



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU K AUTORSKÉMU OSVĚDČENÍ

255601

(11) (B1)

(51) Int. Cl.⁴

G 21 G 4/08

(22) Přihlášeno 18 05 84

(21) PV 3764-84

(40) Zveřejněno 13 08 87

(45) Vydáno 15 12 88

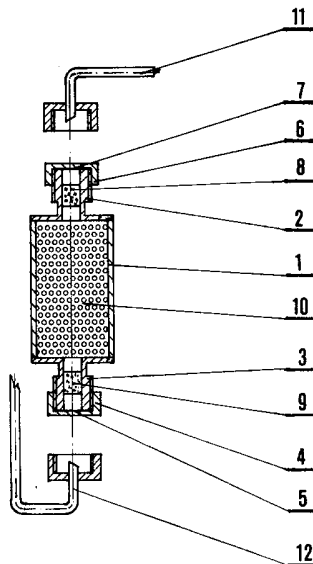
(75)

Autor vynálezu

SVOBODA KRISTIAN RNDr. CSc., MELICHAR FRANTIŠEK ing. CSc., PRAHA,
ŠEBEK ZDENĚK, KLECANY, TYMPL MILAN, PRAHA

(54) Eluční stavebnicový generátor ^{99m}Tc a způsob jeho výroby

Účelem navrženého řešení je umožnit výrobu elučního generátoru ^{99m}Tc na reaktorech se střední intenzitou toku neutronů a zjednodušit výrobní operace i způsob použití u spotřebitele, čehož se dosáhne výrobou jednotlivých dílů generátorové stavebnice, včetně základní eluční generátorové nádoby jako neaktivními prefabrikáty. Jako účinné látky se používají materiály s vysokým obsahem molybdenu a umožňující současně dobrou eluci ^{99m}Tc. Takovými látkami jsou molybdenany, případně polymolybdenany kovů, které se málo aktivují neutrony, například Zr, Ti. Účinná náplň je umístěna do základní eluční generátorové nádoby, zhotovené z kovů málo se aktivujících neutrony, například Zr, Al nebo křemene. Základní generátorová nádoba je uzavřena a chráněna proti sekundární bakteriální kontaminaci. Nejprve slouží jako ozářovací ampule v reaktoru, kde současně s aktivací neutrony dochází k radiakční sterilizaci. Potom je za aseptických podmínek napojena na přívodní spoje a slouží bezprostředně jako kolonka generátoru. Terčový materiál slouží přitom jako eluční matrice generátoru. Prefabrikovaný stavebnicový generátor je určen pro přípravu ^{99m}Tc pro lékařské i další, například technické použití.



Vynález se týká elučního stavebnicového generátoru ^{99m}Tc a způsobu jeho výroby. Umožňuje vyrobit dostatečně aktivní generátor ^{99m}Tc pro lékařské aplikace a to i při ozařování molybdenu v přirozené izotopické směsi na reaktoru se střední intenzitou toku neutronů. Tento typ generátoru umožňuje provést převážnou část výrobních operací před vlastním ozáření a vyrobit většinu stavebnicových dílů generátoru jako neaktivní součástky, které mohou být předem samostatně dodávány spotřebitelům. Také vlastní základní eluční generátorovou nádobku možno dodat jako neaktivní prefabrikát a ozářit ji až na místě určení, například v rozvojových zemích na lokálním reaktoru. Možnost finálního jednoduchého sestavení generátoru až na místě spotřeby usnadní embaláž a transport.

^{99m}Tc je široce používaným radionuklidem, pro přípravu celé řady radiofarmak používaných v nukleární medicíně. Vzhledem k jeho krátkodobému poločasu rozpadu 6 hod. je většinou dodáváno do nemocnic ve formě generátoru, v němž vzniká rozpadem mateřského radionuklidu ^{99}Mo , od něhož je izolováno chemickým postupem. Preparát ^{99m}Tc , jak pro bezprostřední aplikaci v podobě technecistanu, tak i pro přípravu značených sloučenin, používaných jako radiofarmaka a připravovaných přímo v nemocnicích, je třeba získat dostatečně vysoké čistoty a dostatečně vysoké měrné aktivity.

Současný rozvoj nukleární medicíny vyžaduje dodávky generátorů o celkové aktivitě minimálně 4 GBq zpravidla však 8 GBq, 12 GBq někdy i více až 40 GBq. Z dosud vyvinutých generátorových systémů je nejvhodnější eluční generátor, který má především pro uživatele řadu výhod, tj. zejména snadnou a časově nenáročnou manipulaci. V tomto typu generátoru se zpravidla jako sorpční materiál používá oxid hlinitý, jehož sorpční kapacita činí několik málo % hmotnostních Mo. To umožňuje při ozařování molybdenu a přirozeným zastoupením izotopů v reaktorech se střední intenzitou toku neutronů tj. $10^{17} \text{ n/m}^2 \cdot \text{s}$ připravit generátory o celkové aktivitě několika stovek MBq, a to je pro běžné aplikace málo. Je proto třeba používat jako terčového materiálu buď obohaceného ^{98}Mo s reaktorů a vysokou intenzitou toku neutronů, nebo získávat beznosičový ^{99}Mo štěpením uranu.

Obě cesty jsou velmi náročné, zejména s ohledem na vysoké investiční náklady - vysokovýkonný reaktor anebo komplex laboratoří pro zpracování vysoce aktivního ozářeného uranu a likvidaci dvacetinásobku aktivity štěpných produktů po oddělení ^{99}Mo a současně i s ohledem na značnou pracnost. Pro řadu zemí jsou tyto postupy nedostupné a pro separaci ^{99m}Tc od mateřského ^{99}Mo jsou používány principiálně odlišné chemické procesy, při kterých není na závažnou nižší specifická aktivita. Používá se buď sublimace ^{99m}Tc z vhodné sloučeniny ^{99}Mo - nebo extrakce ^{99m}Tc metyetylketonem ze silně alkalického vodného roztoku molybdenanu ^{99}Mo .

Oba postupy umožňují sice používat aktivního materiálu získaného ozařováním molybdenu v přirozené izotopické směsi na reaktorech se střední až nízkou intenzitou toku neutronů tj. cca $5 \cdot 10^{16}$ až $5 \cdot 10^{17} \text{ n/m}^2 \cdot \text{s}$; jejich nevýhodou je však větší složitost aparatury a větší pracnost získávání ^{99m}Tc než u běžného elučního generátoru. Většinou se proto tyto postupy s úspěchem uplatnily pouze pro centrální výrobu ve střediscích jaderného výzkumu, odkud je do okolních nemocnic dodáváno tzv. instantní technecium ^{99m}Tc . Jsou sice vyvinuty miniaturizované varianty obou typů generátorů, vhodné pro provoz v nemocnicích, extrakční nebo sublimační, jejichž zavádění se však prosazuje velmi obtížně s ohledem na větší pracnost separace.

V posledních letech se objevují výzkumné tendence, místo oxidu hlinitého použít jako generátorové sorpční matice jiných látek, ve kterých by bylo obsaženo podstatně větší množství molybdenu, z nichž by se rovněž s vysokým výtěžkem mohlo eluovat ^{99m}Tc . V roce 1978 patentoval Evans z australského střediska jaderného výzkumu v Lucas Heights a později zveřejnil na konferenci svůj nový typ sorpčního generátoru jak uvádí referát autorů J.V. Evans, P.W. Moore, M.E. Shying, J.M. Soddeau: A new generator for ^{99m}Tc , na str. 1 592 až 1 595 ve Sborníku III. World Congress on Nuclear Medicine and Biology, Paris 1982.

Tento typ generátoru je založen na generátorové sorpční matici z molybdenanu zirkoničitého, získaného z ozářeného oxidu molybdenového rozpouštěním v roztoku louhu, srážením dusičnanem

zirkoničitým, sušením při 105 °C. Získaný molybdenan zirkoničitý s přibližným složením $\text{ZrO}_2 \cdot \text{MoO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ a přibližným obsahem 25 % hmotnostních molybdenů byl, řízeným, blíže neuvedeným, způsobem hydratace upraven do formy, v níž umožňoval eluci rozpadem ^{99}Mo vzniklého $^{99\text{m}}\text{Tc}$ s účinností 70 až 90 %.

Nyní byly provedeny podobné experimenty se srovnatelnými výsledky, kromě molybdenanu zirkoničitého též s molybdenanem titaničitým, efektivita eluce $^{99\text{m}}\text{Tc}$ byla 50 až 80 %. Byla zkoušena eluční matrice s obsahem 10 až 40 % hmotnostních molybdenů, nejlepší výsledky byly získány s preparáty v rozmezí 20 až 30 % hmotnostních molybdenů. Na rozdíl od citovaného autora se vzorky nezpracovávali sušením při 105 °C a speciálním hydratačním procesem, ale pouze sušením při nižších teplotách, tj. 40 až 50 °C. V další sérii pokusů byla zkoušena eluce $^{99\text{m}}\text{Tc}$ z eluční matrice, která byla původně jako terčová látka ozářena v reaktoru neutrony, byl to jednak molybdenan zirkoničitý, jednak titaničitý. Preparáty byly před ozářením dlouhodobě sušeny za pokojové teploty a použity frakce o zrnitosti 50 až 140 μm . Dosahovaná činnost eluce $^{99\text{m}}\text{Tc}$ se pohybovala v mezích 40 až 80 %.

Tyto výsledky vytvořily teoretické předpoklady pro vytýčení úkolu konstrukce elučního stavebnicového generátoru nového typu, který by sestával z dílů vyrobených předem v neaktivní formě a po ozáření by se jednoduchou manipulací upravil pro eluční proces. Takový generátor má odstranit následující nevýhody dosavadních postupů získávání $^{99\text{m}}\text{Tc}$:

- omezená dostupnost obohaceného izotopu ^{98}Mo a reaktorů s vysokým tokem neutronů,
- investiční a provozní náročnost přípravy elučních generátorů na bázi ^{99}Mo ze štěpných produktů,
- problémy s kontrolou používaných štěpných materiálů,
- náročnost a nákladnost likvidace štěpných produktů vznikajících jako vedlejší produkt,
- zvýšení rizika kontaminace životního prostředí,
- relativně větší složitost a časová náročnost postup získávání $^{99\text{m}}\text{Tc}$ extrakčním nebo sublimačním postupem,
- transportní problémy při dodávkách instantního technecia z centrálního generátoru,
- obtížnost zavádění provozu sublimačního nebo extrakčního generátoru v miniaturizované verzi v nemocnicích,
- nemožnost použít reaktorů s tokem neutronů pod $1 \cdot 10^{18} \text{ n/m}^2\text{s}$ pro výrobu elučního generátoru s aktivitami nad 2 GBq na bázi (n, gama) reakcí vzniklého ^{99}Mo ,
- velká pracnost a náročnost na laboratorní vybavení dosavadních postupů pro výrobu elučních generátorů,
- nezbytnost dodatečné sterilizace,
- značné transportní náklady a někdy i potíže s umístěním většího počtu zásilek do letadla, zejména do vzdálenějších míst při nutnosti transportovat celé generátorové komplety.

Uvedené nevýhody dosavadních řešení odstraňuje nový typ elučního generátoru podle vynálezu, jehož podstata tkví v tom, že:

- základní generátorová eluční nádobka je zhotovena z materiálu neutrony málo aktivovatelného, je opatřena dvěma výstupy s porézními ucpávkami a snadno odstranitelnými uzávěry, je naplněna hrubě dispersním materiálem s vysokým obsahem molybdenů, což umožňuje nejprve nádobku použít jako ozařovací ampuli a její náplň jako terčový materiál jakož i posléze po skončeném ozáření v reaktoru jejich bezprostřední použití jako generátorovou eluční kolonku a náplně jako eluční matrici pro vymývání $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -
- náplň základní eluční generátorové nádoby je tvořena materiálem, kde molybden není sorbován na jeho povrchu, ale přímo zabudován do chemického skeletu a to takové struktury, která umožňuje snadnou eluci $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generovaného v matrici radioaktivním rozpadem ^{99}Mo ; takovými materiály jsou ve vodě nerozpustné molybdenany případně polymolybdenany, jejichž kationty jsou tvořeny ionisovanými atomy prvků, které se neutrony málo aktivují za tvorby příslušných radioisotopů, např. zirkonu nebo titanu.

Přednosti nového typu stavebnicového elučního generátoru jsou dále zvýrazněny způsobem jeho výroby podle vynálezu vyznačeného tím že:

- základní eluční generátorová nádoba je ještě v neaktivním stavu před vlastní aktivací neutrony v reaktoru naplněna eluční matricí a uzpůsobena jak pro použití jako ozařovací ampule v reaktoru, tak po jednoduché montážní úpravě i k použití jako základní kolonka generátoru; takto připravená základní generátorová eluční nádoba s uzavřenými výstupy je poté ozařena v reaktoru, čímž se v její náplni, tj. skeletu matrice, aktivací neutrony vytvoří radioaktivní atomy ^{99}Mo generující ^{99}Tc ; po vyjmutí z reaktoru se uvolní uzávěry výstupů a hadičkami připojí ostatní komponenty generátorové stavebnice; při výrobě generátoru ve sterilním provedení jsou všechny komponenty generátoru předem vysterylizovány a obalem chráněny proti sekundární bakteriální kontaminaci, postiradiační montáž je prováděna za aseptických podmínek a pro sterilisaci samotné základní eluční generátorové nádoby je s výhodou využívána radiační sterilizace probíhající jako průvodní jev při jejím ozařování v jaderném reaktoru.

Základní sestava stavebnicového elučního generátoru a jeho funkce jsou znázorněny na obrázcích 1 a 2.

Základní eluční generátorová nádoba 1 je zpravidla válcovitá, s přívodem 2 a odvodem 3 a má objem několika ml až několika desítek ml. Je zhotovena z materiálu, který se málo aktivuje neutrony a přitom je odolný proti korozi, např. křemen, zirkonium, hliník. Nádoba je naplněna terčovým materiálem 10 s obsahem nad 10 % hmotnostních molybdenů, který umožňuje přitom účinnou selektivní eluci ^{99}Tc vzniklého rozpadem ^{99}Mo . Jsou to zpravidla práškovité až zrnité molybdenany, případně polybdemolybdenany zirkonia, titanu eventuálně dalších neutrony málo se aktivujících prvků. Terčový materiál je v nádobě fixován ucpávkami 8, 9.

Jako fixační materiál se použijí neutrony se málo aktivující materiály upravené do porézní formy tak, aby zadržovaly jemně zrnitý terčový materiál a přitom byly dobře propustné pro eluční roztok. Takovými materiály jsou například: porovitý sintr oxidu křemičitého nebo zirkoničitého, grafitová plst, vláknitý křemenný nebo hliníkový kompozit.

Příprava generátoru lze s výhodou uspořádat tak, aby zároveň s neutronovou aktivací reaktoru proběhlo také radiační sterilizace. Přívodní a odvodní trubičky jsou před vložením do reaktoru vhodným způsobem uzavřeny, například zatavením, zapertlováním s hliníkovým těsněním, zašroubováním uzávěrů 4, 6 hliníkovým těsněním 5, 7. Podle potřeby může být ještě celá nádoba zabalena do hliníkové fólie, jako ochrana proti sekundární bakteriální kontaminaci po vyjmutí z reaktoru do aseptického napojení přípojných trubiček, resp. hadic 11, 12.

Po ozaření v reaktoru jsou ve sterilním a stíněném boxu uvolněny trubičky základní generátorové kolonky, například odpilováním, odřezáním, proražením pertlu, odšroubováním a na ně napojeny předem sterilizované odpovídající koncovky, přívodní a odvodní hadičky, případně trubičky 11, 12. Opačné koncovky těchto přívodů zůstávají vhodně chráněny obalem nebo zátkou před bakteriální kontaminací. Základní generátorová kolonka je spolu s přívody umístěna do primárního olověného krytu - přepravníku 13. Přepravník může být s výhodou zhotoven z olova nebo uranu ochuzeného o ^{235}U .

Přívodní a odvodní hadičky 11, 12 jsou složeny do příslušných otvorů v přepravníku 13, případně jeho víku 14 tak, aby nepřekážely při přepravě. Jejich volné koncovky jsou zátkami nebo obaly zajištěny proti bakteriální kontaminaci. Primární kryt je překryt olověným víkem 14, které je opatřeno kulovitým výstupkem pro uchopení. Víko je připojeno k tělu krytu dvěma šrouby, nebo jiným vhodným způsobem například dvěma návlečnými obdélníkovými obručemi.

Po uzavření v plechové konzervě je tato hlavní část generátoru zasílána ke spotřebiteli.

Spotřebiteli jsou předem v samostatném obalu periodicky zasílány další součástky gene-

rátorové stavebnice, které jsou předem sterilizovány a chráněny proti sekundární bakteriální kontaminaci. Jsou to: reservoir 15 apyrogenního elučního roztoku (plastický vak, láhev s asepticky chráněným vstupem vzduchu, injekční stříkačka apod.), ochranná kolonka 16 naplněna vhodným sorbentem, například oxidem zirkoničitým, hlinitým, napichovací hlava 17, s přípojnou hadičkou lahvičky 18 na eluátu v olověném krytu 19.

Kromě toho je spotřebiteli jednorázově dodáván laboratorní olověný stínící kryt 20 a nástavec 21 pro umístění připojujících dílů stavebnice. U spotřebitele je po vyjmutí z konzervy přepravník 13 umístěn do laboratorního krytu 20 z olova nebo ochuzeného uranu, ve tvaru silnostěnného hrnce. Uvolněny jsou koncovky hadiček, přívodná 11, aseptickým způsobem napojena na reservoir 15 se sterilním apyrogenním fyziologickým roztokem a odvodná 12 na komplet ochranné kolonky 16, spojené s napichovací hlavicí 17 penicilinových lahviček 18 pro eluát, které jsou umísťovány v ochranném tenkostěnném olověném krytu 19.

Všechna tato zařízení jsou upevněna ve válcovitém nástavci 21, ve kterém jsou prohlubně pro umístění jednotlivých shora uvedených dílů. Sám nástavec je usazen do kruhového výřezu v laboratorním krytu 20. Eluce se provádí tak, že se případně na napichovací hlavicí nasadí evakuovaná penicilinka tím, se přesaje odpovídající část fyziologického roztoku z reservoiru 15 přes základní eluční generátorovou nádobku 1 a ochrannou kolonku 16 do penicilinky. Po uskutečněné eluci se napichovací jehla v hlavicí chrání proti bakteriální kontaminaci napíchnutím neevakuované sterilní penicilinky.

Běžně se předpokládá montáž stavebnicových dílů až u spotřebitele. Nástavec s díly již namontovanými a připojenou základní generátorovou nádobku v primárním krytu může však být dodáván jako generátorový komplet, který spotřebitel jen umístí do laboratorního krytu.

To si vyžaduje nevelkou úpravu nástavce 21 a víka 14 tak, aby mohly být napevno spolu spojeny, například propojením vzájemně přišroubovanou silnější tyčí.

Dosažitelné aktivity u nového typu generátoru při obsahu 25 % hmotnostních Mo v terčové látce, která je současně eluční matricí, při sytné váze 1 g/ml, pro různé objemy základní generátorové kolonky a intenzity toku neutronů jsou uvedeny v tabulce. Aktivity jsou vztaženy na ^{99}Mo k referenčnímu datu. 72 hodiny po skončení ozařování při předchozím nepřetržitém ozařování v trvání 90 h.

Tabulka: Aktivity ^{99}Mo generátoru $^{99\text{m}}\text{Tc}$ k referenčnímu datu pro různé toky neutronů v reaktoru (uváděno v $\text{n/m}^2\text{s}$) objemy (udáváno v ml) i rozměry (udáváno v cm) základní eluční generátorové nádoby. Aktivita je udávána v GBq.

Základní eluční generátorová nádobka				Aktivita ^{99}Mo v nádobce při toku neutronů			
objem výška v cm při průřezu				$5 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{17}$	$5 \cdot 10^{17}$
ml	1 cm	1,5 cm	2 cm				
3	3,8	1,7	-	0,5	1	2,5	6,5
5	6,4	2,8	-	1	2	4	11
10	12,7	5,6	3,2	2	4	8	22
20	-	11,3	6,4	3,5	8	17	43
30	-	-	9,5	5	12	25	65

Pokud základní eluční generátorová nádobka je zhotovena ze zirkonia tak se aktivuje nejen náplň, ale i vlastní materiál kolonky.

Vzhledem k hmotnostním poměrům (cca 10krát více Zr než Mo), aktivačním průřezům, době ozařování a vymírání základní generátorová kolonka vykazuje též aktivitu ^{97}Zr s poločasem 17 hodin a to přibližně srovnatelnou s aktivitou ^{99}Mo , na konci ozařování nepřesahující jejího dvojnásobku, k referenčnímu datu činí již jen 20 % aktivity ^{99}Mo . Kolonka vykazuje též aktivitu ^{99}Zr s poločasem 64 dní, v rovnováze s dceřinným ^{95}Nb s poločasem 35 dní a to cca 10 % aktivity ^{99}Mo ke konci ozařování a cca 20 % aktivity k referenčnímu datu.

Tyto okolnosti nečiní závažné problémy při konstrukci stítnění generátoru. V případě základní generátorové kolonky zhotovené z hliníku jsou tyto hodnoty podstatně nižší, neboť je aktivován pouze Zr v terčové látce, jehož hmotnostní množství je podstatně menší než v samostatném obalu. Nukleárně čistý hliník neposkytuje žádný rušivý produkt při ozařování neutrony, krátkodobý ^{28}Al s poločasem 2,2 minuty se totálně rozpadne před vlastním zpracováním. Zpravidla se zde však aktivují nečistoty a navíc rychlé neutrony mohou (n, alfa) reakcí produkovat sodík ^{24}Na (poločas 15 h). Z radiačního hlediska je nejvýhodnějším materiálem pro zhotovení základních elučních generátorových nádobek křemen, v němž se aktivuje pouze ^{31}Si (2,6 h) a to s malým výtěžkem; obsah nečistot bývá povětšinou rovněž velmi nízký. Křemen vyniká též vysokou chemickou odolností, jedinou jeho nevýhodou je jeho křehkost.

Tok neutronů 1.10^{16} n/m^2 s odpovídá radiačnímu dávkovému příkonu 360 kGy za hodinu. Při dávkách vyšších než 300 kGy jsou všechny mikroorganismy i jejich latentní formy usmrceny. To znamená, že i při limitně nízkých tocích neutronů stěží pro neutronovou aktivaci generátorů ještě použitelných je spolehlivě radiační sterilizace nádobky i její náplně dosaženo pro ozařování trvající déle než 1 hodinu.

Tato okolnost činí zbytečným zařazovat další výrobní krok, tj. dodatečnou sterilizaci např. v parním autoklávu. Podmínkou je však zabránit sekundární bakteriální kontaminaci při postiradiačním transportu a montáži generátorového kompletu, tj. krytkami přívodů základní kolonky s montáží za aseptických podmínek.

Možná provedení vynálezu jsou objasněna na příkladech:

P ř í k l a d 1

V nejjednodušším laboratorním provedení je základní eluční generátorová nádobka zhotovena z křemenné trubice, která je na obou koncích zúžena konicky do úzkých trubiček, které jsou zataveny anebo uzavřeny hliníkovou zátkou. Kolonka je naplněna terčovou látkou tvořenou molybdenanem zirkoničitým sušeným při 60°C o zrnitosti 100 až 150 μm . Materiál je utěsněn ve zúžených místech křemennou vatou. Kolonka je před ozařováním v reaktoru zabalena do hliníkové folie. Po ozáření jsou zúžené části trubiček kolonky naříznuty vidla nožem anebo pilníkem a ulomeny, ev. odzátkovány.

Před tím může být z konců trubiček případná bakteriální kontaminace odstraněna opatrným ožehnutím plamenem. Na odříznuté trubičky jsou napojeny hadičky, nejlépe ze silikonové pryže. Kolonka je při provozu z hlediska radiační ochrany stíněna např. v primitivním provedení několikanásobným omotáním svitkem olověného plechu, případně je možno ji umístit do jednoduchého olověného pouzdra s centrálními otvory pro průchod hadiček. Na kolonku hadičkou napojeným reservoiem elučního roztoku je byreta, dělicí nálevka, láhev pro infuzní roztoky, injekční stříkačka apod. Eluát je možno nechat překapávat do kádinky, penicilinové lahvičky a odvzdušňovací jehlou, případně do evakuované penicilinové lahvičky.

P ř í k l a d 2

Základní eluční generátorová nádobka je dutý váleček zhotovený z hliníku nebo zirkonia s poměrem průřezu ku výšce jedna ku dvěma až pěti. Na obou koncích jsou přivařeny stejné příruby s nástavci užších trubiček, které jsou opatřeny závitem. Na něj jsou našroubovány kloboučky, které mají na své vnitřní straně těsnění z hliníkové folie.

V kolonce je umístěn terčový materiál např. molybdenan titaničitý, sušený při 40 °C o velikosti zrn 70 až 150 μm tj. frakce mezi 100 až 200 Mesh. Z kolonky jsou po ozáření v aseptickém boxu odšroubovány uzavírací kloboučky a našroubovány vysterilizované koncovky přívodů elučního systému. Takto upravená nádoba je použita k sestavení generátoru napojením na další díly stavebnice.

Eluční stavebnicový generátor $^{99\text{m}}\text{Tc}$ podle vynálezu jehož hlavní součástí je základní eluční generátorová nádoba umožňuje vyrobit i na reaktorech se střední intenzitou toku neutronů (2 až 5krát 10^{17} $\text{n/m}^2\text{s}$) generátory o aktivitě několika GBq při přijatelných rozměrech nádoby. Nádoby jsou zhotoveny již před ozářením, kdy jsou ještě neaktivní. To podstatně usnadňuje výrobní operace. Konstrukce základní eluční generátorové nádoby a koncovek přípoj-
ných spojů umožňuje jejich jednoduché napojení po ozáření za aseptických podmínek.

Takovým způsobem je možno využít radiační sterilizaci souběžně s aktivací neutronů v reaktoru. Generátor je celkově řešen jako stavebnice, což usnadňuje transportní problémy. Jako samostatný díl stavebnice možno dodávat též základní eluční generátorovou nádobku, což umožňuje vzhledem k jednoduchým operacím provádět aktivaci na lokálním reaktoru; je to především vhodné pro použití v rozvojových zemích. Oproti generátoru kdy vlastní kolonka generátoru není aktivována v reaktoru je jistou nevýhodou nového typu generátoru dodatečná aktivita konstrukčního materiálu základní eluční generátorové nádoby. Její hodnota je však srovnatelná nebo nižší než aktivita ^{99}Mo . Nepředstavuje to tedy závažné potíže při konstrukci ochranných krytů.

Souhrnně možno konstatovat, že prefabrikovaný stavebnicový generátor podle vynálezu přináší oproti dosavadním způsobům přípravy $^{99\text{m}}\text{Tc}$ následující výhody:

- možnost výroby elučního generátoru i za použití reaktorů se středním tokem neutronů,
- jednoduchá manipulace u spotřebitele,
- významně zjednodušený výrobní proces,
- využití samovolné sterilizace při ozařování v reaktoru,
- zjednodušení transportních záležitostí díky možnosti samostatného zasílání jednotlivých dílů stavebnice,
- možnost snadného zavedení výroby na lokálním reaktoru, například v rozvojových zemích dodávkami neaktivních prefabrikovaných dílů, včetně základní eluční generátorové nádoby.

P Ř E D M Ě T V Y N Á L E Z U

1. Eluční stavebnicový generátor $^{99\text{m}}\text{Tc}$ tvořený základní eluční generátorovou nádobkou, přívodem a reservoiem elučního roztoku, odvodem eluátu, ochrannou kolonkou k zachycení nečistot, reservoiem eluátu a ochranným stíněním proti radioaktivnímu záření, vyznačený tím, že základní eluční generátorová nádoba je opatřena dvěma výstupy s porézními ucpávkami a snímatelnými uzávěry, při čemž náplň eluční nádoby je tvořena alespoň jedním ve vodě nerozpustným molybdenanem případně polymolybdenanem, případně ozářeným neutrony společně s nádobkou anebo samostatně.

2. Eluční stavebnicový generátor $^{99\text{m}}\text{Tc}$ podle bodu 1 vyznačený tím, že eluční nádoba, výstupy, ucpávky a snímatelné uzávěry jsou zhotoveny z materiálů, pro něž specifická aktivita jej tvořících chemických prvků vyjádřená v Mq/g je po uplynutí 24 hodin od skončení expozice v reaktoru nižší, než dvojnásobek specifické aktivity ^{99}Mo vzniklého ozářením za těchto podmínek přirozené isotopické směsi molybdenu, přičemž uvedené komponenty jsou zhotoveny například z hliníku, zirkonia, křemíku, uhlíku anebo jejich kyslíkatých sloučenin.

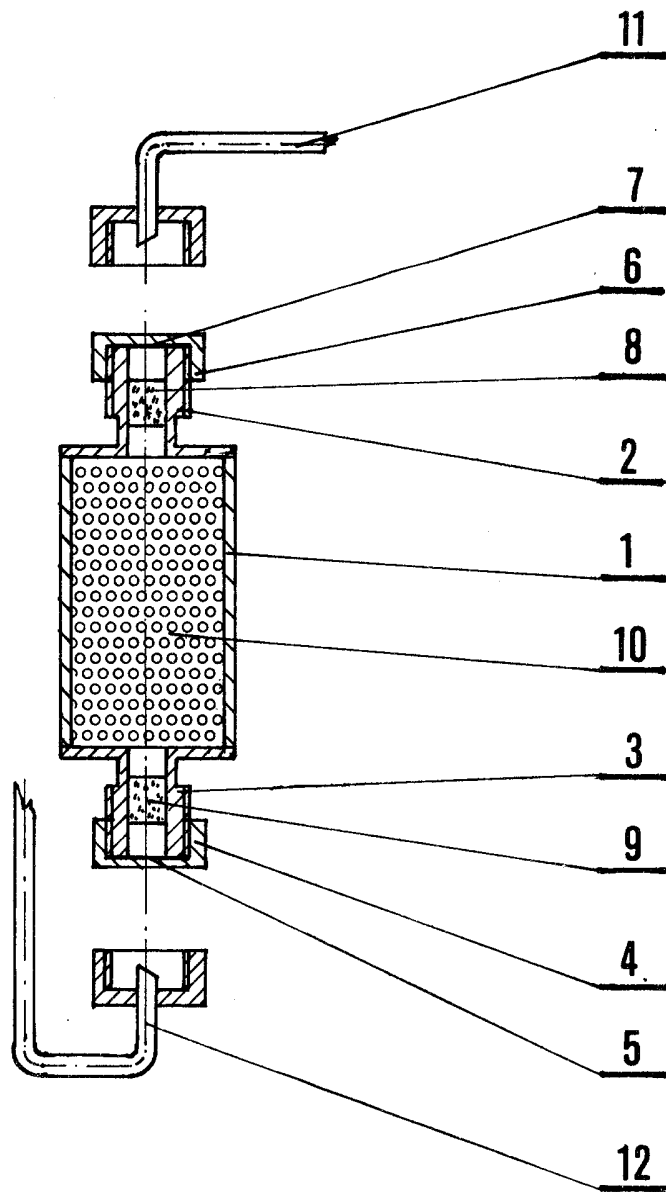
3. Eluční stavebnicový generátor ^{99}Tc podle bodu 1 vyznačený tím, že náplň eluční nádoby obsahuje více než 10 %, s výhodou 20 až 40 hmotnostních molybdenů a to ve formě molybdenanů nebo polymolybdenanů zirkonia, titanu nebo prvků, jejichž specifická aktivita vyjádřena

v Bq/g je po 24 hodinách od skončené expozice v reaktoru nižší než dvojnásobek specifické aktivity ^{99}Mo vzniklého ozáření za těchto podmínek molybdenu v přirozené isotopické směsi.

4. Způsob výroby elučního stavebnicového generátoru podle bodů 1 až 3 vyznačený tím, že eluční nádobka se naplní molybdenanem anebo polymolybdenanem, uzavře se, případně se ozáří neutrony v reaktoru s tokem minimálně $1.10^{16} \text{ n/m}^2 \text{ s}$ a poté se připojí na ostatní části generátoru případně za aseptických podmínek pro výrobu generátoru ve sterilním provedení.

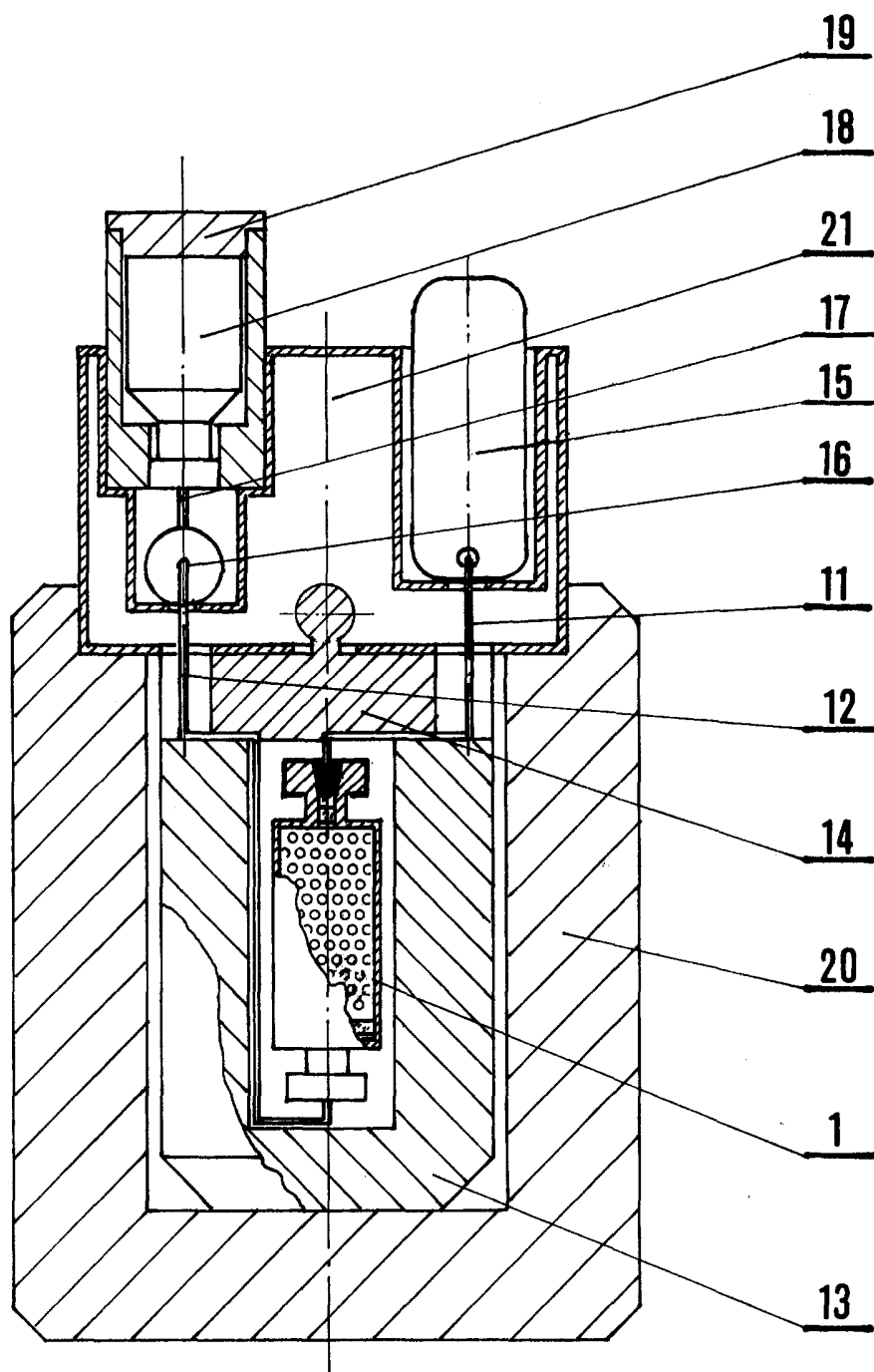
2 výkresy

255601



OBR.1

255601



OBR.2