

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **045525**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.11.30

(51) Int. Cl. **G21C 3/04 (2006.01)**

(21) Номер заявки
202293161

(22) Дата подачи заявки
2020.12.29

(54) **ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ ВОДО-ВОДЯНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО
ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА**

(43) **2023.08.22**

(86) **PCT/RU2020/000769**

(87) **WO 2022/146160 2022.07.07**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
"ТВЭЛ" (RU)**

(56) SHMELEV V.D. et al. Aktivnye zony
VVER dlya atomnykh elektrostantsy. М. ИКТС
"Akademkniga", 2004 g., p. 106-107
RU-C1-2100172
RU-U1-132603
RU-C1-2702234
CN-A-111656458

(72) Изобретатель:
**Новиков Владимир Владимирович,
Кузнецов Владимир Иванович,
Сергиенко Иван Романович, Рыкунов
Дмитрий Владимирович, Гизатуллин
Тимур Тагирович (RU)**

(74) Представитель:
Вербицкий С.В. (RU)

(57) Изобретение относится к ядерной технике к ТВЭЛам реактора ВВЭР-1200. ТВЭЛ содержит цилиндрическую оболочку длиной 4000+/-5 мм, выполненную из циркониевого сплава Э110 о.ч., верхнюю и нижнюю заглушки, приваренные к оболочке, топливный столб массой от 1600 до 1800 г, набранный из топливных таблеток, пружинный фиксатор, размещенный в оболочке и выполненный в виде цилиндрической пружины. При этом торец нижней заглушки представляет собой глухую цангу с наружной и внутренней цилиндрическими поверхностями и одной продольной прорезью, на наружной поверхности свободного конца цанги выполнен буртик. Топливные таблетки выполнены из РЕМИКС-топлива на основе регенерированных урана и плутония с добавкой обогащенного природного урана. Техническим результатом является увеличение энергоэффективности и выгорания топлива с сохранением надежности и безопасной эксплуатации ТВЭЛа ВВЭР, повышение надежности и упрощение процесса сборки свежей ТВС, обеспечение замкнутого цикла по плутонию и снижение потребления природного урана.

B1

045525

**045525
B1**

Изобретение относится к ядерной технике и относится к ядерному РЕМИКС-топливу с усовершенствованной конструкцией тепловыделяющих элементов (ТВЭЛов), входящих в состав модернизированной тепловыделяющей сборки (ТВС), из которых набирается активная зона в водоохлаждаемом корпусном ядерном реакторе повышенной мощности типа ВВЭР-1200. Перспектива развития ядерной энергетики в значительной мере определяется решением вопроса увеличения энерговыработки и сохранением прежнего уровня безопасности атомных электростанций (АЭС). Проблема повышения уровня экономической эффективности на действующих АЭС с реакторами ВВЭР (водо-водяной энергетический реактор) имеет различные пути решения. Однако в настоящее время она решается, как правило, минимальным изменением конструктивных элементов активной зоны. Подобный подход позволяет более эффективно использовать имеющиеся ресурсы, не прибегая к существенной корректировке технологических процессов при изготовлении конструкционных элементов.

В настоящее время в ядерных реакторах типа ВВЭР применяются стержневые тепловыделяющие элементы. Стержневой ТВЭЛ имеет топливный столб, состоящий из отдельных таблеток цилиндрической формы, размещенных в оболочке, которая является конструкционным несущим элементом (см. А.Г. Самойлов, Тепловыделяющие элементы ядерных реакторов. М., Энергоатомиздат, 1985, с. 99 - 107). Диаметр стержневых ТВЭЛов в целях увеличения поверхности теплообмена и снижения температурных напряжений, вызванных перепадом температур, принимается возможно меньшим и варьируется в реальных конструкциях водо-водяных реакторов с водой под давлением от $7,35 \cdot 10^{-3}$ м до $15 \cdot 10^{-3}$ м (см. Г.Н. Ушаков, Технологические каналы и тепловыделяющие элементы ядерных реакторов. М., Энергоиздат, 1981, с. 32-36). Конструкции стержневых ТВЭЛов, ТВС и самой активной зоны для реакторов ВВЭР должны обеспечивать механическую устойчивость и прочность ТВЭЛов, в том числе в аварийных условиях при высоких температурах.

Известен тепловыделяющий элемент водо-водяного энергетического реактора (патент РФ № 2244347, МПК G21C 3/00, опубликован 10.01.2005), содержащий герметичную цилиндрическую оболочку и ядерное топливо в виде цилиндрических таблеток, набранных в столб по длине оболочки. Наружный диаметр оболочки ТВЭЛА выбран от $7,00 \cdot 10^{-3}$ м до $8,79 \cdot 10^{-3}$ м, а топливный сердечник имеет диаметр от $5,82 \cdot 10^{-3}$ м до $7,32 \cdot 10^{-3}$ м и массу от 0,93 кг до 1,52 кг. Топливные таблетки могут быть сплошными, либо в них могут быть выполнены центральные отверстия диаметром от $1,07 \cdot 10^{-3}$ м до $1,45 \cdot 10^{-3}$ м. В качестве материала топливных таблеток используют спрессованный и спеченный диоксид урана и/или диоксид плутония, также могут использоваться окись тория, карбиды урана, или их смеси. Масса урана в ТВЭЛАх составляет 0,82-1,34 кг. Отношение длины топливного сердечника к длине тепловыделяющего элемента составляет от 0,9145 до 0,9483.

Недостатком известного тепловыделяющего элемента является то, что наружный диаметр оболочки ТВЭЛА варьируется от $7,00 \cdot 10^{-3}$ м до $8,79 \cdot 10^{-3}$ м, что влечет за собой значительную корректировку технологии изготовления всех элементов конструкции ТВЭЛА, что приводит к осложнению технологии его изготовления по сравнению с существующей для наружного диаметра 9,1 мм. Также недостатком является то, что масса топлива составляет 0,82-1,34 кг, в то время как в ТВЭЛЕ с РЕМИКС-топливом масса топлива составляет от 1,6 до 1,8 кг, что позволяет увеличить энергоэффективность топливной компании. Наиболее близким аналогом, принятым за прототип, является тепловыделяющий элемент активной зоны водо-водяных энергетических реакторов типа ВВЭР-1000 (Шмелев В.Д., Драгунов Ю.Г., Денисов В.П., Васильченко И.Н. Активные зоны ВВЭР для атомных электростанций - М.: ИКЦ "Академкнига", 2004 г., с. 106), который состоит из следующих частей: верхняя заглушка, оболочка, нижняя заглушка, топливный столб, набранный из таблеток диоксида урана и фиксатора. Оболочка и заглушки изготовлены из сплава Э110. Для предотвращения смятия оболочки в процессе эксплуатации внутренний объем ТВЭЛА заполняется гелием под давлением ($2,00 \pm 0,25$) МПа. Герметизация ТВЭЛА осуществляется сваркой. Для снижения давления газообразных продуктов деления под оболочкой, выделяющихся в процессе эксплуатации, в верхней части ТВЭЛА предусмотрен компенсационный объем. Фиксация топливного столба от действия транспортно-технологических нагрузок осуществляется фиксатором. Верхняя заглушка предусматривает возможность сцепления с захватом устройства извлечения - установки ТВЭЛА при сборке ТВС. Нижняя заглушка устанавливается в нижнюю решетку и крепится шплинтовкой.

Недостатками является то, что в ТВЭЛАх реактора ВВЭР-1000 длина ТВЭЛА и топливного столба меньше, чем у ТВЭЛов реактора ВВЭР-1200, тем самым суммарная загрузка топлива в активную зону меньше, что приводит к уменьшению энерговыработки водо-водяного энергетического реактора ВВЭР-1000 по сравнению с ВВЭР-1200. ТВЭЛы реактора ВВЭР-1200 наравне с оболочкой с размерами от 9,06 до 9,14 мм - наружный и от 7,73 до 7,79 мм - внутреннего диаметра позволяют применять оболочки с размерами от 9,06 до 9,14 мм - наружный и от 7,93 до 7,99 мм - внутренний диаметр, что также увеличивает загрузку топлива. Использование в качестве материала оболочки сплава Э110, в котором содержание гафния больше, чем в сплаве Э110 о.ч., приводит к повышенному поглощению нейтронов оболочкой ТВЭЛА, что также приводит к уменьшению энерговыработки реактора. Также недостатком является использование таблеток с центральным отверстием, что снижает загрузку топлива.

Крепление нижней заглушки к опорной решетке шплинтовкой приводит к более сложному и трудо-

емкому процессу сборки и разборки твэлов в составе ТВС. Главным недостатком является использование в качестве топлива диоксида урана, в то время как в твэлах с РЕМИКС-топливом используется регенерированное отработанное ядерное топливо на основе диоксида урана и плутония, что позволяет снизить количество отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и потребление природного урана.

Задачей изобретения является разработка и создание нового тепловыделяющего элемента водо-водяного энергетического реактора ВВЭР-1200 с повышенной энерговыработкой и сохранением прежнего уровня безопасности, упрощение процесса сборки свежей (необлученной) ТВС за счет оптимизации конструкции твэла с использованием имеющегося технологического оборудования, возможность обеспечения замкнутого цикла по плутонию в тепловых реакторах и снижение потребления природного урана за счет использования ядерного РЕМИКС-топлива (REMIX-топлива).

Техническим результатом является увеличение энергоэффективности и выгорания топлива с сохранением надежности и безопасной эксплуатации тепловыделяющего элемента водо-водяного энергетического реактора, повышение надежности и упрощение процесса сборки свежей ТВС, обеспечение замкнутого цикла по плутонию и снижение потребления природного урана.

Сущность изобретения заключается в том, что тепловыделяющий элемент водо-водяного энергетического ядерного реактора содержит оболочку длиной 4000 ± 5 мм, выполненную из циркониевого сплава Э110 о.ч. в виде полого цилиндра, верхнюю и нижнюю заглушки, концентрично приваренные соответственно к верхнему и нижнему торцам оболочки методом контактно-стыковой сварки в среде инертного газа, с возможностью обеспечения герметизации тепловыделяющего элемента и заполнения его инертным газом, топливный столб массой от 1600 до 1800 г, концентрично размещенный в оболочке, набранный из топливных таблеток, выполненных из РЕМИКС-топлива на основе регенерированных урана и плутония с добавкой обогащенного природного урана, при содержании диоксида плутония от 1 до 3% мас., диоксида урана - остальное, эквивалентное обогащение топлива от 1 до 5% по урану-235, пружинный фиксатор, концентрично размещенный в оболочке, выполненный в виде цилиндрической пружины из нержавеющей стали с возможностью поджатия топливного столба к нижней заглушке в осевом направлении, состоящий из витков компенсирующей группы, выполненных с возможностью обеспечения осевого усилия поджатия топливного столба, и витков фиксирующей группы, выполненных с возможностью обеспечения удержания пружинного фиксатора от осевого перемещения внутри оболочки, при этом торец нижней заглушки, противоположный торцу, приваренному к оболочке, представляет собой глухую цангу с наружной и внутренней цилиндрическими поверхностями и одной продольной прорезью, причем на наружной поверхности свободного конца цанги выполнен буртик. Наружный диаметр оболочки может быть выполнен от 9,06 до 9,14 мм, внутренний диаметр - от 7,73 до 7,79 или от 7,93 до 7,99 мм. Топливные таблетки могут быть выполнены с центральным отверстием или без центрального отверстия. Виток пружинного фиксатора, контактирующий с верхней топливной таблеткой, может быть поджат до контакта и подшлифован, образуя плоскость контакта витка и топливной таблетки.

Указанная совокупность признаков является новой, неизвестной из уровня техники и решает поставленную задачу, так как:

увеличение длины топливного столба и твэла обеспечивает увеличение суммарной загрузки топлива в активную зону. Расчётное обоснование показало, что при сравнительно большей загрузке топлива обеспечиваются аналогичные твэлам реактора ВВЭР-1000 показатели работоспособности и надежности, а срок эксплуатации и выгорание топлива выше для аналогичных параметров у твэлов реактора ВВЭР-1200;

использование топливного столба из топливных таблеток, выполненных из РЕМИКС-топлива на основе регенерированных урана и плутония с добавкой обогащенного природного урана, позволяет замкнуть цикл по плутонию в тепловых реакторах и тем самым приостановить процесс его накопления или даже сократить его запасы, при этом позволит снизить потребление природного урана на 20-25% и лучше использовать топливный потенциал ОЯТ;

использование в качестве материала оболочки сплава Э110 о.ч. позволяет понизить поглощение нейтронов оболочкой за счет снижения количества гафния, что приводит к увеличению энерговыработки;

использование в конструкции твэла нижней заглушки цангового типа позволяет обеспечить сборку твэлов в пучок и их надежную фиксацию без дополнительных инструментов и фиксирующих элементов (шплинтовка и т.д.). Изобретение иллюстрируется следующими графическими материалами. На фиг. 1 изображен вариант продольного разреза заявляемого твэла для реактора ВВЭР-1200.

На фиг. 2 изображено увеличенное изображение нижней заглушки.

На фиг. 3 изображен разрез нижней заглушки.

Тепловыделяющий элемент водо-водяного энергетического ядерного реактора (фиг. 1) состоит из следующих конструктивных элементов: оболочки (3) в виде полого цилиндра, верхней (1) и нижней (2) заглушек, топливного столба (4) и пружинного фиксатора (5).

Оболочка (3) выполнена из циркониевого сплава Э110 о.ч., длина оболочки L_0 равна 4000 ± 5 мм, при этом наружный диаметр оболочки d_1 от 9,06 до 9,14 мм и внутренний диаметр оболочки d_2 от 7,73 до

7,79 мм. Также может применяться утоненная оболочка, в таком случае наружный диаметр оболочки равен от 9,06 до 9,14 мм и внутренний диаметр оболочки от 7,93 до 7,99 мм.

Верхняя (1) и нижняя (2) заглушки концентрично приварены соответственно к верхнему и нижнему торцам оболочки (3) методом контактно-стыковой сварки в среде инертного газа. Верхняя (1) и нижняя (2) заглушки обеспечивают герметичную полость внутри тепловыделяющего элемента. При этом тепловыделяющий элемент заполнен инертным газом, который подается под давлением при приварке верхней заглушки (1) к оболочке (3) внутрь твэла для обеспечения коррозионной стойкости, прочности твэла и теплопроводности.

Топливный столб (4) концентрично размещен в оболочке (3) и набран из топливных таблеток, при этом они могут быть выполнены с центральным отверстием или сплошными, без центрального отверстия.

Топливные таблетки выполнены из РЕМИКС-топлива (REMIX, от regenerated mixture) на основе регенерированных урана и плутония с добавкой обогащенного природного урана.

РЕМИКС-топливо получают из неразделенной смеси регенерированного урана и плутония, которая образуется при переработке ОЯТ. В выделенную смесь добавляют небольшое количество обогащенного урана. Таким образом, повторно используется не только плутоний, содержащийся в ОЯТ, но и невыгоревший уран-235. Массовая доля диоксида плутония может варьироваться от 1 до 3%, массовая доля диоксида урана - остальное (соответственно, от 97 до 99%), эквивалентное обогащение топлива от 1 до 5% по урану-235.

Масса топливного столба (4) составляет от 1600 до 1800 г. Увеличенные длина и масса топливного столба (4) обеспечивают увеличенную тепловую мощность реактора до 3300 МВт.

Пружинный фиксатор (5) концентрично размещен в оболочке (3) и выполнен в виде цилиндрической пружины из нержавеющей стали с возможностью поджатия топливного столба (4) к нижней заглушке (2) в осевом направлении.

Пружинный фиксатор (5) состоит из витков компенсирующей группы, выполненных с возможностью обеспечения осевого усилия поджатия топливного столба (4), и витков фиксирующей группы, выполненных с возможностью обеспечения удержания пружинного фиксатора (5) от осевого перемещения внутри оболочки (3).

При этом виток пружинного фиксатора (5), контактирующий с верхней топливной таблеткой, может быть поджат до контакта и подшлифован, образуя плоскость контакта витка и топливной таблетки.

Нижняя топливная таблетка топливного столба (4) своим нижним торцом касается нижней заглушки (2), верхняя топливная таблетка топливного столба (4) касается пружинного фиксатора (5).

Торец нижней заглушки (2), противоположный торцу, приваренному к оболочке (3), представляет собой глухую цангу с наружной и внутренней цилиндрическими поверхностями и одной продольной прорезью (7).

Прорезь (7) нижней заглушки (2) (см. фиг. 2) имеет длину L_1 от 9 до 13 мм и цилиндрическое углубление (6) (см. фиг. 3), длина которого L_2 от 9 до 13 мм. Цанговая часть (9) нижней заглушки (2) имеет длину L_3 от 15 до 16 мм (см. фиг. 2).

При этом на наружной поверхности свободного конца цанги выполнен буртик (8) с усеченно-конической частью.

Тепловыделяющий элемент водо-водяного энергетического ядерного реактора работает следующим образом.

В процессе изготовления тепловыделяющего элемента пружинный фиксатор (5) с усилием поджимает топливный столб (4) к нижней заглушке (2) в осевом направлении, обеспечивая сохранение сплошности топливного столба (4). Витки компенсирующей группы пружинного фиксатора (5) обеспечивают осевое усилие поджатия топливного столба (4). Витки фиксирующей группы пружинного фиксатора (5) обеспечивают удержание пружинного фиксатора (5) от осевого перемещения внутри оболочки (3). Удержание пружинного фиксатора (5) обеспечивается путем закрепления в оболочке (3) за счет посадки с натягом на внутреннюю поверхность оболочки (3).

В оболочку (3) из сплава Э110 о.ч. помещают топливные таблетки из РЕМИКС-топлива на основе регенерированных урана и плутония с добавкой обогащенного природного урана. Массовую долю диоксида плутония выбирают из интервала от 1 до 3%, массовую долю диоксида урана - остальное, эквивалентное обогащение топлива от 1 до 5 % по урану-235. При этом массу топливного столба (4) выбирают из интервала от 1600 до 1800 г, такая увеличенная суммарная загрузка топлива в активную зону обеспечивает увеличение энергоэффективности и выгорания топлива. Выбор РЕМИКС-топлива на основе регенерированных урана и плутония с добавкой обогащенного природного урана обеспечивает замкнутый цикл по плутонию и снижение потребления природного урана.

К оболочке (3) методом контактно-стыковой сварки в среде инертного газа приваривают верхнюю (1) и нижнюю (2) заглушки, обеспечивая герметичную полость внутри тепловыделяющего элемента. При приварке верхней заглушки (1) к оболочке (3) внутрь твэла подают инертный газ под давлением.

Образованные вышеописанным образом тепловыделяющие элементы собирают в тепловыделяющие сборки, загружаемые в активную зону ядерного реактора.

Нижнюю заглушку (2) твэла при сборке ТВС за счет упругости цанговой части (9) с прорезью (7)

фиксируют в опорной решетке ТВС. При сборке твэла в ТВС происходит сжатие прорези (7) и уменьшение наружного диаметра буртика (8) до соответствующего внутреннему диаметру решетки ТВС с образованием сплошного кольцевого бурта в сжатом положении цанги, после чего проталкивают цанговую часть (9) нижней заглушки (2) в решетку ТВС до упора, после чего прорезь (7) разжимается до исходного состояния и восстанавливается исходный наружный диаметр буртика (8). Бортик (8) упирается в решетку ТВС, тем самым удерживая нижнюю заглушку (2) и твэл от осевого перемещения.

Наличие нижней заглушки (2) описанной конструкции позволяет достичь упрощение процесса сборки свежей ТВС.

Таким образом, изобретение обеспечивает:

обеспечение замкнутого цикла по плутонию и снижение потребления природного урана за счет использования топливного столба из топливных таблеток, выполненных из РЕМИКС-топлива на основе регенерированных урана и плутония с добавкой обогащенного природного урана,

увеличение энергоэффективности и выгорания топлива с сохранением надежности и безопасной эксплуатации тепловыделяющего элемента водо-водяного энергетического реактора за счет увеличенной суммарной загрузки топлива в активную зону, а также за счет использования в качестве материала оболочки сплава Э110 о.ч.,

повышение надежности и упрощение процесса сборки свежей ТВС за счет использования в конструкции твэла нижней заглушки цангового типа, а также за счет использования контактно-стыковой сварки.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Тепловыделяющий элемент водо-водяного энергетического ядерного реактора, содержащий оболочку длиной 4000 ± 5 мм, выполненную из циркониевого сплава Э110 о.ч. в виде полого цилиндра, верхнюю и нижнюю заглушки, концентрично приваренные соответственно к верхнему и нижнему торцам оболочки методом контактно-стыковой сварки в среде инертного газа, с возможностью обеспечения герметизации тепловыделяющего элемента и заполнения его инертным газом,

топливный столб массой от 1600 до 1800 г, концентрично размещенный в оболочке, набранный из топливных таблеток, выполненных из РЕМИКС-топлива на основе регенерированных урана и плутония с добавкой обогащенного природного урана, при содержании диоксида плутония от 1 до 3% мас., диоксида урана - остальное, эквивалентное обогащение топлива от 1 до 5% по урану-235,

пружинный фиксатор, концентрично размещенный в оболочке, выполненный в виде цилиндрической пружины из нержавеющей стали с возможностью поджатия топливного столба к нижней заглушке в осевом направлении, состоящий из витков компенсирующей группы, выполненных с возможностью обеспечения осевого усилия поджатия топливного столба, и витков фиксирующей группы, выполненных с возможностью обеспечения удержания пружинного фиксатора от осевого перемещения внутри оболочки,

при этом торец нижней заглушки, противоположный торцу, приваренному к оболочке, представляет собой глухую цангу с наружной и внутренней цилиндрическими поверхностями и одной продольной прорезью, причем на наружной поверхности свободного конца цанги выполнен буртик.

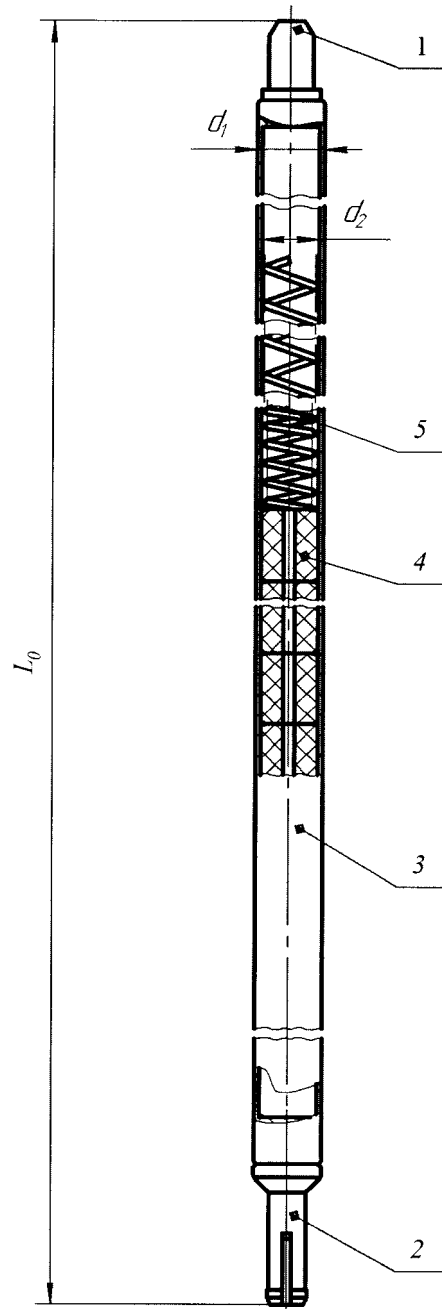
2. Тепловыделяющий элемент по п.1, отличающийся тем, что оболочка выполнена с наружным диаметром от 9,06 до 9,14 мм и внутренним диаметром от 7,73 до 7,79 мм.

3. Тепловыделяющий элемент по п.1, отличающийся тем, что оболочка выполнена с наружным диаметром от 9,06 до 9,14 мм и внутренним диаметром от 7,93 до 7,99 мм.

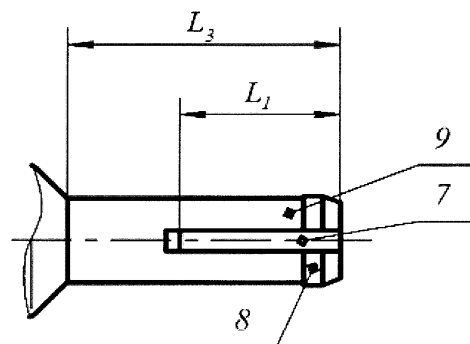
4. Тепловыделяющий элемент по п.1, отличающийся тем, что топливные таблетки выполнены с центральным отверстием.

5. Тепловыделяющий элемент по п.1, отличающийся тем, что топливные таблетки выполнены без центрального отверстия.

6. Тепловыделяющий элемент по п.1, отличающийся тем, что виток пружинного фиксатора, контактирующий с верхней топливной таблеткой, поджат до контакта и подшлифован, образуя плоскость контакта витка и топливной таблетки.

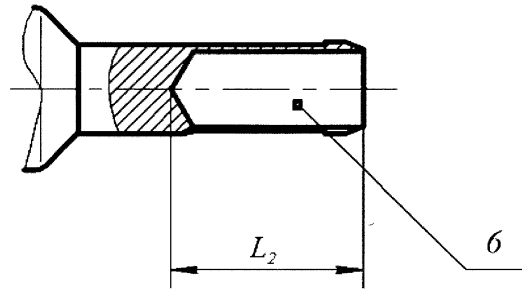


Фиг. 1



Фиг. 2

045525



Фиг. 3



Евразийская патентная организация, ЕАПВ
Россия, 109012, Москва, Малый Черкасский пер., 2
