

## МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

М.Ю. Косинский (МЭИ), В.А. Шихин (ООО "АНТ-Информ")

Предложено решение задачи оценивания показателей надежности промышленных информационно-измерительных систем, находящихся на стадии эксплуатации, на основе теории нечетких множеств. Достоинством предложенного подхода является возможность эффективно автоматизировать оценивание надежностных характеристик информационной системы при наличии в последней периодических, технологических и структурных изменений. Решен вопрос настройки нечеткой модели для конкретной предметной области, связанной с коммерческим учетом электроэнергии крупных потребителей. Работоспособность предложенной методики проиллюстрирована на примере решения практической задачи.

Ключевые слова: надежность, теория нечетких множеств, автоматизированные системы учета электроэнергии.

В настоящее время вопросы повышения надежности оборудования и систем, применяемых в промышленности и особенно в электроэнергетике, приобретают все большее значение. Решить указанные проблемы невозможно без разработки новых эффективных методик оценивания надежности. Особенно это относится к системам, находящимся в длительной и интенсивной эксплуатации.

Автоматизированные информационно-измерительные системы коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ), обладают как структурной (схемной) сложностью, так и функциональной (элементной) неоднородностью. Данный факт существенно усложняет расчет их характеристик, в том числе и такой важной, как надежность.

При расчете эксплуатационной надежности АИИС КУЭ, уже находящейся на стадии промышленной эксплуатации, возникают дополнительные сложности. В отличие от расчетов проектной надежности (на этапе проектирования) дополнительные сложности связаны с нехваткой данных о показателях надежности отдельных элементов системы, уже ранее установленных на объекте. Кроме того, необходимо учитывать состояние и возраст оборудования, возможно подвергавшегося эксплуатации в тяжелых условиях.

Одним из основных технологических узлов АИИС КУЭ является информационно-вычислительный комплекс электроустановки (ИВКЭ). Как правило, на уровне ИВКЭ имеет место наибольший разброс характеристик установленного оборудования, в том числе и надежностных. Также ИВКЭ непосредственно взаимодействует с силовым электрооборудованием на промышленных объектах и поэтому является наиболее чувствительной к внешним воздействиям компонентой АИИС КУЭ.

Указанные обстоятельства в сочетании с высокими требованиями к надежности АИИС КУЭ как системы, используемой в коммерческих расчетах на оптовом рынке электроэнергии (ОРЭ), обуславливают необходимость разработки методов оперативной оценки работоспособности (надежности) АИИС КУЭ и ее составных элементов в процессе промышленной эксплуатации. Рассмотрим новую методику оценивания надежности ИВКЭ, основанную на использовании нечеткой модели [1], изображенной на рис. 1.

Как видно из рис.1, процедура оценивания надежности на основе нечеткой модели разделяется на три этапа.

**Этап 1. Фазификация.** В модели на основе факторов, наибольшим образом влияющих на надежность автоматизированных систем, выбраны наиболее информативные три входные лингвистические переменные:  $T$  – срок эксплуатации,  $N$  – сложность системы,  $\delta$  – отклонение режима. В качестве выходной переменной предложено рассматривать коэффициент готовности системы  $K_r$ . Выбор выходной переменной аргументируется тем, что, во-первых, автоматизированные системы относятся к классу восстанавливаемых систем, во-вторых, для восстанавливаемых систем  $K_r$  является одним из наиболее информативных показателей надежности, а в-третьих, если надежность системы регламентируется нормативными документами, то здесь также, как правило, используется данный показатель.

**Этап 2. Генерация нечетких соотношений.** В представленной модели нечеткий вывод осуществляется по алгоритму Мамдани [2], то есть выходное фазимножество формируется на основе минимаксной композиции нечетких множеств.

Сначала находятся усеченные функции принадлежности  $\mu_{B_i}(y)$  выходной переменной для каждого из активированных решающих правил:

$$\mu_{B_i}(y) = \min_j (\mu_{X_j}(x_j)), \quad (1)$$

где  $i = 1..s$  – номер активированного правила,  $s$  – число активированных правил,  $\mu_{X_j}(x_j)$  – функция принадлежности входной переменной  $x_j$ ,  $j = 1..n$ ,  $n$  – число входных переменных.

Затем с использованием максимальной композиции полученных усеченных функций принадлежности  $\mu_{B_i}(y)$ ,  $i = 1..s$  определяется функция принадлежности выходного фазимножества  $\mu_B(y)$ :

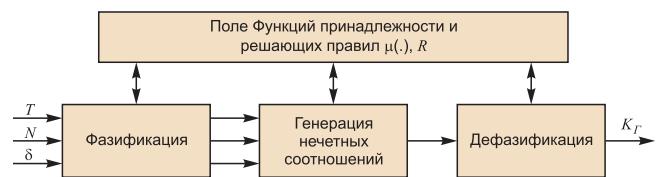


Рис. 1. Структурная схема нечеткой модели оценивания эксплуатационной надежности автоматизированных систем

Таблица 1. Термы лингвистической переменной <срок эксплуатации>

Терм	ОЭ	ГСЭ	ППЭ1	ППР1	ППЭ2	ППР2	ППЭ3	КСС
Границы интервальных значений, (ед. измерений – год)	(0):(1)	(0):(3)	(1):(8)	(6):(10)	(8):(16)	(14):(18)	(16):(24)	(22):(25)

$$\mu_B(y) = \max_i(\mu_{B_i}(y)). \tag{2}$$

**Этап 3. Дефазификация** заключается в получении численного значения нечеткой выходной переменной (вывода)  $y_i^*$  на основании соответствующей ей функции принадлежности. Наиболее эффективным с точки зрения полноты использования априорной информации представляется подход на основе нечеткого центрирования [3]. При данном подходе численное ("четкое") значение выходной переменной  $y_o$  рассчитывается как горизонтальная составляющая координат центра физической массы выходного фазимножества  $B$ , распределенной в двумерном пространстве, по следующей формуле:

$$y_o = \frac{\int y \cdot \mu_B(y) dy}{\int \mu_B(y) dy}. \tag{3}$$

Практическое использование нечеткой модели для оценивания надежности ИВКЭ требует произвести ее предварительную настройку, то есть определить параметры термов лингвистических переменных и решающие правила. Рассмотрим вопрос определения термов для используемых лингвистических переменных для конкретной предметной области, связанной с АИИС КУЭ.

*Входная лингвистическая переменная <срок эксплуатации>*.

Введем для нее следующий набор термов: "Опытная эксплуатация" ("ОЭ"), "Гарантийный срок эксплуатации" ("ГСЭ"), "Постоянная промышленная эксплуатация" ("ППЭ"), "Планово-предупредительный ремонт" ("ППР") и "Конец срока службы" ("КСС").

Терм "Опытная эксплуатация" характеризует период эксплуатации системы, в течение которого проверяется способность системы выполнять требуемые функции и выявляются ее недостатки. В этот период в системе могут наблюдаться отказы, вызванные тем, что режимы работы оборудования могут отличаться от предполагаемых. Как правило, опытная эксплуатация длится не более полугода после начала работы системы, в редких случаях она достигает 1 года.

Выбор терма "Гарантийный срок эксплуатации" обусловлен тем, что у новых устройств наблюдается

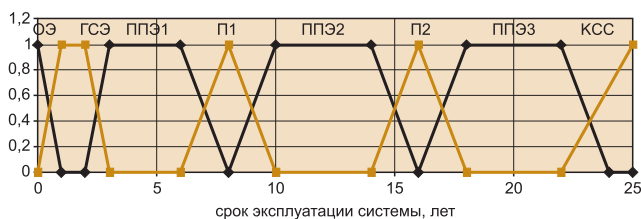


Рис. 2. Функции принадлежности для входной лингвистической переменной <срок эксплуатации>

непостоянство величины интенсивности отказов, связанное с тем, что в этот период могут проявляться скрытые дефекты, то есть вероятность отказа в данный период будет выше, чем в период нормальной эксплуатации. Как правило, производители компонент ИВКЭ устанавливают длительность гарантийного периода эксплуатации, не превышающую 3 лет.

Учитывая повторяемость периодов жизненного цикла системы АИИС КУЭ, предлагается кратное использование гостированных термов "Постоянная промышленная эксплуатация" ("ППЭ") и "Планово-предупредительный ремонт" ("ППР").

Термы "ППЭ 1, 2, 3", характеризуют периоды жизненного цикла оборудования, когда будет наблюдаться относительное постоянство интенсивности отказов.

Термы "ППР 1, 2", характеризуют периоды поверки и профилактического обслуживания оборудования. В эти периоды интенсивность отказов обычно бывает выше, по сравнению с периодом нормальной эксплуатации, а сами отказы могут быть связаны не только с поломкой оборудования, но и с выходом погрешностей измерения за допустимые пределы. Выбор величины интервалов связан с тем, что нормативные документы требуют, чтобы профилактическое обслуживание средств измерения проводилось с периодичностью 7...8 лет.

Терм "Конец срока службы" ("КСС") характеризует отказы, обусловленные изношенностью оборудования. Величина интервалов выбирается из показателей срока службы трансформаторов тока и напряжения и электросчетчиков, а также всей системы в целом, которые в основном лежат в диапазоне 20...25 лет.

Результат выбора границ интервалов термов для лингвистической переменной <срок эксплуатации> представлен в виде табл. 1.

Функции принадлежности будут иметь вид, изображенный на рис. 2.

*Входная лингвистическая переменная <отклонение режима>*.

Режим работы компонентов ИВКЭ может характеризоваться температурными условиями и влажностью в помещении, напряжением питания, напряженностью электромагнитного поля и т.п. Однако, как показывают исследования [4], доминирующее влияние на практике оказывает отклонение от номинального режима величины тока в измерительных цепях трансформаторов тока (ТТ), трансформаторов напряжения (ТН) и счетчиков электрической энергии. Поэтому предлагается использовать этот показатель в качестве характеристики отклонения режима. При значениях тока ниже номинального происходит рост суммарной погрешности измерений вплоть до выхода за допусти-

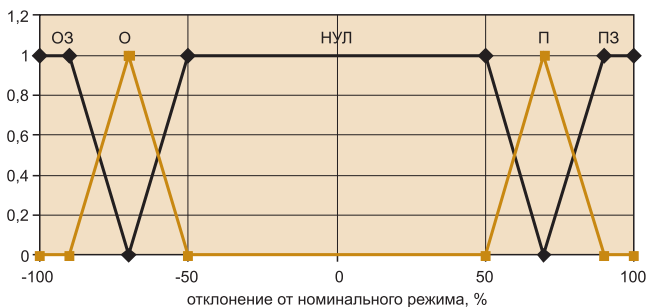


Рис. 3. Функции принадлежности для входной лингвистической переменной <отклонение режима>

мые пределы. Такая ситуация может расцениваться как отказ. При значениях тока выше номинального к росту погрешности добавляется повышенная нагрузка на элементы, которая может привести к выходу устройств из строя. Согласно документации на оборудование, допустимым считается отклонение значений тока не больше 50...60%, а при отклонениях свыше 80...90% оборудование, как правило, становится неработоспособным.

С учетом этого, в нечеткой модели для данной входной лингвистической переменной введены термы "отрицательное значительное" (ОЗ), "отрицательное" (О), "нулевое" (НУЛ), "положительное" (П), "положительное значительное" (ПЗ). Результат выбора границ интервалов термов представлен в табл. 2.

Функции принадлежности будут иметь вид, изображенный на рис. 3.

*Входная лингвистическая переменная <сложность системы>.*

Для описания сложности рассматриваемой системы введены термы "простая", "средней сложности", "сложная". Применительно к ИВКЭ принимается, что его сложность характеризуется числом точек измерения.

Результат выбора границ интервалов термов представлен в табл. 3. Численные значения даны в привязке к конкретной предметной области: АИИС КУЭ на объектах трубопроводного транспорта.

Функции принадлежности графически представлены на рис. 4.

*Выходная лингвистическая переменная <коэффициент готовности>.*

Для выходной лингвистической переменной <коэффициент готовности>  $K_r$  введены термы "неудов-

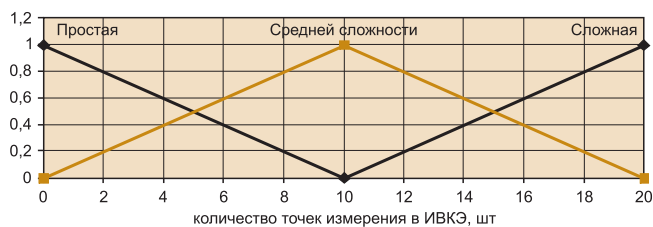


Рис. 4. Функции принадлежности для входной лингвистической переменной <сложность системы>

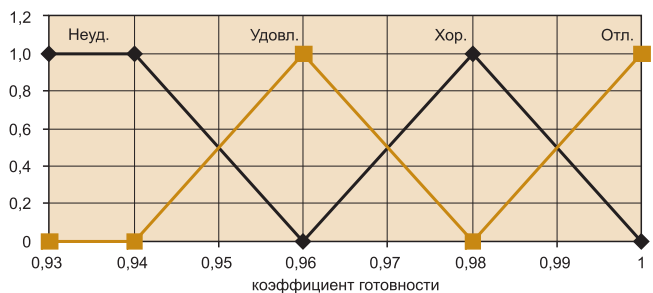


Рис. 5. Функции принадлежности для входной лингвистической переменной <коэффициент готовности>

летворительный", "удовлетворительный", "хороший", "отличный". Данный набор понятий является привычным для эксперта и должен упростить как задачу формирования границ интервалов термов экспертом применительно к конкретной системе, так и интерпретацию получаемых при расчетах результатов без потери в содержательности.

Согласно требованиям нормативной документации система с  $K_r \leq 0,95$  является непригодной для эксплуатации. В соответствии с этим выбраны границы интервалов, представленные в табл. 4. Полученные для данной лингвистической переменной функции принадлежности изображены на рис. 5.

Следующим шагом является синтез решающих правил, состоящий в формировании решающих правил R на основе экспертных оценок, статистических данных по отказам. Для трех входных переменных: <срок эксплуатации> T, <отклонение режима>  $\delta$ , <сложность системы> N предлагается сконструировать бинарные поля для двух входных лингвистических переменных при фиксированном значении третьей. Такой переменной является <сложность системы>, мощность терм-множества которой равна 3. Таким образом, предлагается использовать при расче-

Таблица 2. Термы лингвистической переменной <отклонение>

Терм	Отрицательное значительное (ОЗ)	Отрицательное (О)	Нулевое (НУЛ)	Положительное (П)	Положительное значительное (ПЗ)
Границы интервалов (ед. измерений – % к номинальному режиму)	(-100):(-70)	(-90):(-50)	(-70):70)	(50):(90)	(70):(100)

Таблица 3. Термы лингвистической переменной <сложность системы>

Терм	Простая	Средней сложности	Сложная
Границы интервалов, (ед. измерений – ед.)	(0):(10)	(0):(10)	(10):(20)

Таблица 4. Термы лингвистической переменной <коэффициент готовности>

Терм	Неудовлетворительный	Удовлетворительный	Хороший	Отличный
Границы интервалов	(0.93):(0.96)	(0.94):(0.98)	(0.96):(1)	(0.98):(1)

Таблица 5. Матрица бинарных отношений поля решающих правил  $R_1$

$\delta \backslash T$	ОЭ	ГСЭ	ППЭ1	ППР1	ППЭ2	ППР2	ППЭ3	КСС
ОЗ	УДОВЛ	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД
О	УДОВЛ	ХОР	УДОВЛ	УДОВЛ	УДОВЛ	УДОВЛ	УДОВЛ	НЕУД
НУЛ	ХОР	ХОР	ОТЛ	ХОР	ХОР	УДОВЛ	ХОР	УДОВЛ
П	УДОВЛ	УДОВЛ	УДОВЛ	НЕУД	УДОВЛ	НЕУД	УДОВЛ	НЕУД
ПЗ	УДОВЛ	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД

Таблица 6. Матрица бинарных отношений поля решающих правил  $R_2$

$\delta \backslash T$	ОЭ	ГСЭ	ППЭ1	ППР1	ППЭ2	ППР2	ППЭ3	КСС
ОЗ	УДОВЛ	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД
О	УДОВЛ	ХОР	УДОВЛ	УДОВЛ	УДОВЛ	УДОВЛ	УДОВЛ	НЕУД
НУЛ	ХОР	ХОР	ОТЛ	ХОР	ХОР	УДОВЛ	ХОР	УДОВЛ
П	УДОВЛ	УДОВЛ	УДОВЛ	НЕУД	УДОВЛ	НЕУД	УДОВЛ	НЕУД
ПЗ	УДОВЛ	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД

Таблица 7. Матрица бинарных отношений поля решающих правил  $R_3$

$\delta \backslash T$	ОЭ	ГСЭ	ППЭ1	ППР1	ППЭ2	ППР2	ППЭ3	КСС
ОЗ	УДОВЛ	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД
О	УДОВЛ	ХОР	УДОВЛ	УДОВЛ	УДОВЛ	УДОВЛ	УДОВЛ	НЕУД
НУЛ	ХОР	ХОР	ОТЛ	ХОР	ХОР	УДОВЛ	ХОР	УДОВЛ
П	УДОВЛ	УДОВЛ	УДОВЛ	НЕУД	УДОВЛ	НЕУД	УДОВЛ	НЕУД
ПЗ	УДОВЛ	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД	НЕУД

Таблица 8. Исходные данные и полученные результаты

Наименование производственной единицы ОАО "МН "Дружба"	Средний срок эксплуатации оборудования, лет	Отклонение тока в измерительных цепях от номинального, %	Число точек измерения, ед.	$K_2$	$K_2$ (на основе статистического подхода)
ЛПДС "Никольское"	5,14	38	6	0,993	0,994
ЛПДС "Клин"	5,74	43	10	0,980	0,986
ЛПДС "Лопатино"	3,86	24	8	0,993	0,992
ЛПДС "Сызрань"	6,91	35	4	0,983	0,994
ЛПДС "Унеча"	8	38	4	0,980	0,995
НПС "Аксинино"	12,1	28	5	0,985	0,994
НПС "Вербилково"	3	15	4	0,994	0,996
НПС "Верховье"	7,41	23	5	0,981	0,993
НПС "Губино"	5	34	4	0,994	0,996
НПС "Десна"	8,71	45	10	0,980	0,987
НПС "Долгие Буды"	3	24	4	0,994	0,996
НПС "Касторное"	3	27	4	0,994	0,996
НПС "Кижеватово"	3	24	7	0,994	0,993
НПС "Красноселки"	5,5	40	5	0,993	0,995
НПС "Кузнецк"	5,7	38	8	0,993	0,992
НПС "Лубна"	14,7	31	4	0,985	0,994
НПС "Малиновка"	7	25	5	0,983	0,995
НПС "Мантурово"	5,63	28	4	0,994	0,996
НПС "Новозыбков"	16,23	24	6	0,967	0,971
НПС "Новоселово"	3	33	4	0,994	0,995
НПС "Ростовка"	8,12	36	7	0,980	0,992
НПС "Соседка"	10,5	29	5	0,985	0,990
НПС "Становая"	15,86	29	7	0,962	0,967

тах поля решающих правил  $R_1, R_2, R_3$  при следующих зафиксированных терминах переменной <сложность системы> "простая", "средней сложности" и "сложная" соответственно.

В результате анализа статистических данных по отказам и факторов, использованных выше при настройке функций принадлежности, были структурированы зависимости надежности ИВКЭ от сложности его структуры, срока и условий эксплуатации, что представлено в табл. 5, 6, 7.

В результате настройки нечеткой модели сформирована процедура методики для оценивания эксплуатационной надежности.

Методика апробирована на практике при оценивании эксплуатационной надежности ИВКЭ АИИС КУЭ, расположенных на производственных единицах ОАО "Магистральный нефтепровод "Дружба": нефтеперекачивающих станциях (НПС) и линейных перекачивающих диспетчерских станциях (ЛПДС). Исходные данные и полученные результаты показаны в табл. 8.

Сравнение оценок, полученных согласно разработанной методики, с ре-

зультатами расчетов с помощью статистического подхода (как отношение времени исправной работы к сумме времени исправной работы и вынужденных простоев ИВКЭ за один и тот же календарный срок) показывает, что расхождение между полученными результатами не превышает 3..5%, что свидетельствует об адекватности разработанной методики.

Таким образом, предложенная методика позволяет произвести оценивание надежности находящихся в эксплуатации промышленных систем с учетом их фактического состояния, произведенных профилактических и ремонтных работ.

*Косинский Михаил Юрьевич – студент Московского энергетического института (технического университета), Шихин Владимир Анатольевич – канд. техн. наук, руководитель департамента электроэнергетики ООО "АНТ-Информ"*  
 Контактный телефон (495) 458-31-56. E-mail: KosinskyMY@mpei.ru / ShikhinVA@mpei.ru

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУКТОРА АЛГОРИТМОВ ВНУТРИЛАБОРАТОРНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА

**С.В. Щелканов, А.Г. Терещенко,  
 А.Л. Юнак (НИИ ВН Томского политехнического университета),  
 В.П. Григорьев, О.Н. Вылегжанин (Томский политехнический университет)**

*Автоматизация расчетов по меняющемуся перечню алгоритмов внутрилабораторного контроля в соответствии с различными нормативными документами является трудоемкой задачей. Предложена концептуальная модель динамического конструирования алгоритмов контроля как решение задачи соответствия программного комплекса по автоматизации внутрилабораторного контроля не только для известных действующих нормативных документов, но и для их возможных модификаций.*

*Ключевые слова: ЛИУС, ЛИМС, лаборатории, внутрилабораторный контроль, карты Шухарта.*

Практически любое промышленное предприятие имеет в своей структуре аналитические (испытательные) лаборатории (АЛ). Целью АЛ является получение данных о химическом составе веществ и реактивов, которые необходимы для материального производства, рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды, здравоохранения, научных исследований [1].

Аккредитованная АЛ обязана проводить внутрилабораторный контроль (ВЛК) для подтверждения собственной компетентности. Нередко это сопряжено как со сложностью получения самих результатов количественного химического анализа (КХА), так и с трудоемкостью последующей оценки показателей качества результатов анализа (метрологических характеристик). Поэтому автоматизация ВЛК становится для АЛ важнейшей составляющей их успешной деятельности.

Для автоматизации деятельности АЛ применяется специальный класс информационных систем – лабораторные информационно-управляющие системы (ЛИУС) [2]. Кроме того, на российском рынке существуют специальные программы, автоматизирующие ВЛК. Среди информационных систем класса ЛИУС только в ЛИУС "Химик-аналитик" реализован функциональный блок автоматизации ВЛК – ВЛК-1, отвечающий требованиям российской нормативной документации (МИ 2335-2003, ГОСТ Р ИСО 5725-2002, РМГ 59-2003) [3, 4, 5, 6].

### Список литературы

1. Косинский М.Ю., Шихин В.А. Исследование возможностей нечетких моделей для оценивания эксплуатационной надежности автоматизированных систем // Мехатроника, Автоматизация, Управление. 2009. №8
2. Mamdani E.H. and Assilian S. An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. International Journal of Man-Machine Studies, 7, 1975
3. McNeill F.M., Thro E. Fuzzy Logic. -Academic Press, Cambridge, MA, 1994.
4. Гривастов Д., Кондаков В., Кузовников В. и др. Особенности поверки АИИС КУЭ. Существующие методики требуют доработки. Информационно-справочное издание "Новости электротехники" №2(32) 2005.

Опыт многолетней эксплуатации и совершенствования проектных решений в ЛИУС "Химик-аналитик" [7, 8] показал, что:

- ВЛК-1 является самым востребованным среди пользователей ЛИУС;
  - интерфейс ВЛК-1 хорошо воспринимается пользователями в лице химиков-аналитиков АЛ;
  - ВЛК-1 обладает достаточной степенью адаптивности (настройка, конфигурирование) под особенности конкретных АЛ.
- Вместе с тем необходимо учитывать тенденции развития данного научно-технического направления, заключающиеся в:
- непрерывном расширении функционального объема работ АЛ за счет приобретения более совершенного измерительного оборудования, применения новых методик анализа;
  - применении некоторыми АЛ в деятельности по ВЛК алгоритмов, не представленных в указанной нормативной документации (НД), либо их модернизированных вариантов;
  - регламентации процедур ВЛК нормативными документами отдельных отраслей;
  - вступлением в силу РМГ 76-2004, вызвавшим необходимость модернизации некоторых прежних алгоритмов для ВЛК.

Все это привело к тому, что функциональных возможностей ВЛК-1 оказалось уже недостаточно для