

Г. А. Сандул

Государственное специализированное предприятие  
«Центр переработки и захоронения техногенных отходов  
“Техноцентр”», г. Киев, Украина

## Целевые функции как основа формализма для описания процессов обращения с радиоактивными отходами при эксплуатации хранилищ РАО

Статья посвящена развитию метода построения определенных конструкций, которые соответствуют логике целевого назначения, и их математического описания с использованием целевых функций (функций качества). Этот метод может быть применен для описания состояния хранилищ РАО, непосредственно РАО и любых процессов в области обращения с РАО. Обсуждается вопрос расширения перечня групп показателей качества при конструировании целевой функции.

**Ключевые слова:** обращение с РАО, эксплуатация хранилищ РАО, безопасность.

Г. О. Сандул

### Цільові функції як основа формалізму для опису процесів поведіння з радіоактивними відходами при експлуатації сховищ РАВ

Стаття присвячена розвитку методу побудови певних конструкцій, які відповідають логіці цільового призначення, та їх математичного опису за допомогою цільових функцій (функцій якості). Цей метод може бути застосовним для опису стану сховищ РАВ, безпосередньо РАВ та будь-яких процесів у сфері поведіння з РАВ. Обговорюється питання про розширення переліку груп показників якості для конструювання цільової функції.

**Ключові слова:** поведіння з РАВ, експлуатація сховищ РАВ, безпека.

© Г. А. Сандул, 2011

Любая целенаправленная деятельность с точки зрения ее технологии имеет две обязательные составляющие: изучение “чужого” опыта в области акцентированного вида деятельности; четкая корректная формулировка стратегических и тактических проблем, соответствующих целей, а также отдельных задач, относящихся к данному виду деятельности.

При несомненной пользе изучения “чужого” опыта и попытке адаптировать его к своим условиям деятельности (что можно рассматривать как обязательное действие) необходимо помнить, что это постоянный длительный эволюционный процесс, который в значительной степени зависит от многих как субъективных, так и объективных факторов (обстоятельств).

Говоря о безопасном обращении с радиоактивными отходами (РАО) при эксплуатации хранилищ РАО, отметим, во-первых, что фундаментальные аспекты этой деятельности в литературе освещены очень скупо; в деталях, практически, они не разработаны. Прежде всего, это касается разработки формализма (логика, математика) при описании процессов безопасного обращения с РАО. Во-вторых, в силу специфики данной деятельности не каждый “чужой” позитивный опыт легко адаптировать к своим условиям деятельности: требуется, как минимум, отождествление существующего нормативно-правового поля и некоторое соответствие организационных структур эксплуатируемых организаций, наличие определенных ресурсов и т. д. В-третьих, при проведении акцентированной деятельности необходимо учитывать политический, экономический, технический, организационный и другие аспекты каждой страны.

Обеспечение корректности и четкости формулировки соответствующих проблем, целей и задач — это путь проб и ошибок. Очевидно лишь одно: корректная постановка задачи — залог ее успешного решения.

Таким образом, при выполнении какой-либо деятельности необходимо сначала выполнить соответствующий “поиск” на предмет выполнения этой деятельности другими исследователями (предшественниками и современниками), на основе полученных материалов провести анализ данного вида деятельности, определить свою более-менее конкретную нишу в соответствии с четко сформулированными стратегическими проблемами и целями, далее детализировать их в виде тактических проблем и целей с последующей дифференциацией на отдельные задачи.

В настоящей работе для описания процессов безопасного обращения с РАО при эксплуатации хранилищ РАО предложен метод построения определенных конструкций, соответствующих логике целевого назначения, и их математического представления (описания) с использованием целевых функций.

Для более четкого и однозначного понимания рассматриваемого вопроса дадим некоторые термины и их определения:

процесс — абстракция, которая описывает выполняющуюся программу деятельности: совокупность последовательных действий / операций для достижения какого-либо определенного результата (целевое назначение);

продукция (ее свойства) — результат процесса;

радиоактивные отходы (РАО) — продукция материальная непреднамеренная;

качество — совокупность свойств объекта, характеризующая его существенную определенность, в силу которой

объект является данным, а не иным [1], и относящаяся к его способности удовлетворять установленные и предполагаемые потребности (требования\*); другими словами, качество процесса / продукции — это полное множество (в математическом смысле) параметров и других характеристик, присущих только данному процессу / продукции, т. е. свойство их уникальности; поскольку полное множество параметров, характеризующих качество любой системы из-за скрытых параметров практически неизвестно, то при определении понятия “качество” речь идет лишь о той части характеристик системы, которая удовлетворяет установленным к ней требованиям и критериям\*\* на данный момент времени;

показатель качества, например продукции, — количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления [2];

система — определенная (документально установленная) совокупность закономерно взаимосвязанных элементов, объединенных в единую структуру (форму организации); антропогенные системы, как правило, имеют определенные целевые назначения.

Сформулируем теперь важную аксиому: каждая (любая) деятельность может быть представлена в виде процесса или системы процессов, имеющих свое определенное целевое назначение.

Опираясь на данную аксиому, будем считать, что акцентированная деятельность, т. е. все процессы, которые подчинены решению стратегической и тактической проблем, а также других сопутствующих задач в области безопасного обращения с РАО, должна иметь четко сформулированные целевые назначения. Формулировка целевого назначения процесса — первый шаг к построению соответствующего формализма. Лишь после этого, с учетом определенных целевых назначений, данные процессы можно описывать математически (целевое представление процессов, имеющих соответствующие целевые назначения).

Математический формализм, в частности определенная логическая конструкция и ее математическое представление при описании процесса (продукции) как результата процесса (далее — системы) заданного целевого назначения, позволяет по определенным показателям (выбранным и обоснованно установленным)\*\*\* проводить целенаправленный анализ данных, характеризующих систему, определять ее характер (характеристики) и состояние (например, степень ее организации), давать ей оценку (насколько система по своим характеристикам удовлетворяет установленным требованиям и критериям в соответствии со своим целевым назначением) и, наконец, прогнозировать поведение системы. Отметим, что все эти действия можно осуществлять в реальном масштабе времени.

Такой подход можно характеризовать как подход (методику) с использованием целевых функций, архитектура которых создается на основе определенных групп показателей. Если группы показателей целевой функции рассматривать как группы показателей качества определенной системы соответствующего целевого назначения, то такие целевые функции можно рассматривать как функции ка-

чества ( $F^Q$ ), т. е. функции, которые характеризуют данную систему (ее качество) при помощи соответствующих групп показателей качества.

Отметим, что целевые функции (функции качества) дают информацию о характере и состоянии системы, введем некоторые понятия. Прежде всего, введем понятие *состояния системы* ( $S$ ), которое характеризуется некоторым определенным набором параметров, например  $a_i$ , часть из которых в общем случае может зависеть от времени:  $S(t) = S(a_1, a_2, \dots, a_i(t), \dots, a_n)$ , или  $S(t) = S(S_0, t)$ , где  $S_0$  — начальное состояние системы на момент времени  $t_0$ ;  $t$  — время (реальный масштаб), на протяжении которого рассматривается состояние данной системы.

В данном случае под понятием “состояние системы” следует понимать такое четко определенное и стабильное на данный момент времени  $\Delta t$  состояние системы (числовая характеристика), которое позволяет на макроуровне получить информацию, желательную однозначную, о системе (как отдельные, так и интегральные ее свойства). Подобная информация дается через определенное множество\* характеристик данной системы, т. е. определенное множество групп показателей качества данной системы\*\*. При этом необходимо так организовать взаимосвязанные между собой характеристики, чтобы система (например, сам процесс и продукция как его результат) удовлетворяла установленным к ней требованиям и критериям. В этом случае  $S(t)$  описывается функцией  $F^Q$ .

Независимо от конкретных систем, состояние их в целом по отношению к возможности выполнять ими свои функции можно классифицировать как нормальное, критическое и предельно допустимое.

Критические и предельно допустимые значения состояния системы, в общем случае, определяются и устанавливаются с помощью вероятностного анализа влияния различных возмущающих факторов, например природных или антропогенных, на систему, а также соответствующих испытаний.

Наряду с понятиями *критического состояния системы* ( $S^K$ ) и *предельно допустимого состояния системы* ( $S^{ПД}$ ) существуют понятия *критического влияния на систему*\*\*\* ( $A^K$ ), где

$$A^K = \sum_{i=1}^n A_i^K(t), \text{ и предельно допустимого влияния на систему}$$

$$(A^{ПД}), \text{ где } A^{ПД} = \sum_{i=1}^n A_i^{ПД}(t). \text{ При этом } A^K \text{ и } A^{ПД} \text{ представляют}$$

собой соответствующие суммы факторов влияния.

Как именно отдельные факторы  $A_i^K$  и  $A_i^{ПД}$  влияют на состояние системы в целом — приводят ли (и какие именно?) соответственно к  $S^K$  и  $S^{ПД}$ , — можно говорить лишь изучая конкретную систему\*\*\*\*, ее свойства и т. д. Этот вопрос даже для конкретной системы сложный и неоднозначный [3]. Следует учитывать и то, что действия возмущающих факторов, которые влияют на систему, в общем случае могут носить нелинейный характер (зависеть друг от друга), быть позитивными для системы (например, ремонт) и негативными, обратимыми и необратимыми.

\* Знание “полного множества” характеристик системы, ввиду ее сложности, маловероятно.

\*\* Состояние системы следует рассматривать как ее свойство.

\*\*\* Имеется в виду влияние определенных факторов.

\*\*\*\* В принципе система может выполнять свои функции, даже если какой-либо из ее элементов (группа элементов) находится в критическом состоянии.

\* Требования к качеству должны быть четко установлены (сформулированы). Требования могут изменяться в зависимости от тех или иных обстоятельств, что и приводит к изменению качества.

\*\* Критерии — числовые представления соответствующих требований.

\*\*\* В рамках установленных показателей.

Для изучения каких-либо изменений состояния системы со временем или под воздействием каких-либо возмущающих факторов  $\sum_{i=1}^n A_i(t)$  необходимо ввести понятие *функции состояния системы*, точнее, *функционала*

$$F^S = F^S(S_0, \sum_{i=1}^n A_i(t), t).$$

Такой или близкий к этому алгоритм действий является наиболее общим научным подходом при решении самых различных по содержанию задач относительно поведения каких-либо систем.

Для характеристики процессов и продукции как их результата установлено десять групп показателей качества [4]: 1) назначения; 2) надежности; 3) эргономичности; 4) эстетичности; 5) технологичности; 6) транспортабельности; 7) унификации; 8) патентно-правовые; 9) экологичности; 10) безопасности. Данный перечень групп показателей качества в определенных случаях носит ограниченный характер и при развитии некоторых отраслей производства или выполнении отдельных видов деятельности является явно недостаточным для построения соответствующей функции качества и, особенно, для оценки видов деятельности (процесса) и прогнозирования их дальнейшего развития. Другими словами, указанные группы показателей качества могут быть необходимыми, но не достаточными для конструирования соответствующей функции качества, описывающей состояние системы. Прежде всего, это касается тех видов деятельности, которые в той или иной мере связаны с международным сотрудничеством, требуют инвестиций, позитивного политического и экономического развития страны на основе развитого законодательства и др. К таким отраслям и соответствующим видам деятельности относятся, например, ядерная энергетика и обращение с РАО, причем РАО является неотъемлемой продукцией процессов ядерно-энергетической отрасли.

Для более эффективного конструирования функции качества приведенный перечень групп показателей качества можно дополнить, например (продолжим приведенную выше нумерацию и кратко прокомментируем вероятные обстоятельства, когда приведенные группы показателей могут быть актуальными): 11) «политические» показатели качества — показатели, которые учитывают и отображают в реальном масштабе времени общую политическую ситуацию или отдельные события, которые могут реально (потенциально) влиять на акцентированный вид деятельности (ведение военных действий в стране, состояние политической организации общества и его структуры — диктатура, демократия, степень развития общественно-демократических институтов, богатое или бедное общество, образование и др.), отношение к строительству АЭС и хранилищ РАО вблизи границ сопредельных государств и др.; 12) экономические — показатели, которые учитывают и отображают экономическое состояние отрасли (отдельного предприятия, направления работ и т. д.) на фоне экономического развития всей страны (подчеркивается актуальность данного направления работ, экономическая целесообразность, инвестиции в данную отрасль, способность обеспечить соответствующий уровень безопасности и др.); 13) правовые — показатели, которые отображают степень нормативно-правовой поддержки акцентирован-

ного вида деятельности (развитие соответствующего законодательства и т. д.); 14) показатели качества кадрового ресурса — показатели, которые характеризуют кадровую политику организации и ее кадровый состав (укомплектованность кадрами определенной квалификации и пр.); 15) показатели качества организационной структуры эксплуатирующей организации — показатели, которые отображают степень соответствия организационной структуры данной организации ее функционально-целевой матрице, т. е. соответствия функций, которые выполняет организация, поставленным целям; 16) показатели качества технической оснащенности — показатели, которые характеризуют наличие (степень наличия) технических средств, их квалификацию, верификацию для обеспечения организацией выполнения своих функций; 17) показатели качества инфраструктуры — показатели, которые характеризуют инфраструктуру системы (объекта) и т. д.

Этот список можно продолжить и дальше в зависимости от конкретной организации и ее вида деятельности. Кроме того, группы показателей качества можно дифференцировать, условно, на фундаментальные и производные от них. При этом каждая группа показателей качества должна иметь свой, нормативно установленный (номенклатурный) перечень показателей качества. Выбор и утверждение перечня групп показателей качества, а также их элементов (показателей качества в каждой группе) относится к процессу регулирования акцентированной деятельности. Процесс регулирования деятельности может осуществляться на разных уровнях: от государственного до уровня эксплуатирующей организации.

Таким образом, активное использование групп показателей качества для построения функции качества в каждом конкретном случае возможно лишь при условии четко установленных необходимых и достаточных групп показателей качества и элементов этих групп — соответствующих показателей качества. Устанавливаются они, например, экспертным методом, когда в определенной группе показателей качества определяются сами показатели, их количество и соответствующие коэффициенты при них (статистический вес каждого показателя), которые обуславливают долю данного показателя во всей группе показателей:

$$G(P^Q) = \sum_i^n \alpha_i P_i^Q,$$

где  $G(P^Q)$  — группа показателей качества;  $P_i^Q$  —  $i$ -й показатель качества,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;  $\alpha_i$  — коэффициент при  $i$ -м показателе качества;  $n$  — количество показателей качества в группе показателей.

В такой области деятельности, как обращение с РАО, *стратегической проблемой* является безопасное обращение с РАО; *стратегической целью* — защита окружающей среды (ОС = природная окружающая среда + человек) от негативного влияния радиационного излучения\*; *тактическая проблема* — реализация концепции накопления и изоляции РАО в хранилищах; *тактической целью* — защита ОС от негативного влияния радиационного излучения на региональном уровне (определенной территории, объекта и т. д.); *задачи технического характера* — выбор

\* Стратегическая цель может быть дифференцирована с точки зрения временного фактора: доступное для обозрения время (современность) и значительно отдаленное время (защита будущих поколений людей). При этом алгоритмы действий различны.

площадки для строительства хранилищ РАО, проектирование, строительство, эксплуатация хранилищ РАО, разработка технологий и методик безопасного обращения с РАО, разработка соответствующего оборудования и др.; *задачи организационного характера* — построение эффективной организационной структуры эксплуатирующей организации на основе функционально-целевой матрицы, создание системы общей безопасности [5], системы мониторинга [6]–[8], материально-технической базы, подготовка и переподготовка кадров и др.

Безопасное обращение с РАО при эксплуатации хранилищ РАО в значительной степени зависит как от состояния хранилища (его характеристик, т. е. соответствующих показателей качества, используемого оборудования, инфраструктуры и т. д.), так и от характеристик самих РАО. Если использовать приведенные группы показателей качества к хранилищам РАО, функция качества будет иметь следующий вид:

$$FQ(\text{хранилище РАО}) = \sum_{i=1,2,3,4,5,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17}^{n=16} \chi_i,$$

где  $\chi_i$  — группы показателей качества, которые характеризуют хранилище РАО;  $i$  — индекс, который отвечает всем номерам групп показателей качества, кроме номера 6 (отсутствует группа показателей качества, соответствующая группе “показатели транспортабельности”, поскольку хранилища, в традиционном их понимании, транспортировать нельзя). При этом данная функция качества уже учитывает и начальное значение состояния системы ( $S_0$ ), и изменения состояния за счет соответствующих возмущающих факторов ( $A_j$ ).

Функция качества для РАО в соответствии с [5] и приведенным дополнительным перечнем групп показателей качества, в общем случае, будет иметь несколько иной вид:

$$FQ(\text{РАВ}) = \sum_{i=1,5,6,8,9,10,12,13}^{n=8} \chi_i,$$

где  $\chi_i$  — группы показателей, характеризующие РАО;  $i$  — индекс, который отвечает номерам групп показателей качества упомянутого списка.

Согласно, например, [5], группа “показатели безопасности” может быть представлена следующими номенклатурно установленными показателями опасности: 1) механическая опасность; 2) электрическая; 3) термическая; 4) пожароопасность; 5) взрывоопасность; 6) химическая; 7) биологическая опасность; 8) опасность от излучения (включая излучение радиоактивных веществ).

Если рассматривать только группу показателей качества, которая отвечает группе “показатели безопасности” ( $\chi_i$  при  $i = 10$ ), то для РАО, подлежащих захоронению, она будет иметь следующий вид [5]:

$$\chi_{10} = \sum_{j=1}^{n=6} \alpha_j D_j,$$

где  $D_j$  — виды опасности;  $\alpha_j$  — соответствующие весовые множители,  $j = 1, 2, \dots, 6$ .

В данную сумму не входят такие виды опасности, как механическая и электрическая, а термическую опасность

(выделение тепловой энергии) необходимо специально оговаривать — все зависит от свойств РАО. При обращении с РАО нужно специально оговаривать и такой вид опасности, как опасность от возникновения самоподдерживающейся цепной реакции (СЦР), что характерно для высокоактивных РАО\*.

Аналогичный подход можно применить для построения функции качества любого процесса, например перевозки РАО вне или по территории хранилища РАО, проведения погрузочно-разгрузочных работ при заполнении хранилища РАО и др.

В области безопасного обращения с РАО при эксплуатации хранилищ существует ряд задач, конечные решения (конечный результат) которых уже наперед известны (детерминированы). Например, соответствующими нормативно-правовыми документами регламентированы предельно допустимые или критические уровни, соответствующие какому-либо процессу или системе в целом, но пути достижения заданного результата неизвестны. Суть таких задач как раз и состоит в изучении механизмов соответствующих процессов для организации их именно таким образом, чтобы продукция удовлетворяла установленным требованиям и критериям (например, установленным уровням).

Рассмотрим типичную задачу. Предположим, что мы изучаем некоторую реальную\*\* систему с точки зрения генерации в ней каких-либо отказов. При этом будем считать, что скорость генерации отказов в любой выбранный момент времени  $t$  линейно пропорциональна уже существующему количеству  $N_0$ , пусть даже вероятных, отказов в системе. Кроме того, для упрощения расчетов будем считать, что коэффициент пропорциональности  $k = \text{const}$ , а количество отказов в системе имеет определенное регламентированное (предельно допустимое) значение  $N^{\text{пл}}$ .

С учетом приведенных рассуждений можно, например, сформулировать следующую задачу: за какое время  $t \equiv T$  генерации отказов их количество достигнет уровня предельно допустимого значения  $N^{\text{пл}}$ , т. е. за какое время  $T$  будет выполняться тождество  $N(t)_{t=T} \equiv N^{\text{пл}}$ ?

В рамках указанных допущений скорость генерации отказов может быть представлена уравнением  $dN(t)/dt = kN(t)$ . Решение этого уравнения —  $N(t) = N_0 e^{kt}$ . При  $t \equiv T$  получаем  $N_0 e^{kT} = N^{\text{пл}}$ , откуда  $T = 1/k (\ln N^{\text{пл}}/N_0)$ .

Таким образом, в рамках принятой модели можно рассчитать (оценить) время, в течение которого система может достичь значения предельно допустимого состояния ( $k$ ,  $N_0$ ,  $N^{\text{пл}}$  могут быть заданы конкретными числами) и принять соответствующие корректирующие и предупреждающие действия, имея наиболее полную информацию о состоянии системы, что и дают соответствующие функции качества (целевые функции)  $FQ$ . Относительно корректирующих действий все более-менее понятно: если что-то произошло “не так”, то оно подлежит корректированию (исправлению). А как быть с предупреждающими действиями? Как предупредить развитие негативных явлений? В этом случае задача состоит, прежде всего, в том, чтобы определить действительно или потенциально опасные, например, элементы процесса. Для этого необходимо

\* ВАО должны поступать на хранение (временное или постоянное) только в специальные хранилища.

\*\* Реальная система всегда имеет некоторое количество отказов (пусть даже вероятных).

провести соответствующие исследования с помощью специальной методики, основанной на построении параметрических рядов.

Прежде всего, исследуемый процесс необходимо дифференцировать на  $n$  элементов ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ). При этом каждый из элементов имеет свое “отображение” в функции качества  $FQ$ .

Далее строится график в обычной декартовой системе координат и изучаются функции акцентированных параметров от номеров элементов изучаемого процесса, т. е. строится график функции  $y = f(n)$ , где  $y$  — акцентированный параметр (надежность элементов процесса; параметр, который характеризует их безопасность или опасность, степень влияния человеческого фактора при выполнении соответствующего элемента процесса, степень его стандартизации и т. д.). Те элементы процесса, в которых наблюдаются резонансные явления, например падают значения параметра, характеризующего надежность, и растут значения параметров, характеризующих роль человеческого фактора и опасность, как раз и будут теми действительно или потенциально опасными элементами процесса, на который необходимо обратить особое внимание и разрабатывать соответствующие контрмеры.

## Выводы

В данной работе описана цепочка взаимосвязанных и взаимосогласованных методик решения некоторых задач в области безопасного обращения с РАО при эксплуатации хранилищ РАО. Основой для решения большинства задач является соответствующая логическая конструкция и ее математическое представление в виде целевой функции (функции качества).

Подытожив приведенные методические приемы решения задач в акцентированной области, можно предложить следующую схему действий:

- четко определить целевое назначение системы;
- создать логическую конструкцию, отвечающую данной системе;
- представить (описать) данную конструкцию математически, используя целевую функцию (функцию качества), которая несет в себе информацию о состоянии системы (характер, свойства, организация и др.) и может изменяться под действием различных возмущающих факторов;

идентифицировать возмущающие факторы и принять решение о разработке системы корректирующих и предупреждающих действий как о контрмерах, которые направлены против негативных тенденций в изменении состояния системы, особенно когда это состояние приближается, например, к предельно допустимому или критическому состоянию.

## Список использованной литературы

1. Брославский, Л. И. Правовые основы стандартизации и качества / Л. И. Брославский. — М.: Изд-во стандартов, 1991. — 112 с.
2. ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. — Взамен ГОСТов 15467–70, 16431–70, 17341–71, 17102–71. Введен 01.07.79. — М.: Изд-во стандартов, 1982. — 25 с.
3. Израэль, Ю. А. Экология и контроль состояния природной среды / Ю. А. Израэль. — М.: Гидрометеоиздат, 1984. — 560 с.
4. РД 50–149–79. Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции // Сб. норм.-техн. и рук. документов. — Ч. 2: Оценка качества и аттестация продукции. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — С. 5–125.
5. Сандул, Г. А. Организация системы безопасности при эксплуатации хранилищ для захоронения радиоактивных отходов. Общие вопросы // Г. А. Сандул // Ядерная и радиационная безопасность. — 2008. — Т. 11, вып. 3. — С. 35–44.
6. Сандул, Г. А. Мониторинг системы “хранилище радиоактивных отходов — окружающая среда”. I. Общие представления. Понятийно-категориальный аппарат / Г. А. Сандул, Т. Я. Сенько // Ядерная и радиационная безопасность. — 2006. — Т. 9, вып. 2. — С. 20–33.
7. Сандул, Г. А. Мониторинг системы “хранилище радиоактивных отходов — окружающая среда”. II. Виды мониторинга и их классификация / Г. А. Сандул, Т. Я. Сенько // Ядерная и радиационная безопасность. — 2006. — Т. 9, вып. 4. — № 4. — С. 11–21.
8. Сандул, Г. А. Мониторинг системы “хранилище радиоактивных отходов — окружающая среда”. III. Организация системы мониторинга. — Ч. I: Мониторинг территории (площадки) хранилищ РАО / Г. А. Сандул, Т. Я. Сенько. // Ядерная и радиационная безопасность. — 2007. — Т. 10, вып. 4. — С. 19–31.

Получено 24.05.2011.