

## Защитные барьеры: некоторые теоретические представления

*Рассмотрена общая методология математического описания функционирования защитных барьеров заданного целевого назначения на основе целевых функций или функций качества, описывающих состояния собственно защитного барьера и окружающей его среды.*

*Ключевые слова:* защитные барьеры, целевые функции (функции качества).

**В. М. Васильченко, Я. А. Жигалов, Г. О. Сандул**

### Захисні бар'єри: деякі теоретичні уявлення

*Розглянуто загальну методологію математичного опису функціонування захисних бар'єрів заданого цільового призначення на основі цільових функцій або функцій якості, що описують стан власне захисного бар'єру і навколишнього середовища.*

*Ключові слова:* захисні бар'єри, цільові функції (функції якості).

Совершенно очевидно, что создание защитных барьеров (проектные решения, процесс воплощения их в строительные или другие формы при строительстве или изготовлении, алгоритмизация функционирования и т. д.) в рамках системы общей безопасности [1] радиационно-опасного объекта (РОО) должно быть основано на определенной научной базе, достойной преемственности и дальнейшего развития.

В настоящее время стратегическая проблема состоит в том, чтобы достичь определенного уровня понимания необходимости развития комплекса научных представлений в области создания защитных барьеров (ЗБ), с целью трансформирования этого понимания в соответствующие действия, имеющие, в общем случае, две конкретные точки приложения: проектирование ЗБ и их эксплуатация. И то, и другое практически невозможно, если отсутствуют, во-первых, четкая формулировка целевого назначения ЗБ и, во-вторых, необходимая и достаточная информация как о собственно ЗБ, так и об условиях его функционирования.

Таким образом, обсуждая понятие «защитный барьер» необходимо четко знать целевое назначение данного ЗБ и меру его защитных свойств (качество ЗБ), т. е. иметь достоверную необходимую и достаточную информацию о том, «что» («кого») от «чего» («кого») защищает данный ЗБ, в какой степени и в каких ситуациях (при каких условиях).

Сложность интерпретации понятия «защитный барьер» состоит еще и в том, что защищаемый объект, объект, от которого необходима защита, а также собственно защитный барьер взаимосвязаны и представляют собой единую систему (одно целое). При этом может возникнуть ситуация, когда, образно говоря, «охотник» и «жертва» могут поменяться местами. Например, с одной стороны, окружающую среду (ОС) необходимо защищать от негативного влияния (реального или потенциального) радиоактивных материалов (РМ) и (или) их ионизирующих излучений, находящихся на РОО, а с другой — РОО нужно защищать от негативного влияния некоторых процессов в окружающей среде (природных и антропогенных). Кроме того, могут сложиться и такие ситуации, когда необходимо одновременно защищать, например, ОС от РОО и РОО от процессов в ОС, как при аварии на АЭС «Фукусима» в результате стихийного бедствия.

Строго говоря, под понятием «окружающая среда» необходимо понимать все пространство (обозначим его как ОС), объекты в нем и происходящие по обе стороны от ЗБ процессы. С одной стороны ЗБ находится природная окружающая среда, включая человека со всеми его аспектами жизнедеятельности, которые он использует для организации своей жизни в природной среде (обозначим ее как ОС), с другой — окружающая среда, в которой расположен производственный комплекс (РОО), включая РМ, и обслуживающий его персонал (обозначим ее как  $\tilde{ОС}$ ). Отдавая себе отчет в упрощении подхода, будем считать, что воздействие  $\tilde{ОС}$  на ЗБ сводится к воздействию на него РМ.

В любой ситуации ЗБ испытывает на себе существенное влияние со стороны ОС. В этой связи необходимо различать «собственные» характеристики ЗБ (проектные решения и т. д.) и его реальные характеристики, которые сформировались под влиянием условий ОС, включая условия эксплуатации ЗБ.

Таким образом, проектируя ЗБ, следует принимать во внимание все нюансы взаимного влияния сторон, разделяемых данным ЗБ, понимая, что «тонкая подгонка»

проектных решений (характеристик) ЗБ к реальным условиям его эксплуатации практически невозможна. Однако в большинстве случаев нельзя учесть абсолютно все в проектных решениях, тем более что некоторые ЗБ рассчитываются на длительный (сотни лет) срок эксплуатации.

Математическое представление (описание) системы, включающей в себя рассмотренную выше триаду с некоторой вероятностью изменения «знака» взаимного влияния, представляет собой довольно сложную задачу, требующую поэтапного решения на основе принципа редукционизма. При этом также отметим, что обсуждаемая система как единое целое обладает еще и своими собственными скрытыми параметрами, существенно осложняющими решение данной задачи (класс задач, решать которые необходимо в рамках некорректно поставленных условий). Такая система требует постоянного изучения.

Анализ научной литературы, изданной на протяжении последних 30 лет<sup>1</sup>, говорит о том, что исследований в рамках приведенных выше рассуждений ранее не проводилось, а база нормативно-правовых документов практически не содержит требований к созданию ЗБ, стимулирующих данные исследования.

Цель настоящей работы состоит в том, чтобы разработать алгоритм действия — методологию целевого представления (математическое описание) функционирования ЗБ заданного целевого назначения.

Решение данной задачи (точнее — целого комплекса взаимосвязанных задач) лежит в направлении дифференциации ее (их) на ряд отдельных (частных) задач. Решение частных задач определит структуру свойств (качество) ОС и ее влияние на ЗБ, определив, в свою очередь, реальные защитные свойства ЗБ. При этом решение частных задач существенно зависит от постановки (формулировки) самой задачи и полноты необходимых данных.

Существуют три составляющие в решении данных задач:

1) разработка схемы построения общей архитектуры функций качества (логическая конструкция и математическое представление ее в терминах целевых функций или функций качества, перечень групп показателей качества), описывающих состояния собственно ЗБ и ОС в виде простых сумм;

2) разработка необходимого и достаточного перечня единичных показателей качества, соответствующих изменяемым группам показателей;

3) оптимизация конструирования интегральной функции качества, адаптация ее для конкретного ЗБ и к условиям его функционирования.

Дебютная часть (п. 1) решения общей задачи (с применением в качестве инструментария целевых функций или функций качества) как раз и представляет собой содержание данной работы.

Степень выполнения ЗБ своих защитных функций в соответствии со своим целевым назначением может условно изменяться со временем двояко:

медленно (относительно длительный процесс), например естественное или стимулированное ОС старение;

быстро (быстрые процессы), например действие каких-либо прогнозируемых или непредвиденных возмущений.

Быстрые и медленные процессы могут быть как стохастическими (беспороговыми), так и нестохастическими (имеющими некоторые пороговые значения, после которых процесс может принять лавинообразный характер), что существенно осложняет прогнозирование развития данного процесса. Сложность состоит в том, чтобы определить, является ли данный процесс «пороговым» и каковы количественные характеристики данного «порога».

Как правило, в каждой системе быстрые и медленные, стохастические и нестохастические процессы дифференцированы и взаимосвязаны. Они могут происходить одновременно и развиваться по различным сценариям, но в любом случае приводя к нелинейным взаимодействиям между характеристиками ЗБ, когда «все» начинает зависеть от «всего». Прогнозирование выполнения ЗБ своих функций с учетом вышеупомянутых процессов — задача, которую еще предстоит решить.

Для изучения каких-либо изменений свойств ЗБ необходимо ввести понятие «состояние ЗБ», которое характеризуется функцией состояния ЗБ<sup>2</sup>:

$$F^S(t) = \sum_i^n A_i(t), S_0^{3B}(t), t, \quad (1)$$

где  $A_i(t)$  — фактор (возмущение), влияющий на ЗБ и способный изменить его состояние;

$$S_0^{3B}(t) = S_0^{3B} \left[ \sum_i^n \alpha_i \xi_i(t), \sum_{\mu}^m \beta_{\mu} \phi_{\mu}(t), \sum_j^k \gamma_j \lambda_j(t) \right] — инте-$$

гральное устойчивое<sup>3</sup> исходное состояние ЗБ при  $t = t_0$ , которое формируется суммой характеристик  $\overline{ОС}$

$$[S_0^{\overline{ОС}} = \sum_i^n \alpha_i \xi_i(t)], \text{ «собственных» характеристик ЗБ } [S_0^{\tilde{3B}} = \sum_{\mu}^m \beta_{\mu} \phi_{\mu}(t)] \text{ и характеристик РМ, от которых ведется защита } \overline{ОС} = [S_0^{PM} = \sum_j^k \gamma_j \lambda_j(t)];$$

$\alpha, \beta, \gamma$  — весовые множители (коэффициенты), определяющие вклад каждой характеристики в формирование соответствующего общего состояния;

$t$  — время (реальный масштаб), в течение которого ЗБ выполняет свои функции.

Число аргументов  $F^S(t)$  и  $S_0^{3B}(t)$  может быть увеличено, например, за счет какой-либо детализации.

В общем случае функция состояния ЗБ является нелинейной, однако на макроуровне (в первом приближении), считая, что действия возмущающих факторов могут быстро изменять состояния ЗБ по сравнению с его естественными изменениями со временем, например старением, можно рассматривать линейное представление данной функции.

<sup>2</sup> Если аргументы функции также зависят от времени, данное состояние определяется соответствующим функционалом.

<sup>3</sup> Устойчивое настолько, чтобы можно было зафиксировать его характеристики при  $t = t_0$ .

<sup>1</sup> В открытой печати данных об особенностях создания ЗБ чрезвычайно мало.

Функция состояния ЗБ, как правило, имеет критические и предельно допустимые значения, соответствующие критическим и предельно допустимым его состояниям, соответственно:

$$F_K^S(t) = \left( \sum_i^n A_i^K(t), S_0^{ЗБ}(t), t \right),$$

$$F_{ПД}^S(t) = \left( \sum_i^n A_i^{ПД}(t), S_0^{ЗБ}(t), t \right),$$

где  $A_i^K$  и  $A_i^{ПД}$  — критические и предельно допустимые возмущения для конкретного ЗБ. В общем случае критические и предельно допустимые состояния ЗБ имеют два множества значений — максимальных и минимальных, между которыми и лежит интервал акцентированных значений. Критические и предельно допустимые значения состояния ЗБ должны быть установлены в результате вероятностного анализа влияния определенных возмущений на объект и соответствующих испытаний. Отметим также, что результат влияния различных факторов возмущения на ЗБ может существенно зависеть еще и от последовательности действия этих факторов, т. е. при их действии закон аддитивности слагаемых (имеются в виду факторы природного и антропогенного воздействия) чаще всего не применим. Для ЗБ, к функционированию которых могут быть применены корректирующие и предупреждающие действия, необходимо составить перечень вероятных факторов возмущения и разработать соответствующие контрмероприятия (упреждающие действия).

Отметим также, что в некоторых (особых) случаях  $F_K^S(t) = F_{ПД}^S(t)$ . Для каждого конкретного ЗБ необходимы соответствующие исследования.

При определении критических и предельно допустимых значений воздействия на любой объект, в том числе и на ЗБ, применяют экологический (ориентация на всю экосистему), санитарно-гигиенический (допустимые воздействия на человеческий организм) и экономический<sup>4</sup> подходы. Эти подходы различны, хотя и очень тесно (нелинейно) связаны между собой, дополняя друг друга [2]. Кроме того, для каждого объекта, в том числе и для ЗБ, документ, определяющий проектные пределы и условия эксплуатации, который находит свое отражение в проектной документации.

Разность состояний ЗБ: критического или предельно допустимого и его исходного состояния  $[S_K(t) - S_0]$  и  $[S_{ПД} - S_0]$ , заданных соответствующими функциями состояния, можно характеризовать как определенный «резерв» ЗБ. В принципе, можно решать комплекс организационно-технических задач, направленных на сохранение определенного (установленного) резерва ЗБ (задача на устойчивости заданной разности состояний).

Следует также отметить, что мера резерва ЗБ (важна методика его определения!) и методы управления им (макропоказатели) должны быть заложены на этапе его проектирования, а корректирующие и предупреждающие действия относятся, в основном, к этапу эксплуатации ЗБ.

<sup>4</sup> Экономический аспект развития ядерной энергетики в настоящее время, к сожалению, представляет собой область, закрытую для обсуждения.

Отсюда можно сделать следующий вывод: каждый ЗБ должен иметь свой «паспорт» (сертификат), где должны быть указаны все его проектные характеристики, критические и предельно допустимые значения функционирования в определенных четко установленных условиях, которые могут и не совпадать с реальными условиями. При этом, зная еще и условия его реальной эксплуатации, можно оценить меру реальных защитных функций данного ЗБ и прогнозировать возможность выполнения им этих функций в течение определенного времени.

По своему характеру факторы возмущения ЗБ могут быть как положительными (намеренные антропогенные воздействия, например проведение ремонтно-восстановительных работ), так и отрицательными. Кроме того, факторы возмущения могут быть как внешними по отношению ЗБ (реакция ОС), так и внутренними, присущими самому ЗБ (изменение свойств или характеристик ЗБ), а также могут носить обратимый или необратимый характер.

Для полноты изложения приведем определение понятия «качество», которое будет использоваться в дальнейшем.

*Качество любой системы (процесса, события) — философская категория: совокупность свойств системы (в математическом смысле — полное множество их), характеризующая ее существенную определенность, в силу которой система является таковой, а не иной, и данная в частных приложениях, когда вся совокупность свойств системы или только ее часть удовлетворяют установленным требованиям и критериям [3, 4].*

В приведенном определении довольно много различных аспектов, но главное, на что следует обратить внимание, качество системы — это определенная «совокупность свойств системы», которая удовлетворяет «установленным требованиям и критериям». Другими словами, говоря о качестве какой-либо системы, обязательно нужно сформулировать соответствующие требования и критерии (количественное выражение требований) к качеству данной системы, которые бы нас удовлетворяли.

В соответствии с вышесказанным, постулируем утверждение: совокупность защитных свойств (качество) любого ЗБ в произвольный момент времени определяется качеством состояний следующих составляющих:

1) непосредственно самого ЗБ («собственные» характеристики, включая процесс обслуживания);

2) окружающей среды ОС;

3) РМ, негативное влияние которых на  $\overline{ОС}$  ограничивает (с заданной мерой защитной функции) данный ЗБ.

При этом процесс обслуживания данного ЗБ, ОС и РМ определяют, в основном, те реальные условия, в которых данный ЗБ выполняет свои функции.

Любой ЗБ следует рассматривать как некоторую систему, обладающую определенным целевым назначением, т. е. «целевую» систему, удовлетворяющую определенным требованиям. Функцию состояния ЗБ можно рассматривать как целевую функцию, которая отражает состояние системы определенного целевого назначения. В том случае, когда целевая функция включает в себя описание свойств системы (качество системы), которые удовлетворяют ее целевому назначению, такую функцию можно интерпретировать как функцию качества [1, 4].

Таким образом, аргументами функции (точнее функционала) качества, характеризующей защитные свойства определенного ЗБ в любой момент времени, являются

функции качества, отражающие состояния перечисленных выше составляющих:

$$F^Q = F \left[ F^Q(S^{ЗБ}), F^Q(S^{\text{ОБСЛ.ЗБ}})^5, F^Q(S^{\text{РМ}}), F^Q(S^{\text{ОС}}), t \right]. \quad (2)$$

Зная, в каком состоянии находится непосредственно ЗБ (каковы его характеристики в акцентированный момент времени), как он обслуживается, каково состояние РМ и каковы условия его эксплуатации, можно оценить защитные функции данного ЗБ и установить, соответствуют ли они установленным требованиям, т. е. своему целевому назначению.

Качество любых систем, процессов и их продукции (продукция — результат процесса) можно представить в терминах определенных единичных показателей качества, объединенных в соответствующие группы показателей качества.

Теоретические основы формализма функций качества рассмотрены, например, в [5]: функция качества представлена в виде средних взвешенных арифметических показателей. Примем, что весовые множители удовлетворяют

$$\text{условию нормировки: } \sum_i^n \alpha_i = 1.$$

В соответствии, например, с [1, 4], исходя из самых общих позиций, рассмотрим на макроуровне некоторые группы показателей качества, имеющие отношение к ЗБ:

1. Показатели назначения.
2. Показатели надежности.
3. Эргономические показатели.
4. Эстетические показатели.
5. Показатели технологичности.
6. Показатели транспортабельности.
7. Показатели унификации.
8. Патентно-правовые показатели.
9. Экологические показатели.
10. Показатели безопасности.
11. Нормативно-правовые показатели.
12. Показатели технической оснащенности.
13. Показатели инфраструктуры.
14. Экономические показатели.

Групп показателей качества может быть существенно больше (некоторые из них могут быть, например, дифференцированы на определенные частные подгруппы [4]): все определяется уровнем постановки задачи. При этом каждая группа показателей качества содержит свой номенклатурно (документально) установленный перечень показателей качества.

Утверждая, что качество функционирования ЗБ зависит от качества (свойств и характеристик) собственно ЗБ, процессов его обслуживания, процессов в ОС и РМ, прежде всего, необходимо:

- а) определить (назвать) эти свойства-характеристики;
- б) изучить (определить, проанализировать), какие из этих свойств наиболее актуальны для функционирования конкретного ЗБ в соответствии с его назначением и как они влияют — реально и (или) потенциально — на ЗБ, определяя его реальные свойства.

<sup>5</sup> Функцию качества, описывающую обслуживание ЗБ, целесообразно рассматривать отдельно от функции, описывающей его «собственные» свойства (характеристики).

При этом сказанное выше (п. б) относится к частным приложениям, а в общем виде его применение весьма ограничено.

Кратко рассмотрим каждый из аргументов функции качества (2).

1. Архитектуру функции качества, отражающую проектные свойства ЗБ, в общем случае можно представить в следующем виде:

$$F^Q(S^{ЗБ}) = \sum_{\mu=1}^{m=14} \beta_{\mu} \phi_{\mu}(t),$$

где  $\phi_{\mu}$  — группы показателей качества, характеризующие ЗБ;  $\beta_{\mu}$  — коэффициенты, в данном случае определяющие вклад каждой группы показателей качества в данную функцию качества;  $\mu$  — индекс, соответствующий номерам приведенного выше перечня групп показателей качества.

Разумеется, что для некоторых ЗБ таких групп показателей качества может быть существенно меньше, чем 14. Например, если речь идет о ЗБ, представляющем собой намывную дамбу, нет смысла говорить о группе показателей транспортабельности; если в качестве ЗБ рассматривать систему индивидуальной защиты (СИЗ), можно говорить даже о группе эстетических показателей.

Таким образом,  $F^Q(S^{ЗБ})$  конкретного ЗБ представляет собой некоторую суперпозицию различных групп показателей качества. Для каждого ЗБ группы показателей качества и, соответственно, единичные показатели качества в каждой группе должны быть номенклатурно установлены, например методом вероятностного анализа, стендовых испытаний или экспертным методом.

2. Для конструирования  $F^Q(S^{\text{ОБСЛ.ЗБ}})$  — функции качества, соответствующей состоянию ЗБ в аспекте качества его обслуживания, — необходимо конструировать новую группу показателей качества (в том числе и единичные показатели), которая учитывала бы наличие и квалификацию обслуживающего персонала, его возможности выполнять работу (аппаратура, оборудование и др.), условия выполнения работы и т. д. Для обслуживания одних ЗБ нужен бульдозер, для других, образно говоря, — пинцет. Все зависит от конкретного ЗБ.

3. В соответствии с перечнем групп показателей качества, функцию качества, соответствующую состоянию РМ, можно представить в следующем виде:

$$F^Q(S^{\text{РМ}}) = \sum_{j=1,5,6,8,9,10,11,12,13,14}^{k=10} \gamma_j \lambda_j(t),$$

где  $\lambda_j$  — перечень групп показателей качества, характеризующих РМ;  $j$  — индекс, соответствующий указанным номерам перечня групп показателей качества.

Для представления функции качества, соответствующей состоянию РМ, следует определить номенклатуру единичных показателей качества, входящих в указанные группы показателей.

Так, для группы «показатели безопасности» необходимо рассмотреть перечень показателей опасности, которые входят в эту группу. В общем случае можно назвать следующие свойства РМ, характеризующие их опасность [1]:

- 1) термическая опасность;
- 2) пожароопасность;
- 3) взрывоопасность;

- 4) химическая опасность;
- 5) биологическая опасность;
- 6) опасность от излучений радиоактивных веществ (кроме излучений СЦР);
- 7) опасность возникновения СЦР.

Если рассматривать только группу показателей качества, соответствующую группе «показатели безопасности» ( $\lambda_j$  при  $j = 10$ ) для РМ, то она будет иметь следующий вид:

$$\lambda_{10}(\text{РМ}) = \sum_{i=1}^{n=8} \eta_i D_i,$$

где  $D$  — перечисленные выше показатели качества,  $\eta$  — весовой множитель, определяющий вклад данного вида опасности в общую опасность.

Для остальных девяти групп показателей качества соответствующие им единичные показатели необходимо еще определить.

4. Конструкцию функции качества, описывающую ОС, можно представить в следующем виде:

$$F^Q(S^{\overline{\text{ОС}}}) = \sum_{i=1,2,3,4,5,7,9,10,11,12,13,14}^{n=12} \alpha_i \xi_i(t),$$

где  $\xi$  — перечень групп показателей качества (из вышеприведенного перечня);  $i$  — индекс, соответствующий номерам показателей групп данного перечня;  $\alpha$  — весовой множитель.

Интерпретируя перечень групп показателей качества, можно отметить, что показатели надежности отражают степень защищенности ОС от, например, каких-либо негативных процессов (природных, антропогенных) в данной среде, эргономические и эстетические показатели характеризуют ее комфортность для проживания и т. д. Для каждой ОС можно составить свой набор характеристик (соответствующие единичные показатели), который бы удовлетворял установленным требованиям.

## Выводы

В данной статье для общего случая дан рецепт построения функции качества (целевой функции), описывающей защитные свойства ЗБ в пространстве интересов, ограниченном четырьмя «осями координат»: проектные характеристики ЗБ; качество обслуживания ЗБ; свойства РМ и характеристики ОС, влияющие на состояние ЗБ.

В принципе, пространство, в котором задается функция качества, может быть существенно расширено в зависимости от поставленной задачи за счет дифференциации, например, характеристик ОС.

При этом единичные показатели качества большинства групп показателей в данной работе не приведены. Работа в этой области еще продолжается.

Данное представление довольно громоздкое, поскольку задано системой простых сумм. Однако преимуществом такого представления является его наглядность и доступность при анализе и интерпретации.

## Список использованной литературы

1. Сандул Г. А. Организация системы безопасности при эксплуатации хранилищ для захоронения радиоактивных отходов. Общие вопросы / Г. А. Сандул // Ядерна та радіаційна безпека. — 2008. — Т. 11, вип. 3. — С. 35–44.
2. Израэль Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. — М.: Гидрометеоиздат, 1984. — 560 с.
3. Брославский Л. И. Правовые основы стандартизации и качества / Л. И. Брославский. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 112 с.
4. Сандул Г. А. Целевые функции как основа формализма для описания процессов обращения с РАО при эксплуатации хранилищ РАО / Г. А. Сандул // Ядерна та радіаційна безпека. — 2012. — Вип. 1 (53). — С. 49–53.
5. Логинов А. П. Формализм функций качества в приложении к безопасности в сфере использования ядерных и радиационных технологий / А. П. Логинов, Г. А. Сандул // Ядерная и радиационная безопасность. — 2000. — Т. 3, вип. 4. — С. 17–25.

Получено 19.04.2013.