



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ГРАД СОФИЯ  
ЕЛЕКТРОМАШИНОСТРОИТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ  
КАТЕДРА ТОПЛОЕНЕРГЕТИКА И ЯДРЕНА ЕНЕРГЕТИКА

# ДОКЛАД

от Анатолий Николаев Митев, ФН 041617005  
студент от специалност ЯЕ - МИ

на тема Диагностични системи за ВВЭР-1000

**РЕЗЮМЕ** – Тежки ядрени аварии, контрол на критичните параметри на ядреното съоръжение, диагностични системи за състоянието на оборудването, системи за смекчаване последиците от тежки аварии, системи за след-авариен мониторинг.

**СЪДЪРЖАНИЕ**

I. ВЪВЕДЕНИЕ .....3

II. ДИАГНОСТИЧНИ СИСТЕМИ .....3

    II.1. Система за бързо откриване и локализиране на протечки (FLUS) .....3

    II.2. Система за детекция на мигриращи тела (KUS) .....6

    II.3. Система за ограничаване термичните цикли на тръбопроводите от първи контур (FAMOS) .....7

    II.4. Система за контрол нивото на топлоносителя .....9

    II.5. Система за измерване на наличието на водород.....11

    II.6. Система за сеизмичен мониторинг и контрол .....12

III. СИСТЕМИ ЗА СЛЕД-АВАРИЕН МОНИТОРИНГ И КОНТРОЛ .....13

    III.1. Система за контрол на критичните параметри .....13

    III.2. Широко-обхватен температурен контрол на корпуса на реактора.....14

    III.3. Система за пасивно автокаталитично изгаряне на генерирания водород.....15

IV. РЕЗУЛТАТИ ОТ РАБОТАТА НА ДИАГНОСТИЧНИТЕ СИСТЕМИ .....17

V. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ .....18

**СПИСЪК НА ФИГУРИТЕ**

фигура 1. Теч преди разрушаване. Принцип на измерване на система FLUS. ....4

фигура 2. Блокова схема на система FLUS.....5

фигура 3. Блокова схема на система KUS. ....7

фигура 4. Блокова схема на система FAMOS.....8

фигура 5. Разположение на термодвойките в КНИТУ и в корпуса на реактора. Блокова схема на един измервателен канал.....10

фигура 6. Блокова схема на системата за откриване на водород в херметичния обем. ....12

фигура 7. Блокова схема на системата за сеизмичен мониторинг и контрол.....13

фигура 8. Блокова схема на системата за контрол на критичните параметри. ....14

фигура 9. Разположение на термодвойките и блокова схема на един измервателен канал...15

фигура 10. Схема за изгаряне на генерирания водород в херметичния обем.....16

**СПИСЪК НА ТАБЛИЦИТЕ**

таблица 1. Линии за наблюдение на FLUS. ....5

таблица 2. Разположение на акселерометрите на KUS. ....6

таблица 3. Разположение на измервателните секции на FAMOS.....9

таблица 4. Разположение на датчиците за водород. ....11

таблица 5. Разположение на сеизмичните датчици. ....12

таблица 6. Местоположение на пасивните автокаталитични рекомбинатори.....16

## I. ВЪВЕДЕНИЕ

Тежките ядрени аварии в атомните енергийни централи (АЕЦ) са свързани със сериозен екологичен отпечатък както върху самата централа и нейният персонал, така и върху околната среда и населението. Както се случи след възникването на трите най-тежки аварии в АЕЦ Три Майл Айлънд, АЕЦ Чернобил и АЕЦ Фукушима. Тези инциденти доведоха до разрастване на антиядрените движения, вземане на политически решения водещи до глобални въздействия върху целият ядрен отрасъл. Тези решения, включващи преждевременно извеждане от експлоатация на генериращи мощности и/или прекратяване на проекти в различна фаза на проектиране, строеж и предпускови операции, бяха предприети в редица страни като САЩ, Италия, Австрия, Германия, Виетнам, Япония.

Винаги е по-добре, при възможност, една авария да може да се предотврати преди да се случи. За тази цел са разработени редица диагностични системи, които изследвайки конкретни параметри на ядрената енергийна установка, дават ясна информация за възникване на процеси, предшестващи евентуална тежка авария. Операторът, по предоставените от диагностичната система данни, може да вземе адекватно решение за предприемане на превантивни мерки с цел предотвратяване на евентуалната авария. Част от разработените диагностични системи са:

- Система за бързо откриване и локализиране на протечки (FLUS);
- Система за детекция на мигриращи тела (KUS);
- Система за контрол термичните цикли на тръбопроводите от I<sup>ВН</sup> контур (FAMOS);
- Система за контрол нивото на топлоносителя;
- Система за измерване на наличието на водород;
- Система за сеизмичен мониторинг и контрол.

В случай на тежка авария, експлоатиращата организация трябва да има възможност да управлява последствията от нея. За да е осъществимо това, операторите и ликвидаторите на аварията трябва да имат технически средства за наблюдение на критичните параметри на авариралото ядрено съоръжение. Разработени са редица системи за наблюдение на различни параметри във вече авариралият ядрен реактор. Такива системи са:

- Система за контрол на критичните параметри;
- Широкообхватен температурен контрол на корпуса на реактора;
- Система за пасивно автокаталитично изгаряне на генерирания водород;
- Система за измерване на волуметрична концентрация на газовете (HERMETIS);

Съществуват множество разработки и технически средства за диагностика състоянието на оборудването на ядрените енергийни блокове, както и за следавариен мониторинг и контрол на блока. В този доклад ще бъдат разгледани само инсталираните в АЕЦ Козлодуй системи за диагностика и системи за следавариен контрол на ядрени енергийни блокове V и VI, както и такива, които предстои да бъдат инсталирани в близко бъдеще.

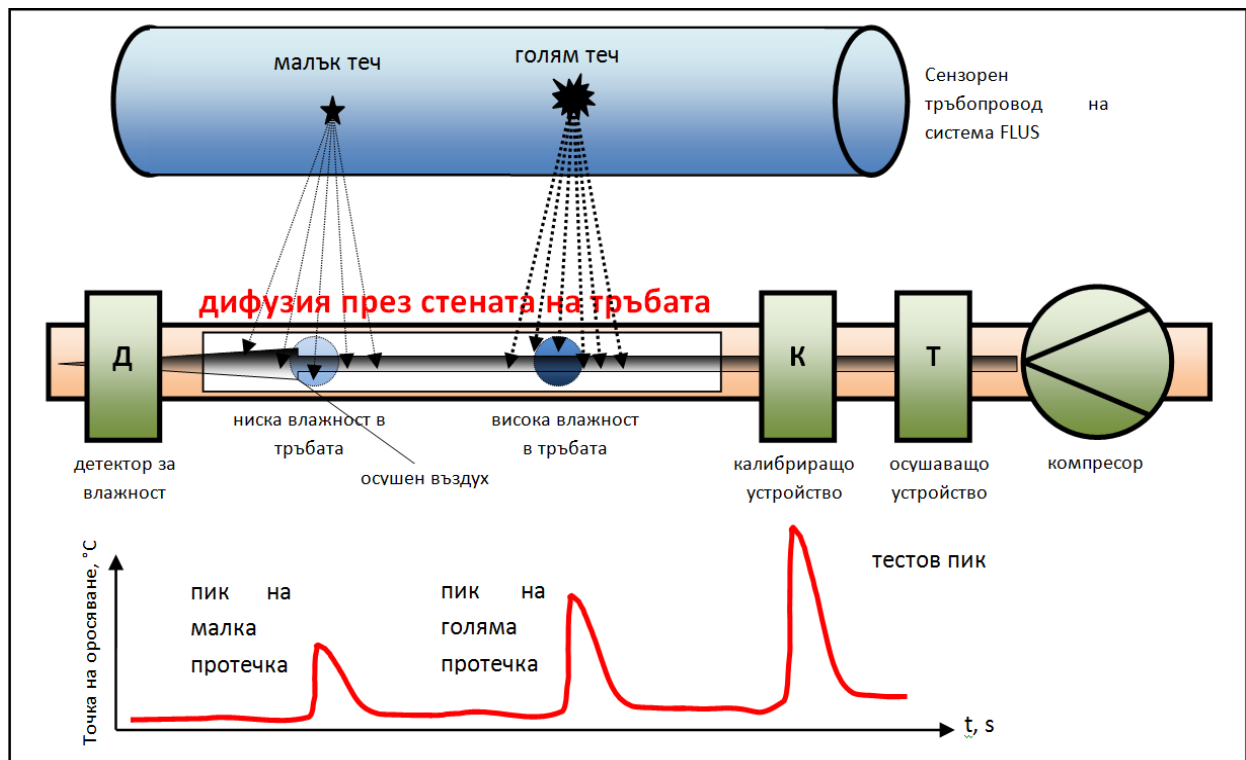
## II. ДИАГНОСТИЧНИ СИСТЕМИ

### II.1. Система за бързо откриване и локализиране на протечки (FLUS)

Концепцията, която стои в основата на разработването на тази система се нарича теч преди разрушаване (*Leak Before Break*). Много малки протечки в ранна фаза могат да бъдат откривани преди те да предизвикат необратимо разрушаване на повърхността на тръбопроводите и съдове под налягане (фиг. 1).

Системата FLUS е оперативно-диагностична система за наблюдение и оценка на теч в ранна фаза от първи контур. Тя е с непрекъснат 24-часов работен цикъл. Системата наблюдава за наличието на влажност и пара над предварително определени точки от технологичното оборудване на първи контур. В случай на протечка, която се развива във

времето, системата осигурява ранното ѝ откриване и наблюдение на нейното развитие във времето. Отличителна черта на система FLUS е нейната висока чувствителност по отношение на откриване и локализиране наличието на влага (точка на оросяване).



фигура 1. Теч преди разрушаване. Принцип на измерване на система FLUS.

FLUS измерва нивото на влага над локална област посредством метални сензорни тръби, устойчиви на радиационно и топлинно въздействие. тръбата е снабдена с дифузионни точки през определени интервали, които се състоят от пресовани хром-никелови таблетки. Тези таблетки имат пореста зърнеста структура с големина на отделното зърно от около 0,5  $\mu\text{m}$ . Влагата дифузира през порестата структура и се натрупва във вътрешността на измервателната тръба. Количеството на тази влага е пропорционално на количеството влага и/или пара, пропусната през протечката.

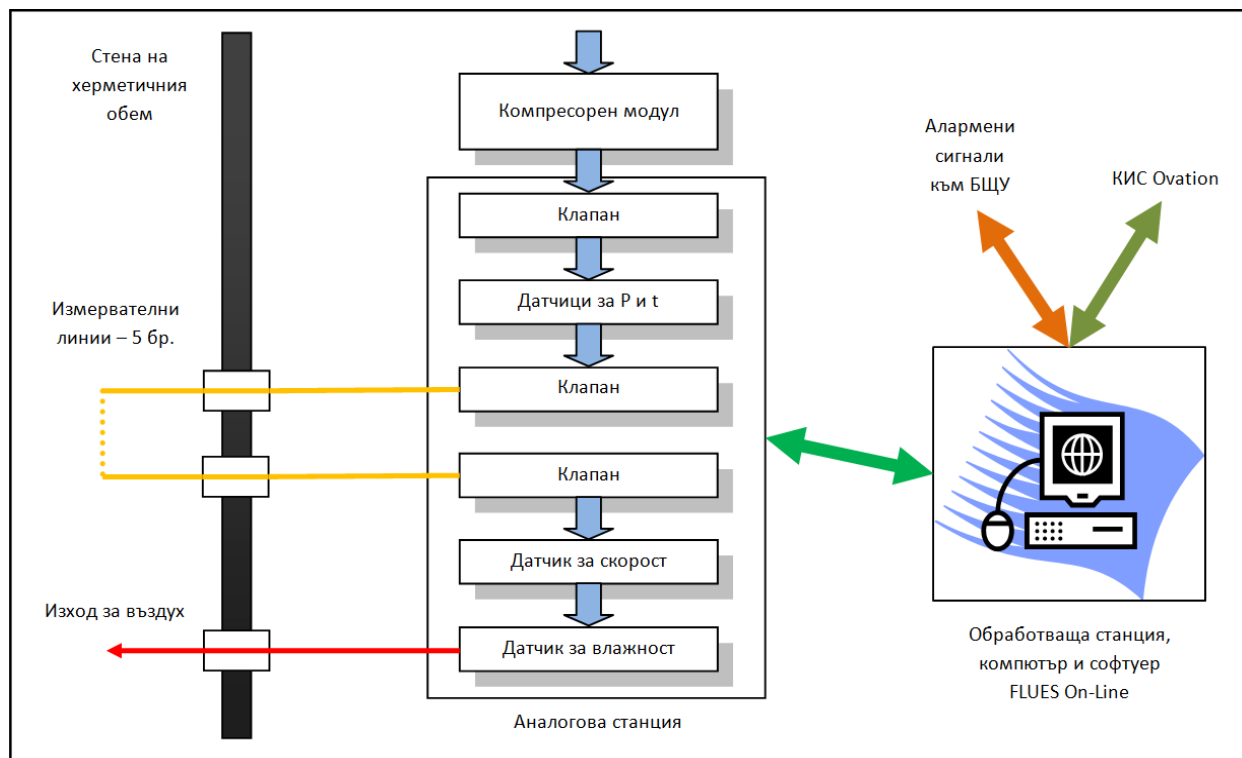
Тръбата се запълва с предварително осушен въздух от компресорното устройство. На определени интервали от време въздушният стълб от тръбата, заедно с дифузираната в него влага, се подава към датчика за влажност. Съдържанието на влага в околния въздух се профилира по дължината на сензорната тръба като изходен сигнал от датчика. Наличието и количеството на вода или пара ще се появи като пик върху профила на влажност, а амплитудата на пика ще е индикация за големината на протечката. За местоположението на протечката може да се съди по времето на пътуване на въздушния поток в сензорната тръба и от скоростта на преминаване на този поток през датчика за влажност.

В края на всеки измервателен интервал се създава контролен въздушен поток с контролирано количество на влага, създадено от калибриращо устройство, което ще предизвика „тестов пик“ с еталонни стойности за време на пътуване и съдържание на влага. Този тестов пик се използва за самодиагностика на цялата система (калибриране на датчика за влажност, функциониране на отделните модули на системата, цялост на сензорната тръба). Ако тестовият пик не се получи с очакваната амплитуда в очаквания времеви прозорец, то системата известява оператора за несъответствие чрез алармен сигнал.

Алармен сигнал за наличие на протечка се извежда в случаите, когато кривата на текущото измерване нарасне над предварително избрана еталонна крива със специфичен

коэффициент (относителна аларма) или когато се надскочи определен постоянен праг (абсолютна аларма).

Системата FLUS представлява измервателна система в реално време, която се управлява от индустриален компютър и софтуерен пакет FLUS On-Line. Блоквата схема на системата е показана на фиг. 2. Данните от измерванията се събират, оценяват и архивират от софтуера, който също така анализира текущото измерване. В случай на повишаване на влажността над определени прагове се генерират съответните алармени сигнали. Операторът може да се информира за нивото на влажността и да локализира местонахождението на неговото повишение. В реално време оператора може да се изготви графики за нивата на влажност на всяка една измервателна линия, а също така и графики за движението на точката на оросяване във функция от времето.



фигура 2. Блоквата схема на система FLUS.

Общо пет измервателни линии (табл. 1) са инсталирани на системите FLUS на V<sup>ТИ</sup> и VI<sup>ТИ</sup> енергиен блок на АЕЦ Козлодуй, които осигуряват откриване на протечки по основното оборудване на първи контур и херметичният обем на блока. Измервателните линии съдържат сензорни участъци, разположени в зоните на наблюдение и несензорни свързващи участъци. Всяка линия за наблюдение се оформя като затворен кръг, стартирайки и завършвайки с несензорните си участъци в аналоговата станция.

таблица 1. Линии за наблюдение на FLUS.

Наблюдение	Оборудване
Линия 1	главни циркуляционни тръбопроводи на кръгове №№ 1 и 4, включващи частта по първи контур на главните циркуляционни помпи и най-ниската част на парогенераторите в участъците между топъл и горещ щуцер.
Линия 2	главни циркуляционни тръбопроводи на кръгове №№ 2 и 3, включващи частта по първи контур на главните циркуляционни помпи и най-ниската част на парогенераторите в участъците между топъл и горещ щуцер.
Линия 3	компенсатор на налягането заедно с дихателен тръбопровод.
Линия 4	горен блок на реактора.
Линия 5	14 характерни местоположения в херметичния обем.

## II.2. Система за детекция на мигриращи тела (KUS)

Наличието на мигриращи тела в потока на топлоносителя може да доведе до значими повреди на оборудването на първи контур или ядреното гориво. Тези мигриращи тела може да представляват случайно попаднали в отворено оборудвано чужди тела по време на ремонт, откъснати фрагменти от оборудване, продукти на корозия. Ето защо чрез ранното тяхно откриване може да се предотвратят евентуални нежелани последици върху оборудването и ядреното гориво.

Системата за детекция на мигриращи тела KUS следи постоянно нивата на шум в първи контур по време на експлоатация на блока. Целта на това наблюдение е локализиране на мигриращи тела в границата на контура. Принципът на измерване се основава на факта, че мигриращите тела се носят от потока на топлоносителя в първи контур и влияят на стените на оборудването. Това влияние създава структурен шум, който се разпространява през структурата на метала. Структурният шум може да се измери с подходящи датчици и да се анализира с помощта на софтуерна обработка.

Системата открива откъснати (мигриращи) тела или разхлабени обекти като преди всичко непрекъснато следи амплитудата на сигналите, предизвикани от въздействието на мигриращото тяло в определен честотен обхват. Правят се сравнителни измервания за да се установят праговите стойности. Ако тези стойности се превишават, сигналите от структурен шум от всички канали се записват в предварително зададен времеви обхват. След това специализираният KUS софтуер оценява събитието и ако е необходимо подава алармен сигнал. Събирането и обработката на сигналите в цифров вид дава възможност за записване и обработка на предисторията на сигнала, което е важно за последващата му оценка.

Датчиците, които използва системата KUS са 19 на брой и представляват пиезометрични акселерометри. Те са закрепени директно към външните метални повърхности на различни компоненти на основното оборудване на първи контур, разположено в херметичния обем (табл. 1).

таблица 2. Разположение на акселерометрите на KUS.

№ на канал	Местоположение на датчик KUS (акселерометър)	Брой датчици	Закрепване
Канал № 1	Дъно на реактора, на 90° за V <sup>-ти</sup> ЕБ; на 20° за VI <sup>-ти</sup> ЕБ	1	Магнит
Канал № 2	Дъно на реактора, на 210° за V <sup>-ти</sup> ЕБ; на 140° за VI <sup>-ти</sup> ЕБ	1	Магнит
Канал № 3	Дъно на реактора, на 330° за V <sup>-ти</sup> ЕБ; на 260° за VI <sup>-ти</sup> ЕБ	1	Магнит
Канал № 4÷7	Горещ щуцер на реактора, 1÷4 цирк. кръг	4	Лента
Канал № 8÷11	Горещ щуцер на парогенератора, 1÷4 цирк. кръг	4	Лента
Канал № 12÷15	ГЦП на 1÷4 цирк. кръг	4	Лента
Канал № 16÷19	Щуцер на подхранваща вода на ПГ на 1÷4 цирк. кръг	4	Лента
<b>ОБЩО ДАТЧИЦИ:</b>		<b>19</b>	

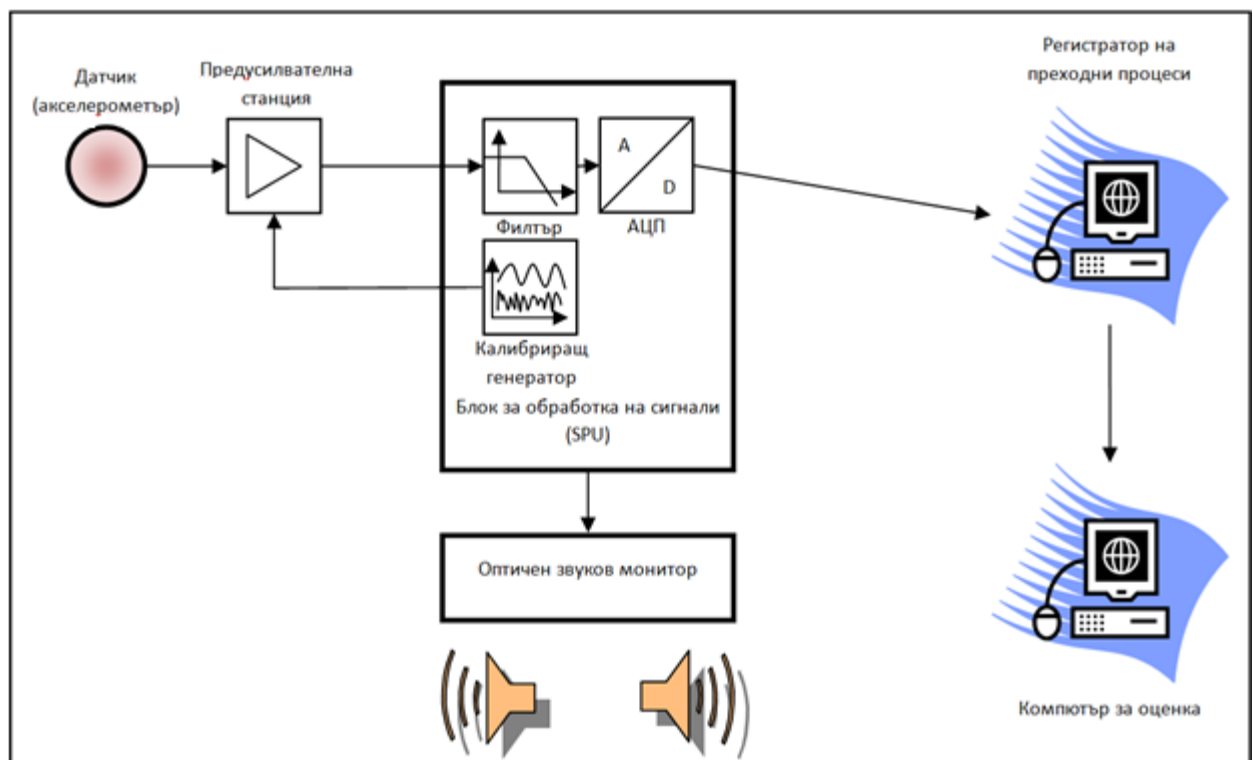
Блоковата схема на системата е показана на фиг. 3, от където е видно, че един измервателен канал се състои от акселерометър за детекция на структурен шум; предусилвателна станция, в която се осъществява преобразуване и кондициониране на сигнала. След това този аналогов сигнал се подава в блока за обработка на сигнали (SPU), където сигналът се филтрира от нискочестотни и лентови филтри, като след това се преобразува в цифров сигнал посредством аналогово-цифров преобразувател и се предава към регистратора на преходни процеси и обработващият компютър. В SPU също така е интегриран и генератор на тестов сигнал, който служи за калибрация. Регистраторът на преходни процеси (РПП), както и обработващият компютър (ОК) представляват индустриални компютри (РС), които изпълняват различни задачи. РПП работи като кръгов буфер, който при изпълнение на условие за сработване на аларма на даден канал, записва пакета сигнали за всички канали, в съответствие със зададената разрешаваща способност по

време. Т.е. РПП записва предисторията на събитието и самото събитие. След осъществяване на записа и цифровизирането на сигналите те се предават към обработващият компютър, където се осъществява генериране на аларми, анализиране, оценяване и локализиране събитията посредством софтуерният пакет KUS.

В състава на системата влиза и оптично-звук монитър (ОПМ), чрез който оператора може да прослуша в реално време аналоговият шум, генериран от акселерометъра на всеки един измервателен канал. Също така на ОПМ се изобразява визуално стойността на входните сигнали посредством светодиодна стълбича.

Системният софтуер KUS предлага широка гама функции за детайлна оценка на сигналите, предизвикани от мигриращи тела. Основните функции и действия, извършвани от софтуера на KUS са следните:

- Независима оценка на събитието в зависимост от тяхната значимост;
- Автоматична класификация в нови и известни класове от събития;
- Разпознаване на признаците на често срещаните се събития (базови признаци);
- Автоматична, интерактивна локализация;
- Извеждане на 2D и 3D графики;
- Разширена възможност за статистическа обработка;
- Периодично измерване на фоновия шум като средство за проверка на измервателните канали.



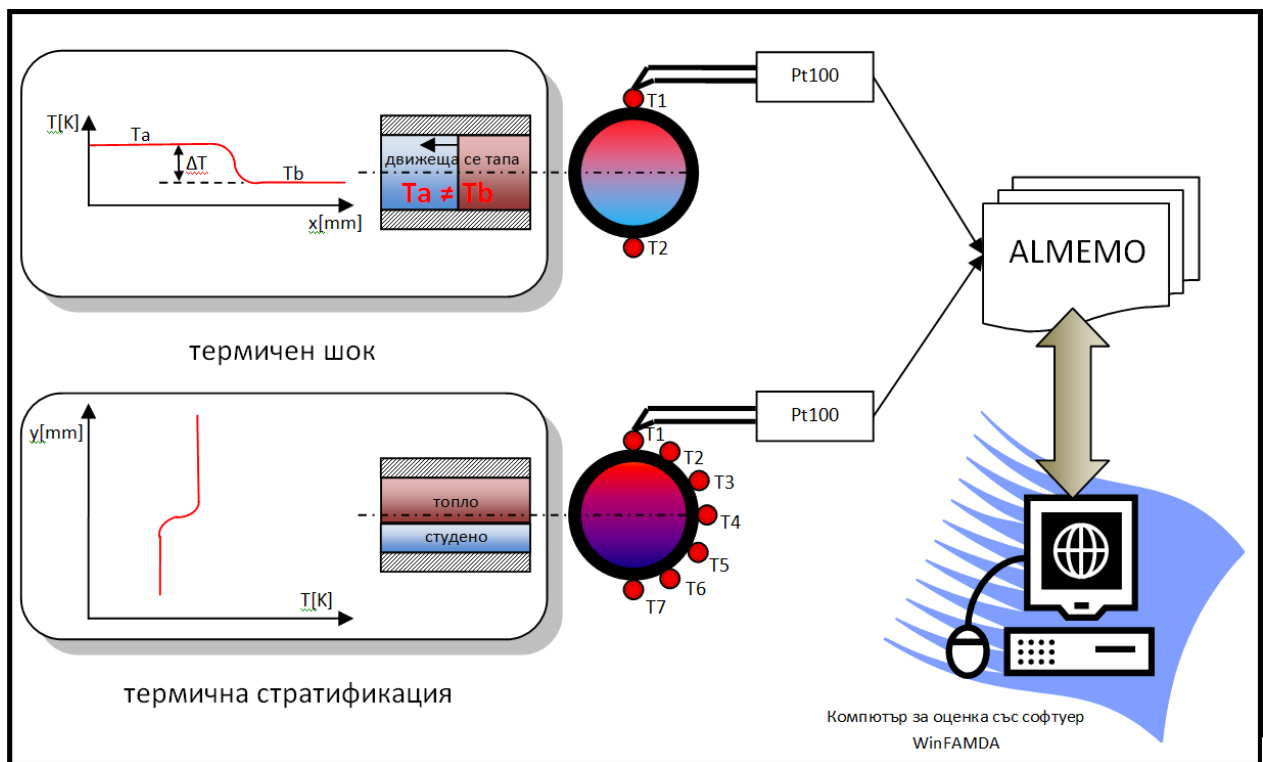
фигура 3. Блокова схема на система KUS.

### II.3. Система за ограничаване термичните цикли на тръбопроводите от първи контур (FAMOS)

Управлението на стареенето и умората в материалите, използвани в АЕЦ, както и тяхната оценка са основен са крайъгълен камък при удължаване експлоатацията на инсталираните ядрени мощности. Въвеждането на система FAMOS допълва тези оценки чрез дългосрочно измерване и съхранение на термични натоварвания и основни оперативни параметри (термична мощност на реактора, налягания, температури и пр.).

Главните товари действащи на оборудването от първи контур се състоят от термични разширения, налягане и температурни преходни процеси. Тези товари се променят при експлоатация на оборудването и предизвикват умора на материала. Наблюдението на натоваването на умора на критичните елементи е важна част от дългосрочното осигуряване на безопасността и надеждността в атомните електроцентрали. Основният принцип на системата FAMOS е измерване и съхранение на измерените от първоизточници температура, налягане и други технологични величини измерени в реално време, които характеризират променливия товар в натоварваните възли под налягане от първи контур по време на експлоатация.

Системата FAMOS е компютърна информационна система (фиг. 4), която осъществява пряко измерване на температурите на метала на различни критични участъци на тръбопроводите от първи контур, също така тя осъществява архивирането на данните, оценка на термичното стареене и проследяване на данни в реално време. Прякото измерване на температурата, в зависимост от конкретния тръбопровод, се осъществява посредством измервателни секции с термодвойки.



фигура 4. Блокова схема на система FAMOS.

Измервателните секции на V<sup>-ти</sup> и VI<sup>-ти</sup> енергиен блок на АЕЦ Козлодуй са различен брой и са разположени на различни тръбопроводи. Секциите са изградени в групи от по 2 или 7(8) термодвойки (табл. 2), като на всяка измервателна секция се осъществява температурна компенсация на студените краища на термодвойките посредством термо-съпротивление Pt100. Един измервателен канал се състои от набора термодвойки на секцията, клемна кутия термо-съпротивление Pt-100 за температурна компенсация на студените краища, регистратор на данни ALMEMO с програмируеми куплунги.

Програмното осигуряване на системата включва два софтуерни пакета – WinFAM DA и WinFAM DE. Софтуерният пакет WinFAM DA се използва за получаване и съхранение на измервателните стойности, управление на алармени сигнализации, оперативна оценка на измерените данни. А пакетът WinFAM DE се използва за свързване на данни, проверка на тяхната достоверност, графична оценка на данните, бърза оценка и др.



таблица 3. Разположение на измервателните секции на FAMOS.

Изм. секция	V <sup>™</sup> енергиен блок			Изм. секция	VI <sup>™</sup> енергиен блок		
	Бр.ТД	Система	Тръбопровод		Бр. ТД	Система	Тръбопровод
5-01	7	5TC10	Очистване на топл.	6-01	7	6TC30	Очистване на топл.
5-02	7	5YP10	Студен впръск на КО	6-02	7	6YA10	ГЦТ
5-03	7	5YP10	Студен впръск на КО	6-03	8	6YB10	Парогенератор
5-04	2	5YP10	Студен впръск на КО	6-04	7	6YP10	Дихателен тръб. на КО
5-05	7	5YP10	Студен впръск на КО	6-05	2	6YP10	Дихателен тръб. на КО
5-06	2	5YP10	Студен впръск на КО	6-06	2	6YP10	Дихателен тръб. на КО
5-07	7	5YP20	Разтоварващ тр. на КО	6-07	7	6TQ32	Авар. и план. разхл.
5-08	7	5YT11	Линия на хидроаком.	6-08	7	6TQ30	Линия за разхл. 1 кон.
5-09	7	5YT11	Линия на хидроаком.	6-09	2	6TQ40	Линия за разхл. 1 кон.
5-10	7	5YT12	Линия на хидроаком.	6-10	2	6TQ40	Линия за разхл. 1 кон.
5-11	7	5YT12	Линия на хидроаком.	6-11	7	6TQ40	Линия за разхл. 1 кон.
5-12	7	5TQ12	Авар. и план. разхл.	6-12	2	6TQ13	САОЗ високо нал.
5-13	2	5TQ12	Авар. и план. разхл.	6-13	2	6TX41	Основна вода към ПГ
5-14	2	5TX10	Аварийна вода към ПГ				
5-15	2	5TX41	Основна вода към ПГ				

#### II.4. Система за контрол нивото на топлоносителя

Преди аварията в Три Майл Айланд за контрол на нивото на топлоносителя в първи контур на реакторите е използвало нивото на топлоносителя в компенсатора на налягането. Аварията в Три Майл Айланд показва че това не е надежден метод за определяне на нивото на топлоносителя в корпуса на реактора. По тази причина измерването на нивото на топлоносителя в корпуса на реактора трябва да бъде независимо и различно от измерването на нивото на топлоносителя в компенсатора на налягане. За реакторите тип ВВЭР се използват резервирани устройства за измерване на ниво, всяко едно от тях състоящо се от 5 датчика разположени един над друг. Като датчици се използват три нагреваеми и две ненагреваеми термодвойки. Термодвойките са разположени във вътрешността на един канал за неутронни измервания (КНИТУ), те имат добър термоконтат към вътрешната повърхност на кожуха. Ненагреваемите термодвойки се използват като еталонни датчици, а нагреваемите – за измервателни датчици (фиг. 5).

Принципът на измерването се основава на факта, че топлообмена във вода е сравнително по-висок отколкото във пара. Това означава, че нагреваемата термодвойка може да измерва по-ниска температура когато е във вода, отколкото когато е в парна среда. Измерването на нивото на топлоносителя в корпуса на реактора се получава от разликата в сигналите от нагреваемата термодвойка и съответната ненагреваема термодвойка. Температурата и оттам напрежението на термодвойките е измерване което зависи от средата в която е разположена термодвойката – вода или пара. Нивото на топлоносителя се следи от няколко прага на задействане. Ако разликата в термо е.д.н. между нагреваема и ненагреваема термодвойки достигне един определен праг на за-действие това означава че нивото на водата е паднало под нагреваемата термодвойка и се задейства съответната алармена сигнализация.

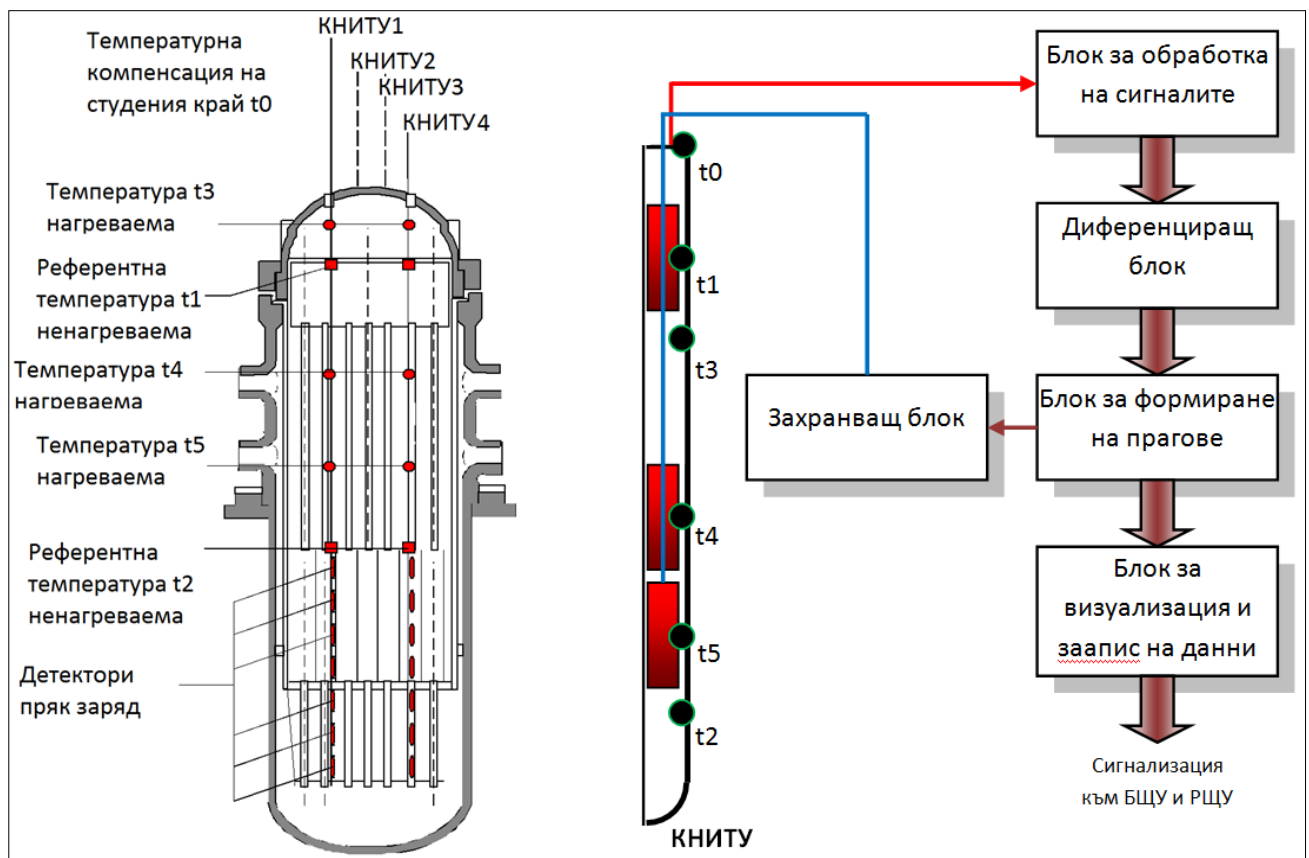
Една нагреваема термодвойка и съответната и ненагреваема термодвойка се поставят под капака на реактора. Разликата в сигналите на тези два датчика показва нарастването на газовите мехури под капака на реактора. Измервателна позиция 1 се използва за засичане на развитието на газови мехури под капака на реактора. Еталонната позиция 1 е разположена близо под измервателна позиция 1 за да се получава ясен измервателен сигнал дори и ако има задействана аварийна защита.

Измервателните позиции на останалите две нагреваеми термодвойки са разположени на в горният край на входящите и изходящи тръбопроводи на първи контур. Съответната

ненагреваема еталонна термодвойка е разположена в горният край на горивната касета. Тя най-често се използва за следене на температурата на изхода на активната зона. Осевото разположение на датчиците е така избрано че при малък или среден теч да може да се наблюдава нивото на топлоносителя. Измервателна позиция 2 се използва за да се установи дали изходящите тръбопроводи на първи контур са достатъчно пълни с вода и по този начин е възможно естественото охлаждане на реактора. Измервателна позиция 3 се използва за контрол на следенето на нивото на водата в активната зона, когато има теч във входящите тръбопроводи на първи контур. Температурата на изхода на горивната касета (еталонна позиция 2) е също така еталонна стойност за измервателни позиции 2 и 3.

Системата за контрол на нивото на топлоносителя е предназначена за контрол на появяване на парогазова смес (ниво на топлоносителя) в корпуса на реактора във всички проектни режими и надпроектни аварии. Системата има четири независими измервателни канала, всеки от които може самостоятелно и еднозначно да измери нивото на топлоносителя в корпуса на реактора. В състава на един измервателен канал (фиг. 6) влизат следните електронни модули:

- Блок за обработка на сигналите – приема сигнал от термодвойките, кондиционира сигнала и го преобразува в стандартен токов сигнал.
- Диференциращ блок – формира разликата в температурите от нагряваема и ненагряваема (еталонна) термодвойка.
- Блок за формиране на прагове – осъществява логиката за сработване на алармените сигнали при достигане на съответните прагови стойности.
- Блок за визуализация и съхранение на данните.
- Захранващ блок на нагряваемите термодвойки.



фигура 5. Разположение на термодвойките в КНИТУ и в корпуса на реактора. Блокова схема на един измервателен канал.

### II.5. Система за измерване на наличието на водород

По време на нормална работа на блока в резултат на радиолиза на водата от първи контур непрекъснато се отделят водород и кислород, които се и отвеждат от системата за подпитка/продувка на първи контур. В случай на аварии със загуба на топлоносител може да се генерира съответното количество водород посредством различни механизми като:

- радиолиза в активната зона на реактора;
- реакция на метал-вода;
- аблация на бетонната плоча при контакт изтеклата стопилка;
- други източници;

и да се освободи в херметичния обем, където се смесва с другите елементи на въздушната среда. За да се предотврати опасността от експлозия в херметичния обем, границата на възпламеняване на водорода (4% водород във въздуха) не трябва да се надвишава при никакви обстоятелства, нито глобално, нито локално, както по време на нормална експлоатация, така и при авария със загуба на топлоносител.

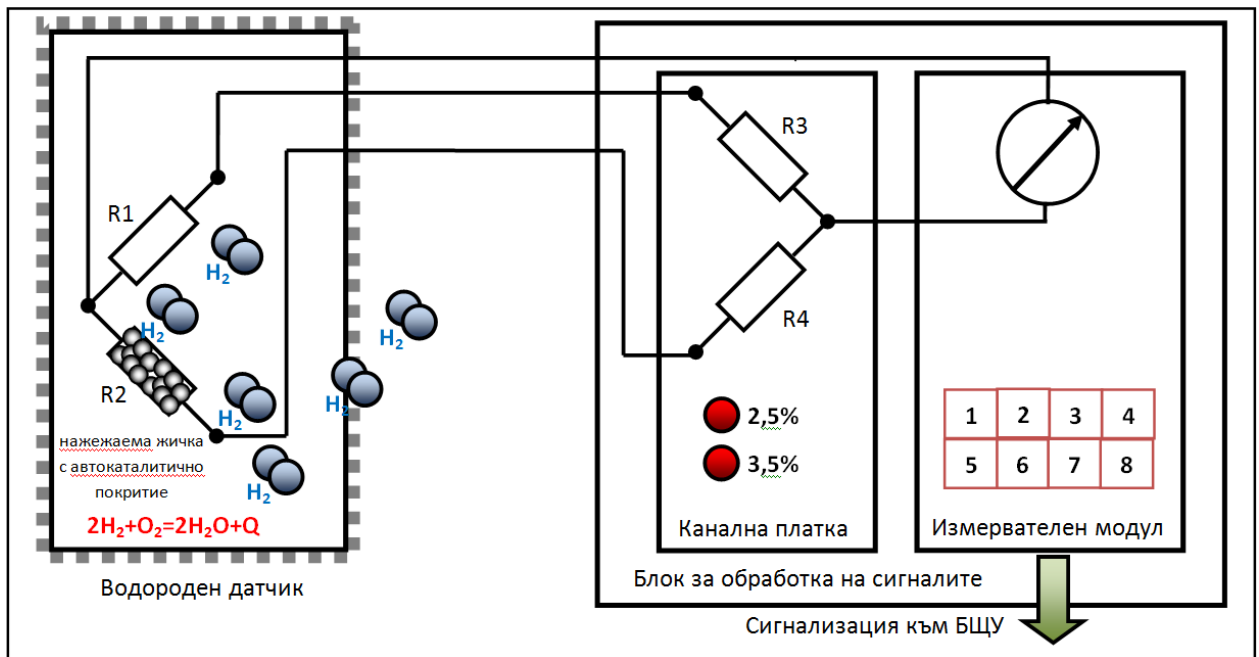
Системата за откриване на водород в херметичният обем измерва непрекъснато, в реално време, количествата натрупан водород. Тя се състои от 8 броя водородни датчици, разположени в зони с най-голяма вероятност за натрупване на водород, и електронен блок за обработка на сигналите и тригериране на алармени сигнали.

таблица 4. Разположение на датчиците за водород.

№ на датчик	Местоположение, кота
Датчик 1	Помещение на тръбопроводи и арматури на III <sup>-та</sup> СБ, кота +13,40
Датчик 2	Помещение на САОЗ, кота +27,50
Датчик 3	Помещение на парогенератори 1 и 4, кота +25,70
Датчик 4	Помещение на парогенератори 2 и 3, кота +25,70
Датчик 5	Помещение на компенсатора на налягане, кота +36,90
Датчик 6	Централна зала, кота +46,60
Датчик 7	Централна зала, кота +41,30
Датчик 8	Централна зала, кота +60,20 (под купола)

Водородният датчик работи на принципа на каталитично окисление на водорода върху нажежена нишка. Въздушната среда, която трябва да се измери, прониква през металокерамичния корпус на измервателната камера и реагира с нишките. Едната от тях е снабдена с активно каталитично покритие. Водородът се окислява каталитично върху нишката, в резултат на което се отделя топлина. Другата нишка не е каталитично активна и компенсира влиянието на околната среда. И двете нишки са част от мост на Уитстон и се захранват с постоянен ток. Повишаването на температурата на каталитично активната нишка в резултат на окислението (екзотермичен процес) води до изменение на тока на моста. Това изменение на тока на моста е еквивалентно на концентрацията на водорода. Това изменение се усилва и обработва от блока за обработка на сигналите. Местоположението на датчиците е показано в таблица 4.

Блокът за обработка на сигналите се използва за непрекъснато следене на концентрацията на водород в обхвата 0÷10 %. Той се състои от захранващ блок, измервателен блок, канални платки за всеки отделен водороден датчик. Измервателният блок е общ за осемте измервателни канала, чрез него се избира конкретен канал и се изобразяват показанията. Измервателният модул генерира алармени сигнали към БЦУ при достигане на праговите стойности на сработване (2,5% за праг 1, и 3,5% за праг 2). Каналната платка служи за унифициране на сигнала от конкретния датчик, настройка на измервателната скала, калибриране на тока на датчиците, алармена индикация за концентрацията на водород. Блоквата схема е показана на фиг. 6.



фигура 6. Блокова схема на системата за откриване на водород в херметичния обем.

II.6. Система за сеизмичен мониторинг и контрол

Системата за сеизмичен мониторинг и контрол на е предназначена да регистрира и документира сеизмичните движения в характерни точки на строителната конструкция на блока. Системата е базирана на цифрова регистрация в реално време на абсолютните ускорения на сеизмичните движения на избраните пунктове. Системата дава възможност за кратко време да бъдат определени параметрите на сеизмичното движение в местата на монтиране на датчиците. Следените параметри на сеизмичното движение са - максимални абсолютни ускорения, релативни скорости и премествания, съответните спектри на реагиране, етажни акселерограми, велосиграми и сеизмограми, както и определянето на кумулативната средна скорост – CAV (cumulative absolute velocity), необходими за описване на динамичното поведение на конструкциите и за определяне на евентуалното превишаване на максимално проектно земетресение. Блоковата схема на системата е показана на фиг. 7, а разположението на датчиците – в табл. 5.

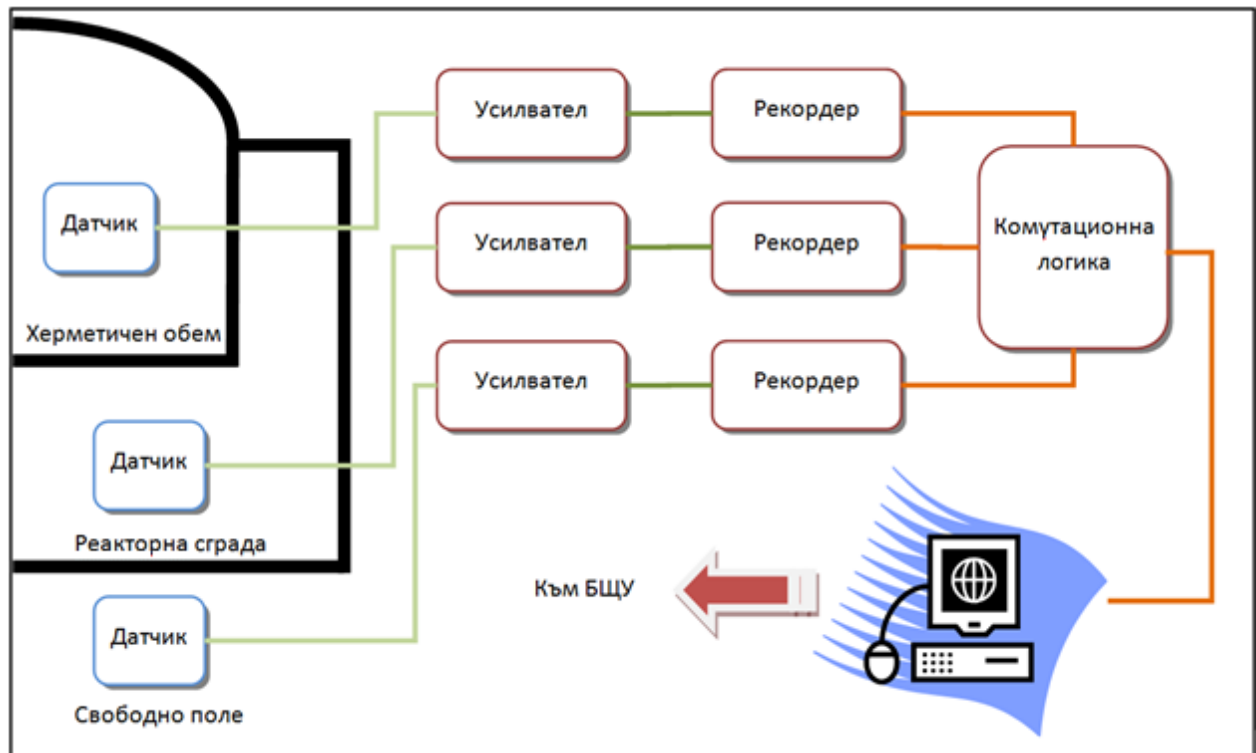
Основна задача на системата е в рамките на няколко минути да оцени параметрите на сеизмичното въздействие и да подаде сигнал към оперативния персонал. Времето за оценка на параметрите на сеизмичното събитие зависят пряко пропорционално от времетраенето на регистрираното земетресение, скоростта на дискретизация на данните и другите настройки на системата.

таблица 5. Разположение на сеизмичните датчици.

№ на датчик	Местоположение, кота
Датчик 1	Блок 6, помещение на резервният щит за управление, кота -4,20
Датчик 2	Блок 6, помещение КИП на III <sup>-та</sup> система за безопасност, кота -4,20
Датчик 3	Блок 6, помещение ПТК-УСБ на II <sup>-ра</sup> система за безопасност, кота +13,20
Датчик 4	Блок 6, централна зала, кота +36,90
Датчик 5	Блок 6, купол на блока, кота +61,70
Датчик 6	Свободно поле, в шахта, кота 0
Датчик 7	ДГС на I <sup>-ва</sup> система за безопасност на блок 6, помещение на горивни помпи, кота -4,00

Системата е инсталирана в сградата на VI<sup>-ти</sup> енергиен блок, като на алармената сигнализация е реализирана и на V<sup>-ти</sup> енергиен блок. Тя е конфигурирана със седем измервателни канала и компютър за пресмятане и оценка. Основните компоненти на в един

канал на системата са: триосов сеизмичен датчик (пружинно-масов затихващ осцилатор), електрически усилвател на сигнала, регистратор на данни. Датчика конвертира сеизмичното движение в електрически ток със стойност пропорционална на скоростта на движението. Изходният сигнал се предава до електронен контур, който извършва корекция на сигнала. Трите компоненти по трите оси са идентични, като вертикалният сензор е проектиран, като е отчетено земното ускорение. След усилване сигналът се обработва от регистратора и се записва в неговата памет. През определен интервал от време компютърът копира данните от регистраторите и извършва необходимите пресмятания. При регистриране на сеизмична активност компютърът извършва изчисления на сеизмичното движение и известява оперативния персонал чрез алармена сигнализация.



фигура 7. Блокова схема на системата за сеизмичен мониторинг и контрол.

### III. СИСТЕМИ ЗА СЛЕД-АВАРИЕН МОНИТОРИНГ И КОНТРОЛ

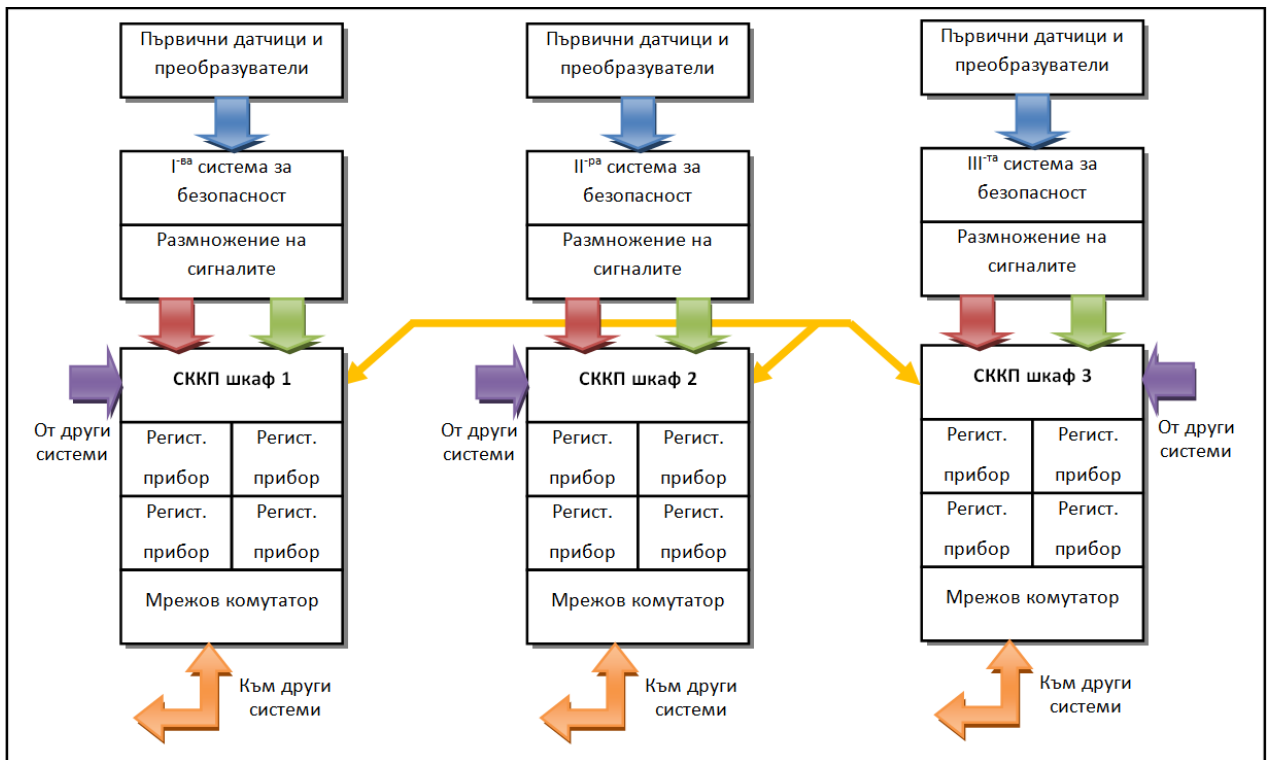
#### III.1. Система за контрол на критичните параметри

Системата за контрол на критичните параметри е контролно-измервателна и информационна система предназначена да осигурява високо надеждна информация на оперативния персонал в БЩУ по време на аварийни и след-аварийни ситуации с цел:

- подпомагане при определянето на характера на аварията;
- определяне дали аварийното спиране на реактора и системите за аварийно резервиране работят правилно;
- определяне дали блокът реагира правилно на предприетите мерки за безопасност;
- осигуряване на информация на оператора, която ще му позволи да определи състоянието на физическите бариери за радиоактивността;
- осигуряване на информация за необходимостта от прилагане на ръчни действия за реагиране на аварията;
- информация за радиологичното състояние на блока и площадката на АЕЦ;
- натрупване и съхраняване на информацията от ИС и след-аварийния период.

Системата е проектирана за проектни аварии. Обаче, за ограничен брой критични параметри като например температура на изхода на активната зона с разширения обхват измервания могат да бъдат покрити и над-проектни аварии. Тя не извършва автоматични действия. Като информационна система тя трябва да е приоритетна за оператора в след-аварийни ситуации, тоест когато оператора следва Аварийните Инструкции. Блоквата схема на системата за контрол на критичните параметри е показана на фиг. 8.

В състава на СККП влизат три отделни и независими един от друг шкафа. Всеки шкаф е оборудван с 4 броя регистриращи прибори, резервирано захранване за регистриращите прибори. Реализираният модулен принцип на изграждане и приетите проектни решения осигуряват функциониране на всеки един от регистриращите прибори, както и на всеки шкаф, независимо от състоянието на останалото оборудване. Шкафовете са разположени в помещението на щитовете за управление на енергийни блокове V и VI. Всеки един от шкафите получава сигнали от размножителни панели УКТС (унифициран комплект технически средства) системен и несистемен, както и други системи (радиационен контрол, температура на изход от активната зона и т. н.).



фигура 8. Блоквата схема на системата за контрол на критичните параметри.

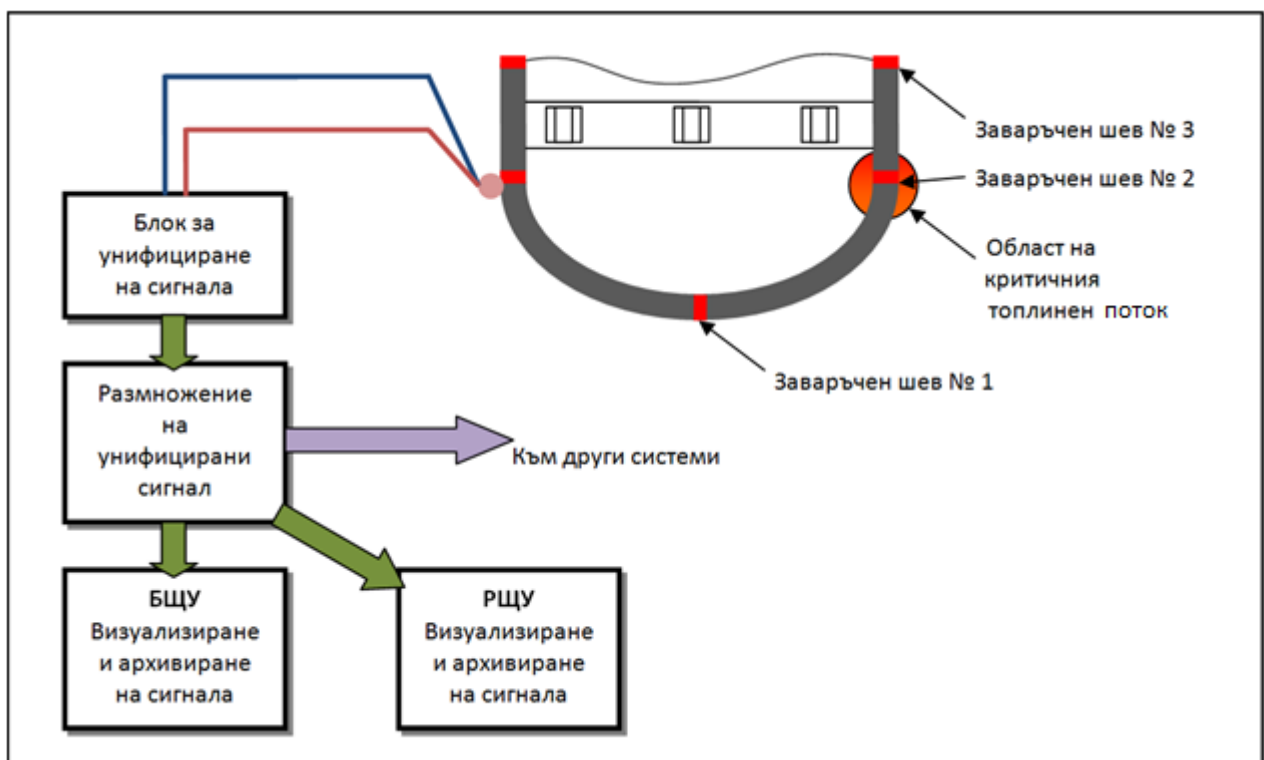
Трите шкафа са монтирани на обща междинна базова рама осигуряваща сеизмично квалифицирано закрепване на шкафите към носещата железобетонна конструкция на блока. Тази компоновка е съобразена с възможностите за разполагане в помещението на щита за управление на енергийния блок, както и удобство при работа на персонала.

### III.2. Широко-обхватен температурен контрол на корпуса на реактора

Системата за широко-обхватен температурен контрол на реактора изпълнява функция на информационна система в режими на експлоатация на реактора при преходни режими, работа на мощност и в аварийни режими. Системата е предназначена за осигуряване на достатъчно надеждна информация за температурата на външната стена на корпуса на реактора след възникване и протичане на проектни и над-проектни аварии, за идентифициране на началото на външно-корпусната фаза на аварията, определяне изпълнението на необходимите задачи по безопасност, проследяване на

последователността на събитията, както и за изпълнение на действията, предвидени в аварийните процедури.

Системата е съставена от три отделни независими канала. Всеки от каналите на системата включва един термоелектрически преобразувател с термо-съпротивление за компенсация температурата на студения край, блок за унифициране на сигнала, размножителен модул и устройство за архивиране и визуализация на сигнала. Измервателните канали са реализирани на базата на термодвойка NiCrSi-NiSi, тип N, с граници на измерване в непрекъснат режим до 1100 °С и работа при температура до 1300 °С не повече от 2 часа. Термодвойките са разположени в областта на критичния топлинен поток на корпуса на реактора. Разположението на термодвойките върху корпуса на реактора, както и блокова схема на един измервателен канал е показано на фиг. 9. За нормалното функциониране на системата линиите трябва да се подвържат към трите системи за безопасност, като визуализацията става на панели от системата за контрол на критичните параметри на блочния и резервния щит за управление.



фигура 9. Разположение на термодвойките и блокова схема на един измервателен канал.

Системата трябва да е работоспособна във всички случаи на нарушаване на нормалните експлоатационни условия към горепосочените състояния, както и до 2 часа след достигане на температура 1300 °С на корпуса на реактора. При неработоспособност на системата и/или неработоспособност на канал от системата не се налагат регламентни ограничения (ограничаване на мощност, допълнителни коригиращи мерки и др.) При неработоспособност на системата в режим работа на мощност, реакторът може да работи без промяна на мощността.

### III.3. Система за пасивно автокаталитично изгаряне на генерирания водород

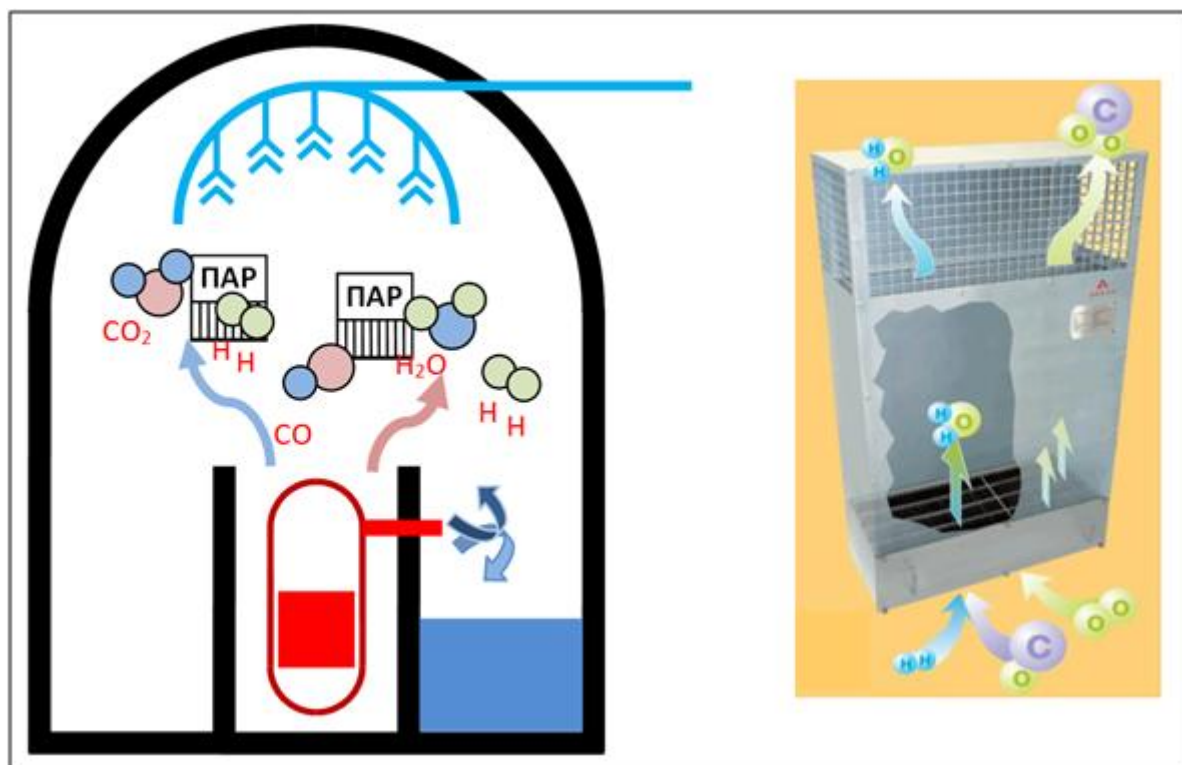
Водород и кислород се образуват постоянно, чрез радиолита на водата от първи контур, по време на нормална експлоатация на централата и се отвеждат от системата за подпитка/продувка на първи контур. В случай на авария със загуба на топлоносител, може да се генерира водород. Този водород се освобождава в атмосферата на херметичния обем, където се смесва с другите компоненти на атмосферата.

За да се предотврати възможността за експлозия вътре в херметичния обем, границата на възпламеняване за водорода (4% водород във въздуха) не трябва да се превишава в нито един момент, както като интегрална, така и като локална концентрация, както по време на нормална експлоатация, така и като резултат на максимална проекта авария. Следователно, като стратегия за управление на аварията, в случай на авария със загуба на топлоносител, се инсталира система за намаляване на водорода, за да се понижи неговата концентрация в херметичния обем.

таблица 6. Местоположение на пасивните автокаталитични рекомбинатори.

Помещение, кота	Брой ПАР	Брой автокатал. пластини в ПАР
Коридор в херметичен обем, 25,70	2	38/38
Боксове на парогенератори, 25,70	6	150/150/150/150/38/38
Помещения с филтри на вент. системи, 36,90	2	38/38
Централна зала, 36,90	8	150/150/150/150/150/150/38/38
Бокс на компенсатор на налягане, 19,34	2	150/150
Помещение на барботажен бак, 25,70	1	150
Помещение на САОЗ, 25,70	1	150
Помещение на машина за оглед корпуса на реактора, 13,70	1	150
<b>ОБЩО:</b>	<b>23</b>	<b>2554</b>

Системата за намаляване на водорода се състои от общо 23 броя пасивни автокаталитични рекомбинатори. Във всеки от тях (в зависимост от типа) се съдържат по 38 или 150 броя пластинки с активно каталитично покритие. Местоположението на рекомбинаторите е по казано в табл. 6, а на фиг. 10 е показана схемата на изгаряне на водорода в херметичния обем.



фигура 10. Схема за изгаряне на генерирания водород в херметичния обем.

Рекомбинаторите започват да работят при концентрация на водорода 2 %. В случай на авария със загуба на топлоносител паро-газовата смес, която се образува в херметичния обем и съдържа в себе си водород, се рекомбинира върху контактната повърхност с катализатора до водна пара. Системата е пасивна и не се нуждае от електрозахранване или операторска намеса. С наличните 23 броя рекомбинатори се гарантира изгарянето на



водорода и в следствие евентуалното настъпване на тежки аварии и по-специално вследствие взаимодействието стопилка-бетон (аблация) при външно-корпусна фаза на тежка авария.

#### *IV. РЕЗУЛТАТИ ОТ РАБОТАТА НА ДИАГНОСТИЧНИТЕ СИСТЕМИ*

Системата за бързо откриване и локализиране на протечки предоставя информация за плътността на първи контур. Чрез нея може да се открие теч от основното оборудване на първи контур и горния блок на реактора, както и наличие на фонова влага в целия херметичен обем. Ранното откриване на неплътност по първи контур и последвалите превантивни мерки от оператора предотвратява в ранен стадии зараждането на авария със загуба на топлоносител (LOCA) и гилотинно скъсване на главен циркуляционен тръбопровод.

Системата за детекция на мигриращи тела следи структурните шумове на основното оборудване по първи контур. Чрез нея оператора може да получи реална оценка за наличието на мигриращи тела или разхлабени елементи в контура и чрез своята намеса да предотврати нанасянето на поражения и дефекти в топлоотделящите елементи на ядреното гориво или други критични компоненти в състава на първи контур.

Наличието на системата за ограничаване термичните цикли на тръбопроводите по първи контур предоставя информация съответно за термичното натоварване на основните тръбопроводи на първи контур. Тази информация е от съществено значение при обследване стареенето и амортизацията на оборудването с цел удължаване срока на експлоатация на енергийния блок.

Системата за контрол нивото на топлоносителя в корпуса на реактора дава надеждна и точна информация на оператора в случай на ситуация с поява на паро-газова смес. Тази информация би помогнала на оператора да вземе адекватно решение за охлаждане на ядреното гориво в активната зона и предотвратяване на евентуална авария с нарушаване на целостта му.

Системата за измерване на водород в херметичния обем предоставя на оператора точна информация за неговото обемно съдържание. Натрупването на по-големи концентрации е признак за начална фаза на евентуална авария. Натрупването на критична концентрация на запалими газове би довело до неконтролируем взрив и евентуално нарушаване целостта на херметичният обем. Въпреки наличието на система за автономна и пасивна рекомбинация на водород, измерването на неговата концентрация е важно за вземането на адекватни превантивни действия от страна на оператора.

Системата за сеизмичен мониторинг и контрол предоставя на оператора информация настъпило сеизмично събитие, както и оценка на въздействието на това събитие върху конструкциите, системите и компонентите на енергийния блока. Оценката за степента на сеизмичното събитие помага на операторите за вземане на решения и извършване на констатации за фактическото състояние на основното оборудване след приключване на сеизмичното събитие.

Основните функции на безопасността са следните: управление на реактивността; отвеждане на топлината от активната зона и от отработеното ядрено гориво; и задържане на разпространението на радиоактивни вещества в околната среда. За изпълнение на тези функции при аварийни и след-аварийни ситуации оператора трябва да има точна информация на голям брой критични за енергийния блок параметри. Системата за контрол на критичните параметри предоставя тази информация в синтезиран и недвусмислен вид. По този начин се подпомага задачата на оператора да поддържа функциите на безопасност.

Широко-обхватния температурен контрол на корпуса на реактора предоставя информация за температурата на корпуса на реактора при евентуални надпроектни и тежки аварии. Чрез тази информация може да се определят различните фази на надпроектни и тежки аварии. Това помага на оператора при изпълнението на необходимите задачи по

безопасност, проследяване на последователността на събитията, както и изпълнение на действията, предвидени в аварийните процедури.

#### *V. ИЗВОДИ*

Постоянното повишаване нивото на безопасност е една от основните задачи на всички организации експлоатиращи ядрени съоръжения. Стандартите за безопасност също се ревизират и променят. В своя стремеж да отговаря на всички съвременни стандарти за безопасност АЕЦ Козлодуй непрекъснато се развива и модернизира. В следствие на това в експлоатация са модернизирани и въведени редица нови диагностични, информационни и мониторингови системи. Крайните резултати от тези нововъведения са следните:

- повишаване степента на безопасност на АЕЦ Козлодуй;
- повишаване на оперативния контрол;
- управление на стареенето на оборудването;
- диагностика на състоянието на оборудването;
- възможност за ранно откриване на потенциални аварийни ситуации и предприемане на превантивни мерки;
- улесняване на оперативния персонал при вземане на решения в аварийни и след-аварийни ситуации чрез предоставянето на точна, конкретна и недвусмислена информация относно състоянието на основно оборудване, радиационна обстановка и обитаемост на различни помещения в херметичния обем, както и извън него.

Като заключение може да обобщим, че АЕЦ Козлодуй е една модерна и ефективна атомна електроцентрала с висока степен на безопасност, която произвежда евтина и екологично чиста електроенергия.