

На тема: \_\_\_\_\_

**-12.**

Изготвил: *Илиян Григоров*

**София-2016г.**

# Технически характеристики на горивни касети тип ТВСА–12.

## **1. Увод:**

От въвеждането в експлоатация на първата в света ядрена електроцентрала, намираща се в град Обинск, Русия до наши дни, ядрената енергетика е претърпяла драстично еволюционно развитие, което се е наложило както от изискванията за ядрена и радиационна безопасност така и от стремежа за повишаване на технико-икономическите показатели на енергийните блокове в световен мащаб. Като цяло развитието не се съсредоточава само върху ядрените реактори и парогенераторни инсталации (ако съоръжението има такива), а в целия цикъл на производство на енергия, но тази тема не е въпрос на разглеждане в настоящия доклад.

В световен мащаб дялът на електрическата енергия, получена вследствие на делене на ядрата на  $^{235}\text{U}$  и  $^{239}\text{Pu}$  е 14–16% от общия дял на произведената ел. енергия. Поради постепенното изчерпване на конвенционалните горива и същевременно малкият дял на възобновяемите енергийни източници, а също така непостоянният генерационен характер на повечето от тях, в последните години се цели постигането на целесъобразно и ефективно производство. Обръща се особено внимание на добива, манипулирането и употребата на горивата и енергийните ресурси от гледна точка на безопасност и екология. Вследствие на част от по-горе изброените причини, а и поради много други, които няма да споменавам, повечето топлоенергийни обекти в нашата страна претърпяха сериозни реконструкции, целящи както намаляване на вредните емисии, генерирани в процеса на производство, така и повишаване на енергийната ефективност на съоръженията.

В ядрените енергийни обекти нещата стоят по подобен начин погледнато на тях глобално, но поради различния характер на производство се наблюдават в дълбочина някои различия. От

пускането на първия ядрен реактор, използван за производството на топлинна енергия и последващото и превръщане в механична и електрическа са изминали повече от 60 години. През тези години най-кардинални промени са претърпели ядрените горива и касетите, в които те са поместени. В този доклад ще бъде разгледано едно от най-новите ядрени горива за реактори ВВЭР-1000.

При реактори ВВЭР-1000 модернизирването на горивните касети се е наложило поради стремежите за достигане на колкото се може по-голяма дълбочина на изгаряне и подобрене техническите характеристики на активната зона, което от своя страна ще допринесе за повишаване количеството получена енергия от единица гориво. Горивните касети тип ТВСА–12 не се различават революционно от своите предшественици, но в дълбочина имат своите различия, допринасящи за повишаването на топлинната мощност на блокове с реактори от този тип.

Касетите тип ТВСА–12 са модифицирани касети с горивна таблетка, имаща външен диаметър 7.8mm, без централен отвор и височина на горивния стълб 353cm. Обогащаването на горивото по  $^{235}\text{U}$  е до 4.95% (с радиално профилиране). Броят на ТОЕГ е такъв, че да осигурява отрицателен температурен коефициент на реактивност на забавителя при минимално контролируемо ниво на мощност (МКН) в началото на кампанията, напълно извлечени ОР СУЗ и температура на топлоносителя 260°C. Касетите са пригодени за 4-ри и 5-т годишен горивен цикъл:

- ❖ 4-годишен горивен цикъл с продължителност на кампаниите ~320-330 календарни дни, при зареждане на 36 свежи горивни касети и номинална топлинна мощност на блока 3120 MW. Допълнително изискване към касетите е да се осигури гъвкавост на цикъла в диапазона 250–380 дни с връщане в стационар, а също и стабилност на мощността в променливи режими на работа (50–104–50%).
- ❖ 5-годишен горивен цикъл с продължителност на кампаниите ~320-330 календарни дни, при зареждане на 42 свежи

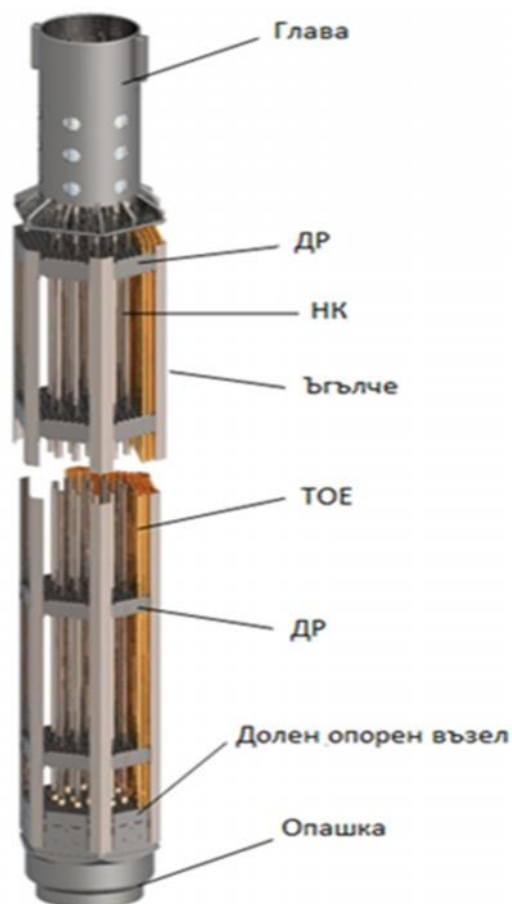
горивни касети и номинална мощност на блока 3120 MW. Допълнително изискване към касетите е да се осигури гъвкавост на цикъла в диапазона 250–380 дни с връщане в стационар, а също и стабилност на мощността в променливи режими на работа (50–104–50%).

## **2. Описание на конструкцията на ТВСА–12:**

Топлоотделящата касета тип ТВСА–12 е касета от безчохлен (без обвивка) шестстенен тип. Носещата част на касетата се нарича **силов скелет** или каркас.

ТОК се състои от следните части:

- ❖ Силов скелет;
- ❖ Сноп ТОЕ и ТОЕГ;
- ❖ Глава;
- ❖ Опашка;

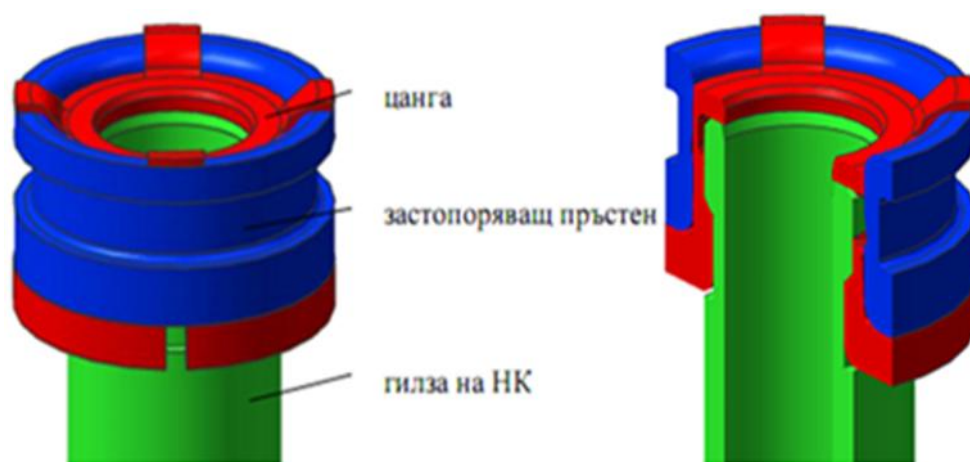


**Фигура 1.- Топлоотделяща касета ТВСА–12**

Дължината на ТОК е 4570mm, а масата и е 745kg. ТОЕ са разположени в триъгълна решетка, като тяхната дължина и брой са съответно 3826mm и 312.

### ***3.Носещи елементи:***

Основните носещи елементи на скелета са направляващите канали (НК) на поглъщащите елементи (ПЕ) и централната тръба. Главата на касетата е захваната към НК посредством цанги (Фигура-2), което позволява демонтирането ѝ при необходимост.

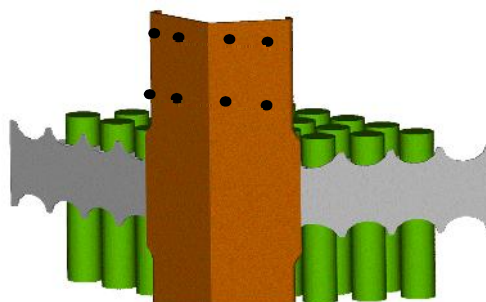


**Фигура 2. – Захват направляващ канал – глава**

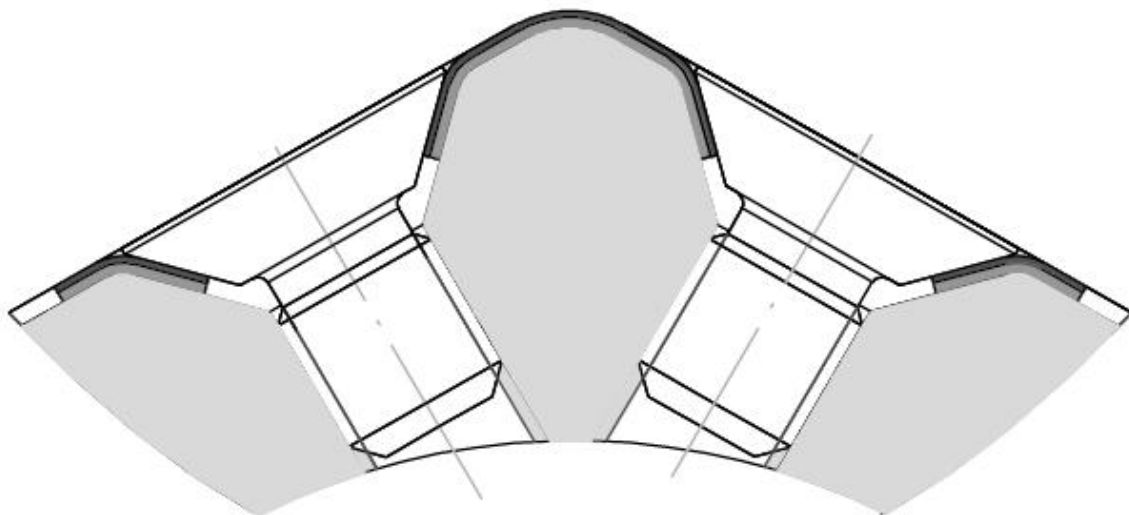
### **Забележка:**

Главата се захваща от презареждащата машина посредством байонетен захват.

Опашката на касетата се свързва с пластините на долния опорен възел посредством точков заваръчен шев, а с ъгълчетата на скелета посредством винтове ( Фигура-4; Фигура-3 ).



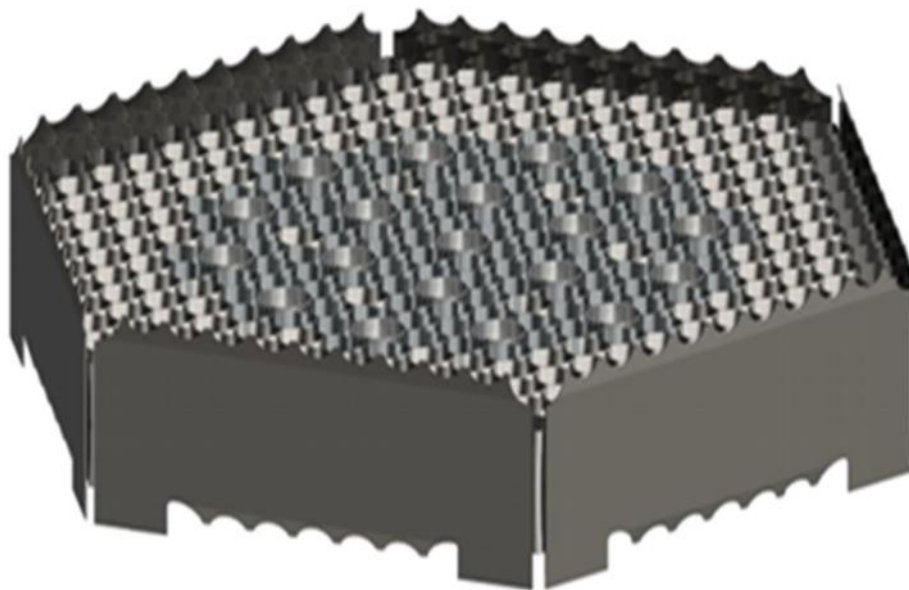
**Фигура 3.**



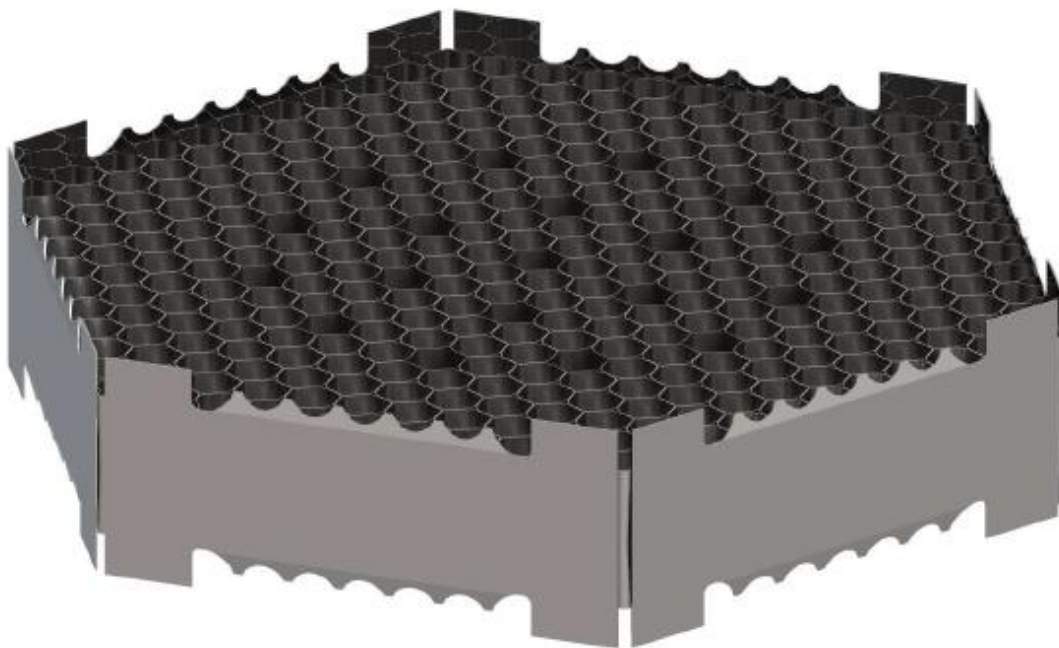
Фигура 4 .

**4. Дистанциращи, стабилизиращи, потокопроектиращи елементи на ТОК:**

ТВСА–12 е касета с 12бр. дистанциращи решетки, с което се различава от ТВСА, която е с 15бр. Различават се 2-ва вида решетки в зависимост от местоположението си. Последната дистанцираща решетка (от тип 1, Фигура 5) се намира извън активната зона.



Фигура 5. – ДР тип 1



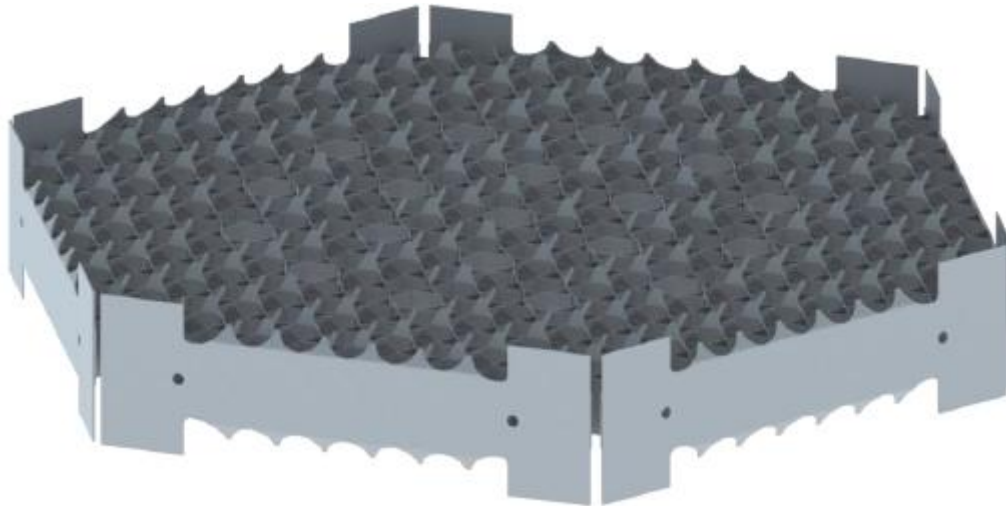
Фигура 6.– ДР тип 2

ДР съдържа 312 гнезда (33 периферни, 165 основни и 114 околочанални), 6 сектора на венеца и 19 втулки. Съставните елементи са свързани помежду си посредством контактно-точков заваръчен шев. В местата на преминаване на направляващите канали през решетката се монтират втулки с височина 37mm, външен диаметър 15mm и вътрешен диаметър 14,3mm. Дистанцирането на ТОЕ и ТОЕГ се осъществява вследствие на еластичните сили, упражнявани от клетките на ДР.

В касетите ТВСА–12 има така наречената **смесваща решетка**, която се монтира също и в ТВСА, имаща задача да турболизира водния поток с цел подобряване топлоотвеждането от ТОЕ и ТОЕГ. Това техническо решение обуславя неизползването на обвивка (чохъл) на съвременния тип касети.

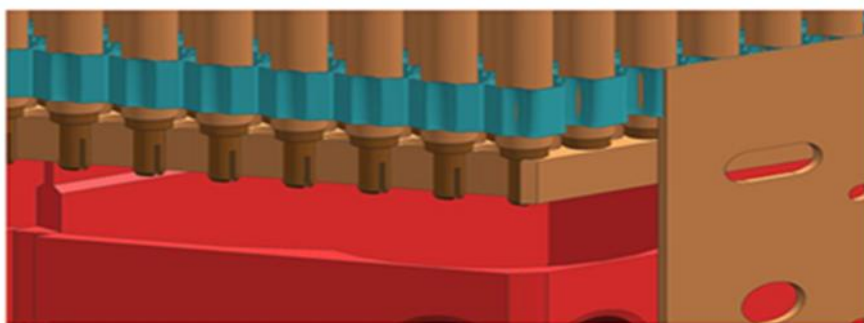
Конструкцията на смесващата решетка (СР) представлява пластинчата решетка с дефлектори на потока без функции за дистанциране на ТОЕ. СР се разполага между основните ДР в горната

част на АЗ на реактора (не е задължителен елемент). Закрепването и е посредством винтове, като се захваща на 6-те ъгълчета на скелета. Ъгълчетата в местата на ДР и СР не са с извити ръбове с цел по-добър контакт с въпросните.



**Фигура 7.** – Смесваща решетка, общ вид

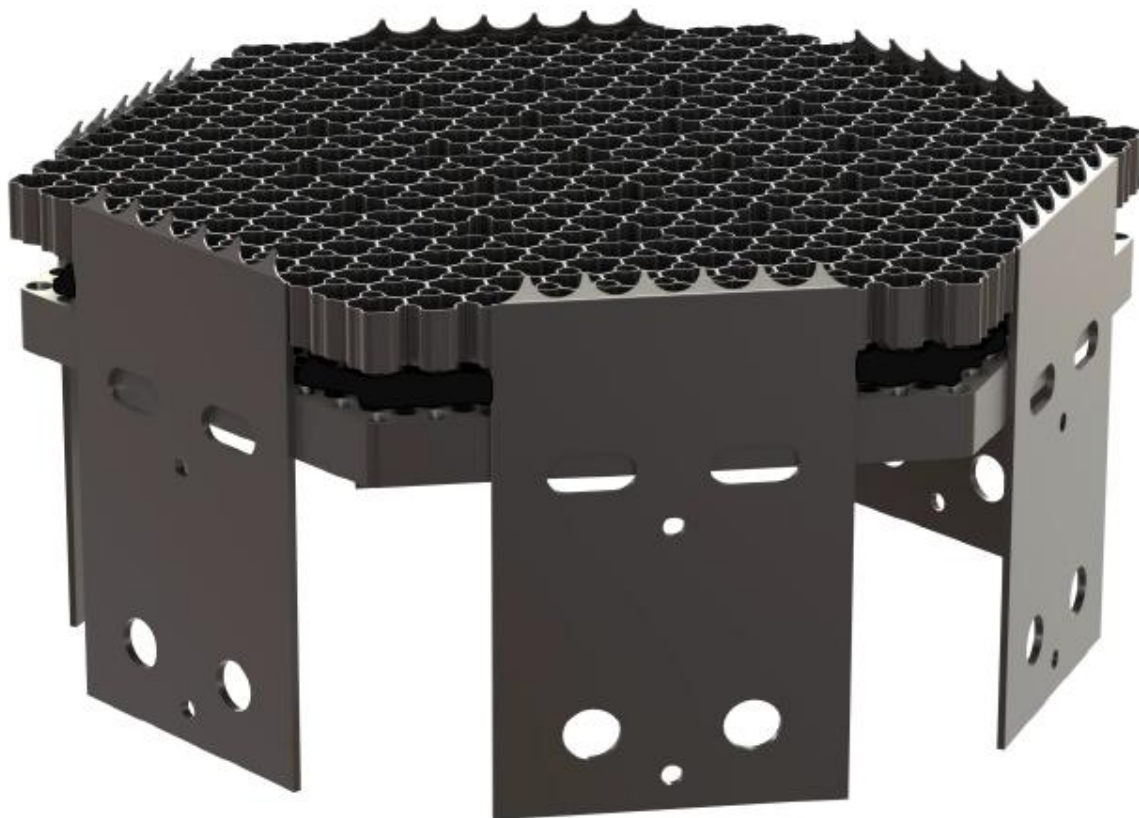
В аксиално направление ТОЕ и ТОЕГ са фиксирани посредством опорна плоча. Самата фиксация е осъществена с т. н. цангов захват (Фигура 8.) Опорната решетка представлява плоча с дебелина 16mm и отвори за преминаване на крайниците на ТОЕ и ТОЕГ, захват на НК и централната тръба, отвори за преминаване на топлоносител. Материал на ДОВ – неръждаема стомана 08X18H10T.



**Фигура 8.** – Опорна плоча, цангово закрепване на ТОЕ, ТОЕГ



Всички елементи на долния опорен възел за свързани посредством заваръчни съединения. Гнездата на антивибрационната решетка (АВР) и пластините, служещи като връзка АВР–опорна плоча–глава, са заварени с контактно-точков заваръчен шев. Връзката между пластина–долна опорна плоча е осъществена посредством аргонно–дъгов заваръчен шев (Фигура 9.)



**Фигура 9.** – Долен опорен възел (опорна плоча, АВР)

АВР служи за недопускане на вибрации, породени от високата скорост на топлоносителя на входа на касетата. Гнездата на АВР имат увеличена зона на контакт с ТОЕ и ТОЕГ, в сравнение с ДР, което я отличава. АВР е решетка от клетъчен тип с 312 гнезда (33 периферни, 279 основни). Гнездата на АВР са с височина 15mm и дебелина на стоманата 0,3mm. Пластините (6 броя) са с ширина 80mm, височина 125mm и дебелина 2mm, имат по 2 процепни и кръгли отвора за съединяване съответно с опорната плоча и опашката. В местата на съединяване с АВР дебелината на пластината е намалена на 0.7mm с цел осигуряване на качествен заваръчен шев.

## **5. Глава на ТОК:**

### **Главата на ТОК има следните функции:**

- Осигурява необходимото усилие за притискане на ТОК в АЗ на реактора, отчитайки температурните разширения на ТОК и ВКУ;
- Осигурява постоянна връзка между ТОК и БЗТ и с каналите на РО СУЗ, разположени в направляващите канали на СУЗ;
- Взаимодейства механично със захватното устройство на транспортно-технологичното оборудване;
- Защишава от мех. повреди горните части на ТОЕ при манипулации и осигурява разглобяемо съединение със снопа ТОЕ;
- Стабилизира потока на топлоносителя на изхода от АЗ;
- Демпфира падането на ПП СУЗ от щангата на привода при сработване на АЗ и осигурява индивидуална компенсация на удължаването на НК, ЦТ;

### **Съставни части на главата:**

- горна обвивка (гривна);
- дистанциращ скелет;
- пружинен блок;
- елементи, свързващи съставните части на главата в една конструкция;

Всички елементи на главата с изключение на пружините и втулките са изработени от стомана *08X18H10T*. Пружините са изработени от сплав *XH77TIOP*, а втулките от стомана *XH35BT*. Конструкцията на главата е изцяло унифицирана с тази на ТВСА.

Долната плоча на главата има перфорация за насочване на част от водния поток през пружинния блок. Цилиндричната обвивка има 18 отвора по 30mm.

**Горна обвивка** – представлява цилиндричен елемент с две шпонки, разположени от страни. Шпонките са предназначени да взаимодействат механично с плочата на БЗТ и транспортно-технологичното оборудване. Размерите на шпонките са 100x22mm, а присъединяването им към гривната е посредством 4-ри щифта и заваръчен шев.

**Пружинен блок** – представлява съвкупност от 19 цилиндрични винтови пружини, подвижни и неподвижни плочи, обтегачи и втулки. Разположен е в цилиндрична гривна, неподвижно свързана с горната гривна (тази с шпонките).

Пружинния блок съдържа:

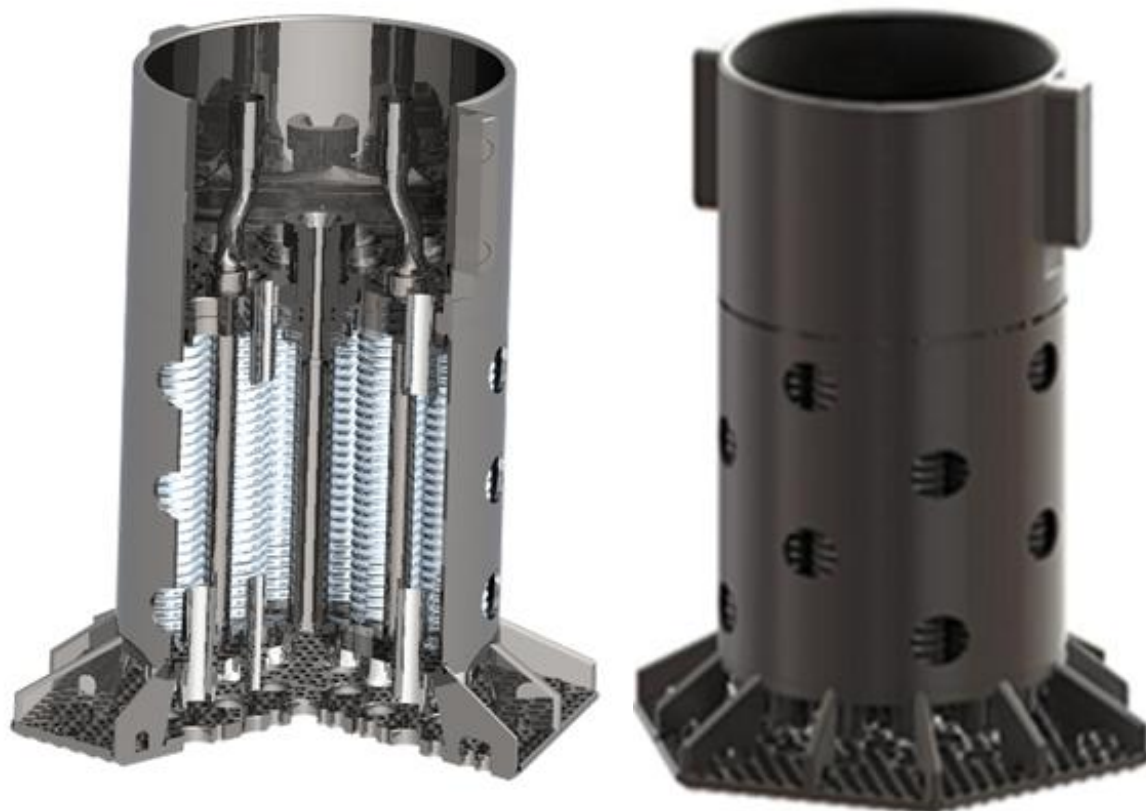
- 19 броя пружини винтови;
- подвижна плоча;
- долна плоча;
- три шайби;
- 18 горни и долни подвижни втулки;
- 3 шпилки;

При внедряването на проекта пружинния блок на ТВСА–12 ще бъде оптимизиран с цел намаляване осевите натоварвания, упражнени от БЗТ в процеса на експлоатация. Използването на притискащи пружини с диаметър на телта  $\varnothing 5,1\text{mm}$  вместо такива с диаметър  $\varnothing 5.6\text{mm}$ , дава възможност да се намали коравината им с 20%, което като резултат ще доведе до намаляване натрупването на огъване в процеса на експлоатация при съответстващите режими на работа за ТОК.

**Отбойна решетка** – заварена конструкция от ребра и решетка, имаща форма на пресечен конус с шестоъгълна метална основа (самата решетка). Нейното предназначение е да стабилизира скоростта на топлоносителя на изхода от снопа ТОЕ и да предотврати евентуално изнизване на ТОЕ от снопа.

За намаляване на хидравличните съпротивления в изходните участъци на касетите в горната плоча на отбойната решетка има

допълнителна перфорация, служеща за пропускане на част от топлоносителя през пружинния блок ( за тази цел са 18-те отвора по 30mm). През главата преминават 3 бр. тръби с диаметър равен на диаметъра на ТОЕ, служещи за термо- и неутронни замервания.



Фигура 10.– Глава на ТОК (разрез, общ вид)

### **6. Опашка на ТОК:**

**Опашката има следните съставни части:**

- корпус;
- три ребра;
- фиксатор;
- антидебризен филтър;

Компонентите на опашката се изработват от стомана *08X18H10T* и са свързани помежду си с аргонно-дъгов заваръчен шев.

Корпусът представлява шестостен, плавно преминаващ в цилиндър. Долната му част е изпълнена от вътрешната страна като дифузор, а от вън има сферична част, преминаваща в цилиндрична, на която е поставен фиксатор.

Заварените към корпуса ребра образуват опора, състояща се от две успоредни ребра, които се пресичат перпендикулярно с третото. Снопът ТОЕ и ТОЕГ в скелета чрез долната опорна решетка се опира на успоредните ребра на опашката.

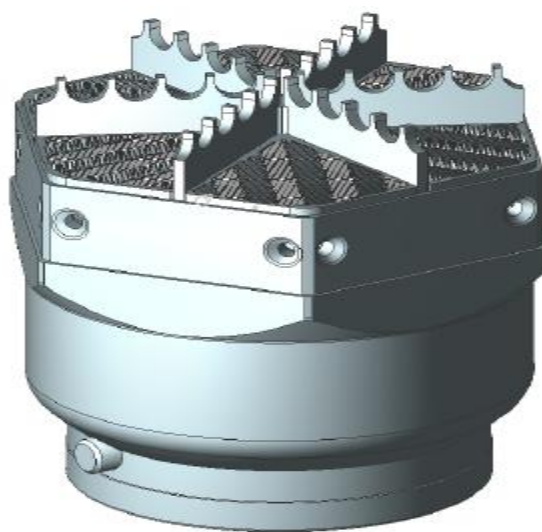
Свързването на опашката с долната опорна решетка се осъществява с шестте пластини, за които стана въпрос по-горе. Свързването посредством тях изключва взаимно разместване и/или отклоняване от вертикалните им оси.

### *7. Антидебризен филтър:*

Антидебризният филтър се монтира в опашката и може да представлява метален диск с височина 8mm и изработени в него процепни отвори или да се състои от 6 бр. пластини, които се заваряват към опашката (*Вариант 1 и 2, Фигура 11, 12.*). В опашката при вариант 2, образуващите опора ребра с форма на шест пресичащи се лъча, се отливат заедно с корпуса (*корпуса на опашката може да се изработи и чрез леене*).



*Вариант 1.*

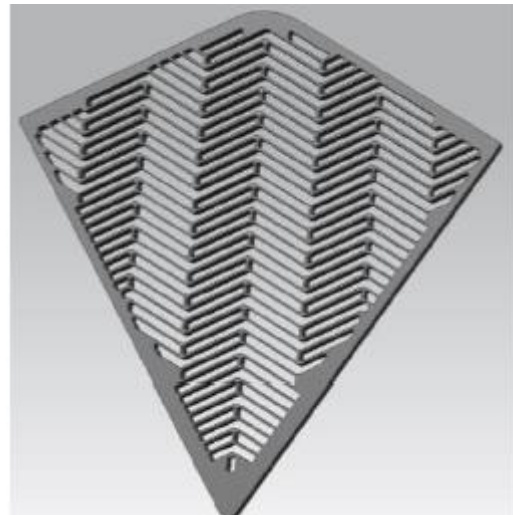


*Вариант 2.*

**Фигура 11. – Опашка на ТОК**



Вариант 1.



Вариант 2.

**Фигура 12.** – Антидебризен филтър

**Таблица 1.** – Характеристики на опашката

Характеристика	Стойност
1. Маса, kg	10,6
2. Обща височина, mm	254,3
3. Материал на опашката	стомана 08X18Н10Т

### **8.Сноп ТОЕ и ТОЕГ:**

Снопът ТОЕ и ТОЕГ се състои от 312 броя ТОЕ и ТОЕГ, които са разположени в правилна триъгълна решетка със стъпка 12,75mm. В зависимост от варианта на изпълнение касетата може да претърпи промени по:

- количество на ТОЕГ в снопа и място на разполагане;
- обогатяване на ТОЕ и ТОЕГ по  $^{235}\text{U}$ ;
- концентрация на  $\text{Gd}_2\text{O}_3$  в ТОЕГ;
- профилиране на снопа с ТОЕ с различно обогатяване;

**ТОЕ и ТОЕГ се състоят от следните съставни части:**

- обвивка (материал–сплав Э110);
- горна и долна капачка (материал–сплав Э110);

- горивен стълб (*оформен от таблетките*);
- пружинен фиксатор (*материал–стомана 12X18H10T*);

ТОЕ е гладък цилиндричен елемент с дължина  $3826 \pm 2 \text{mm}$ . С цел предотвратяване на смачкване на обвивката, вследствие на високото налягане на топлоносителя, вътрешния обем на ТОЕ (ТОЕГ) е запълнен с хелий под налягане  $2,10^{(+0,30;-0,20)}$  МРа. Херметизацията на ТОЕ (ТОЕГ) се осигурява посредством два заваръчни шева, изпълнени с КСЗ (челно контактно заваряване) технология.

За намаляване на налягането, породено от газообразните продукти на делене под обвивката на ТОЕ, в горната му част е предвиден компенсационен обем. Фиксирането на горивния стълб в зададено положение се осъществява посредством т. н. пружинен фиксатор, работоспособността на който е обоснована до **4g**.

#### **Капачки, особености:**

Формата на горната капачка на ТОЕ (ТОЕГ) предвижда възможност за захващането и от устройството за извличане на ТОЕ (ТОЕГ).

Долната капачка на ТОЕ (ТОЕГ) е с формата на разрязана цанга (*тип лястовича опашка*). ТОЕ (ТОЕГ) се закрепва в отвора на опорната плоча чрез зацепване на ръба на капачката в долната част на опорната плоча, ограничавайки по този начин евентуално аксиално преместване.

#### **Обвивка, особености:**

Обвивката на ТОЕ (ТОЕГ) е с външен диаметър равен на диаметъра на ТОЕ на ТВСА ( $9,1 \pm 0,04 \text{mm}$ ), но за сметка на това вътрешният диаметър е променен ( $7,93 \text{mm}$  под ключ за ТОЕ и  $7,73 \text{mm}$  под ключ за ТОЕГ).

### Горивни таблетки в ТОЕ:

Ядреното гориво в ТОЕ е под формата на таблетки от  $UO_2$  с плътност (10,4-10,7) g/cm<sup>3</sup> и диаметър 7,8mm под ключ, без централен отвор. Таблетките имат фаски, служещи за намаляване контакта на таблетката със стената на ТОЕ, а също така за намаляване трошливостта им при манипулиране.

### Горивни таблетки в ТОЕГ:

Ядреното гориво в ТОЕГ е под формата на таблетки от  $UO_2$  с плътност (10,4-10,7)g/cm<sup>3</sup> при концентрация на  $Gd_2O_3$  до 7 % и с плътност (10,3-10,7) g/cm<sup>3</sup> при концентрация на  $Gd_2O_3$  7-10%. Таблетките са с външен диаметър  $7,6\pm 0,03$  mm и централно отворстие с диаметър 1,2mm под ключ. Същите имат фаски, служещи за намаляване контакта на таблетката със стената на ТОЕ, а също така за намаляване трошливостта им при манипулиране.

Таблица 2.–Метрични характеристики на ТВС и ТВСГ

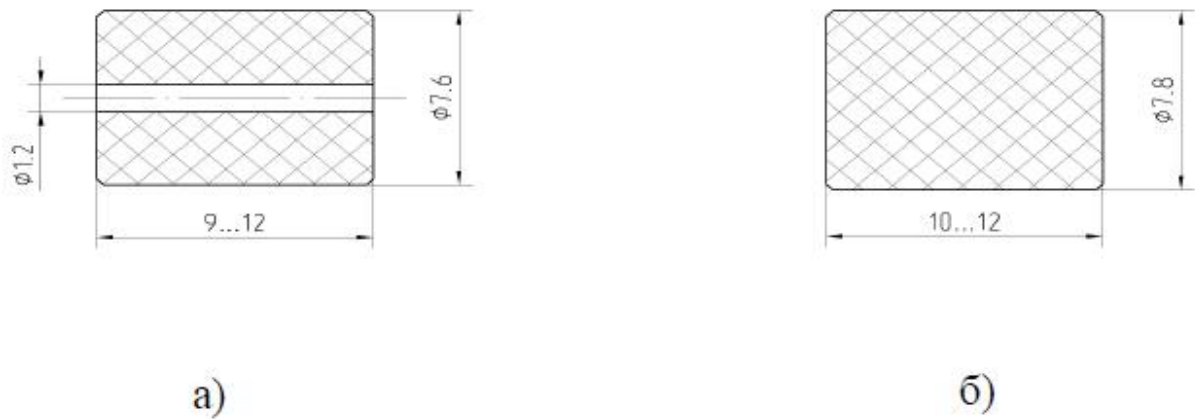
№	Характеристика	Стойност
1.	Външен диаметър на обвивката, mm	9,10±0,04
2.	Вътрешен д-р на обвивката ТОЕ/ТОЕГ, mm	7,93/7,73 (под ключ)
3.	Маса на горивото в ТОЕГ, g при: <ul style="list-style-type: none"><li>• Концентрация на <math>Gd_2O_3</math> – 5 w%</li><li>• Концентрация на <math>Gd_2O_3</math> – 8 w%</li></ul>	1620±25 1604±25
4.	Маса на горивото в ТОЕ, g	1750±25
5.	Материал на обвивката	Э110опт
6.	Височина на горивния стълб в студено състояние, mm	3530

Таблица 3.–Характеристики на таблетките в ТОЕ/ТОЕГ

№	Характеристика	Стойност
1.	<u>Материал:</u> ТОЕ ТОЕГ	$UO_2$ $UO_2 + Gd_2O_3$



2.	Външен диаметър на ТОЕ/ТОЕГ, mm	7,8/7,6
3.	Диаметър на централния отвор ТОЕ/ТОЕГ, mm	0/1,2
4.	Височина, mm	от 10 до 12



**Фигура 13.**–Горивна таблетка на ТОЕ (б) и ТОЕГ (а)



**Фигура 13.**–ТОЕ (ТОЕГ)

## 9. Съвместимост на ТВСА–12 с ТВСА:

Конструкцията на ТВСА–12 и ПП СУЗ не трябва да налагат ограничения на процедурите за провеждане на ТТО, също така не трябва да налага изисквания за доработване или замяна на елементи и комплекси на транспортно–технологичното и реакторно оборудвания.

Обосновката за съвместимостта на ТВСА–12 с транспортно–технологичното оборудване на ЯЕЦ се прави на базата на сравнение между габаритните и присъединителни размери на ТВСА и ТВСА–12.

**Таблица 4.** – Параметри на ТОК за обосновка на съвместимостта

<b>Параметър</b>	<b>ТВСА–12</b>	<b>ТВСА</b>
Диаметър глава, mm	170	170
Диаметър опашка, mm	195	195
Размер на опашката по фиксатора, mm	207.5	207.5
Диаметър вътрешен на горен възел на главата, mm	158	158
Размер под ключ, mm	235,1	235,1
Разстояние от опорния край на опашката до горния край на главата на ТОК, mm	4517	4517
Дължина, mm	4570±1,1	4570±1,1
Брой ТОК в АЗ	163	163
Брой ТОЕ/ТОЕГ в ТОК	306/6	306/6
Стъпка между ТОК, mm	236	236
Брой ТОК с клъстери	61	61
Пълен брой дистанциращи решетки	12	15

Въз основа на идентичните габаритни и присъединителни размери може да се направи точна оценка и обосновка на съв-

местимостта на ТВСА–12 със следното оборудване и неговите комплекси и компоненти:

- Захват на ТОК във възел свежо гориво;
- Захват на клъстера ПП СУЗ във възел свежо гориво;
- Контейнер за свежи ТОК;
- Приводна щанга на презареждаща машина;
- Устройство за презареждане на клъстера ПП СУЗ;
- Стелажи в БОК;
- Транспортен контейнер за ОЯГ ТК–13;

## **10. Обосновка на внедряване на касети ТВСА–12:**

При използването на касети ТВСА–12 дълбочината на изгаряне при пет-годишен цикъл се повишава с 16,8%, а броят на зареждащите свежи касети при четири- и пет-годишни цикли се намалява съответно с 12% и 25%.

Използването на смесваща решетка повишава коефициента на запас до кризис на топлообмена, намаляване изкривяванията на температурния профил по височина на касетата, а също така дава възможност на повишаване мощността на АЗ до 110%.

Максималните стойности на флуенса в четири-годишен цикъл при работа с ТВСА–12 са по-големи от тези, при пет-годишен цикъл със същата касета, с около 2%. Стойностите на флуенса върху вътрешните повърхности на корпуса на реактора в стационарни кампании на тези цикли са по-малки от тези при стационарни кампании на цикли с ТВСА с около 5 – 7%. Това допринася за намаляването на вредния ефект от неутронното лъчение върху корпуса на реактора.

В ЯГЦ на базата на ТВСА-12 се осигурява по-отрицателна стойност на коефициента на реактивност по температура на топлоносителя ( с около  $4 \times 10^{-5} \text{C}^{-1}$ ). Това дава възможност да се осигури

отрицателна стойност на температурния коефициент на реактивност по топлоносител на минимално контролируемо ниво на мощност при температура на топлоносителя **260 °C** , при въвеждане на само една работна група в активната зона.

Като негативен ефект може да се приеме увеличаването на престоя на касетите в активната зона, където те са подложени на тежки условия.

### ***11. Използвана литература:***

- 1. Техничко-икономическа обосновка на внедряването на ТВСА-12 в усъвършенстван ядрено-горивен цикъл на блоковете № 5 и 6 на АЕЦ "Козлодуй" ЕАД, 2014 г.*
- 2. Техническая справка. Нейтронно-физические расчеты в обоснование перевода энергоблоков АЭС Украины и Болгарии с ВВЭР-1000 на эксплуатацию с ТВСА., Москва, 2003г.*
- 3. Велев В., Филипов К., Ядрени горива, ИФО Дизайн, София, 2008г.*
- 4. Шмелев В. Д., Драгунов Ю. Г., Денисов В. П., Васильченко И. Н., Активные зоны ВВЭР для атомных электростанций, ИКЦ Академкнига, Москва, 2004г.*





























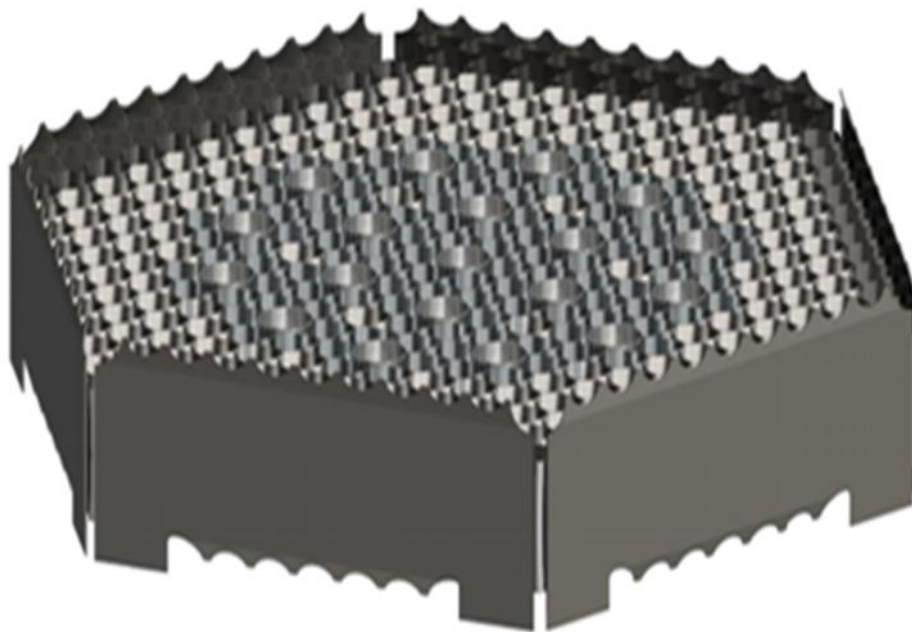








ТВСА–12 е касета с 12бр. дистанциращи решетки, с което се различава от ТВСА, която е с 15бр. Различавате се 2-ва вида решетки в зависимост от местоположението си. Последната дистанцираща решетка (от тип 1 Фигура 5) се намира извън активната зона.



**Фигура 2. –**

*ДР тип 1*