

УДК 658.34:62

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Основин В.Н., Основина Л.Г., Сокол О.В., Мальцевич Н.В., Старосто Р.С.

Дано систематическое изложение концепции понятия «технические системы». Проанализировано состояние производственного травматизма в Республике Беларусь за 2016–2017 годы. Сформулированы основные принципы обеспечения безопасности технических систем, соблюдение которых позволит сократить негативное воздействие на работников опасных и вредных производственных факторов и минимизировать физиологические последствия травм и заболеваний.

Ключевые слова: технические системы, окружающая среда, основные принципы, безопасность технических систем.

(Поступила в редакцию 3 мая 2018 г.)

Введение. Анализ несчастных случаев, происходящих в производственной деятельности человека, свидетельствует о том, что одной из основных причин травматизма является эксплуатация машин и технологического оборудования, не отвечающих требованиям безопасности. Эксплуатация таких технических объектов почти всегда связана с нарушениями технологического процесса, которые приводят к поломкам и последующему разрушению отдельных элементов движущихся машин и механизмов, подвижных частей производственного оборудования. При этом создается аварийная ситуация, механические опасности которой ведут к травмированию работающих.

Согласно концепции, разработанной Международной ассоциацией социального обеспечения (МАСО) в Сингапуре 4 сентября 2017 г. на XXI Всемирном конгрессе по безопасности и гигиене труда, считается, что несчастные случаи на производстве и профессиональные заболевания не являются неизбежными, поскольку у них всегда есть причины, а следовательно, развитие эффективной культуры профилактики позволит их устранить. Вопрос обеспечения безопасности на рабочих местах как важнейший фактор достижения цели достойного труда широко обсуждали на II Международном форуме «Профсоюзы и зеленые рабочие места», который состоялся в Минске 19–20 апреля 2018 г. В Республике Беларусь создана целостная взаимоувязанная система, определяющая роль и задачи каждого из участников процесса обеспечения безопасных условий труда на всех уровнях взаимодействия. Проводимый в стране комплекс мероприятий в области охраны труда, от принятия законодательства и разработки систем управления охраной труда до государственного надзора и общественного контроля, направлен на решение главной задачи – сокращение производственного травматизма и профессиональных заболеваний [1].

По информации Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь в 2017 г. в организациях произошло меньше несчастных случаев со смертельным и тяжелым исходом по сравнению с предшествующим годом: погибли 117 работников и 576 получили тяжелые производственные травмы (в 2016 г. – 119 и 635 соответственно) [2].

Причины роста травматизма на производстве, имеющие проблемный характер, необходимо решать комплексно в соответствии с другими задачами повышения эффективности работы технических объектов с целью обеспечения безопасности производственного процесса.

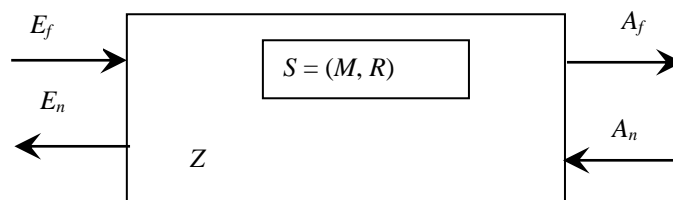
Существующее положение с производственным травматизмом и пожарной ситуацией на производстве требует постоянного внимания человека, поэтому технические объекты становятся работоспособными только при его участии. По данным А.А. Челнокова [3] примерно 20–30 % отказов в работе технических объектов зависят от ошибок человека; 10–15 % всех отказов связаны непосредственно с ошибками оператора.

Современные технические объекты (машины, механизмы, производственное оборудование) представляют собой совокупность элементов, определенным образом связанных друг с другом и образующих сложные системы, способные обеспечивать течение технологических процессов по программам, задаваемым человеком, а также совершать требуемые операции, работы и процедуры.

Чем сложнее система и больше в ней элементов и связей между ними, тем более нетривиальным является процесс анализа и прогнозирования ее состояния, и тем выше риск отклонения от нормальной эксплуатации этой системы.

Важное место занимают задачи моделирования технического объекта как системы взаимодействия элементов, образующих единое целое, т. е. техническую систему [4].

Основная часть. Под техническими системами (ТС) понимают материальные объекты искусственного происхождения, которые состоят из совокупности упорядоченно взаимодействующих элементов M , объединенных соответствующими связями R и вступающих в определенные отношения между собой и с окружающей средой с целью самостоятельного выполнения потребительских функций в штатных условиях, предусмотренных их конструкцией (рис. 1).



E_f, A_f – параметры, характеризующие функции системы; E_n, A_n – параметры, не относящиеся к функциям системы (условия работы, внешние и дополнительные воздействия);

Z – системный оператор; S – структура технических систем

Рисунок 1. – Структура взаимодействия элементов технических систем

Под функцией системы понимают ее свойство, применяемое для преобразования входных параметров E_f в выходные параметры A_f , осуществляемого при внешних и дополнительных воздействиях A_n и условиях работы E_n .

Комплекс элементов M и связей R , взаимодействующих в системе, создает структуру технических систем $S = (M, R)$. Следует учитывать, что на стадии проектирования элементы системы признаются единым целым, несмотря на то, что степень их сложности может отличаться в широких пределах. Если при проведении анализа элемента не учитывается его форма и внутреннее строение, а только оговаривается функция, которую он выполняет, тогда представленный элемент называется функциональным. В состав ТС входят следующие элементы: деталь, звено, группа, узел, простой или типовой механизм.

Существует множество материальных объектов искусственного происхождения, однако технические системы имеют общие признаки и структурные особенности, которые позволяют считать их целостной группой [5].

К наиболее существенным признакам ТС можно отнести:

- наличие структуры, поскольку ТС состоят из отдельных элементов или частей;
- целевое назначение ТС – приведение в исполнение конструктивных функций;
- некоторые особые свойства, не эквивалентные сумме свойств составляющих элементов.

Если хотя бы один из вышеприведенных признаков отсутствует, то рассматриваемый объект не является технической системой.

Таким образом, к ТС относятся движущиеся машины и механизмы, подвижные элементы производственного оборудования, передвигающиеся изделия, заготовки, транспортные и грузоподъемные машины и оборудование, а также другие устройства и средства, эксплуатируемые на предприятии. Движущимися частями ТС являются рабочие и приводные органы оборудования: различные виды передач (зубчатые, ременные, цепные и др.), валы и барабаны, муфты и диски, лопасти, пилы, ножи и другие части, вращающиеся или перемещающиеся в каком-либо направлении [6].

Известно, что не существует совершенно безопасных производств и технологических процессов. Всегда присутствует определенный риск травмирования, который зависит не только от опасных действий человека, но и от внешних воздействий.

Поэтому на государственном уровне разрабатываются меры экономического, технического, организационного и других направлений деятельности, обеспечивающих безопасность человека от воздействия возникающих опасных и (или) вредных производственных факторов. На исключение вышеуказанных факторов в структуре общей теории безопасности направлены основные принципы (общие положения) обеспечения безопасности ТС [7].

Основные принципы обеспечения безопасности ТС позволяют совершенствовать технологические процессы, проводить модернизацию оборудования, устранять или ограничивать источники опасности и зоны их распространения, а также использовать средства

индивидуальной и коллективной защиты. Зная принципы, можно эффективно решать практические задачи, в том числе в области обеспечения безопасности. Исходя из реализации этих задач, принципы обеспечения безопасности ТС можно условно разделить на четыре класса.

Ориентирующие содержат основные идеи, используемые технологами, конструкторами и проектировщиками для определения направления поиска безопасных решений, и служат методологической и информационной базой в области безопасности производственной деятельности предприятия. К ним относятся: *системность, взаимосвязь, гуманизация, классификация, деструкция, снижение и ликвидация опасности, активность человека, замена оператора роботом.*

Технические предусматривают комплекс типовых технических и технологических решений, основанных на использовании физических законов и направленных на непосредственное предотвращение действия опасных и (или) вредных факторов (физических, химических, биологических, психофизиологических). Они включают: *защиту расстоянием, прочность, слабое звено, единичный отказ (резервирование), экранирование, блокировку, флегматизацию, вакуумирование, компрессию, герметизацию.*

Управленческие предоставляют возможность руководству предприятия на основе нормативно-правовых актов определить ответственность должностных лиц за работу по обеспечению безопасных условий труда. Управленческие принципы включают: *плановость, стимулирование, управление безопасностью, эффективность, ответственность, обратную связь, адекватность, контроль, компенсацию.*

Организационные способствуют реализации положений научной организации деятельности предприятия в целях повышения безопасности человека и включают следующие принципы: *защита временем, несовместимость, эргономичность, информация, нормирование, подбор кадров, рациональная организация.*

В работе ТС руководствоваться только одним из этих принципов невозможно, поскольку все они тесно связаны между собой и представляют комплексную систему.

Анализируя вышеприведенные принципы обеспечения безопасности ТС, можно сделать вывод, что они являются основными направлениями производственной деятельности организации «человек – среда обитания» и элементарными составляющими процесса обеспечения безопасности.

Принципы обеспечения безопасности необходимо рассматривать во взаимосвязи, как элементы, дополняющие друг друга. Некоторые принципы относятся к нескольким классам одновременно, образуя систему, но каждый из них обладает относительной самостоятельностью и имеет определенные пределы применения. Каким принципам отдать предпочтение в конкретном случае, прежде всего зависит от достигнутого уровня безопасности, а также от соответствующих управленческих и организационных мероприятий и технических средств конкретной организации.

Научной основой планирования мероприятий по предупреждению несчастных случаев является прогнозирование безопасности труда на основании выявления зависимости травматизма от производственных факторов.

Анализ оперативных данных Департамента государственной инспекции труда Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь (за январь-декабрь 2017 г. в сравнении с январем-декабром 2016 г.) по состоянию на 07.02.2018 г. проведенный по Республике Беларусь, показывает, что количество погибших на производстве в нашей стране сократилось на 3,4 %.

Об улучшении условий труда свидетельствует уменьшение коэффициента частоты травматизма в Республике Беларусь на 1,7 % в 2017 г. Значения коэффициентов частоты травматизма работающих за 2016–2017 гг. приведены в таблице 1.

Анализируя данные таблицы 1, видим, что значение коэффициента частоты травматизма увеличилось в Брестской области на 37,5 %, а в Гомельской – на 38,2 % и уменьшилось в Гродненской области на 36,3 %, Витебской области – на 14,5 %, Могилевской области – на 5,5 %, Минской области – на 1,8 % и в г. Минске – на 12,5 %.

Количество потерпевших, получивших тяжелые производственные травмы (январь-декабрь 2017 г. в сравнении с январем-декабром 2016 г.) в Республике Беларусь уменьшилось на 4,5 %, в том числе, по областям: Витебской – на 27,6 %, Гродненской – на 18,7 %, Гомельской – на 11,7 %, Брестской – на 6,1 % и в г. Минске – на 2,7 %. В то же время этот показатель в Минской области увеличился на 10,7 %, в Могилевской – на 7,2 %.

Таблица 1. – Коэффициенты частоты (Кч) травматизма работающих в Республике Беларусь

Наименование территории	Годы	Кч на 100 тыс. работающих
Брестская область	2016	2,29
	2017	3,15
Витебская область	2016	4,30
	2017	3,68
Гомельская область	2016	2,59
	2017	3,58
Гродненская область	2016	3,83
	2017	2,44
Минская область	2016	4,54
	2017	4,46
г. Минск	2016	1,53
	2017	1,34
Могилевская область	2016	3,51
	2017	3,32
Республика Беларусь	2016	2,98
	2017	2,93

Из приведенных данных видно, что количество потерпевших, получивших тяжелые производственные травмы, увеличилось в Гомельской и Брестской областях. Лидирующее место по травматизму на производстве занимает Минская область.

Анализ причин, приводящих к несчастным случаям, проведенный за январь-декабрь 2017 г., показывает, что наибольшее количество несчастных случаев происходит по организационным причинам из-за нарушения потерпевшим трудовой дисциплины, требований нормативных правовых актов, технических нормативных правовых актов, локальных нормативных актов по охране труда – от 17,6 до 21,1 %, невыполнения руководителями и специалистами обязанностей по охране труда – 14,8–15,5 %, также по личной неосторожности потерпевшего – 0,5–9,6 %.

С учетом постоянного совершенствования ТС травматизм из-за конструктивных недостатков, недостаточной надежности средств производства (машин, механизмов, оборудования, оснастки, инструмента, транспортных средств) составляет 0,7–0,8 %, несовершенства, несоответствия технологического процесса требованиям по охране труда – 1,1–1,2 %. Отсутствие, некачественная разработка проектной документации на строительство, реконструкцию производственных объектов, сооружений, оборудования приводит к тому, что возникают травмы в 0,5–1,7 % случаев.

Особое внимание необходимо обращать на то, что на практике бывают случаи эксплуатации неисправных машин, механизмов, оборудования, оснастки, инструмента, транспортных средств, которые составляют 1,6–2,3 %, а также нарушения требований безопасности при эксплуатации транспортных средств, машин, механизмов, оборудования, оснастки, инструмента, приводящие к 2,9–4,3 % травм.

В то же время имеются случаи неудовлетворительного содержания и недостатки в организации рабочих мест, приводящие к травмам в 4,5–4,8 % случаев.

Проанализировав причины несчастных случаев при эксплуатации производственного оборудования, машин, механизмов и др., следует отметить, что соблюдение основных принципов обеспечения безопасности работы технических систем позволяет минимизировать физиологические последствия травм и заболеваний работающих.

Значение принципов состоит в формировании знаний об опасностях функционирующих ТС и требований к проведению защитных мероприятий и методам их расчета. Пользуясь этими принципами, можно находить оптимальные решения защиты от опасностей на основе сравнительного анализа конкурирующих вариантов.

Использование сложной техники предъявляет высокие требования к квалификации оператора. Поэтому современные ТС необходимо рассматривать как сложные автоматизированные системы, в которых вместе с контурами автоматического регулирования, состоящими только из технических звеньев, включены и функционируют контуры, замыкаемые через человеческое звено [8]. В связи с этим в условиях современного производства особенно важно учитывать принцип гуманизации, который предполагает, что при проектиро-

вании технологических процессов и оборудования, организации труда необходимо соблюдать нормативные условия производственного процесса [9].

Чтобы обеспечить безопасность производственной деятельности, необходимо:

- проведение активного и реактивного мониторинга условий труда;
- выбор безопасных технологий и оборудования;

– использование эффективных средств коллективной и индивидуальной защиты, применение автоматизации и дистанционного управления;

- оценка аварийных ситуаций, их локализация и ликвидация опасностей при авариях.

В условиях современного производства необходимо обращать особое внимание на принцип глубоко эшелонированной защиты, предполагающий [10]:

– установление барьеров при распространении энергии или устранении контакта с опасными элементами объекта;

- разработку мероприятий по сохранению целостности и эффективности этих барьеров.

Примерами физических барьеров безопасности служат различные защитные оболочки и кожухи (капоты), экраны, отсеки и т. п. Чем больше физических барьеров, тем более безопасным является объект.

Работоспособность барьеров и безопасность объекта обеспечиваются комплексом мероприятий [11], таких как:

– проектирование, предполагающее выбор всех параметров и характеристик надежности и безопасности с запасом;

- использование в проекте свойств защищенности и регулирования;

– введение в проект систем блокировок и защит, предназначенных для предотвращения аварий или ограничения их последствий;

- обучение работников;

– профилактические меры по устранению причин возможных отказов и корректирующие меры, препятствующие перерастанию отказов элементов объекта в происшествя и аварии;

- соблюдение требований инструкций по эксплуатации объекта.

Следующим важным принципом обеспечения безопасности является принцип единичного отказа, который реализуется путем резервирования элемента системы безопасной защиты. Применение резервирования себя оправдывает, поскольку увеличение стоимости за счет введения дополнительных элементов компенсируется повышением надежности, а следовательно, снижаются затраты на проведение текущего ремонта.

Важное место в обеспечении безопасности, кроме рассмотренных выше мероприятий, занимают следующие правила:

- применение апробированных технологий;

- изучение опыта эксплуатации существующих объектов;

- принятие решений на основе фактов.

Последний принцип особенно важен для раскрытия роли вероятностного анализа в обосновании безопасности.

При обеспечении безопасности работы ТС необходимо использовать ряд принципов, среди которых ведущими являются технические и организационные.

Средством решения проблемы надежности и безопасности ТС служит использование автоматики для обеспечения ее работы в различных условиях эксплуатации, обучение и переподготовка кадров.

Заключение. Таким образом, безопасность работы ТС можно обеспечить, если рационально выбрать принципы действия составляющих элементов, а также подобрать конструктивные схемы и материалы. Рабочие процессы необходимо выполнять с соблюдением условий труда. Следует учитывать, что в конструкциях необходимо проектировать специальные защитные и ограждающие устройства. Для повышения безопасности производства работ планируется рациональное использование средств механизации, автоматизации, дистанционного управления.

При создании технической документации соответствующим организациям необходимо включать требования безопасности на разработку, монтаж, эксплуатацию, ремонт, хранение и транспортирование оборудования, выполнение эргономических требований.

Для того, чтобы исключить воздействие на работающих опасных и (или) вредных производственных факторов, необходимо соблюдать основные принципы обеспечения безопасности технических систем (ориентирующие, технические, управленческие и организа-

ционные). Соблюдение принципов безопасного взаимодействия «человек – среда обитания» в производстве направлено на сохранение жизни и здоровья работников в соответствии с требованиями системы управления охраной труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беларусь намерена следовать концепции «нулевого травматизма» в сфере охраны труда – Старовойтов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.belta.by/society/view/belarus-namerena-sledovat-kontseptsii-nulevogo-travmatizma-v-sfere-ohrany-truda-starovojtov-300272-2018/>. – Дата доступа: 04.06.2018.
2. Романовская, И.А. В режиме активного поиска / И.А. Романовская // Охрана труда и социальная защита. – 2018. – № 4 (301). – С. 4–7.
3. Охрана труда: учеб. пособие / А.А. Челноков, Л.Ф. Ющенко. – 2-е изд., испр. – Минск: Выш. шк., 2006. – 463 с.
4. Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные: ГОСТ 12.3.002-2014. – Введ. 01.05.2017; взамен ГОСТ 12.3.002-75. – Минск: Госстандарт, 2017. – 12 с.
5. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности к рабочим местам: ГОСТ 12.2.061-81. – Введ. 01.07.1982. – Минск: Госстандарт, 2009. – 4 с.
6. Безопасность жизнедеятельности: учебник / под ред. Э.А. Арустамова. – 10-е изд., перераб. и доп. – М.: Дашков и К°, 2006. – 476 с.
7. Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности: ГОСТ 12.2.003-91. – Введ. 01.01.1992; взамен ГОСТ 12.2.003-74. – Минск: Госстандарт, 2011. – 9 с.
8. Курдюмов, В.И. Безопасность жизнедеятельности: проектирование и расчет средств обеспечения безопасности: учеб. пособие / В.И. Курдюмов, Б.И. Зотов. – М.: Юрайт, 2017. – 230 с.
9. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В.И. Анурьев. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2006. – Т. 1. – 928 с.
10. Безопасность жизнедеятельности: учебник для вузов / С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьянов [и др.]; под ред. С.В. Белова. – М.: Высш. шк., 2007. – 616 с.
11. Павлова, Е.И. Экология транспорта: учебник для вузов / Е.И. Павлова. – М.: Транспорт, 2000. – 248 с.

BASIC PRINCIPLES OF SECURITY SAFETY OF WORK OF TECHNICAL SYSTEMS

Victor Osnovin, PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Larisa Osnovina, PhD in Technical Sciences, Associate Professor

Olga Sokol

Educational Establishmen «Belarusian State Agrarian Technical University», Minsk, Belarus

Natalia Maltsevich, PhD in Economic Sciences, Associate Professor

State Educational Establishment «School of Business of Belarusian State University», Minsk, Belarus

Roman Starosto

State Educational Establishment «University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus», Minsk, Belarus

Purpose. The aim of the work was to study the basic principles of ensuring the safety of technical systems aimed at eliminating the negative impact of hazardous and harmful production factors for workers.

Methods. Systematic approach to the object of research, methods of analysis and generalization are used.

Findings. A systematic presentation of the term «technical systems» is given. The basic principles of ensuring the safety of technical systems are formulated and the state of industrial injuries in the Republic of Belarus for 2016-2017 is analyzed.

Application field of research. The principles presented in the work should find the application in the design and operation of equipment to improve its safety.

Conclusions. In the sphere of production there are no absolutely safe production facilities, therefore the measures are needed to reduce the impact of harmful factors on working personal. Observance of the basic principles of the safety of technical systems in the design and operation of machinery will increase its safety, reduce injuries, and preserve the life and health of workers.

Keywords: Technical systems, environment, basic principles, safety of technical systems.

(The date of submitting: May 3, 2018)

REFERENCES

1. *Belarus' namerena sledovat' kontseptsii «nulevogo travmatizma» v sfere okhrany truda* – Starovoytov [Belarus intends to follow the concept of «zero traumatism» in the field of labor protection – Starovoytov], available at <http://www.belta.by/society/view/belarus-namerena-sledovat-kontseptsii-nulevogo-travmatizma-v-sfere-okhrany-truda-starovojtov-300272-2018> (accessed: June 4, 2018). (rus)
2. Romanovskaya I.A. V rezhime aktivnogo poiska [In the active search mode]. *Okhrana truda i sotsial'naya zashchita*. 2018. No. 4 (301). Pp. 4–7. (rus)
3. Chelnokov A.A., Yushchenko L.F. *Okhrana truda* [Labor protection]: tutorial. Minsk: Vysheyshaya shkola, 2006. 463 p. (rus)
4. *Occupational safety standards system. Production processes. GOST 12.3.002-2014*. Affirmed 01.05.2017. Minsk: Gosstandard, 2017. 12 p. (rus)
5. *Occupational safety standards system. Equipment for production. General safety requirements for workplaces: GOST 12.2.061-81*. Affirmed 01.07.1982. Minsk: Gosstandart, 2009. 4 p. (rus)
6. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Safty of human life support]: textbook. Ed. by E.A. Arustamov. Moscow: Publishing house Dashkov and Co., 2006. 476 p. (rus)
7. *Occupational safety standards system. Equipment for production. General safety requirements: GOST 12.2.003-91*. Affirmed 01.01.1992; in exchange for GOST 12.2.003-74. Minsk: Gosstandart, 2011. 9 p. (rus)
8. Kurdyumov V.I., Zotov B.I. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti: proektirovanie i raschet sredstv obespecheniya bezopasnosti* [Safty of human life support: design and calculation of safety equipment]: tutorial. Moscow, Yurayt, 2017. 230 p. (rus)
9. Anur'ev V.I. *Spravochnik konstruktora-mashinostroytelya* [Handbook of the designer-machine builder], in 3 parts. Moscow: Mashinostroyeniye, 2006. Part 1. 928 p. (rus)
10. Belov S.V., Il'nitskaya A.V., Koz'yanov A.F. et al. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Safty of human life support]: textbook for universities. Moscow: Vysshaya shkola, 2007. 616 p. (rus)
11. Pavlova E.I. *Ekologiya transporta* [Transport Ecology]: textbook for universities. Moscow: Transport, 2000. 248 p. (rus)