , В.С. Экология «Европа втянулась в гонку стандартов» / В.С. Степанов // Автоперевозчик. – 2007. – №1. – С. 33–36.
7. Dosing Components for SCR-Systems // HILITE international inc. company. – 2005. – P. 1–13.
8. Fable, S. Selective Catalytic Reduction Urea Infrastructure Study / S. Fable, F. Kamakate, S. Venkatesh // National Renewable Energy Laboratory, NREL/SR- 540-32689. – 2002. – P. 57–71.
9. Garr, G. Advanced Urea SCR Catalysts for Automotive Applications / G. Garr // SAE paper 2001-01-0514, Detroit - United States. – 2001. – P. 1–4.
10. Kammerstetter, H. The Challenge of Precise Characterizing the Specific Large-Span Flows in Urea Dosing Systems for NOx Reduction / H. Kammerstetter, M. Werner. R. Doell, G. Kanters // SAE International. – 2008. – P. 1–11.
11. Konieczny, R. The Compact Catalyst System for NOx Reduction with Integrated Particulate Reduction / R. Brueck, R. Konieczny // MInNOx Conference, Berlin. – 2008. – P. 156–165.
12. Rice, M. Development of an Integrated NOx and PM Reduction Aftertreatment System: SCRiTM for Advanced Diesel Engines / M. Rice // SAE Paper No. – 2008-01-1321. – P. 85–101.
13. Selective Catalytic Reduction (Final Report). ACEA – Brussels. – 2003. – P. 24–43.
14. Sumiya, S. Catalytic Reduction of NOx and Diesel Exhaust / S. Sumiya, G. Muramatsu, N. Matsumura, K. Yoshida // SAE paper No. 920853. – 1992. – P. 65–78.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Система снижения токсичности отработавших газов с применением реагента AdBlue ( специальный активный реагент).....	4
1.1. Свойства системы снижения токсичности отработавших газов с применением реагента AdBlue.....	5
1.2. Некоторые сведения о системе снижения токсичности отработавших газов с применением реагента AdBlue.....	8
2. Система SCR (селективной каталитической нейтрализации).....	9
2.1. Устройство системы SCR.....	11
2.1.1. Устройство, подающее реагент.....	12
2.1.2. Форсунка для впрыска реагента.....	14
2.1.3. Микшер.....	15
2.2. Принцип работы системы SCR.....	16
3. Системы SCR без AdBlue.....	20
3.1. Система SCR Eaton.....	20
3.2. Система Solid SCR ( твердой селективной каталитической нейтрализации)	21
4. Материалы для новых систем снижения токсичности двигателей внутреннего сгорания.....	24
4.1. Мочевина.....	24
4.2. Карбамат аммония.....	24
4.3. Способы производства карбамида.....	25
Заключение.....	27
Литература.....	28

Учебное издание

**Карташевич** Анатолий Николаевич  
**Недосеко** Максим Александрович

НОВЫЕ СИСТЕМЫ СНИЖЕНИЯ  
ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ  
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Методические указания к лабораторной работе  
по дисциплине «Трактора и автомобили»

Редактор *Е. Г. Бутова*  
Технический редактор *Н. Л. Якубовская*  
Корректор *Л. С. Разинкевич*

Подписано в печать . . . . . Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Ризография. Гарнитура «Таймс». Усл. печ. л. . . . . Уч.-изд. л. . . . .  
Тираж 100 экз. Заказ

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
ЛИ № 02330/0548504 от 16.06.2009.  
Ул. Студенческая, 2, 213407, г. Горки.

Отпечатано в УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия».  
Ул. Мичурина, 5, 213407, г. Горки.