

Литература

1. <https://nangs.org/news/ecology/avialesoohrana-o-lesopozharnoy-obstanovke-v-rossii-na-0000-msk-16102020-g>.
2. <https://om-saratov.ru/social/17-october-2020-i91106-za-nedelu-saratovskie-pojar>.
3. Подрезов Ю.В. Методологические основы оценки и прогнозирования динамики чрезвычайных лесопожарных ситуаций. Журнал “Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях”. Выпуск № 4.- М.: ВИНТИ. - 2000.
4. Подрезов Ю.В. Обобщенный анализ современных способов и средств управления атмосферными процессами. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 6 за 2016 год.
5. Подрезов Ю.В., Тимошенко З.В. Анализ особенностей современных способов борьбы с лесными пожарами и чрезвычайными лесопожарными ситуациями. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», №2 за 2014 год.

Сведения об авторе

Подрезов Юрий Викторович, доцент, заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета); главный научный сотрудник научно-исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ). Тел.: 8-903-573-44-84; e-mail: uvp4@mail.ru

УДК 629.113.001

DOI: 10.36535/0869-4176-2021-01-5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАУЧНОЙ БАЗЫ И НОРМАТИВНОГО ОБОСНОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ КОЛЕСНЫХ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Член-корреспондент РАН **Н.А. Махутов**

Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук

Кандидат техн. наук **А.Н. Панов**

ООО «ЮРС-Русь», Санкт-Петербург, Россия

Рассматривается актуальная проблема оптимального нормативного обеспечения безопасности мобильных машин (ММ) общего и специального назначения на основе управления рисками.

Изложены методология, модели и их апробация для анализа и оптимального нормирования безопасности мобильных машин на основе управления рисками типа изделия и процессов его изготовления во всей цепи поставок- от материалов до сборочных единиц.

Предложены и развиты система категорирования ММ в зависимости от потенциального ущерба последствий отказа техники, математические модели оптимизации требований для разработки нормативных документов (государственных и межгосударственных стандартов) на основе риск-ориентированного подхода.

Ключевые слова: мобильные машины, нормативное обеспечение, безопасность, риски, ущерб, вероятность, оптимизация, системы.

IMPROVING THE SCIENTIFIC BASE AND REGULATORY JUSTIFICATION OF THE SAFETY OF WHEELED MOBILE VEHICLES

Corresponding Member of the RAS *N.A. Makhutov*
Mechanical Engineering research Institute of the RAS Moscow, Russia

Ph.D. (Tech.) *A.N. Panov*
URS-Russia Ltd, Saint- Petersburg

The article deals with the actual problem of optimal regulatory security of mobile machines (MM) based on risk management.

The article describes the methodology and models. for optimal safety regulation of mobile machines based on risk management of the product type and its manufacturing processes throughout the supply chain - from materials to assembly units.

System categorization MM depending on the damage potential consequences of equipment failures, and mathematical optimization model the requirements for developing normative documents on the basis of a risk-based approach are proposed and developed.

Keywords: mobile machines, regulatory security, risks, damage, probability, optimization, systems.

1. Постановка проблем

Автомобилестроение общего и специального назначения является одной из основных отраслей промышленного комплекса высокоразвитых стран; особое место в ней занимает создание мобильных машин специального назначения (ММ). ММ являются составной частью гражданской и специальной оборонной техники. Такие ММ являются объектами технического регулирования (ОТР), т.е. на них распространяется Федеральное законодательство (ФЗ) о техническом регулировании, нормировании, стандартизации и подтверждении соответствия Техническим нормативным правовым актам – ТНПА, Техническим регламентам ЕврАзЭС (ТР ТС 018, ГОСТы и др.) по критериям прочности и ресурса. Из объектов ОТР по уровню опасности выделяются потенциально опасные объекты (ПОО), на которые распространяются дополнительные требования по живучести, отказоустойчивости и безопасности в соответствии с требованиями законов о промышленной и транспортной безопасности. В соответствии с ФЗ и решениями Совета Безопасности Российской Федерации (СБ РФ) ММ могут являться составной частью, в том числе критически важных для национальной безопасности объектов (КВО). По разработанной и утвержденной классификации, изложенной в многотомном издании «Безопасность России» [1, 2] к КВО относятся объекты, нарушение функционирования которых приводит к негативному изменению в рамках административно-территориальной единицы или страны в целом, к существенному ухудшению безопасности жизнедеятельности на длитель-

ный период времени. Из числа КВО выделяются стратегически важные для национальной безопасности объекты (СВО), аварии и катастрофы на которых сопряжены с большими ущербами и потерями для всей системы жизнеобеспечения ряда регионов, страны, сопредельных государств. Сюда относятся ММ для транспортировки радиационно, химически и биологически опасных объектов как оборонного, так и гражданского назначения.

В настоящее время порядка 95 % специальной наземной техники РФ и стран Организации договора о коллективной безопасности монтируется на ММ, т.е. на автомобильных базовых шасси (АБШ). АБШ классифицируют по назначению: многоцелевое и специальное колесное шасси; транспортные прицепы. ММ общего и специального назначения должны обеспечивать полную реализацию возможностей монтируемых на них многоцелевого оборудования и систем за счет высоких темпов перемещений, маневренности, защиты в чрезвычайных ситуациях и др. Указанное требует обеспечение живучести ММ в нормальных и поврежденных условиях эксплуатации. Таким образом, необходимо создать конструкции машин, обеспечивающих функциональность, надежность и безопасность как для участников движения, так и окружения, с учетом характера установленного оборудования и систем. ММ, с одной стороны, являются участниками традиционного дорожного движения, с другой – эксплуатируются в экстремальных условиях (рис. 1).



Рис. 1. Комплексный анализ проблем создания и функционирования автомобильного колесного транспорта

С учетом изложенного, актуальным для ММ общего и специального назначения являются:

- обеспечение статической и циклической прочности, долговечности и надежности в штатных и нештатных (бездорожье) условиях эксплуатации (ОТР, ПОО);
- живучесть и безопасность при возникновении существенных повреждений в случае экстремальных воздействий (КВО, СВО).

К таким ММ относятся, например, АБШ производимые заводами МЗКТ, БАЗ, КАМАЗ, МАЗ и др.

Одновременное общее и специальное назначение ММ позволяет снизить стоимость их производства (рис. 2), повысить их качество и конкурентоспособность.



СВО



КВО



ПОО



ОТР

Рис. 2. Внешний вид мобильных машин общего и специального назначения: - СВО, КВО, ПОО и ОТР

Если для общего назначения АБШ – в отечественной и зарубежной практике развиты методы конструирования, расчетов, испытаний и производства, то для второго – специального назначения, такой опыт пока крайне ограничен в силу высокой сложности научно-методического характера, быстрых изменений в постановке новых задач и ограниченных возможностях их решения.

2. Многокритериальное обоснование создания и функционирования ММ.

Научные, теоретические и экспериментальные исследования в области технико-технологического совершенствования автомобильной техники, в том числе по комплексу критериев прочности, ресурса, надежности, живучести и безопасности, постоянно сопровождаются решением вопросов эффективности (технико-экономическое обоснование конструкторско-технологических решений). С учетом сказанного совершенствовались расчеты элементов автомобильных конструкций. Например, в начале и середине XX века расчет проводился по коэффициентам запаса прочности, затем использовался смешанный подход - расчет по коэффициентам запаса прочности (1) и ресурса (2).

$$\sigma_{\max}^{\circ} = F_{\sigma} \{Q_{\max}^{\circ}, E, \mu, F, W\} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{оп}}}{n_{\sigma}} = \min \left\{ \frac{\sigma_{\epsilon}}{n_{\epsilon}}, \frac{\sigma_{\tau}}{n_{\tau}} \right\} \quad (1)$$

$$N_{\max}^{\circ} = F_N \{Q_{\max}^{\circ}, N^{\circ}, \tau^{\circ}(\sigma_{\epsilon}, \sigma_{\tau}), \psi, m_N\} \leq [N] = \frac{N_{\text{оп}}}{n_N} \quad (2)$$

где σ_{\max}° – максимальные напряжения в опасном сечении и критической точке несущего элемента ММ при эксплуатации;

Q_{\max}° – максимальная эксплуатационная нагрузка;

E, μ – модуль упругости и коэффициент Пуассона конструкционного материала;

F, W – размер и момент сопротивления опасного сечения;

$[\sigma], \sigma_{\text{оп}}$ – допускаемое и опасное напряжение;

$\sigma_{\tau}, \sigma_{\epsilon}$ – пределы текучести и прочности конструкционного материала;

$n_{\sigma}, n_{\tau}, n_{\epsilon}$ – запасы прочности по напряжениям, пределу текучести и прочности;

N_{\max}° – максимальное число циклов нагружения при эксплуатации \$

N° – набор числа циклов нагружения во времени τ° эксплуатации;

ψ – пластичность материала;

m_N – характеристика сопротивления усталости конструкционного материала;

$[N], N_{\text{оп}}$ – допускаемое и опасное (разрушающее) число циклов;

n_N – запас по ресурсу (долговечности).

В практике проектирования ММ соблюдается следующее соотношение между запасами $n_{\tau} \leq n_{\sigma} \leq n_{\epsilon} \leq n_N$, а сами запасы находятся в пределах $1,2 \leq n_N \leq 10$.

Реализация расчетов по выражениям (1), (2) обусловлена постепенным переходом от парадигмы «расчета с запасом», когда коэффициентом запаса парировали недостаточные знания как о нагруженности, так и о сопротивлении всё возрастающим нагрузкам. Экономические причины стимулировали интенсивное создание и применение вероятностных расчетов конструкций и технологических процессов. Обострение конкуренции и планетарное снижение ресурсов явились причиной того, что с конца XX века появилась потребность в еще большем обосновании конструкторско-технологических решений по критериям, связанным как с техническими, так и с экономическими факторами [1, 2]. Результаты вероятностного расчета вызывали затруднения для принятия решения о выде-

лении ресурсов на перепроектирование, повторную подготовку производства, испытания, контроль и т.д. Мировая школа проектирования ощущала потребность в критериях расчета с учетом конструкции и технологии, которые бы давали оценку, не просто вероятности отказа, но и ущербов и потерь в зависимости от многих факторов. К последним относятся качество и количество техники, этап жизненного цикла машины, вид отказа, приводящего к нарушению или прекращению функционирования, потеря заданного уровня ресурса (гарантийный период, назначенный, продленный ресурс). Методики технико-экономического анализа конструкторско-технологических решений при этом оказывались не пригодными, поскольку повреждения и отказы становились источниками многочисленных опасных локальных процессов, снижающих безопасность. В начале XXI века в дополнение к традиционным (по коэффициентам запаса прочности, ресурса и надежности) стали интенсивно создаваться новые методики расчета конструкторско-технологических решений - методики анализа рисков [1, 2, 5-9] в первую очередь в отраслях со значительными последствиями отказов, аварий и катастроф, требующих огромных инвестиций в повышение работоспособности в длительные периоды работы. Указанное получало развитие и для остальных отраслей машиностроения и машиноведения в рамках теории безопасности [1, 2, 5, 6]. Расчеты рисков отказов в дополнение к расчетам по коэффициентам запаса прочности, ресурса, надежности, также развивались и использовались в автомобилестроении, особенно в конце XX и в начале XXI века [5- 9]. Оценка надежности предполагает использование тех же расчетных выражений со статистической и вероятностной трактовкой всех параметров.

Обобщенные многокритериальные соотношения и оценки рисков $R(\tau)$ и безопасности $S(\tau)$ для всех стадий жизненного цикла τ содержатся в [1, 2, 6, 9, 10].

$$R(\tau) = F_R \{Q^o(\tau), n_\sigma(\tau), n_N(\tau), P^o(\tau), U^o(\tau)\} \leq [R] = \frac{R_k^o}{n_R} \quad (3)$$

$$S(\tau) = F_S \{R^o, [R]\} \geq [S] = \frac{S_k^o}{n_S} \quad (4)$$

где $R(\tau)$ – риск создания и функционирования ММ во времени τ при возникновении опасных ситуаций;

$Q^o(\tau)$ – штатные и нештатные максимальные воздействия (нагрузки) при эксплуатации;

$n_\sigma(\tau)$, $n_N(\tau)$ – изменяющиеся при эксплуатации запасы прочности и ресурса с учетом накапливаемых повреждений;

$P^o(\tau)$ – вероятности возникновения опасных ситуаций с учетом изменяющихся запасов;

$[R]$, $R_k(\tau)$ – приемлемый и формирующийся критический (неприемлемый) риск;

n_R , n_S – запасы по рискам и безопасности;

$S(\tau)$ – безопасность по критериям рисков;

$U^o(\tau)$ – ущерб от возникновения опасной ситуации.

Проблемы и поиск решений задачи нормирования для автостроения получили достаточное обоснование на основе управления рисками [7-10]. Углубленная их постановка в части нормирования безопасности возникла в начале 1990^х годов в связи с необходимостью замены предыдущей парадигмы - «разработка и постановка продукции на производство» (по ГОСТ 15.001 в сочетании с обязательным выполнением государственных стандартов СССР) - на систему подтверждения соответствия в конкурентной рыночной экономике.

Можно рассмотреть диалектику создаваемой системы нормирования и обязательных требований в странах СНГ. Сначала появились номенклатура терминов и определений и перечни продукции, подлежащей обязательной сертификации в отдельных странах, а затем в 2011 г. разработан технический регламент (ТР ТС 018). Правила подтверждения соответствия, установленные как в перечнях, так и в техническом регламенте, имели ссылки к конкретной категории транспортных средств по рис. 1 и их частей, путем описания в таблицах реферативных требований, либо ссылок на государственные и межгосударственные стандарты. Также применялся смешанный подход – краткое описание требований и ссылка на пункт нормативного документа. Указанное было установлено для обеспечения приемлемости рисков несоответствия типа и опасности конструкции. Приемлемость рисков несоответствий, возникающих при тиражировании (как для случая применения перечней обязательной сертификации, так и при введении в действие ТР ТС 018) было предусмотрено обеспечивать проверкой условий производства и систем качества.

Реферативное описание обязательных требований к АТС и к их элементам в перечнях и в ТР ТС, а также ссылки на нормативные документы, разработанные до 1991 г., вызывали дискуссии среди заинтересованных участников системы оценки и подтверждения соответствия о их согласованности и обоснованности, так же как и проверки условий производства в их действенности на длительный период производства. Указанные проблемы требовали адекватного научно-методологического решения как по установлению требований к разработке государственных и межгосударственных стандартов на АТС и их элементы, так и на требования к процессам тиражирования.

3. Реализация требований по обоснованию безопасности и рисков.

Предложенная серия моделей для решений проблем безопасности и рисков [1, 2, 6-10] для ММ с нормативным обеспечением [9 - 11] позволила на основе параболической модели «безопасность-затраты» предложить экономически оптимальное решение и выделить социально приемлемый риск $[R]$ для общества, а также на основе матричного подхода классифицировать риски $R(\tau)$ в зависимости от вероятности $P^p(\tau)$ опасных событий и величины (тяжести) ущербов и последствий $U^p(\tau)$ от них. Особо высокими признаны: вероятность $P^p(\tau) \leq 1 \cdot 10^{-3}$, а тяжесть последствий - смерть одного или более человек. На основе анализа рисков $R(\tau)$ совершения дорожно-транспортного происшествия предложена система [11, 12] выделения элементов конструкции АТС, которые в особо высокой степени влияют на риски причинения вреда $U^p(\tau)$. Ими оказались [11 - 14]: тормозная система, рулевое управление, подвеска и шины, а также оборудование, оказывающее травмирующее воздействие на участников дорожного движения. Для приведения многокритериальной оценки к однокритериальной оптимизации предложены [11, 12] показатель комплексной безопасности S и пути снижения рисков $R(\tau)$ для категорий транспортных средств по рис. 1 и 2. В результате были разработаны [11, 12] модели общего нормирования для разработки технических регламентов при создании АТС и их элементов общего назначения. Вместе с тем, модели нормирования для создания ММ общего и специального назначения и их элементов требуют дальнейшего развития. Таким образом, была сформирована общая структура подходов и методов управления рисками $R(\tau)$, $[R]$ на базе:

- государственных и межгосударственных стандартов для установления требований к элементам ММ общего назначения с учетом особенностей ММ специального назначения;
- разработки требований к методам и процессам достижения приемлемых рисков $[R]$ при проектировании и тиражировании АТС и их элементов в глобальной цепи поставок.

До 2011 года отдельные страны СНГ решали задачу обеспечения нормирования и подтверждения безопасности $S(\tau)$ АТС по выражениям (1) – (4) с одной стороны самостоятельно, а с другой - совместно, в том числе путем разработки государственных и меж-

государственных стандартов. Это позволяло предотвратить или снизить конфликты из-за установления требований в перечне продукции, подлежащей обязательной сертификации в отдельной стране одним из участников системы подтверждения соответствия (производители, потребители и органы по сертификации). Например, в Белоруссии для элементов АТС которые в особо высокой степени влияют на риски причинения вреда [11, 12] были разработаны государственные стандарты СТБ 1046-97 (элементы тормозного механизма АТС), СТБ 1069-97 (элементы гидропривода тормозов и сцепления АТС), ГОСТ 30551 - 98, с использованием предложенных в [13] концепции и моделей установления требований с одной стороны к типу конструктивного элемента, а с другой - к подтверждению стабильного качества при тиражировании [14]. При этом в указанных стандартах на основе управления рисками для элемента АТС были учтены:

- причинно-следственная связь между АТС, ее узлами и деталями как при эксплуатации в штатных и в нештатных условиях (экстремальная, малоцикловая, многоцикловая нагруженность Q_{max} , N_{max} ; воздействия и напряжения σ_{max} в ходе и после дорожно-транспортного происшествия и т.д.), так и сопротивление нагруженности $\sigma_{оп}$, $N_{оп}$;
- жизненный цикл (N , τ) АТС и его взаимосвязанных элементов на всех стадиях (проектирование, испытания, производство, восстановление, а также эвакуация пострадавших после ДТП и т.п.).

Следует отметить, что предложенные [11, 12] экономические критерии $R(\tau)$, $P^p(\tau)$ и $U^p(\tau)$ для решений проблемы по нормативному обеспечению учитывают последствия отказов ММ (рис. 1, 2) для общего, а не специального назначения, последствия отказов у которых могут быть значительно большими. Для ММ специального назначения, как одновременно объектов ОТР и ПОО, а также КВО и СВО, характерными могут стать вероятности $P^p(\tau)$ локальных, объектовых, местных, региональных и национальных катастроф от 10^1 до 10^{-2} 1/год, с ущербом $U^p(\tau)$ от 10^3 до 10^{11} руб. Специальными свойствами ММ является повышенная живучесть и защищенность от экстремальных поражений при сохранении повышенных скорости, проходимости и грузоподъемности. Для указанных целей используются, как правило, полноприводные ММ с колесными формулами, например, 4×4, 6×6, 8×8, 12×12, 14×14, 16×16 и более (МЗКТ, БАЗ, КамАЗ, МАЗ, БелАЗ).

Для ММ общего назначения, как объектов ОТР и ПОО, в соответствии с законом о транспортной безопасности, вероятность локальных и объектовых катастроф может быть более 10 1/год с ущербом $10^3 - 10^9$ руб. Вместе с тем по прогнозам ВОЗ через 10 лет одной из основных причин гибели людей будут дорожно-транспортные происшествия (ДТП) на автомобильном гражданском транспорте с большим числом АТС. В настоящее время в отдельных странах Европы в ДТП ежегодно погибает порядка 0,01–0,02 %, травмируется свыше 0,04 % численности населения. Это существенно больше, чем потери жизни и здоровья на авиационном, морском и железнодорожном транспорте вместе взятых.

Для обеспечения глобальной конкурентоспособности в автомобильной промышленности необходимо не только создавать новые типы продукции, но и при изготовлении и эксплуатации [13, 14] обеспечивать допустимую/приемлемую вероятность несоответствия техническим требованиям, безопасности и защищенности от аварий и катастроф автомобильных машин как специального, так и общего назначения. При этом следует учитывать, что усложнение конструкции, технологии, производства и эксплуатации будет приводить к увеличению количества отказов ММ и связанных с ними аварий и катастроф.

Таким образом, актуальными задачами в научном и прикладном плане являются разработка взаимоувязанных методологии, моделей, методов расчетов, испытаний, нормирования и обеспечения показателей прочности и ресурса по выражениям (1) - (2), безопасности и рисков по выражениям (3) – (4) на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации ММ для обеспечения приемлемых рисков $[R]$ и безопасности $S(\tau)$. Сами

риски $R(\tau)$ определяются как произведение вероятности возникновения аварийных и катастрофических ситуаций $P^p(\tau)$ на величину ущерба $U^p(\tau)$.

$$R(\tau) = P^p(\tau) \cdot U^p(\tau) \quad (5)$$

В обобщенные экономические риски входят ущербы $U^p(\tau)$ - экономические последствия в связи с потерей жизни и здоровья людей, разрушением объектов ОТР, ПОО, КВОИ СВО и поражением окружающей среды на анализируемом отрезке жизненного цикла τ для ММ [1, 2, 6].

Комплексный анализ теории и практики проектирования и изготовления технических и технологических систем (ТТС) в автомобильной промышленности, принятых в странах СНГ и за рубежом, выявил системные проблемы и закономерности, не позволяющие пока традиционными методами при создании ММ обеспечить требуемое эффективное соотношение «цена-качество-сроки поставки». Это особенно относится к требованиям прочности, ресурса, риска и безопасности по выражениям (1) – (5) со своими запасами

$$n_S = F_n \{n_\sigma, n_N, n_R\} \quad (6)$$

где n_S - обобщенный запас по безопасности $S(\tau)$

Основой для этого является применение комплекса моделей, методов и средств, адекватных конечной концепции управления безопасностью $S(\tau)$ по критериям рисков $R(\tau)$, $[R]$ и необходимым затратам $Z_R(\tau)$ при проектировании, производстве и эксплуатации ММ.

Расчетные экономические затраты $Z_R(\tau)$ на снижение рисков $R(\tau)$ до приемлемого уровня $[R]$ с учетом (1) – (6) оцениваются по выражению

$$Z_R(\tau) = \frac{1}{m_Z} \{R(\tau) - [R]\} \quad (7)$$

где m_Z - коэффициент эффективности затрат.

По опыту ведущих отраслей промышленности гражданского и оборонного назначения при соответствующем научном обосновании и выполнении современных норм проектирования, изготовления и эксплуатации можно достичь [1, 2, 6] величин m_Z в диапазоне $3 \leq m_Z \leq 10$.

С учетом (1) – (7) разработка и внедрение методологии системного исследования, планирования и обеспечения надежности и безопасности ММ из условий прочности, ресурса, и безопасности при оптимальных затратах на их производство и эксплуатацию является важнейшей научной и практической проблемой на период до 2030 г. Об актуальности темы свидетельствует ее соответствие:

- приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники;
- критическим технологиям России;
- основам государственной политики в области обеспечения безопасности и защищенности от чрезвычайных ситуаций;
- транспортной стратегии и стратегии национальной безопасности;
- концепции развития автомобильной промышленности РФ.

Они ориентируют на повышение уровня качества, производительности труда, уровня конструирования и применения современных технологий.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-58-00019_Бел_а

Литература

1. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности / под общ. ред. Н. А. Махутова. – М.: МГОФ «Знание». - 2015, – 936 с.
2. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Техногенная, технологическая и техносферная безопасность / под общ. ред. Н. А. Махутова. – М.: МГОФ «Знание». - 2018, – 1016 с.
3. Проектирование полноприводных колесных машин: Учебник для вузов; В 3 т. Т.1 / Б.А. Афанасьев, Б.Н. Белоусов, Г.И. Гладов и др.; Под ред. А.А. Полунгяна.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. - 2008. - 496 с.: ил.
4. Белоусов Б.Н., Попов С.Д. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет/ Под об. Ред. Б.Н. Белоусова.- М.: Изд-во МГТУ и. Н.Э. Баумана. - 2006.- 728 с.: ил.
5. Махутов Н.А., Фортон В.Е. Машиностроение России: перспективы и риски развития. М.: Наука. - 2017. – 104 с.
6. Махутов Н.А. Безопасность и риски: системные исследования и разработки. Новосибирск: Наука. - 2017. 724 с.
7. Панов А.Н. Несущие системы грузовых АТС: Прогнозирование ресурса/ А.Н. Панов // Автомобильная промышленность –2003, №3 -С. 14-16.
8. Панов А.Н. Прогнозирование надежности машин на этапе анализа проекта/ А.Н. Панов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение» – 2002, №4 -С. 45-51.
9. Проектирование транспортных средств: нагруженность, повреждение, ресурс: Монография / М.И. Горбачевич, А.Н. Панов, С.М. Минюкович; под общ. ред. А.Н. Панова. – Минск.: «Техно-принт». - 2005 г. – 264 с. : ил.
10. Панов А.Н. Научно-методические основы проектирования: системное обеспечение приемлемых рисков в автотракторосельхозмашиностроении: монография / А.Н. Панов, И.И. Осмола, И.В. Шкадрцов, В.Б. Ловкис, Л.А. Маринич; под общей ред. А.Н. Панова. – Минск: БГАТУ. - 2009. – 486 с.: ил.
11. Кисуленко Б.В. Оценка рисков причинения вреда автомобильной техникой в целях технического нормирования, Кисуленко Б.В. // Стандарты и качество. – 2007. – №6. – С. 80-82
12. Кисуленко Б.В. Методология формирования требований к безопасности автотранспортных средств, реализуемых в их конструкции при проектировании. Автореферат дисс. докт. техн. наук. 05.05.03. М, 2011. 32 с.
13. Панов А.Н. Концепция разработки стандартов, регламентирующих требования безопасности машиностроительной продукции/А.Н. Панов // Стандарты и качество. – 2002, №9 - С. 20-24.
14. Панов А.Н. Эффективный менеджмент и качество. Адекватная теория – успешная практика/ Панов А.Н., Осмола И.И., Суцень Н.А. // Вестник машиностроения - №8 -2007 –С. 77-83.

Сведения об авторах

Махутов Николай Андреевич – главный научный сотрудник, Институт машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ РАН). 101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д. 4. E-mail: safety@imash.ru. Тел. +7(495)930-80-78

Панов Александр Николаевич – главный эксперт, ООО «ЮРС-Русь», Санкт-Петербург, Россия (a.panov@tut.by)