

УДК 629.039.58

**ДОСТОВЕРНЫЕ ЗНАНИЯ КАК КОНЦЕПЦИЯ ЭКОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ (ЧАСТЬ 2)**

Анатолий Алексеевич Сперанский, вице-президент по науке и новым технологиям Российской инженерной академии

Юрий Александрович Галушкин, доктор физико-математических наук, почетный академик РАЕН, директор Института новых инженерных технологий Российской Инженерной Академии

**Аннотация**

*В статье анализируется проблемная ситуация экотехнологической безопасности, требования к научному обеспечению системной безопасности, излагаются основные понятия и принципы системотехники достоверных знаний, методологические основы создания универсальных параметрических систем экотехнологического мониторинга в интересах устойчивого развития. Статья состоит из двух частей. В журнале представлена вторая часть.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** техногенная безопасность, прогнозирование и предупреждение катастроф, системотехнический подход к безопасности, методы экотехнологического мониторинга.

**RELIABLE KNOWLEDGE AS A CONCEPT OF ECOTECHNOLOGICAL MONITORING IN INTEREST OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT (PART 2)**

Anatolij Alekseevich Speransky, vice-president on science and new technology of the Russian Engineering Academy

Urij Aleksandrovich Galushkin, Doctor of physic-mathematical sciences, the honorable academician of the Russian Academy of Natural Sciences, the chief manager of the Institute of new engineering technologies of the Russian Engineering Academy

**Abstract**

*The article concerns with the issue of an ecotechnological security, demands for specific ensuring of system's security, main concept and principles of reliable knowledge systems engineering, methodological basis of creating of universal parametric systems of ecotechnological monitoring in interest of sustainable development. The article consists of two parts. The journal has the second part of the article.*

**KEYWORDS:** technogenic security, forecasting and notification of disasters, systems engineering approach to security, methods of an ecotechnological monitoring.

**Новая парадигма экотехнологической безопасности**

Механика обладает огромными возможностями познания мира и является методом исследования Природы, а не теорией каких бы то ни было конкретных явлений. Ни один из фундаментальных постулатов механики принципиально не может быть ни установлен, ни опровергнут опытным путем, поэтому возможные приложения механики совпадают с пределами применимости классической логики. **Механика является фундаментальной наукой первых принципов, применимых к описанию всех феноменов как природных, так и техногенных.** Рассматриваемая концепция подтверждает научно-прикладное вторжение рациональной механики в ранее недоступные для нее проблемы устойчивого развития.

Поскольку **пространственные волновые поля составляют основу и являются системой среды обитания человека**, остановимся более подробно на информационно-методологических аспектах обеспечения экотехнологической безопасности как процесса защиты (сохранения устойчивого развития в условиях вредных внешних и внутренних экотехнологических воздействий).

Из множества всеобщих свойств и существенных физических факторов окружающего нас мира, представляющих потенциально высокую экотехнологическую опасность для жизнедеятельности человека, важнейшим следует считать **природное проявление прочности**. Свойство прочности присуще любому объекту материального мира как природного, так и техногенного происхождения, и является важнейшим критерием качества среды обитания, поскольку от него зависят не только здоровье, комфортность и успешность жизнедеятельности, но прежде всего возможность и безопасность самого существования жизни. Понятие прочности настолько вошло в повседневные привычки, что ощущается как само собой разумеющееся свойство бытия. К сожалению, это далеко не так. Современное общество регулярно переживает потрясения от чрезвычайных ситуаций (ЧС) на объектах природно-технических систем (ПТС), потерявших по совокупности причин и обстоятельств свойство прочности. Именно системное динамическое равновесие (гомеостаз) спектра энергетических воздействий, сбалансированное конструкционной способностью сопротивления им и реализует фундаментальное природное физическое свойство прочности. **Первопричины и последствия всех без исключения аварий и катастроф техногенного характера связаны с потерей или истощением ресурса прочности машин и сооружений.**

По механизму реакции на воздействия возмущающих факторов и проявление собственных динамических свойств можно выделить три принципиально разных класса механических объектов и систем, представляющих опасность для жизнедеятельности человека:

- силовые динамические агрегаты и механизмы, преобразующие энергию в движение или наоборот;
- силовые статические конструкции, предназначенные для преодоления пространственно-временных статических и динамических природно-технических воздействий;

- гидродинамические системы, реализующие антропогенно-природное взаимодействие объектов с акваториями.

Теоретически доказано и экспериментально подтверждено, что динамические и статические воздействия на механические объекты приводят к адекватной энергетической реакции материала конструкции, поэтому всеобщее распространение при оценке текущего эксплуатационного состояния объектов ПТС получил энергетический подход. В его основе фундаментальные законы и принципы механики сплошных сред. Все механические процессы носят волновой пространственно-временной системный (тензорный) характер, что принципиально важно для достоверной оценки значения текущего эксплуатационного ресурса конструкционной прочности.

В области измерения волновых параметров механических систем научно-техническая революция XX века вследствие экстенсивного характера развития привела скорее к количественному росту научного знания, нежели к увеличению качества и глубины его понимания. Всеобщая распространенность линейных моноскопических (скалярных) измерений, даже многопозиционных, привела к тому, что механические волны в диапазоне частот  $10^{-2} \div 10^3$  Гц по сравнению с остальными физическими полями стал метрологически неинформативным. Для диагностических целей преимущественное развитие получили косвенные экспериментальные способы регламентированной оценки эксплуатационного ресурса прочности, основанные на консервативных статистических моделях и сложных параметрических методах. Регулярно происходящие в мире техногенные катастрофы свидетельствуют о недостаточной эффективности моноскопического мониторинга. Механический мир скалярных измерений, малоинформативных и недостоверных, в полном смысле слова, рушится на глазах, но каким будет безопасный мир, и какие подходы в нем будут играть решающую роль - вопрос далеко не для всех, несущих бремя ответственности за безопасность среды обитания, ясный.

Информационно-технологическое отставание наиболее распространенной в инженерных приложениях виброакустической оценки энергетических показателей является следствием сложившейся практики несистемного измерения пространственных параметров волновых механических полей на основе ограниченных практических возможностей моноскопических скалярных метрологических средств или их несвязанных композиций. Несвязанные пространством и временем измерения компонентов волновых параметров не могут отражать тензорные свойства сплошных сред ни качественно, ни, тем более,

количественно [1]. Объективный анализ механических систем без знания полных пространственных колебаний невозможен принципиально. Поэтому для всех векторных построений необходимо точное знание важнейшего временного волнового параметра – фазы компонента колебаний. Ошибка в измерении фазы лишает достоверности все виброакустические измерения. При этом повышается риск принятия неправильных решений, значительно искажаются оценки ресурса эксплуатационной прочности конструктивных элементов силовых агрегатов и сооружений, снижается объективность гидроакустического мониторинга и геодинамических наблюдений, что существенно снижает техногенную безопасность в машиностроении и строительстве.

Вследствие сложившейся практики, **главное поле среды обитания человека** – частотный диапазон механических колебаний от 0 до 20 кГц, в котором реализуется фундаментальное свойство материальных объектов окружающего мира – прочность, **наименее метрологически освоено**. В результате общество, наделенное интеллектом и будучи цивилизованным, не чувствует себя в безопасности и все более уязвимо от сил непознанной стихии разрушений. Вместе с тем, приходит понимание того, что укоренившаяся привычка полагаться на «авось» благодаря непомерно завышенным запасам конструкционной прочности не эффективна ни в социально-экономическом, ни в энергетическом, ни в экологическом смыслах.

Метрологически противостоящие косвенным монотонным измерениям векторно-фазовые методы волновой виброакустической метрологии, достаточно глубоко обоснованные теоретически, до настоящего времени метрологически были практически недоступны. Помимо традиционного консерватизма мирового метрологического сообщества, к фактически сложившемуся положению были и объективные причины.

К основным из них следует отнести технологическое отставание в области создания:

- средств достоверного мониторинга пространственных параметров механических систем;
- программно-аппаратных средств сбора, обработки и визуализации параметров деформационных полей;
- методологии многомерной реконструкции динамических контурных характеристик ресурса прочности машин и сооружений, а также идентификационных образов сплошных физических сред.

Для обеспечения стабильности техногенного мира и безопасности среды обитания нужна концепция достижения указанных целевых функций - интеллектуальный прорыв и новое **адекватное природе понимание** сущности глобальной техногенной безопасности, фундаментальное и универсальное для всех волновых механических полей. **Достоверное знание, как информационный акт, получает свою завершённость тогда, когда потенциальные энтропийно-негэнтропийные модели реализуются в виде объективной (адекватной) оценки с вероятностью близкой к единице в актуальном пространстве времени.** В силу фундаментальности принципов, универсальности критериев и существенности метрологических свойств, векторное представление волновых виброакустических полей следует считать обобщенной негэнтропией (ОНГ) или связанной информацией. Единство энтропии-негэнтропии составляет основу информационного подхода формируемого современной наукой миропонимания. Высказано предположение о том, что связанная форма информации вместе с массово-энергетическими свойствами волновых деформационных полей механических систем образует **единое фундаментальное информационное поле среды обитания.**

Укоренившаяся практика диагностики на основе амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) и модального анализа передаточных функций систем, по существу, сводится к оценке текущих эксплуатационных состояний путем применения сложных статистических моделей по двум параметрам «дрожания» - амплитуде и частоте. Эти элементы являются эмоциональными, внешними показателями системы, которые отражают понимание усредненных спроецированных определенным (скалярным) образом пространственных процессов. Умение их метрологически оценивать реализует только потенциальную возможность и, будучи вместе с пониманием информационной моделью, является энтропией по отношению к действию - достоверному знанию. Отсутствие векторно-фазовых параметров среди элементов структуры волновых деформационных полей приводит к неполному описанию систем и их превращений, недостоверности измерений и, как следствие, недостижению целевой функции – безопасному функционированию технических систем. В то же время, **внешняя среда (энтропия) и система (негэнтропия) представляют собой природное закономерное единство, находящееся в постоянном информационном (гомеостатическом) взаимодействии.**

С появлением векторных средств достоверного виброакустического мониторинга в механическом диапазоне частот укрепилось понимание несовершенства и низкой

информативности скалярного мониторинга. Синхронная многомерная реконструкция волновых гомеостатических параметров деформационных полей впервые в мировой практике позволила прямым способом в реальном времени с высокой степенью достоверности измерять анизотропно-прочностные свойства объекта и оценивать в реальном времени соответствующий им текущий эксплуатационный ресурс. Важнейшим подтверждением метрологической эффективности полевой подхода является приведенный на рисунке 1 фрагмент сравнительных испытаний информативности скалярного и волнового векторного-фазового методов измерения параметров пространственных виброакустических полей на силовых установках ГПА компрессорных станций ОАО «Газпром».

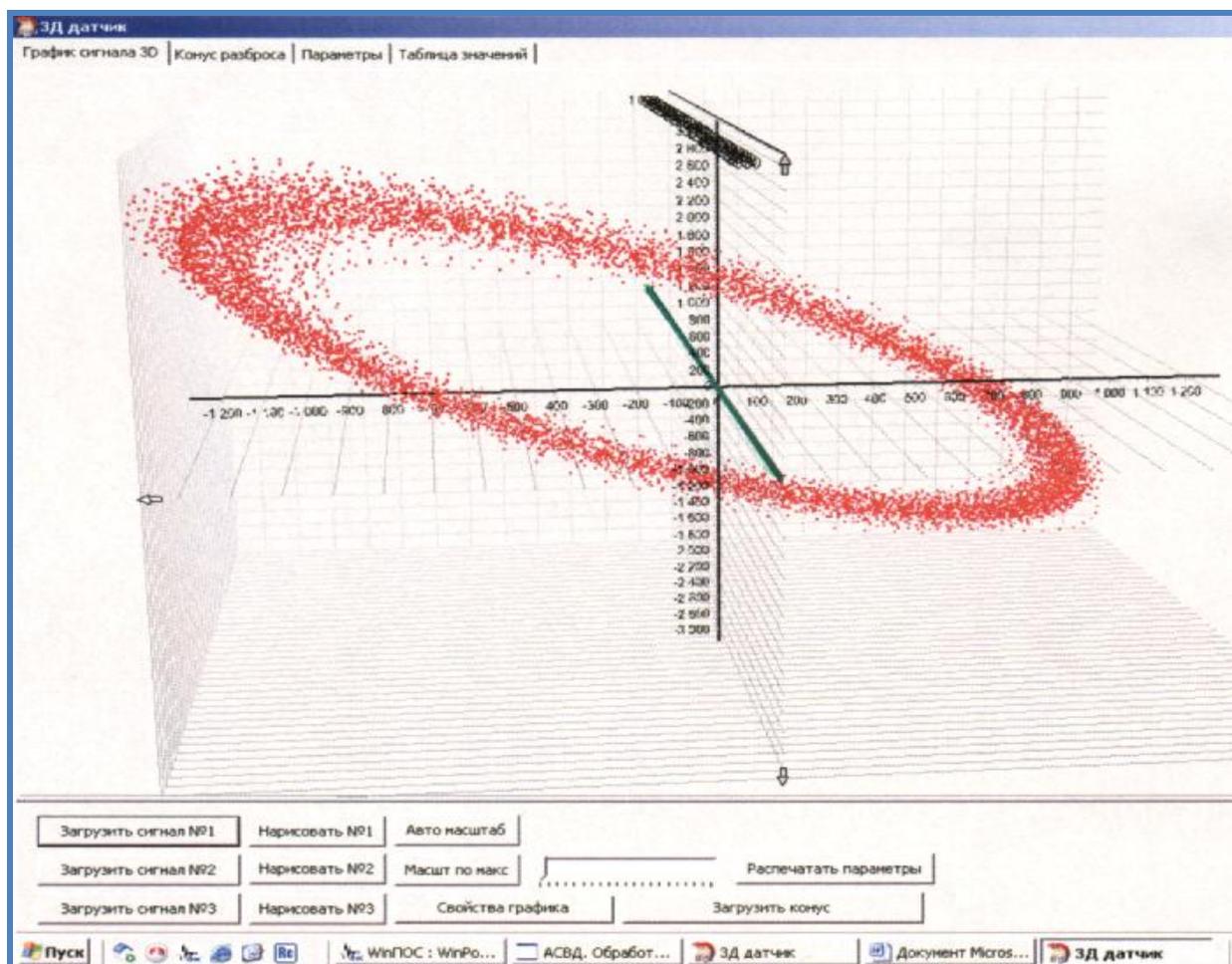


Рис. 1. Информативность скалярного и векторного-фазового методов измерения

Пространственно-временная выборка мгновенных деформаций измерительной точки в заданном диапазоне частот воспроизводит пространственный тор с эллиптическими осями, характеризующими податливость конструкции. Наглядно показано, что полевая реконструкция существенно изменяет представление о величине и направлении вектора

диагностического параметра: отличие величин мгновенных значений вектора (красный цвет) от соответствующих проекций на измерительную ось штатного скалярного датчика (зеленый цвет) составляет  $1,5 \div 4$  раза, а в особых точках частотного спектра достигает от 4 до 20 раз.

Фундаментальные методы и универсальный аппарат спектральной векторно-фазовой реконструкции волновых параметров деформационных полей могут быть основой для практических научных исследований и решения прикладных задач во всех техногенно-опасных областях среды обитания.

Волновые связанные измерения как информационная технология стали возможны в начале XXI века в связи с созданием векторных приемников механических колебаний и мощных компьютерных технологий. Волновая Информационная Технология (Wave Information Technology) состоит из самостоятельных технологических решений, объединенных фундаментальными научными знаниями и универсальными инженерными решениями, что представлено на рисунке 2.

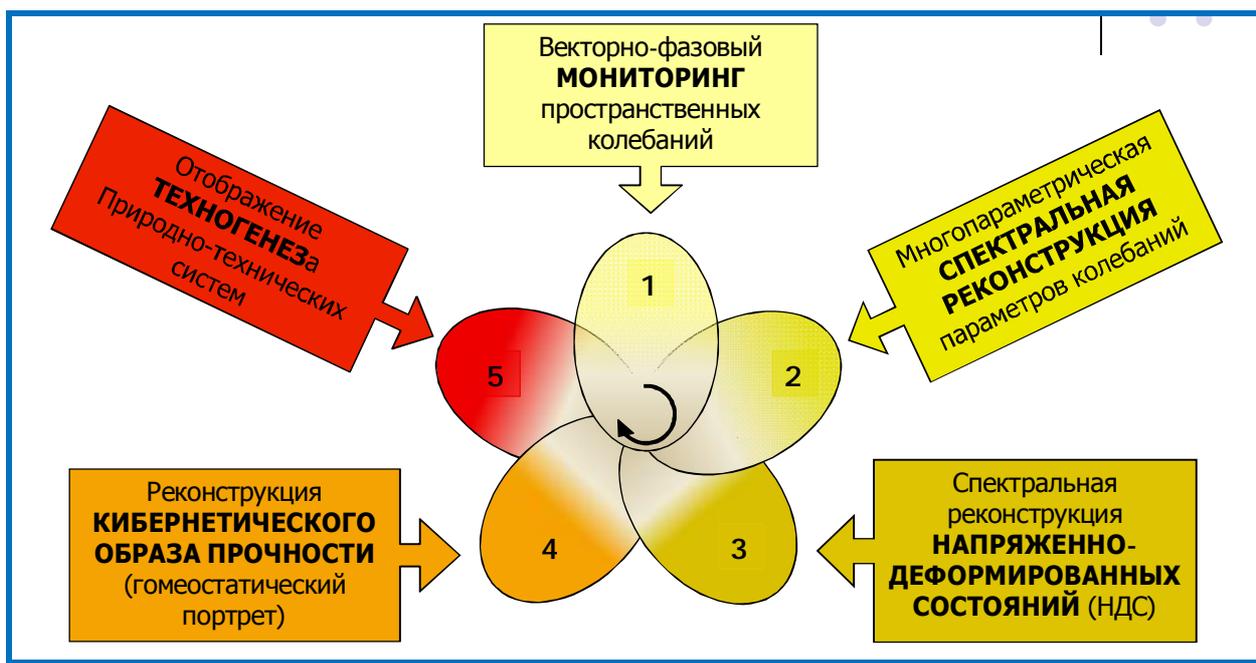


Рис. 2. Компоненты Волновой Информационной Технологии

Пространственный объектный мониторинг в промышленности и строительстве в рамках общегосударственной системы надзора, лицензирования и страхования рисков «необходимо рассматривать как элемент национальной системы безопасности и защиты от экстремальных воздействий путем принятия превентивных мер для защиты от рисков» на всех этапах производства и эксплуатации. Следует заметить, что одной из наиболее эффективных и наименее затратных форм страхования техногенных рисков, обусловленных

стохастичностью и неритмичностью процессов, является **интеллектуальный мониторинг или научное сопровождение** объектов надзора на всех стадиях жизненного цикла. Именно научное сопровождение может обеспечить эффективное применение инновационных технологий безопасности в реальной жизни.

Наиболее перспективным направлением прикладных исследований по данной фундаментальной проблеме являются разработанные отечественными учеными адекватные природному синтезу научно-методические основы пространственно-временного **способа спектральной реконструкции векторно-фазовых гомеостатических параметров волновых физических полей** механических ПТС.

### **Перспектива развития и коммерциализации волновой ИТ**

Значительная часть оборудования, механизмов, конструкций и сооружений инфраструктуры страны исчерпала заложенный при создании ресурс, что накладывает определенные сложности в эксплуатации объектов при организации технологических процессов на необходимом безопасном уровне. Отсутствие, в т.ч. на новых объектах капитального строительства, эффективных, созданных на базе новых высокоинформативных технологий достоверных знаний, систем непрерывного мониторинга и прогноза эксплуатационного состояния повышает их технологическую угрозу для производства и опасности жизнедеятельности персонала. Существующие технические решения в большинстве случаев не дают всей полноты скрытой, динамично изменяющейся в процессе эксплуатации, информации для принятия управленческих решений о порядке (очередности) проведения реконструкции объектов, текущих и капитальных ремонтов с целью снижения аварийности, предотвращения критических ситуаций и техногенных катастроф.

Вместе с тем, **задача адекватной оценки текущего состояния эксплуатационного ресурса прочности и прогноза гомеостаза технологических объектов повышенной опасности, получение и отображение диагностической информации в реальном масштабе времени** постоянно, в том числе и на диспетчерских пунктах автоматизированного управления, является **ключевой для обеспечения глобальной техногенной безопасности ПТС.**

Оценка и прогнозирование экотехнологического развития относится к числу задач не только решение, но даже и адекватная постановка которых имеет далеко не тривиальный характер. Уже сам недостаточно обоснованный подбор аналитических показателей и диагностических параметров, используемых при постановке задачи, может привести к

неадекватному отображению процессов техногенеза, и в результате получаемые на этой основе оценки и прогнозы, при всей видимости их достоверности, будут давать искаженное представление о реальном состоянии объекта. Нетрудно понять, что недостоверная информация приводит к принятию ошибочных управленческих решений и может быть чревата катастрофическими последствиями для региона и даже государства.

Поскольку силовые агрегаты и конструкции статических объектов ПТС подчиняются законам механики и характеризуются напряженно-деформированными состояниями, их физику отражают волновые спектральные пространственно-временные процессы динамического равновесия (гомеостаза) внешних воздействий и собственно ресурсно-прочностных свойств объектов. Использование методов объектной волновой томографии на основе векторно-фазового спектрального анализа для диагностики анизотропно-прочностных параметров деформационных полей позволяют получать достоверные гомеостатические портреты конструкций, своевременно и более тонко оценивать влияния циклических, ударных, динамических, климатических и сейсмических нагрузок на объекты техносферных компонентов ПТС, контролировать и прогнозировать безопасное функционирование объекта на всех этапах жизненного цикла, эффективно управлять техногенными рисками и предотвращать катастрофы.

Учитывая значительную стоимость высокоинформативных измерительно-аналитических инструментальных средств непрерывного мониторинга критически важных объектов высокой техногенной опасности, для решения проблемы в пределах отрасли экономически целесообразно разработать линейку специализированных объектовых и мобильных систем мониторинга в составе отраслевых Комплексных систем безопасности с перспективой информационного сопряжения с Федеральной системой мониторинга (ФСМ КВО и ОГ). Области эффективного применения волновой технологии представлены на рисунке 3.

Выпуск подготовлен по итогам Международной конференции по фундаментальным проблемам устойчивого развития в системе природа – общество – человек (24 и 25 октября 2011 г., проект РФФИ №11-06-06128-г).



Рис. 3. Области применения Волновой Информационной Технологии

После промышленного внедрения на типовых объектах, разработки могут быть использованы в качестве прогнозного интегратора техногенной опасности на более сложных объектах, например, при добыче газа на морских платформах и транспортировке подводными трубопроводами. Результатирующим этапом работы должна стать разработка регламентов экотехнологической безопасности отраслевых предприятий.

В настоящее время из всех известных научно-прикладных способов наиболее информативно задачу техногенеза решают инструментальные средства Волновой информационной технологии, в основе которой признанные наукой и промышленностью новые подходы и решения:

### 1. Векторные приемники механических колебаний;

Сравнительные испытания в ОАО «Газпром» показали, что в стационарных режимах информативность векторных измерений от 1,5 до 4 раз отличается от штатных монотонических датчиков. Отраслевая экспертиза по «Внутрикорпоративным правилам оценки эффективности НИОКР», утвержденная приказом ОАО «Газпром» №70 от 16 августа 2004 года, показала следующие расчетные показатели эффективности инновации в отрасли: интегральный ежегодный эффект применения в 150 из 706 компрессорных цехов оценивается в 90,3 млн. руб. ОАО «Газпром» - патентовладелец изобретения и полезной модели векторных приемников.

## 2. Векторно-фазовый метод мониторинга;

По отзывам ЦНИИС «...наблюдаемое в последние годы стремление к объективной программно-аппаратной реконструкции НДС «по текущему состоянию» представляется актуальным. Метод позволяет воссоздать достоверный вибродинамический волновой деформационный портрет объекта. Адекватность прямых методов оценки текущего эксплуатационного ресурса прочности на порядок выше косвенных методов. Вероятность объективной оценки прогноза техногенной опасности поднимается до 72÷87% ».

## 3. Программно-аппаратный комплекс сбора, обработки и визуализации векторно-фазовых параметров деформационных полей (ПАК-РДП);

Предназначен для оперативной оценки, напряженно-деформированных состояний и ресурсно-прочностных характеристик объекта мониторинга.

Основными результатами внедрения волновой информационной технологии и получения значительного экономического эффекта могут послужить:

- прогнозирование и предотвращение критических ситуаций и техногенных катастроф при эксплуатации объектов ТЭК, исключая тяжелые последствия материального характера. При высокой степени достоверности прогноза на основе векторно-фазового метода мониторинга, по оценке экспертов ФЭС ГД РФ, например, своевременное внедрение ВИТ-технологии на Саяно-Шушенской ГЭС обошлось бы менее 0,05% от цены случившейся техногенной катастрофы.
- сокращение, в среднем, на 7% затрат на выполнение модернизации, ремонтов и наладки механизмов, конструкций и сооружений за счет оптимизации их сроков и объемов, расходования материалов и комплектующих, общего повышения качества выполнения работ, организации подкрепленных объективной информацией претензионных отношений с исполнителями;
- снижение аварийности, предотвращение критических ситуаций и техногенных катастроф путём формирования программы реконструкции объектов (первоочередность наиболее критичных объектов), текущих и капитальных ремонтов с целью продления срока эксплуатации по критерию минимума затрат.

- сокращение сроков ввода объектов капитального строительства и реконструкции при проведении пуско-наладочных работ и сдаче объектов в эксплуатацию (особенно при вводе головных образцов производителей газотранспортного и энергетического оборудования).
- сокращение, в среднем, на 25% затрат на проведение анизотропно-прочностной экспертизы объектов за счет многократного повышения достоверности ВИТ-мониторинга и снижения его трудоемкости.
- сокращение затрат на диагностику «классическими методами» в будущем при реализации в инвестиционных проектах на новых объектах капитального строительства и реконструкции.
- сокращение потерь прибыли вследствие перебоев в технологических процессах добычи и транспорта газа, вызванных аварийными и критическими состояниями механизмов, конструкций и сооружений.

Для отдельных отраслей промышленности другим принципом определения экономического эффекта от применения инструментальных средств ВИТ-технологии может быть интегральный показатель реальной вероятности прогноза и предотвращения аварий и катастроф, оцениваемого с учетом статистики ущербов от критических техногенных ситуаций для данной отрасли.

### Заключение

Очевидно, что принимая ответственные решения в отношении создания, эксплуатации и модернизации объектов природно-технических систем, нужно руководствоваться не сиюминутной рыночной ситуацией, а научно обоснованной мотивацией стратегической перспективы национальных интересов в сфере техногенной безопасности. На реализацию системного универсального подхода в задачах обеспечения техногенной безопасности и ориентирована Волновая информационная технология.

### Литература

1. Большаков, Б.Е., Закон природы, или как работает пространство – время? – М.– Дубна: РАЕН - МУПОЧ, 2002.
2. Гордиенко, А.А., Ильичев, В.И., Захаров, Л.Н. Векторно-фазовые методы в акустике. – М.: Наука, 1989.
3. Жилин, П.А. Векторы и тензоры второго ранга в трехмерном пространстве. – Санкт-Петербург: СПбГПУ, 1992.

4. Левитский, Д., Сперанский, А. Инновационные возможности программно-аппаратной реконструкции деформационных полей для диагностического мониторинга силовых агрегатов газотранспортных систем//Двигатель: вып. №2. – 2008.
5. Малютин, Д., Сперанский, А. Векторная виброметрия – инструмент техногенной безопасности//Нефтегазопромысловый инжиниринг: вып. №3. – 2005.
6. Мейз, Дж. Теория и задачи механики сплошных сред. – М.: ЛКИ, 2007
7. Сперанский, А.А. Волновое фазочувствительное преобразование пространственных деформаций механических полей в задачах обеспечения национальной техногенной безопасности//Интеграл: вып. №12. – 2006.