

### Литература

- 1 Петров Д.Н., Чистякова Т.Б., Чарыков Н.А. Программный комплекс для дистанционного обучения управлению процессами синтеза фуллереновой сажи // Материалы науч.-практ. конф., посвящ. 184-й годовщине образования СПбГТИ(ТУ). – СПб.: СПбГТИ(ТУ), 2012. – С. 152–153.
- 2 Сысун В.И. Фуллерены. Синтез, методы получения /– Петрозаводск. – НОЦ «Плазма», 2002. – 23 с.
- 3 Зуев В.В., Кузнецова Е.А., Чарыков Н.А. Высокопроизводительный комплекс по получению фуллеренов // Электроника. – 2007. – Т.53, № 4. – С.16–31.
- 4 Дозорцев В.М. Компьютерные тренажеры для обучения операторов технологических процессов. – М.: Синтег, 2009. – 372 с.

### **Управление надёжностью и риском в системе принятия экспертных решений**

к.т.н. профессор Бондарь В.А.  
Университет машиностроения  
nauka@msuie.ru

*Аннотация.* В статье рассматриваются вопросы оценки и управления безопасностью в связи с отсутствием в настоящее время системы понятий и показателей по безопасности промышленного объекта. Предлагается действующие показатели качества и оценки безопасности сосредоточить в едином документе, обеспечивающем возможность однозначности толкования результатов при выполнении экспертизы и расчета риска.

*Ключевые слова:* безопасность, надёжность, риск

Практика работ в области безопасности производств свидетельствует о повышенном внимании в последнее время к вопросам оценки и управления безопасностью и, в то же время, о достаточно больших методических трудностях, включая терминологические, которые встречает эксперт в конкретных случаях. Большой вклад в решение безопасности промышленных предприятий внёс вышедший в свет в 1997 г. Федеральный Закон №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов». Несмотря на огромное количество публикаций, монографий, нормативных документов на тему безопасности и связанных с этой важнейшей категорией качества понятий, методов, подходов и новых решений Правительства, например, «РД 03-315-99. Положение о порядке оформления декларации промышленной безопасности и перечне сведений, содержащихся в ней», многие вопросы так и остаются неясными при выполнении практических работ.

В качестве одной, может быть, и не самой главной, но существенной причины таких трудностей можно назвать отсутствие системы понятий и показателей по безопасности промышленного объекта. Нельзя сказать, что этих понятий нет или их недостаточно, но даже беглый просмотр публикаций показывает, что системы нет, происходит смешение понятий или применение их в неполном смысле даже среди специалистов. Кроме того, во многих случаях неопределёнными остаются методы или способы измерения устанавливаемых показателей качества технической системы и, наконец, установления достаточности принимаемых мер для её безопасности.

Объяснение этому факту простое: для оценки безопасности привлекаются документы и соответственно понятия, разработанные специалистами различных научных направлений и целевой ориентировки – квалиметрии, надёжности, охраны труда, социологии, экономики, информатики, чрезвычайных ситуаций и другие. Кроме того, накладывают свой отпечаток отраслевая специфика и сам исследуемый объект. Например, оценка безопасности продукта,

отдельного вида оборудования или инструмента, используемого индивидуально, резко отличается от оценки технологической системы. Это различие проявляется как в методическом плане, так и по степени ответственности. Если сузить задачу до отраслевой (химическая, нефтехимическая и нефтеперерабатывающая промышленность) и предварительно ограничиться чисто техническими аспектами оценки безопасности, то можно получить следующее.

Понятия по обеспечению безопасности имеют ярко выраженный иерархический древовидный характер. Так, понятие «качество технической системы» включает понятие «безопасность», в свою очередь включающее понятие «надёжность», которое также является сложным и может использоваться только одной из своих составляющих и т.д. Это связано с тем, что практика заставляет раскрывать неопределённость этих понятий, находящихся на верхних ступенях древовидной структуры, и замену их на составляющие, которые имеют чёткий смысл, а главное – поддаются измерению.

Но этот вынужденный и единственно правомерный подход не снимает необходимости получения конечной обобщённой оценки, по которой можно судить о безопасности объекта. Для этого необходимо применение приемлемого метода свертки получаемых частных показателей в обобщённый. Это возможно при использовании аддитивности показателей, то есть при наложении определённых ограничений на выбор способа представления каждого частного показателя качества. Одновременно метод свертки не должен приводить к потере информации за счёт занижения роли главных факторов среди других. Это требование в свою очередь приводит к необходимости определения значимости каждого из них, что само по себе требует обоснования.

Как правило, количество частных показателей достаточно велико, поэтому появляется стремление их сократить, что приводит к потере информации об объекте и, соответственно, вызывает ущербность и неполноценность оценки. С другой стороны, получаемый массив частных показателей настолько необозрим, что сокращение его просто технически необходимо. Тогда применяется ранжирование частных показателей и установление границы значимости для того, чтобы получить основания для отбрасывания части из них ввиду несущественного влияния на оценку. Для чего необходим приемлемый способ установления ограничений, который сам по себе требует достаточно веского обоснования.

Кроме того, единый масштаб измерения показателей может натолкнуть на мысль об использовании единого для всех показателей порога значимости. Такой подход может привести к ложным стратегиям, так как характеризующие различные группы свойств показатели могут быть представлены различным числом частных показателей. С увеличением их числа уменьшается величина значимости каждого частного показателя и порога значимости в этом множестве. Тогда порог значимости у мало значимых показателей (одного множества) может оказаться более высоким, чем у более значимых показателей (другого множества), что может привести к тому, что часть из них не будет учтена. В связи с этим порог значимости для показателей различных множеств должен корректироваться с учётом значимости самих показателей.

Лучшим, чем отбрасывание показателей, является перевод части из них в ограничения, когда для ряда частных показателей устанавливается диапазон значений, верхняя или нижняя границы, в пределах которых и независимо от величины оценки техническое решение считается приемлемым и соответствующим требованию. За пределами этих границ требование считается невыполненным.

Сокращение числа частных показателей за счёт перевода их в разряд ограничений вызван не только техническими трудностями оперирования, но и тем, что задача оценки всегда относится к классу многокритериальных, причём часть множества показателей (критериев) противоречива (разнонаправлена). Последнее заключается в том, что улучшение характеристики технической системы оборудования по одному показателю снижает другие характеристики.

Такой чисто технический подход, сформированный с привлечением основных положений квалиметрии, теории технических систем, общей теории систем и других общенаучных направлений, сразу выявляет и острую необходимость установления достаточности или приемлемости оценки по величине.

Здесь существует второй аспект формирования понятий и оценок, соответствующий другой группе специалистов (экономистов, социологов и др.) и отличающийся от чисто технического подхода, но могущий повлиять на предыдущий перечень показателей как по формулировкам и содержанию, так и по методам определения этих показателей.

Ясно, что увеличение безопасности любого технического объекта связано с непроизводительными затратами, величина которых уменьшает часть дохода, предназначенного на цели потребителя. Обычно возникают сомнения, не слишком ли много отводится средств на защитные мероприятия. Поэтому возникает необходимость определить функциональную эффективность организационных мероприятий и технических средств, направленных на предотвращение потерь и затрат при достижении конечного результата. Следовательно, понятие желаемого результата должно быть сформировано, а уровень достижения результата - задан.

Несмотря на то, что определение функциональной эффективности системы защиты по своему содержанию является технической задачей, а определение затрат является предметом экономического анализа, система понятий при определении безопасности должна включать и эти аспекты. Причём это относится не только и не столько к объектам с экономической ответственностью, но и к тем, что отражают социальные задачи, за решение и регулирование которых ответственно государство. Эти аспекты одновременно могут повлиять и на выбор технических параметров. В зависимости от того понятия, которое является измеряемым и признанным, и должна строиться система понятий и оценок по ним.

Потребителю продукции, персоналу, работающему на предприятии, и тем более населению, соседствующему с потенциально опасным производством всё равно, каким способом учёные, специалисты и администрация (в том числе и региональная) определили степень безопасности или сколько стоят защитные мероприятия и тому подобные технико – экономические премудрости. Их интересует только, насколько они могут быть уверены в том, что эта опасность их не коснётся.

Основные и признанные в мире направления сходятся во мнении, что таким количественным показателем или понятием является риск. Наиболее общим определением его считается такое: риск – это отношение числа тех или иных неблагоприятных последствий к их возможному числу за определённый период. В зависимости от задач сформулировано множество различных определений понятия «риск», но все они основаны на использовании вероятностных категорий. Так, величина риска определяется вероятностью наступления нежелательного события, которую с достаточной степенью точности можно оценить из статистических данных. Например, величина фатального летального случая, связанная с дорожно – транспортным происшествием и равная  $10^{-4}$ , означает, что в течение года в автокатастрофах должен погибнуть каждый десятитысячный человек. Величина риска является наиболее общим количественным показателем безопасности технического объекта – установки, технического изделия, устройства, машины, аппарата, прибора. Свойство объекта не допускать ситуаций, опасных для людей и окружающей среды, иногда называют безопасностью.

При выборе нормативных значений величины риска как показателя безопасности оборудования просматривается связь между надёжностью и безопасностью. В этом случае ориентируются на анализ надёжности и статистические данные об уровне аварий в данной отрасли техники, который считается в настоящее время приемлемым. Традиционная техника базируется на категорическом императиве: обеспечить безопасность, не допустить никаких аварий. Как показывает практика, такая концепция неадекватна законам техносферы, так как обеспечить нулевой риск в действующих технологических системах невозможно.

Современная промышленность отвергла концепцию абсолютной безопасности и пришла к концепции приемлемого (допустимого) риска, суть которой в стремлении к такой малой безопасности, которую приемлет общество в данный период времени. Приемлемый риск сочетает в себе технические, экономические, социальные, политические аспекты и представляет собой компромисс между уровнем безопасности и возможностями её достижения. В некоторых странах (например, в Голландии) приемлемые риски установлены в законодательном порядке. Пренебрежимо малым считается индивидуальный риск поражающих воздействий  $10^{-8}$  в год. Маршалл, например, предлагает рассматривать величину риска, равную  $10^{-5}$ , как максимально допустимое значение для всякого риска, в том числе и промышленного. Максимально приемлемым уровнем индивидуального риска считается  $10^{-6}$  в год.

Концепция приемлемого риска в нашей стране ещё только востребуется. Некоторые специалисты подвергают её критике, усматривая в ней антигуманный подход к проблеме безопасности. На самом деле приемлемые риски на 2–3 порядка строже фактических. Следовательно, введение приемлемых рисков в законодательные и нормативные акты прямо направлено на защиту человека от поражающих воздействий.

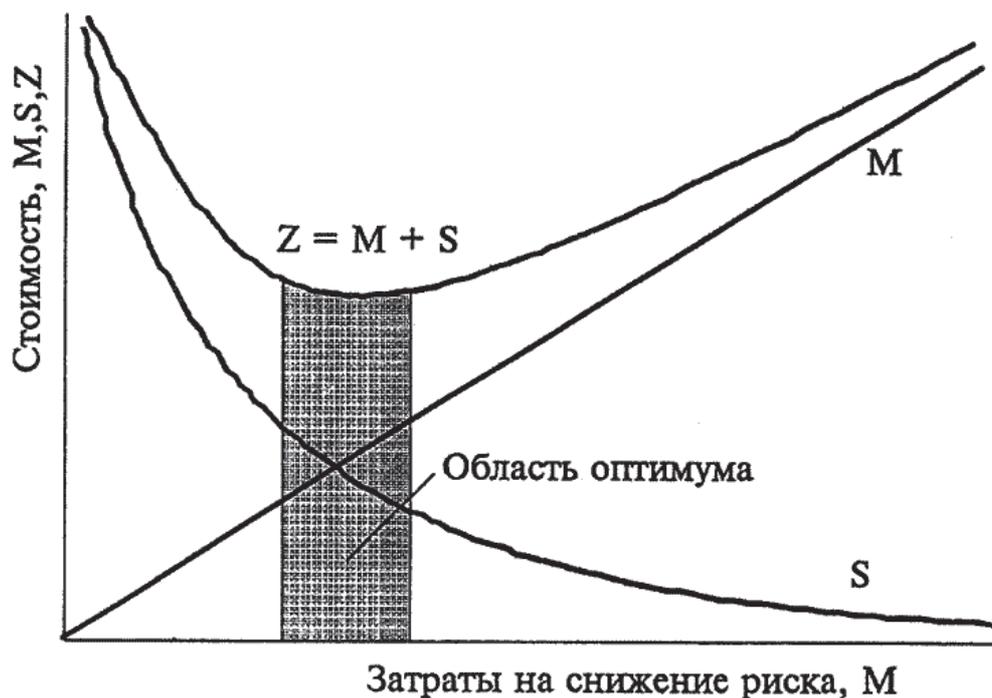
Риск можно характеризовать как математическое ожидание ущерба определенного рода в течение определенного периода времени:

$$R = wE,$$

где:  $R$  – риск, ущерб/год;

$w$  – частота возникновения аварийных ситуаций, авария/год;

$E$  – количественная характеристика ущерба (смерть людей, выведение площадей из оборота, разрушение зданий и конструкций и т.п.)



**Рисунок 1. Зависимость суммарных затрат (Z) на уменьшение риска: S – экономический эквивалент ущерба, M – затраты на снижение риска**

В зависимости от целевой функции интегральный экономический ущерб (S) от потенциальных аварий на технологических объектах системы может быть описан как сумма рисков на отдельных объектах:

$$S = \sum_{i=1}^N k_i R_i,$$

где  $k_i$  – коэффициент экономического соответствия натурального ущерба;

$R_i$  – риск последствий для  $i$ -го объекта.

Рассматривая возможные альтернативные варианты снижения риска с экономической точки зрения, следует оценивать стоимость каждого из них ( $M$ ). Критерий выбора альтернативы можно определить как минимум суммарной стоимости ( $Z$ ) затрат на снижение риска экономических последствий аварий, которая определяется:

$$Z = M + S.$$

В общем случае с увеличением затрат на снижение риска функция ( $S$ ) уменьшается, как это показано на рисунке 1. Поэтому, исходя из принципа равновесия в управлении риском, в области оптимальных затрат выполняется равенство

$$M \approx S.$$

Поскольку зависимость  $S(M)$  для различных путей уменьшения риска различается значительно, то при известном значении риска предпочтение отдается варианту, для которого значение функции ( $Z$ ) минимально по сравнению с другими.

Опираясь на понятие «риск», различают индивидуальный и социальный риски. Индивидуальный риск характеризует опасность поражающего воздействия определённого вида для отдельного индивидуума. Социальный риск – это зависимость между частотой возникновения событий, состоящих в поражении определённого числа людей, подвергаемых поражающим воздействиям определённого вида при реализации определённых опасностей, от этого числа людей.

Согласно «Временным требованиям и критериям оценки риска при нормальной эксплуатации и авариях на промышленных объектах» приняты следующие нормативные значения индивидуального риска в расчёте на человека в год:

Персонал предприятий	$10^{-5}$
Население, находящееся в санитарно-защитной зоне	$10^{-6}$
Население региона	$10^{-6}$

В Федеральном Законе «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (№123-ФЗ) устанавливается величина допустимого индивидуального риска  $R \leq 10^{-6}$  1/год, социального –  $R \leq 10^{-7}$  1/год, а эксплуатация технологических процессов считается недопустимой при увеличении индивидуального риска до одной десятитысячной в год. При этом должны быть предусмотрены меры по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска.

Сравнение риска и выгод сопряжено со многими трудностями, так как отсутствует общая мера этих показателей. Страховые компании оценивают вероятность риска промышленных предприятий в значительной степени на основе опыта эксплуатации технологического оборудования, поскольку для современных технологий необходимая статистика аварий отсутствует и может быть заменена лишь расчётно – технологическими исследованиями. Умножая меру финансовых последствий на частоту возникновения подобных событий, страховые компании могут оценить размер ожидаемых ежегодных выплат, а также размер страховой прибыли.

Согласно Федеральному Закону от 24.07.1998 №125-ФЗ (ред. от 03.12.2011) «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» размер страхового тарифа зависит от таких факторов, как принадлежность к отрасли; материальные последствия травматизма; профессиональные заболевания и инвалидность; отнесение предприятия к классу профессионального риска, устанавливаемого по результатам сертификации предприятия на соответствие требованиям охраны труда.

Многие специалисты предлагают ввести финансовую меру человеческой жизни. Такой подход вызывает возражение среди определённого круга лиц, которые утверждают, что человеческая жизнь свята и финансовые сделки недопустимы. Однако на практике с неизбежностью возникает необходимость в такой оценке именно в целях безопасности людей, если

вопрос ставится так, сколько надо израсходовать средств, чтобы спасти человеческую жизнь.

Правомерность введения категории «цена человеческой жизни» и методы оптимизации затрат на обеспечение безопасности уже подробно разработаны. По зарубежным исследованиям (данные на 1986 год) человеческая жизнь оценивается от 650 тысяч до 7 млн. долларов США.

Ресурсы повышения эксплуатационной безопасности сравнительно с ожидаемыми экономическими и социальными выгодами ограничены. Применение методов анализа квантифицированной степени риска (введение числовых мер) может оказать помощь в промышленности по тем направлениям, где они будут наиболее эффективны. Однако эта цель не будет достигнута, если данные методы распространять за грань правдоподобия результатов, получая при этом нереально низкие значения вероятностей.

Один из элементов комплекса мероприятий по обеспечению безопасности, направленных на повышение уровня безопасности проектируемых и действующих крупных промышленных объектов, ответственности предприятий – это декларирование безопасности промышленных объектов. Декларация обязательна только для особо опасных объектов, отнесение к которым основывается на величине пороговых количеств потенциально опасных веществ. Раздел декларации «Анализ безопасности промышленного объекта» включает в себя важный пункт – «анализ опасностей и риска»:

- сведения об известных авариях;
- анализ условий возникновения и развития аварий;
- оценку риска аварий и чрезвычайных ситуаций;
- блок–схему анализа вероятных сценариев возникновения и развития аварий.

Процедура декларирования безопасности подкреплена нормативной базой, устанавливающей порядок разработки декларации безопасности объекта РФ, но не устанавливает приемлемый уровень риска и способ его расчёта.

Обзор ряда исследований по анализу степени риска в перерабатывающих отраслях промышленности подтверждает, что на технологической установке для непрерывного процесса производства, сконструированной в соответствии с надлежащими проектно – конструкторскими стандартами и должным образом эксплуатируемой, возникновение крупных нежелательных событий чаще 1 раза в 10 000 лет (частота  $1 \cdot 10^{-4}$  в год) маловероятно.

Если принять, что величина приемлемого риска является количественной мерой безопасности, то следует вернуться к технике её определения и уточнения параметров оценок. Анализ степени риска в том виде, в каком он применяется для оценки опасностей, связанных с эксплуатацией оборудования, кратко можно свести к вопросам:

- какие неполадки могут возникнуть;
- каковы последствия этих неполадок;
- какова частота неполадок.

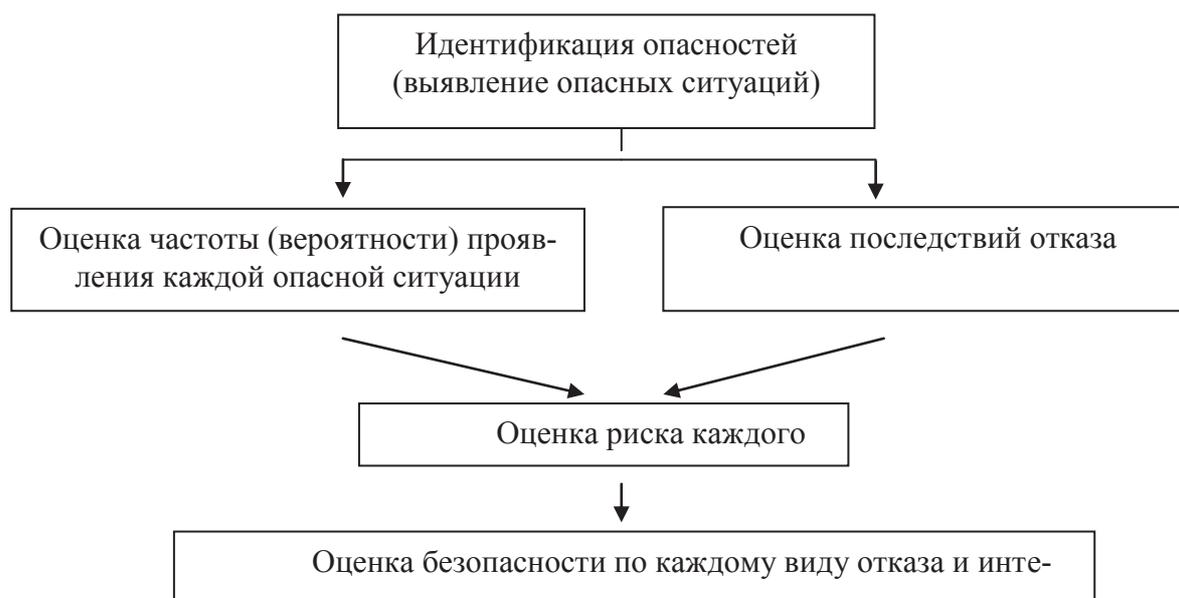
Результаты анализа используют для вынесения суждения относительно допустимого риска и принятия решений (рис.2) . Исходя из определения понятия риска, основанного на вероятных категориях, анализ степени риска технологического оборудования следовало бы проводить, используя инженерный, опирающийся на статистические данные расчёт частот, вероятностный анализ безопасности, построение деревьев опасности. Наиболее близким к такой постановке считается использование понятия надёжности. Надёжность наряду с безопасностью иногда рассматривают как показатель качества объекта (оборудования, устройства и т.п.). Часто безопасность оборудования понимается как надёжность по отношению к жизни и здоровью обслуживающего персонала. Требования безопасности часто выступают в качестве ограничений на ресурс и срок службы оборудования (а также на целый ряд других показателей надёжности).

В России количественный метод оценки риска с привлечением вероятностных подходов анализа в наиболее развитом виде применяется в атомной энергетике и известен как ВАБ

– вероятностный анализ безопасности. Метод рассматривает все возможные случаи или аварии при какой-либо деятельности и оценивает вероятность (частоту) каждого такого события и связанные с ними последствия. Классическая схема количественной оценки рисков представлена на рисунке 2.

Надёжность – свойство объекта сохранять способность выполнять заданные функции. Понятие включает такие составляющие, как безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость свойств объекта. Считается, что, имея многочисленные данные по отказам стандартных элементов технологического оборудования, можно надёжность представить как величину, обратную риску.

Основным источником суждения о надёжности оборудования являются сведения об отказах, полученных в процессе технической эксплуатации. Однако статистика отказов – это лишь обратная связь, дающая представление о желаемых показателях надёжности. Поэтому не только статистические данные, но и расчёт, и прогнозирование возможного поведения оборудования в процессе его эксплуатации являются основой для управления надёжностью и обеспечения её требуемого уровня. В настоящее время для достижения необходимого уровня надёжности всё более актуальной становится проблема прогнозирования ресурса на стадии эксплуатации, поскольку в отличие от стадии проектирования она выполняется для конкретно существующего оборудования. Обращает на себя внимание факт, что в принципе справедливые суждения и рассуждения часто вносят путаницу при использовании понятий «опасность», «надёжность», «риск». Роднит их вероятностная основа оценок.



**Рисунок 2. Схема количественной оценки рисков**

Полезно вспомнить, что и статистические, и вероятностные методы применимы только при достаточном объёме анализируемой выборки данных.

Понятно стремление обезопасить производство за счёт исключения отказов. Не каждый отказ приводит к аварии, но большинство из них создаёт нештатный режим работы обслуживаемого персонала, необходимость его вмешательства и принятия решений и мер, которые могут быть не предусмотрены документацией. Это, в свою очередь, может привести к ошибкам и усугублению опасной ситуации. Следует признать, что эта категория качества оборудования наиболее неопределённая и для оценки, и для её обеспечения. В зависимости от последствий отказа для каждого вида оборудования должны устанавливаться допустимые значения вероятности безотказной работы.

Запас надёжности определяется как отношение значения параметра, при котором

наступит отказ, к его экстремальной величине за определённый период времени или к такому значению параметра, при котором с определённой вероятностью параметр не выйдет за данные пределы. Причины потери оборудованием работоспособности различны, ряд процессов может привести к отказам, не связанным с поломкой машины, но при которых характеристики её ухудшаются и выходят за допустимые пределы (параметрический отказ). Кроме постепенных (известных) отказов в результате сочетания неблагоприятных факторов и случайных внешних воздействий может наступить внезапный отказ. Вероятность его возникновения в течение заданного периода времени не зависит от длительности предыдущей работы. Однако внезапные отказы, как и постепенные, имеют технические причины. В основе потери работоспособности лежит физика отказов. Между степенью повреждения и выходными параметрами существует определённая связь, вид которой зависит от структуры и принципа действия узлов и, как правило, не известен.

Установление практического норматива по надёжности усложняется тем, что обычно задаются допустимые пределы выходных параметров для оборудования в целом, но для обеспечения этих показателей необходимо задать допустимые значения для узлов и деталей. При этом эксплуатационный параметр машины должен быть для детали заменён на параметры её повреждения или допуска (отбраковочные параметры), которые могут быть связаны между собой по – разному. Нормативно – техническая документация должна устанавливать величину предельных состояний и степень повреждения узлов.

Не менее сложна задача назначения надёжности отдельных видов оборудования, если задана надёжность системы. Практика далека от теоретических рекомендаций. Скептическое отношение к предложениям по использованию справочных данных по надёжности основано на очень грубой точности данных, полученных на других объектах. Так, справочные данные значений нижнего и верхнего пределов интенсивности отказов механических и других элементов машин отличаются на 1 – 3 порядка.

Предложения по использованию теории неравноточных наблюдений также не прибавляют уверенности в правильности расчётов, поскольку могут быть использованы только для обработки результатов эксплуатации машин определённого класса.

Учитывая, что оборудование для химико – технологических производств выпускается малыми сериями и в ряде случаев (например, крупногабаритное колонное, резервуарное и другое подобное оборудование) не только не проходит стендовых испытаний, а часто даже собирается на месте эксплуатации, задача по установлению показателя надёжности является одной из самых сложных. Для этого используются рекомендации норм и стандартов по методам расчёта, конструктивному исполнению и режимам эксплуатации, обеспечивающим надёжность оборудования.

Но стандарты и нормы устанавливают общие положения и значения характеристик конструктивных элементов. Конкретные условия эксплуатации часто могут резко изменить эти справочные (табличные) характеристики и надёжность комплектующих изделий, узла или оборудования в целом. Причём эти изменения, как правило, происходят в сторону ухудшения характеристик. Тогда в основе анализа надёжности оборудования должны лежать оценки исходя из условий эксплуатации узлов и физики отказов, принимая, что большинство нагрузок, вызывающих отказы, детерминированы.

Другими словами, при экспертизе практически приходится возвращаться к детерминированному подходу, тем более что действующие нормы и правила основаны на формулировании конкретных требований, причём лучше всего, если оценка является бинарной. Кроме того, на действующих предприятиях необходимо учитывать фактическое техническое состояние оборудования, особенно отработавшего установленный ресурс, но ещё находящегося в эксплуатации.

Следовательно, существует разрыв возможностей одновременного применения понятия статистического риска и детерминированных положений норм и правил. Этот вывод не нов,

поэтому ряд нормативных документов (СП 12.13130.2009, ГОСТ Р 12.3.047-98 «Пожарная безопасность технологических процессов») предусматривают разработку возможных сценариев развития аварий и расчёт риска (индивидуального, социального, объектов с экономической ответственностью), исходя из вероятности реализации сценария. При этом устанавливается наличие и величина поражающего фактора на различных этапах развития аварии, вероятность срабатывания и эффективности защиты, вероятность эвакуации людей и т.п.

Методики приведены для однотипных случаев, например, зданий, сооружений или наружных установок с одинаковой категорией опасности, функционального назначения и с близкими основными параметрами. В методиках техническая надёжность систем (например, предохранительной арматуры, систем орошения и т.п.) задаётся ( $P=0,95$  – при наличии,  $P=0$  – при отсутствии). То же назначается для вероятности успеха выполнения задачи подразделениями по подавлению аварии, вызова этих подразделений и т.п. Предложены и таблицы статистических вероятностей для случаев, когда нет данных, необходимых для расчёта.

Можно по-разному относиться к этим методикам (они, безусловно, полезны хотя бы для привлечения внимания к оценке безопасности), но определяемая по ним величина индивидуального, социального и экономического риска устанавливается исходя из известной вероятности аварии, но ведь при экспертизе эту вероятность и нужно определить. Статистические и средние данные не отражают колебания качества системы, её технический уровень, деградацию в процессе эксплуатации, квалификацию и дисциплину персонала и т.п. Следовательно, для выполнения экспертизы и расчёта риска необходимо вводить параметры точности оценок, а представление результатов давать в виде диапазона, который даёт ориентировку по степени опасности и не более того.

Действующие показатели качества и оценки безопасности (систему понятий, пригодных для экспертизы) целесообразно сосредоточить в едином, хотя бы в отраслевом, документе по типу ISO 8402, где введённые показатели должны удовлетворять следующим условиям:

- частные показатели качества при количественной оценке устанавливаются как мера достижений требований;
- трактовка каждого показателя различными специалистами должна быть однозначной;
- показатель должен отражать характерное свойство и иметь ясный физический, технический или иной, связанный с работой оборудования смысл;
- все показатели должны быть чётко различимы;
- каждый показатель может изменяться в определённом интервале, для чего указывается область его существования;
- должен существовать способ расчёта или иного определения значения показателя с точностью, достаточной для того, чтобы отличить приемлемое техническое решение от неприемлемого;
- оценка по каждому показателю должна влиять на общую оценку свойства объекта;
- перечень показателей должен быть полным, т.е. добавление новых не должно влиять на результат оценки, а отбрасывание выбранных – её изменять.

Выбор шкал показателей качества должен обеспечить возможность однозначности толкования результатов при заданном пороге чувствительности.

#### Литература

1. Бондарь В.А., Попов Ю.П. Риск, надёжность и безопасность. Система понятий и обозначений. Безопасность труда в промышленности, 1997, №10. – С.39-42.
2. ГОСТ Р ИСО 31000-2019 – Менеджмент риска. Принципы и руководство.
3. Шубин В.С. Прикладная надёжность химического оборудования: учебное пособие. – Калуга: издательство Н. Бочкаревой, 2002. –С. 296.
4. Маршал В. Основные опасности химических производств: Пер. с англ./ Под ред. Б.Б. Чайванова и А.Н. Черноплекова. М.: Мир, 1989. – С. 671.

5. Федеральный закон Российской Федерации №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» - М.: 2008.- С. 103
6. Сафонов В.С., Олишария Г.Э., Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. М.: АОЗТ «Оолита», 1996.

### **Гидрофобизация внутриполостных поверхностей фотобиореакторов под длительное выращивание клеточной массы микроводорослей**

д.т.н. проф. Бирюков В.В., Петрищева О.А., к.т.н. Мальцевская Н.В., Баранов Е.Р.,  
Коваленко Н.В.

Университет машиностроения  
*birval@rambler.ru*

*Аннотация.* Проведены эксперименты по культивированию микроводорослей *Chlorella sp.* и *Scenedesmus quadricauda* на колбах, которые показали, что для борьбы с обрастанием стеклянных поверхностей из коммерчески доступных гидрофобизирующих рецептур наиболее эффективно использование диметилдихлорсилана, в виде 5% раствора в изопропанол. Используемая процедура обработки емкостей достаточно проста и включает в себя кратковременное ополаскивание указанным препаратом и высушивание под вакуумом при температуре 100-110 °С.

*Ключевые слова:* фотобиосинтез, культивирование микроорганизмов, гидрофобизация, фотобиореакторы

Для поддержания высокой рентабельности промышленного фотобиосинтеза важно минимизировать издержки, связанные с адгезией клеток выращиваемой культуры на стеклянных поверхностях работающей аппаратуры. Адгезия клеток приводит к снижению освещенности внутриполостного пространства и ухудшению теплообменных характеристик процесса; может оказаться причиной недостаточно полного извлечения наработанного клеточного продукта из аппарата и сделать необходимой завершающую (скорее всего, достаточно трудоёмкую) очистку стеклянных поверхностей от образовавшихся биоорганических наслоений. В то же время не менее важно, чтобы предпринятая гидрофобизация аппаратуры не повредила проводимому культивированию – в частности, через попадание в культуральную среду нежелательных соединений.

В практике промышленной гидрофобизации широкое распространение получили кремнийорганические агенты, прежде всего – алкилсиланы. Обусловлено это тем, что молекулы последних, имея в центре четырёхвалентный кремний, через его пространственное окружение обладают двойственной природой – с одной стороны гидрофобной, в химическом же отношении при этом инертной, с другой стороны – гидрофильной, активной в химическом плане, способной при определенных условиях обеспечить жесткое – на грани хемосорбции – взаимодействие силанов с поверхностью стекла. Так, в случае метилхлорсиланов [1] активными элементами являются ковалентно связанные с кремнием атомы хлора, тогда как метильные остатки - в случае состоявшейся сцепки молекул силана с поверхностью стекла - работают уже как структурные элементы гидрофобного квази-покрытия. При этом, чем больше атомов хлора в молекуле алкилсилана, тем гидрофобное покрытие окажется более устойчивым [1]. В то же время, если все четыре заместителя являются именно органическими радикалами (как, скажем, в случае тетраметилсилана), принимается, что такой сугубо гидрофобный силан к жесткой адгезии именно к стеклу не способен.