ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ МЕТОДА FMEA

Д.И. Панюков, В.Н. Козловский, Д.В. Айдаров



КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

- анализ рисков,
- FMEA,
- информационные системы,
- управление качеством,
- управление проектированием,
- автомобильная промышленность,
- сравнительная оценка.

Метод FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) применяется в целях выявления наиболее критических шагов производственных процессов с целью управления качеством продукции. С его помощью помощью проводится анализ и классификация возможных ошибок с точки зрения их критичности для работы системы. Это связано с применением информационных технологий и требует выбора соответствующего программного обеспечения. В настоящее время на рынке представлено более десятка различных программных продуктов для поддержки FMEA. Какой из них является предпочтительным?

SOFTWARE FOR FMEA SUPPORTING

D.I. Panyukov, V.N. Kozlovsky, D.V. Aidarov

Keywords: risk analysis, FMEA, information system, quality management, design management, automotive industry, comparative assessment.

АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ FMEA

Применение любого метода анализа рисков предполагает достаточно большой объем ручной работы, причем именно бумажной, так как приходится фиксировать на каждом этапе анализа различные варианты записей о дефектах, последствиях, причинах, методах предупреждения и обнаружения и т. д. Кроме того, приходится оформлять все это в виде протокола, представляющего собой достаточно сложную таблицу. Конечно, вручную это давно никто не делает, но использование информационных технологий все же по-прежнему достаточно ограниченно. Понятно, что для многих специалистов на стадии непосредственного анализа, т. е. генерации идей, удобнее эти записи фиксировать на бумаге — это кажется быстрее и проще, но вот далее начинаются сложности. Во-первых, записи необходимо расшифровать и воссоздать в электронном виде, что приводит к дополнительным затратам времени. Во-вторых, возможны неизбежные ошибки и неточности при переводе результатов в электронный вид.

Поддержка FMEA, как и других методов, которые предполагают какой-либо вид итогового отчета или протокола с помощью информационных технологий, имеет достаточно долгую историю. Причем в качестве инструментов создания электронных версий этих отчетов исторически первыми начали применяться различные текстовые или табличные редакторы, такие как MS Word и MS Excel. Обычно каждое предприятие создавало некий образец протокола самостоятельно, ориентируясь на собственное понимание правильности и некоторые требования, которые либо исходили от потребителей, либо в качестве образцов использовались в ГОСТах или общепринятых руководствах по применению FMEA.

Протоколы, созданные в MS Word, чаще всего являются обычными таблицами, структура которых просто копируется из ранее созданных файлов или создается заново в соответствии с требованиями. Значительно реже формируются шаблоны средствами MS Word. Протоколы FMEA в MS Word получаются достаточно громоздкими и трудноуправляемыми, их можно использовать только в виде отчетов для распечатки, так как не очень удобно искать что-либо в многостраничной таблице, даже используя встроенный поиск. Получаемые документы являются независимыми друг от друга, поэтому сводить все результаты анализа в единую базу данных фактически невозможно — информация разделена, ее можно хранить только в виде отдельных файлов, например в иерархической структуре папок, но поиск информации все равно сильно затруднен, что резко снижает эффективность такой базы данных.

> Использование возможностей MS Word и MS Excel — наиболее простой и дешевый способ информационной поддержки FMEA, но при этом все ограничивается только формированием и распечаткой протокола и практически не позволяет сформировать системную информационную поддержку этого метода

Редактор MS Excel более удобен, так как он специализируется на таблицах. Можно легко создавать удобные протоколы FMEA и достаточно просто можно искать информацию в таких таблицах при помощи, например, фильтрации данных. Однако большинство специалистов также используют только ограниченный функционал этой мощной программы, создавая, как и в MS Word, только протокол для распечатки. В MS Excel можно разрабатывать свои базы данных, правильно формируя структуру таблицы. Кроме того, можно создавать удобные формы для ввода данных. Используя встроенные возможности Visual Basic for Applications (VBA), можно разрабатывать свои собственные программные оболочки (надстройки) для FMEA с использованием различных возможностей базы данных: ввод данных, расчет показателей риска, поиск информации, условное форматирование для подсказок, формирование отчетов (например, итоговый протокол в нужной форме) и т. д. Безусловно, обычный пользователь не сможет создать такую надстройку, даже для специалиста в VBA это не самая простая задача — фактически это разработка отдельной программы. Кроме того, MS Excel все же не является базой данных по своей сути, имеются ограничения на размер таблиц, не очень удобна навигация по таблицам

(в виде отдельных листов), поэтому иногда ее используют совместно со специализированными программами для разработки баз данных типа MS Access, получая полнофункциональный программный продукт.

Понятно, что самостоятельное использование возможностей MS Word и MS Excel — наиболее простой и дешевый способ информационной поддержки FMEA, но при этом все ограничивается только формированием и распечаткой протокола и практически не позволяет сформировать системную информационную поддержку этого метода. Для небольших предприятий это является выходом из положения, но, как только объем проектирования выходит за пределы единиц изделий в год, возникает необходимость формирования баз данных, а также сокращения времени на анализ и оформление в том числе и протоколов FMEA. В этом случае чаще всего в качестве информационной поддержки используют различные специализированные программные продукты, которые либо предназначены непосредственно для FMEA, либо имеют соответствующий инструментарий в качестве отдельного модуля [1, 2].

Для того чтобы сравнить представленные на рынке программные продукты, с помощью которых можно проводить FMEA, выработаем критерии сравнения в виде необходимых для эффективной работы возможностей программных продуктов.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ FMEA

Прежде всего для определения необходимых возможностей программных продуктов для поддержки FMEA необходимо опираться на алгоритм применения этого метода, и в частности алгоритм проведения анализа дефектов. Кратко этот алгоритм выглядит следующим образом:

1) формирование перечня компонентов изделия или операций производственного процесса, а также описание общей структуры изделия или процесса;

2) определение для каждого элемента из предыдущего пункта основных и дополнительных функций;

3) определение для каждого элемента из первого пункта перечня требований;

4) на основании второго и третьего пунктов идентификация потенциальных дефектов;

5) для каждого потенциального дефекта определение перечня возможных последствий и оценка их тяжести баллом значимости S;

Командная работа в рамках FMEA накладывает свои требования к программному обеспечению с учетом возможной совместной удаленной работы

6) для каждого потенциального дефекта определение механизма его возникновения и перечня причин, его запускающих;

7) формирование перечня мер, предусмотренных для предупреждения потенциальных дефектов, и определение балла возникновения O для каждой причины/дефекта;

8) формирование перечня мер, необходимых для обнаружения причины/дефекта, и определение балла обнаружения D;

9) расчет приоритетного числа риска ПЧР = $= S \times O \times D$ и/или использование других способов оценки общего риска;

10) оценивание общего риска для выбора приоритетных дефектов/причин для снижения риска (возможно по нескольким методикам: ранжирование ПЧР, матрица приоритета действий и т. п.);

11) для выбранных дефектов/причин формирование мер по снижению риска с назначением ответственных и планированием сроков реализации;

12) отслеживание выполнения мер по снижению риска и повторная оценка общего уровня риска для оценки достаточности реализованных мер (повторная оценка и выставление баллов S, O, D и ПЧР и далее оценивание риска);

13) формирование протокола FMEA, архивирование и последующее управление документом, в том числе для его актуализации.

С 4-го по 10-й пункт осуществляется непосредственно анализ, пп. 1—3 являются подготовительными, а 11—13 предназначены для управления риском и итоговыми документами по результатам анализа. Хотя п. 12 также может превратиться в полноценный анализ рисков в случае значительных изменений изделия или процесса, а также недостаточности принятых мер по снижению рисков, т. е. фактически вернуть алгоритм к п. 4.

Если рассматривать FMEA как один из инструментов в общей палитре методов обеспечения качества при проектировании

продукта и процесса его изготовления, то необходимо также сказать о других необходимых документах системы качества и методах, связанных с FMEA. Например, о разработке карты потока процесса (Flow Chart) для п. 1 и плане управления (Control Plan) для пп. 7—8 в рамках PFMEA, а также о структурной схеме изделия для п. 1 и программе испытаний для пп. 7—8 в рамках DFMEA [3, 4]. Кроме того, в рамках каждого пункта алгоритма могут применяться дополнительные методы анализа или вспомогательные инструменты: управление функциями и требованиями (пп. 2—3), использование банка дефектов (п. 4), методы анализа причин и последствий — дерево причин и последствий, метод FTA, метод ETA (пп. 5—6), визуализация опасностей (пп. 5—9), методы ранжирования риска — диаграмма Парето, матрицы риска (п. 10), управление действиями (мерами) по снижению риска (пп. 11—12), управление документацией (п. 13).

Командная работа в рамках FMEA накладывает свои требования к программному обеспечению с учетом возможной совместной удаленной работы.

Метод FMEA достаточно сложен с точки зрения общего процесса его реализации, поэтому необходим высокий уровень компетенции у членов команды как по FMEA, так и по вспомогательным инструментам и методам анализа, которые могут быть использованы в рамках FMEA. Поэтому для более простого и удобного проведения и документирования FMEA в программном продукте должны быть предусмотрены элементы в виде подсказок по различным действиям, а также справка по каждому шагу анализа и по применению различных вспомогательных методов анализа с примерами.

Так как метод FMEA опирается на различные стандарты и требования производителей, то необходимо использовать соответствующие шаблоны документов с последующим их редактированием под нужды пользователя.

Новичкам удобно было бы иметь возможность постоянного обращения к базе знаний с различными вариантами дефектов, последствий, причин, возможных мер по снижению риска, привязанными к аналогичным продуктам и процессам, ранее проанализированным другими пользователями не только данного предприятия, но и по всему миру. Отсюда возникает необходимость интернационализации такой базы знаний, т. е. сохранения данных с возможностью их перевода на нужный язык. Все это приводит к формированию базы на локальном и любом вышестоящем иерархическом уровне вплоть до глобальных общемировых баз данных. Она должна быть интегрирована в соответствующее программное обеспечение и иметь возможность как интерактивных подсказок, так и прямой работы с ней как с обычной базой данных, т. е. возможность фильтрации данных, различного рода запросов и формирования отчетов. При накоплении достаточно большого объема данных она может стать основой для интеллектуальной обработки входящих данных при проведении FMEA, в том числе с использованием методов работы с Big Data и технологий нейронных сетей для обработки любой входящей информации в любом формате в автоматическом и полуавтоматическом режимах.

Еще одним важным требованием к любому программному продукту является возможность импорта данных из других программных продуктов, а также экспорта их в другие форматы, например в MS Excel или MS Word, для обмена с другими пользователями, у которых нет данного программного продукта.

Таким образом, учитывая потребности общего процесса управления качеством на стадии проектирования и подготовки производства, приведем перечень возможностей, которым должен соответствовать программный продукт для поддержки FMEA:

- импорт данных из CAD-систем;
- импорт данных (протоколов FMEA) из других программ;
- управление функциями и требованиями (в том числе их структурирование);
- структурирование продукта и процесса (в том числе визуально в виде блок-схем или сетевых диаграмм, карт потока процесса);
- использование шаблонов протокола FMEA (и других документов) из стандартов и руководств автопроизводителей (в том числе для разных видов FMEA) / возможность их редактирования;

Важным требованием к любому программному продукту является возможность импорта данных из других программных продуктов, а также экспорта их в другие форматы

- наличие стандартизированных банков компонентов, отказов, причин, последствий;
- использование вспомогательных методов анализа последствий и причин (FTA, ETA и т. п.);
- визуализация зон высокого риска на протоколе FMEA;
- расчет и анализ общего уровня риска, определение приоритетов для снижения риска;
- возможность управления действиями по снижению риска (в том числе система планирования и отслеживания действий);
- формирование плана управления или программы испытаний на основе FMEA;
- наличие интерактивных подсказок, справок при проведении анализа и формировании протокола FMEA;
- экспорт данных анализа в другие общеупотребимые форматы представления;
- возможность удаленной совместной работы в реальном времени / наличие веб-интерфейса;
- возможность использования различных языков при работе с программой, в том числе для изменения шаблонов;
- единая база знаний по отказам, последствиям, причинам и другим взаимосвязанным параметрам системы с сетевым доступом;
- интеграция с PLM-системами;

Таблица 1

Сравнительная таблица возможностей различных программных продуктов (программных модулей) для поддержки FMEA/FMECA

Возможности программных продуктов (программных модулей) для поддержки FMEA/FMECA	Программные продукты												
	TreeTABLE	APIS IQ-FMEA	XFMEA	SCIO™-FMEA	RAM Commander	Windchill FMEA	QMS FMEA	Companion (Minitab)	CASQ-it. FMEA	Medini analyze	Reliability Workbench	ITEM ToolKit	Relyence FMEA
Импорт данных из CAD-систем						+	+		+	+			
Импорт данных FMEA из других программ			+	+	+					+	+		+
Управление функциями и требованиями		+		+	+	+	+		+	+			+
Структурирование продукта и процесса		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Использование разных шаблонов протокола FMEA	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
Наличие стандартизированных банков компонентов, отказов, причин, последствий					+						+	+	+
Использование вспомогательных методов анализа последствий и причин (FTA и др.)		+	+	+	+	+		+		+	+	+	+
Визуализация зон высокого риска на протоколе FMEA		+	+	+			+	+	+	+			+
Расчет и анализ общего уровня риска, определение приоритетов для снижения риска	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Возможность управления действиями по снижению риска		+	+	+	+	+	+	+	+	+			
Формирование плана управления, в том числе на основе FMEA	+/–	+/+	+/+	+/+		+/+	+/+	+/+	+/+				
Наличие интерактивных подсказок, справок		+		+							+		
Экспорт данных анализа в другие общеупотребимые форматы представления	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Возможность удаленной совместной работы / наличие веб-интерфейса		+/+	+/+	+/+	+/–	+/+	+/+	+/+	+/+	+/–	+/–		+/+
Возможность использования различных языков при работе с программой	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Единая база знаний — локальная / с сетевым доступом		+/+	+/+	+/+		+/+	+/+	+/+	+/–	+/+	+/–	+/?	+/+
Интеграция с PLM-системами				+		+	+		+				
Наличие русского интерфейса / полная русификация					+	+	+		+				

- наличие русского интерфейса / полная русификация всех данных (справочной системы).

Сформируем общую таблицу соответствия рассмотренных программных продуктов перечню необходимых возможностей (табл. 1).

Из табл. 1 видно, что все программы могут работать с русским языком, поэтому при знании английского языка их можно использовать, хотя здесь важнее возможность правки имеющихся шаблонов протоколов FMEA, чтобы иметь полностью русский вариант протокола. Такое преимущество имеют почти все программы. Причем их производители используют в качестве шаблонов протоколы для различных видов FMEA или протоколы, соответствующие требованиям стандартов и руководств производителей.

Практически все программные продукты поддержки FMEA имеют либо встроенную возможность, либо возможность использования отдельных модулей по структурированию систем и процессов в виде блок-схем, карт потока процесса и других диаграмм, в основном сетевого типа. То же самое касается и возможности анализа деревьев отказов (FTA).

Большинство программ позволяет визуально выделять блоки протокола с высоким общим риском (ПЧР/RPN) и высокими баллами значимости (*S*), возникновения (*O*) и обнаружения (*D*).

Все программы имеют функционал автоматического вычисления ПЧР/RPN и позволяют производить оценивание общего риска на основе различных методов, в основном матриц риска.

Некоторые программы больше ориентированы на оценку надежности и риска, поэтому там не предусмотрена возможность создания планов управления. А те программы, которые такую возможность имеют, ориентированы больше именно на анализ рисков в рамках методологии FMEA и требования стандартов в области качества для автопрома. В этих же программах предусмотрена возможность работы с DFMEA и PFMEA и, соответственно, с блок-схемами и картами потока процесса.

Большинство производителей программного обеспечения встроили в свои продукты возможность совместной работы и даже предусмотрели веб-интерфейсы для этого.

Также важно отметить, что многие производители стали создавать базы знаний (в основном с сетевым доступом) для сохранения и обмена результатами анализа, а также для помощи при проведении анализа за счет использования готовых фраз и цепочек: компонент — отказ — последствие — причины.

> Ни одна из рассмотренных программ не позволяет проводить полностью автоматический предварительный анализ проектов конструкций и процессов в рамках FMEA, хотя в некоторых программах частично реализованы эти возможности

Выявлено, что недостаточно часто применяются такие инструменты помощи специалисту, как подсказки и встроенные справочные системы, в том числе с описанием методологии FMEA и других методов; редко встречается импорт данных из CAD-систем, также далеко не все программные продукты имеют встроенные библиотеки и банки компонентов, отказов, последствий и причин.

Кроме того, обзор и анализ возможностей различных программных продуктов для поддержки FMEA показал, что на рынке нет российских производителей, что весьма печально. Хорошо, что некоторые достаточно мощные программные продукты русифицированы, поэтому это значительно повышает их привлекательность для российского рынка. Практически все из этих программ являются частью (модулями) PLM-систем, только RAM Commander имеет русский интерфейс и является отдельным пакетом программ.

Анализ возможностей программного обеспечения для поддержки метода FMEA показал, что, по сути, на рынке существует несколько основных типов таких программ [5—10]:

- для создания протокола FMEA: шаблоны в MS Excel или MS Word (например, IQASystem-TreeTABLE и другие подобные);
- отдельные программные продукты для FMEA с различным дополнительным набором возможностей помимо основной — формирование протокола FMEA: APIS IQ-FMEA, XFMEA;
- отдельные модули для создания FMEA в рамках более общего набора программных средств по управлению качеством,

Таблица 2

Перечень рассмотренных программных продуктов с информацией об официальных сайтах

№ п/п	Наименование программного продукта	Разработчик, сайт
1	TreeTABLE (надстройка Excel)	iQASystem, https://www.iqasystem.com
2	APIS IQ-FMEA	APIS, https://www.apis-iq.com
3	Xfmea	HBM Prenscia (ReliaSoft), https://www.reliasoft.com/products/reliability-management/xfmea
4	SCIO™-FMEA	PLATO AG, https://w3.plato.de/scio-fmea-en.html
5	RAM Commander	ALD Group, https://aldservice.com
6	Windchill FMEA	PTC, https://www.ptc.com и https://www.irisoft.ru/products/windchill/
7	QMS Professional	Siemens Product Lifecycle Management Software Inc., https://www.plm.automation.siemens.com, https://www.plm-ural.ru/resheniya/qms-fmea
8	Companion	Minitab, http://www.minitab.com
9	CASQ-it.FMEA	Böhme & Weihs, http://boehme-weihs.ru/caq/fmea/
10	Medini analyze	ANSYS, https://www.ansys.com/products/systems/ansys-medini-analyze
11	Reliability Workbench	Isograph, https://www.isograph.com/software/reliability-workbench/
12	ToolKit	ITEM, http://www.itemsoft.com/fmeca.html, http://www.itemsoftware.com/fmeca.html
13	Relyence FMEA	Relyence, https://www.relyence.com/products/fmea/

риском и надежностью: RAM Commander, Companion от Minitab, Medini analyze, Reliability Workbench, ITEM ToolKit, Relyence FMEA;

- отдельные модули для создания FMEA в рамках PLM-систем, полностью интегрированные в жизненный цикл продукта или имеющие возможность интеграции: SCIO™-FMEA, PTC Windchill FMEA, QMS FMEA, CASQ-it. FMEA.

Более подробную информацию можно получить на официальных сайтах рассмотренных программных продуктов, она представлена в табл. 2.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПРОГРАММНОГО ПРОДУКТА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ FMEA

Каждое предприятие выбирает программные продукты в соответствии с собственными возможностями и целями. Исходя из анализа программных продуктов для поддержки FMEA, можно утверждать, что каждый тип программного обеспечения решает свои задачи.

Если нужно всего лишь облегчить оформление протоколов FMEA, достаточно будет разработать собственный шаблон в Excel или купить недорогой готовый шаблон, который можно настроить под свои нужды. Это решение для малых предприятий.

Если требуется вести базу данных проектов FMEA, но нет необходимости использовать весь инструментарий по анализу риска или надежности, достаточно купить отдельное решение, разработанное непосредственно для FMEA. Это будет не так дешево, как в первом случае, но позволит обеспечить необходимую программную поддержку методу как на стадии создания, так и на стадии управления разработанными FMEA. Это решение для малых и средних предприятий.

Если предприятие не только проводит FMEA, но и занимается расчетом и анализом надежности, а также управлением рисками, применяет другие методы обеспечения качества, хочет обеспечить программной поддержкой весь цикл разработки и проектирования новых изделий и процессов их производства, то требуется уже набор программ, интегрированных в один пакет, которые поддерживают все необходимые виды анализа и имеют инструменты по разработке всех необходимых документов для всех стадий проектирования. Это уже решение для средних и крупных предприятий, и оно дороже, чем отдельный программный продукт для FMEA.

Если предприятие осознает необходимость управления всем жизненным циклом продукции, то оно приобретает PLM-системы, в которых интегрировано большое количество программных модулей (в том числе и для FMEA), взаимосвязанных в этом пакете по множеству параметров. Это недешевое системное решение приобретают обычно крупные предприятия, хотя и средние также могут потратиться для повышения эффективности своей деятельности.

Ни одна из рассмотренных программ не позволяет проводить полностью автоматический предварительный анализ проектов конструкций

и процессов в рамках FMEA, хотя в некоторых программах частично реализованы эти возможности хотя бы на уровне «компонент — отказ» или цепочек «причина — отказ — последствие». Данный анализ невозможен без наличия сетевой базы знаний по всем известным конструкциям и процессам, которая также некоторыми программными комплексами реализована, но пока в основном только в виде общего хранилища данных.

РЕЗЮМЕ

На сегодняшний день пока нет такой системы анализа данных, которая позволит не только искать и брать подобные решения из базы знаний, но и предлагать варианты для каждого шага анализа, а также автоматически формировать предварительные результаты на основе базы знаний с указанием уровня соответствия предлагаемых решений. Такое возможно сделать на основе нейронных сетей, которые можно обучать на стандартизированных базах отказов и последствий, а также на огромном количестве данных от пользователей со всего мира. Уверены, что такая нейросеть позволит не только выявлять рискоопасные и недостаточно надежные проектные решения, но и проводить предварительный анализ и в итоге формировать весь необходимый набор документов по результатам анализа проектных решений в нужном формате.

ММК

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Козловский В.Н.** Информационная поддержка методов менеджмента качества // Наука — промышленности и сервису. — 2015. — 9—2. — С. 362—368.
2. **Панюков Д.И.** Информационные технологии поддержки систем менеджмента качества в автопроме // Синергетика природных, технических и социально-экономических систем. — 2018. — № 15. — С. 192—198.
3. **Панюков Д.И.** Проектирование новых производственных процессов // Стандарты и качество. — 2014. — № 11 (929). — С. 92—95.
4. **Panyukov D.I.** Highlights of Russian experience in implementing ISO/TS 16949 // Life Science Journal. — 2014. — № 11 (8s). — P. 439—444.
5. iQASystem. — https://www.iqasystem.com.
6. APIS. — https://www.apis-iq.com.
7. HBM Prenscia. — https://www.reliasoft.com/products/reliability-management/xfmea.
8. PLATO AG. — https://w3.plato.de/scio-fmea-en.html.
9. ALD Group. — https://aldservice.com.
10. PTC. — https://www.ptc.com.

ABSTRACTS

The article analyzes the use of various software to support the definition method of failure mode and effect analysis (FMEA). The article formulates a set of features necessary for the appropriate software to effectively support FMEA. The article compares more than ten different information systems available on the market for compliance with these capabilities. The article draws conclusions on the software products available on the market. Recommendations on the choice of software for FMEA are given. The article formulates the capabilities of software products that would be very useful for the effective conduct of FMEA, but are not yet available on the market of information for the effective conduct of FMEA, but are not yet available in the market of software.

АВТОРЫ



Д.И. Панюков

канд. техн. наук, доцент ПВГУС, заместитель директора АНО «Институт Качества»

D.I. Panyukov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor PVGUS, Deputy Director of ANO Institute of Quality



В.Н. Козловский

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой Самарского государственного технического университета

V.N. Kozlovsky

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Samara State Technical University



Д.В. Айдаров

канд. техн. наук, доцент Самарского государственного технического университета

D.V. Aidarov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Samara State Technical University