



(19) RU (11) 2 179 343 (13) C2
(51) МПК⁷ G 21 G 1/08, G 21 C 1/22

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 2000107350/06, 28.03.2000
(24) Дата начала действия патента: 28.03.2000
(43) Дата публикации заявки: 10.10.2000
(46) Дата публикации: 10.02.2002
(56) Ссылки: RU 2087042 C1, 10.08.1998. RU 2045101 C1, 27.09.1995. SU 713373 A, 15.03.1981 US 4075057 A, 21.02.1978. WO 95/12203 A1, 04.05.1995. GB 2098788 A, 24.11.1982.
(98) Адрес для переписки:
109341, Москва, ул. Люблинская, 175, кв.150,
Л.А. Ирдынчееву

(71) Заявитель:
Ирдынчеев Люммир Ананьевич
(72) Изобретатель: Ирдынчеев Л.А.
(73) Патентообладатель:
Ирдынчеев Люммир Ананьевич

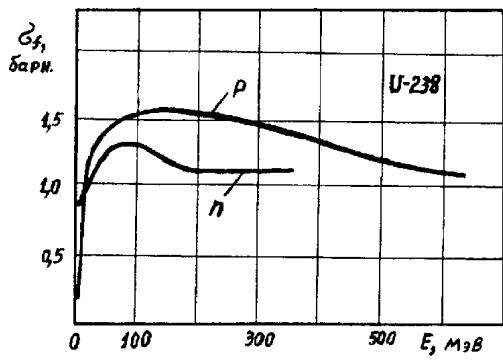
(54) СПОСОБ ДЕЛЕНИЯ ДЕЛЯЩЕГОСЯ ВЕЩЕСТВА ТЕПЛОВЫМИ НЕЙТРОНАМИ (ВАРИАНТЫ)

(57)
Способ деления делящегося вещества тепловыми нейтронами заключается в том, что в магнитную ловушку - активную зону реактора вводят пар или газ из делящегося вещества и газ-охладитель. По достижении заданной плотности делящегося вещества в активную зону вводят высокоэнергетические протоны и врачают их внутри нее, тем самым инициируют протекание ядерных реакций с испусканием быстрых нейтронов, которые после замедления в окружающем активную зону реактора замедлителе в виде тепловых нейтронов направляются в активную зону реактора. Высокоэнергетические протоны ионизуют также делящееся вещество и газ-охладитель, которые под действием скрещенных электрического и магнитного полей приводятся во вращательное движение вокруг продольной оси реактора со скоростью, обеспечивающей резонансно-динамическое деление делящегося вещества с тепловыми нейтронами. При этом постоянно подаваемый газ-охладитель под действием центрифугирования проходит через ядра делящегося вещества, охлаждает их, снижает степень их ионизации, а также забирает большую часть энергии высокоэнергетических

осколков деления и вместе с ними выводится из активной зоны реактора через конус потерь магнитной ловушки. Выделяемая в активной зоне реактора энергия регулируется изменением энергии пучка высокоэнергетических протонов. После реализации резонансно-динамического деления можно путем изменения плотности делящегося вещества перейти к такому условию, когда подача высокоэнергетических протонов может быть прекращена, но при этом реакция резонансно-динамического деления будет продолжаться. В этом случае выделяемая в активной зоне реактора энергия деления будет регулироваться скоростью вращения и плотностью делящегося вещества. Кроме того, образующиеся при делении высокоэнергетические осколки деления разогревают тяжелые протоны водорода до температуры термоядерного синтеза. Исходные ядра реакций синтеза могут быть использованы в качестве газа-охладителя. Технический результат заключается в получении дополнительной энергии, обеспечении необходимой плотности тепловых нейтронов в активной зоне реактора и снижении критической плотности ядер делящегося вещества. 2 с. ф-лы, 1 табл., 3 ил.

R
U
2
1
7
9
3
4
3
C
2

R U
• 1 7 9 3 4 3 C 2



Фиг. 1

R U 2 1 7 9 3 4 3 C 2

R U 2 1 7 9 3 4 3 C 2



(19) RU (11) 2 179 343 (13) C2
(51) Int. Cl.⁷ G 21 G 1/08, G 21 C 1/22

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

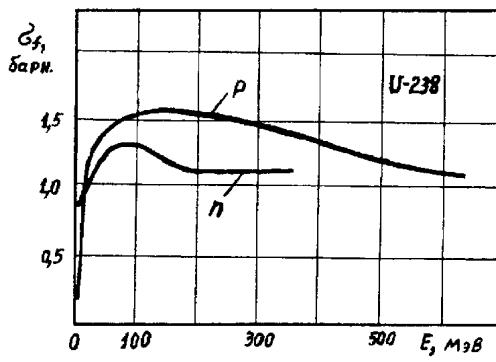
(21), (22) Application: 2000107350/06, 28.03.2000
(24) Effective date for property rights: 28.03.2000
(43) Application published: 10.10.2000
(46) Date of publication: 10.02.2002
(98) Mail address:
109341, Moskva, ul. Ljublinskaja, 175,
kv.150, L.A. Irdyncheevu

(71) Applicant:
Irdyncheev Ljummir Anan'evich
(72) Inventor: Irdyncheev L.A.
(73) Proprietor:
Irdyncheev Ljummir Anan'evich

(54) METHOD FOR THERMAL FISSION OF FISSIONABLE MATERIAL (ALTERNATIVES)

(57) Abstract:
FIELD: nuclear power engineering.
SUBSTANCE: method involves introduction of steam or gas of fissionable material and gas cooler into magnetic trap (reactor core). As soon as desired density of fissionable material is attained, high-energy protons are brought in and revolved within core thereby initiating nuclear reactions accompanied by emission of fast neutrons; the latter are passed through moderator arranged around reactor core and escape the latter in the form of thermal neutrons conveyed to reactor core. High-energy protons also ionize fissionable material and gas cooler which are set in rotary motion under the action of cross-linked electric and magnetic fields about longitudinal axis of reactor at speed ensuring resonant-dynamic thermal fission of fissionable material. In the process continuously fed gas cooler is passed under the action of centrifugal force through fissionable material nuclei, cools them down, reduces degree of their ionization, and also takes bulk of energy of high-energy fission fragments and is discharged together with them from reactor core through magnetic-trap escape cone. Energy released in reactor core is controlled by varying energy of high-energy proton beam. Upon completing resonant-dynamic fission

condition may be changed by changing density of fissionable material to cease supply of high-energy protons while resonant-dynamic fission still goes on. When this is the case, fission energy released in reactor core will be controlled by fissionable material speed and density. In addition high-energy fission fragments formed in the process heat up heavy hydrogen protons to thermonuclear fusion temperature. Original nuclei of fusion reaction may be used as gas cooler. EFFECT: enhanced amount of energy generated, improved density of thermal neutrons in reactor core, and reduced critical density of fissional material nuclei. 3 dwg, 1 tbl



Фиг. 1

R
U
2
1
7
9
3
4
3
C
2

R
U
• 1
7
9
3
4
3
C
2

Изобретение относится к области ядерной технологии и предназначено для осуществления цепной ядерной реакции резонансно-динамического (РД) деления делящегося вещества с дополнительными нейтронами, полученными от высокоэнергетических протонов (ВП).

Оно может быть использовано для выработки тепловой, электрической и световой энергии; в качестве двигательных установок для космических кораблей, воздушных, наземных, надводных и подводных транспортных установок; орошения морской воды; перехода на экологически чистую водородную энергетику и т.д.

Прототип - "Способ облучения делящегося вещества моноэнергетическими нейтронами", патент РФ N 2087042 с приоритетом от 12 июля 1995.

В прототипе приведены условия стационарного совместного протекания реакций РД деления делящегося вещества моноэнергетическими - тепловыми нейтронами (ТН) и реакции термоядерного синтеза.

Недостатком прототипа является то, что дополнительные нейтроны для цепной ядерной реакции РД деления получаются от термоядерных реакций, поджиг которых в настоящее время представляет собой весьма трудную задачу.

Другим недостатком является то, что относительно легко поджигаемая реакция D-T синтеза испускает нейтроны с энергией 14 МэВ, которые вызывают сильную активацию конструкционных материалов активной зоны (АЗ) реактора.

Поставленная задача достигается за счет того, что в способе облучения делящегося вещества моноэнергетическими нейтронами, заключающемся в том, что делящееся вещество ионизуют и перемещают вращением в поле ТН под действием скрещенных электрического и магнитного полей со скоростью их резонансного деления при соударении с ТН, вошедшими в АЗ-магнитную ловушку реактора из окружающего его замедлителя. Причем, образующиеся при делении высокоэнергетические осколки деления разогревают тяжелые изотопы водорода до температуры термоядерного синтеза, а испускаемые при термоядерном синтезе быстрые нейтроны (БН) так же, как и БН деления, попадают в замедлитель, замедляются и в виде ТН возвращаются в АЗ и тем самым снижают критическую массу делящегося вещества.

Сначала в магнитную ловушку - активную зону реактора вводят в виде пара или газа делящееся вещество и газ-охладитель, например гелий. Затем, после достижения заданной плотности ядер делящегося вещества, в магнитную ловушку, продолжая вводить охладитель, вводят ВП и под действием магнитного поля ловушки врашают их внутри нее, тем самым заставляют их проходить через ядра делящегося вещества и инициировать в них протекание ядерных реакций, таких как: деление, неупругое взаимодействие, возбуждение ядер и т.д. с испусканием БН. Рожденные по этим реакциям БН направляют в замедлитель и замедляют их до тепловых энергий, после чего полученные ТН направляют внутрь магнитной

ловушки.

При этом кроме генерирования БН, ВП ионизуют ядра делящегося вещества и гелия, после чего их под действием скрещенного электрического и магнитного полей ловушки начинают вращать внутри нее с дрейфовой скоростью, обеспечивающей РД деление делящегося вещества при соударении с ТН. При этом газ-охладитель под действием центрифугирования проходит через ядра делящегося вещества охлаждает их, снижает степень их ионизации, а также забирает большую часть энергии высокоэнергетических осколков деления, после чего его, вместе с осколками деления, выводят через конус потерь магнитной ловушки вдоль ее магнитно-силовых линий и направляют в устройства по преобразованию их кинетической энергии в другие виды энергии (электричество, свет, тепло и т.д.).

Для того, чтобы ВП не падали на стенки АЗ реактора, при их вращении внутри нее, их энергия - скорость, ларморовский радиус вращения и релятивистская масса должны удовлетворять следующему условию:

$$R_{АЗ} \geq R_p = M_p \cdot V_p / (Z_p \cdot B_p) \quad (1)$$

где $R_{АЗ}$ - радиус АЗ реактора;

R_p - ларморовский радиус ВП;

M_p - релятивистская масса ВП;

V_p - скорость ВП;

Z_p - заряд ВП;

B_p - напряженность магнитного поля ловушки в области вращения ВП.

при этом выделяемая энергия деления регулируется изменением энергии пучка высокоэнергетических протонов, причем энергия деления, выход быстрых нейтронов при делении, а также энергия высокоэнергетических протонов и выход быстрых нейтронов под действием высокоэнергетических протонов, без учета энергии деления обусловленной действием высокоэнергетических протонов на делящееся вещество, которая учитывается отдельно, связаны соотношением:

$$\Delta W_{дел} = \eta / (\kappa + \eta) \quad (2)$$

где $\eta = \Delta W_{дел} \cdot N_n(\text{дел}) / (\Delta W_{ВП} \cdot N_n(\text{ВП}))$;

$\kappa = N_n(\text{дел}) / N_n(\text{ВП})$;

$\Delta W_{дел}, \Delta W_{ВП}$ - энергия деления и ВП

$$(\Delta W_{дел} + \Delta W_{ВП} = 1);$$

$N_n(\text{дел}), N_n(\text{ВП})$ - число нейтронов полученных при делении и от ВП.

В случае, когда отношение максимального значения сечения резонансно-динамического деления движущегося делящегося вещества к сечению деления неподвижного делящегося вещества, облучаемых тепловыми нейтронами, равно или превышает величину снижения критической плотности неподвижного делящегося вещества в активной зоне реактора, то после того, как под действием высокоэнергетических протонов делящееся вещество ионизовано и приведено во вращательное движение, а его дрейфовая скорость вращения начала приближаться к ее максимальному значению в резонансе и в связи с этим коэффициент размножения нейтронов в делящемся веществе стал приближаться к единице, то для того, чтобы он не превысил этого значения, начинают снижать подачу в активную зону реактора высокоэнергетических протонов и после полного прекращения их

подачи энергию деления, выделяемую в активной зоне реактора, регулируют изменением дрейфовой скорости и (или) плотности делящегося вещества в активной зоне реактора, причем перегрев делящегося вещества при возрастании энерговыделения предотвращается увеличением подачи в активную зону реактора газа-охладителя.

Для получения дополнительной энергии или дополнительных БН, или дополнительного снижения критической плотности делящегося вещества, в качестве газа-охладителя используют исходные ядра реакций синтеза, которые, забирая энергию от делящегося вещества, осколков деления и ВП, разогреваются и по мере приближения к приосевой области АЗ реактора, могут быть нагреты до термоядерных температур, что обеспечит начало протекания в них реакций термоядерного синтеза. Энергия синтеза обеспечит требуемое количество дополнительной энергии, а нейтроны синтеза - необходимую плотность ТН в АЗ реактора и заданную кратность снижения критической плотности ядер делящегося вещества. При этом, после поджига термоядерных реакций, подача ВП может быть прекращена.

В заявке имеется одна таблица и три чертежа. В таблице показана последовательность расчета выхода БН из плутония-239 под действием ВП. В первой колонке таблицы приведены энергии ВП, во второй колонке приведен ионизационный пробег ВП, в третей - число ядер плутония на длине ионизационного пробега ВП, в четвертой - сечение деления Ru-239 ВП, в пятой - число актов деления плутония на длине ионизационного пробега (то есть вероятность осуществления акта деления), в шестой колонке представлено произведение числа нейтронов при одном акте деления на вероятность осуществления деления, в седьмой - приведен выход нейтронов на один ВП (взятый из [4]), в восьмой колонке приведен средний выход нейтронов на протон в результате аппроксимации расчетов и данных [4], в девятой колонке приведено число нейтронов приходящееся на 200 МэВ энергии ВП (то есть на энергию одного акта деления), в десятой - приведены энергозатраты ВП на получение одного нейтрона.

На фиг. 1 приведены значения сечений деления урана-238 под действием нейтронов и ВП в диапазоне их энергий от нуля до 600 МэВ, взятых из [2].

На фиг. 2 кривой 1 представлены результаты расчетов выхода нейтронов на один ВП, полученных при делении плутония-239 под действием ВП. Кривая 2 представляет данные по выходу нейтронов на один ВП из естественной смеси урана-238 [4]. Пунктирная кривая 3 показывает ориентировочный выход нейтронов на один ВП в диапазоне энергий ВП от 14 МэВ до 300 МэВ.

На фиг. 3 приведены зависимости, показывающие величину снижения критической плотности делящегося вещества при изменении энергии деления в суммарном энерговыделении. Кривые 1 и 2 взяты из [5] и показывают эти зависимости для реакции деления с реакциями синтеза D-T и D-D, соответственно. Кривая 3 показывает характер снижения критической плотности неподвижного делящегося вещества в

зависимости от энергии деления и ВП. Кривая 4 показывает то же, что и кривая 3, но при РД деления плутония-239 на резонансе 0,3 эВ, при котором сечение РД деления возрастает в 3 раза. Кривая 5 соответствует делению U-233 на резонансе 1,7 эВ, при котором сечение РД деления возрастает в 10 раз. Кривая 6 представляет снижение критической плотности делящегося вещества при возрастании сечения РД деления в 100 раз.

Последовательность операций в заявке следующая: подача в АЗ реактора делящегося вещества и газа-охладителя до достижения заданной плотности делящегося вещества, ввод ВП в АЗ реактора и вращение их внутри нее, осуществление ядерных реакций в делящемся веществе с испусканием БН под действием ВП, замедление БН до тепловых энергий и направление полученных ТН в АЗ реактора, ионизация ядер делящегося вещества и ядер охладителя и вращение их вокруг продольной оси реактора с дрейфовой скоростью, обеспечивающей РД деление делящегося вещества ТН, перемещение газа-охладителя в приосевую область за счет центрифугирования и при этом охлаждение ядер делящегося вещества и снижение степени их ионизации, а также отбор энергии у высокозергетических осколков деления и вывод газа-охладителя совместно с осколками деления из АЗ реактора через конус потерь магнитной ловушки вдоль ее магнитно-силовых линий и направление их в устройства по преобразованию кинетической энергии в другие виды энергий.

Основное отличие от прототипа заключается в том, что вместо получения дополнительных нейтронов от термоядерных реакций, их получают от воздействия ВП на делящееся вещество.

Основными преимуществами использования ВП является то, что они, вращаясь по своему ларморовскому радиусу внутри АЗ реактора, будут постоянно проходить через разреженную плазму делящегося вещества и благодаря достаточно большому пути прохождения в ней с большой вероятностью осуществлять деление делящегося вещества с большим выходом нейтронов. А также то, что ВП не захватываются ядрами делящегося вещества и не образуют трансуранные нуклиды, поскольку вероятность захвата ВП практически равна нулю (так, например, сечение захвата нейтронов с энергией 14 МэВ, для Ru-239 равно $\delta_c = 0,009$ барна [1], при этом сечение захвата ВП будет еще меньше). Следовательно, увеличивая число актов деления посредством ВП и снижая радиационный захват ТН делящимся веществом, что может быть осуществлено за счет использования резонансов с малым значением " α " $\alpha = \delta_c/\delta_f$, где δ_c сечение захвата, δ_f сечение деления. Например, $\alpha = 0,35$ при облучении ТН неподвижного Ru-239 и $\alpha = 0,05$ при его облучении нейтронами с энергией 15,5 эВ), можно будет повышать коэффициент использования ("сжигания") делящегося вещества.

Рассмотрим связь между энергией ВП и количеством БН возникающих при взаимодействии ВП с делящимся веществом. На фиг. 1 приведены сечения деления U-238 под действием нейтронов и ВП в диапазоне их

энергий от 0 до 600 МэВ [2]. Из представленных на фиг. 1 данных следует, что начиная с энергии более 12 МэВ, сечение деления у ВП немного больше, чем у нейtronов равной энергии, поэтому, с целью упрощения, можно считать, что эти сечения примерно одинаковы.

Используя принятное предположение и то, что длину пробега ВП с энергией менее 350 МэВ необходимо брать по ионизационному пробегу, так как она меньше ядерного пробега [3], найдем число актов деления в делящемся веществе под действием ВП. Результаты расчетов выхода БН деления на один ВП приведены в 6-й колонке таблицы и кривой 1 на фиг. 2.

Полученные таким образом значения количества нейtronов, приходящегося на один ВП, будем считать нижней границей числа БН, рожденных под действием ВП, поскольку в расчете не учитывались нейtrоны образующиеся по другим реакциям.

В колонке 7 и на фиг. 2 кривой 2 представлены данные по выходу БН на один ВП (взятые из [4]). В 8-й колонке и на фиг. 2, кривой 3 (пунктирная кривая), приведены предполагаемые выходы БН на один ВП. В 9-й колонке приведено число БН, приходящееся на энергию, выделяемую при одном акте деления делящегося вещества, равную 200 МэВ. Приведенные данные показывают, что эффективность генерирования нейtronов, по мере увеличения энергии ВП растет. При этом, если энергия ВП равна 400 МэВ, то эффективность генерирования нейtronов ВП практически совпадает с количеством нейtronов, получаемых по термоядерной D-T реакции, т.е. около 12 нейtronов на акт деления, а при энергии ВП более 1 ГэВ, эффективность генерации нейtronов приближается к количеству нейtronов, получаемых по D-D реакции, у которой на энергию одного акта деления приходится примерно 27 нейtronов.

При генерировании БН посредством ВП, с целью снижения критической плотности делящегося вещества, отпадают основные трудности, связанные с термоядерными реакциями, а именно:

- нагрев и удержание термоядерной плазмы;
- наличие большого тормозного и циклотронного излучения падающего на внутреннюю стенку АЭЗ реактора;
- отсутствие необходимости в получении дорогих нуклидов трития и гелия-3;
- практически полное исключение опасных нейtronов с энергией 14 МэВ, которые получаются по наиболее легко поджигаемой термоядерной D-T реакции.

Приведенные в [5] данные, по снижению критической плотности делящегося вещества от дополнительных нейtronов синтеза, могут быть использованы для целей данного изобретения. То есть, используя БН полученные от воздействия ВП на делящееся вещество, можно на 1...3 порядка снизить его критическую плотность.

Для использования данных [5], сначала рассмотрим как дополнительные нейtronы синтеза влияют на снижение критической плотности делящегося вещества.

Для этого на фиг. 3 [5], приведены кратности снижения критической плотности неподвижного делящегося вещества при

изменении доли энергии деления в суммарном энерговыделении, для D-T реакции кривая 1 и кривая 2 для D-D реакции. Из приведенных данных следует, что когда энергия синтеза равна нулю ($\Delta W_{\text{синт}} = 0,0$), то вся выделившаяся энергия обусловлена только делением, в результате получим исходную критическую плотность делящегося вещества, которую примем за 1,0. Если, например, энергия D-T синтеза составляет 30% суммарного энерговыделения ($\Delta W_{\text{дел}} = 70\%$), то в этом случае критическая плотность делящегося вещества снизится в 10 раз.

Найдем для этого примера связь между БН синтеза и деления, для этого предположим, что суммарное энерговыделение равно 1 МВт. Тогда для получения 1 МВт энергии от реакции деления необходимо, чтобы произошло $3,1 \cdot 10^{16}$ актов деления, причем при каждом акте деления плутония-239 ТН будет испущено 2,9 нейtrона, следовательно общее число нейtronов деления при выделении 0,7 МВт, будет равно:

$$N_{\text{дел}} = 0,7 \cdot 3,1 \cdot 10^{16} \cdot 2,9 = 6,3 \cdot 10^{16} \text{ [нейtrонов]}$$

Поскольку при одном акте D-T синтеза испускается один нейtron (другие испускаемые частицы не рассматриваются) и выделяется 17,6 МэВ энергии, то число нейtronов синтеза (актов синтеза) для выделения 200 МэВ энергии (как при одном акте деления) будет равно: $200/17,6 = 11,4$ нейtronов (акта синтеза). Следовательно, при выделении 0,3 МВт энергии синтеза, число испущенных нейtronов будет равно:

$$N_{\text{синт}} = 0,3 \cdot 11,4 \cdot 3,1 \cdot 10^{16} \cdot 1,0 = 1,06 \cdot 10^{17} \text{ [нейtrонов]}$$

Из этих данных следует, что на каждый испущенный БН синтеза в делящемся веществе, плотность которого в 10 раз меньше критической, образуется $\eta = 6,3 \cdot 10^{16}/1,06 \cdot 10^{17} = 0,594$ нейtronов деления. При этом энергия синтеза в 2,3 раза меньше энергии деления. (Аналогичный расчет для плотности делящегося вещества в 100 раз меньше критической показал, что на каждый нейtron синтеза образуется 0,06 нейtrона деления, при этом энергия синтеза в 4 раза больше энергии деления).

Важным свойством полученного соотношения нейtronов для выбранной плотности делящегося вещества, является то, что оно выполняется и для других реакций синтеза. Для проверки найдем это соотношение для D-D реакции (число нейtronов при выделении 200 МэВ энергии D-D синтеза равно $200/7,3 = 27,4$). Так из фиг. 3 кривой 2 видно, что для этой плотности делящегося вещества доля энергии D-D синтеза равна 15%, при этом соотношение нейtronов деления к нейtronам синтеза также будет равно:

$$\eta = 0,85 \cdot 3,1 \cdot 10^{16} \cdot 2,9 / (0,15 \cdot 27,4 \cdot 3,1 \cdot 10^{16}) = 0,6$$

Следовательно, это значение параметра η должно подходить и для нейtronов, полученных от ВП.

Найдем число ВП (N_p) соответствующих энергии протонного пучка $W_p = 1 \text{ МВт}$, при этом предположим, что энергия протонов равна $E_p = 1 \text{ ГэВ}$.

$$N_p = W_p / (E_p \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) =$$

$10^6/(1 \cdot 10^9 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}) = 6,25 \cdot 10^{15}$ [прот]

Такое количество протонов соответствует протонному пучку 0,001 ампера. Это не очень большая величина, поскольку для электроядерного реактора планируется использовать протонные ускорители с током протонного пучка 0,3 ампера [6].

Исходя из ранее полученных данных (таблица и фиг. 2) следует, что каждый ВП с энергией 1 ГэВ, перемещаясь в разреженной плазме plutonия-239, произведет примерно 100 БН, следовательно, общее число испущенных БН от пучка ВП с энергией 1 МВт будет равно:

$$N_p = 100 \cdot 6,25 \cdot 10^{15} = 6,25 \cdot 10^{17} \text{ [БН]}$$

Полагая, что критическая плотность делящегося вещества также снижена в 10 раз, то есть на каждый дополнительный БН генерированный ВП образуется 0,6 БН деления, можно найти энергию деления, которая в этом случае будет равна:

$$W(\text{дел}) = 0,6 \cdot 6,25 \cdot 10^{17} / (3,1 \cdot 10^{13} \cdot 2,9) = 4,2 \text{ МВт}$$

Это значит, что в суммарном энерговыделении энергия протонного пучка составит 19,2%, а энергия, получаемая от деления делящегося вещества, 80,8%.

На фиг. 3 кривой 3 приведена зависимость, показывающая влияние дополнительных нейтронов генерируемых ВП на снижение критической плотности делящегося вещества, при различном соотношении в суммарном энерговыделении энергий деления и пучка ВП, с энергией протонов 1 ГэВ. Из полученных данных видно, что характер снижения критической плотности делящегося вещества при использовании ВП, энергия которых равна 1 ГэВ, очень близок к характеру спада критической плотности делящегося вещества при использовании нейтронов реакции D-D синтеза.

Однако приведенные данные не учитывают энергию деления при производстве БН от ВП. Так, например, в [7] на стр. 67 сказано, что эта энергия может в 10 раз превышать энергию протонного пучка если ВП распространяются в естественной смеси урана-238 (содержание урана-235 составляет 0,7%), при этом если использовать обедненный уран-238, то выход нейтронов снизится на 25%. Это значит, что если дополнительную энергию, выделяемую ВП при производстве БН в делящемся веществе, взять еще меньшей, например, равной 50% (снижение энергии связано с тем, что хотя будет использоваться 100% обогащение плутония, которое должно поднять выделяемую энергию, однако в расчетах не учтена возможная потеря ВП через конус потерь магнитной ловушки), то с учетом этой энергии суммарное энерговыделение в АЗ реактора будет равно:

$$W = W_p + D_{\text{дел}} + W_p (\text{дел}) = 1 + 4,2 + 5 = 10,2 \text{ МВт}$$

Следовательно, доля энергии протонного пучка в суммарном энерговыделении может быть менее 10%, а поскольку энергия ВП в процессе ее преобразования в АЗ реактора в другие виды энергии в конечном счете практически полностью выходит из АЗ реактора и попадает в устройства по прямому преобразованию (коэффициент прямого преобразования в электричество может быть более 80%), то внутренние затраты из-за

использования ВП будут не очень велики. При этом КПД получения ВП также большой, поскольку, как показано в [4] на стр. 903, он может превышать 50%, это связано с тем, что процесс получения ВП будет подобен обычному трансформатору.

Таким образом, использовать ВП для получения дополнительных нейтронов и тем самым снижать критическую плотность делящегося вещества, может оказаться проще, чем использовать для этой цели реакцию D-T синтеза, а учитывая то, что средняя энергия БН, полученных от ВП, равна 2,0...2,5 эВ, то это преимущество возрастает еще больше, поскольку не будет опасных нейтронов с энергией 14 МэВ, которые вызывают опасную наведенную активность в конструкционных материалах реактора.

Важным преимуществом использования ВП является также то, что суммарная мощность, выделяемая в АЗ реактора, пропорциональна энергии протонного пучка, поэтому, изменяя энергию пучка, ее можно будет регулировать от нулевого до максимального значения. При этом, чем меньшее снижение критической плотности делящегося вещества, тем большее будет влияние энергии протонного пучка на выходную мощность.

Кроме того, в данном способе имеется и другой вариант изменения суммарного энерговыделения. Это связано с тем, что в данном способе делящееся вещество перемещается посредством вращения с дрейфовой скоростью относительно продольной оси АЗ реактора под действием скрещенных электрического и магнитного полей. Величина этой скорости в основном будет определяться величиной электрического поля, поскольку магнитное поле ловушки очень велико и поэтому его менять очень сложно. Поэтому, например, для обеспечения резонансного деления plutonия-239 ($E_{\text{рез}} = 0,3$ эВ) и урана-233 ($E_{\text{рез}} = 1,7$ эВ) при взаимно перпендикулярном движении ТН и ядер делящегося вещества, дрейфовая скорость движения plutonия должна быть $V_{\text{дв}} = 7250$, а урана 18200 м/с. (Это не очень большие скорости, так как в [8] на стр. 4 показано, что дрейфовые скорости вращения плазмы могут быть равными 10^4 - 10^5 м/с). Для достижения таких скоростей при магнитном поле, равном 5 Тл, напряженность электрического поля должна быть равной 36 кВ/м для вращения plutonия и 91 кВ/м для урана. В этом случае критическая плотность Pu-239 и U-233 снизится соответственно в 3 [5] и примерно в 10 раз.

Вначале рассмотрим случай, когда делящееся вещество неподвижно и энергия деления равна 70% (энергия ВП 30%), этому значению соответствует точка "A" на кривой 3 фиг. 3. Для этой точки критическая плотность делящегося вещества снижена в 19 раз, т. е. плотность делящегося вещества равна $0,052 \cdot N_{\text{КП}}$. ($N_{\text{КП}}$ -критическая плотность делящегося вещества без дополнительных нейтронов).

Теперь предположим, что делящееся вещество начало перемещаться со скоростью, при которой сечение деления возрастает в три раза ($E_{\text{рез}} = 0,3$ эВ, для plutonия-239) Такое возрастание сечения деления для ТН равносильно как бы повышению в 3 раза

плотности делящегося вещества. А это соответствует тому, что точка "A" должна как бы сместиться по кривой 2 вверх в точку "B", для которой критическая плотность увеличена в 3 раза и равна: $3 \cdot 0,052 = 0,156$. Для этой точки доля энергии деления в суммарном энерговыделении возросла и стала равной почти 90% от суммарного энерговыделения. Это значит, что при энергии протонного пучка 1 МВт, будет выделяться 9 МВт энергии деления. Если же использовать резонанс U-233 с энергией 1,7 эВ, то точка "A" переместится в точку "C", для которой доля энергии деления будет равна 97%, т. е. на 1 МВт энергии протонного пучка выделится уже более 32 МВт энергии деления, при все той же плотности ядер делящегося вещества, равной 0,052 от ее номинального значения. Если использовать резонанс, при котором сечение деления возрастет более чем в 19 раз, т.е. расчетная плотность делящегося вещества как бы превысит критическую плотность, то в этом случае цепная реакция пойдет в разгон. (Для обычного реактора это наихудший случай, пример авария на Чернобыльской АЭС). Для рассматриваемого реактора, основанного на реакции РД деления, ничего страшного не случится, поскольку повышенное энерговыделение в делящемся веществе начнет в первую очередь греть ядра делящегося вещества, т.е. изменять скорость их движения, а это приведет к нарушению условий РД деления делящегося вещества ТН и, в связи с этим, цепная реакция прекратится, поскольку критическая плотность делящегося вещества, для всех условий кроме конкретного резонанса, намного меньше критической плотности.

Однако для рассмотренного последнего случая, который может быть получен на любом резонансе путем повышения критической плотности делящегося вещества в АЗ реактора, когда отношение максимального значения сечения резонансно-динамического деления движущегося делящегося вещества к сечению деления неподвижного делящегося вещества, облучаемых тепловыми нейтронами, равно или превышает величину снижения критической плотности неподвижного делящегося вещества в активной зоне реактора, то после того, как под действием высокоэнергетических протонов делящееся вещество ионизовано и приведено во вращательное движение, а его дрейфовая скорость вращения начала приближаться к ее максимальному значению в резонансе и в связи с этим К эф - коэффициент размножения нейтронов в делящемся веществе стал приближаться к единице, то для того, чтобы он не превысил этого значения, начинают снижать подачу в активную зону реактора высокоэнергетических протонов и после полного прекращения их подачи энергию деления, выделяемую в активной зоне реактора, регулируют изменением дрейфовой скорости и (или) плотности делящегося вещества в активной зоне реактора, причем перегрев делящегося вещества при возрастании энерговыделения предотвращается увеличением подачи в активную зону реактора газа-охладителя.

Теперь рассмотрим случай, когда хотим сохранить энергию деления на исходном уровне, т.е. чтобы она все время была равной

70%. В этом случае необходимо, чтобы при повышении сечения деления, обусловленного РД делением делящегося вещества, происходило соответствующее снижение плотности делящегося вещества. Это значит, что для резонанса Pu-239 0,3 эВ при, котором сечение РД деления возрастает в 3 раза, плотность делящегося вещества должна быть снижена также в 3 раза, т.е. точка "A" сместится вниз на место точки "B₁" или в точку "C₁" для резонанса U-233, у которого сечение деления возрастает в 10 раз. Если после того, как плотность делящегося вещества для данного резонанса достигла своего минимального значения, продолжить ее дальнейшее снижение, то в этом случае начнет снижаться доля энергии деления в суммарном энерговыделении. Характер этого снижения будет подобен кривой 3, просто будет смещен вниз, для меньших плотностей делящегося вещества, соответственно в 3 раза для Pu-239 кривая 4, в 10 раз для U-233 кривая 5 или в соответствии с кривой 6, которая получена для случая, при котором эффект РД деления делящегося вещества равен 100 (максимальный эффект РД деления Pu-239 при его резонансе 75,2 эВ равен 180 [9]).

Для получения дополнительной энергии или дополнительных БН, или дополнительного снижения критической плотности делящегося вещества, могут быть использованы реакции синтеза. Эти реакции могут быть инициированы высокозергетическими осколками деления и ВП при замене газа-охладителя, в нашем случае гелия, на газовую смесь исходных ядер синтеза.

Основным фактором мешающим протеканию термоядерных реакций является присутствие ядер делящегося вещества, концентрация которых может быть снижена за счет рассмотренного снижения критической плотности делящегося вещества и эффекта центрифугирования при дрейфовом вращении, благодаря которому в приосевой области, где предполагается "поджечь" реакции синтеза, плотность ядер делящегося вещества может быть снижена, от своего среднего значения, более чем на три порядка [8, стр. 25]. Исходя из этого допустимую величину средней по АЗ реактора плотности делящегося вещества можно определить, используя кривые 3,4,5 и 6 на фиг. 3. После достижения в АЗ реактора заданной плотности, газ-охладитель заменяется на газ из исходных ядер синтеза, который, забирая энергию от делящегося вещества, осколков деления и ВП, разогревается и по мере приближения к приосевой области АЗ реактора может быть нагрет до термоядерных температур, что обеспечит начало и последующее стабильное протекание в приосевой области реакций термоядерного синтеза.

При этом энергия синтеза обеспечит требуемое количество дополнительной энергии, а нейтроны синтеза - необходимую плотность ТН в АЗ реактора и заданную кратность снижения критической плотности ядер делящегося вещества. Причем, после "поджига" термоядерных реакций подача ВП может быть прекращена.

Литература

1. Абагян Л. П., Базазянц М.Н., Николаев М.Н. и Цибуля А.М., Групповые константы для

RU 179343 C2

- расчета реакторов и защиты. Справочник. М.; Энергоиздат, 1981.
2. Кикоин И. К., Таблицы физических величин. Справочник. М.: Атомиздат, 1976.
 3. Калашникова В. И., Козодаев М.С., Детекторы элементарных частиц. М.: Наука, 1966.
 4. Барашенков В. С., Ядерно-физические аспекты электроядерного метода, Физика элементарных частиц и атомного ядра, т. 9, вып. 5, 1978.
 5. Ирдынчев Л.А., Малофеев А.М., Концепция гибридного ядерного реактора резонансного деления с дополнительными нейтронами синтеза. Материалы 8-й конференции ЯО РФ, 1997.
 6. Благоволин П.П., Казарицкий В.Д., Киселев Г. В. и др. Трансмутация долгоживущих радиоактивных отходов ядерной энергетики. Атомная энергия, т. 70, вып. 6, 1991.
 7. Крамер-Агеев Е. А., Лавренчик В.Н., Самосадный В. Т. и др. Экспериментальные методы нейтронных исследований. М.: Энергоатомиздат, 1990.
 8. С. В. Коробцев, В.Д.Русанов. Плазменная центрифуга плазмохимический реактор нового типа. М., ЦНИИ и ТЭИ по атомной науке и технике, 1988.
 9. Ирдынчев Л.А. Способ осуществления цепной ядерной реакции деления на резонансных нейтронах. Патент М 2130206, от 19.02.92.

Формула изобретения:

1. Способ деления делящегося вещества тепловыми нейтронами, заключающийся в том, что делящееся вещество ионизуют и перемещают вращением в поле тепловых нейтронов под действием скрещенных электрического и магнитного полей со скоростью их резонансного деления при соударении с тепловыми нейтронами, вошедшими в активную зону - магнитную ловушку реактора из окружающего его замедлителя, причем образующиеся при делении высокоэнергетические осколки деления разогревают тяжелые изотопы водорода до температуры термоядерного синтеза, а испускаемые при термоядерном синтезе быстрые нейтроны так же, как и быстрые нейтроны деления попадают в замедлитель, замедляются и в виде тепловых нейтронов возвращаются в активную зону и тем самым снижают критическую массу делящегося вещества, отличающейся тем, что в магнитную ловушку - активную зону реактора сначала вводят пары или газ из делящегося вещества и газ-охладитель, например гелий, затем, по достижении заданной плотности ядер делящегося вещества, в магнитную ловушку, продолжая вводить охладитель, вводят высокоэнергетические протоны и под действием магнитного поля ловушки врашают их внутри нее, тем самым заставляют их проходить через ядра делящегося вещества и инициировать в делящемся веществе протекание ядерных реакций, таких, как деление, неупругое взаимодействие, возбуждение ядер и т. д. с испусканием быстрых нейтронов, полученные по этим реакциям быстрые нейтроны направляют в замедлитель и замедляют их до тепловых энергий, после чего возникшие тепловые нейтроны направляют внутрь магнитной ловушки, при этом, кроме генерирования

быстрых нейtronов, высокоэнергетические протоны ионизуют ядра делящегося вещества и газа-охладителя, после чего их под действием скрещенного электрического и магнитного полей ловушки начинают вращать внутри нее с дрейфовой скоростью, обеспечивающей резонансно-динимическое деление делящегося вещества при соударении с тепловыми нейтронами, при этом газ-охладитель под действием центрифугирования проходит через ядра делящегося вещества, охлаждает их, снижает степень их ионизации, а также забирает большую часть энергии высокоэнергетических осколков деления, после чего его вместе с осколками деления выводят через конус потерь магнитной ловушки вдоль ее магнитно-силовых линий и направляют в устройства по преобразованию их кинетической энергии в другие виды энергии - электричество, свет, тепло и т. д. , при этом для того, чтобы высокоэнергетические протоны не падали на стенки активной зоны реактора при их вращении внутри нее, их энергия - скорость, ларморовский радиус вращения и релятивистская масса должны удовлетворять следующему условию:

$$R_{A3} \geq R_p = M_p \cdot V_p / (Z_p \cdot B_p),$$

где R_{A3} - радиус активной зоны реактора;

R_p - ларморовский радиус высокоэнергетических протонов;

M_p - релятивистская масса высокоэнергетических протонов;

V_p - скорость высокоэнергетических протонов;

Z_p - заряд высокоэнергетических протонов;

B_p - напряженность магнитного поля ловушки в области вращения высокоэнергетических протонов,

при этом выделяемая энергия деления регулируется изменением энергии пучка высокоэнергетических протонов, и(или) изменением дрейфовой скорости делящего вещества, и(или) изменением плотности делящегося вещества в активной зоне реактора, при этом перегрев делящегося вещества при возрастании энерговыделения предотвращается увеличением подачи в активную зону реактора газа-охладителя, причем энергия деления, выход быстрых нейтронов при делении, а также энергия высокоэнергетических протонов и выход быстрых нейтронов под действием высокоэнергетических протонов без учета энергии деления, обусловленной действием высокоэнергетических протонов на делящееся вещество, которая учитывается отдельно, связаны соотношением

$$\Delta W_{\text{дел}} = \eta / (\chi + \eta),$$

где $\eta = \Delta W_{\text{дел}} \cdot N_n(\text{дел}) / (\Delta W_{\text{ВП}} \cdot N_n(\text{ВП}))$;

$\chi = N_n(\text{дел}) / N_n(\text{ВП})$;

$\Delta W_{\text{дел}}$, $\Delta W_{\text{ВП}}$ - энергия деления и высокоэнергетических протонов

$(\Delta W_{\text{дел}} + \Delta W_{\text{ВП}} = 1)$;

$N_n(\text{дел})$, $N_n(\text{ВП})$ - число быстрых нейтронов, полученных при делении от воздействия высокоэнергетических протонов на делящееся вещество.

2. Способ деления делящегося вещества тепловыми нейтронами, заключающийся в том, что делящееся вещество ионизуют и перемещают вращением в поле тепловых нейтронов под действием скрещенных

электрического и магнитного полей со скоростью их резонансного деления при соударении с тепловыми нейтронами, вошедшими в активную зону - магнитную ловушку реактора из окружающего его замедлителя, причем образующиеся при делении высокоэнергетические осколки деления разогревают тяжелые изотопы водорода до температуры термоядерного синтеза, а испускаемые при термоядерном синтезе быстрые нейтроны так же, как и быстрые нейтроны деления, попадают в замедлитель, замедляются и в виде тепловых нейтронов возвращаются в активную зону и тем самым снижают критическую массу делящегося вещества, отличающейся тем, что для получения дополнительной энергии или дополнительных быстрых нейтронов или дополнительного снижения критической плотности делящегося вещества в качестве

газа-охладителя используют исходные ядра реакций синтеза, которые, забирая энергию от делящегося вещества, осколков деления и высокоэнергетических протонов, разогреваются и по мере приближения к приосевой области активной зоны реактора нагреваются до термоядерных температур, что обеспечит начало протекания в них реакций термоядерного синтеза, при этом энергия синтеза обеспечит требуемое количество дополнительной энергии, а нейтроны синтеза - необходимую плотность тепловых нейтронов в активной зоне реактора и необходимую кратность снижения критической плотности ядер делящегося вещества, при этом после поджига термоядерных реакций подача высокоэнергетических протонов может быть прекращена.

20

25

30

35

40

45

50

55

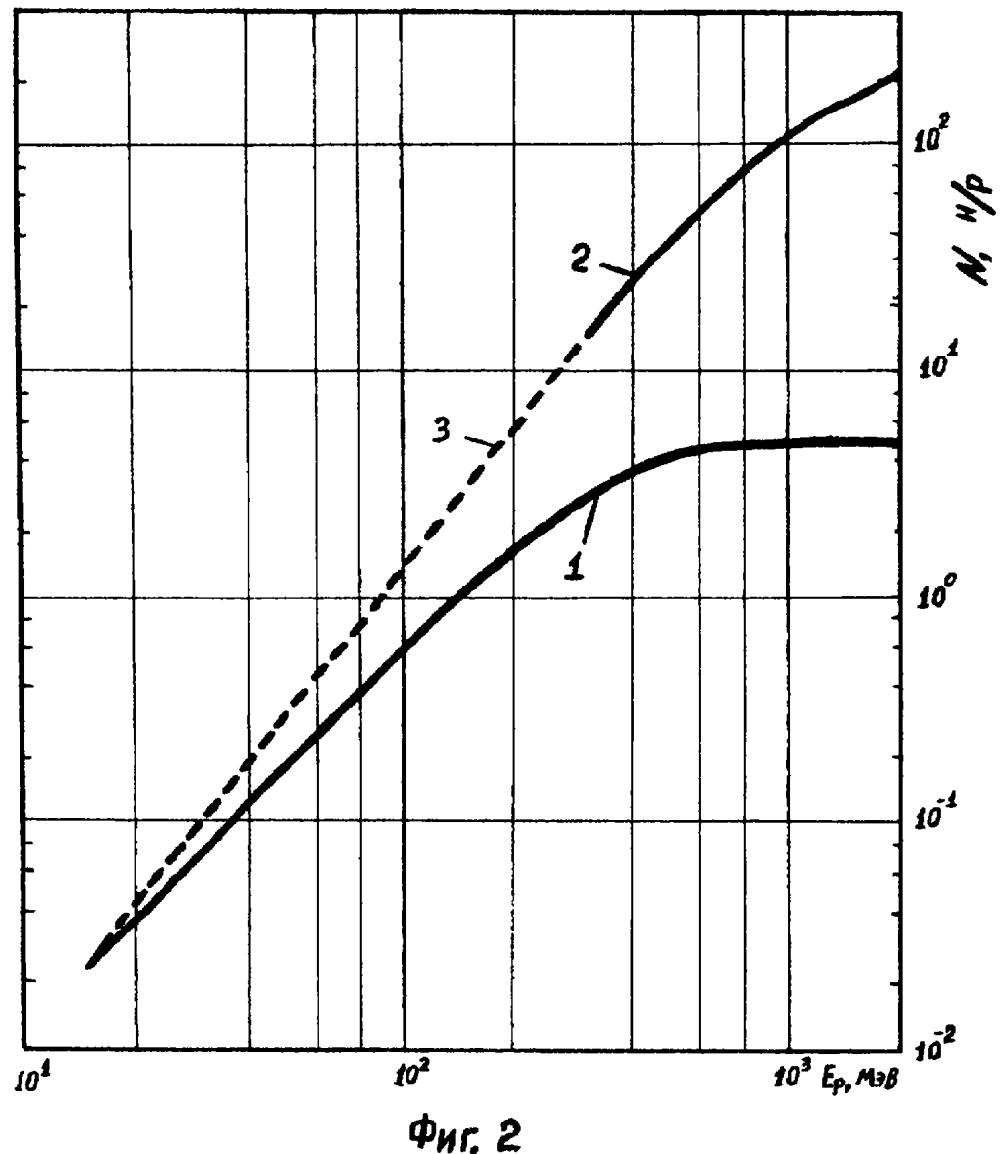
60

Влияние энергии протонов на выход быстрых нейтронов из плутония-239

E_p , МэВ	Ионизац. пробег, г/см	Число яд. барн (R_u^{19}), яд/см	числ. акт. дел. на длину иониз. Ри	Вых. нейтр. на один акт дел. на один прот. [1]	Вых. нейт. на один акт дел. на один прот. [1]	Средний вых. нейт. на один акт дел.	Число "η" на энергию затрач. на получ. 1 "η"
1	2	3	4	5	6	7	9
14	0,6	$1,80 \cdot 10^{21}$	2,5	0,004490	0,0223	-	0,31
30	2,2	$6,42 \cdot 10^{22}$	2,5	0,0159	0,079	-	0,67
100	18,0	$5,26 \cdot 10^{23}$	2,5	0,123	0,604	-	300
200	55,0	$1,60 \cdot 10^{23}$	2,5	0,330	1,634	-	71,4
300	100,0	$2,92 \cdot 10^{23}$	2,5	0,518	2,564	13,0	5,49
400	170,0	$4,96 \cdot 10^{23}$	2,5	0,711	3,519	25,0	36,4
500	230,0	$6,72 \cdot 10^{23}$	2,5	0,814	4,029	38,0	8,66
600	300,0	$8,76 \cdot 10^{23}$	2,5	0,888	4,396	50,0	23,1
700	380,0	$1,11 \cdot 10^{24}$	2,5	0,938	4,643	50,0	12,5
800	470,0	$1,37 \cdot 10^{24}$	2,5	0,967	4,787	50,0	16,0
900	550,0	$1,61 \cdot 10^{24}$	2,5	0,982	4,861	50,0	13,1
1000	650,0	$1,90 \cdot 10^{24}$	2,5	0,991	4,905	50,0	11,7
1250	800,0	$2,34 \cdot 10^{24}$	2,5	0,997	4,935	132,0	10,9
1500	1000,0	$2,92 \cdot 10^{24}$	2,5	0,9993	4,946	161,0	10,5
1750	1400,0	$4,09 \cdot 10^{24}$	2,5	0,99996	4,950	189,0	9,5
2000	1700,0	$4,96 \cdot 10^{24}$	2,5	0,99996	4,950	216,0	9,3

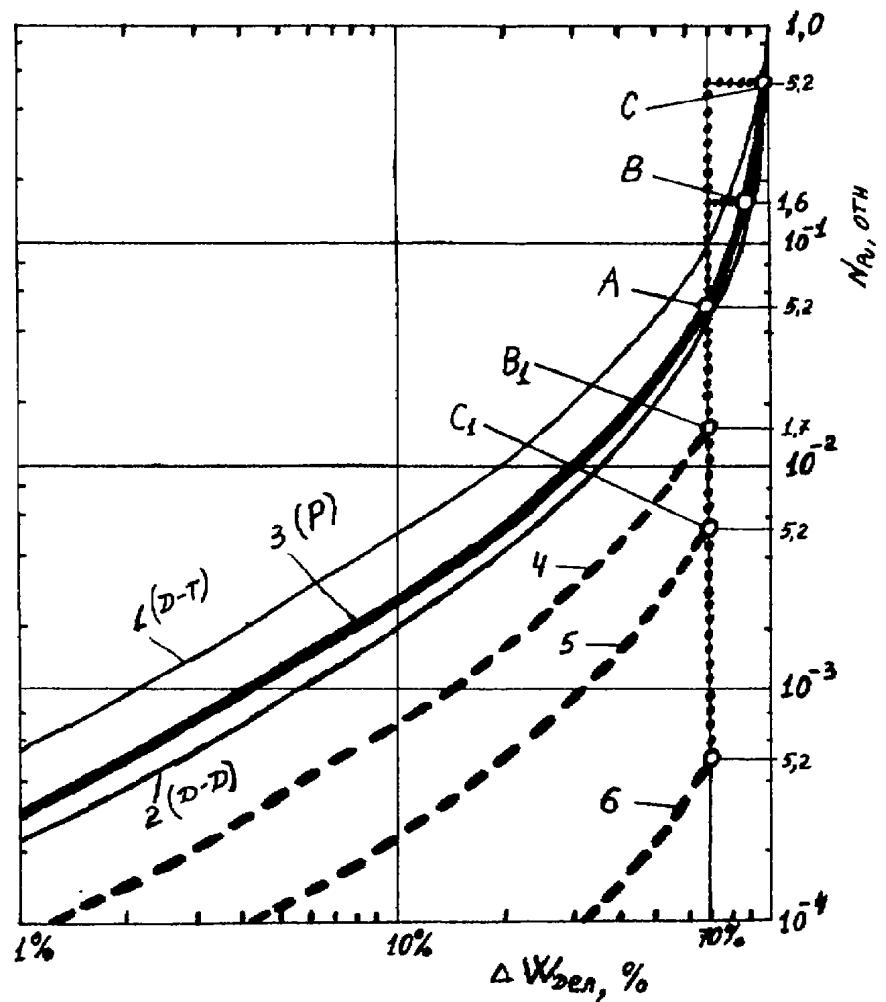
1. Баращенков В. С. Ядерно-физические аспекты электроджидерного метода. Физика элементарных частиц и атомного ядра. Т. 9. Вып. 5. 1978.

R U ~ 1 7 9 3 4 3 C 2



ФИГ. 2

R U 2 1 7 9 3 4 3 C 2



ФИГ. 3

R U 2 1 7 9 3 4 3 C 2

R U 2 1 7 9 3 4 3 C 2