Н. Ю. ДУДАРЕВА

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИИ

«Инфра-Инженерия»

Н. Ю. ДУДАРЕВА

БЕЗОПАСНОСТЬ В ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИИ

Учебное пособие

Москва Вологда
«Инфра-Инженерия»
2025

УДК 629.3.08
ББК 39.33-08
Д81

Рецензент:
доцент кафедры двигателей внутреннего сгорания
ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»,
кандидат технических наук *Р. Ю. Сакулин*

Дударева, Н. Ю.

Д81 Безопасность в энергомашиностроении : учебное пособие / Н. Ю. Дударева. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2025. – 136 с. : ил., табл.

ISBN 978-5-9729-2473-8

Рассмотрены основные негативные факторы воздействия на человека и окружающую среду такого объекта энергомашиностроения, как двигатель внутреннего сгорания. Описаны методы обеспечения безопасности на всех стадиях жизненного цикла объектов энергомашиностроения, основные приемы безопасной эксплуатации двигателей внутреннего сгорания, методы и оборудование для измерения негативных факторов, а также законодательная база и организационные формы защиты окружающей среды и человека от опасностей, возникающих со стороны двигателей внутреннего сгорания.

Для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Энергетическое машиностроение» (Двигатели внутреннего сгорания), «Наземные транспортно-технологические средства» (Автомобильная техника в транспортных технологиях).

УДК 629.3.08
ББК 39.33-08

ISBN 978-5-9729-2473-8

© Дударева Н. Ю., 2025
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2025
© Оформление. Издательство «Инфра-Инженерия», 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 5

1. НЕГАТИВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЧЕЛОВЕКА СО СТОРОНЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 9
1.1. Идентификация опасных факторов 9
1.2. Методы защиты от опасных факторов 11

2. МЕХАНИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 14

3. ШУМ ДВИГАТЕЛЕЙ 18
3.1. Основные понятия звуковых явлений 18
3.2. Действие шума на организм 19
3.3. Количественные характеристики шума 20
3.4. Классификация шума 26
3.5. Нормирование шума 27
3.6. Нормирование инфразвука 29
3.7. Защита от шума двигателей внутреннего сгорания 31
3.8. Требования к шумовым характеристикам ДВС 35
3.9. Измерение шума 36

4. ВИБРАЦИОННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ 42
4.1. Виды вибраций 43
4.2. Количественные характеристики вибраций 46
4.3. Действие вибрации на человека 50
4.4. Нормирование вибраций 52
4.5. Методы защиты от вибраций на объектах энергомашиностроения 56
4.6. Методы измерения вибрации 60

5. ОТРАБОТАВШИЕ ГАЗЫ И ИХ ТОКСИЧНОСТЬ 62
5.1. Токсичность отработавших газов 63
5.2. Нормирование токсичных выбросов автомобилей 67
5.3. Способы снижения токсичности ОГ 76

6. ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТЬ ДВС 93
6.1. Основные понятия из области пожарной безопасности 93
6.2. Возможные последствия пожара 96
6.3. Количественные характеристики пожаро- и взрывоопасности. Мероприятия по профилактике пожароопасных ситуаций 97
6.4. Огнетушащие вещества и аппараты пожаротушения 98

6.5. Требования к пожарной безопасности при работе
с моторными топливами и маслами 104

7. ТОКСИЧНЫЕ ВЕЩЕСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 111
7.1. Основные показатели токсичности веществ 111
7.2. Нормирование токсичных веществ 111
7.3. Свойства токсичных веществ, используемых в ДВС 114
7.4. Способы защиты человека от отравляющих веществ 117

8. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ 118
8.1. Общие сведения о системе зажигания 118
8.2. Опасность поражения электрическим током
в системе зажигания ДВС 120
8.3. Меры безопасности при работе с системой зажигания 121
Список сокращений и условных обозначений 122

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 123

ПРИЛОЖЕНИЕ 128

ВВЕДЕНИЕ

Человеку от природы присуще чувство самосохранения. Подвластный этому инстинкту человек с древнейших времен боролся за свое выживание в окружающем мире. Изначально борьба была направлена на природные явления и катаклизмы, на голод и диких животных. Инстинкт самосохранения и явился той движущей силой, которая в большой мере способствовала мировому прогрессу. Для того чтобы укрыться от непогоды, человек стал строить дома, возделывать землю, используя для повышения урожайности химические удобрения, а также создавать машины, облегчающие тяжелый физический труд. Машины и механизмы требовали энергию, поэтому появились тепло-, гидроэлектростанции, а позднее и атомные станции. Создавая машины, производя химические удобрения, генерируя атомную энергию, изобретая оружие, развивая медицину, человек практически полностью избавился от внешней опасности со стороны окружающей природы. Таким образом, была создана техносфера.

Техносфера – регион биосферы в прошлом, преобразованный людьми с помощью прямого или косвенного воздействия технических средств в целях наилучшего соответствия своим материальным и социально-экономическим потребностям [1].

Термин «*техносфера*» обычно используется для обозначения среды или области, где технологии играют ключевую роль. Обычно, это конкретное пространство, где широко применяются современные технологии. Техносфера представляет собой экосистему, в которой инновации и технологии помогают улучшить качество жизни людей, а также повысить производительность и эффективность труда. В общем случае техносфера – это регион города или промышленная зона, производственная или бытовая среда.

Биосфера – это область распространения жизни на Земле, включающая нижний слой атмосферы, гидросферу и верхний слой литосферы, не испытавшие техногенного воздействия. Термин «биосфера» был введен в 1875 году геологом Эдуардом Зюссом, который определил биосферу, как место на поверхности Земли, где обитает жизнь [2].

Создавая техносферу, человек повышал комфортность своей среды обитания и стремился к созданию максимальной защиты от естественных негативных воздействий. Безусловно, это положительно сказалось на условиях жизни людей и, конечно, на ее продолжительности. Однако созданная руками и разумом человека техносфера принесла с собой новые опасности. Химические вещества, вносимые в почву для повышения урожайности, приводят к отравлению почв и вод, а соответственно, и к отравлению организмов людей; радиоактивные отходы атомных станций способствуют возникновению различных заболеваний и сокращению продолжительности жизни; механизмы машин также являются источником повышенной опасности. В настоящее время опасность для людей представляет сам человек и техносфера.

Опасность – негативное свойство живой и неживой материи, способное причинять ущерб самой материи: людям, природной среде и материальным ценностям [1].

В общем случае различают три вида опасностей [1]:

1. Естественные опасности – обусловлены стихийными явлениями, климатическими условиями, рельефом местности и т. п. Яркими примерами естественной опасности являются землетрясения, извержения вулканов, ураганы, бури, цунами, наводнения, селевые потоки, сходы лавин и пр.

2. Техногенные опасности – это опасности, которые возникают вследствие функционирования технических средств. Такие опасности обычно являются результатом аварий на производстве, пожаров, химических утечек, техногенных катастроф. Техногенные аварии могут привести к потере жизней людей, разрушению имущества, загрязнению почвы, воды и воздуха, ухудшению условий жизни и здоровья людей. В общем случае техногенные опасности могут привести к серьезным последствиям и негативно повлиять на здоровье людей, состояние окружающей среды и экономики.

3. Антропогенные опасности – это опасности, причиной которых является деятельность человека. Обычно антропогенные опасности возникают в результате ошибочных или несанкционированных действий человека или группы людей. К такому виду опасности относятся террористические акты, войны, потребление алкоголя и наркотиков.

В настоящее время перечень техногенных и антропогенных видов опасности довольно значителен и насчитывает более 100 видов.

Дисциплина «Безопасность в энергомашиностроении» рассматривает исключительно техногенные опасности. К наиболее распространенным техногенным опасностям относятся: шум, вибрации, запыленность и загазованность воздуха, электромагнитные поля, ионизирующие излучения, токсичные вещества и др. Из всей обширной области техносферы в данном курсе рассматриваются лишь объекты энергомашиностроения и опасности, источником которых эти объекты являются.

Область энергетического машиностроения довольно обширна. К объектам энергомашиностроения относятся машины, установки, двигатели и аппараты по производству, преобразованию и потреблению различных форм энергии, в том числе:

1) паровые и водогрейные котлы и котлы-утилизаторы;
2) парогенераторы;
3) ядерные реакторы и энергетические установки;
4) паро- и газотурбинные установки, а также двигатели;
5) теплообменные аппараты;
6) гидравлические машины и гидропневмоагрегаты;
7) системы гидравлических и пневматических приводов;
8) системы гидро-, пневмоавтоматики;
9) тепловые двигатели и установки;
10) системы кондиционирования;

11) энергодвигательные установки на основе возобновляемых видов энергии;
12) плазменные энергетические установки;
13) холодильные установки;
14) компрессоры.

Энергетическое машиностроение на сегодняшний день является одним из определяющих факторов развития промышленного потенциала страны и обеспечения национальной безопасности государства с точки зрения энергетической независимости.

Решение множества комплексных задач, направленных на повышение технического уровня отечественного энергомашиностроения и выпуск конкурентоспособного оборудования, требуют соответствующего научно-технического обеспечения и создания научно-технического задела. И, безусловно, большое значение имеет обеспечение безопасности обслуживающего персонала, населения страны, а также окружающей среды.

При изучении курса «Безопасность в энергомашиностроении» студентами, обучающимися по направлению 13.03.03 Энергетическое машиностроение (Двигатели внутреннего сгорания) и по специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства (Автомобильная техника в транспортных технологиях), особое внимание уделяется источникам опасности, которые возникают со стороны двигателей внутреннего сгорания (ДВС), а также основам обеспечения безопасности при проектировании и эксплуатации ДВС.

Рассматривая различные виды опасностей, необходимо также пояснить, что подразумевается под понятием «безопасность». ***Безопасность*** – это состояние объекта защиты, при котором воздействие на него всех потоков вещества, энергии и информации не превышает максимально допустимых значений [1].

В дисциплине «Безопасность в энергомашиностроении» *объектом защиты* является человек, окружающая природная среда и сама техносфера, а в качестве *источника опасности* рассматривается двигатель внутреннего сгорания. Уточним цель курса, представленного в данном учебном пособии.

Цель дисциплины «Безопасность в энергомашиностроении» – сохранение здоровья и жизни людей при работе с объектами энергомашиностроения, защита их от опасностей со стороны объектов энергомашиностроения, создание комфортных условий жизнедеятельности, а также обеспечение безопасности окружающей среды.

В результате изучения этой дисциплины будут рассмотрены:

1) основные негативные факторы воздействия двигателей внутреннего сгорания на человека и окружающую среду;
2) методы обеспечения безопасности на всех стадиях жизненного цикла двигателя внутреннего сгорания, как объекта энергомашиностроения;
3) основные приемы безопасной эксплуатации ДВС;
4) законодательная база и организационные формы защиты окружающей среды и человека от опасностей, возникающих со стороны ДВС.

В первом разделе данного учебного пособия рассматривается двигатель внутреннего сгорания как источник опасности, а также проведена идентификация и анализ опасностей, которые могут исходить от ДВС по отношению к человеку и окружающей среде. В остальных разделах учебного пособия подробно рассмотрены виды опасностей со стороны ДВС, способы измерения, нормирования и контроля негативных воздействий, а также методы защиты человека и окружающей среды от этих опасностей.

1. НЕГАТИВНЫЕ ФАКТОРЫ, ВОЗДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И ЧЕЛОВЕКА СО СТОРОНЫ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Рассмотрение негативных факторов, действующих со стороны ДВС на человека и окружающую среду, начнем с их идентификации.

1.1. Идентификация опасных факторов

Анализ конструкции и рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания как источников опасностей позволяет выделить следующие факторы, способные негативно воздействовать на здоровье и жизнь человека, а также на окружающую среду:

1) механическое воздействие движущихся частей двигателя;
2) шум;
3) вибрационное воздействие;
4) отработавшие газы и их токсичность;
5) химические вещества, используемые для обеспечения работы ДВС (бензин, газ, масло, антифриз), и их негативное воздействие на организм человека и окружающую среду;
6) пожароопасность и взрывоопасность горюче-смазочных материалов (ГСМ), применяемых в ДВС;
7) электрический ток со стороны системы зажигания, используемой в двигателях;
8) высоконагретые детали двигателя.

Рассмотрим воздействие этих факторов подробнее.

1. Механическое воздействие. Движущиеся части и детали ДВС довольно часто оказываются источником травм, ушибов и увечьев, которые получают люди. Для защиты от механического воздействия широко используют защитные кожуха, экраны, блокировочные устройства, а также правила и приемы безопасной работы.

2. Шум. Источником шума в ДВС являются работающие механизмы, а также газодинамические, детонационные и дефлаграционные процессы в двигателе. Длительное воздействие шума на организм человека может вызвать снижение слуха, нарушение обмена веществ, а также сердечно-сосудистые заболевания. Повышенный уровень шума вызывает снижение функций защитных систем организма и общей устойчивости к внешним воздействиям.

3. Вибрационное воздействие. Причиной возникновения вибраций являются периодические процессы, возникающие при работе двигателя. Особенно опасны локальные вибрации, воздействию которых подвергаются главным образом лица, работающие с ручным механизированным инструментом: формовщики, бурильщики, рихтовщики и т. д. Вибрации действуют на нервные окончания, мышечные и костные ткани организма человека. Негативным послед-

ствием вибрации является вибрационная болезнь, которая проявляется болями в пояснице, конечностях, бессоннице и быстрой утомляемости.

4. Отработавшие газы. Двигатели внутреннего сгорания, в результате работы, вместе с отработавшими газами выбрасывают в атмосферу большое количество вредных веществ, таких как CO, CO_2, NO_x, несгоревшие углеводороды (C_nH_m), тяжелые металлы и канцерогенные вещества. Отработавшие газы – наиболее негативный фактор со стороны двигателей внутреннего сгорания, который наносит непоправимый ущерб окружающей среде и людям. Результатом воздействия отработавших газов на организм является общее отравление. В случае значительных выбросов отработавших газов в атмосферу возможно возникновение смога в больших городах и ухудшение общей экологической обстановки на планете.

5. Токсичное воздействие химических веществ. В двигателе внутреннего сгорания используется целый ряд химических веществ, которые имеют органическое (в основном нефтяное) происхождение. К таким веществам относятся топлива, масла, охлаждающие жидкости, газ. Эти вещества могут вызвать отравление при попадании в желудок человека, при соприкосновении с поверхностью кожи, а также при вдыхании их паров. В случае попадания в почву, эти вещества вызывают отравление почвы, нанося ущерб сельскому хозяйству. Довольно часто во время транспортировки нефтепродуктов морскими судами происходят аварии транспорта и попадание этих веществ в воды океанов, морей и рек. В результате возникают экологические катастрофы, так как нефтепродукты и химические вещества, попав в окружающую среду, вызывают гибель множества животных, насекомых и растений. На рис. 1.1 показан разлив топлива на реке Лена возле Якутска, который произошел в 2018 году и привел к серьезной экологической катастрофе в этом регионе.

6. Пожароопасность и взрывоопасность. Топлива и смазочные материалы, используемые в ДВС, – это горючие вещества, которые пожаро- и взрывоопасны. По этой причине необходимо принимать меры по обеспечению пожарной безопасности во время хранения, транспортировки и эксплуатации этих веществ. Кроме этого требуются определенные меры по предотвращению возникновения пожаров и взрывов в процессе эксплуатации двигателей внутреннего сгорания.

7. Электрический ток. В ДВС с искровым зажиганием имеется система зажигания, генерирующая искровой разряд в свече, которая поджигает топливовоздушную смесь в камере сгорания. Пробой искрового промежутка в свече происходит при довольно большом напряжении ~12 000–20 000 В. И, как любой источник электрического тока, система зажигания является потенциальным источником опасности для человека, работающего с ДВС.



Рисунок 1.1 – Разлив топлива на реке Лена в 2018 году [3]

8. Горячие детали двигателя. В процессе работы двигателей происходит нагрев их деталей. Так, например, температура цилиндра может достигать 220 °С. Кроме того, нагреваются детали выпускной системы и системы охлаждения. Прикосновение к нагретым деталям двигателя может вызвать у работающего ожоги. Для защиты человека от термического воздействия со стороны ДВС используют защитные кожуха, а также принципы безопасной работы.

Рассмотрим общепринятые универсальные методы защиты от опасных факторов.

1.2. Методы защиты от опасных факторов

В общем случае для защиты человека от опасностей, в том числе и вышеперечисленных, существует несколько методов. Основа этих методов – различные защитные технические средства и приемы безопасной работы. Рассмотрим коротко эти методы.

1. Пространственное или временное разделение человека и опасностей. В человеке природой заложен инстинкт самосохранения. И, прежде всего, он выражается в том, что человек инстинктивно стремиться удалиться от опасности на некоторое расстояние. Поэтому данный метод защиты является самым естественным. Заключается этот метод в отделении опасного пространства от того места, где работает человек (пространственное разделение). Реализовать это можно путем дистанционного управления опасными процессами, либо автоматизацией опасных и тяжелых работ, например, путем применения роботов.

Также можно разделить человека и опасность во времени. Для этого необходимо сначала удалить из пространства опасный фактор, а затем в это пространство может войти человек для выполнения работы.

2. Обеспечение безопасного состояния среды. Сущность этого метода защиты состоит в том, что для уменьшения влияния опасных факторов на людей, которые находятся в непосредственной близости от работающего двигателя, используются специальные средства, обеспечивающие безопасное состоя-

ние окружающего пространства. Так, например, для защиты человека, находящегося вблизи ДВС, от механических повреждений применяют различные ограждения или блокировку вращающихся механизмов. Для обеспечения безопасности воздушной среды используют вентиляцию и кондиционирование воздуха. Для уменьшения шума покрывают стены звукопоглощающими материалами или устанавливают глушители шума. Таким образом, создается безопасная для человека окружающая среда.

3. Усиление естественных защитных свойств человека. Для усиления естественных защитных свойств человека используются средства индивидуальной защиты (СИЗ), а также проводится обучение работающих безопасным приемам, снижающим риск подвергнуться опасности.

СИЗ представляют собой специальные средства защиты человека от воздействия вредных и опасных факторов. Согласно ГОСТ 12.4.011-89 в зависимости от назначения СИЗ разделяют на 10 классов:

1) одежда специальная защитная: тулупы, пальто, накидки, халаты и т. д.;

2) средства защиты рук: рукавицы, перчатки, нарукавники и т. д.;

3) средства защиты ног: сапоги, ботинки, туфли, бахилы, тапочки и т. д.;

4) средства защиты глаз и лица: защитные очки, щитки лицевые и т. д.;

5) средства защиты головы: каски, шлемы, шапки, береты и т. д.;

6) средства защиты органов дыхания: противогазы, респираторы (рис. 1.2, *а*) и т. д.;

7) костюмы изолирующие: пневмокостюмы, скафандры и т. д.;

8) средства защиты органов слуха: противошумные наушники (рис. 1.2, *б*), вкладыши, шлемы и т. д.;

9) средства защиты от падения с высоты: страховочные привязи, стропы, блокирующие устройства и др.;

10) средства защиты кожных покровов.



а



б

Рисунок 1.2 – Распространенные средства индивидуальной защиты:
а – респиратор [4]; *б* – противошумные наушники [5]