

Обзор деятельности в области эксплуатационной безопасности атомных электростанций

Отчет о международных программах МАГАТЭ

Фердинанд Л. Франзен

Несмотря на резкое сокращение новых заказов на атомные электростанции и на уменьшение числа строящихся АЭС, количество энергоблоков, подключаемых к энергосистемам, неуклонно увеличивается. Это послужило причиной смещения акцента в области ядерной безопасности с вопросов проектирования и строительства на проблемы эксплуатации АЭС. В то же время растет признание того факта, что простого выполнения регламентирующих требований уже недостаточно и что, лишь добившись совершенства в области эксплуатационной безопасности, можно рассчитывать на поддержку общественностью новых усилий по ускоренному развитию ядерной энергетики. Со своей стороны МАГАТЭ не прекращает разработку программ, которые могут оказать помощь странам-членам и эксплуатирующим организациям в достижении этой цели. Предметом обсуждения данной статьи являются четыре таких программы, известные по своим акронимам: OSART, OSIP, ASSET и IRS.

OSART: Группы по рассмотрению вопросов эксплуатационной безопасности

По традиции МАГАТЭ предоставляет консультативные услуги и оказывает помощь странам-членам в области ядерной безопасности, командировав в эти государства группы экспертов. В 1982 г. МАГАТЭ создало программу OSART, в рамках которой международные группы экспертов в течение трех недель проводят глубокий анализ эксплуатационной безопасности конкретных атомных электростанций. Первоначально эта программа была задумана, как средство оказания дополнительной технической помощи развивающимся странам, однако, вскоре и промышленно развитые государства поняли, что и они могут извлечь выгоду из программы OSART. Число запросов из этих государств превысило число зап-

росов из развивающихся стран, особенно после аварии на Чернобыльской АЭС. Целью командировок групп OSART является не проведение оценки конструкции АЭС или инспекционной проверки выполнения национальных регулирующих правил и требований, а интенсивный обмен информацией с персоналом организации, эксплуатирующей АЭС, о путях улучшения характеристик безопасности станции.

Группы OSART, как правило, анализируют состояние дел в области ядерной безопасности по восьми важным аспектам: (1) управление, организация и административный контроль станции; (2) подготовка и квалификация персонала; (3) эксплуатация; (4) техническое обслуживание; (5) техническая поддержка; (6) радиационная защита; (7) химия; (8) планирование мероприятий и готовность на случай аварийной ситуации. Сравнивая практику эксплуатации одной станции с аналогичными показателями другой успешно эксплуатируемой АЭС, группа OSART ориентируется на получение конкретных результатов, иначе говоря, она не настаивает на каком-то одном проверенном подходе, а принимает и альтернативные подходы, которые могут внести свой вклад в поиски путей повышения безопасности станции, что и является целью ее руководства.

Группа OSART состоит из 10–12 экспертов, кумулятивный опыт работы которых в ядерной области составляет 100–200 лет. Внештатные консультанты набираются из числа сотрудников АЭС, электроэнергетических компаний и регулирующих органов для оказания конкретной профессиональной помощи персоналу определенных реакторов. Как правило, такие эксперты занимали или занимают на АЭС руководящие посты, а их общий опыт работы равняется или превышает 10 лет. Штатные сотрудники МАГАТЭ, входящие в состав группы, обеспечивают преемственность и согласованность оценок. Обычно группа OSART на 2/3 состоит из внештатных экспертов (половина из которых ранее являлись штатными сотрудниками Агентства) и 1/3 штатных сотрудников МАГАТЭ.

Члены группы должны обладать высокими аналитическими навыками и свободно владеть рабочим языком групп OSART (английский), а по возмож-

Г-н Франзен – штатный сотрудник Отдела ядерной безопасности и координатор программы OSART. Автор выражает благодарность г-дам А. Кеннеке, Р. Палабрика, В. Толстых, Б. Томасу и другим сотрудникам за поддержку и помощь.



Два из трех ядерных блоков АЭС Форсмарк в Швеции (Фото: Naturfotograferna)

ности, в какой-то мере и местным языком. Анализируя все аспекты эксплуатационной безопасности, члены группы, ознакомившись по документам с конкретными условиями на станции, приступают к изучению результатов эксплуатации, наблюдают за персоналом во время подготовки и выполнения им рабочих обязанностей, а также проводят опрос сотрудников для уточнения сложившегося мнения. На протяжении всей командировки все эксперты регулярно информируют контрапартнеров о своих впечатлениях и выводах. Результаты анализа регистрируются ежедневно, а также составляются подробные технические справки. Кроме того, составляются проекты кратких отчетов в целях подтверждения правильности выводов. Последние служат основой для заявления на заключительном совещании с контрапартнерами.

Руководитель группы OSART (штатный сотрудник МАГАТЭ) отвечает за общую координацию и связь с администрацией электроэнергетической компании или АЭС и регулирующим органом, за подготовку членов группы и руководство по обеспечению скоординированного аналитического процесса. Кроме того, руководитель группы OSART по возвращении в штаб-квартиру МАГАТЭ в Вене подготавливает отчет, который по официальным каналам направляется в компетентные национальные органы.

Руководящие принципы, основанные на документах *Серии изданий по безопасности*, действующие национальные правила и опыт работы групп OSART гарантируют преемственность и согласованность проводимых оценок. В них не содержится никаких критериев процесса рассмотрения вопросов эксплуатационной безопасности, однако, они помогают членам группы сконцентрировать свое внимание на ключевых элементах программы обеспечения эксплуатационной безопасности АЭС. Таким образом, каждый эксперт, проконсультировавшись с остальными членами группы по вопросам действу-

Командировки групп OSART (по положению на декабрь 1987 г.)

Страна	Общее число энергоблоков	Командировки	Тип реактора	Год
Бразилия	1	1	PWR	1985
Италия	3	1	BWR	1987
Испания	8	1	PWR	1987
Канада	18	1	PTR	1987
Мексика	—	3	BWR	1986, 1987
Нидерланды	2	3	BWR, PWR	1986, 1987
Пакистан	1	1	PTR	1985
Республика Корея	7	2	PWR	1983, 1986
США	103	1	PWR	1987
Филиппины	—	2	PWR	1984, 1985
Финляндия	4	1	BWR	1986
Франция	50	1	PWR	1985
ФРГ	21	3	BWR, PWR	1986, 1987
Швеция	12	1	BWR	1986
Югославия	1	1	PWR	1984

BWR — реактор с кипящей водой; PWR — реактор с водой под давлением; PTR — реактор с трубами под давлением.

Участие экспертов и ученых (наблюдателей) из различных государств в работе групп OSART (по положению на октябрь 1987 г.)

Аргентина	3	Нидерланды	2
Бельгия	6	Пакистан	5У
Болгария	2У	Португалия	1У
Бразилия	4+5У	Республика Корея	2+9У
Великобритания	5	Румыния	2У
Венгрия	4У	СССР	2+2У
ГДР	3	США	19
Индия	1	Филиппины	2У
Испания	6	Финляндия	6
Италия	5	Франция	20
Канада	9	ФРГ	17
Китай	2У	ЧССР	2У
Куба	3У	Швейцария	4
Мексика	3У	Швеция	12
		Югославия	5+3У
		Япония	4

У — визиты ученых (наблюдателей)

ющей международной практики, делает вывод о степени достижения целей такой программы.

К декабрю 1987 г. были осуществлены 23 командировки групп OSART, а их результаты были конфиденциально сообщены компетентным национальным органам (См. прилагаемую таблицу). Хотя публикация целого ряда первых отчетов и не была разрешена, заинтересованные стороны могли и могут получить через Агентство большинство отчетов, составленных после 1986 г.

Кроме того, в настоящее время подготавливается общий отчет об основных результатах первых 18 командировок групп OSART. Вкратце можно сказать, что все эти отчеты подтвердили факт, что эксплуатация атомных электростанций осуществлялась опытным и компетентным персоналом, который полностью осознавал свою ответственность за обеспечение безопасности электростанции.

Несмотря на то, что ни в одном случае не было обнаружено неприемлемого риска для окружающей среды или населения, группы OSART рекомендовали практические меры повышения эксплуатационной безопасности. В дополнительных предложениях либо одобрялись проводимые мероприятия, либо давались рекомендации относительно путей повышения эффективности эксплуатации. Представители всех посещенных АЭС с пониманием относились к предложениям групп OSART, и часто меры принимались еще до завершения работы этих групп.

Значительные расхождения были обнаружены в области качества выполнения ряда важных функций на разных атомных электростанциях. Например, отсутствие систематического структурного подхода к обеспечению контроля за правильным выполнением всех видов деятельности на некоторых АЭС привело к несогласованности в работе персонала и выявило необходимость усиления надзора и повышения стандартов выполнения должностных обязанностей.

В практике эксплуатации каждой рассмотренной АЭС имелись свои сильные стороны, которые можно было рекомендовать в качестве примера для других станций. Таким образом, члены групп OSART не только делились своим профессиональным опытом, но и увозили с собой некоторые идеи относительно процедур эксплуатации, которые могут быть рекомендованы другим станциям. Многие из обнаруженных группами OSART недостатков уже были выявлены ранее эксплуатационным персоналом станции, который предлагал свои пути их устранения. Рекомендации групп OSART, в которые включались эти предложения, очень часто оказывали ценную помощь в получении ресурсов и административной поддержки, необходимых для решения возникших проблем.

До настоящего времени группы OSART рассматривали вопросы эксплуатационной безопасности реакторов с водой под давлением (PWR), с кипящей водой (BWR) и реакторов с трубами под давлением (PTR). Поступили запросы на командирование групп OSART на магноксидные реакторы и реакторы типа ВВЭР советской конструкции; существует возможность направления групп OSART и на остальные ти-

пы реакторов. Эффективность программы OSART в расширении международного сотрудничества в области ядерной безопасности нашла свое отражение в растущем числе запросов (в 1988 г. их число составило 12–15), а также в участии экспертов и наблюдателей из большого числа стран (См. прилагаемую таблицу).

В 1988–1989 гг. группы OSART будут направляться по запросам из ЧССР, Японии, Венгрии, Великобритании и СССР, тем самым программа охватит все части земного шара, Восток и Запад, промышленно развитые и развивающиеся страны, что еще сильнее подчеркивает международный характер проблемы ядерной безопасности. Полученный опыт указывает на то, что это добровольное сотрудничество стран ядерного сообщества направлено на ускоренное внедрение передовой практики обеспечения безопасности и поднятия уровня эксплуатационной безопасности АЭС во всем мире.

OSIP: Программа разработки показателей эксплуатационной безопасности

В 1985 г. в поддержку программы OSART Агентство предприняло усилия, направленные на дополнение субъективных оценок объективными конкретными для каждой отдельной АЭС данными, которые помогли бы группе экспертов идентифицировать ключевые области для проведения глубокого анализа.

В этой программе вопросы разработки и применения показателей эксплуатационной безопасности тесно взаимосвязаны и требуют проведения консультаций с экспертами, активно работающими в этой области (аналогичная деятельность ведется во многих странах, где имеются действующие атомные электростанции).

Один комплекс установленных критериев касается оперативной деятельности: эксплуатации, контроля и технического обслуживания станций с точки зрения безопасности реактора и работников станции, защиты окружающей среды и эксплуатационной надежности. Второй комплекс охватывает неоперативную деятельность: анализ эксплуатационного опыта, включая идентификацию вопросов безопасности, анализ непосредственных причин и первопричин, а также проведение модификаций, повышающих безопасность.

Например, общими критериями безопасности реактора служат следующие показатели: (1) значимость сообщаемых событий с точки зрения безопасности; (2) коэффициент безопасности при нормальной эксплуатации; (3) невоплотимость и (4) надежность функций безопасности; (5) коэффициент готовности систем безопасности и их компонентов; (6) влияние ошибок оператора на надежность функций безопасности; (7) полнота охвата и (8) эффективность контрольной проверки функций безопасности; (9) переходные процессы, влияющие на старение оборудования и (10) коррозионные проблемы. В дополнение к этим и другим общим показателям имеются более подробные критерии.

В декабре 1986 г. на АЭС Брюс в Канаде была проведена проверка эффективности показателей

эксплуатационной безопасности. С тех пор специально для групп OSART в качестве предварительной информации собираются данные по этим показателям на АЭС Пикеринг (Канада), Калверт Клиффс (США), Филиппсбург (Федеративная Республика Германии) и Альмарас (Испания). Опыт, приобретенный членами групп OSART и их контраптерами на АЭС, используется для усовершенствования этого инструмента, чтобы группы OSART и эксплуатирующие организации могли его применять для оценки и регистрации ключевых параметров эксплуатационной безопасности.

ASSET:

Группы оценки событий, важных для безопасности АЭС

МАГАТЭ начало предоставлять новый вид услуг — оценку событий, важных для безопасности АЭС — в ответ на повторяющиеся выводы групп OSART после анализа аспектов безопасности АЭС: контрольные службы оказываются не в состоянии идентифицировать начальные проблемы до того, как они приводят к поломке оборудования, и отсутствие систематического анализа первопричин аномальных событий. Пересмотр деятельности по контролю за системами и узлами, проведенный на основе выявленных первопричин, должен повысить ее эффективность.

По запросу стран-членов МАГАТЭ в рамках программы ASSET направляет группы экспертов в области соответствующих технических дисциплин, аналитических методов и взаимодействия „человек—машина” для изучения: (1) конкретного события, важного для безопасности АЭС, в целях оценки целесообразности и полноты запланированных мер по устранению аномалий; (2) общих вопросов эксплуатационной безопасности, включая конкретные события, ошибки операторов, деятельность по контролю за оборудованием и компонентами, дозы облучения и производство отходов.

Методология программы ASSET основывается на 5-этапном процессе: (1) изучение события, включая меры по обнаружению и ликвидации; (2) анализ „дерева отказов” (диаграммы последовательности событий) в целях выявления предшествовавших элементов и непосредственной причины; (3) анализ „дерева слабых звеньев” (параллельной диаграммы) для определения способствующих элементов или первопричин, например, слабые места в деятельности по контролю за оборудованием и компонентами, вспомогательными средствами оператора и квалификацией персонала; (4) анализ уроков, полученных в результате устранения непосредственной причины и первопричин; (5) проверка запланированных и уже осуществляемых мер по ликвидации аномалий и рекомендации относительно соответствующих изменений.

В 1986 г. во время первой командировки группы ASSET на АЭС Крско в Югославии эксперты в облас-

ти эксплуатации, аналитической методологии, обратной связи в области эксплуатационного опыта, взаимодействия „человек—машина” и человеческого фактора изучили отдельные события, важные для безопасности станции. В число этих событий входило отключение второго энергоисточника, расположенного за пределами площадки АЭС, случайная разгерметизация системы теплоносителя реактора, течь внутреннего уплотнительного кольца на фланце реакторного бака, увеличение давления в защитной оболочке в результате утечки из воздушной системы КИП и сбой в системе защиты дизель-генератора. Кроме того, был проведен статистический анализ имеющихся отношения к безопасности событий, о которых было сообщено в регулирующий орган в 1983, 1984 и 1985 гг.

Группа ASSET сделала вывод, что для ликвидации выявленных непосредственных причин принимались правильные меры, которые обычно заключались в замене неисправных элементов и пересмотре процедур технического обслуживания (если были обнаружены дефекты в монтаже) и эксплуатационных процедур (если было выявлено сильное облучение чувствительных компонентов). Однако после того, как группа экспертов пришла к выводу, что для устранения первопричин не потребуются больших усилий, были сделаны рекомендации относительно улучшения деятельности по контролю (например, за контрольно-измерительными приборами и системами управления) и обратной связи в области эксплуатационного опыта (включая, например, события отрицательно влияющие на вспомогательные системы). Были также обсуждены вопросы разработки процедур эксплуатации АЭС в аварийных ситуациях, например, в случае отключения энергопитания станции, прекращения подачи технической воды и воздуха КИП.

IRS: Информационная система МАГАТЭ об инцидентах на АЭС

В ядерной промышленности аномальные события являются одним из основных источников обратной связи в области эксплуатационного опыта. К их числу относятся спонтанные отказы оборудования и отклонения, обнаруженные с помощью деятельности по контролю за оборудованием и техническому обслуживанию. Учитывая тот факт, что в странах-членах МАГАТЭ в эксплуатации находится свыше 400 энергетических реакторов, такие события происходят постоянно. Сбор, оценка и распространение информации об уроках, извлеченных из этих событий, являются важной составной частью непрерывного процесса повышения эксплуатационной безопасности.

Для оказания содействия свободному международному обмену информацией, имеющей отношение к безопасности АЭС, МАГАТЭ в сотрудничестве с Агентством по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ/ОЭСР) осуществляет эксплуатацию Информационной си-

системы об инцидентах на АЭС (IAEA – IRS). Координаторы из стран-членов направляют в эту систему национальные отчеты и получают копии всех остальных отчетов, поступивших в эту систему, для дальнейшего их распространения. Принимаются меры по обеспечению использования информационного обмена только в официальных служебных целях.

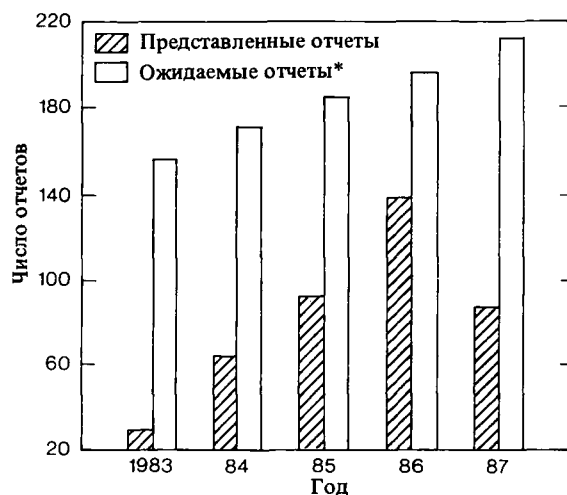
Информация, сообщенная с помощью такого механизма, включает в себя основную информацию (о событии, электроэнергетической компании/АЭС, дату, категорию отчета), описание события (отказы системы/компонентов, предшествовавшие события, последствия), оценку безопасности, предпринятые и запланированные меры по ликвидации, первопричины и извлеченные уроки, а также закодированный контрольный перечень (позволяющий осуществлять компьютеризированное хранение и поиск ключевых данных).

Существуют следующие категории отчетов: (1) о выбросе радиоактивного материала или облучении; (2) о разрушении важных для безопасности узлов; (3) о недостатках в проектировании, строительстве и эксплуатации, включая техническое обслуживание и контроль за оборудованием, гарантию качества или оценку безопасности; (4) об общих проблемах; (5) о событиях, требующих или ведущих к принятию важных мер; (6) о событиях, потенциально важных для безопасности; (7) об аномальных событиях естественного происхождения или вызванных вмешательством человека, которые прямо или косвенно влияют на эксплуатационную безопасность, и (8) о событиях, которые могут вызвать значительный интерес у общественности.

В зависимости от их значения для безопасности и частоты появления аномальные события можно классифицировать следующим образом: события, не влияющие на безопасность, — 0,5–1 случай в неделю; события, имеющие отношение к безопасности, — 0,5–1 случай в месяц; важные для безопасности события — 0,5–1 случай в год. Указанные цифры представляют собой усредненные значения по большому интервалу и могут быть нетипичными для конкретной установки. Однако они помогают понять, что только часть всех событий, анализируемых на АЭС или в электроэнергетической компании, подлежит сообщению в национальную информационную систему (вторая и последняя категории событий) и еще меньшая часть (только последняя категория) сообщается в информационную систему IAEA – IRS. Таким образом, свыше 400 отчетов, поступивших в эту систему к октябрю 1987 г. составляют лишь небольшую часть данных, хранящихся в других национальных и региональных информационных системах.

За прошедшие годы система IAEA – IRS из депозитарно-распределительного центра информации об инцидентах и авариях превратилась в международную объединенную сеть по сбору, обработке, оценке и распространению информации об отклонениях, инцидентах и авариях на атомных электростанциях. Сюда включены отклонения, выявленные в результате дея-

Сообщения об аномальных событиях, важных для безопасности АЭС, поступившие в Информационную систему МАГАТЭ об инцидентах на АЭС (IAEA – IRS)



* Оценки, основанные на количестве энергетических реакторов $\times$ на 0,5 в год

тельности по контролю за оборудованием и в процессе технического обслуживания.

Технический комитет, который представляет страны — члены МАГАТЭ, принимающие участие в системе IAEA – IRS, осуществляет надзор за усилиями, направленными на усовершенствование системы и оптимизацию ее использования в качестве инструмента обратной связи в области эксплуатационного опыта. Комитет проводит свои заседания не реже одного раза в

Участие государств в Информационной системе МАГАТЭ об инцидентах на АЭС (по положению на декабрь 1987 г.)

Вид участия

Полномасштабное: Аргентина, Бразилия, Болгария, Великобритания, Венгрия, ГДР, Индия, Испания, Нидерланды, Пакистан, Республика Корея, СССР, Финляндия, ЧССР и Югославия

Через Информационную систему АЯЭ об инцидентах на АЭС:

Бельгия, Италия, Канада, США, Франция, ФРГ, Швеция и Швейцария

Через совещания:

Япония

Ожидаемое:
(после пуска АЭС в эксплуатацию)

Мексика, Филиппины

год, на которых обсуждаются отчеты и общеприемлемые выводы, а также вырабатываются соответствующие рекомендации для эксплуатирующих организаций и регулирующих органов. Кроме того, он может представлять отчеты о событиях, которые, как считают, имеют особое значение для международного сообщества. В результате анализа отчетов, поступивших в систему IAEA — IRS в течение первых трех лет (1983—1985 гг.) ее существования, было обнаружено, что:

- Отчеты по своему качеству неравноценны, особенно это касается описания событий, идентификации первопричин, обсуждения их влияния на эксплуатацию и предпринятых мер.
- Только 8 % сообщенных событий можно отнести к категории имеющих „большое” значение для безопасности и 22 % — к категории имеющих „среднее” значение.
- Основными причинами являлись конструктивные недостатки (18,7 %) и эксплуатационные ошибки (17,5 %).
- Главным их последствием для эксплуатации АЭС был останов реактора (53,2 %).
- Среди неисправностей доминирующее положение занимали единичные неисправности (40,1 %), в то время как одновременные отказы нескольких элементов или неисправности с общей причиной их возникновения происходили реже.

Оценка событий, особенно важных для безопасности станций, подтвердила, что для безопасности большое значение имеют следующие вопросы: взаимодействие систем затопления активной зоны и впрыска воды, взаимодействие электрических систем, одновременные отказы нескольких элементов в различных системах, неисправности с общей причиной возникновения, ошибки в техническом обслуживании, действия персонала. Однако из-за ограниченности базы данных (всего 169 первичных и 29 итоговых отчетов), больших расхождений в качестве отчетов, разнообразия типов реакторов и различных процедур эксплуатации для проведения этого анализа потребовалось выполнить значительный объем работ по инженерной оценке.

В течение первых 5 лет существования информационной системы IAEA — IRS ее участниками стали почти все страны — члены Агентства (за исключением двух государств), в которых имеются действующие АЭС; в настоящее время они принимают в ней

или прямое участие, или через Информационную систему об инцидентах на АЭС Агентства по ядерной энергии (NEA — IRS). Кроме того, система IAEA — IRS осуществляет тесное сотрудничество с аналогичной системой NEA — IRS и в ее рамках создана надежная инфраструктура поддержки дальнейших усовершенствований.

К числу первоочередных вопросов относится повышение качества отчетов (предпосылка для проведения тщательной оценки) и оказание содействия более полному охвату в отчетах аномальных событий, важных для безопасности.

Проведение среди специалистов регулярных детальных обсуждений событий, сообщенных в систему IAEA — IRS, представляется совершенно необходимым для оценки их значения с точки зрения безопасности, извлечения уроков и изучения возможностей их более широкого применения. Кроме того, для достижения целей и удовлетворения существующих потребностей информационной системы IAEA — IRS, для оказания помощи в расширении масштабов ее применения, для выявления тенденций и удовлетворения специфических требований и интересов может потребоваться разработка дополнительных руководящих принципов и наставлений. Растущее международное сотрудничество по вопросам обратной связи в области эксплуатационного опыта необходимо как средство, помогающее избежать дублирования усилий, как средство предоставления доступа к возможно большему объему данных и расширения аналитических возможностей в мире.

Тесное сотрудничество

Четыре программы МАГАТЭ, кратко охарактеризованные в данной статье, отражают готовность стран — членов Агентства осуществлять более тесное сотрудничество в области ядерной безопасности. И хотя программа OSART привлекает большое внимание и расширяется быстрее остальных программ, ожидается, что в обозримом будущем будет продолжена реализация всех четырех программ, дополняющих друг друга, которые будут совершенствоваться, становиться более эффективными и быстро реагировать на изменение потребностей.

