



НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Издается с января 2001 г.

9(93)
2008

Редакционный совет:

БАЛЫХИН Г. А.
БЕЛОВ С. В.
ЗАЛИХАНОВ М. Ч.
(председатель)
ПОПОВ П. А.
СОКОЛОВ Э. М.
СОРОКИН Ю. Г.
ТЕТЕРИН И. М.
ТИШКОВ К. Н.
УШАКОВ И. Б.
ФЕДОРОВ М. П.
АНТОНОВ Б. И.
(директор издательства)

Главный редактор
РУСАК О. Н.

Зам. главного редактора
ПОЧТАРЕВА А. В.

Ответственный секретарь
ПРОНИН И. С.

Редакционная коллегия:

ГЕНДЕЛЬ Г. Л.
ГРУНИЧЕВ Н. С.
ИВАНОВ Н. И.
КАЛЕДИНА Н. О.
КАРНАУХ Н. Н.
КАРТАШОВ С. В.
КРАСНОГОРСКАЯ Н. Н.
КСЕНОФОНТОВ Б. С.
КУКУШКИН Ю. А.
МАСТРЮКОВ Б. С.
МЕДВЕДЕВ В. Т.
НАЗАРОВ В. П.
ПАНАРИН В. М.
ПОЛАНДОВ Ю. Х.
ПОПОВ В. М.
СИДОРОВ А. И.
ФРИДЛАНД С. В.
ХАБАРОВА Е. И.
ЦХАДАЯ Н. Д.
ШВАРЦБУРГ Л. Э.

СОДЕРЖАНИЕ

ОХРАНА ТРУДА

Михайлов В. А., Сотникова Е. В., Карев С. В. Нормализация теплового состояния оператора транспортного средства локальным охлаждением 2

ОХРАНА ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ

Фесина М. И., Краснов А. В. Об используемых типах автомобильных звукоизоляционных материалов и некоторых приемах их модификационного структурирования. 10

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Виноградов И. С. Экспериментальные исследования спектров шума пыльных деревообрабатывающих станков 17
Овчаренко А. Г. Метод оценки пожарной опасности разрядов статического электричества при гравитационном течении порошкообразных материалов 19
Шашин А. В. Методический подход к установлению энергетически рационального и безопасного режима удаления выбросов взрывоопасных вредных веществ 25

БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Доронин С. В. Обоснование требований к живучести технологического оборудования 30

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Гасанова Ф. Г., Магомедова Д. Б., Алиев З. М. Очистка сточных вод от фенола электролизом при избыточном давлении кислорода 34
Кадысева А. А. Энергетические характеристики анаэробных систем обработки органосодержащих сточных вод и осадков очистных сооружений. 36
Ким К. К., Спичкин Г. Л., Терентьев С. В. Озоновые прачечные 39
Маниева В. И., Батоева А. А., Сизых М. Р. Кондиционирование сточных вод молочных предприятий 43
Никифоров Л. Л., Ермолаев М. И. К вопросу обработки осадка сточных вод мясоперерабатывающих предприятий 45
Чикина Н. С., Мухамедшин А. В., Зенитова Л. А. Использование сорбента на основе пенополиуретана и шелухи гречихи при ликвидации разливов углеводородов 49

СТАНДАРТИЗАЦИЯ

О новом государственном стандарте "Шум. Определение характеристик глушителей при испытаниях на месте установки". 54
Приложение. Ванаев В. С., Козьяков А. Ф. Безопасность жизнедеятельности. Терминология: Словарь-путеводитель. Часть IV. Термины и понятия законодательных актов и нормативных документов Минздравсоцразвития, Росстроя и ГСС. Выпуск 1. А—Д.

Журнал входит в "Перечень ведущих и рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук".

УДК 629.114.2.004-1

В. А. Михайлов, д-р техн. наук, МГТУ "МАМИ",
Е. В. Сотникова, канд. хим. наук, "МАТИ" РГТУ им. К. Э. Циолковского,
С. В. Карев, инж., МАДИ (ГТУ)

Нормализация теплового состояния оператора транспортного средства локальным охлаждением

Рассмотрена и проанализирована технология нормализации теплового состояния оператора путем использования устройств локального действия с учетом специфики объекта применения. Выявлена целесообразность приоритетного использования в кабинах транспортных средств, работающих в экстренных условиях, водоиспарительных воздухоохладителей локального действия, обладающих необходимой эффективностью при небольших энергозатратах.

Mikhailov V. A., Sotnikova E. V., Karev S. V.
Normalization of a thermal condition of the operator of a vehicle by local cooling

The technology of normalization of a thermal condition of the operator is considered and analysed by use of devices of local action in view of specificity of object of application. The expediency of priority use in cabins of the vehicles working in emergency conditions, water-evaporation air coolers of local action having necessary efficiency at small energy consumption is revealed.

Защита водителей грузовых автомобилей, автобусов и других подобных транспортных средств в городских транспортных потоках от воздействия загрязнений и высокой температуры окружающей среды может быть осуществлена путем использования в кабине водоиспарительного охладителя-очистителя воздуха, обеспечивающего нормируемые параметры микроклимата по всему объему [10]. Вместе с тем, в экстремальных ситуациях при работе автомобиля в городских транспортных потоках, вызванных заторами, в которых машины стоят относительно длительный период времени и их двигатель внутреннего сгорания вынужденно выключен, охладитель воздуха, даже при энергозатратах 0,3 кВт [10], своих функций в полной мере выполнять не может из-за отсутствия необходимого количества электрической энергии аккумуляторной батареи машины на его привод. В связи с этим требуется изыскать альтернативное решение вопроса нормализации теплового состояния водителя в рассматриваемых условиях, имея в виду необходимость существенного снижения энергозатрат на привод воздухоохладителя до величины порядка 60 Вт [9].

При объемном кондиционировании воздуха охладитель должен иметь холодопроизводительность, рассчитанную на ассимиляцию теплопритоков, характеризующих тепловую нагрузку кабины Q_{Π} в секунду, т. е. в единицах мощности, Вт [11, с. 28]:

$$Q_{\Pi} = Q_{\text{вн}} + Q_{\text{огр}} + Q_{\text{инс}} + Q_{\text{инф}} + Q_{\text{ч}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{вн}}$ — тепловыделения внутренних механизмов; $Q_{\text{огр}}$, $Q_{\text{инф}}$ — поступления теплоты соответственно за счет передачи через ограждения и инфильтрации воздуха через неплотности ограждения; $Q_{\text{инс}}$ — поступления теплоты за счет солнечной радиации; $Q_{\text{ч}}$ — поступление теплоты за счет тепловыделений человека.

Полная мощность по холодопроизводительности (Вт) по отведенной явной теплоте из обрабатываемого в охладителе воздуха определяется выражением [11, с. 47]

$$Q_0 = c_p \rho_0 L_0 (t_{\text{н}} - t_0), \quad (2)$$

где c_p — теплоемкость воздуха, Дж/(кг · К); L_0 — объемная подача воздуха из охладителя, м³/с; $t_{\text{н}}$ — начальная температура обрабатываемого воздуха, °С; t_0 — температура воздуха после охладителя, °С; ρ_0 — плотность воздуха при температуре t_0 , кг/м³.

В этом случае величину подачи воздуха из охладителя определяют, преобразуя равенство (2) по следующему выражению:

$$L_0 = Q_0 / [c_p \rho_0 (t_{\text{н}} - t_0)]. \quad (3)$$

Оценка уровня энергетического совершенства охладителей воздуха по отношению к потребляемой ими мощности N_0 (Вт) производится с помощью холодильного коэффициента [11, с. 53]:

$$\eta_0 = Q_0 / N_0. \quad (4)$$

Тепловая нагрузка кабины по уравнению (1) является величиной переменной, в значительной степени зависящей от внешней температуры и объема кабины, что связано с площадью прозрачных и непрозрачных ограждений (из-за незначительной величины тепловыделений внутренних механизмов ею в современных кабинах пренебрегают). Что же касается величины теплопоступлений от водителя $Q_{\text{ч}}$, то она считается постоянной для кабины любого объема и обуславливается тепловыделениями чело-

века, связанными с его физическим напряжением при выполнении работ различной категории тяжести. Причем по данным авторов работы [8, с. 32] полные тепловыделения человека практически не зависят от температуры окружающего воздуха, если она выше 20 °С. Поскольку деятельность водителей грузовых автомобилей, автобусов и других подобных машин относится к работам средней тяжести (категория II б), то по данным авторов работы [5, с. 329] тепловыделения человека здесь составляют 233...290 Вт.

Как известно [5, с. 329] теплонапряженность помещений характеризуется удельной (приходящейся на 1 м³) тепловой нагрузкой. К незначительным избыткам явной теплоты относятся избытки, не превышающие 23 Вт/м³, с учетом проникающей в помещение солнечной радиации. Когда удельная тепловая нагрузка превышает указанную величину, такие помещения относят к категории "горячих цехов". Если учесть, что объем современных кабин транспортных средств составляет не более 5 м³, то даже тепловыделения водителя в 233 Вт обуславливают их теплонапряженность, в два раза превышающую 23 Вт/м³, а с учетом всех теплопритоков по формуле (1) это превышение составляет более чем на порядок [11, с. 31]. Указанное является спецификой мобильных объектов, обуславливающей необходимость выбора других путей нормализации теплового состояния водителя, отличающихся от традиционного объемного кондиционирования.

Вместе с тем признано, что в стационарных "горячих цехах" применение объемного кондиционирования бессмысленно, поскольку задача по нормализации теплового состояния оператора требует колоссальных энергозатрат, связанных с ассимиляцией теплопритоков и снижением температуры воздуха до необходимого уровня во всем объеме помещения. Поэтому в таких случаях используют местную вентиляцию, являющуюся разновидностью устройств локального действия, при которой осуществляется "душирование" оператора направленным потоком охлажденного чистого воздуха, подачу которого рассчитывают на достижение только местного эффекта с холодопроизводительностью, достаточной для ассимиляции тепловыделений человека [13, с. 263]. Следовательно, применение такого метода нормализации теплового состояния водителя машины также можно считать правомерным.

Как отмечалось, деятельность водителя относится к категории средней тяжести. К тому же она отличается ярко выраженным прерывистым характером нахождения его в кабине и вне ее в течение рабочей смены. В связи с этим уровень требований к параметрам воздушной среды на рабочем месте относится к категории "низкий" или "средний" [11, с. 17],

а при "душировании" оператора потоком воздуха неравномерность температуры по объему помещения не нормируется, а принимаются во внимание лишь параметры воздуха в области "голова—грудь" [13, с. 264].

В последние 10 лет появилась обширная информация о зарубежных разработках локальных водоиспарительных охладителей для салонов транспортных средств, в том числе, и легковых автомобилей, хотя на них широко применяют хладоновые кондиционеры. При этом для расширения сбыта локальные охладители выпускаются в модификации двойного назначения — на постоянный ток для транспортных средств, и на переменный ток для помещений стационарных объектов. Так в США производится широкая номенклатура таких изделий в виде переносных агрегатов, как двойного назначения (на 12 и 110 В), так и только на 12 В с подключением их в прикуриватель кабины автомобиля. При этом автомобильная модификация охладителя при отключенном двигателе автомобиля и полностью заряженной его аккумуляторной батарее (105 А·ч) может работать непрерывно от 8 до 17 ч в режиме средней или пониженной подачи воздуха.

Подобное устройство "Baby Cool", разработанное фирмой "SAMA" во Франции, в модификациях на 12 и 220 В имеет энергозатраты 50 Вт, сухую массу 5 кг при объеме заливаемой в него воды 3 л, габаритные размеры 220 × 450 × 450 мм. У других аналогичных аппаратов, производимых в Германии, Швейцарии и Китае, потребляемая мощность составляет от 45 до 70 Вт в зависимости от модели. При этом такие охладители имеют относительно низкую стоимость, порядка 95...110 долл. США (на порядок меньше стоимости хладоновых кондиционеров), что делает их доступными населению России. Небольшие же энергозатраты таких охладителей отвечают указанному выше требованию.

Вместе с тем, исследования зарубежных авторов [14] показывают, что даже при использовании в помещении стационарных объектов систем объемного кондиционирования на базе холодильных машин качество внутреннего воздуха во многих случаях является неудовлетворительным, хотя при этом формально соблюдаются нормируемый микроклимат. Прогрессивным направлением в части обеспечения нормальной жизнедеятельности считается применение на рабочих местах подачи чистого охлажденного воздуха в количестве порядка 110 м³/ч непосредственно в зону дыхания каждого оператора. Таким образом, применение локального охлаждения оператора с целью нормализации его теплового состояния в настоящее время является перспективным.

Необходимо отметить, что в нашей стране еще в 1970-х годах были разработаны оригинальные тер-



моэлектрические охладители с локальной подачей на водителя воздуха до $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ с мощностью по холодопроизводительности 410 Вт при энергозатратах до 1000 Вт [12, с. 167], которые прошли успешное испытание на мощных тракторах, автосамосвалах и автобусах. Однако из-за высоких энергозатрат таких воздухоохлаждателей при $\eta_0 = 0,41$ на других машинах они распространения не получили в связи с отсутствием на них необходимого источника электроэнергии.

В то же время в аппаратах водоиспарительного действия процесс охлаждения воздуха происходит без дополнительных энергозатрат, поскольку обусловлен психрометрической разностью между его начальными температурами по сухому и мокрому термометрам, а энергия необходима лишь на электропривод вентилятора и водяного насоса. Поэтому, по данным авторов работы [9], такие воздухоохлаждатели, например, для климатических условий Москвы, имеют $\eta_0 = 5$.

Это качество предопределяет необходимость проведения исследований в части решения рассматриваемой задачи, и здесь прежде всего необходимо иметь в виду, что при оценке эффективности действия локального водоиспарительного охлаждения, с точки зрения нормализации теплового состояния водителя, применение критериев объемного кондиционирования неправомерно.

Основным условием обеспечения нормального теплового состояния водителя является сохранение равновесия между количеством теплоты, непрерывно вырабатываемой его организмом, и теплотой, отводимой от него в окружающую среду посредством локального обдува. Полное количество выделяемой человеком теплоты $Q_{\text{ч}}$ складывается из двух составляющих: явной теплоты $Q_{\text{чя}}$, конвективная отдача которой зависит от температуры, скорости движения воздуха и теплозащитных свойств одежды, и скрытой теплоты $Q_{\text{чс}}$, отдаваемой организмом за счет влаговыделений организма и зависящей от температуры, скорости движения, относительной влажности воздуха, а также теплозащитных свойств одежды.

Поскольку одежда препятствует отдаче явной теплоты $Q_{\text{чя}}$, одетый водитель при выполнении работы увеличивает выделение влаги и, тем самым, теплоотдачу скрытой теплоты $Q_{\text{чс}}$. Если одежду частично снять или заменить ее на более легкую, то отдача явной теплоты $Q_{\text{чя}}$ увеличится, а потоотделение и $Q_{\text{чс}}$ при этом уменьшатся. Полное же количество выделяемой теплоты в обоих случаях будет практически одинаковым.

Поскольку при локальной подаче охлажденный воздух практически не перемешивается с воздухом кабины, а направляется непосредственно на води-

теля, должно учитываться требование ГОСТ 12.1.005—88 [1] о том, что при температуре воздуха $t_0 = 25^\circ\text{C}$ и ниже его допустимая относительная влажность φ_0 должна составлять не более 70 %. Это важно в нашем случае, если учесть, что при адиабатном водоиспарительном процессе обрабатываемый воздух увлажняется, и при этом степень снижения его температуры характеризуется коэффициентом адиабатного увлажнения [9, с. 37]:

$$E_a = \frac{(t_n - t_0)}{(t_n - t_{\text{мн}})}, \quad (5)$$

где $t_{\text{мн}}$ — начальная температура обрабатываемого воздуха по мокрому термометру, $^\circ\text{C}$.

Установлено [9, с. 37], что указанная величина φ_0 достигается при E_a на уровне 0,6...0,7. Тогда по преобразованному выражению (5) можно определить

$$t_0 = t_n - E_a(t_n - t_{\text{мн}}). \quad (6)$$

Например, по данным авторов работы [9], для Москвы расчетные $t_n = 28,5^\circ\text{C}$ и $t_{\text{мн}} = 18,8^\circ\text{C}$ ($\varphi_n = 39\%$), тогда по выражению (6) можно определить, что при $E_a = 0,7$ $t_0 = 21,7^\circ\text{C}$. Поскольку при $t_0 = 21,7^\circ\text{C}$ и $\varphi_0 = 70\%$ потоотделение человека весьма незначительно, то его теплоотдача $Q_{\text{п}}$ в окружающую среду будет происходить, в основном, за счет конвекции аналогично $Q_{\text{чя}}$. В связи с этим здесь правомерно использовать эмпирическое выражение [13, с. 43] для определения теплоотдачи, Вт:

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{чя}} = \beta_{\text{п}}\beta_{\text{од}}(2,5 + 10,3\sqrt{v_{\text{в}}})(t_{\text{ч}} - t_0), \quad (7)$$

где $\beta_{\text{п}}$ — коэффициент, учитывающий интенсивность работы и равный: 1 — для легкой работы; 1,07 — для работы средней тяжести; 1,15 — для тяжелой работы; $\beta_{\text{од}}$ — коэффициент учитывающий теплозащитные свойства одежды и равный: 1 — для легкой одежды; 0,65 — для обычной одежды; 0,4 — для утепленной одежды; $v_{\text{в}}$ — скорость движения воздуха около оператора, м/с; $t_{\text{ч}}$ — температура поверхности тела человека, $t_{\text{ч}} = 35^\circ\text{C}$.

Поскольку работа водителя самоходной машины относится к категории средней тяжести и здесь $\beta_{\text{п}} = 1,07$, а в теплый (жаркий) период года он работает в легкой одежде ($\beta_{\text{од}} = 1$), в итоге имеем:

$$Q_{\text{п}} = 1,07(2,5 + 10,3\sqrt{v_{\text{в}}})(35 - t_0). \quad (8)$$

Из этого выражения следует, что чем меньше t_0 по сравнению с минимальной температурой поверхности тела человека $t_{\text{ч}} = 35^\circ\text{C}$, тем отведение теплоты конвекцией интенсивнее. Поэтому во избежание его переохлаждения скорость $v_{\text{в}}$ должна быть снижена до необходимого уровня. В нашем случае

расчетная скорость определяется по преобразованному выражению (8):

$$v_B = \left[\frac{Q_{\Pi}}{11,02(35 - t_0)} - 0,243 \right]^2. \quad (9)$$

Тогда при $Q_{\Pi} = 233...290$ Вт и при $t_0 = 21,7$ °С получим, что $v_B = 1,8...3,0$ м/с. Однако в соответствии с рекомендациями авторов работы [7, с. 45] подвижность воздуха около оператора должна составлять 0,5...1,5 м/с, что согласуется с требованиями ГОСТ 12.2.120—88 [2] и ГОСТ Р 50993—96 [4], причем по требованию последнего перепад Δt между температурой в области "голова — грудь" водителя и температурой окружающей среды не должен быть больше 8 °С для исключения простудных заболеваний.

Если в рассматриваемом случае $\Delta t = 6,8$ °С, и указанное условие по этому показателю выполняется, то максимальная скорость движения воздуха в дальнейшем должна быть ограничена величиной 1,5 м/с. Таким образом, в нашем случае функциональную эффективность действия локального водоиспарительного охладителя следует оценивать по комплексному показателю, учитывающему одновременное совместное действие на водителя температуры (ограничение по $\Delta t = t_n - t_0$), относительной влажности (ϕ_0 не более 70 %) и скорости движения воздуха (v_B не более 1,5 м/с).

Вместе с тем, если v_B ограничить величиной 1,5 м/с вместо, например, 3 м/с в соответствии с расчетом по формуле (9), то должно измениться значение Q_{Π} , определяемое по формуле (8), и оно составит 201 Вт вместо принятых ранее 290 Вт (разница 89 Вт). Однако это не значит, что тепловыделения человека снизятся, хотя они должны быть постоянными. Это, на первый взгляд, несоответствие обусловлено тем, что в расчетах Q_{Π} было принято условие учитывать теплоотдачу скрытой теплоты $Q_{\text{сч}}$ только за счет потоотделения, которое при $t_0 = 21,7$ °С и $\phi_0 = 70$ %, по существу, не происходит. Однако, в этом случае не блокируется теплоотдача организма за счет влаговыведений с нагревом воздуха при дыхании водителя $Q_{\text{пд}}$.

Для оценки скрытой теплоты тепловыделений $Q_{\text{пд}}$ (Вт) по величине влаговыведений человека при дыхании G_w (г/ч) с учетом рекомендации авторов работы [11, с. 63] используем выражение:

$$Q_{\text{пд}} = G_w(2500 + 1,8t_w), \quad (10)$$

где t_w — температура испаряемой воды, которая в нашем случае принимается равной 36,8 °С (средняя внутренняя температура тела оператора).

Что же касается влаговыведений человека при дыхании, то, по данным авторов работы [8, с. 34], при $t_0 = 21,7$ °С их величину можно принять по-

рядка 38 г/ч при общих влаговыведениях до 155 г/ч, тогда по формуле (10) получим, что $Q_{\text{пд}} = 97$ Вт, что достаточно близко к полученной величине 89 Вт. Это служит иллюстрацией способности терморегуляции организма человека сохранять баланс "тепловыделения — теплоотдача" при изменении внешних условий.

Дополнительно к этому приведем другой пример такой способности человека, связанный с экстремальной ситуацией, когда охладитель воздуха в кабине отсутствует и ее пассивная тепловая защита неудовлетворительна, в результате чего температура воздуха в кабине t_k приближается к 35 °С. Здесь теплоотдача организма человека путем конвекции резко сокращается, а при $t_k = 35$ °С и выше становится вообще невозможной. Однако это не значит, что отвод теплоты от тела водителя вообще блокируется полностью, поскольку остается путь теплоотдачи за счет влаговыведений, которые должны соответственно возрасти (обильное потоотделение, учащенное дыхание), чтобы сохранить тепловой баланс по величине Q_{Π} . Вместе с тем, такая ситуация, по существу, является дискомфортной при выполнении работы средней тяжести.

Что же касается необходимой подачи охлажденного воздуха в объеме L_0 , то при известных значениях $Q_0 = 233...290$ Вт, $c_p = 1005$ Дж/(кг · К), $\rho_0 = 1,2$ кг/м³, $t_n = 28,5$ °С и $t_0 = 21,7$ °С она по выражению (3) составит 102...127 м³/ч (в среднем 115 м³/ч). Тогда при максимальной холодопроизводительности 290 Вт при $\eta_0 = 5$ энергозатраты охладителя составят по преобразованному выражению (4):

$$N_0 = Q_0/\eta_0 = 58 \text{ Вт}. \quad (11)$$

Полученная величина энергозатрат приемлема с позиции обеспечения электропитания охладителя от аккумуляторной батареи машины.

Вместе с тем встает вопрос оценки физиологического воздействия локального охладителя на водителя при установленных значениях t_0 , ϕ_0 и v_0 с теоретической и практической позиций, и здесь необходимо иметь в виду следующее.

Исходя из субъективных ощущений человека, физиологами были введены в практику условные количественные показатели в виде так называемых "эффективно-эквивалентных температур" [7, с. 55], отраженных на соответствующей номограмме, вариант которой для нашего случая представлен на рис. 1. На ней выделена зона комфорта (зона хорошего самочувствия водителя), в которую должны попасть показатели распределенной струи охлажденного в локальном аппарате воздуха при подаче в область "голова — грудь" водителя. Эффективная температура в теплый период года здесь находится в диапазоне 17...22 °С [7, с. 55]. Оценку возможности или

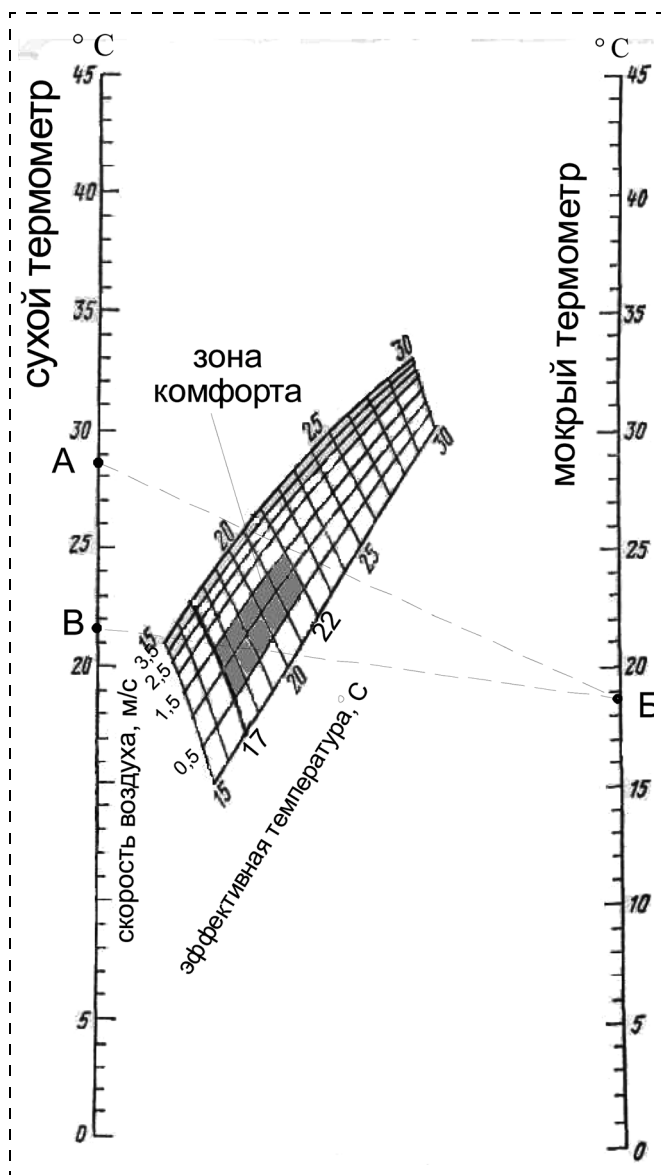


Рис. 1. Номограмма эффективно-эквивалентных температур

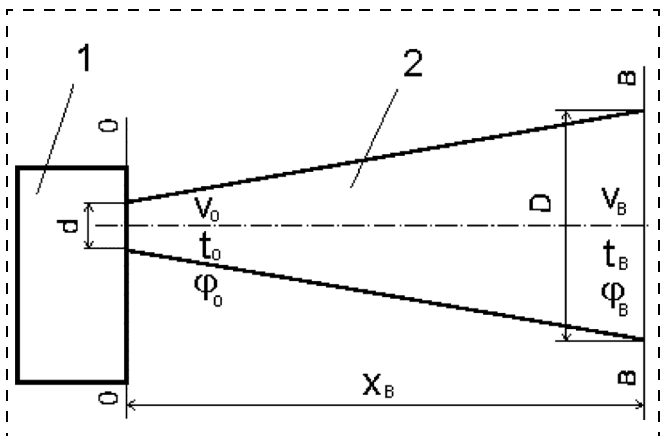


Рис. 2. Схема воздействия потока воздуха в локальной системе "охладитель—оператор": 1 — охладитель воздуха; 2 — поток воздуха

невозможности обеспечения нормального состояния водителя по такой номограмме производим следующим образом.

Прежде всего, оценим ситуацию на рабочем месте водителя, когда охладитель отсутствует, и его локальный обдув осуществляется потоком воздуха, имеющим температуру $t_H = 28,5^\circ\text{C}$. Это, например, имеет место в кабине тракторов ВТЗ 2048А, широко использующихся в условиях Москвы в качестве коммунальных машин. Здесь установлен вентилятор-пылеотделитель ВПК-150 [12, с. 139] с номинальной подачей $180\text{ м}^3/\text{ч}$, который, в соответствии с ГОСТ 12.2.120—88 [2], обеспечил около водителя подвижность воздуха не более $1,5\text{ м/с}$. В этом случае температура воздуха по сухому термометру в области "голова — грудь" водителя составляет $t_H = 28,5^\circ\text{C}$, а по мокрому $t_{МК} = 18,8^\circ\text{C}$.

На номограмме между показаниями этих двух термометров (точки А и Б на соответствующих шкалах) проводится прямая линия, согласно которой в зону комфорта мы не попадаем. Имеет место лишь приближение к ее правому верхнему углу при предельно допустимых $v_B = 1,5\text{ м/с}$ и эффективной температуре 22°C . Такая ситуация на рабочем месте водителя для расчетных климатических условий Москвы является критической, свидетельствующей о необходимости охлаждения подаваемого на водителя воздуха.

При использовании локального охладителя, параметры воздуха которого характеризуются указанными ранее $t_0 = 21,7^\circ\text{C}$ и $t_{МК} = 18,8^\circ\text{C}$, соответствующее построение на номограмме (прямая линия между точками В и Б) показывает, что на ее пересечении с изогнутыми линиями различных скоростей движения воздуха выявляется попадание в зону комфорта при $v_B = 1,5\text{ м/с}$ при эффективной температуре около 17°C , а при $v_B = 0,5\text{ м/с}$ — при эффективной температуре около $19,5^\circ\text{C}$. Поскольку это укладывается в диапазон зоны комфорта, можно считать, что при указанных параметрах воздушного потока, обдувающего область "голова—грудь" водителя, нормализация его теплового состояния теоретически в необходимой мере обеспечивается.

Вместе с тем требуется ответить на вопрос, каким образом следует распределить выходящий из охладителя воздушный поток с параметрами L_0 , t_0 и ϕ_0 , чтобы в области "голова—грудь" водителя были достигнуты необходимые указанные выше параметры воздуха. Для решения такой задачи используем рекомендации авторов учебника [13, с. 101—129].

На рис. 2 представлена принципиальная схема воздействия потока воздуха в локальной системе "охладитель—оператор".

Воздушный поток, выходящий из охладителя через отверстие диаметром d со скоростью v_0 и имею-



щий температуру t_0 и относительную влажность ϕ_0 (плоскость 0—0), преодолев расстояние x_B , при достижении области "голова — грудь" оператора (плоскость В—В) частично рассеивается. Как указывалось ранее, для нормализации теплового состояния водителя в плоскости В—В сочетание температуры t_B , относительной влажности ϕ_B и скорости воздуха v_B должно соответствовать значениям, обусловленным зоной комфорта на номограмме эффективно-эквивалентных температур на рис. 1.

В охладителе применяют воздухораспределительную решетку, закрывающую его выпускное отверстие и служащую, в основном, для корректировки направления воздушной струи. Как указывается в учебнике [13, с. 132], при выпуске потока воздуха через такую решетку отдельные его струи после поджата в самой решетке начинают расширяться, а далее они сливаются и на относительно небольшом расстоянии от решетки формируются в общий сплошной поток, который ведет себя так же, как если бы решетка отсутствовала. В связи с этим, при дальнейшем анализе действие решетки можно не учитывать.

Поскольку в нашем случае речь идет о распределительной решетке, работающей в свободной осесимметричной слабо охлажденной струе, то кинематическая характеристика последней определяется выражением [13, с. 117]:

$$M = 6,88\Theta f v_0 \sqrt{F_d}; \quad (12)$$

а тепловая характеристика —

$$N = 5,17 \frac{\Theta}{f} \Delta t_0 \sqrt{F_d}, \quad (13)$$

где $\Theta = \sqrt{\rho_0/\rho_{\text{окр}}}$ (здесь ρ_0 и $\rho_{\text{окр}}$ — плотность воздуха, кг/м^3 , соответственно в начале истечения струи и в окружающем пространстве); f — поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность профиля скоростей в начале истечения; F_d — площадь выпускного отверстия, м^2 .

В нашем случае ρ_0 и $\rho_{\text{окр}}$ примерно равны (ρ_0 при температуре $t_0 = 21,7^\circ\text{C}$ составляет $1,2 \text{ кг/м}^3$ и при температуре $t_{\text{окр}} = 28,5^\circ\text{C}$ соответственно $1,17 \text{ кг/м}^3$), в связи с чем принимаем $Q = 1$. Что же касается величины f , то по данным работы [13, с. 118] для нашего случая она также равняется 1. Тогда имеем:

$$M = 6,88 v_0 \sqrt{F_d}; \quad (14)$$

$$N = 5,17 \Delta t_0 \sqrt{F_d}. \quad (15)$$

Кроме того, по данным работы [13, с. 117], могут быть использованы следующие формулы для расчетных величин параметров приточной струи:

для скорости воздуха по оси струи:

$$v_{\text{ос}} = M/x_B, \quad (16)$$

для избыточной температуры воздуха по оси струи:

$$\Delta t_{\text{ос}} = N/x_B. \quad (17)$$

Поскольку в нашем случае расстояние x_B относительно невелико (порядка $0,7 \dots 1 \text{ м}$), то считается [13, с. 119], что перепад температуры здесь по оси струи практически отсутствует ($t_0 = t_B$). Поэтому в дальнейшем будем учитывать лишь кинетическую характеристику струи по выражению (14).

Поскольку на указанном расстоянии x_B кинетическая характеристика струи сохраняется постоянной (потери относительно невелики) [13, с. 119], можно считать, что соблюдается равенство:

$$v_0 \sqrt{F_d} = v_B \sqrt{F_D}, \quad (18)$$

где F_D — площадь "пятна контакта" диаметром D воздушного потока с телом человека, м^2 .

В силу рассеивания потока воздуха скорость v_B будет меньше v_0 . Для установления закономерности изменения скорости воздуха используем данные [13, с. 124], указывающие, что угол расширения струи воздуха в образующемся усеченном конусе после решетки составляет примерно 16° . Проведя необходимые расчеты получим:

$$D = d + 2x_B \text{tg} 8^\circ. \quad (19)$$

Имея в виду, что в реальном охладителе, разработанном в МАДИ (ГТУ), принята воздухораспределительная решетка с $d = 0,14 \text{ м}$, определим по этой формуле значение D при x_B равном $0,7; 0,8; 0,9; 1,0$ и $1,1$, что отражено в табл. 1.

Вместе с тем, необходимо знать величину скорости воздуха v_B в плоскости В—В (см. рис. 2) при различных значениях D , которую можно определить, преобразовав формулу (18):

$$v_B = v_0 \sqrt{F_d/F_D}. \quad (20)$$

При этом v_0 вычисляется по формуле:

$$v_0 = L_0/F_d. \quad (21)$$

При максимальной величине $L_0 \approx 130 \text{ м}^3/\text{ч}$ получено $v_0 = 2 \text{ м/с}$.

Результаты расчетов обобщены в табл. 1 и представлены в виде соответствующих графиков на рис. 3.

Таблица 1

Результаты расчетов

$x_B, \text{ м}$	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
$D, \text{ м}$	0,347	0,376	0,404	0,432	0,460
$F_D, \text{ м}^2$	0,0945	0,111	0,128	0,146	0,166
$v_B, \text{ м/с}$	0,87	0,80	0,74	0,70	0,65

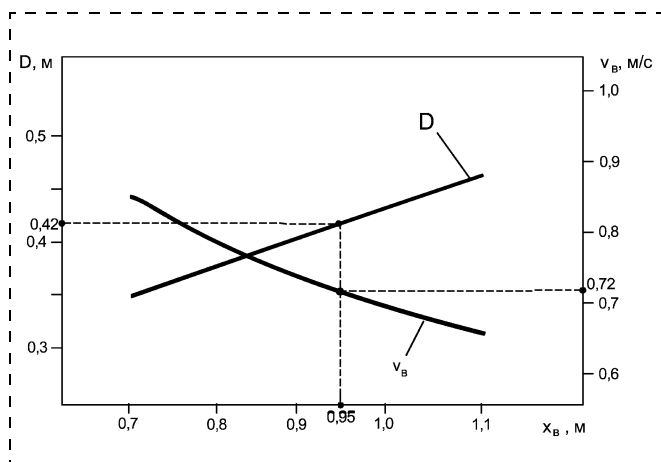


Рис. 3. Изменение D и v_B в зависимости от расстояния x_B от воздухораспределительной решетки охладителя

По практическим данным, рациональная величина диаметра "пятна контакта", накрывающего область "голова—грудь", D воздушного потока с телом человека должна составлять 0,4...0,45 м. Приняв среднее значение $D = 0,42$ м и отложив его на соответствующей шкале рис. 3, путем построения определим, что рациональное расстояние x_B от воздухораспределительной решетки до оператора должно составлять в нашем случае порядка 0,95 м. При этом скорость воздушного потока в области "голова—грудь" водителя будет обеспечена на уровне $v_B = 0,72$ м/с, что приемлемо. Указанная рекомендация по параметру x_B принята для реализации в последующих натурных экспериментах.

В МАДИ (ГТУ) проведены экспериментальные исследования по оценке эффективности действия опытного водоиспарительного локального охладителя с номинальной производительностью $120 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $E_a = 0,62$. Согласно рекомендациям [3, 6] оценка теплового состояния водителя проводилась по его субъективному ощущению по семибалльной шкале от минус 3 до плюс 3, где минус 3 соответствует ощущению "очень холодно", минус 2 — "холодно", минус 1 — "прохладно", 0 — "хорошо", плюс 1 — "тепло", плюс 2 — "очень тепло", плюс 3 — "жарко".

Таблица 2
Результаты оценки теплового состояния испытуемых

Тепловые режимы			
Без охлаждения		С охлаждением	
Баллы	Число людей	Баллы	Число людей
Плюс 1	17	Плюс 1	3
Плюс 2	3	0	16
Плюс 3	—	Минус 1	1

Испытуемый оценивал свое тепловое состояние дважды — до включения аппарата, а затем после его включения и достижения адаптации к локальному воздействию охлажденного воздуха в течении 15 мин.

В процессе эксперимента в стационарных условиях с участием 20 испытуемых температура воздуха в помещении составляла $t_{\text{окр}} = 27,6...29,3$ °С при среднем значении относительной влажности $\phi_{\text{окр}} = 31,4$ %, что достаточно близко к указанным ранее расчетным t_H и ϕ_H . Испытуемые в положении сидя располагались на расстоянии 0,9...1,0 м от воздухораспределительной решетки аппарата. Результаты эксперимента отражены в табл. 2.

Как следует из приведенных данных, подавляющее число испытуемых (85 %) положительно оценили действие локального охлаждения, что вполне приемлемо, так как по данным источника [6] считается удовлетворительным, если уровень теплового комфорта будет оценен положительно не менее 80 % лиц, присутствующих в помещении. Остальные же испытуемые дали оценку своего теплового состояния при локальном охлаждении как "тепло" или "очень тепло". Это подтверждает мнение [14] о том, что на одни и те же температурные условия люди реагируют неодинаково.

Вместе с тем, указанный эксперимент, проводившийся в стационарных условиях, отражал изменение теплового состояния испытуемых, когда они не выполняли физической работы, идентичной деятельности водителя транспортного средства. Поэтому для объективного ответа на вопрос о целесообразности применения локального охлаждения на мобильном объекте проведены натурные испытания аппарата в реальных условиях эксплуатации.

Объектом применения локального охладителя являлась кабина водителя городского маршрутного автобуса ЛИАЗ 5256. Производительность по воздуху аппарата составляла $110...120 \text{ м}^3/\text{ч}$ при коэффициенте адиабатного увлажнения $E_a = 0,62$ с энергозатратами не более 60 Вт при номинальном напряжении 12 В.

Испытания проводились в период июнь—август 2007 г. в течении 20 рабочих смен с участием пяти водителей. Температура наружного воздуха в течение рабочей смены с 9 до 18 часов составляла $21,3...34,6$ °С, а в кабине на удалении от охладителя — порядка $21,0...28,7$ °С. Оценка теплового состояния водителей осуществлялась по указанной выше методике и субъективно ими оно признано как "прохладно" в начале рабочей смены и "хорошо" во второй половине дня, когда температура наружного воздуха была более высокой по сравнению с утренней. При выключенном охладителе водители во второй половине дня оценивали свое состояние как "очень тепло" и "жарко".

Таким образом, на основании всего комплекса теоретических и экспериментальных исследований можно сделать вывод о целесообразности использования в кабинах транспортных средств, работающих в указанных выше экстремальных городских условиях, водоиспарительных воздухоохладителей локального действия как достаточно эффективного средства нормализации теплового состояния водителей.

Необходимо отметить также следующее. Наряду с нормализацией теплового состояния водителя, локальный водоиспарительный воздухоохладитель, как и рассмотренный в работе [10] аппарат такого же типа объемного действия, при введении в воду растворимых в ней активных недефицитных добавок в виде бикарбоната натрия Na_2CO_3 (техническая сода) и перманганата калия KMnO_4 (марганцовка), способен очищать воздух от мелкодисперсной пыли и сажи, а также от таких вредных газообразных примесей, как оксиды азота, оксид углерода и углеводороды, что является необходимым функциональным качеством при эксплуатации машины в городских транспортных потоках.

Кроме того, относительно низкие энергозатраты локального водоиспарительного воздухоохладителя способствуют существенному снижению дополнительного расхода топлива на привод аппарата, что уменьшает количество выбросов отработавших газов двигателя машины и тем самым снижает их вредное воздействие на окружающую среду. Применение же для обеспечения функционирования аппарата воды, которая относится к возобновляемым материальным ресурсам, обуславливает его такое важное экологическое качество, как ресурсосбережение.

Это соответствует современным тенденциям развития энерго- и ресурсосберегающих систем нормализации теплового состояния операторов, как в стационарных, так и на мобильных объектах в направлении энерго- и ресурсосбережения. Отмеченное подтверждается приведенными выше примерами достаточно широкого освоения зарубежными фирмами локальных водоиспарительных воздухоохладителей, предназначенных даже для легковых автомобилей, хотя для них созданы хладоновые кондиционеры объемного действия.

Учитывая, что в климатических зонах России теплый период года относительно короток (2...3 месяца), в таких условиях применение хладонового кондиционера экономически нецелесообразно, поскольку в течение остальных месяцев он является просто дорогим балластом, требующим специали-

зированного обслуживания. Локальный же водоиспарительный воздухоохладитель как достаточно функционально эффективный, экологичный и относительно недорогой, в городских условиях нашей страны является предпочтительным для кардинального решения вопроса нормализации теплового состояния водителя транспортных средств и оздоровления воздушной среды в их кабинах.

Список литературы

1. **ГОСТ 12.1.005—88.** ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
2. **ГОСТ 12.1.120—88.** ССБТ. Кабины и рабочие места операторов тракторов, самоходных строительно-дорожных машин, одноосных тягачей, карьерных самосвалов и самоходных сельскохозяйственных машин. Общие требования безопасности.
3. **ГОСТ 12.4.176—89** (СТ СЭВ 6350—88). ССБТ. Одежда специальная для защиты от теплового излучения. Требования к защитным свойствам и метод определения теплового состояния человека.
4. **ГОСТ Р 50993—96.** Автотранспортные средства. Системы отопления, вентиляции и кондиционирования. Требования к эффективности и безопасности.
5. **Графкина М. В., Михайлов В. А., Нюнин Б. Н.** Безопасность жизнедеятельности: Учеб. / Под общ. ред. Б. Н. Нюнина. — М.: ТК Велби, изд-во "Проспект", 2007. — 608 с.
6. **Giacco M.** Сравнительный анализ двух методик оценки климатического комфорта на примере систем климатизации морского круизного лайнера // АВОК. — 2005. — № 3. www.abok.ru.
7. **Золотницкий Н. Д., Пчелинцев В. А.** Охрана труда в строительстве / Под ред. Н. Д. Золотницкого: Учеб. для вузов — М.: Высш. шк., 1978. — 408 с.
8. **Меклер В. Я., Овчинников П. А.** Промышленная вентиляция и кондиционирование воздуха: Учеб. для техн. — М.: Стройиздат, 1987. — 312 с.
9. **Михайлов В. А., Карев С. В.** Выбор рациональной энергосберегающей технологии нормализации теплового состояния водителя и оздоровления воздушной среды в кабине транспортных средств // Вестник МАДИ (ГТУ), вып. 7. — 2006. — С. 96—100.
10. **Михайлов В. А., Сотникова Е. В., Карев С. В.** Защита водителей автомобилей от воздействия вредных факторов окружающей воздушной среды в городских транспортных потоках // Безопасность жизнедеятельности. — 2005. — № 12. — С. 2—7.
11. **Михайлов В. А., Шарипова Н. Н.** Средства нормализации микроклимата и оздоровления воздушной среды в кабинах тракторов: Учеб. пособие / Под общ. ред. В. М. Шарипова. — М.: МГТУ "МАМИ", 2002. — 96 с.
12. **Михайлов В. А., Гусева С. В.** Микроклимат в кабинах мобильных машин. — М.: Машиностроение, 1977. — 230 с.
13. **Отопление и вентиляция:** Учеб. для вузов. В 2-х ч. Часть 2. Вентиляция. / В. Н. Богословский, В. И. Новожилов, В. Д. Симаков, В. П. Титов. Под общ. ред. В. Н. Богословского. — М.: Стройиздат, 1976. — 439 с.
14. **Fanger P. O.** Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК. — 2003. № 4. www.abok.ru.

УДК 628.517.2

М. И. Фесина, к-т техн. наук, доц., **А. В. Краснов**, асп.,
Тольяттинский государственный университет

Об используемых типах автомобильных звукоизоляционных материалов и некоторых приемах их модификационного структурирования

Приведен обзорный анализ структурных составов звукоизоляционных материалов пакетов шумоизоляции, применяемых для снижения шума легковых автомобилей. Представлена систематизированная классификационная схема, анализируются некоторые практические приемы структурной модификации автомобильных звукоизоляционных материалов.

Fessina M. I., Krasnow A. V. About used types of automobile sound-insulating materials and some receptions of their modification structuring

In work the survey analysis structures of sound-insulating materials of noise reduction packages applied to decrease noise cars is carried out. The systematised classification scheme is presented, some practical receptions of structural updating automobile sound-insulating materials are analyzed.

Введение

Актуальной задачей при разработке конструкции легкового автомобиля является обеспечение высокого акустического комфорта в пассажирском салоне (обеспечения соответствия уровней внутреннего шума как нормируемым требованиям стандарта ГОСТ Р 51616—2000, так и целевым требованиям технического задания на разработку перспективной модели автомобиля). Одним из наиболее широко используемых технических приемов улучшения акустического комфорта в пассажирском салоне легкового автомобиля является его эффективная звукоизоляция от внешних (относительно обитаемого пространства пассажирского салона) источников генерирования звуковой энергии. Для целенаправленного увеличения звукоизоляционных свойств ограждающих структур пассажирского салона на тонколистовые панели кузова монтируются прокладки и обивки, изготовленные из материалов, обладающих повышенными звукоизоляционными свойствами. В то же время многообразие промышленно производимых типов и марок звукоизоляционных материалов, существенно отличающихся акустическими, эксплуатационными

и стоимостными показателями, может создавать значительные затруднения в их рациональном выборе для последующего наиболее эффективного решения задач улучшения акустического комфорта в салоне легкового автомобиля. В связи с этим представляет интерес систематизация и уточнение структурно-классификационной схемы использования различных типов звукоизоляционных материалов, применяемых в конструкциях современных моделей легковых автомобилей, а также анализ некоторых практических (технологических) приемов модификационного структурирования звукоизоляционных материалов с целью улучшения их технических характеристик (акустических, весовых, стоимостных, эксплуатационных).

1. Использование звукоизоляционных материалов в конструкциях легковых автомобилей

При падении звуковых волн на тонколистовую металлическую панель кузова часть энергии этих волн отражается по направлению к источнику излучения, а некоторая часть поглощается структурой панели за счет вынужденного совершения ею изгибных деформаций с сопутствующими внутренними потерями (внутренним трением материала) панели. Таким образом, часть энергии падающих звуковых волн затрачивается на совершение работы по динамическому возбуждению колебаний тонколистовой панели, которые переизлучаются ею в виде вторичного звука в смежный замкнутый объем пассажирского салона кузова автомобиля.

Кроме воздушного пути динамического возбуждения тонколистовых панелей кузова падающими на них звуковыми волнами, имеет место структурное вибрационное возбуждение панелей, сообщаемое твердыми путями передачи от различных виброактивных связей систем и агрегатов автомобиля (опор подвески силового агрегата, опор подвески системы выпуска отработавших газов, опорных элементов ходовой части и т. п.). При этом, как правило, структурный путь динамического вибрационного возбуждения панелей кузова является доминирующим.

В результате такого комплексного характера динамического возбуждения панелей кузова, сообщаемого им воздушными и структурными путями, они становятся интенсивными вторичными излучателями звуковой энергии в обитаемое пространство

пассажира салона автомобиля. Как известно, для обеспечения требований акустического комфорта, используются разнообразные технические средства, реализующие физические принципы виброизоляции, вибродемпфирования, звукопоглощения и звукоизоляции. В статье рассмотрены средства улучшения акустического комфорта, исключительно базирующиеся на использовании звукоизоляционных материалов. Звукопоглощающие материалы рассматриваются лишь как потенциальные составные слои в используемой структуре звукоизоляционного материала совместно со звукоотражающим слоем.

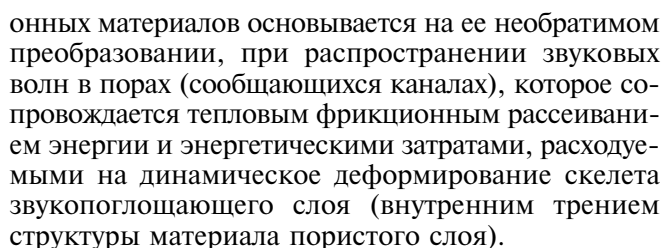
Техническим приемом увеличения звукоизоляционной способности панелей кузова (соответственно, повышения звукоизоляции пространства пассажирского салона) является увеличение их удельного веса, повышения изгибной жесткости и степени демпфирования (в особенности — при возбуждении резонансных режимов колебаний панелей). Для этого в наиболее динамически податливых изгибно-деформируемых зонах панелей монтируют (с образованием соответствующего адгезионного соединения) плосколистовые вязкоэластичные материалы. Образующий при этом дополнительный звукоизоляционный эффект связан с увеличением массы и степени демпфирования образованной ламинированной композиционной структуры, что способствует ослаблению передачи энергии звуковых волн в салон автомобиля как воздушным, так и структурным путями. Типичными представителями класса однослойных звукоизоляционных прокладочных материалов, используемых для улучшения звукоизоляционной способности тонкостенных кузовных панелей легковых автомобилей, являются плосколистовые вязкоэластичные материалы типа LTS (фирма "Sontech", Швеция), Бимот (ОАО "БРТ", Россия, г. Балаково), БиАМ5И (ЗАО НПП "Тэкникал Консалтинг", Россия, г. Тольятти).

Существенно более значительного эффекта увеличения звукоизоляционной способности панелей кузова можно достичь путем использования дополнительных прокладок и обивок, изготовленных из многослойных материалов, образующих в сочетании с тонколистовой металлической панелью кузова многослойную композитную звукоизоляционную структуру с чередующимися упруго податливыми пористыми звукопоглощающими слоями (далее — звукопоглощающими слоями) и плотными весовыми воздухонепроницаемыми звукоотражающими слоями (далее — звукоотражающими слоями). Такие многослойные звукоизоляционные структуры характеризуются скачкообразным изменением волновых сопротивлений распространению звуковых волн на границах сопряжения отдельных слоев с формированием соответствующих звукоизоляционных эффектов [1...8].

В современных конструкциях легковых автомобилей, находят все более широкое распространение легковесные звукоизоляционные материалы типа "ультралайт", в структурном составе которых отсутствует плотный звукоотражающий слой, а сама звукоизоляционная структура материала представляет чередующиеся пористые звукопоглощающие и пористые звукоизоляционные слои различной плотности. Слои пониженной удельной плотности (с более высокой пористостью) и повышенной удельной плотности (с более низкой пористостью) образуют, в конечном итоге, оригинальную "звукопоглощающую-звукоизоляционную" структуру, составленную исключительно из воздухопроницаемых слоев различного волнового сопротивления [9...14].

В первом случае (в звукоизоляционных структурах с плотным звукоотражающим и пористым звукопоглощающими слоями) увеличение звукоизоляционной эффективности шумоизоляционных обивок обусловлено преимущественно интенсификацией потерь энергии при распространении звуковых волн в промежуточном звукопоглощающем слое структуры, расположенном между двумя звукоотражающими слоями — плотным звукоотражающим слоем материала обивки и вибрирующей звукоизлучающей тонколистовой металлической панелью кузова.

Во втором случае (пористый слоистый материал типа "ультралайт") звукоизоляционная эффективность шумоизоляционных обивок обусловлена преимущественно процессами двухстороннего поглощения энергии звуковых волн, распространяемых по сквозной двухслойной пористой структуре материала, генерируемых как со стороны вибрирующей звукоизлучающей панели кузова, так и падающими на нее со стороны зашумленного воздушного объема пассажирского салона (кабины). Одновременно с этим в пористых звукоизоляционных материалах типа "ультралайт" реализуется механизм потерь звуковой энергии в процессе частичного отражения звуковых волн в поверхностной зоне раздела пористого звукоизоляционного слоя повышенной плотности в направлении пористого звукопоглощающего слоя пониженной плотности, повышая, таким образом, суммарный звукоизоляционный эффект шумоизоляционной обивки в целом [11, 12]. Именно наличие в такой взаимосвязанной пористой структуре слоев различной плотности и пористости обуславливает соответствующий скачкообразный перепад волновых сопротивлений процессу распространения звуковых волн в поверхностной зоне сопряжения этих слоев с образованием дополнительного звукоотражающего эффекта со стороны лицевого пористого слоя повышенной плотности в направлении пористого слоя пониженной плотности. Эффект поглощения энергии звуковых волн в пористых структурах слоев звукоизоляции



Звукоизоляционные материалы, применяемые в автомобилестроении, классифицируются по количеству слоев, типам структур и геометрической форме составных слоев.

В частности, **по количеству базовых слоев**, выполняющих непосредственную функцию звукоизоляции (т. е. по количеству используемых звукопоглощающих и звукоотражающих слоев), звукоизоляционные материалы подразделяются на *однослойные*, *двухслойные* и *многослойные*. При наличии в структуре звукоизоляционных материалов дополнительных слоев, выполняющих другие функции (декоративную, защитную, теплоизоляционную, и пр.), их относят к классу *комбинированных (многоцелевых, многофункциональных)*. К классу комбинированных относят, в частности, материалы типа ковровых покрытий, выполняющих функцию декоративного элемента салона автомобиля с сообщенными (выраженными) акустическими свойствами.

По типу применяемой структуры звукопоглощающего слоя звукоизоляционные материалы подразделяются на материалы, содержащие **волоконистый звукопоглощающий слой**, **вспененный открытоячеи-**

стый звукопоглощающий слой или составную волокнисто-ячеистую комбинацию этих слоев (для многослойных и комбинированных материалов).

По типу применяемого лицевого (верхнего, звукоотражающего или звукоизоляционного) слоя звукоизоляционные материалы подразделяются на материалы, содержащие плотный весовой воздухопроницаемый звукоотражающий слой, пористый воздухопроницаемый звукоизоляционный слой повышенной плотности (с выраженным комбинированным эффектом звукоотражения и звукопоглощения).

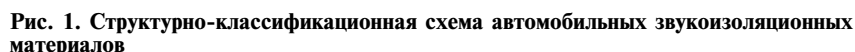
По геометрической форме звукоизоляционные материалы (шумоизоляционные прокладки и обивки) подразделяются на *плосколистовые* (с использованием плосколистовых заготовок для последующих технологических операций вырубки шумоизоляционных обивок или прокладок заданной геометрической формы), в которых толщина материала постоянна и меньше его ширины, *формованные* (шумоизоляционные обивки, которым посредством целенаправленных технологических операций объемного формования, сообщена неплоская геометрическая форма конечной детали переменной толщины и плотности).

Обобщенная классификационная схема типов звукоизоляционных материалов, используемых в конструкциях современных автотранспортных средств, представлена на рис. 1.

Структуры волокнистых звукопоглощающих слоев материалов представляют собой пористо-упругий скелет, сформированный множеством динамически связанных между собой волокон. Воздушные поры материалов таких структур имеют вид узких сообщающихся капиллярных каналов. В качестве материала волокнистых звукопоглощающих слоев используют натуральные (хлопковые, шелковые, джутовые, сизальные, льняные, конопляные и др., или белко-

вые животного происхождения), синтетические (акриловые, полиэстеровые, полиоксадиазольные, полиимидные, углеродные, арамидные, полипропиленовые, нейлоновые и т. д.), минеральные волокна (базальтовые, керамические, стеклянные и т. д.). Для обеспечения технологических свойств формования деталей, в процессах их изготовления, волокна пропитывают полимерным связующим (фенилметилполисилоксан, полиорганозлементосилазан, тетрабромдифенилпропан, фенолформальдегид, полиимид и т. д.) или смешивают с термопластичными волокнами (например, полипропиленовыми).

Для снижения себестоимости в процессах производства звукоизоляционных обивок их звукопоглощающий слой, как правило, изготавливают не из первичных (высококачественных) во-



локон, а из восстановленных, получаемых в результате переработки отходов текстильного производства (синтетических нитей, трикотажа, шерстяных или полушерстяных тканей и др.), продуктов вторичной переработки волокнистых деталей пакета шумоизоляции автомобилей, отслуживших свой срок, или технологических отходов производства деталей шумоизоляции (продукция рисайклинга).

Структуры пористых вспененных открытоячеистых звукопоглощающих слоев содержат пористопругий скелет сообщающихся ячеек полимерного вещества, сформированный посредством операций технологического вспенивания и последующей полимеризации раствора полимерного материала или посредством проведения соответствующей химической реакции. К вспененным открытоячеистым типам звукопоглощающих материалов относятся полимерные материалы, выполненные на основе уретанового, нитрильного, винилового, бутадиенстирольных и других составов. В качестве примера химической реакции вспенивания можно привести широко используемое сочетание полиола и изоцианата. В этом случае полиоловая составляющая (полиол) представляет собой раствор, состоящий из нескольких ингредиентов: соединения полиола (катализатора, поверхностно-активного вещества), парообразователя, наполнителей (замедлителей, модификаторов). Реакция происходит при смешивании этих двух химических компонентов в жидком состоянии, после смешивания начинается экзотермическая химическая реакция с выделением теплоты, что способствует образованию ингредиента, растворяющегося в одном из компонентов, образуя парообразное соединение.

В качестве составного звукоотражающего слоя двух- и многослойных звукоизоляционных материалов используется плотный вязкоэластичный материал, обладающий повышенным внутренним трением и сообщаящим ему высокие вибродемпфирующие свойства (для демпфирования колебаний прилегающего упругого пористого слоя и обеспечения слабого возбуждения собственной структуры плотного слоя). Это, в целом, способствует ослаблению динамического возбуждения и уменьшению переизлучению звука лицевой поверхностью плотного весового слоя в пространство пассажирского салона. В качестве материалов звукоотражающего слоя используются композиции на основе битумных смесей (септум) или некоторых полимеров — полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП), сополимера этилена с винилацетатом (ЭВА), поливинилхлорида (ПВХ), этиленпропилендиенового мономера (ЭПДМ), каучука и его производных, битумно-полимерных или полимерно-каучуковых композиций, модифицированных синтетическими эластомерами с минеральными добавками гранулометрического порядка.

Звукоизоляционные материалы используются преимущественно для изготовления плосколистовых и/или цельноформованных обивок, монтируемых со стороны салона автомобиля на наиболее шумоактивных панелях кузова (щитке передка и панелях пола). Цельноформованные звукоизоляционные обивки на большинстве моделей современных легковых автомобилей дополнительно монтируются также и со стороны моторного отсека (на панели щитка передка). Плосколистовые шумоизоляционные обивки обладают, как правило, более низкой стоимостью и монтируются на плоских участках поверхностей панелей кузова, содержащих незначительные неплоские геометрические рельефы типа неглубоких подштамповок или малогабаритных приварных усилителей (панели переднего и среднего пола, панели боковин и пола багажного отделения и т. д.).

Образующиеся при негерметичном монтаже плосколистовых шумоизоляционных обивок звукопередающие воздушные пути передачи неплотно прилегающими щелевыми зонами поверхностей панелей кузова неплоской геометрической формы, а также не плотно стыкуемыми, мозаично сопрягающимися торцами плосколистовых обивок могут в существенной степени ослабить звукоизоляционный эффект, что не позволит получить приемлемый акустический комфорт в салоне автомобиля. Именно поэтому все более широкое применение в условиях крупносерийного и массового производства легковых автомобилей (в том числе, благодаря и более низкой трудоемкости их монтажа, несмотря на их более высокую стоимость) находят крупногабаритные цельноформованные шумоизоляционные обивки кузова. По своей геометрической форме они повторяют внешние поверхностные контуры сопрягаемых поверхностей шумоактивных панелей кузова (включая выраженные неплоские участки), что позволяет более качественно звукоизолировать шумоактивные панели кузова сложной геометрической формы. Процессы изготовления цельноформованных обивок позволяют соответствующими технологическими приемами достаточно гибко оптимизировать их акустические, весовые и стоимостные характеристики, целенаправленно придавая структуре материала обивок в заданных локализованных зонах различную толщину, плотность, пористость, жесткость. Как правило, конструкции цельноформованных обивок современных моделей легковых автомобилей наделены большим количеством выполняемых полезных функций (т. е. они являются типичными многофункциональными изделиями). Представленный на рис. 2 перечень шумоизоляционных обивок в составе шумоизоляционного пакета кузова конкретной модели современного легкового автомобиля может быть как более широким, так и более узким.

Кроме приведенных на рис. 2 зон монтажа шумоизоляционных обивок кузова в современных мо-

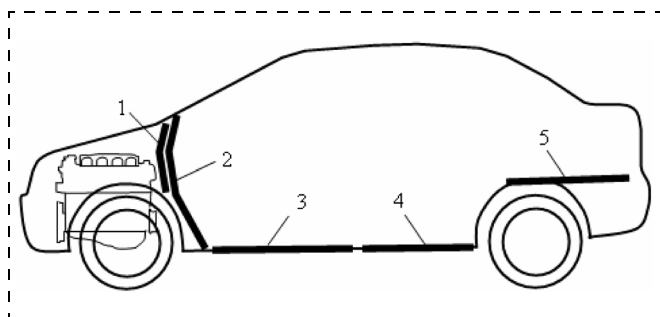


Рис. 2. Иллюстративная схема зон монтажа шумоизоляционных обивок (прокладок) на современной модели легкового автомобиля В-класса:

1 — шумоизоляционная прокладка с звукоотражающим слоем, смонтированная на панели щитка передка со стороны моторного отсека; 2, 3, 4, 5 — цельноформованные шумоизоляционные обивки щитка передка, переднего пола, среднего пола и пола багажного отделения, изготовленные из двухслойного звукоизоляционного материала, содержащего звукопоглощающий слой и звукоотражающий слой (или в составе двухслойной звукоизоляционной пористой структуры двойной плотности типа "ультралайт", или в составе интегральных шумоизоляционных ковров, или в их комбинированных сочетаниях)

делях легковых автомобилей используется также достаточно большая гамма дополнительных плоскостных звукоизоляционных прокладок. В частности, они монтируются в зоне пола под задним сиденьем, щитке задка кузова и т. д. Также широко применяются многофункциональные детали интерьера с выраженной функцией звукопоглощения (обивки крыши, дверей, стоек кузова, полка багажного отделения и т. д.), способствующие достижению улучшенного акустического комфорта в салоне автомобиля.

На рис. 3 приведены схемы некоторых используемых структур звукоизоляционных, звукопоглощающих и облицовочных (декоративных) слоев материалов в качестве составных структурных элементов типичных шумоизоляционных обивок кузова современных моделей легковых автомобилей.

На рисунке представлены следующие структурные схемы:

а — однослойный звукоизоляционный материал типа плотного вязкоэластичного весового звукоотражающего слоя;

б — двухслойный звукоизоляционный материал в составе вспененного открытоячеистого звукопоглощающего слоя и плотного звукоотражающего слоя;

в — двухслойный звукоизоляционный материал в составе волокнистого звукопоглощающего слоя и плотного звукоотражающего слоя;

г — многослойный звукоизоляционный материал в составе чередующихся пористых звукопоглощающих и плотных звукоотражающих слоев;

д — двухслойный пористый звукоизоляционный материал типа "ультралайт", в составе волокнистого звукопоглощающего слоя пониженной

плотности и волокнистого звукоизоляционного слоя повышенной плотности;

е — многослойный пористый звукоизоляционный материал из чередующихся волокнистых звукопоглощающих слоев пониженной плотности и волокнистых звукоизоляционных слоев повышенной плотности;

ж — двухслойный звукоизоляционный материал в составе вспененного открытоячеистого звукопоглощающего слоя и плотного звукоотражающего слоя, облицованного лицевым декоративным слоем типа коврового покрытия;

з — двухслойный пористый звукоизоляционный материал в составе волокнистого звукопоглощающего слоя пониженной плотности, звукоизоляционного слоя повышенной плотности, "звукопрозрачно сшитых" пористым латексным слоем, с внешним лицевым декоративным слоем пористого коврового покрытия;

и — многослойный звукоизоляционный материал из чередующихся пористых звукопоглощающих

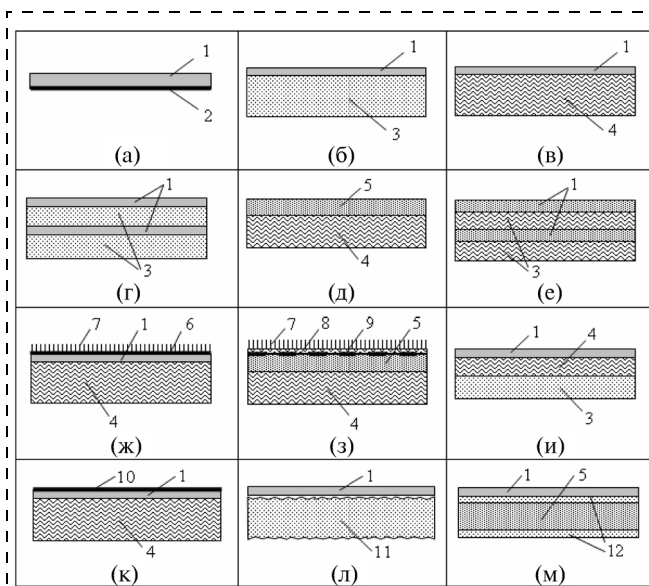


Рис. 3. Структурные схемы различных типов звукоизоляционных материалов, применяемых в современных моделях легковых автомобилей:

1 — плотный вязкоэластичный звукоотражающий слой; 2 — клеевой монтажный слой; 3 — пористый вспененный открытоячеистый звукопоглощающий слой; 4 — пористый волокнистый звукопоглощающий слой пониженной плотности; 5 — пористый звукоотражающий слой повышенной плотности; 6 — несущая воздухонепроницаемая звукоотражающая основа декоративного коврового покрытия; 7 — ворсованное полотно пористого коврового покрытия; 8 — несущая пористая воздухонепроницаемая основа декоративного коврового покрытия; 9 — несплошной "прерывистый" клеевой слой для звукопрозрачных "технологических швов" составных слоев шумоизоляционных обивок (прокладок); 10 — лицевой декоративный слой типа полимерной пленки; 11 — звукопоглощающий слой с выраженным рельефным поверхностным микропрофилем чередующихся выступов и впадин; 12 — пористый открытоячеистый звукопоглощающий слой пониженной плотности вспененного материала

вспененного открытоячеистого и волокнистого слоев, облицованных плотным звукоотражающим слоем;

к — двухслойный звукоизоляционный материал в составе волокнистого звукопоглощающего, плотного звукоотражающего слоев, облицованных лицевым декоративным слоем полимерной пленки;

л — двухслойный звукоизоляционный материал, в составе вспененного открытоячеистого звукопоглощающего слоя, с образованным рельефным поверхностным микропрофилем чередующихся выступов и впадин со стороны внешней лицевой и тыльной монтажной поверхностей, интегрированных с плотным звукоотражающим слоем;

м — звукоизоляционный материал в составе плотного звукоотражающего и волокнистого пористого звукопоглощающего слоев, футерованных слоями "мягкого" пористого материала низкой плотности.

3. Практические приемы модификационного структурирования звукоизоляционных материалов

Перспективным технологическим направлением улучшения звукоизоляционных свойств цельноформованных шумоизоляционных обивок и плосколистовых шумоизоляционных прокладок кузова легкового автомобиля является использование модифицированных звукоизоляционных материалов, в которых выполнено, например, соответствующее структурирование звукопоглощающего слоя с изотропной (рис. 4, а) и анизотропной (рис. 4, б) структурой, как это, в частности, отмечено в работе [11]. Такие структурированные звукоизоляционные материалы обладают более низкими удельным весом и стоимостью при достигаемой более высокой звукоизоляционной эффективности в широком диапазоне звуковых частот. Под процессом структурирования в работе [11] подразумевалось выполнение несквозного (тупикового) перфорирования на заданную глубину объемной структуры звукопоглощающего слоя звукоизоляционного материала в составе пористого звукопоглощающего и плотного звукоотражающего (или пористого звукоизоляционного повышенной плотности) слоев. В данном случае возрастание звукоизоляционной эффективности материала обусловлено несколькими факторами. В частности, образование дополнительных многочисленных замкнутых звукопоглощающих полостей позволяет повысить общую площадь поверхности звукопоглощения и увеличить динамическую податливость упругого пористого слоя, с соответствующим увеличением амплитуд его динамических деформаций и более эффективным рассеиванием в нем колебательной энергии. Этот процесс сопровождается также дополнительным принудительным колебательным перемещением воздуха из образованных полостей тупиковых отверстий перфорации в сообщенные, прилегающие к ним, лабиринтные разветвленные каналы структуры пористого веще-

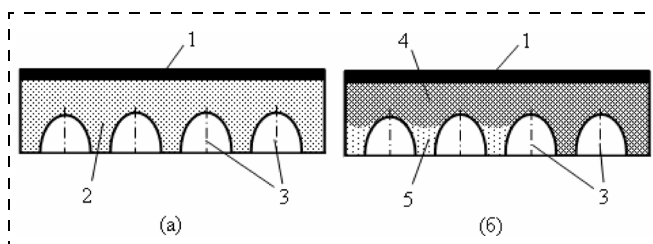


Рис. 4. Структурные схемы модифицированных структур звукопоглощающего слоя звукоизоляционного материала:

1 — плотный звукоотражающий слой; 2 — пористый звукопоглощающий (волокнистый или вспененный) слой; 3 — перфорация звукопоглощающего слоя отверстиями тупикового типа; 4 — локальная зона структуры звукопоглощающего слоя повышенной плотности и более низкой пористости по отношению к локальной зоне структуры 5 с более низкой плотностью и более высокой пористостью

ства, что способствует повышению звукоизоляционной эффективности такой модифицированной структуры звукоизоляционного материала.

Эффективность предлагаемого приема структурирования иллюстрируется экспериментальными результатами определения параметра "способность к звукоизоляции" образцов исследуемых материалов шумоизоляционных обивок кузова, смонтированных на стальной металлической пластине толщиной 1 мм с использованием стендовой установки "Башня Пиза" [15]. Результаты проведенных экспериментов (рис. 5) с плосколистовыми образцами материалов шумоизоляционных обивок, содержащих пористый звукопоглощающий волокнистый слой (толщина 20 мм, удельный поверхностный вес $1,2 \text{ кг/м}^2$) и весовой звукоотражающий слой типа "септум" на основе битума (толщина 4 мм, удельный поверхностный вес $5,0 \text{ кг/м}^2$), а также аналогичные экспериментальные исследования, проведенные со структурированными образцами аналогичного типа материалов шумоизоляционных обивок в составе с пористым слоем из вспененного открыто-

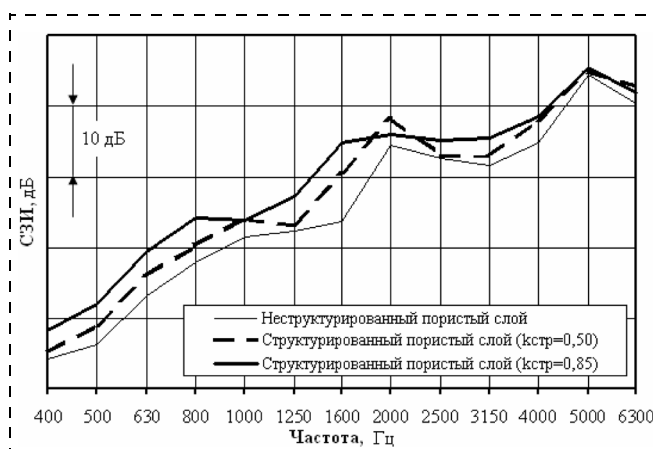


Рис. 5. "Способность к звукоизоляции" (СЗИ) образцов шумоизоляционных обивок кузова при различных вариантах структурирования



ячеистого пенополиуретана, указывают на рост до 6...8 дБ параметра "способность к звукоизоляции" в диапазоне частот 400...6300 Гц, при значениях коэффициента структурирования $k_{стр} = 0,50$ и до 10...12 дБ при $k_{стр} = 0,85$. Результаты экспериментальных исследований демонстрируют, в частности, высокую эффективность структурирования пористого слоя с $k_{стр} = 0,85$, позволяющего снизить расход материала звукопоглощающего слоя обивки более чем на 12 % и существенно (до 11 дБ) увеличить значения параметра "способность к звукоизоляции". В данном случае параметр "коэффициент структурирования" определялся по следующей зависимости:

$$k_{стр} = \frac{S_{\Sigma} n}{S},$$

где S_{Σ} — суммарная поверхностная площадь типового отверстия перфорации; n — количество отверстий перфорации; S — площадь лицевой поверхности пористого звукопоглощающего слоя.

Одним из известных технологических приемов модификационного структурирования, направленного на улучшение звукоизоляционных свойств шумоизоляционных обивок и прокладок кузовных панелей автомобилей [12], является придание монтажной поверхности пористого звукопоглощающего слоя выраженного рельефного микропрофиля чередующихся выступов и впадин, вызывающего дополнительное демпфирование структурного возбуждения пористого и плотного слоев обивки и улучшение поглощения воздушного шума, генерируемого вибрирующей панелью кузова (см. рис. 3, л).

Перспективным технологическим приемом модификации структур звукоизоляционных материалов следует считать также сообщение анизотропных динамических характеристик звукопоглощающему слою [16]. Разнообразные технологические приемы позволяют, в частности, формировать в заданной поверхностной или объемной зоне структуры звукопоглощающего слоя те или иные задаваемые технические параметры динамической жесткости, плотности, пористости, извилистости пор, удельного сопротивления воздушному потоку. Тем самым обеспечивается управляемое рациональное сочетание звукопоглощающих (звукоизоляционных), весовых, прочностных, долговечностных, стоимостных и других показателей. Очевидно, что вполне возможным является совместное "гибридное" использование двух указанных выше [11, 16] технических приемов модификации звукоизоляционных материалов, позволяющих достигать как повышения звукоизоляционной эффективности, так и улучшения эксплуатационных характеристик шумоизоляционных обивок, при сопутствующем снижении веса (стоимости) используемых материалов.

Приведенная систематизированная классификационная схема различных типов звукоизоляционных материалов, используемых в современных моделях автомобилей, информация об их структурных составах, как и указанные некоторые практические приемы их модификационного структурирования, могут быть полезно использованы специалистами при решении ими разнообразных практических задач выбора и улучшения характеристик звукоизоляционных материалов в процессах конструирования эффективных шумоизоляционных обивок кузова для новых или модернизации серийных конструкций легковых автомобилей.

Список литературы

1. **Иванов Н. И., Никифоров А. С.** / Основы виброакустики: Учебник для ВУЗов. СПб.: Политехника, 2000. С. 354—356.
2. **Blewett J. J., Brouckaert R. L.** The Importance of Sealing Pass-Through Locations Via the Front of Dash Barrier Assembly // SAE Technical Paper. — 1999. № 1999-01-1802.
3. **Kniss K., Semeniuk B., O'Regan D., Taylor J.** Vehicle interior floor systems — "Not just a pretty face" // Rieter Automotive Conference Proceeding. — 2005. — P. 7. — P. 1—20.
4. **Giovanni T., Guido N., Marino A., Sini F.** The acoustic insulation package design process in Fiat Group Automobiles: the application on the new Fiat 500 // Rieter Automotive Conference Proceeding. — 2007. — A14. — P. 1—20.
5. **Патент РФ № 2296066.** Материал для шумоизоляционных покрытий, комплект деталей шумоизоляционных покрытий для салона транспортного средства и способ изготовления этих деталей / Ларин В. В.; Оpubл. 27.03.2007, Бюл. № 9.
6. **Патент Великобритании № 2163338.** Improvements in or relating to noise insulation materials / Gahlau H., Kittel C., Muller-Lippok F.; Оpubл. 26.02.1986.
7. **Международная заявка на изобретение № 2005/069273.** Automotive dach insulators containing viscoelastic foams / Tudor J., Siavoshani S., Tao X., Korchnak G.; Оpubл. 28.07.2005.
8. **Международная заявка на изобретение № 2005/044630.** Sound Insulating System / Siavoshai S., Dubensky E., Owen E., Tudor J., Tao X., Blandon J., Brune D.; Оpubл. 19.05.2005.
9. **Bloemhof H.** Haut nahe Zusammen arbeit // Automobil Industrie. — 2000. — № 11. — С. 46—50.
10. **Buchholz K.** System approach to NVH reduction // Automotive Engineering. — 2002. — V. 101. — № 8. — P. 45—46.
11. **Краснов А. В., Фесина М. И., Рекунов С. А., Ульянова В. Е.** О некоторых направлениях тенденций развития эффективных пакетов шумоизоляции кузова легкового автомобиля // Известия Самарского научного центра РАН. Специальный выпуск "Безопасность. Технологии. Управление", Том 2. — Самара. — 2007. — С. 191—203.
12. **Патент РФ № 2198798.** Сверхлегкий многофункциональный звукоизоляционный комплект / Торстен А.; Оpubл. 20.02.2003, Бюл. № 5.
13. **Заявка США на изобретение № 2006/0201741.** Ultralight Soundproof Material / Tom L., Masaki I., Youhei I., Sohei M., Hideyuki M.; Оpubл. 14.09.2006.
14. **Заявка Австралии на изобретение № 2006/246461.** Soundproof Material / Masahiko M., Akimasa T.; Оpubл. 14.06.2007.
15. **Краснов А. В.** Методики экспериментального определения акустических характеристик деталей кузова легкового автомобиля и звукоизолирующих материалов // Журнал автомобильных инженеров. — 2007. — № 4. — С. 34—39.
16. **Патент РФ № 2270767.** Интегральная шумоизоляционная структура кабины и/или пассажирского салона транспортного средства / Паньков Л. А.; Оpubл. 27.02.2006, Бюл. № 6.

УДК 621.9.06:628.5

И. С. Виноградов, асп.,

Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону

Экспериментальные исследования спектров шума пильных деревообрабатывающих станков

В ходе экспериментальных исследований выявлен ряд закономерностей шумообразования для круглопильных и ленточнопильных станков. Проведено сравнение спектральных уровней шума с предельно допустимыми значениями. Произведена идентификация источников шума, определяющих превышение в сравнении с санитарными нормами.

Ключевые слова: пильные деревообрабатывающие станки, спектры шума, промышленная безопасность.

Vinogradov I. S. *The pilot studies of noise spectra of the saw woodworking machines*

During the pilot studies identified a number of regularities of the emergence of noise for machines with circular and band saws. Compared spectral noise levels with tolerable limit. Identified sources of noise, determining noise excess in comparison with sanitary norms.

Keywords: saw woodworking machines, noise spectra, industrial safety.

Цель описываемых в статье экспериментальных исследований заключалась в выявлении закономерностей шумообразования круглопильных и ленточнопильных деревообрабатывающих станков, сравнении спектральных уровней с предельнодопустимыми значениями и идентификации источников шума, определяющих превышение санитарных норм.

Экспериментальные исследования проводились в условиях деревообрабатывающего цеха ЗАО "Завод по выпуску КПО" с использованием измерителя шума ВШВ-003-М2. При измерении фиксировались октавные уровни звукового давления.

Спектры шума ленточных станков имеют равномерное распределение интенсивности в широкой полосе частот 500...4000 Гц (рис. 1, кривая 2, 3). Кроме того, характер спектров шума у различных станков практически полностью идентичен. Действительно, у ленточнопильных станков ЛС-100 (скорость резания 40 м/с; толщина и ширина лен-

ты 1×60 мм; шаг зубьев 22...32 мм, мощность 7 кВт) и ЛС-40 (скорость резания 30 м/с; толщина и ширина ленты $0,7 \times 20$ мм; шаг зубьев 22...32 мм, мощность 1,7 кВт) разница в уровнях звукового давления по нормируемому частотному диапазону составляет 8...11 дБ. Теоретическое значение изме-

нения уровней шума составляет 12 дБ $\left(20 \lg \frac{N_2}{N_1}\right)$,

где N_2 — новая мощность резания; N_1 — старая мощность резания. Изменение натяжения ленты с 6 до 60 Н не приводит к увеличению уровней шума (теоретическое значение 2 дБ). Это объясняется тем, что при увеличении натяжения спектр собственных частот, будучи очень плотным, попадает в те же октавы. Следует отметить, что у этих станков из-за высокой скорости резания частота возбуждения попадает в высокочастотную область 1000...1600 Гц.

Аналогичный характер со спектром шума станка ЛС-40 имеет и спектр лобзикового станка АЦСС-4 (мощность 1 кВт), хотя его уровни звукового давления (рис. 1, кривая 4) на 2...3 дБ меньше (теоретическое значение 4,5 дБ).

У станка ЛС-100 превышение над нормативом гораздо больше и составляет 10...20 дБ. Превышение над нормативом у станка АЦСС-4 невелико и составляет 2...4 дБ в интервале частот 500...8000 Гц.

Иная картина наблюдается у круглопильных станков, работающих дисковыми пилами. У этих станков спектр шума имеет ярко выраженный высокочастотный характер с ярко выраженными максимумами интенсивности в области 2000...8000 Гц (рис. 1, кривая 5 и рис. 2, кривые 1...4).

Действительно, у прирезных станков пятипильного ЦДК-5 (диаметр пилы 400 мм; частота вращения 2930 мин^{-1} , число зубьев 72), однопильного ЦА-2 (диаметр пилы 450 мм, частота вращения 2870 мин^{-1} , число зубьев 96) и универсального круглопильного Ц-6 (диаметр пилы 500 мм; частота вращения 2800 мин^{-1} , число зубьев 72) частота возбуждения составляет 3516, 4592, 3360 Гц, соответст-

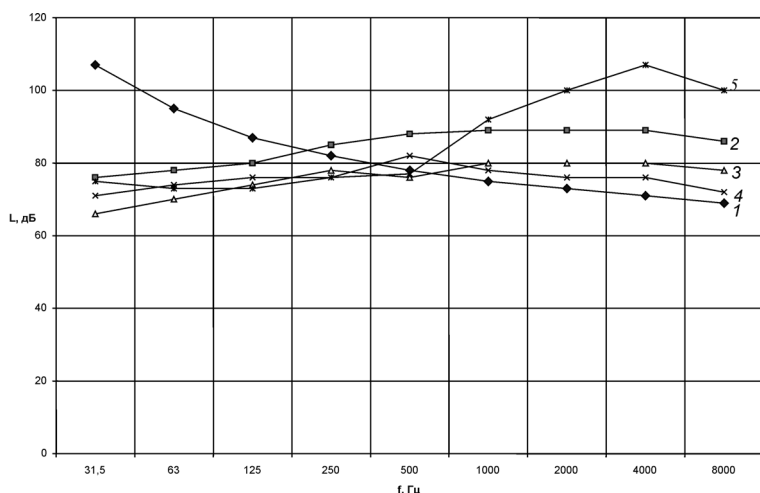


Рис. 1. Спектры шума:

1 — норматив; ленточнопильных станков: 2 — ЛС-40; 3 — ЛС-100; 4 — лобзикового станка АЦСС-4; 5 — прирезного станка ЦДК-5

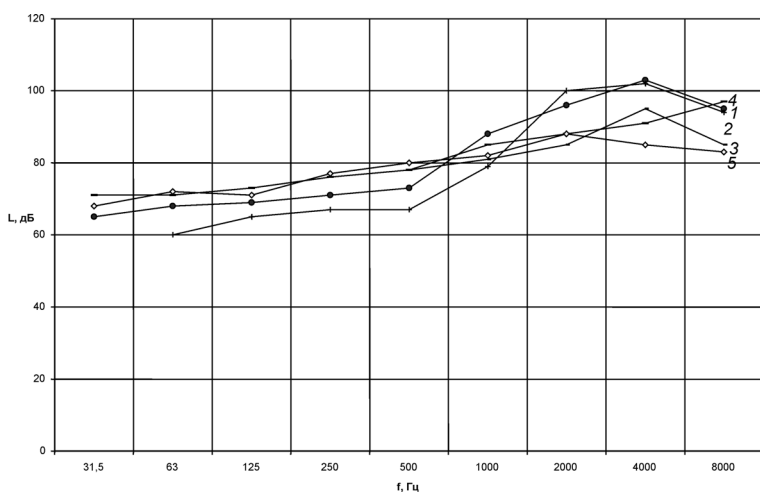


Рис. 2. Спектры шума:

1 — прирезного станка ЦА-2; 2 — универсального круглопильного станка Ц-6; поперечно-раскройного станка ЦПА-2: 3 — при $z = 72$; 4 — при $z = 120$; 5 — распиловочного станка ЦДТ-6

венно, и попадает в одну и ту же октаву со среднегеометрической частотой 4000 Гц. Поэтому у всех этих станков максимальный уровень звукового давления наблюдается при частоте 4000 Гц. У пятипильного станка ЦДК-5 уровни шума на 4...5 дБ

выше, чем у однопильного ЦА-2 (теоретическое значение составляет $10 \lg 5 = 7$ дБ).

На примере поперечно-раскройного станка ЦПА-2 наглядно видно, что при увеличении чисел зубьев с 72 до 120 наиболее интенсивный уровень шума смещается в следующую октаву (диаметр пилы 350 мм; частота вращения 2950 мин⁻¹).

Превышение уровней шума у этих станков над предельно допустимыми значениями составляет 0.38 дБ в интервале частот 2000...8000 Гц.

Круглопильный станок для распиливания бревен ЦДТ-6, хотя и несколько менее шумный (рис. 2, кривая 5), чем вышеуказанные, создает превышения 7...15 дБ в области частот 1000...8000 Гц и также имеет высокочастотный характер спектра. Максимальный уровень шума у этого станка наблюдается на частоте 2000 Гц (диаметр фрезы 250 мм, число зубьев $z = 48$, частота вращения $n = 1750$ мин⁻¹ и $\frac{nz}{60} = 1400$ Гц).

Таким образом, экспериментальные исследования подтвердили, что при работе ленточно-пильных и круглопильных станков основным источником шума является режущий инструмент.

Убедительным подтверждением этого служит тот факт, что при постоянных режиме обработки и инструменте при изменении габаритных размеров заготовки в несколько раз уровни шума практически не изменяются в высокочастотной части спектра, т. е. там, где наблюдаются наиболее интенсивные уровни звукового давления. Изменения уровней спектра до 4...6 дБ происходят в низкочастотном диапазоне (до 250 Гц). Од-

нако в этой частотной области уровни звукового давления ниже санитарных норм. Эти данные являются основой как инженерной методики расчета шума на этапе проектирования, так и выбора вариантов систем шумозащиты.

А. Г. Овчаренко, д-р техн. наук, проф.,
Бийский технологический институт АлтГТУ, г. Бийск

Метод оценки пожарной опасности разрядов статического электричества при гравитационном течении порошкообразных материалов

Рассматривается статистическая модель разрядов статического электричества при гравитационном истечении порошкообразных материалов. Полученная модель подтверждается результатами экспериментов. Предлагается метод оценки пожарной опасности разрядов статического электричества.

Ключевые слова: разряды статического электричества, оценка опасности пожара, порошкообразные материалы, гравитационное истечение.

Ovcharenko A. G. *The estimation of fire danger from a static electricity discharges in gravitational current of powder systems*

The statistical model of the static electricity discharges in gravitational current of powder systems is considered. The received model proves to be true by results of experiment. The estimation of fire danger from a static electricity discharges is offered.

Keywords: static electricity discharges, the estimation of fire danger, powder systems, gravitational current.

Обеспечение электростатической искробезопасности (ЭСИБ) является актуальной задачей, особенно в условиях взрывопожароопасных производств. Защита от разрядов статического электричества должна осуществляться во взрыво- и пожароопасных производствах с наличием зон классов: В-I, В-Ia, В-Iб, В-Iг, В-II, В-IIa, П-I и П-II, в которых применяются или вырабатываются вещества и материалы с удельным электрическим сопротивлением $\rho_v > 10^5$ Ом · м. В статье предлагается метод оценки опасности зажигания веществ разрядами статического электричества.

Обоснование выбора статистической модели

При переработке сыпучих диэлектрических материалов в аппаратах (машинах) существуют зоны, где происходит сброс части заряда наэлектризованного материала в виде газовых разрядов, которые являются возможным источником взрывов и пожаров горючих пылей, жидкостей и взрывчатых веществ. Обычно опасность воспламенения оценивается сравнением выделяемой в электростатическом

разряде энергии с минимальной энергией зажигания. Минимальная энергия зажигания определяется методом проб как минимум в функциональной связи "энергия зажигания — емкость конденсатора" в экспериментальной установке для зажигания горючих смесей конденсированным искровым разрядом [1, 2].

Для оценки энергии, выделяемой в электростатическом единичном разряде, успешно применяются вероятностные методы. Выполненными в МГУИЭ (МИХМе) и ВНИИПО МВД РФ работами [3] было показано, что энергия искрового разряда, инициируемая в поле заряженного диэлектрика, есть случайная величина, распределенная по логарифмически нормальному закону, и энергия разряда однозначно коррелируется величиной заряда в единичном импульсе. Вероятность появления воспламеняющего электростатического разряда рассчитывается, при известных параметрах распределения, по формуле

$$P\{q \geq q_B\} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_q} \int_{q_B}^{\infty} e^{-\frac{(\lg q - \lg \bar{q})^2}{2\sigma_q^2}} dq, \quad (1)$$

где $\lg \bar{q}$ и q_B — математическое ожидание логарифма разряда в единичном импульсе и величина воспламеняющего разряда; σ_q — среднее квадратическое отклонение $\lg q$.

Полученная вероятность $P\{q \geq q_B\}$ сравнивается с допустимой вероятностью $P_d = 10^{-6}$ для крайне маловероятного события. Условие безопасности записывается как

$$P\{q \geq q_B\} \leq P_d. \quad (2)$$

Описанная методика [3] нашла практическое применение, однако, как сказано в работе [2], более представительной оценкой взрывобезопасности следует считать вероятность работы аппарата (машины) без воспламенения перерабатываемой среды в течение заданного времени. Тогда условие взрывобезопасности запишется как

$$P\{q < q_B\} \geq P_{d,\tau}, \quad (3)$$

где $P\{q < q_B\}$ — вероятность того, что в интервале времени t в аппарате не произойдет ни одного воспламеняющего разряда; $P_{d,\tau}$ — допустимый уровень вероятности незажигания в гарантированное время τ работы аппарата.

Для решения задачи (3) использованы методы, разрабатываемые в теории надежности [4]. Первый метод основан на изучении физико-химических свойств и параметров элементов технических устройств, происходящих в них физико-химических процессов, физической природы и механизма отказов. Второй метод основан на изучении статистических, вероятностных закономерностей появления отказов множества однотипных устройств; при этом отказы рассматриваются как некоторые отвлеченные случайные события, а многообразные физические состояния элементов и устройств сводятся, в основном, к двум состояниям — исправности и неисправности, которые описываются функциями надежности.

Электростатические разряды как отказ системы

В настоящее время наиболее разработана статистическая, вероятностная теория надежности. Это обусловлено, отчасти, большей доступностью исследования влияния многих различных факторов на состояние элементов и устройств. Однако особенности разработанных вероятностных методов оценки надежности обусловлены тем, что показатели надежности не связываются непосредственно с физическими характеристиками элементов и устройств и с воздействующими на них факторами. Поэтому единственно верное направление дальнейшего развития теории и техники надежности — это сочетание статистических, вероятностных методов с "глубоким проникновением в физическую (физико-химическую) сущность процессов, протекающих в изделии" [4, 5].

Для решения задачи (3) высказан ряд предпосылок. Рассматривается система (аппарат), в которой непрерывно следуют искровые электрические разряды с различным уровнем энергии. Разряды с энергией, равной (или больше) воспламеняющей, зажигают горючую смесь, и в аппаратах происходит взрыв. Разряды с энергией, меньше воспламеняющей, перерабатываемый продукт не зажигают.

Прохождение каждого разряда есть испытание на зажигание перерабатываемого продукта. Считается, что каждый разряд есть отказ рассматриваемой системы, в результате прохождения которого возможно только два исхода: перерабатываемый продукт зажигается или не зажигается. После прохождения незажигавшего разряда система мгновенно восстанавливается. Появление воспламеняющего искрового разряда отмечается точкой на временной оси. Задача состоит в том, чтобы найти распределение времени появления воспламеняющих разрядов.

Используются статистические модели для испытания на долговечность из теории надежности [6, 7] и физические соображения о природе электростатических разрядов. Пусть в момент $t = 0$ система начинает работу, а в момент $t = \tau$ происходит

разряд. Тогда время τ рассматривается как время жизни системы. Если система работает с перерывом и если во время простоев ее параметры не меняются и она не может отказаться, тогда справедливо под величиной τ понимать не календарное, а чистое время работы. Случайная величина τ имеет закон распределения:

$$F(t) = P\{\tau < t\}. \quad (4)$$

Функция $F(t)$ есть вероятность появления разряда в системе до момента t . Предполагается, что функция $F(t)$ непрерывна. Существует непрерывная плотность вероятности появления разряда

$$f(t) = F'(t). \quad (5)$$

Наряду с функцией $F(t)$ употребляется функция, дающая вероятность появления разряда (отказа) за очень короткий промежуток времени при условии, что до этого момента разрядов не было. Эта функция называется интенсивностью разрядов (отказов):

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}, \quad (6)$$

где $1 - F(t)$ — вероятность безотказной работы до момента t .

Интенсивность отказов, свойственная многим явлениям, включая человеческую жизнь, имеет "корытообразную" форму, показанную на рис. 1. На графике видно, что весь интервал времени можно разбить на три участка. На первом из них, включая момент времени t_0 , $\lambda(t)$ имеет повышенное значение вследствие так называемых приработочных отказов, т. е. ранних отказов, зачастую вызываемых производственными дефектами. Затем интенсивность отказов убывает и остается почти постоянной до момента времени t_1 , после которого она возрастает вследствие появления износовых отказов.

Для разрядов статического электричества, исходя из физических соображений, наиболее характерен второй период времени, так называемый период нормальной работы, на котором интенсивность отказов практически постоянна, т. е. процессы разрядов статического электричества должны хорошо описываться однородными процессами Пуассона (простейшими потоками), для которых выполняются следующие три условия: стационарность, отсутствие последствий, ординарность [6].

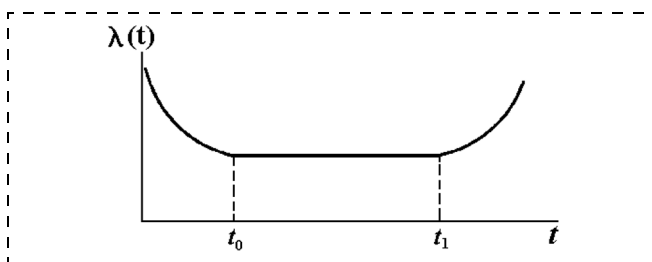


Рис. 1. Типичная форма интенсивности отказов [7]

Следовательно, время исправной работы системы для каждого вида разрядов подчиняется экспоненциальному закону распределения, т. е. функция интенсивности каждого вида разрядов является постоянной величиной по времени:

$$\lambda(t) = \lambda = \text{const.} \quad (7)$$

Функция вероятности разрядов одинаковой величины описывается экспоненциальным распределением с плотностью

$$f(t, \lambda) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda t}, & t \geq 0, \lambda > 0 \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases} \quad (8)$$

или в интегральной форме

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}. \quad (9)$$

Параметр λ чаще всего необходимо оценивать на основе экспериментальных данных с помощью следующего выражения [6]:

$$\hat{\lambda} = N/T, \quad (10)$$

где N — число разрядов определенной величины; T — общее время испытаний.

Математическое ожидание времени безотказной работы t , называемое средним временем безотказной работы, для каждого вида разрядов определяется как

$$\Theta = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (11)$$

Соответствующей оценкой выборочного среднего является

$$\hat{\Theta} = \frac{1}{\hat{\lambda}}. \quad (12)$$

Для нахождения значения интенсивностей разрядов, не зафиксированных при испытании, используется выражение

$$\lambda = p_i \frac{n}{T}, \quad (13)$$

где p_i — вероятность появления разряда больше определенной величины, находится по закону распределения разрядов в единичных импульсах; n — общее число зафиксированных разрядов всех величин.

Полагая, что общая длительность испытаний задается заранее (таким образом, наблюдаемое число разрядов является случайной величиной), находим, что нижний доверительный предел для Θ при $(1 - \alpha)$ 100 %-ном доверительном уровне равен

$$\Theta^* = \frac{2T}{x_{1-\alpha;\gamma}^2}, \quad (14)$$

где $\gamma = 2F + 2$, $x_{1-\alpha;\gamma}^2$ — значение для различных α приводится в таблице процентилей распределения χ^2 ; $F = 1$; для не зафиксированных в эксперименте разрядов в выражении (13) $T = \Theta$.

Закон распределения (статистическая модель) для электростатических разрядов определяется следующим образом. Результаты эксперимента сводятся в статистический ряд и оформляются в виде гистограммы, где на оси абсцисс приводится величина заряда в единичном импульсе, а на оси ординат — частоты соответствующих разрядов.

Частоты разрядов определяются как

$$p_i^* = \frac{m_i}{n}, \quad (15)$$

где m_i — количество импульсов в i -м интервале; n — общее число наблюдений.

Выбор статистической модели должен основываться на понимании рассматриваемого физического явления и применении различных методов проверки допущений о том или ином распределении. Из всего многообразия методов оценки на основе экспериментальных данных приемлемости статистической модели выбрана проверка с помощью критерия χ^2 , который можно использовать для проверки адекватности любой статистической модели.

Экспериментальная установка

Для проверки статистической модели проведены экспериментальные исследования электризации сыпучих материалов. Экспериментальная установка для исследования процесса электризации сыпучих материалов при гравитационном истечении изображена на рис. 2. Установка состоит из бункера-питателя 3, изготовленного из коррозионно-стойкой стали, циклона 2 и рукавного фильтра 1, экспериментальной воронки 6, изготовленной из органического стекла и футерованной изнутри коническими медными электродами, установленными по высоте воронки. В экспериментах были использованы воронки с углом раскрытия $\alpha = 10, 15, 20, 25, 30^\circ$. Каждая воронка была снабжена насадками, позволяющими изменять расход материала из воронки. Высота электродов колебалась от 60 до 65 мм, промежутки между ними составляли от 8 до 10 мм. Высота электродов увеличивалась для каждой воронки по мере возрастания угла раскрытия α . В каждой воронке установлено шесть электродов, пронумерованных в порядке возрастания цифр от зоны загрузки до зоны выпуска. Также применялись металлические насадки, являющиеся по существу седьмым электродом. Высота всех воронок составляла 400 мм.

Для приема сыпучего материала, истекающего из воронки, служил приемный бункер, аналогичный бункеру-питателю, нижнее отверстие которого было закрыто заслонкой и соединено с трубой пневмосистемы 8.

Защита рабочих емкостей установки от влияния внешних электромагнитных полей осуществлялась с помощью экранов 4 и сетки-экрана 5. В качестве модельного сыпучего материала использовался по-

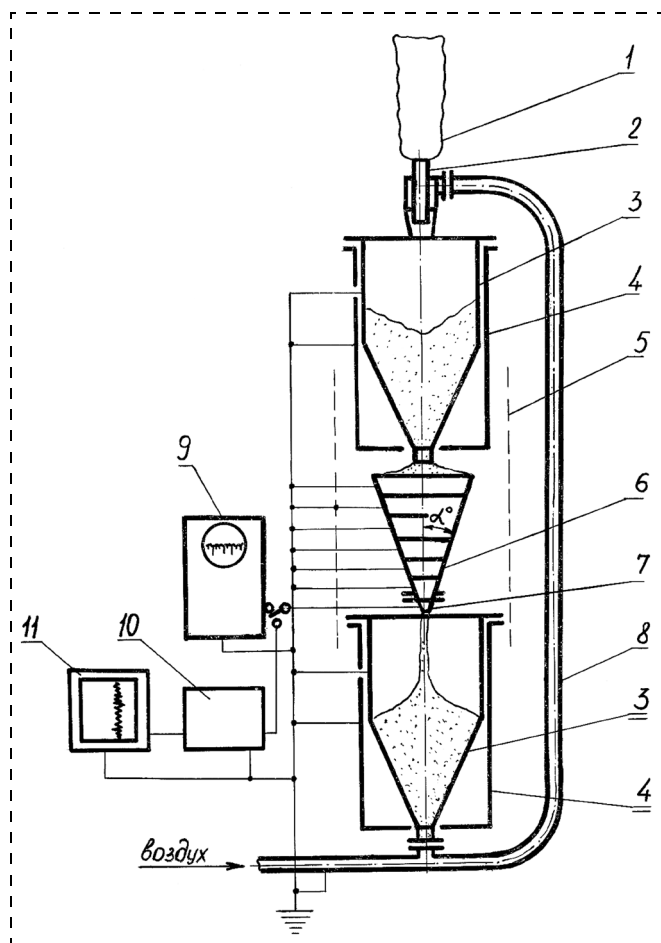


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для исследования процесса электризации в сужающихся каналах:

1 — рукавный фильтр; 2 — циклон; 3 — бункер; 4 — электростатический экран; 5 — сетка-экран; 6 — воронка; 7 — насадка; 8 — труба пневмотранспорта; 9 — осциллограф; 10 — усилитель тока; 11 — потенциометр

рошкообразный полипропилен. Для измерения тока электризации при гравитационном истечении сыпучего материала был использован электрометрический усилитель тока 10 типа УИ-2 и самопишущие приборы 11 (потенциометр КСП-4 и миллиамперметр И37).

Порядок проведения экспериментов

Эксперименты проводились в такой последовательности: сыпучий материал с помощью пневмотранспорта перегонялся из приемного бункера в бункер-питатель, затем напорный вентилятор отключался; открывалась заслонка бункера-питателя и экспериментальная воронка наполнялась порошком при ее закрытом выпускном отверстии; открывалось выпускное отверстие воронки и записывался ток электризации с подключенного к приборам электрода при условии заземления всех остальных электродов воронки и проводящих частей установки; запись осуществлялась до полного опорожнения зоны

исследуемого электрода, время измерения ограничивалось временем опорожнения бункера-питателя. Для измерения тока электризации на следующем электроде процесс повторялся таким же образом.

Так как измеряемый ток является разностью между током непосредственно электризации и током в разрядах [2], для электродов всех воронок было проведено наблюдение для определения зон, где происходят разряды статического электричества. Был использован осциллограф С1-19Б с чувствительностью порядка 10^{-13} Кл. Разряды были обнаружены только в зоне непрерывной загрузки и зоне выхода материала из воронки в остальных зонах и во всех зонах воронки с углом раскрытия $\alpha = 10^\circ$ разряды не были обнаружены за время полного опорожнения бункера-питателя.

Эксперименты по измерению разрядов проводились аналогично вышеописанному: полипропилен перекачивался из нижнего бункера по трубе пневмосистемы в верхний бункер-питатель; пневмосистема выключалась, экспериментальная воронка заполнялась порошком при закрытом ее нижнем отверстии; один из кольцевых электродов подключался к осциллографу, остальные электроды воронки заземлялись; бункеры, труба пневмосистемы также были заземлены; защита от внешних электромагнитных полей в установке осуществлялась с помощью экранов; далее открывали отверстие воронки и наблюдали на экране осциллографа наличие разрядов на подключенном электроде; наблюдения велись до полного опорожнения бункера-питателя; затем повторяли процесс перекачивания порошка и наблюдали наличие разрядов на следующем электроде; наблюдения велись при различных расходах порошка путем замены насадок.

Анализ результатов эксперимента

Экспериментально обнаружены зоны, в которых при чувствительности осциллографа $q = 1,2 \cdot 10^{-13}$ Кл разряды с наэлектризованного материала для всех воронок (кроме воронок с углом раскрытия $\alpha = 10^\circ$) наблюдаются только в двух зонах: на верхнем электроде в зоне непрерывного заполнения воронки порошком и в зоне выхода сыпучего материала из воронки, на насадку (см. рис. 2). На остальных электродах, а также во всех зонах воронки с $\alpha = 10^\circ$, разряды для всех расходов порошка не обнаружены. Следовательно, можно утверждать, что разряды происходят только в зонах неустановившегося движения, где резко меняется объемная плотность материала или есть другие причины резкого повышения напряженности электрического поля объемного заряда порошка. Повышение напряженности до предельной напряженности окружающей среды $E_{пр}$ вызывает пробой воздушного промежутка между частицами материала и проводящей заземленной стенкой.

В зоне непрерывной загрузки разряды определяются тремя основными факторами: объемным зарядом выходящего из бункера-питателя сыпучего материала, расходом из воронки и геометрическим размером зоны (диаметром воронки в зоне электрода). В зоне выхода материала из воронки разряды определяются в основном расходом и углом раскрытия воронки α . Чем больше значения α , тем острее кромка насадки и тем интенсивней процесс электростатических разрядов. Для воронки с углом раскрытия $\alpha = 10^\circ$ при одинаковых отверстиях по сравнению с другими испытываемыми воронками наблюдается наибольший расход порошка. Однако ни в одной из зон воронки не зафиксированы электростатические разряды.

Обнаружение некоторого угла $\alpha = 10^\circ$, когда разряды не наблюдаются в краевых зонах, можно объяснить геометрией данной воронки, т. е. некоторым малым диаметром верхнего электрода по сравнению с критическим диаметром, когда начинаются разряды в зоне загрузки и малым углом заострения металлической насадки по сравнению с некоторым критическим углом. Для воронки с $\alpha = 15^\circ$, разряды уже наблюдаются в обеих краевых зонах. Следовательно, геометрические параметры воронки с $\alpha = 10^\circ$: верхний диаметр равен 160 мм, угол заострения кромки выходного отверстия 80° . Эти параметры обеспечивают безыскровую работу для данной экспериментальной установки и испытываемого порошка.

Для оценки опасности разрядов статического электричества в искровых зонах использована методика, описанная выше. С помощью запоминающего осциллографа С8-11 набиралась статистика амплитуд импульсов напряжения X , что соответствует заряду в единичном импульсе

$$Q = CX, \quad (16)$$

где C — суммарная емкость электрода, кабеля и измерительного прибора, Φ ; X — амплитуда напряжения единичного импульса, В.

Статистическая обработка полученных разрядов подтвердила предположение о пуассоновском процессе для одинаковых разрядов статического электричества. Вследствие этого время измерения задавалось произвольно, но ограничивалось условием набора необходимого количества разрядов каждой определенной величины для расчетов. Полученные экспериментально значения числа импульсов в зависимости от величины заряда располагались в виде вариационного ряда. Строились гистограммы. Затем подбирались закон распределения зарядов в единичных импульсах.

Для рассматриваемой системы (аппарата) разряды взаимно независимы, любой разряд рассматривается как отказ всей системы (для незажигающих разрядов система мгновенно восстанавливается). Такие системы называются цепными. Цепные сис-

темы с отказами, имеющими экспоненциальное распределение времени безотказной работы, при условии, что число элементов системы велико, хорошо описывается распределением Вейбулла [8]. Поэтому это распределение использовано в качестве статистической модели для описания зарядов в единичных импульсах. Плотность распределения имеет вид

$$f(x) = \begin{cases} \frac{-x^\eta}{\beta} e^{\frac{-x^\eta}{\beta}}, & x \geq 0, \\ 0, & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (17)$$

где η — параметр формы распределения; $\beta = \sigma^\eta$; σ — параметр масштаба распределения.

В интегральной форме распределение Вейбулла будет выглядеть следующим образом:

$$F(x, \eta, \beta) = \begin{cases} 1 - \exp\left[-\frac{x^\eta}{\beta}\right], & x \geq 0, \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (18)$$

Для оценки параметров распределения Вейбулла η и β пользуются методом разбиений [8].

Экспериментальные значения были обработаны по описанному выше способу и полученные распределения Вейбулла проверены по критерию согласия Пирсона, или χ^2 — критерию. Проверка показала, что во всех распределениях вероятность p того, что величина, распределенная по закону χ^2 , превзойдет вычисленное значение χ^2 , больше 0,1. Это дает право считать гипотезу о распределении Вейбулла для разрядов статического электричества не противоречащей опытным данным. Также для проверки возможности аппроксимации гистограмм разрядов были опробованы статистические модели: гамма-распределение, логарифмически нормальное распределение. Оценка последних по χ^2 -критерию показала, что только в одном из трех проверяемых случаев оказалось правдоподобным логарифмически нормальное распределение, а гамма-распределение ни в одном из проверенных случаев не подтвердилось.

С использованием статистической модели Вейбулла определяется максимальный импульс напряжения для каждого распределения при условии крайне маловероятного события, когда вероятность его появления равна 10^{-6} [9]:

$$x_{\max} = (13,81\beta)^{\frac{1}{\eta}}. \quad (19)$$

Максимальный разряд, переносимый в единичном импульсе, определяется выражением

$$q_{\max} = CX_{\max}, \quad (20)$$

где C — суммарная емкость электрода, проводов, прибора, Φ .



С учетом (13) определяется среднее время безопасной работы системы, которое характеризует среднее время между двумя максимальными зарядами в импульсах:

$$\Theta = 10^6 \frac{T}{n}. \quad (21)$$

Для зон выхода материала из воронок рассчитаны зависимости максимального заряда в импульсе и среднего времени безопасной работы от расхода сыпучего материала. Было показано, что максимальный заряд в единичных разрядах для всех воронок не зависит от расхода сыпучего материала, незначительные колебания величины переносимого заряда могут быть обусловлены ошибкой эксперимента и рядом других неучтенных факторов (сегрегация, измельчение материала в процессе многократного пересыпания и т. д.). Среднее время безопасной работы (рис. 3) резко убывает при возрастании расхода сыпучего материала из воронки, кривые по внешнему виду напоминают экспоненты. Для зон загрузки определялись зависимости максимального заряда и среднего времени безопасной работы только для воронок с углом раскрытия $\alpha = 15$ и 20° , так как с увеличением угла α начинает преобладать нормальное истечение, и материал в зоне загрузки у стенки остается неподвижным при непрерывном питании из бункера-питателя. Вид кривой (рис. 4) среднего времени безопасной работы напоминает зависимость для зон выхода (насадок), максимальный заряд в единичном разряде незначительно возрастает при увеличении расхода сыпучего материала.

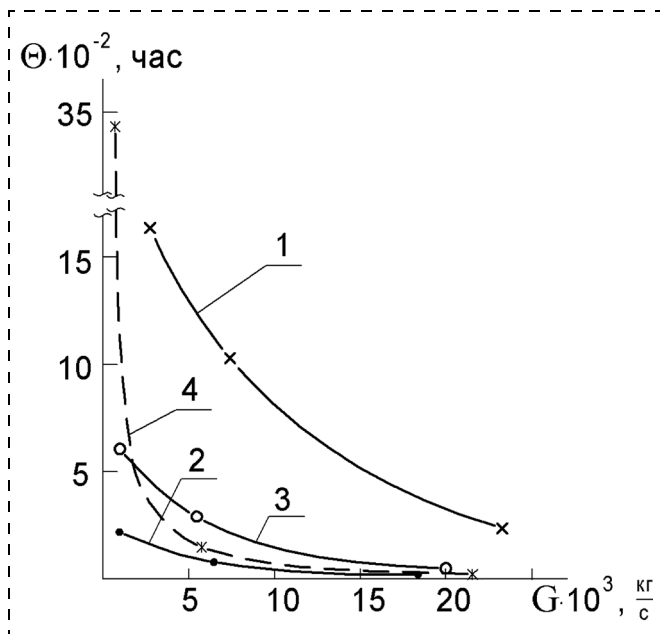


Рис. 3. Зависимость среднего времени безопасной работы от расхода полипропилена из воронки с различным углом раскрытия

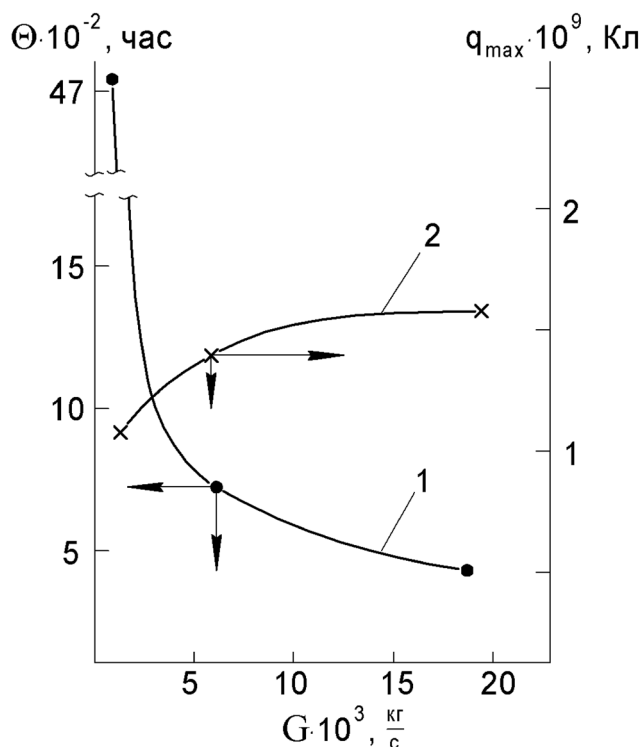


Рис. 4. Зависимость среднего времени безопасной работы (1) и максимального заряда в импульсе (2) от расхода полипропилена из воронки с углом раскрытия $\alpha = 20^\circ$

На основе вышеизложенного предлагается метод оценки опасности зажигания веществ разрядами статического электричества, который проверен экспериментально при гравитационном истечении сыпучего материала и может применяться для других случаев электризации.

Список литературы

1. Вережкин В. Н., Смелков Г. И., Черкасов В. Н. Электростатическая искробезопасность и молниезащита. — М.: МИЭЭ, 2006. — 170 с.
2. Попов Б. Г., Вережкин В. Н., Бондарь В. А., Горшков В. И. Статическое электричество в химической промышленности / Под ред. Б. И. Сажина. — Л.: Химия, 1977. — 238 с.
3. Временная инструкция по определению воспламеняющей способности разрядов статического электричества по заряду в импульсе. — М.: ВНИИПО, 1970. — 18 с.
4. Меламедов И. М. Физические основы надежности. — Л.: Энергия, 1970. — 52 с.
5. Хевиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность. — М.-Л.: Энергия, 1966. — 232 с.
6. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. — М.: Наука, 1965. — 542 с.
7. Хан Г., Шапиро С. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро. — М.: Мир, 1969. — 395 с.
8. Герцбах И. В., Кордонский Х. Б. Модели отказов. — М.: Сов. радио, 1966. — 166 с.
9. Блехман Н. И., Мышкис А. Д., Пановко Я. Г. Прикладная математика: предмет, логика, особенности подходов. — Киев: Наукова думка, 1976. — 229 с.



УДК 697.921.42:533.697.5

А. В. Шашин, асп.,

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Методический подход к установлению энергетически рационального и безопасного режима удаления выбросов взрывоопасных вредных веществ

Представлен методический подход применения эжекторно-очистной установки с рециркуляцией очищенного воздуха, обеспечивающий не только безопасные условия отсоса взрывоопасных выбросов из их источников, но и экономию энергетических ресурсов при работе приточных и вытяжных вентиляционных систем в производственных помещениях.

Shashin A. V. *The methodical approach to an establishment of energetically rational and safe mode of removal of emissions explosive harmful substances*

The methodical approach of application ejector-clearing installation with recirculation the cleared air, providing not only safe conditions sucking explosive emissions from their sources, but also economy energy resources is presented at work inflow and exhaust ventilating systems in industrial rooms.

В любой конструкции местной вытяжной вентиляции наиболее ответственным элементом является приемное устройство (укрытие) технологических выбросов. Закрытые и полузакрытые местные отсосы вредных выбросов обладают рядом важных преимуществ, среди которых наиболее значимыми являются:

- практически полная локализация выделения химических вредных веществ (ВХВ);

- обеспечение строго направленного перемещения объема выделяемых из источников ВХВ;

- достижение наименьших удельных энергетических затрат удаления выбросов по сравнению с другими видами местной вытяжной и общеобменной вентиляции;

- существенное снижение расхода приточного воздуха для удаления поступивших в помещение ВХВ, поскольку за счет улавливания до 99 % технологических выбросов в помещение их поступает только 1 %.

При выделении взрывоопасных химически вредных веществ (ВХВВ) для реализации указанных выше преимуществ требуется обеспечить:

- концентрацию ВХВВ в вентиляционном воздухе, поступающем для рассеивания в атмосфере,

не более 50 % нижнего концентрационного предела распространения пламени (НКПРП), а при поступлении выбросов в помещение — не более 10 % НКПРП, и при этом концентрация в воздухе помещения не должна превышать нормируемое значение концентрации в рабочей зоне — ПДК_{р.з} [2];

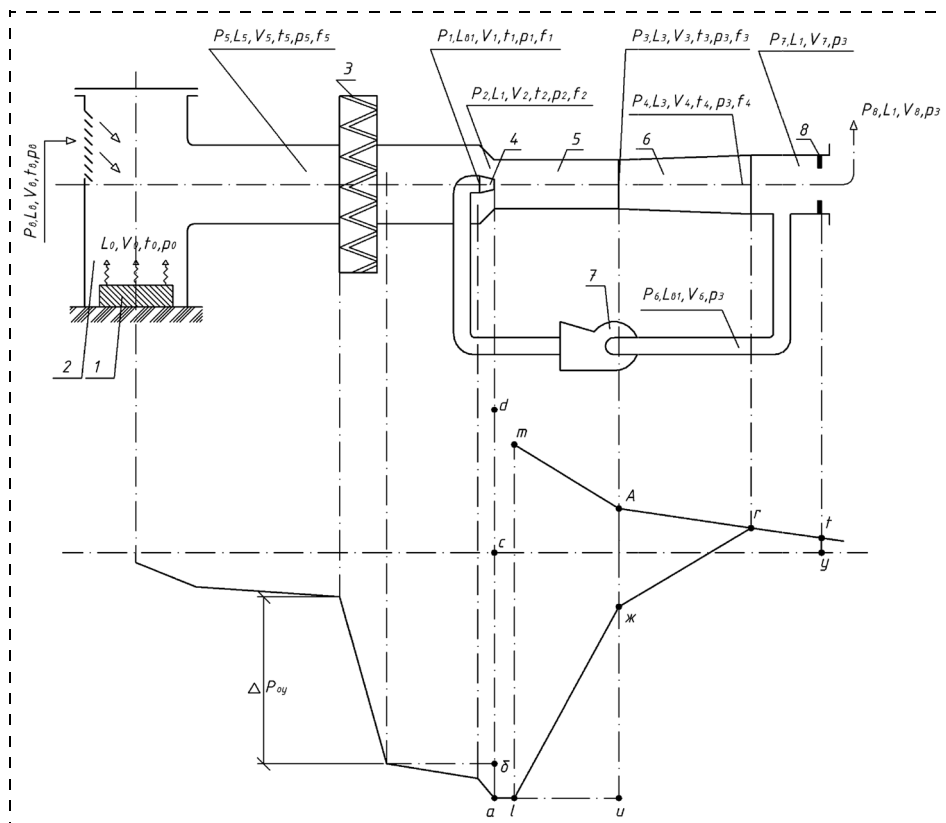
- достижение эффективного безопасного удаления ВХВ не должно приводить к увеличению удельного энергопотребления при одновременной работе местной вытяжной и общеобменной вентиляции.

Несмотря на то, что подавляющее число технологических процессов протекает вне области воспламенения ВХВ, возможна вероятность возникновения условий для образования взрывоопасных концентраций газовых смесей, и поэтому при обращении с взрывоопасными веществами требуются высоконадежные системы удаления и обезвреживания технологических выбросов [3].

Для обеспечения безопасного удаления выбросов при выполнении пожаро- и взрывоопасных технологических операций используются газовые эжекторы, обладающие способностью в несколько раз увеличивать расход отсасываемой газовой смеси из укрытий выделения ВХВ относительно производительности вентилятора; в нем отсутствуют элементы, инициирующие воспламенение смеси, но имеющие относительно невысокий коэффициент полезного действия, вследствие чего они находят ограниченное применение.

Для определения условий снижения удельного энергопотребления при работе местной вытяжной и общеобменной вентиляции проведены теоретические исследования и рассмотрены схемные решения по созданию установки, комплексно обеспечивающей эффективный и безопасный отсос ВХВ, в которой снижается образование взрывоопасных смесей, обезвреживаются химически опасные выбросы, предусмотрена рециркуляция очищенных выбросов и существенно снижается поступление ВХВ в помещение из укрытия.

Принципиальная схема такой установки и характер изменения параметров газовой смеси на различных участках установки представлены на рисунке.



Эжекторно-очистная установка локализации взрывоопасных выделений вредных веществ, их обезвреживания и рециркуляции очищенных выбросов:

1 — источник выделения взрывоопасных вредных веществ; 2 — укрытие; 3 — очистное устройство; 4 — сопловая насадка активного газа; 5 — смесительная камера, 6 — диффузор; 7 — вентилятор; 8 — дросселирующее устройство

На рисунке приняты следующие обозначения параметров:

$P_1, L_{B1}, V_1, t_1, \rho_1, f_1$ — температура, расход, скорость, давление, плотность вентиляционного воздуха и площадь сечения на выходе из насадки эжектора;

$P_2, L_1, V_2, t_2, \rho_2, f_2$ — аналогичные параметры газовой смеси перед смесительной камерой эжектора;

$P_3, L_3, V_3, t_3, \rho_3, f_3$ — параметры на выходе из камеры смешения эжектора; V_3 — скорость после завершения смешения, V'_3 — скорость смешиваемых потоков в начале смесительной камеры, при этом $V'_3 > V_3$;

$P_4, L_3, V_4, t_4, \rho_3, f_4$ — параметры на выходе из диффузора;

$P_5, L_5, V_5, t_5, \rho_5, f_5$ — параметры на выходе из укрытия (перед очистным устройством);

$P_B, L_B, V_B, T_B, \rho_B$ — параметры воздуха, поступающего в укрытие;

L_0, V_0, t_0, ρ_0 — параметры конвективного потока в укрытии источника ВХВ;

P_7, L_1, V_7, ρ_3 — параметры очищенной смеси перед дроссельным устройством;

P_8, L_1, V_8, ρ_3 — параметры очищенной смеси, поступающей в атмосферный воздух;

P_6, L_{B1}, V_6, ρ_3 — параметры смеси, поступающей в вентилятор при рециркуляции.

Кроме того, на рисунке приведены следующие обозначения параметров газовых потоков:

ΔP_{oy} — аэродинамическое сопротивление очистного устройства;

$c-d$ — полное давление, развиваемое вентилятором;

$l-m$ — динамическое давление активного газа на участке смешения потоков, равное $\rho_3 (V'_3)^2/2$;

$a-b$ — динамическое давление поступающего отсасываемого газа в смесительную камеру, создающее дополнительное разрежение на входе в смесительную камеру, равное $\rho_2 (V_2)^2/2$;

$l-ж$ — повышение статического давления в смесительной камере с коэффициентом сопротивления ξ_K , равное $\Delta P_{см} =$

$$= \rho_3 V_3 (V'_3 - V_3) - \xi_K \rho_3 V_3^2/2;$$

$u-ж$ — величина динамического давления на выходе из смесительной камеры, равная $P_{см} = \rho_3 V_3^2/2$;

$ж-r$ — повышение статического давления в диффузоре с коэффициентом потерь $\xi_{диф}$, равное $\Delta P_{диф} = (1 - \xi_{диф}) \rho_3 V_3^2/2$;

$a-c$ — величина разрежения у среза сопловой насадки;

$t-u$ — падение давления на участке разделения газовых потоков;

$m-A$ — аэродинамическое сопротивление смешиваемых потоков.

Для эффективного побуждения отсоса ВХВ с применением эжекторно-очистной установки потребовалась разработка математических зависимостей, позволяющих увязывать взаимозависимые характеристики процессов эжектирования газовых потоков, очистки технологических выбросов и рециркуляции очищенного газового потока. Для этого введены ограничения и допущения реализации их параметров. Такими граничными условиями, определенными на основе анализа выполненных результатов исследований и экспериментальных работ, являются перечисленные ниже положения.



Таблица 1

Скорость воздуха V_B , м/с	Коэффициент испаряемости $k_{и}$ при температурах источника ВХВ, °С				
	10	15	20	30	35
0	1	1	1	1	1
0,1	3,0	2,6	2,4	1,8	1,6
0,5	6,6	5,7	5,4	3,6	3,2
1,0	10	8,7	7,7	5,6	4,6

1. В системе локализирующей вентиляции скорость поступающего воздуха через проем укрытия должна быть равна или больше минимальной скорости, препятствующей выносу вредных из укрытия [6].

2. В укрытии не должно создаваться значительной скорости воздуха над поверхностью источника выбросов при отсосе ВХВ, при которой интенсифицируется процесс испарения ВХВ. Изменение удельной скорости парообразования веществ, $\text{кг/м}^2 \cdot \text{с}$, определяется по зависимости [3]

$$m_{п} = 10^{-6} \cdot k_{и} P_s \sqrt{M}, \quad (1)$$

где M — молекулярная масса испаряющегося вещества; P_s — давление насыщенного пара, кПа; $k_{и}$ — коэффициент испаряемости вещества, зависящий от скорости воздушного потока над поверхностью источника ВХВ. Значения коэффициента $k_{и}$ при различных температурах испаряющегося вещества приведены в табл. 1 [3].

Данные таблицы свидетельствуют о существенном влиянии на испаряемость вещества скорости воздуха над поверхностью источника ВХВ.

3. По экспериментальным зависимостям [6] скорость конвективного (теплого) потока газа (м/с) как носителя ВХВ, равная

$$V_o = 0,136(Q/z)^{1/3}, \quad (2)$$

и поток газовой смеси ($\text{м}^3/\text{с}$)

$$L_o = 19(Q/z^5)^{1/3} \quad (3)$$

не должны быть существенно трансформированы поступающим в укрытие воздухом из помещения.

Здесь Q — выделяемый источником тепловой поток, Вт; z — расстояние, м, от поверхности источника ВХВ до точки взаимодействия конвективного потока ВХВ и поступающего в укрытие воздуха. По данным работы [6] $z \geq 1,25d_{\text{экв}}$, где $d_{\text{экв}}$ — эквивалентный диаметр источника выбросов ВХВ.

4. Скорость воздуха, поступающего из помещения в укрытие, в зависимости от токсичности выбросов составляет $V_B = 0,7 \dots 1,5$ м/с [1].

5. При установлении режима воздухообмена в укрытии, учитывается влияние температуры источни-

Таблица 2

Высота z , м	Скорость восходящих потоков V_0 , м/с, при температуре источника t_0 , °С						
	20	30	40	50	60	70	80
0,05	0,3	0,34	0,4	0,43	0,45	0,5	0,67
0,25	0,38	0,43	0,5	0,56	0,6	0,68	0,8
0,45	0,4	0,46	0,55	0,63	0,7	0,77	0,9
0,65	0,34	0,44	0,58	0,68	0,75	0,82	0,96

ка на скорость восходящих потоков ВХВ. В табл. 2 приведены данные зависимости скорости восходящих потоков V_0 на расстоянии z до поверхности выделения тепловых потоков [1].

Из приведенных данных следует, что температура источника определяет скорость подъема вредных выделений, градиент которой увеличивается с удалением от поверхности источника на разгонном участке потока.

Представленные ниже математические зависимости, описывающие основные газодинамические режимы формирования выбросов в укрытии, их эжектирование и рециркуляцию, основаны на базовых уравнениях количества движения, баланса энергетических потоков и баланса давлений в вентиляционной системе с учетом исследуемой схемы эжекторно-очистной установки.

Уравнение количества движения газового потока в эжекторно-очистной установке имеет вид:

$$L_{B1} \rho_1 V_1 + L_1 \rho_2 V_2 = (L_{B1} + L_1) \rho_3 V_3 = L_3 \rho_3 V_3. \quad (4)$$

Уравнение количества движения от укрытия до смесительной камеры имеет вид:

$$(L_B + L_o) \rho_{см} V_4 + L_1 \rho_1 V_1 - L_{B1} \rho_3 V_6 = L_1 \rho_3 V_8, \quad (5)$$

где $\rho_{см}$ — плотность смеси в укрытии, равная $\rho_{см} = \frac{\rho_B + L_o/L_B \rho_o}{1 + L_o/L_B}$; L_o — конвективный поток ВХВ.

Аналогично плотность газа в смесительной камере

$$\rho_3 = \frac{\rho_2 + L_2/L_1 \rho_1}{1 + L_2/L_1}.$$

В расчетах принято допущение, что плотности газа на всех участках установки равны и приняты равными плотности воздуха ρ_B .

Требуемое полное давление, развиваемое вентилятором, определяют следующим образом:

$$P_1^n = L_1/L_{B1} [\rho_B V_1^2/2 - \Delta P_{oy} - \rho_B V_2^2/2 - \rho_B V_5^2/2]. \quad (6)$$

Для составления уравнения баланса энергии введен ряд определений.



Энергия у сопла эжектора, создаваемая расходом активного газа

$$E_1 = L_{B1} \rho_B V_1^2 / 2.$$

Энергия, затрачиваемая на преодоление сопротивления вентиляционного тракта и очистной установки до смесительной камеры

$$E_2 = L_1 \Delta P_{oy} / \rho_B + \rho_5 V_5^2 / 2.$$

Энергия, теряемая при смешении двух потоков неупругих масс, определяется по формуле Карно-Борда:

$$E_3 = L_{B1} \rho_B \frac{V_1^2}{2} + L_1 \rho_B \frac{V_2^2}{2} - (L_{B1} + L_1) \rho_B (V_3')^2 / 2.$$

Потеря энергии при внезапном расширении газа от максимальной средней скорости V_3' до скорости V_3 , на выходе из смесительной камеры

$$E_4 = (L_{B1} + L_1) \rho_B \frac{(V_3' - V_3)^2}{2}.$$

Энергия, расходуемая в смесительной камере и диффузоре на повышение давления на величину ΔP_3

$$E_5 = (L_{B1} + L_1) \Delta P_3 = (L_{B1} + L_1) [(1 - \xi_{кам}) \times \rho_B V_3 (V_3' - V_3) + (1 - \xi_{диф}) \rho_B V_3^2 / 2],$$

где $\xi_{кам}$, $\xi_{диф}$ — коэффициенты потерь давления в камере и диффузоре.

Энергия, расходуемая на повышение давления за диффузором на величину ΔP_4 для обеспечения рассеивания выбросов

$$E_6 = (L_{B1} + L_1) \Delta P_4.$$

Баланс энергии

$$E_1 = E_2 + E_3 + E_4 + E_5 + E_6.$$

Уравнение баланса энергии с учетом принятых обозначений энергии будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} L_{B1} P_1 / \rho_B &= L_{B1} (V_1^2 / 2 - V_2^2 / 2 - \Delta P_{oy} / \rho_B - \rho_B V_5^2 / 2) = \\ &= L_1 (\Delta P_{oy} / \rho_B + \rho_B V_5^2 / 2) + (L_{B1} + L_1) \Delta P_3 / \rho_B + \\ &+ [L_{B1} V_1^2 / 2 + L_1 V_2^2 / 2 - (L_{B1} + L_1) (V_3')^2 / 2 + \\ &+ (L_{B1} + L_1) (V_3' - V_3)^2] + (L_{B1} + L_1) \xi_{диф} V_3^2 / 2 + \\ &+ (L_{B1} + L_1) \Delta P_4 / \rho_B. \end{aligned} \quad (7)$$

В этом уравнении слагаемые, заключенные в квадратные скобки, выражают затраты энергии при смешении потоков газа.

Из уравнения (7) можно получить два уравнения:

$$\begin{aligned} (\Delta P_{oy} / \rho_B - \rho_B V_5^2 / 2) + \Delta P_3 / \rho_B + \Delta P_4 / \rho_B &= \\ = V_3 (V_3' - V_3) + (1 - \xi_{диф}) V_3^2 / 2 - V_2^2 / 2; \quad (8) \\ (V_3')^2 / 2 &= [V_2^2 / 2 + (V_3' - V_3)^2 / 2 + \xi_{диф} V_3^2 / 2 + \\ &+ (\Delta P_{oy} / \rho_B - \rho_B V_5^2 / 2) + \Delta P_3 / \rho_B + \Delta P_4 / \rho_B]. \quad (9) \end{aligned}$$

Продифференцировав уравнение (9) с определением максимально реализуемой величины сопротивлений $(\Delta P_{oy} / \rho_B - \rho_B V_5^2 / 2) + \Delta P_3 / \rho_B + \Delta P_4 / \rho_B$, получим: $V_3' - 2V_3 + (1 - \xi_{диф}) V_3 = 0$, и тогда максимальная скорость в начале смесительной камеры

$$V_3' = (1 + \xi_{диф}) V_3. \quad (10)$$

Подставив в уравнение (9) значение V_3' из уравнения (10) и обозначив отношение $m = V_2 / V_3' = V_2 / [V_3 (1 + \xi_{диф})]$, получим:

$$\begin{aligned} (V_3')^2 &= \\ = \frac{2(\Delta P_{oy} / \rho_B + \rho_B V_5^2 / 2 + \Delta P_3 + \Delta P_4)(1 + \xi_{диф})}{\rho_B [1 - m^2 (1 + \xi_{диф})]}, \quad (11) \end{aligned}$$

а также

$$V_3^2 = \frac{2(\Delta P_{oy} / \rho_B + \rho_B V_5^2 / 2 + \Delta P_3 + \Delta P_4)}{\rho_B (1 + \xi_{диф}) [1 - m^2 (1 + \xi_{диф})]}. \quad (12)$$

Наиболее выгодное соотношение скоростей $m = V_2 / V_3'$ представлено в табл. 3 [4]. В ней приведены также зависимости отношений площадей f_3 / f_2 и f_3 / f_1 от соотношения расходов $\beta = L_1 / L_{B1}$ и отношения скоростей в смесительной камере V_2 / V_3 . Знание площади f_3 позволяет определить длину диффузора $l_d = (6...8) d_3$.

С учетом уравнения (4) скорость газа на выходе из насадки эжектора

$$V_1 = V_3 [1 + \beta (1 - V_2 / V_3)]. \quad (13)$$

Из полученной зависимости (12) следует, что на скорость газа на выходе из смесительной камеры эжектора V_3 , выражающей энергетическую эффективность эжектора относительно затрачиваемой энер-

Таблица 3

β	0,8	1,0	2,0	6,0	10
m	0,59	0,61	0,68	0,76	0,79
f_3 / f_2	1,32	1,22	1,03	0,89	0,87
f_3 / f_1	1,7	1,81	2,4	4,5	6,3
V_2 / V_3	0,68	0,7	0,78	0,87	0,9



гии активного газа $\rho_B V_1^2/2$ вентилятора, наибольшее влияние оказывает аэродинамическое сопротивление очистной установки ΔP_{oy} .

При давлении на выходе из вентилятора P_1^p , совершаемую работу активного газа в эжекторе определяют по формуле:

$$L_{B1} P_1^p = L_1(\rho_B V_1^2/2 - \rho_B V_2^2/2 - \Delta P_{oy} - \rho_B V_5^2/2). \quad (14)$$

Добавив в обе части уравнения (14) значения ΔP_3 и ΔP_4 , будем иметь:

$$\begin{aligned} L_{B1}(P_1^p - \Delta P_3 - \Delta P_4) = \\ = L_1(\rho_B V_1^2/2 - \rho_B V_2^2/2 - \rho_B V_5^2/2 - \Delta P_3 - \Delta P_4). \end{aligned}$$

Тогда статический коэффициент полезного действия эжекторной установки

$$\begin{aligned} \eta_{эж} = \\ = \frac{L_1(\rho_B V_1^2/2 - \rho_B V_2^2/2 - \Delta P_{oy} - \rho_B V_5^2/2 - \Delta P_3 - \Delta P_4)}{L_{B1}(P_1^p - \Delta P_3 - \Delta P_4)}. \quad (15) \end{aligned}$$

Полное давление вентилятора определяют по зависимости (6). Полученная зависимость (15) позволяет дать оценку влияния всех основных параметров местной вытяжной вентиляции на максимально достигаемый коэффициент полезного действия эжектора. Расчетom установлено, что наиболее значимыми воздействующими параметрами являются показатель $\beta = L_1/L_{B1}$ и аэродинамическое сопротивление очистной установки ΔP_{oy} .

Максимальное значение $\eta_{эж} = 0,46$ достигается при $\beta = 0,8...1,0$ и значении $m = 0,59...0,62$. Допустимая величина аэродинамического сопротивления очистного устройства ΔP_{oy} зависит от располагаемой скорости насадки эжектора V_1 . Из зависимости (6) следует, чем выше эта скорость, тем больше возможность применить очистное устройство с большим аэродинамическим сопротивлением, а, следовательно, и с большей эффективностью.

Максимально близкое расположение источника выбросов к отверстию отсоса приводит к снижению скорости V_1 и, следовательно, к снижению давления вентилятора.

Так, например, при необходимости отсоса паров бензола при температуре $t_0 = 40$ °С, имеющего нижний концентрационный предел распространения пламени (НКПРП) = 44,7 г/м³, при скорости испарения $m_{и} = 735$ г/м²·ч, диаметре источника $d_{эжв} = 2$ м, тепловой мощности источника $Q = 800$ Вт и допустимой скорости воздуха в проеме укрытия $V_B = 1$ м/с, требуется обеспечить нормируемую концентрацию в укрытии не более $c \leq 0,5 \cdot 44,7 =$

$= 22,35$ г/м³ (требование СНиП 41-01—2003). Вместе с этим, через проем укрытия в помещение будут проникать взрывоопасные вещества против потока воздуха [6], поэтому требуется концентрацию в укрытии снизить до 10 % НКПРП. С учетом указанных исходных данных расход поступающего воздуха в укрытие, приняв коэффициент увеличения испарения ВХВ $k_{и} = 4,6$ составит $L_B = 1470 \cdot 4,6 \cdot 3,14/4,47 = 4750$ м³/ч. Приняв общее аэродинамическое сопротивление вентиляционных каналов $\Delta P_K = 300$ Па и очистной установки $\Delta P_{oy} = 700$ Па, требуемая мощность вентилятора при его коэффициенте полезного действия $\eta_B = 0,7$ составит $N_B = 4750 \cdot 1000/(3600 \cdot 1000 \cdot 0,7) = 1,9$ кВт. При этих условиях, но с применением мер по снижению влияния поступающего воздуха на испаряемость ВХВ, при рециркуляции очищенного воздуха в эжекторе расход поступающего воздуха в укрытие снизится и составит $L_B = 1470 \cdot 3,14/4,47 = 1030$ м³/с. Общее аэродинамическое сопротивление воздухопроводов при сохранении их диаметров сократится в 3,2 раза (4750/1470) даже без учета снижения сопротивления в вентиляционных каналах рассеивания выбросов в атмосферном воздухе. Потребная мощность вентилятора с эжекторным побуждением отсоса взрывоопасных выбросов составит $N_э = 1030 \cdot (700 + 300/3,2)/(3600 \cdot 1000 \cdot 0,7) = 0,33$ кВт.

В этих условиях не потребуется установка вентилятора в отдельное помещение и будет обеспечена повышенная безопасность.

Вывод

При применении эжектора для отсоса из укрытия взрывоопасных веществ в совокупности с мерами по снижению образования выбросов и рециркуляции очищенных смесей в эжекторе местная вытяжная вентиляция по энергетическим показателям не уступает традиционной вентиляционной системе, а по условиям эксплуатационной безопасности превосходит ее.

Список литературы

1. Батурин М. В. Основы промышленной вентиляции. — М.: Профиздат, 1990. — 446 с.
2. СНиП 41-01—2003. Отопление, вентиляция, кондиционирование. — М., 2004.
3. Бесчастнов М. В. Промышленные взрывы. Оценка, предупреждение. — М.: Химия, 1991. — 431 с.
4. Каменев П. Н. Гидроэлеваторы и другие струйные аппараты. — М.: Машстройиздат, 1950. — 343 с.
5. ПБ-09-170-97. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. — М., 1997.
6. Эльтерман В. М. Вентиляция химических производств. М.: Химия, 1980. — 197 с.

УДК 539.3:624.04

С. В. Доронин, канд. техн. наук, доц.,
Институт вычислительного моделирования СО РАН, г. Красноярск

Обоснование требований к живучести технологического оборудования

Предложен методический подход к систематизации технологического оборудования по группам опасности и последствиям отказов. На этой основе сформулированы требования к обеспечению живучести оборудования. Количественные требования к живучести конкретизированы для несущих конструкций оборудования.

Ключевые слова: живучесть, технологическое оборудование, аварийные ситуации, дефекты, предельные состояния.

Doronin S. V. Substantiation of requirements to vitality of technological equipment

Methodical approach is offered to systematization of technological equipment on groups to the danger and consequences of faults. On this basis the requirements are formulated to providing of vitality of equipment. The quantitative requirements to vitality are specified for carrying structures of equipment.

Keywords: vitality, technological equipment, emergencies, defects, limit states.

Обеспечение безопасности производства в различных отраслях промышленности требует разработки универсальных подходов к прогнозированию и предотвращению аварийных ситуаций. С этих позиций следует рассматривать взаимодействие парка технологического оборудования как сложной многокомпонентной машиностроительной системы, комплекса технологических процессов, потоков материалов, сырья, энергии.

Одним из перспективных путей предотвращения и снижения риска аварийных ситуаций является повышение живучести технологического оборудования. В соответствии с ГОСТ 27.002—89 "Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения" понятие "живучесть" занимает пограничное место между понятиями "надежность" и "безопасность" и должно применяться к объектам, являющимся потенциальным источником опасности. В наиболее общем случае под живучестью понимают свойство системы, состоящее в ее способности противостоять крупным возмущениям за пределами, установленными для их штатного функ-

ционирования, не допуская последующего каскадного развития аварийных и катастрофических ситуаций [1]. Это свойство позволяет локализовать предельные состояния (ПС) элементов конструкций, предотвратить их развитие в тяжелые разрушения и аварии, распространяющиеся на смежные единицы и группы оборудования. Таким образом, задача заключается в определении учитываемых при проектировании и эксплуатации требований к живучести технологического оборудования как элемента, взаимодействующего со смежным оборудованием и технологическими процессами производственной системы.

В связи с большим разнообразием технологических процессов и оборудования, особенностей его взаимодействия с другими элементами производственной системы, причин формирования и возможных последствий ПС, целесообразен дифференцированный подход при решении указанной задачи. Это, в свою очередь, предполагает тот или иной вариант систематизации (группировки) технологического оборудования в рамках конкретной производственной системы. Один из возможных вариантов рассмотрен в данной статье.

Предложенный ранее методический подход ("структурная схематизация"), апробированный для условий глиноземного производства, основан на том, что отдельные единицы оборудования связаны технологическими процессами и взаимодействуют друг с другом путем передачи потоков материалов и энергии [2]. При этом подходе разрабатывается структурная схема, аналогичная схеме последовательного и параллельного соединения элементов в теории надежности. В эту схему в качестве элементов включаются не только отдельные единицы оборудования и их узлы, но и технологические процессы, потоки материалов и энергии.

Далее выполняется логический анализ структурной схемы, в ходе которого определяется опасность ПС отдельной единицы оборудования для смежных единиц оборудования, объединенных общими операциями технологического процесса, материальными и энергетическими потоками. Такой анализ позволяет выделить отдельные типы и единицы оборудования, ПС которых могут привести к нарушениям технологических процессов, пото-

ков материалов и энергии, создающим дополнительные нагрузки на другие единицы оборудования — элементы структурной схемы.

Анализ взаимодействия элементов производственных систем позволяет отнести любую единицу оборудования к одной из двух технологических групп. К первой (I) группе отнесем те единицы оборудования, ПС которых так влияют на технологические процессы, потоки материалов и энергии, что создаются дополнительные нагрузки (механические, термические, электромагнитные и др.) на другие единицы оборудования. Ко второй (II) группе относятся единицы оборудования, ПС которых не влияют на нагруженность и надежность смежных единиц оборудования посредством изменения протекания технологических процессов.

Оборудование, относящееся к I технологической группе, дополнительно делится на три подгруппы: I/I — оборудование, ПС которого создают дополнительные нагрузки, не оказывающие значительного влияния на работоспособность и ресурс смежных единиц оборудования, ими можно пренебречь; I/II — оборудование, ПС которого создают дополнительные нагрузки, приводящие к ограничению работоспособности и (или) снижению ресурса смежных единиц оборудования; I/III — оборудование, ПС которого создают дополнительные нагрузки, приводящие к ПС смежных единиц оборудования.

Другой методический подход ("построение и анализ циклограммы риска") связан с анализом риска при циклическом функционировании производственной системы и направлен на выявление наиболее опасных ситуаций в целях повышения живучести соответствующих типов и элементов конструкций оборудования [2]. Он предполагает логический анализ производственной системы и определение границ подсистем, в пределах которых осуществляется некоторый цикл операций технологического процесса. Далее рассматриваются возможные ситуации при взаимодействии элементов каждой подсистемы, проводится сравнительный анализ накопленной потенциальной энергии в системе и риска при различных вариантах взаимодействия отдельных единиц оборудования в течение технологического цикла и строится графическая зависимость риска от времени — циклограмма риска.

Построение циклограммы риска с учетом суммы потенциальных энергий оборудования, технологических процессов, потоков материалов и энергии позволяет установить те единицы оборудования, их узлы и элементы, ПС которых представляет наибольшую потенциальную опасность,

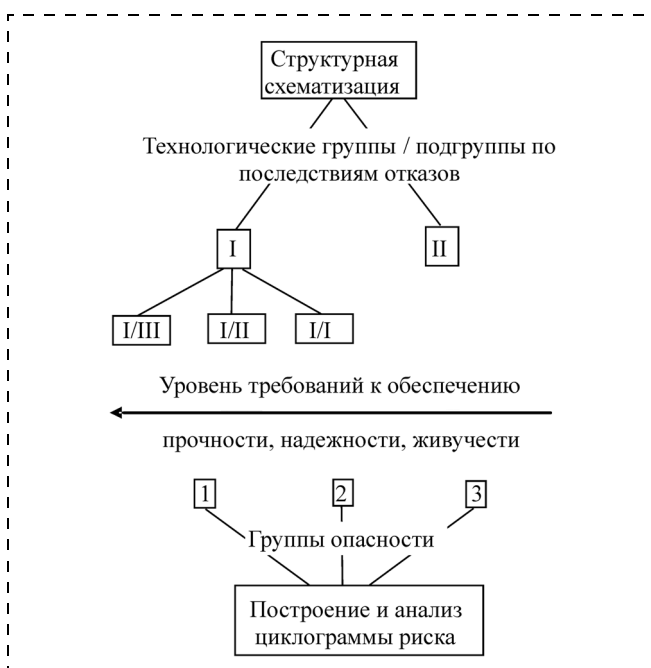
а также соответствующие моменты времени технологического цикла.

Все технологическое оборудование может быть ранжировано по степени опасности следующим образом.

К первой (1) группе опасности относится оборудование, нарушение работы или ПС которого непосредственно приводит к человеческим жертвам и (или) убыткам, сопоставимым с оборотными средствами предприятия. Например, к такому оборудованию в условиях глиноземного производства относятся подъемно-транспортные машины, крупные дробилки, автоклавы, магистральные газопроводы, крупные конвейеры.

Во вторую (2) группу опасности входит оборудование, нарушение работы или ПС которого непосредственно приводит к убыткам, сопоставимым со стоимостью всего оборудования цеха (отделения) или может привести к нарушению в работе более крупного или потенциально опасного оборудования. Таким оборудованием глиноземного производства являются трубчатые вращающиеся печи спекания, кальцинации и их вспомогательное оборудование, мельницы, вакуум-фильтры, выщелачиватели, крупные насосы.

Третья (3) группа опасности включает в себя оборудование, нарушение работы которого не приносит больших убытков непосредственно, но может нанести вред производству, если не будет своевременно устранено. Это насосы, несущие элементы



Рост требований к обеспечению прочности, надежности, живучести оборудования



конвейеров, сгустители, декомпозиеры, колосниковые холодильники, оборудование корректировочных бассейнов и др.

Следует отметить, что различные единицы однотипного оборудования в некоторых случаях могут быть отнесены к различным группам опасности в зависимости от места этих единиц в производственной системе.

Структурная схематизация производственных систем, построение и анализ циклограммы риска позволяют сгруппировать различные типы технологического оборудования с точки зрения опасности последствий его ПС для различных элементов производственной системы. Логично выдвинуть различные требования к обеспечению параметров прочности, надежности, живучести оборудования, относящегося к разным группам опасности, качественно отразив их условной "осью прочности, надежности, живучести", показывающей направление увеличения требований к этим параметрам (см. рисунок).

При этом очевидно, что по мере снижения уровня требований к обеспечению прочности, надежности, живучести (правая часть "оси" на рисунке) требуемые технико-технологические параметры могут быть достигнуты и без использования понятия живучести. Эти параметры достигаются расчетами и выполнением классических требований к прочности, несущей способности, устойчивости, надежности. Поэтому следует дополнительно выделить оборудование, для которого определение требований к живучести и их выполнение являются обязательными.

Единицы оборудования, для которых вопросы оценки и обеспечения живучести являются наиболее актуальными, относятся к III подгруппе I технологической группы. Отнесение конкретных единиц оборудования к той или иной группе определяется структурой и особенностями функционирования конкретной производственной системы. Для этих типов оборудования в зависимости от группы их опасности (1, 2, 3), очевидно, требуются различ-

ные подходы и различный уровень регламентации требований к живучести. Таким образом, дифференциация требований к живучести выполняется с учетом принадлежности единицы оборудования как к технологической группе/подгруппе, так и к группе опасности. В связи с этим удобно дополнительно рассматривать следующие группы живучести: А — оборудование I/III технологической подгруппы и 1-й группы опасности; Б — оборудование I/III технологической подгруппы и 2-й группы опасности; В — оборудование I/III технологической подгруппы и 3-й группы опасности.

Таким образом, выделены те единицы оборудования, для которых должно возрастать как число расчетных параметров, так и сложность методов и алгоритмов их оценки (см. таблицу — движение влево по указанной условной "оси").

Рассмотренный методический подход является универсальным и применим к любым производственным системам, технологическим процессам и типам оборудования. Конкретизация требований к живучести определяется природой процессов деградации элементов оборудования и возможными ПС. Для элементов несущих конструкций, деградационные процессы которых выражаются в появлении и развитии трещиноподобных дефектов, а ПС связаны с хрупкими и усталостными разрушениями, предлагается решение следующих задач для оборудования, относящегося к той или иной группе живучести.

Для оборудования группы А целесообразно выдвинуть следующее требование (в предположении, что прочность, несущая способность, надежность обеспечены традиционными расчетными методиками и конструктивно-технологическими методами): при наличии достаточно большого эксплуатационного повреждения скорость его развития должна быть такова, чтобы за планируемый остаточный срок службы N_0 не произошло катастрофических разрушений конструкции. Например, при наличии трещиноподобного повреждения длиной l^* при

Систематизация оборудования по группам живучести

Технологическая группа/подгруппа	I/III			I/II	I/I	II
	1	2	3	2, 3		3
Группа опасности						
Нормируемая область расчетов	Прочность, надежность, живучесть			Прочность, надежность		Прочность
Группа живучести	А	Б	В			
Уровень требований к обеспечению живучести ("ось прочности, надежности, живучести")	←					

циклическом нагружении скорость роста трещины должна быть не более v^* , так чтобы

$$N = \int_{l^*}^{l_c} v^* dN \geq N_0 n_N,$$

где N — остаточный ресурс; l_c — критический размер трещины; n_N — коэффициент запаса по циклической долговечности.

Под остаточным ресурсом понимается физически обусловленная скоростью развития повреждения величина — наработка до возникновения ПС при данных условиях нагружения. В качестве остаточного срока службы рассматривается наработка, в течение которой не прогнозируется возникновение ПС, но по достижении которой эксплуатация оборудования прекращается с целью недопущения возникновения аварийной ситуации. В данном случае величины N_0 и N измеряются количеством циклов нагружения. При этом начальный размер трещины l^* следует принимать по результатам технической диагностики или опыта расследования аварий аналогичных конструкций.

В связи с повышенной опасностью ПС оборудования группы А требуется обязательное экспериментальное обоснование и исследование конструктивно-технологических решений по обеспечению живучести. В ходе экспериментов на натурных конструкциях или геометрически подобных образцах необходимо исследование изменения скорости роста трещин в начальном и усиленном, характеризующемся повышенной живучестью, конструктивных вариантах [3].

Для оборудования, входящего в группу Б, предлагается расчетными методами обеспечить параметры, исключающие опасность внезапного разрушения, и осуществлять ремонтные и диагностические мероприятия в соответствии с прогнозными оценками остаточного ресурса. Для этого требуется нормирование эксплуатационной дефектности и прогнозирование остаточного ресурса.

Нормирование эксплуатационной дефектности выполняется по критериям статической прочности с учетом возможных предельных состояний. При наличии трещиноподобного дефекта допустимый его размер $[l]$ должен быть меньше критического $l_c = f(\sigma)$, определяемого уровнями действующих напряжений σ и комплекса эксплуатационных факторов

$$[l] \leq \frac{l_c(\sigma)}{n_l},$$

где n_l — коэффициент запаса по размеру дефекта.

Прогнозирование остаточного ресурса требуется выполнять с позиций как классических представлений об усталостной прочности, так и с учетом подходов механики разрушения. Остаточный ресурс оценивается для варьируемых размеров l дефекта $N = f(l)$, что требует предварительного исследования зависимостей характеристик напряженного состояния $\sigma = f(l)$ и параметров механики разрушения от размеров дефекта.

Выполнение указанных требований для оборудования группы Б с точностью и надежностью, характерными для расчетных методик и численных методов, исключает возможность внезапных разрушений и позволяет предупредить развитие катастрофических повреждений своевременным в соответствии с прогнозными оценками остаточного ресурса проведением диагностических и ремонтных мероприятий.

Для оборудования группы В в качестве основного требования по обеспечению живучести целесообразно рассматривать расчетно-экспериментальное обоснование безопасного уровня дефектности в связи с проектным или остаточным сроком службы. Реализация этого требования предполагает проведение численных исследований напряженно-деформированного состояния, анализа опасности дефектов, расчетной оценки остаточного ресурса и нормирования безопасного уровня дефектности.

Изложенные требования к живучести можно считать общими, универсальными для всех типов оборудования. Перспективным направлением развития инженерных расчетов является конкретизация и формулировка требований к живучести оборудования с учетом его конструктивных форм и отраслевой специфики.

Список литературы

1. Махутов Н. А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. В 2-х ч. Ч. 2. Обоснование ресурса и безопасности. — Новосибирск: Наука, 2005. — 610 с.
2. Доронин С. В., Шигин А. О. Систематизация потенциально опасных конструкций технологического оборудования глиноземного производства // Безопасность труда в промышленности. — 2007. — № 1. — С. 72—75.
3. Доронин С. В., Шигин А. О. Экспериментальная оценка живучести при модернизации узлов оборудования // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2007. — № 3. — С. 10—14.

*Работа выполнена при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных
исследований (проект 06-08-00477)*

УДК 628.543

Ф. Г. Гасанова, канд. хим. наук, доц., **Д. Б. Магомедова**, асп.,
З. М. Алиев, д-р техн. наук, проф.,
Дагестанский государственный университет, г. Махачкала

Очистка сточных вод от фенола электролизом при избыточном давлении кислорода

Приведены данные, показывающие влияние избыточного давления кислорода на очистку сточных вод от фенола электрохимическим окислением. Показано, что электрохимическое окисление более эффективно, чем химическое, при том же давлении кислорода. Установлено, что проведение электрохимического окисления под давлением кислорода приводит к увеличению степени очистки фенолсодержащих вод.

Gasanova F. G., Magomedova D. B., Aliiev Z. M. Removal of phenol from waste water by electrolysis under pressure of oxygen

In article the data showing influence of excessive pressure of oxygen on sewage treatment from phenol by electrochemical oxidation are submitted. It is shown, that electrochemical oxidation is more efficient, than chemical at the same pressure of oxygen. It is established, that carrying out of electrochemical oxidation under pressure oxygen results in increase in a degree of clearing the sewage containing phenol.

Проблема очистки производственных стоков от растворенных в воде органических веществ, в частности фенола, является одной из наиболее важных и одновременно трудно решаемых. Несмотря на огромное число отечественных и зарубежных разработок, данную проблему нельзя считать решенной. Причин этому несколько. Во-первых, многообразие систем по химическому составу и условиям образования и существования требует проведения индивидуальных исследований для каждого конкретного случая, что не всегда возможно. Во-вторых, технология достаточно полной очистки воды, как правило, диктует соблюдение особых условий, которые трудновыполнимы на практике. В-третьих, многие эффективные способы глубокой очистки сопряжены с большими экономическими и ресурсными затратами, использованием дефицитных реагентов с последующей их регенерацией, утилизацией или захоронением отходов. Для некоторых предприятий все это выполнить очень сложно, поэтому поиск новых эффективных способов очистки промышленных сточных вод является по-прежнему актуальным.

Методы очистки сточных вод от фенола условно можно разделить на две группы: регенерационные и деструктивные.

Применение *регенерационных методов* для очистки сточных вод химических производств позволяет обезвреживать сточные воды и извлекать фенол с последующим его применением. Существуют следующие регенерационные методы извлечения фенола: экстракционная очистка, перегонка, ректификация, адсорбция, ионообменная очистка, обратный осмос, ультрафильтрация, этерификация, полимеризация, поликонденсация, биологическая очистка и перевод фенола в малорастворимые соединения.

К основным *деструктивным методам* обезвреживания сточных вод от растворенного фенола относятся термоокислительные, окислительные методы, а также электрохимическое окисление. Деструктивные методы применяют в случае невозможности или экономической нецелесообразности извлечения примесей из сточных вод. Электродеструкция основана на электрохимических превращениях органических соединений на электродах с образованием нетоксичных соединений [1–4].

Исследования в области электрохимической очистки фенолсодержащих вод проводили в бездиафрагменном электролизере с использованием анода из двуокиси свинца, катода из меди. Для проведения процесса в электролизер помещали электроды, заливали 200 мл модельного раствора с концентрацией по фенолу $C_{\text{ф}} = 100$ мг/л, по серной кислоте $C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 4,9$ г/л. После электролиза отбирали пробу и анализировали ее на содержание фенола фотокolorиметрическим методом, основанным на образовании окрашенного комплекса фенола с 4-аминоантипирином. Электролиз проводился без подачи кислорода и при избыточном давлении кислорода. В табл. 1 представлены полученные экспериментальные данные.

Из полученных экспериментальных данных видно, что с повышением давления степень очистки фенолсодержащих сточных вод увеличивается. При проведении электрохимического окисления под давлением кислорода фенол окисляется в объеме раствора: на катоде — пероксидом водорода, обра-

зующимся при восстановлении кислорода, и на аноде.

Для установления вклада каждого из процессов в деструкцию фенола проводили химическое окисление и окисление анодным током в автоклаве-электролизере под тем же давлением кислорода.

Химическое окисление проводили в автоклаве, где было создано давление 0,4; 0,8; 1,0 МПа при постоянном перемешивании. Полученные результаты при $C_{\text{ф}} = 100$ мг/л представлены в табл. 2.

Суммарное снижение концентрации фенола за счет окисления растворенным кислородом при давлении 0,4 МПа и анодного окисления составило 80,7 %, а при электрохимическом окислении под давлением кислорода — 92,4 %; при давлении 0,8 МПа соответственно — 83,2 и 96,9 %; при давлении 1,0 МПа — 84,3 и 98,2 %. Вклад катодного процесса в окисление фенола достаточно существенный (см. рис.).

Таблица 1

Зависимость деструкции фенола от давления
($Q = 0,3 \text{ А} \cdot \text{ч}$, $i_{\text{а}} = 10 \text{ мА/см}^2$, $i_{\text{к}} = 3 \text{ мА/см}^2$)*

P , МПа	$C_{\text{ф}}$, мг/л, после электролиза	Степень очистки, %
Без подачи кислорода в электролизер	22,5	77,5
0,4	7,6	92,4
0,8	3,1	96,9
1,0	1,8	98,2

* Q — количество электричества; $i_{\text{а}}$ — анодная плотность тока; $i_{\text{к}}$ — катодная плотность тока.

Таблица 2

Изменение концентрации фенола при химическом окислении
($\tau = 1 \text{ ч}$)*

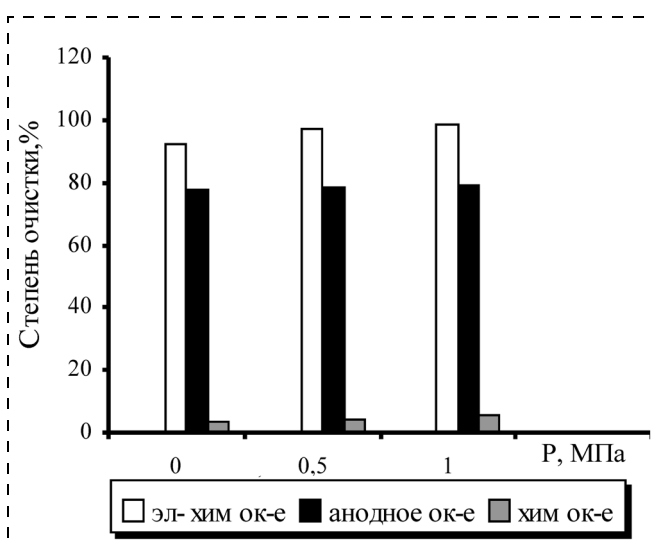
P , МПа	$C_{\text{ф}}$, мг/л, после обработки	Степень очистки, %
0,4	96,8	3,2
0,8	95,3	4,7
1,0	94,7	5,3

* τ — время проведения процесса.

Таблица 3

Влияние давления на затраты электроэнергии

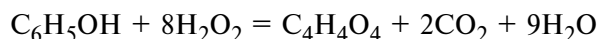
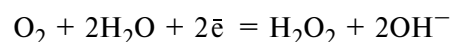
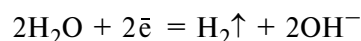
P , МПа	Напряжение на электролизере, В	Расход электро- энергии, кВт · ч/г
Без подачи кислорода в электролизер	4,5	0,070
0,4	3,5	0,045
0,8	2,9	0,036
1,0	2,8	0,034



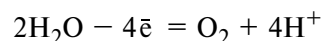
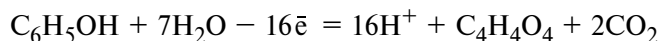
Влияние давления кислорода на степень очистки фенолсодержащих вод ($C_{\text{ф}} = 100$ мг/л, $C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 4,9$ г/л)

При окислении фенола могут протекать следующие электродные реакции:

На катоде:



На аноде:



При проведении электролиза под давлением кислорода на катоде идет восстановление кислорода, что ведет к снижению катодного потенциала и к снижению напряжения на электролизере. Рассчитаны затраты электроэнергии на очистку фенолсодержащих вод. Данные представлены в табл. 3.

Как видно из представленных данных, при проведении электролиза под избыточным давлением кислорода снижаются затраты электроэнергии.

Список литературы

1. Яковлев С. В., Краснобородько И. Т., Рогов В. М. Технология электрохимической очистки воды. — Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. — 312 с.
2. Химия промышленных сточных вод. Пер. с англ. / Под ред. А. Рубина. — М.: Химия, 1983.
3. Томилов А. П., Харламова Т. А. Электрохимия органических соединений в химической промышленности // Российский химический журнал. — 1993. — № 1. — С. 99–107.
4. Родионов А. И., Клушин В. Н., Систер А. Н. Экологические процессы технологической безопасности. — Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2000. — 800 с.



УДК 628.543

А. А. Кадысева, канд. техн. наук,
Омский государственный аграрный университет

Энергетические характеристики анаэробных систем обработки органосодержащих сточных вод и осадков очистных сооружений

Представлены результаты оценки энергетических характеристик анаэробных систем, выполненные на основе комплекса экспериментальных исследований станций очистки высококонцентрированных сточных вод различной производительности. Показано, что при загрязненности сточных вод по БПК₅ более 1500 мгО₂/л использование для технологических нужд произведенного горючего газа позволяет обеспечить полную автономность работы очистных сооружений.

Ключевые слова: сточные воды, анаэробные системы, биогаз, энергетические характеристики, совокупный баланс мощности.

Kadyseva A. A. Energy performance of anaerobic systems of organic-contaminated waste water treatment systems and treatment facility sediments

The work deals with the results of anaerobic systems energy performance assessment done basing on complex experimental studies of highly-contaminated waste water treatment facilities of various output. The work demonstrates that waste water contamination of 1500 mgO₂/l by BOD₅ allows using the produced combustible gas for process needs and thus provides full selfsufficiency of treatment facilities operation.

Keywords: waste water, anaerobic systems, biogas, energy performance, aggregate balance of Dower.

Анаэробные способы обработки применяются, как правило, для сбраживания высококонцентрированных стоков и осадков, содержащих большое количество органических веществ. Процессы анаэробного брожения на станциях биологической очистки осуществляются в специальных аппаратах — метантенках.

В результате жизнедеятельности биоценоза метантенка происходит снижение концентрации органических загрязнений в отходах или сточных водах с одновременным образованием биогаза. В состав биогаза входят метан и диоксид углерода, при этом общее количество и процентное соотношение компонентов биогаза во многом определяется исходным составом сбраживаемой среды.

Анаэробное сбраживание органических осадков сточных вод на станциях аэрации применяется для сырых осадков из первичных отстойников, избыточного активного ила или для их смеси. Сброженный осадок направляется на иловые площадки или подвергается механическому обезвоживанию.

Сбраживание осадков проходит две фазы: кислую и щелочную. В кислой фазе сбраживания сложные органические вещества осадка и ила под действием внеклеточных бактериальных ферментов сначала гидролизуются до более простых: белки — до пептидов и аминокислот; жиры — до глицерина и жирных кислот; углеводы — до простых сахаров. В дальнейшем образуются конечные продукты — органические кислоты. Во второй фазе щелочного или метанового сбраживания из органических кислот образуются метан и диоксид углерода.

Как правило, полученный при нормальном сбраживании ила газ содержит 65...70 % метана и его общая теплота сгорания соответствует 22...24 МДж/м³. Способ утилизации этой энергии зависит от типа промышленного предприятия и местных условий. Если газ не сжигать просто в факеле, то он может использоваться для привода перемешивающих устройств аэротенков, поддержания необходимой температуры сбраживания и получения электроэнергии. Однако необходимо иметь в виду, что по мере усложнения способа применения биогаза возрастают и затраты на обеспечение прироста энергопотенциала.

Технико-экономические сравнения анаэробного сбраживания и аэробной стабилизации осадков показывают, что последняя экономичнее для станций пропускной способностью до 50 тыс. м³/сут. При пропускной способности 50...100 тыс. м³/сут оба метода равноценны, а при пропускной способности более 100 м³/сут экономичнее анаэробное сбраживание осадков.

Описываемая работа предусматривала проведение комплекса испытаний городских станций очистки сточных вод, технологическая схема которых включала в себя участок анаэробной обработки сточных вод и осадков первичных и вторичных отстойников.



Полученные при выполнении работы данные были использованы для расчета энергетического баланса станций очистки различной гипотетической мощности, рассчитанные на обслуживание городов на 10 000, 100 000 и 1 000 000 жителей. Анализу подвергались классические станции биологической очистки, где производилась аэробная обработка сточной воды и анаэробная стабилизация осадков первичных отстойников и избыточного активного ила вторичных отстойников. Полученный в результате анаэробной обработки метан использовался в генераторах энергии для привода механических перемешивающих устройств и для поддержания необходимых температурных условий процесса. Исходными данными для расчета являлись: нагрузка по органическим веществам $1,3 \text{ кг/м}^3 \cdot \text{сут}$; прирост осадков первичных отстойников 30 г/чел. сут , активного ила вторичных отстойников 60 г/чел. сут .

Необходимые мощности для очистки сточной воды (кВт) представлены в табл. 1.

В результате этих операций органические загрязнения из сточной воды трансформируются в осадки, подлежащие дальнейшей обработке.

Необходимые мощности для транспортировки, обезвоживания и утилизации осадков (кВт) представлены в табл. 2.

Количество сбраживающих реакторов (метантенков) на станциях очистки для обработки сырых осадков первичных отстойников и активного ила вторичных отстойников представлено в табл. 3, в которой также дана и вместимость реактивов.

Энергия, необходимая для функционирования станции очистки, включает в себя два вида:

- тепловую энергию для поддержания реакций в мезофильной зоне метантенка;
- механическую энергию для турбулизации (перемешивания) водно-иловой смеси в аэротенке.

Первый вид энергии является наиболее важным и определяет необходимую подачу теплоты в метантенк с учетом потерь при реализации технологического процесса.

Потребная мощность для анаэробного сбраживания (кВт) представлена в табл. 4.

Расчет производства газа и тепловой мощности осуществляется, исходя из экспериментальных данных: для производства $0,54 \text{ м}^3$ газа из 1 кг органических веществ требуется тепловая энергия в количестве $23\,300 \text{ кДж}$.

Теоретический объем производства газа, и соответствующая располагаемая тепловая мощность представлены в табл. 5.

Эти величины соответствуют теоретическим мощностям при 100 %-ной эффективности выделения газа. В действительности газ может быть использован следующими способами с разной эффективностью для производства:

— тепловой энергии в паровых котлах, эффективность которых порядка 90 %;

Таблица 1

Этапы очистки	Количество жителей		
	10 000	100 000	1 000 000
Предварительная очистка плюс отстаивание в первичном отстойнике	8,4	71,0	580,0
Биологическая очистка активным илом	25,0	240,0	2400,0
Необходимая суммарная мощность	33,4	311,0	2980,0

Таблица 2

Вид осадка	Количество жителей		
	10 000	100 000	1 000 000
Осадок первичных отстойников	2	16	100
Активный ил вторичных отстойников	5	27	230
Необходимая суммарная мощность	7	43	330

Таблица 3

Вид осадка	Количество жителей		
	10 000	100 000	1 000 000
Осадки первичного отстойника	1 реактор 230 м^3	2 реактора по 1200 м^3	3 реактора по 8000 м^3
Активный ил вторично-отстойника	1 реактор 460 м^3	2 реактора по 2400 м^3	5 реакторов по 9000 м^3

Таблица 4

Мощность	Количество жителей		
	10 000	100 000	1 000 000
Механическая	8	44	75
Тепловая (максимальная)	100	1000	10 000
Тепловая (минимальная)	50	500	5000

Таблица 5

Параметры	Количество жителей		
	10 000	100 000	1 000 000
Производство газа, $\text{м}^3/\text{сут}$	490	4900	49 000
Тепловая мощность, кВт	130	1300	13 000



— механической энергии в газовых моторах с эффективностью 35 %;

— электрической энергии с эффективностью 33 %.

При расчете реального производства газа принята эффективность его использования при производстве механической энергии — 35 %, при рекуперации теплоты — 45 %.

Выполненный с использованием приведенных выше данных расчет практически располагаемых мощностей (кВт), полученных за счет использования газа, представлен в табл. 6.

Баланс мощности (разность приведенных в скобках величин) на станциях очистки (кВт) представлен в табл. 7.

Совокупный баланс мощности (кВт) на станциях очистки представлен в табл. 8.

Полученный в работе баланс мощности на станциях очистки различной мощности показал, что, начиная с определенного уровня производительности, возможно обеспечение полной автономности

Таблица 6

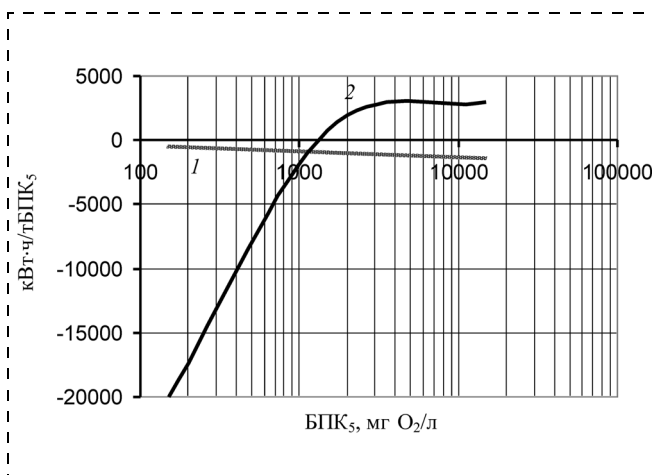
Мощность	Количество жителей		
	10 000	100 000	1 000 000
Механическая, полученная от использованного газа	46	460	4600
Тепловая, полученная из газа при рекуперации теплоты как теплоносителя	59	590	5900

Таблица 7

Баланс мощностей (данные табл. 6 минус данные табл. 4)	Количество жителей		
	10 000	100 000	1 000 000
(Произведенная механическая мощность) — (потребная механическая мощность)	38	416	4525
(Произведенная тепловая мощность) — (потребная тепловая мощность) [максимальная]	—41	—410	—4100
(Произведенная тепловая мощность) — (потребленная тепловая мощность) [минимальная]	9	90	900

Таблица 8

Мощность	Количество жителей		
	10 000	100 000	1 000 000
Необходимая для очистки сточной воды (см. табл. 1)	33,4	311	2980
Необходимая для обработки осадка и активного ила (см. табл. 2)	7	43	330
Произведенная механическая за счет использования газа (см. табл. 7)	38	420	4500
Баланс	—2,4	66	1190



Балансы энергии при аэробном и анаэробном методе обработки в зависимости от исходного БПК₅:

1 — аэробная обработка; 2 — анаэробная обработка

их работы, когда произведенная за счет использования газа механическая мощность превышает мощности, необходимые для очистки сточной воды и стабилизации осадков.

На рисунке приведены балансы энергии при аэробном и анаэробном методах обработки в зависимости от концентрации загрязнений по БПК₅ в исходном стоке, поступающем на станцию очистки. Видно, что только при загрязненности исходных стоков по БПК₅ более 1500 мгО₂/л на станции очистки, реализующей анаэробный процесс обработки, имеет место избыток располагаемой энергии по сравнению с потребной, необходимой для обеспечения полной автономности процесса биологической обработки.

Следует, однако, иметь в виду, что введение различных технологических операций для использования полученной энергии от горючего газа усложняет схему очистки. Поэтому при проведении этих мероприятий на станции очистки необходимо:

- реализовать оптимальный процесс анаэробного сбраживания;
- обеспечить высокую эффективность теплообменника (теплообмена);
- предусмотреть механические генераторы энергии с рекуперацией тепла;
- разработать наиболее результативные установки анаэробной стабилизации.

В целом, расчет энергетических характеристик анаэробных систем обработки отходов различной производительности показал, что при превышении степени загрязненности по БПК₅ более 1500 мгО₂/л использование для технологических нужд произведенного горючего газа позволяет обеспечить полную автономность работы очистных сооружений.

УДК 622.627

К. К. Ким, д-р техн. наук, проф.; **Г. Л. Спичкин**, д-р техн. наук, проф.;

С. В. Терентьев, д-р техн. наук, проф.,

Институт управления качеством электротехнических систем

Петербургского государственного университета путей сообщения

Озоновые прачечные

Рассмотрен метод стирки белья, основанный на введении в моющие растворы, наряду с детергентами, озона, обладающего высокой окислительной способностью и вступающего в реакцию со многими органическими и неорганическими соединениями, расщепляя и окисляя их молекулы.

Ключевые слова: озон, прачечная, сливная вода, дезинфекция, концентрация, эжектор, миксер, давление, влагоотделитель, деструктор.

Kim K. K., Spichkin G. L., Terentyev S. V.
Ozone laundries

The method of washing black linen is considered, based on adding ozone together with detergents into the washing liquid. Ozone is characterized by a high oxidizing ability and it reacts with many organic and inorganic compounds, it splits and oxidizes their molecules.

Keywords: ozone, laundry, waste water, disinfection, concentration, ejector, mixer, pressure, moisture separator, destructor.

Введение

Озон интенсивно используется во всем мире в технологиях очистки воды для обеззараживания и дезинфекции в пищевой, фармакологической промышленности и медицине. В нашей стране применение озона в этих направлениях только начинает развиваться.

Озон является одним из наиболее сильных антимикробных агентов и имеет ряд бесспорных преимуществ по сравнению с другими обеззараживающими агентами:

в процессах дезинфекции озон конвертируется в кислород, который не токсичен и не образует токсичных соединений;

озон — нестойкий газ, который самопроизвольно разлагается и не накапливается в организме;

озоновая дезинфекция не требует последующей обработки — промывки или дегазации изделий в специальных помещениях;

озон гораздо более эффективен, чем традиционно используемые дезинфектанты на основе этиленоксида, хлора, надуксусной кислоты, фенола и др. в процессах инаktivации бактерий, спор бактерий, грибов, вирусов; для озона требуется меньшее время контакта, чем для других дезинфектантов;

озон обладает сильным дезодорирующим эффектом;

технологии применения озона — экологически чистые: непрореагировавший озон разлагается на катализаторах разложения озона; процесс разложения ускоряется при температурном воздействии;

для генерации озона необходим только воздух или кислород и электроэнергия; при применении озоновых технологий исключаются транспортировка и хранение реагентов, связанные с соблюдением мер безопасности.

Присущий озону запах оповещает персонал в случае аварийной ситуации задолго до достижения опасных для здоровья концентраций. Существуют простые и дешевые метрологически аттестованные методы определения концентрации озона на уровне ПДК.

Озон воздействует на все микроорганизмы, окисляя мембрану клетки и нарушая процесс ее дыхания. Кроме большой способности уничтожения бактерий озон обладает высокой эффективностью в уничтожении спор, цист (плотных оболочек, образующихся вокруг одноклеточных организмов, например, жгутиковых и корненожек, при их размножении, а также в неблагоприятных для них условиях) и многих других патогенных микробов.

Эксперименты, проведенные в Калифорнийском политехническом университете, подтвердили, что даже небольшое количество озонированной воды, воздействуя на поверхность, может значительно уменьшить ее микробную обсемененность. При времени обработки порядка 1 мин степень дезинфекции поверхностей изделий из коррозионно-стойкой стали, дерева и пластика составляла 65...99 %. Тест-микробы включали в себя *E. Coli* 0157:H7, *Salmonella*, *Staphylococcus* и др. В США эксперты FDA и USDA одобрили применение озона как "Generally Recognized As Safe (GRAS)". Эта формулировка используется по отношению к новым агентам, по которым отсутствуют свидетельства, указывающие на опасность их применения.

Озоновые установки для прачечных в последние 10 лет получили широкое распространение за рубежом, особенно в США и Канаде. Озон — сильнейший окислитель: окислительный потенциал озона в 1,5 раза больше, чем гипохлорита натрия. Благодаря этому раствор озона в воде уничтожает микроорганизмы и производит деструкцию органи-



ческих соединений в сотни раз быстрее, чем традиционные хлорные дезинфектанты. При стирке в озонированной воде белья и постельных принадлежностей отмечены следующие положительные эффекты:

- наблюдается улучшение качества сточной воды (на 30...50 % за счет уничтожения микроорганизмов, понижения показателя химически потребленного кислорода, уменьшения реактивов на очистку стока, сбрасываемого в канализацию), т. е. снижение нагрузки на городские канализационные сооружения, а также появляется возможность после очистки возвращать часть воды в технологический цикл, используя более дешевые средства очистки сточной воды;
- расход моющих средств сокращается на 20...30 % благодаря добавлению в воду мощного окислителя;
- температуру воды можно снизить с 60...82 °С до 32...35 °С, следовательно, экономия электроэнергии на нагрев воды в условиях стирки с применением озона может достигать 90 %;
- улучшение качества стирки белья за счет дезодорирующего и дезинфицирующего воздействия озона на ткани;
- возможное сокращение цикла стирки за счет ускорения процессов деструкции загрязнений озоном;
- при использовании озона вместо традиционных хлорных отбеливателей наблюдается увеличение срока службы белья, более медленное снижение его прочности с течением времени.

Главные вопросы, которые возникают при рассмотрении возможности оснащения прачечной озоновой установкой, касаются технологического регламента стирки в условиях применения озона:

- какова должна быть концентрация озона в воде перед подачей в машину?
- какова должна быть оптимальная программа стирки при использовании озонированной воды?
- насколько можно снизить длительность, температуру стирки и расход моющих средств при использовании озона?

Ответ на эти вопросы может быть получен только в ходе опытной эксплуатации прачечной, оснащенной озоновой установкой. Технический персонал прачечной обучается работе с озоновой установкой в ходе пуско-наладочных работ, и затем в процессе эксплуатации установки подбирает оптимальный режим озонирования воды — дозировку озона, а также параметры программы стирки — последовательность, виды и длительность циклов, количество моющих средств, температуру воды.

Основной вопрос — как обеспечить безопасность людей в условиях эксплуатации озонаторного оборудования. Это достигается обустройством помещения, где установлены машины, системой приточ-

но-вытяжной вентиляции с кратностью воздухообмена более 6 и оборудованием помещения газоанализатором озона с выдачей сигнала "Превышение ПДК озона в воздухе рабочей зоны" на табло, установленном за пределами помещения стиральных машин. Следует рассмотреть возможность эксплуатации оборудования с минимально возможным временем пребывания людей в помещении стиральных машин и только при условии, если не превышена ПДК озона.

1. Расчетно-пояснительная часть

В описываемом технологическом процессе предполагалось использование стиральной машины Brongo 200 со следующими параметрами: объем стиральной камеры — 2,77 м³, время наполнения стиральной камеры водой — не более 200 с, максимальное количество воды, используемое в операции — 1/3 от объема стиральной камеры, продолжительность самой короткой операции — 3 мин, самой длительной операции — 15 мин.

Принцип применения озона: растворение озона и отделение избытка газовой фазы должно производиться в холодной воде непосредственно перед подачей в машину.

Это связано с тем, что конструктивное вмешательство в машину нежелательно, так как возможна потеря гарантии производителя или неприемлемо сложная, длительная и дорогостоящая процедура согласования изменений в конструкции, а барботирование или циклический ввод озона через эжектор непосредственно в объем воды, залитой в машину перед началом очередной операции, не могут обеспечить эффективности массопереноса озона в раствор и ведут к неконтролируемому выделению из воды избыточной газовой фазы, содержащей значительное количество озона, что приводит к возрастанию концентрации озона в помещении много выше ПДК.

Концентрация озона в воде. Назначением установки является *создание в воде*, используемой для замачивания, стирки и полоскания белья, *требуемой концентрации озона*. Но этот параметр не регламентирован какими-либо нормативными документами вследствие относительной новизны технологии и отсутствия накопленного опыта применения озона в отечественных прачечных. Поэтому предлагается исходить из опыта применения озона для мойки и ополаскивания тары, винных бочек, а также технологического оборудования в мясо- и рыбоперерабатывающей промышленности, где дезинфекция и очистка поверхностей от органических загрязнений достигается при концентрации озона в воде 1...3 мг/л (1...3 г/м³). Большие концентрации озона могут оказывать разрушающее воздействие на ткани белья и резиновые части машины, соприкасающиеся с водой и озонородоушной средой.



Возможны два варианта *гидравлической схемы растворения озона в воде* перед наполнением машины.

1. Создание и поддержание концентрации озона в некотором буферном объеме воды, равном или несколько большем объема воды, подаваемой в машину перед стиркой. Наполнение машины озонированной водой осуществляется специальным насосом, который начинает перекачивать озонированную воду из емкости в машину при открытии соленоидного клапана на входе машины. Избыточная газовая фаза отводится из воздушного зазора между поверхностью воды в емкости и верхней стенкой емкости. Процесс растворения озона происходит в емкости при атмосферном давлении, при этом достигается максимальное отделение избыточного газа.

Недостатком рассматриваемой гидравлической схемы является необходимость дополнительных затрат электроэнергии на поддержание концентрации озона в емкости вследствие непрерывного самораспада озона в воде, необходимость подбора генератора озона большой производительности, способного в течение короткого промежутка времени создать концентрацию озона в емкости. Иначе возможно увеличение длительности наполнения и в результате — общей продолжительности стирки.

2. Насыщение озоном воды непосредственно в трубопроводе на входе стиральной машины. Преимуществом этого варианта схемы по сравнению с предыдущей является большая эффективность массопереноса озона в воду, так как процесс происходит под давлением воды в трубопроводе. Кроме того, достигается экономия электроэнергии за счет снижения производительности генератора по озону и возможного отказа от дополнительного насоса (при условии обеспечения давления в трубопроводе холодной воды во время наполнения машины). Дополнительная пауза перед наполнением машины, необходимая для закачки свежей воды в буферную емкость и создания в ней расчетной концентрации озона не требуется.

2. Выбор генератора озона

Максимальная требуемая концентрация озона в воде на момент наполнения машины — 3 мг/л (3 г/м^3); с учетом коэффициента массопереноса на уровне 75 % для достижения данной концентрации необходимо обработать воду дозой озона 4 мг/л (4 г/м^3). Данное значение оптимально, так как с одной стороны, позволяет добиться деструкции загрязнений и дезинфекции белья, а с другой, — минимизировать разрушающее воздействие озона на резиновые уплотнения машин. Озон в гораздо меньшей степени влияет на прочность белья, чем хлорные отбеливатели, износ при стирке озоном минимален. Резиновые уплотнения машин изготавливаются из материалов, которые обладают стойкостью к воздействию окислителей — хлорных отбеливателей

или препаратов на основе перекиси водорода. Необходимо уточнить типы материалов у производителя машин. Практически не подвержены воздействию озонированной воды следующие типы эластомеров: EPDM, FKM (Viton), FPM, PVDF.

Залповое потребление воды на стирку одной машиной составляет $2,77 : 3 = 0,923 \text{ м}^3$. Это количество воды должно поступить в машину не более чем за 3 мин, следовательно, расход воды в трубопроводе во время наполнения составит 309 л/мин ($\approx 18 \text{ м}^3/\text{ч}$). Производительность генератора озона должна составлять: $18 \text{ м}^3/\text{ч} \times 4 \text{ г/м}^3 = 72 \text{ г/ч}$.

3. Выбор рабочего газа

Так как концентрация водного раствора озона прямо пропорциональна концентрации озона в газовой смеси, растворяемой в воде, наилучших результатов можно добиться, используя в качестве рабочего газа для синтеза озона кислород с концентрацией 92...95 % по массе. Другим важным преимуществом использования кислорода является минимизация газовой фазы и возможность более полного отделения ее избытка из обработанной воды.

4. Выбор способа растворения

Для растворения озона в потоке воды наиболее эффективным является способ вакуумного эжектирования. Причем для системы создания концентрации озона в воде в отличие от систем озоновой очистки и обеззараживания воды не требуется контактный резервуар для обеспечения времени контакта озона с водой. Согласно исследованиям производителя эжекторного оборудования Mazzei Injector Corp. при использовании озонокислородных смесей и дополнительно к эжектору устройств, интенсифицирующих перемешивание пузырьков газа и воды под давлением, основная масса озона переходит из газовой фазы в раствор в течение 20...45 с после ввода.

5. Оборудование

Для решения данной задачи используется станция озонирования воды COB-M/08K $\times$ 2-0/0 OZ.

В состав станции входят следующие компоненты:

I. Блок подготовки рабочего газа:

1. Компрессорная станция Atlas Copco SF4-FF на ресивере с рефрижераторным осушителем.

2. Концентратор кислорода ProVita-30 с автоматическим управлением, оборудованный фильтром кислорода, редуктором давления сжатого воздуха, редуктором тонкой регулировки давления кислорода, контроллером концентрации кислорода.

3. Ресивер кислорода вместимостью 110 л ($0,11 \text{ м}^3$).

II. Генератор озона RSO-80:

4. Модули генерации озона RMU-DG6.

5. Мастер-контроллер RMOС для управления модулями генерации озона.



6. Стабилизатор напряжения LIDER PS1200W.
7. Ловушка влаги "Water Trap" (устройство для предотвращения попадания воды в генератор озона).

8. Регулятор расхода озонкислородной смеси. Все компоненты генератора озона RSO-80 смонтированы на единой раме RS-6 frame, предназначенной для установки на пол.

III. Блок насыщения воды озоном:

9. Вакуумный эжектор MIC#2081 с нержавеющей обратным клапаном на газовой магистрали.

10. Статический миксер 3''.

11. Манометры в озоностойком исполнении.

12. Газоотделительная колонна из коррозионно-стойкой стали.

13. Озоностойкий газоотделительный клапан 1-AVCW.

14. Влагоотделитель.

15. Каталитический деструктор избыточного озона 3''.

IV. Блок контроля концентрации озона в воде:

16. Контроллер концентрации озона в воде MOZ66.

17. Соединительная коробка PK41 с преобразователем сигнала.

18. Проточная измерительная ячейка PB42V с датчиком озона CSZT43PS.

Рассматриваемая станция озонирования имеет следующие технические характеристики:

Требуемое давление воды на входе, кПа (кгс/см ²), не менее	294 (3)
Максимальный подпор перед входом в стиральную машину, кПа (кгс/см ²) . . .	196 (2)
Производительность по воде, м ³ /ч.	20 ± 1
Максимальная производительность по озону, г/ч	80
Потребляемая мощность, кВт, не более . . .	5,2
Электропитание	220/380 В, 50 Гц
Размеры для подключения к трубопроводу .	фланец Ду 50 мм
Качество воды на входе станции	холодная водопроводная вода, СанПиН 2.1.4.1074-01

6. Принцип работы станции

Схема работы станции, основанной на растворении озона в воде методом вакуумного эжектирования, дана на рисунке (см. 3-ю стр. обложки). Из водопроводной сети вода подается на вход вакуумного эжектора 9. Генератор озона включается автоматически при появлении разрежения в газовой магистрали. Кислородный концентратор 2 вырабатывает кислород из сжатого воздуха, подаваемого компрессорной станцией 1, методом короткоцикловой безнагревной адсорбции и подает его через ресивер 3, мастер-контроллер 5 в газоразрядные реакторы модулей генерации озона 4, которые запитываются от стабилизатора напряжения 6. В газоразрядных реакторах кислород частично переходит в озон и полученная озонкислородная смесь,

предварительно осушенная с помощью ловушки влаги 7, под действием разрежения, которое создается в эжекторе 9 вследствие перепада давления воды на входе и выходе эжектора, поступает в трубопровод, где интенсивно смешивается с потоком воды. В результате вода насыщается мельчайшими пузырьками озонкислородной смеси, а на поверхности раздела жидкой и газовой фаз начинается массоперенос газообразного озона в воду. Контроль давления данной смеси осуществляется манометрами 11. Регулировка потока озонкислородной смеси производится при помощи регулятора расхода 8.

Далее смесь воды и пузырьков поступает в статический миксер 10, увеличивающий эффективность массопереноса озона в воду, а затем в газоотделительную колонну 12, где отделяется избыточная газовая фаза через газоотделительный клапан 13.

Отделенная газовая фаза проходит через влагоотделитель 14, где удаляется капельная влага, и поступает в каталитический деструктор 15, где остаточный озон превращается в кислород.

Поток воды с растворенным озоном подается на вход стиральной машины.

Доза обработки воды озоном определяется расходом воды через станцию и скоростью потока озонкислородной смеси через эжектор. Дозу обработки можно регулировать двумя способами: включением/выключением одного из модулей 4 и регулировкой расхода озонкислородной смеси при помощи регулятора 8.

Контроллер концентрации озона 16 непрерывно контролирует содержание озона на выходе газоотделительной колонны, т. е. перед подачей воды на стиральную машину, получая сигналы через соединительную коробку 17 от датчика озона, установленного в проточной измерительной ячейке 18.

Станция озонирования имеет санитарно-эпидемиологическое заключение № 77.01.16.361.П.031239.04.07 от 28.04.2007 г. и сертификат соответствия № РОСС RU.AE44.B53274 от 23.05.2007.

Закключение

В Европе по данным на 2001 г. более 20 тыс. т белья стирается этим методом. Хотя капитальная стоимость новой системы выше традиционной, все перечисленные выше преимущества позволяют вернуть капитальные вложения за 15...30 месяцев.

Вследствие того, что нагрев воды в стиральных машинах производится при помощи пара, главная экономия заключается в снижении потребления моющих средств на 90 % и более. Дополнительная экономия может быть достигнута за счет сокращения объема воды на стирку белья (10...20 %), так как вследствие сокращения или отказа от моющих средств необходимость полоскания белья отпадает.

УДК 628.345.1

В. И. Маниева, канд. техн. наук,
Восточно-Сибирский государственный технологический университет, г. Улан-Удэ,
А. А. Батоева, канд. техн. наук, **М. Р. Сизых**, канд. техн. наук,
Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ

Кондиционирование сточных вод молочных предприятий

Показана перспективность применения высокодисперсного коагулянта-сорбента, полученного путем модификации природной монтмориллонитовой глины воздействием акустических колебаний в присутствии Fe^{3+} , для кондиционирования сточных вод молочных производств.

Ключевые слова: сточные воды молочных предприятий, кондиционирование, обессоливание, сорбент-коагулянт, замкнутое водоснабжение.

Manieva V. I., Batoeva A. A., Sizykh M. R.
Conditioning of dairy factory waste water

Perspectivity of application Fe-montmorillonite modified by ultrasound for conditioning of dairy factory waste water is shown.

Keywords: Dairy factory waste water, conditioning, demineralization, sorbent-coagulant, recycling water supply.

В настоящее время из-за ухудшающейся экологической обстановки ужесточились требования к качеству очищаемой воды. Из более чем 50 предприятий пищевой промышленности в Республике Бурятия только 15 % обеспечены очистными сооружениями, что приводит к сбросу неочищенных сточных вод в сети муниципальной канализации и на рельеф местности. Общий объем сточных вод по отрасли составляет 0,65 млн м³, загрязнений — 95,7 т; из них сбрасывается в водоемы 0,55 млн м³ и 31,6 т, соответственно.

Одной из мер, направленных на предотвращение загрязнения водных объектов, является сокращение сброса сточных вод за счет внедрения на предприятиях современных высокоэффективных методов локальной очистки и организации систем замкнутого водоснабжения.

Очистка производственных сточных вод с помощью природных сорбентов приобретает все большее значение, так как позволяет добиться хороших результатов при относительной дешевизне и доступности этих реагентов и технологичности процессов. К числу таких материалов, уникальных по своим свойствам, относятся природные слоистые силикаты, в частности монтмориллонитовые глины.

Ранее авторами был предложен способ очистки сточных вод от красителей с использованием сорбента-коагулянта, полученного путем модификации природного монтмориллонита воздействием акустических колебаний в присутствии $Fe(III)$ [1], позволяющий добиться высокой степени очистки при минимальной дозе реагента. Обработка суспензии акустическими колебаниями происходит в режиме кавитации. В коллапсирующем газовом пузырьке развиваются очень жесткие условия (температура в несколько тысяч градусов и давление в сотни атмосфер), которые приводят не только к сильнейшему механическому воздействию на систему, но и образованию H_2O_2 , $OH^\bullet$ и $H^\bullet$ радикалов. В итоге, обработка ультразвуком суспензии монтмориллонита в растворе соли железа (III) приводит к замещению не только гидратированных ионообменных катионов монтмориллонита, расположенных в межслоевой области, но и неионообменных катионов внутри октаэдрических и тетраэдрических пустот силикатного скелета. Катионы в этих пустотах координированы кислородными атомами. Активированные радикалами OH -центры и Fe -центры гидратированной поверхности монтмориллонита образуют прочные комплексы с сорбируемыми ионами, что и обуславливает высокую сорбционную способность модифицированного глинистого минерала [2].

Рассмотрим возможность применения разработанного метода для очистки сточных вод молокоперерабатывающих предприятий.

Объектами исследования являлись модельные растворы и реальные сточные воды АО "Молоко", г. Улан-Удэ. Экспериментально установлено, что степень очистки производственных сточных вод АО "Молоко" составляет 83...99,8 %, при дозе суспензии 5 мл/л вне зависимости от исходных концентраций ($XPK_{исх} = 400...30\,000\text{ мг}O_2/л$) в широком диапазоне $pH = 4...10$. Следовательно, на обработку модифицированным Fe -монтмориллонитом (Fe -ММ) сточные воды могут направляться без предварительной корректировки pH .

Сравнение предлагаемого метода и традиционной реагентной коагуляции, проведенное методом пробного коагулирования, свидетельствует о том, что эффективность действия модифицированного монтмориллонита значительно выше, чем у сульфата железа $Fe_2(SO_4)_3$ (III) (табл. 1). При этом рас-



ход сорбента-коагулянта (в пересчете на железо) на извлечение органических веществ существенно ниже. При применении суспензии Fe-монтмориллонита для извлечения органических соединений из сточных вод молочного производства происходит сочетание коагуляционных и сорбционных механизмов. Глина также играет роль поверхности, провоцирующей первые этапы коагуляционно-сорбционного взаимодействия, и способствуют образованию плотных агрегированных структур.

В рамках одного предприятия осуществляется несколько технологических процессов, которые по своей специфике вносят в общий сток большое количество хлоридов и фосфатов. Наиболее минерализованы сточные воды производства сыра, содержащие до 800 мг/л хлоридов и до 500 мг/л фосфатов. Фосфаты также поступают в сточные воды после мойки оборудования, тары, при залповых выбросах сыворотки и т. д. При организации систем замкнутого водоснабжения необходимо кондиционировать оборотные воды и по солевого составу.

Из полученных на модельных растворах экспериментальных данных следует, что максимальный эффект очистки по хлоридам достигается при

Таблица 1

Сравнение методов очистки сточных вод

Участок производства	ХПК _{исх} , мгО ₂ /л	pH	Эффективность, %		Расход железа, мг/мг	
			Fe-ММ	Fe ₂ (SO ₄) ₃	Fe-ММ	Fe ₂ (SO ₄) ₃
Цельно-молочный цех	30 000	6,8	99,8	75	0,0009	0,0011
Цех творога	12 000	4,8	99	65	0,0024	0,0036
Тарный цех	5000	10,2	90	50	0,006	0,011
Цех мороженого	600	7,2	85	47	0,055	0,1
Цех приемы молока	420	7,1	83	32	0,08	0,21

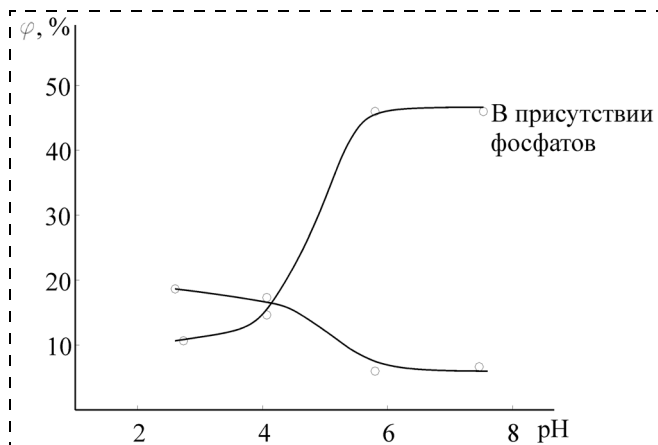


Рис. 1. Зависимость извлечения хлоридов ϕ из водных растворов Fe-монтмориллонитом от значений pH

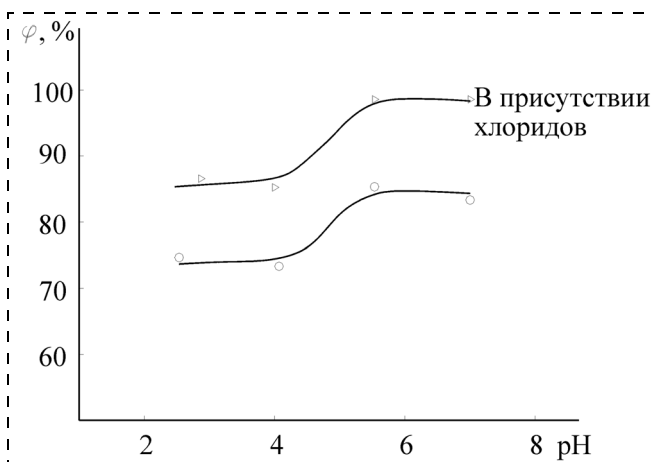


Рис. 2. Зависимость извлечения фосфатов ϕ из водных растворов Fe-монтмориллонитом от значений pH

Таблица 2

Результаты осаждения хлоридов и фосфатов из модельных растворов

Реагент	Количество Fe ³⁺	
	мг на мг осад. Cl ⁻	мг на мг осад. PO ₄ ³⁻
Fe(OH) ₃ [3]	60	61
Fe-ММ, модифицированный ультразвуком	0,9	0,5

pH ≤ 4 и составляет лишь 20 %. Фосфаты эффективно удаляются при pH = 5,5... 7,0, эффект очистки — 84,4 %.

Однако при совместном присутствии указанных анионов характер их извлечения меняется (рис. 1, 2). Максимальный эффект обессоливания достигается в слабнокислой и нейтральной средах (pH = 5,5...7,0), и составляет 43 % по хлоридам, 99,5 % по фосфатам.

Эффективность осаждения хлорид-ионов и фосфат-ионов модифицированным Fe-монтмориллонитом из модельных растворов была испытана в сравнении со свежесоздавшимся гидроксидом железа Fe(OH)₃ [3] (табл. 2). При прочих равных условиях предлагаемый метод позволяет эффективно удалить анионы из растворов при гораздо меньшем удельном расходе железа. Высокий эффект обессоливания, по-видимому, определяется образованием нерастворимых сложных хлорид-, фосфат-содержащих гидроксосоединений железа.

Полученные экспериментальные данные хорошо коррелируют с результатами испытаний, проведенных на реальной сточной воде АО "Молоко", г. Улан-Удэ. Исходная вода (общий сток) имела следующие показатели: pH — 7, ХПК — 340 мгО₂/л, PO₄³⁻ — 440 мг/л, Cl⁻ — 73,1 мг/л. Эффект очистки составил по ХПК — 85 %, PO₄³⁻ — 99,9 %, Cl⁻ — 47,7 % при дозе сорбента-коагулянта 10 мл/л. Очищенная вода может быть возвращена на производственные

нужды (техническое водоснабжение, полив территории, мойку автомашин и др.), а образующийся обогащенный осадок рекомендуется использовать в качестве органоминеральной кормовой добавки.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о высокой эффективности применения высокодисперсного коагулянта-сорбента для обезвреживания загрязнителей различной химической природы, что позволяет рекомендовать его для использования в процессах кондиционирования сточных вод молочных производств.

Список литературы

1. Патент РФ № 2177913 "Способ очистки сточных вод от красителей" / Рязанцев А. А., Батоева А. А., Сизых М. Р. Приоритет от 28.09.2000. Оpubл. 10.01.2002. Бюл. № 1.
2. Рязанцев А. А. Сорбент для очистки сточных вод от анионных красителей // Химия и технология воды. 1994. — Т. 16, № 1. — С. 99—102.
3. Фролова С. И., Бухаринова О. Л. Железосодержащий коагулянт в обессоливании сточных вод // Химия и технология воды. 1994. — Т. 16, № 2. — С. 176—179.

УДК 628.345.1

Л. Л. Никифоров, канд. техн. наук, М. И. Ермолаев, канд. техн. наук
Московский государственный университет прикладной биотехнологии (МГУПБ)

К вопросу обработки осадка сточных вод мясоперерабатывающих предприятий

Описан проведенный в МГУПБ анализ способов утилизации отходов сточных вод мясоперерабатывающих предприятий. Наиболее перспективным признан способ анаэробной ферментации, с помощью которого в результате метанового брожения образуется биогаз, а также дополнительные продукты в виде удобрений. Предлагаемый вариант переработки отходов позволяет сделать производство практически безотходным.

Ключевые слова: сточные воды, анаэробная ферментация, метановое брожение, биогаз, удобрения, мясоперерабатывающие предприятия, газгольдер, биореактор, переработка отходов, белково-жировые вещества.

Nikiforov L. L., Ermolaev M. I. Wastewater mud treatment of meat-processing manufacturers

A methods of the sewage waste reclamation in meat-processing manufacturers have been analyzed in MSUAB. The procedure of anaerobic fermentation is one of the most promising, it means that as a result of methane putrefaction the biogas is generated, as well as fertilizers. This method of reclamation allows to do the production practically wasteless.

Keywords: sewage, anaerobic fermentation, methane putrefaction, biogas, fertilizers, meat-processing manufacturers, gasholder, bioreactor, waste processing, protein-adipose matter.

Мясная промышленность всегда отличалась низким процентом отходов производства. Именно с этой целью в 30—40-х годах прошлого столетия строились крупные мясокомбинаты, где "ничто не пропадает". Поэтому статья [1] несомненно достойных ученых, но далеких от мясной промышленности, вызвала, мягко говоря, недоумение. Авторы [1] заявляют, например, что "очистные сооружения на мясокомбинатах должны иметь жироловки и флотаторы", но на чем основано это заявление и какими документами регламентировано это требование не объясняют. А если будут отстойники и фильтры, то это противозаконно и производство следует останавливать?

Действительно, в советское время большинство предприятий мясной отрасли оснащались флотаторами, которые работали достаточно хорошо. Более того, уже давно специалистами Всесоюзного научно-исследовательского института мясной промышленности (ВНИИМП) были проведены исследования по переработке флотоконцентрата и предложен технологический процесс извлечения и переработки белково-жировых веществ производственных вод мясокомбината [2]. Переработке подвергалась сильно увлажненная жиромасса, однако выход жира был довольно высоким. Топленый жир из разных партий соответствовал I, II и III сортам, что свидетельствует о том, что для получения качественных жиров большое значение имеет свежесть сырья. На установке для переработки флотоконцентрата, получаемого при очистке производственных сточ-



ных вод мясокомбинатов, вырабатывают животный кормовой (или технический) жир и мясную шквару (кормовую добавку к мясокостной муке). Кормовая добавка является важным дополнительным источником увеличения производства кормов животного происхождения. Жиры, вытопленные из свежего сырья, могут быть реализованы как кормовые I и II сортов.

Основными задачами обработки осадков сточных вод является их стабилизация, обезвоживание и обеззараживание. Решение этих задач на очистных сооружениях достигается путем использования различных технологических процессов и сооружений. Схема обработки осадка, ее конструктивное оформление, технологические параметры и технико-экономические показатели определяются производительностью очистной станции, принятым методом очистки, районом строительства, возможностью утилизации осадка и др.

Разработка и внедрение в производство высокоэффективных методов и способов очистки производственных вод с извлечением и утилизацией белково-жировых отходов является весьма актуальными. Авторы же [1] говорят об "утилизации жиросодержащих отходов путем их захоронения в карьерах или отвалах". И вновь возникает вопрос, кто и каким

документом разрешил такое захоронение, узаконил преступление?

Вследствие сложности состава промышленных стоков мясокомбинатов, очистка их должна быть многостадийной и, кроме того, в условиях городских производств осуществляться на малых площадях. Для этого необходимо использовать высокоинтенсивные процессы, что потребует, соответственно, значительных эксплуатационных затрат, частичная окупаемость которых возможна только за счет получения дополнительной товарной продукции из утилизируемых отходов.

Сжигание осадка, также предлагаемое авторами [1], не может серьезно рассматриваться хотя бы потому, что его влажность составляет 96...98 %. Имеются более практичные и разумные способы переработки осадка, например, с целью интенсификации процесса и экономии энергоресурсов, предложен способ его обработки, согласно которому осадок органического происхождения из отстойников, флотаторов и т. п. нагревается при непосредственном контакте с острым паром при непрерывном перемешивании и перемещении до температуры 70...90 °С в течение 18—25 с с одновременным отпрессовыванием жидкой фазы. При этом влажность твердой фазы в конце процесса составляет

Сводная таблица отходов мясокомбината

Наименование цеха	Образующиеся отходы	Параметры отходов				Количество отходов
		Влажность, %	Плотность, кг/м ³	Зольность, %	Сухое вещество, %	
Скотобаза	Навоз: КРС свиней	86	1010	16	30	кг/гол: 29,2
		88	1120	15	10	7,85
Цех убоя и разделки туш	Кровь: КРС	80,9	1060	0,8	19	% от массы: 8,3
	свиней	79...82	1052	0,8	21	6
	Каныга: КРС	87,28	~1000	1,35	12,72	10
	свиней	84,04	~1000	1,46	15,96	1
Кишечный цех	Содержимое сычуга	94,3	~1000	0,89	5,7	0,3
	Содержимое кишок: КРС	85	1040	1,4	13	~10 кг/гол
	свиней	88	1035	1,5	16	~14 кг/гол
	Шлям: КРС/свиней	82	860	0,75	—	800/700 г/гол
Субпродуктовый цех	Слизистые оболочки и другие виды тканей: КРС/свиней	83	920	0,7	—	2,5/1,5 кг/гол
Жировой цех	Шквара: КРС	65	915	—	—	% от жира-сырца: 22,5
	свинина	67,5	920	—	—	9

Примечание. Средняя масса одной головы КРС принята 390 кг, свиньи — 100 кг.

55...60 %. Такой способ решает и проблему обеззараживания белково-жировой массы и существенно уменьшает ее влажность и устраняет неприятные запахи [3].

Предложенный способ позволяет отделить значительное количество влаги от белково-жировой массы перед обработкой твердой фазы в вакуум-горизонтальных котлах при выработке кормовой муки. Это позволит значительно сократить расходы на выпаривание влаги. Кроме того, сокращаются расходы на накопление и хранение твердой фазы в камерах холодильника.

В МГУПБ проведен анализ способов утилизации отходов сточных вод мясоперерабатывающих предприятий. Наиболее перспективным признан способ анаэробной ферментации, с помощью которого в результате метанового брожения образуется биогаз, а также дополнительные продукты в виде удобрений [4].

На крупных мясоперерабатывающих предприятиях, как правило, имеются цеха технических полуфабрикатов, которые перерабатывают непищевое сырье в мясокостную муку, т. е., как отмечалось выше, отходы производства перерабатываются в полезный продукт. На малых предприятиях, к сожалению, такое производство экономически невыгодно, что требует поиска других способов переработки отходов.

При производстве основной продукции на мясокомбинате неизбежно происходят потери сырья и образуются органические отходы, которые необходимо утилизировать. Это навоз убойных животных, содержимое желудков, кишечный шлам, содержимое кишок, слизистые оболочки и другие виды тканей, шквара от вытопки жира, а также белково-жировая масса очистных сооружений предприятия [5].

В среднем на мясокомбинатах образуется от 7 до 19,1 % отходов при убойе скота и разделке туш. Средний выход отходов убой животных, % к живой массе, составляет: для крупного рогатого скота (КРС) — 16,2, для свиней — 7,0.

В таблице приведены данные о непищевых отходах, образующихся на мясокомбинатах.

При переработке твердых отходов предприятий мясной промышленности в биогазовых установках может быть получено до 300 тыс. т условного топлива, за счет переработки сточных вод — до 65 тыс. т. Таким образом, применение биогазовых установок в мясной промышленности обеспечивает от 3 до 10 % потребности предприятий в топливе [4].

Практическая реализация широких возможностей анаэробной переработки пищевых отходов связана с необходимостью разработки оптимальных

конструкций биохимических реакторов, обладающих высокой удельной мощностью, исчисляемой количеством переработанных органических загрязнений в единице объема реактора (м^3) за единицу времени (сутки, час). В таких реакторах должны поддерживаться высокие концентрации анаэробных микроорганизмов и созданы гидродинамические условия, при которых интенсивность массообменных процессов была бы максимальной.

На рис. 1 представлена схема утилизации отходов мясокомбинатов с помощью биогазовой промышленной установки (рис. 2) для получения биогаза и органического удобрения.

Биогазовая установка (см. рис. 2) состоит из магистральных трубопроводов, резервуара для предварительного хранения отходов (сборник отходов), биореактора с устройством для перемешивания его содержимого, погрузочно-разгрузочного оборудования в виде подъемника, нагревателя, емкости для

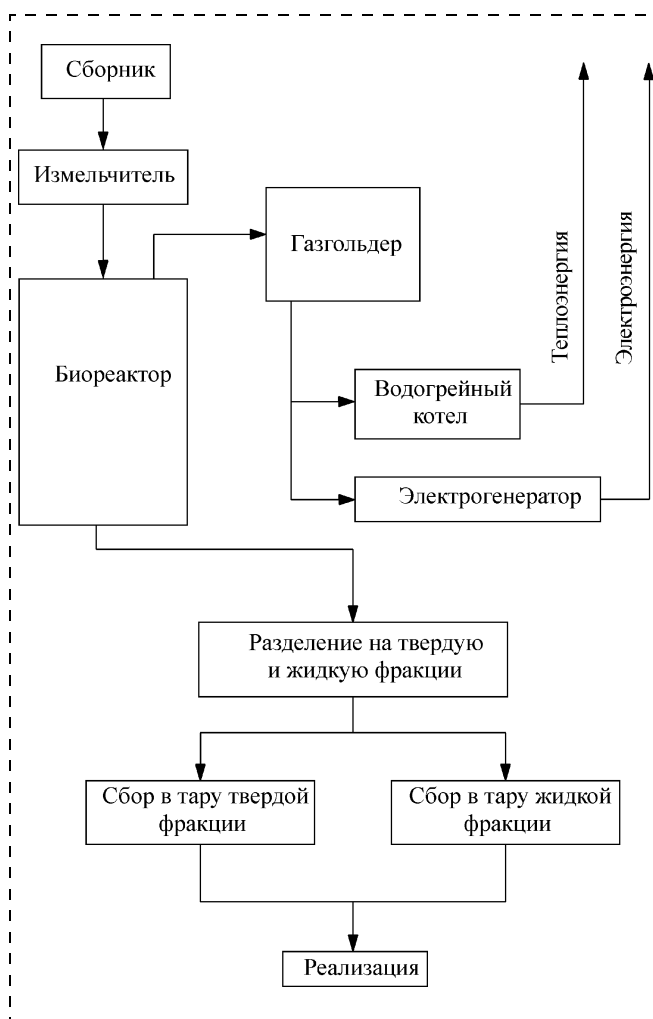


Рис. 1. Схема переработки отходов цеха убой с помощью биогазовой установки

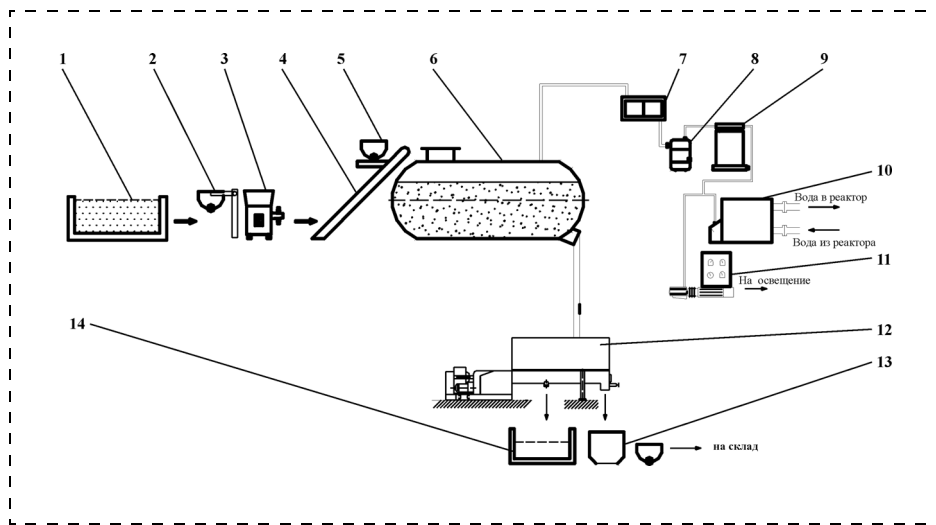


Рис. 2. Схема биогазовой установки:

1 — сборник отходов; 2 — подъемник; 3 — измельчитель; 4 — элеватор; 5 — тележка; 6 — биореактор; 7 — скруббер; 8 — компрессор; 9 — газгольдер; 10 — водогрейный котел; 11 — электрогенератор; 12 — отцеживатель; 13 — емкость для сбора твердых отходов; 14 — емкость для сбора жидких отходов

сбора биогаза (газгольдер), оборудования для преобразования энергии биогаза в тепловую и электрическую (котел и электрогенератор соответственно), емкости для хранения обработанных отходов, оборудования для разделения обработанных отходов на твердую и жидкую фракции и последующей их обработки (отцеживатель, сушилка).

Отходы, в соответствии со своими параметрами, поступают в биореактор, где и производится их анаэробная обработка. Реактор обычно представляет собой стальной цилиндр или бетонный резервуар с хорошей теплоизоляцией, оборудованный перемешивающим (гидронасос или механические лопасти) и нагревательным устройствами.

Образовавшийся биогаз откачивается из реактора в газгольдер, откуда в зависимости от потребности поступает в котел или электрогенератор. В котле происходит преобразование энергии биогаза в тепловую энергию — нагрев воды с последующим использованием ее для нагрева и поддержания заданной температуры субстрата. В электрогенераторе происходит преобразование энергии биогаза в электрическую энергию.

Сброженная в биореакторе масса может быть подвергнута дальнейшей обработке на вспомогательном оборудовании биогазовой установки с целью создания полноценного минерального удобрения.

Для этого сброженную массу разделяют в отцеживателе на твердую и жидкую фракции. Твердую фракцию после этого можно смешать с наполнителем, например с торфом, и использовать в качестве удобрения на полях, а жидкую использовать для полива сельскохозяйственных угодий перед посевом или после сбора урожая. По заверениям некоторых специалистов такие удобрения, полученные после анаэробной обработки, могут повысить урожайность некоторых видов культур до 50 % [6, 7].

Расчеты показывают, что установка подобного типа даст положительный эффект на предприятии с убоем скота при выработке 3 т мяса.

Вывод: Предлагаемый вариант переработки отходов позволяет сделать производство практически безотходным. При этом биогазовая установка быстро окупится за счет экономии газового топлива и реализации органических удобрений.

Список литературы

1. Деев В. М., Яценко В. Н., Яценко Н. Г. Технология обработки осадка сточных вод предприятий мясной промышленности / В. М. Деев, В. Н. Яценко, Н. Г. Яценко // "Безопасность жизнедеятельности". — 2007. — № 5. — С. 28—31.
2. Снитцарь А. И. Технология производства кормовых продуктов из флотоконцентрата производственных вод мясокомбинатов // Сб. научн. трудов "Пути сохранения качества сырья и продукции мясного производства". — ВНИИМП, 1982.
3. Патент 2076077 (Россия), МКИ С 02 F 11/18. Способ обработки осадка органического происхождения / Л. Л. Никифоров. — 94038760/26. Заявл. 12.10.94. Опубл. 27.03.97. Бюл. 9. — 3 с.
4. Ноздрии С. И., Зотов В. В., Семенов Ю. А. Перспективы развития методов получения теплоты из отходов производства // Молочная и мясная промышленность. — 1990. — № 4.
5. Вторичные сырьевые ресурсы пищевой и перерабатывающей промышленности АПК России и охрана окружающей среды: Справочник. — М.: Пищепромиздат, 1999.
6. Панцхава Е. С. Биоудобрение плюс газ // Земледелие. — 1993. — № 11.
7. Пузанков А. Г., Бородин В. И., Гревцов Ю. И., Кривоногов А. А. Анаэробные процессы переработки навоза и помета в экологии и ресурсосбережении // Химия в сельском хозяйстве. — 1993. — № 7.



УДК 628.32:678.664:631.879

Н. С. Чикина, асп., А. В. Мухамедшин, Л. А. Зенитова, д-р техн. наук, проф.,
Казанский государственный технологический университет

Использование сорбента на основе пенополиуретана и шелухи гречихи при ликвидации разливов углеводородов

Изготовление сорбента на основе пенополиуретана (ППУ) и шелухи гречихи (ТТТГ) позволяет решить две важные экологические проблемы природоохранного характера: утилизация отходов сельскохозяйственных производств и ликвидация углеводородов с поверхностей. Наполнение ППУ на 50 % ТТТГ значительно снижает стоимость сорбента. Эластичная структура поглотителя позволяет регенерировать поглощенный продукт путем отжима или центрифугирования, а сорбент использовать многократно (до 10 раз).

Ключевые слова: сорбент, пенополиуретан, шелуха гречихи, очистка, нефть, сорбция, отжатие.

Tchikina N. S., Muhamedshin A. V., Zenitova L. A. *The usage of a sorbent on the basis of a foamed polyurethane and buckwheat's pod during the liquidation of the hydrocarbons spills.*

Manufacturing of the foam polyurethane and buckwheat husk based sorbent allows us to solve two important environmental problems of conservancy: agricultural wastes utilization and elimination of the oil pollutions from the surface. 50 % buckwheat husk filling of the sorbent significantly reduces the sorbent's cost. The flexible structure of the sorbent allows to regenerate the scavenge substance by the extraction or centrifugation. The sorbent could be used many times (up to ten times).

Keywords: sorbent, foam polyurethane, buckwheat husk, elimination, oil, sorption, extraction.

Одним из актуальных вопросов природоохранного характера является предотвращение и ликвидация загрязнения природных объектов нефтью и продуктами ее переработки. Ни один другой загрязнитель, как бы опасен он не был, не может сравниться с нефтью по широте распространения, количеству источников загрязнения, величине нагрузок на все компоненты природной среды при аварийных разливах нефти.

Крупнотоннажные разливы нефти и нефтепродуктов при механическом или коррозионном разрушении трубопроводов, а также при авариях на водном, железнодорожном и автомобильного транспорте является мощным источником загрязнения

окружающей среды, приводящим порой к настоящим экологическим катастрофам. Известно, что 2 г нефти в 1 кг почвы делают ее не пригодной для растений и почвенной микрофлоры. Литр нефти лишает кислорода 40 тыс. л воды, тонна нефти загрязняет 12 км водной поверхности. Достаточно вылить в воду 1 л нефти, чтобы погубить более 100 млн личинок рыб и других организмов [1].

Сбор нефти и нефтепродуктов, разлитых на поверхности почвы и в особенности воды, является весьма сложной и прежде всего трудоемкой технической задачей. Для сбора нефти с поверхностей используются пороговые и насосные системы, механизированные нефтесборщики и разнообразные сорбенты, применяемые главным образом для сбора тонких слоев разлитой нефти и нефтепродуктов с поверхности воды и почвы [2].

Анализ технических условий сбора и физико-химических закономерностей сорбции позволяет сформировать основные требования к оптимальному сорбенту для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхностей. К ним, в частности, относятся наличие у сорбента высокой нефтепоглощающей и низкой водопоглощающей способности, возможность регенерации сорбента с возвратом собранной нефти, низкая стоимость сорбента и др. Одним из перспективных решений удаления нефти с поверхностей является использование сорбционных технологий, предусматривающих применение специальных нефтепоглощающих материалов.

Проводимые авторами исследования имеют целью получение экологически чистого сорбента на основе пенополиуретана и шелухи гречихи для ли-

Таблица 1
Физико-химические характеристики нефтей

Показатели	Татарстан		Пермская область
	Месторождение		
	Ромашкинское	Нурлатское	Павловское
1. Плотность при 20 °С, г/см ³	0,894	0,931	0,883
2. Вязкость при 20 °С, МПа·с	55,7	228,0	22,9
3. Содержание, %:			
— серы	3,4	3,8	2,1
— смол сернокислых	51,0	60,0	16,9
— парафинов	2,7	3,0	4,0
— асфальтенов	4,7	10,3	4,3



квидации углеводородного загрязнения твердой и водной поверхности. Объектами исследования служили нефти месторождений Татарстана и Пермской области (табл. 1).

Процесс ликвидации аварийного разлива продуктов нефтехимии и других нефтепродуктов условно состоит из трех стадий: первая — локализация разлива, вторая — собственно сбор и извлечение продукта с поверхности воды, и третья — транспортировка собранного продукта к месту переработки или утилизации.

Для сбора и извлечения нефтепродуктов с поверхности воды могут быть применены различные методы. Классификация существующих методов показана на рис. 1 [3–6].

В настоящее время особо остро стоит вопрос создания эффективных материалов для очистки воды от плавающей нефти.

Оценка существующих методов позволяет выявить направления, которые наиболее перспективны. Это, прежде всего, механические методы — извлечение при помощи сорбентов.

При толщине нефтяной пленки менее 1...2 мм, а также малой глубине водоема для сбора разлитой нефти применяют сорбенты, поскольку они позволяют очищать поверхность воды от нефти за короткие сроки с небольшими затратами. *В мире для ликвидации разливов нефти производится и используется около двух сотен различных сорбентов, которые подразделяются на неорганические, природные органические, органоминеральные, а также синтетические [7–8].*

К неорганическим сорбентам относят глины различных видов и диатомитовые породы (главным образом рыхлый диатомит — кизельгур, песок, цеолиты, туфы, пемза и т. д.). Общим недостатком минеральных сорбентов является низкая нефтеемкость, которая обусловлена гидрофильностью поверхности, малой пористостью, и не превышает 1 т нефти на 1 т сорбента, а также отрицательная плавучесть — все минеральные сорбенты тонут, становясь источником вторичного загрязнения дна водоемов.

К минеральным сорбентам относят также материалы, получаемые при переработке горных и осадочных пород: вспученный перлит, керамзит, базальтовую вату. С целью придания поверхности таких сорбентов гидрофобных свойств, их часто обрабатывают реагентами: кремнийорганическими жидкостями, парами минеральных масел и парафинов, органическими аминами с алифатической или ароматической углеводородной цепью. Однако при использовании немодифицированных минеральных сорбентов имеется опасность потопления их частичек вместе с поглощенной нефтью. По данным [1–2], потопленная нефть разлагается чрезвычайно медленно и оказывает вредное воздействие на флору и фауну водоемов.

Следует отметить одно из преимуществ искусственно-минеральных сорбентов перед природными минеральными — большая часть этих сорбентов обладает объемом пор, достаточным для того, чтобы впитавшаяся нефть удерживалась гранулами насыщенного сорбента на плаву. Это, в свою очередь, позволяет удалить сорбент с нефтью из водоема для регенерации, либо сжигания. Регенерация может производиться обработкой экстрагентами или водными растворами поверхностно-активных веществ, а также выжиганием. Однако сбор с поверх-



Рис. 1. Классификация методов сбора и извлечения нефтехимпродуктов с поверхности воды

ности воды насыщенного нефтью искусственно-минерального сорбента иногда представляет определенную техническую трудность. Эксперименты показали, что насыщенные нефтью отдельные зерна гидрофобизованного искусственно-минерального сорбента слипаются в агрегаты, плавающие на поверхности.

Качество сорбентов определяется, главным образом, их нефтеемкостью, степенью гидрофобности, плавучестью, как в исходном состоянии, так и после сорбции нефтепродуктов, возможностью десорбции нефти, регенерации и утилизации сорбента, технологичностью изготовления и применения, а также экономичностью.

Однако наибольший интерес с точки зрения сочетания качества и технологичности использования приобретают синтетические сорбирующие средства. Их чаще всего получают на основе карбамидформальдегидных смол, поливинилхлорида, нейлона, лавсана, нитрона, полипропилена, а также природных и синтетических латексов, каучуков и резины, выполненных в виде порошка, волокнистого материала, различных пенопластов [9–11]. Для повышения плавучести и нефтеемкости данного типа сорбентов используют гидрофобизацию. Некоторые существующие способы гидрофобизации для волокнистых материалов достаточно сложны. В технологическом процессе в значительных количествах используются легковоспламеняющиеся растворители, повышающие пожаровзрывоопасность процессов. Существенным недостатком большинства волокнистых сорбентов является сток части сорбированных нефтепродуктов (в некоторых случаях до 60...70 %) при извлечении сорбента с поверхности.

Для очистки сточных вод большой интерес представляет применение различных вспененных синтетических материалов, которые наряду с большим объемом пор имеют жесткую объемную сетчатую структуру [10]. Достаточно высокими сорбционными свойствами обладают пенополиуретановые пенопласты, в качестве которых используют полиуретановый (ПУ) полужесткий мелкопористый пенопласт с низкой кажущейся плотностью 8...12 кг/м³ и размерами пор 0,3...1,2 мм. Невысокая прочность предложенного сорбента снижает возможность сбора без повреждения и многократной регенерации нефти и жидких нефтепродуктов путем центрифугирования или отжима. Кроме того, при предлагаемом способе сорбент доставляется на место аварии в готовом состоянии, что предполагает большое количество и объемы транспортных средств (вместимостью до нескольких десятков кубических метров), поскольку плотность сорбента очень мала.

Полимерные сорбенты достаточно эффективно очищают воду от нефти, легко регенерируются ме-

ханическим отжатием, однако высокая стоимость и дефицитность этих материалов препятствуют их широкому применению.

Известен способ очистки водной поверхности воды от нефти и нефтепродуктов, включающий нанесение на загрязненную поверхность воды шелухи гречихи (ШГ) не более 0,5 г на 1 г нефтепродукта. Недостатком данного способа является способность ШГ с адсорбированным нефтепродуктом тонуть, кроме того, вследствие низкой удерживающей способности, при извлечении ШГ с поглощенным ею нефтепродуктом с помощью сетки, происходит сток части адсорбированного нефтепродукта, что приводит к вторичному дополнительному загрязнению водной поверхности. Технология нанесения ШГ на загрязненную поверхность двухстадийная, что усложняет процесс очистки, а собственно сорбент непроизводительно расходуется вследствие распыления не только на загрязненную, но и чистую поверхность. При этом отсутствует возможность многократного использования сорбента, увеличиваются и его потери при нанесении на загрязненную поверхность. В качестве метода утилизации предлагается единственный способ — сжигание.

В этой связи объектом исследования служил сорбент на основе ППУ и ШГ. Последняя является неутрализованным отходом сельскохозяйственных производств, что значительно снижает стоимость сорбента при одновременном сохранении высоких сорбционных способностей как ШГ, так и ППУ.

Сырьем для получения такого сорбента являются ППУ-системы, производимые в большом количестве и широком ассортименте как российскими, так и иностранными производителями.

В то же время в ряде регионов Российской Федерации отходы сельскохозяйственных производств — источники дополнительной экологической опасности. Так, в РФ в год образуется до 81,5 тыс. т. ШГ, 70,6 тыс. т. шелухи риса (ШР), а по Республике Татарстан (РТ) — 5,63 тыс. т. отходов ШГ (табл. 2).

Утилизация данных отходов является отдельной экологической проблемой. Неконтролируемый вывоз отходов и их отвал ведет к загрязнению территории и нарушению ландшафта. Достигнув опре-

Таблица 2

Наличие компонентов для сорбента

Материал	Количество, тыс. т/год	
	РФ	РТ
Гречиха/шелуха	574,0/81,5	39,69/5,63
Рис/шелуха	497,0/70,6	—
Подсолнечник/шелуха	2,7/0,26	0,32/0,03
ППУ-система	89,1	23,5



Рис. 2. Сорбционная емкость ППУЭ и ППУЖ в различных условиях:

1 — вода; 2 — тонкая пленка нефти; 3 — нефть

деленных насыпных объемов, отходы становятся источником достаточно мощного тепловыделения, провоцирующего интенсивное горение, что приводит к загрязнению окружающей среды и созданию пожароопасной ситуации.

Таким образом, изготовление сорбента на основе ППУ и ШГ позволяет решать две важные экологические проблемы: утилизацию отходов сельскохозяйственных производств и сбор углеводородов с поверхностей.

В ходе работы оценивалась поглощающая способность различных типов ППУ: эластичного (ППУЭ) и жесткого (ППУЖ), а также ШГ к следующим средам: воде, нефти и небольшому количеству нефти в воде. Последний вариант моделировал способность сорбента поглощать тонкую пленку нефтепродуктов на большой площади водной поверхности, которая образуется при растекании "пятна" загрязнений при отсутствии ликвидации последствий разливов. Такой вариант загрязнений наблюдается в случае первичного сбора больших количеств нефтепродуктов, в то время как полного очищения водной поверхности не происходит. ППУЭ, обладая открытопористой структурой, имеет хорошие сорбционные свойства.

На рис. 2 показано, что этот тип ППУЭ в основном проявляет олеофильные свойства, т. е. имеет высокую сорбционную емкость по отношению к нефтепродуктам, и в меньшей степени способен поглощать чистую воду, т. е. быть гидрофильным.

В свою очередь ППУЖ обладает плохой олеофильностью и хорошей гидрофобностью. Он практически не сорбирует нефть, главным образом, из-за своей закрытопористой структуры, которая в то же время позволяет ему сохранять хорошую "плавучесть".

Шелуха гречихи, обладая развитой поверхностью, хорошо и быстро впитывает нефть, однако в случае значительной толщины нефтяного слоя тонет (табл. 3).

Результаты опыта по поглощению тонкой пленки нефти показали способность шелухи притягивать к себе нефтяное пятно и собираться в слипающиеся комочки, но при извлечении (через 1 ч экспозиции) лужи с поверхности воды наблюдалось стекание поглощенного продукта, что крайне нежелательно, так как происходит вторичное загрязнение водной поверхности.

В связи с этим была поставлена задача создания такой композиции нефтяного сорбента, когда он имел бы достаточное количество открытых пор для поглощения нефтепродуктов и обладал наивысшей плавучестью в насыщенном состоянии, т. е. сорбент должен обладать свойствами, как эластичного открытопористого, так и жесткого закрытопористого ППУ, т. е. быть полужестким.

Влияние количества наполнителя в композиции ППУ—ШГ показано на рис. 3. Видно, что оптимальным количеством введенного наполнителя можно считать 45...50 % мас. При этом сохраняется эластичность материала, дающая возможность регенерировать поглощенный продукт путем отжима или центрифугирования, а сорбент использовать

Таблица 3

Сорбционная способность ШГ в различных средах

Вид разлива	Сорбционная емкость, г/г	Примечание
Вода	6,10	ШГ осталась распределенной на поверхности воды
Тонкая пленка нефти	6,20	ШГ собралась в отдельные слипшиеся комочки
Нефть	—	ШГ тонет

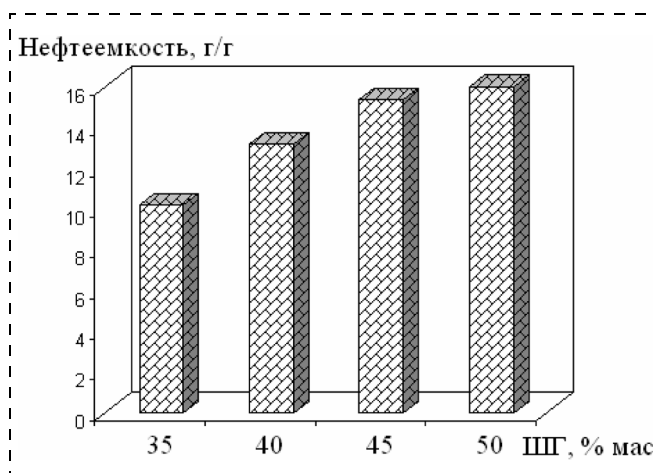


Рис. 3. Влияние количества наполнителя в ППУ на сорбционную способность нефти



многократно (до 10 раз). С ростом количества введенного наполнителя нефтеемкость поглотителя растет. Через 15 минут экспозиции сорбента в нефти отмечено ее преимущественное поглощение поверхностью и прилежащими слоями. Через 1 ч проникновение нефти в объем образца происходит ~ на 50 %, наблюдается насыщение по объему образца как самим ППУ, так и ШГ.

Для установления оптимального размера полученного сорбента, соответствующего максимальной нефтеемкости по отношению к различным образцам нефти, был изготовлен сорбент в виде крошки объемом 3, 375; 1,000 и 0,125 см³. Таким образом, поглотитель имел форму куба с размерами граней — 1,5; 1 и 0,5 см соответственно. Плотность сорбента составляла 50 кг/м³. Влияние размеров крошки и типа используемой нефти на поглощающую способность приведены в табл. 4.

Видно, что с уменьшением размера крошки сорбента его поглощающая способность возрастает вследствие увеличения площади контакта сорбента и нефти. Предположительно вязкость нефти также должна оказывать влияние на поглощающую способность сорбента: чем меньше вязкость, тем быстрее она должна поглотиться сорбентом. Однако этого не происходит. Наоборот, сорбент поглощает более вязкую нефть в большей степени. По-видимому, в данном случае на поглощающую способность сорбента оказывает влияние состав нефти: наличие серы, смолисто-асфальтеновой компоненты, солей и т. п.

Полученный сорбент обладает высокой удерживающей способностью, т. е. поглощенный нефтепродукт в течение длительного времени (от 15 мин до нескольких суток) не вытекает из его пор, что позволяет без проблем транспортировать насыщенный сорбент к месту его переработки; повышенной прочностью при плотности 50 кг/м³, что позволяет многократно регенерировать углеводороды. Нефтеемкость полученного сорбента достигает 16,1 г/г (см. табл. 4).

Таблица 4

Влияние размера крошки сорбента и типа нефти различных месторождений на нефтеемкость (поглощение чистой нефти)/ сорбционную емкость сорбента (поглощение тонкой пленки)

Месторож- дение	Плот- ность при 20 °С, г/см ³	Вязкость при 20 °С, МПа · с	Сорбционная емкость, г/г		
			Объем крошки, см ³		
			3,375	1,000	0,125
Татарстан					
Ромашкин- ское	0,894	55,7	9,5/3,2	10,3/4,9	11,5/6,6
Нурлатское	0,931	228,0	7,8/2,7	11,1/5,3	16,1/7,1
Пермская область					
Павловское	0,883	22,9	8,0/3,1	8,3/4,0	8,6/6,8

Выводы

1. Оценена поглощающая способность ППУЭ и ППУЖ. ППУЭ обладает большей олеофильностью, т. е. имеет высокую сорбционную емкость по отношению к нефтепродуктам и в меньшей степени способен поглощать чистую воду, то есть быть гидрофильным. Соотношение нефтепоглощения к водопоглощению составляет 12. ППУЖ обладает более низкими значениями олеофильности и гидрофобности. Практически ППУЖ не сорбирует нефть, главным образом, из-за своей закрытопористой структуры, что сохраняет его высокую "плавучесть".

2. Определено оптимальное количество вводимых отходов сельскохозяйственных производств в полужесткий ППУ, которое составило 45...50 % мас., что снижает стоимость сорбента примерно в два раза. Нефтеемкость полученного сорбента достигает 16,1 г/г.

3. Исследовано влияние размеров крошки сорбента на его поглощающую способность по отношению к нефти различных месторождений, а также на его поглощающую способность в системе нефть—вода. Показано, что с уменьшением размеров крошки и, как следствие, увеличением площади контакта сорбент—нефть поглощающая способность увеличивается. Оптимальным размером следует считать объем крошки в пределах 0,125 см³.

Список литературы

1. Бородавкин П. П., Ким Б. И. Охрана окружающей среды при строительстве и эксплуатации магистральных трубопроводов. — М.: Недра, 1981. — 160 с.
2. Кормак Д. Борьба с загрязнением моря нефтью и нефтехимическими веществами. — М.: Транспорт, 1989. — 364 с.
3. Самойлов Н. А., Хлесткий Р. Н., Шеметов А. В., Шаммазов А. А. Сорбционный метод ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. — М.: Химия, 2001. — 189 с.
4. Патент МПК7 С 02 F 9/14. Устройство для очистки сточных вод от нефтепродуктов / А. Л. Каплан, Н. Н. Пономарева, И. А. Каплан, А. Ю. Абрамов, А. А. Васильева — № 99119918/15. Заявл. 16.09.99. Опубл. 10.09.04.
5. Роев Г. А. Очистка сточных вод и вторичное использование нефтепродуктов / Г. А. Роев. — М.: Недра, 1987. — 224 с.
6. Кузубова Л. И. Очистка нефтесодержащих сточных вод / Л. И. Кузубова, С. В. Морозов. — М.: Химия, 1992. — 72 с.
7. Хлесткий Р. Н. Ликвидация разливов нефти при помощи синтетических органических сорбентов / Р. Н. Хлесткий, Н. А. Самойлов, А. В. Шеметов // Нефтяное хозяйство. — 1999. — № 2. — С. 46—49.
8. Хлесткий Р. Н. О ликвидации разливов нефти при помощи растительных отходов / Р. Н. Хлесткий, Н. А. Самойлов // Нефтяное хозяйство. — 2000. — № 7. — С. 84—85.
9. Арнс В. Ж. Эффективные сорбенты для ликвидации нефтяных разливов / В. Ж. Арнс, О. М. Гридин // Экология и промышленность России. — 1997. — № 2. — С. 32—37.
10. Ахмадеев В. Я. Проблемы и перспективы применения пористых сорбентов для очистки сточных вод от органических соединений / В. Я. Ахмадеев, Е. Л. Ипатова. — М.: ЦНИИ Электроника, 1979. — 87 с.
11. Воробьева В. В. Совершенствование системы защиты морских акваторий и прибрежных зон от загрязнения нефтью / В. В. Воробьева // Материалы регион. науч.-практ. конф. "Экология — 2001". — Владивосток: ДВГМА, 2001. — С. 54—57.

О новом государственном стандарте "Шум. Определение характеристик глушителей при испытаниях на месте установки"

С 1 апреля 2007 года введен в действие ГОСТ 31324—2006 (ИСО 11820:1996) Шум. Определение характеристик глушителей при испытаниях на месте установки.

В разделе стандарта "Область применения" разъясняется, что его применяют для испытаний:

а) глушителей шума, используемых как целиком в качестве функционально полных устройств, так и в виде отдельных элементов, препятствующих распространению звука (например, в открытых каналах), создаваемого каким-либо источником (машинами, сооружениями, газотурбинными генераторами, очистными установками, градирнями, тепловентиляционными и кондиционирующими установками, выхлопными и воздухозаборными трубами, огнестрельным оружием, двигателями внутреннего сгорания, компрессорами и т. п.);

б) пассивных и активных глушителей всех типов (абсорбционных, рефлексных и т. д.);

в) глушителей с системой активного шумоподавления (использующей усилители и громкоговорители), так как работа системы шумоподавления эквивалентна действию некоторых обычных глушителей, создающих вносимые потери;

г) других средств эффективного ослабления звука в воздухе или других газах (например, устройств, установленных в трубах, вентиляционных шахтах, решетках и дефлекторах).

Стандарт применяют также для определения эффективности очистки и восстановления глушителей.

Отмечено, что стандарт не распространяется на глушители, устанавливаемые в замкнутых системах высокого давления (например, в закрытых каналах), поскольку при этом нельзя предварительно измерить шум, возникающий при вибрации (структурный шум).

В разделе "Нормативные ссылки" использованы ссылки на следующие межгосударственные стандарты:

ГОСТ 17168—82 Фильтры электронные октавные и 1/3 октавные. Общие технические требования и методы испытаний (МЭК 61260:1995 "Электроакустика. Фильтры с шириной пропускания в октаву и долю октавы", NEQ).

ГОСТ 17187—81 Шумомеры. Общие технические требования и методы испытаний (МЭК 61672-1:2002 "Электроакустика. Шумомеры. Часть 1. Требования". NEQ).

В следующем разделе приведены термины и определения:

разность уровней звукового давления при прохождении D_{ips} , дБ, — разность средних уровней звукового давления на входе и на выходе глушителя;

вносимая разность уровней звукового давления, D_{ips} , дБ, — разность уровней звукового давления, измеренных в контрольной точке или усредненных по небольшой площадке, до и после установки глушителя;

потери при прохождении D_{is} , дБ, — разность уровней звуковой мощности на входе и на выходе глушителя;

вносимые потери D_{is} , дБ, — разность уровней звуковой мощности без глушителя и с установленным глушителем;

потери полного давления в глушителе Δp_T — разность средних полных давлений на входе $\overline{p_{Tu}}$ и на выходе $\overline{p_{Td}}$ глушителя;

разность статических давлений Δp_s .

Если площади входного и выходного отверстий канального глушителя не равны, но температура газа заметно не изменяется, то разность статических давлений Δp_s , Па, связана с потерями полного давления в глушителе Δp_T , Па, соотношением

$$\Delta p_s = \Delta p_T - \frac{\rho q_V^2}{2} \left(\frac{1}{S_u^2} - \frac{1}{S_d^2} \right),$$

где ρ — плотность газа, кг/м³; q_V — расход газа, м³/с; S_u , S_d — площадь поперечного сечения соответственно на входе и выходе глушителя, м².

Индексы в обозначении величин отражают их значение и, в частности, условия установки и режима работы глушителя: "s" обозначает "на месте установки", "t" — при прохождении потока, "i" — "вносимый".

В разделе 4 стандарта приводится общепринятая методика коррекции результатов измерений с учетом влияния фонового шума.

Весьма важной представляется информация раздела 5 стандарта "Условия установки", где представлены схемы установки глушителей, показанные на рисунке.

Отмечается, что при приемочных испытаниях глушителя заинтересованные стороны оговаривают условия установки, точки измерений и значения коррекций по звуковому полю.

В случае если измерения с работающим источником шума не могут быть проведены, вместо него используют искусственный источник шума, для которого указывают тип и способ установки. Для сравнения со спектром источника шума измерения проводят в 1/3-октавных полосах частот. Дополнительные коррекции определяют, рассмотрев влияние различий в распределении звукового поля, по температуре и параметрам потока.

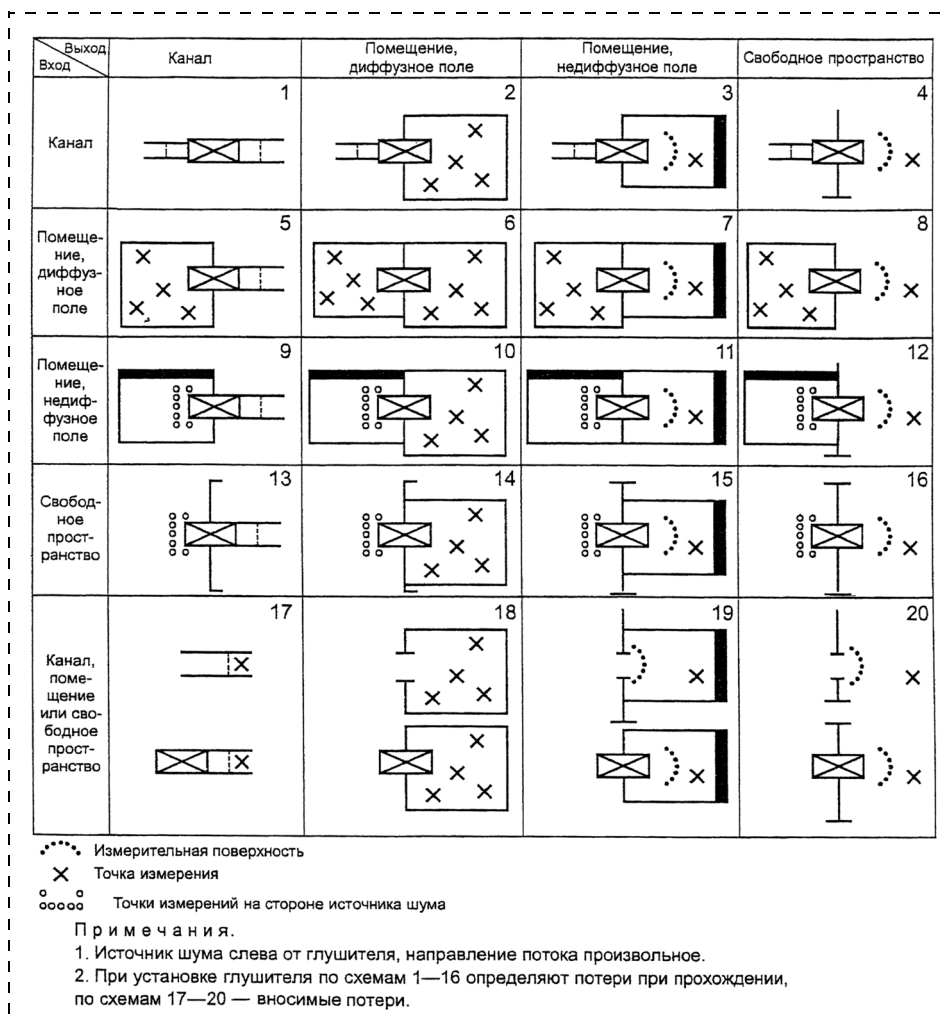
Раздел 6 стандарта "Средства измерений" устанавливает требования к акустической аппаратуре, используемой при измерениях, а также к аппаратуре для измерения параметров воздушного потока, статического давления и температуры.

В разделе 7 стандарта "Объект испытаний и условия измерений" отмечается, что применительно к глушителям, установленным (или предназначенным для установки) в канале, в отверстии машины или установки, в стене некоторого ограниченного пространства, их эффективность определяют:

— при работе установки или оборудования, вызывающего шум при условии обеспечения заданного объемного расхода, или

— при искусственном возбуждении шума (например, с помощью громкоговорителя) при неработающем источнике шума и отсутствии потока.

Обращается внимание, что предпочтительны измерения при работающем оборудовании, при этом при разных способах возбуждения звука возможно



Схемы установки глушителя и положения точек измерений для определения потерь при прохождении вносимых потерь

расхождение результатов измерений, которое может увеличиваться при различных режимах работы или при искусственном возбуждении шума. Основными факторами, влияющими на величину этого расхождения, являются распределение звукового поля, регенерированный шум (звук, генерируемый потоком в глушителе), градиент потока, температура, турбулентность и шум, передающийся побочными путями. Таким образом, измеренные в соответствии с рассматриваемым стандартом потери при прохождении и внесенные потери, характеризующие ослабление звука, соответствуют лишь определенному режиму работы источника шума. Поэтому режим работы указывают в протоколе испытаний. Согласно стандарту при приемочных испытаниях глушителя оговаривают номинальный или нормальный режим работы источника шума, чтобы он соответствовал типичному или наиболее часто создаваемо-



му шуму, а если на данную машину имеется стандарт, устанавливающий требования к испытаниям на шум, то режим работы машины при испытаниях глушителя должен соответствовать этому стандарту.

Раздел стандарта "Проведение измерений" устанавливает, что подлежат измерению следующие величины:

а) уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами по меньшей мере от 63 до 400 Гц и, по возможности, от 31,5 до 8000 Гц или в 1/3-октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 50 до 5000 Гц и, по возможности, от 25 до 10 000 Гц;

— в точке или точках со стороны источника шума на входе глушителя;

— в точке или точках со стороны выхода глушителя;

б) статическое и динамическое давление, скорости потока и температура в заданных точках.

В подразделе "Акустические измерения" подробно комментируются требования к установке микрофона, выбору измерительной поверхности при измерениях в каналах, в помещениях и вентиляционных камерах, в открытом пространстве.

В подразделе "Измерения скорости потока, давления и температуры" также даются указания по выбору измерительной поверхности, а также по порядку проведения измерений.

В разделе стандарта "Обработка результатов измерений" отмечается, что обработка результатов измерений уровней звукового давления зависит от схемы установки глушителя.

Методики обработки экспериментальных данных даются для каждой из приведенных выше ха-

рактеристик глушителей шума с учетом схемы измерений (см. рисунок). В отдельном подразделе дается методика оценки по результатам измерений параметров потока.

Согласно разделу 10 стандарта должны быть зарегистрированы следующие виды информации: описание испытуемого глушителя, описание режима его работы, метода испытаний, а также результаты акустических испытаний, дополнительная информация — наименование и адрес организации, проводившей испытания, номер протокола (отчета) испытаний, дата и подпись проводившего испытания.

В разделе 11 стандарта определены требования к протоколу испытаний.

Приложение А стандарта "Коррекции по звуковому полю" помогает определять результаты измерений с учетом особенностей звукового поля на входе и выходе из глушителя.

Приложение В стандарта посвящено калибровке направленных микрофонов и микрофонов с анти-турбулентным экраном.

Представляется, что введение ГОСТ 31324—2006 (ИСО 11820:1996) Шум. Определение характеристик глушителей при испытаниях на месте установки будет способствовать обеспечению безопасности жизнедеятельности по шумовому фактору, повсеместно имеющему место как в производственных, общественных и жилых зданиях, так и в окружающей среде.

А. Ф. Козьяков, канд. техн. наук, проф.,
МГТУ им. Н. Э. Баумана

Учредитель ООО «Издательство "Новые технологии"»

Журнал выходит при содействии Учебно-методического совета "Техносферная безопасность" Учебно-методического объединения вузов по университетскому политехническому образованию и Научно-методического совета "Безопасность жизнедеятельности" Министерства образования и науки Российской Федерации

ООО "Издательство "Новые технологии". 107076, Москва, Стромьинский пер., 4

Телефон редакции журнала (495) 269-5397, тел./факс (495) 269-5510, e-mail: bjd@novtex.ru, <http://novtex.ru/bjd>

Художник *В. Н. Погорелов*. Дизайнер *Т. Н. Погорелова*.

Технический редактор *Е. В. Конова*. Корректор *Е. В. Комиссарова*.

Сдано в набор 10.07.08. Подписано в печать 25.08.08. Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 6,86. Уч.-изд. л. 8,25. Заказ 890.

Журнал зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3762 от 20.06.2000.

Отпечатано в ООО "Подольская Периодика". 142100, Московская обл., г. Подольск, ул. Кирова, 15.