

PATENTOVÝ SPIS

(11) Číslo dokumentu:

307 569

(13) Druh dokumentu: **B6**

(51) Int. Cl.:

G01B 17/06 (2006.01)

G21C 17/06 (2006.01)

(19)
ČESKÁ
REPUBLIKA



ÚŘAD
PRŮMYSLOVÉHO
VLASTNICTVÍ

(21) Číslo přihlášky: **2017-617**
(22) Přihlášeno: **05.10.2017**
(40) Zveřejněno: **12.12.2018**
(Věstník č. 50/2018)
(47) Uděleno: **31.10.2018**
(24) Oznámení o udělení ve věstníku: **12.12.2018**
(Věstník č. 50/2018)

(56) Relevantní dokumenty:

US 4 605 531; US 4 892 701; US 6 549 600 B1.

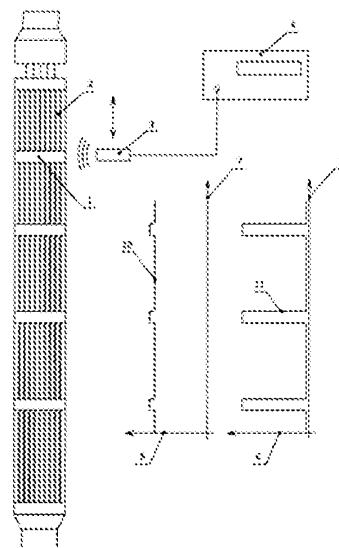
(73) Majitel patentu:
Centrum výzkumu Řež s.r.o., Husinec, Řež, CZ

(72) Původce:
Ing. Pavel Nerud, Brno, Nový Lískovec, CZ
Ing. Marcin Karol Kopeć, Raclawice, PL
Ing. Martina Malá, Nový Malín, CZ

(74) Zástupce:
Ing. Jaroslav Novotný, Římská 2135/45, 120 00
Praha 2, Vinohrady

(54) Název vynálezu:
**Metoda měření deformace palivového
souboru pomocí ultrazvuku**

(57) Anotace:
Metoda bezkontaktního ultrazvukového měření a vyhodnocení vzdálenosti mezi ultrazvukovou sondou a odraznou plochou jaderného palivového souboru a současně energie odražené od odrazné plochy, určená pro výpočet geometrie a deformace jaderného palivového souboru, spočívá v tom, že odečtení správné hodnoty vzdálenosti se provede po určení poměru hodnot energií odražené od plochy distanční mřížky (1) a od válcové plochy palivových proutků (2), přičemž měření se provede v rovnoběžném vzájemném pohybu ultrazvukové sondy (3) a palivového souboru ve směru jeho podélné osy. Naměřené hodnoty jsou zpracovány v měřicím zařízení (4) pro zpracování signálu z měření a zobrazení výstupu. Pro měření je použito více sond a u každé z nich, nebo některých z nich, je použito předcházející metody měření. V případě použití více sond (3) jsou některé sondy (3) použity v režimu vysílání a ostatní v režimu přijímání ultrazvukových vln.



CZ 307569 B6

Metoda měření deformace palivového souboru pomocí ultrazvuku

Oblast techniky

5

Vynález se týká metody bezkontaktního měření geometrie jaderného palivového souboru, sestávajícího z hlavice, patice, nosné konstrukce (včetně distančních mřížek) a svazku palivových proutků, pomocí ultrazvuku. Měření deformace ozářeného jaderného paliva probíhá vždy trvale hluboko pod hladinou chladiva sloužícího pro odvádění zbytkového tepla a současně ke stínění radioaktivního záření. Měření probíhá pomocí dálkově řízených zařízení, která jsou vybavena kontaktními nebo bezkontaktními senzory nebo optickými systémy.

10

Dosavadní stav techniky

15

Počátky měření deformace palivových souborů (prodloužení, průhybu a zkrutu) se datují do sedmdesátých let. Důvodem k tomuto přístupu bylo udržení vysokého standardu bezpečnosti palivových souborů po ozáření, zjištění jejich deformačních vlastností a predikce chování v dalších ozařovacích cyklech. K měření deformace bylo v minulosti používáno několik různých systémů a metod založených na různých formách snímání. Postupně byla zavedena forma částečné automatizace procesu měření, čímž došlo k omezení negativního vlivu lidského faktoru na správnost, přesnost a rychlost měření.

20

Zpočátku byly pro měření používány převážně kontaktní snímače nebo pole kontaktních snímačů, dotýkající se bočních stran distančních mřížek. Použití kontaktních snímačů (např. LVDT) má však významnou nevýhodu. Touto nevýhodou je bezpečnostní riziko v případě poruchového stavu snímače při dosednutí do oblasti palivových proutků, kdy může dojít k nežádoucí interakci snímače s palivovými proutky. Jiný nebezpečný stav může nastat i v případě, že se snímač nedostane do kontaktu s žádnou částí palivového souboru a současně je jeho poloha vůči palivovému souboru neznámá. Palivové proutky mohou být snímačem při odstraňování poruchového stavu poškozeny, takže může dojít ke stavu ohrožení jaderné a radiační bezpečnosti. Výhodou měření pomocí kontaktních snímačů je vysoká přesnost naměřených hodnot a nízká míra ovlivnění chladivem proudícím okolo palivového souboru.

25

Dalším přístupem používaným v minulosti bylo použití optických systémů využívajících zejména kamer. Tyto systémy jsou založeny na jednoduchosti a jednoduchosti systému pro měření geometrie a současném použití tohoto systému pro vizuální inspekce. Pokrok vizuálních systémů oproti měření kontaktními snímači je v použití bezkontaktního měření, a tudíž vyloučení rizikového stavu při poruše snímače (většinou kamery) nebo jeho řízení. Nevýhodou těchto vizuálních systémů je vysoká závislost přesnosti měření na optických podmínkách nastávajících v prostředí mezi kamerou a palivovým souborem (vlnění chladiva vlivem změn teploty, ohyb světla, zakalení chladiva) a také nutnost použití speciálních radiačně odolných optických systémů (skla běžných kamer v radiačním prostředí ztrácejí průhlednost a použité polovodiče degradují vlivem záření). Z důvodu obtížnosti vyhodnocování obrazového výstupu je použití optických systémů výrazně ovlivňováno lidským faktorem. Použití automatizovaného systému zpracování obrazu je rovněž poměrně pomalé z důvodu vysoké výpočetní náročnosti a složitosti algoritmů rozhodování.

40

45

Dalším inovačním krokem je použití pole bezkontaktních ultrazvukových snímačů umístěných v pevných pozicích tak, aby ke kontaktu ultrazvukového paprsku s palivovým souborem došlo na bočním plechu distančních mřížek. Tento způsob měření vyžaduje, stejně jako použití kontaktních snímačů, přesně určený stacionární stav palivového souboru, což lze považovat za nevýhodu. Další nevýhodou je nutnost použití velkého počtu snímačů a jejich vzájemné ovlivňování. Naopak, výraznou výhodou je vyloučení rizikového stavu poškození palivového souboru při poruše ultrazvukového snímače nebo jeho řízení.

50

55

- V posledních deseti letech se začaly objevovat i jiné metody měření deformace palivových souborů. Jsou to metody využívající například šikmého pohledu na palivový soubor a analýzy obrazu. Pomocí ní jsou nalezeny pozice charakteristických prvků palivového souboru a vytvořena geometrická síť, která je porovnávána s obdobnou sítí nedeformovaného palivového souboru. Tento způsob měření deformace je velmi rychlý. Rovněž je velmi bezpečný i vzhledem k poruchám a nepředpokládaným stavům systému, protože nedochází k žádné interakci (ani blízké vazbě) mezi palivovým souborem a částmi měřicího zařízení. Nedostatkem je však nízká přesnost měření.
- Důležitým prvkem, který se objevuje v měření deformace palivových souborů, je jistá míra automatizace procesu měření a vyhodnocování, zejména zpracování signálů a obrazů, čímž je omezen nevhodný vliv lidského faktoru na měření a vyhodnocování.

15 Podstata vynálezu

Uvedené nedostatky odstraňuje metoda měření deformace palivového souboru pomocí ultrazvuku, kdy měření je provedeno při rovnoběžném vzájemném pohybu ultrazvukové sondy a palivového souboru ve směru jeho podélné osy. Základním principem tohoto vynálezu je současné měření dvou veličin, přičemž pro odečtení správné hodnoty jedné veličiny, potřebné pro výpočet deformace, je použito detekce v průběhu hodnot veličiny druhé. Změny v průběhu hodnot první veličiny (měřené vzdálenosti distanční mřížky, nebo palivových proutků, od ultrazvukové sondy) jsou v řádu desetin milimetru, a je tedy obtížné rozeznat, která hodnota přísluší odrazu ultrazvukových vln od distanční mřížky, respektive od palivových proutků. Proto je k detekci distančních mřížek využita současně měřená druhá veličina (energie odražená od povrchu distanční mřížky, nebo palivových proutků), která je výrazně citlivější ke změnám tvaru a sklonu odrazného povrchu. Při odrazu ultrazvukových vln od palivových proutků je z důvodu vysoké křivosti povrchu většina sondou vysílané energie odražena mimo ultrazvukovou sondu. Poměr odražené energie vracející se zpět do sondy k energii sondou vysílané (tato hodnota je považována za základ – 100 %) dosahuje nízkých hodnot. Při odrazu ultrazvukových vln od bočního povrchu distanční mřížky (povrch blízký se rovině a kolmosti k ultrazvukovému paprsku) je většina energie vysílaná sondou dopadající na povrch odražena zpět do ultrazvukové sondy. V tomto případě dosahuje poměr odražené energie, vracející se do sondy, k energii sondou vysílané, vysokých hodnot. Rozdíl v průběhu odražené energie mezi vysokými a nízkými hodnotami dosahuje řádově desítek procent, a proto lze při pohybu ultrazvukové sondy ve směru podélné osy palivového souboru jednoznačně identifikovat části s výrazně vyššími hodnotami, příslušejícími distančním mřížkám, a nižšími hodnotami, příslušejícími palivovým proutkům. Správná hodnota vzdálenosti distanční mřížky od ultrazvukové sondy je určena odečtením hodnoty měřené vzdálenosti v definovaném místě úseku, označeného podle odražené energie jako distanční mřížka.

Tato inovativní metoda měření a vyhodnocení umožňuje provést měření geometrie celého palivového souboru (míněno průhybu a zkrutu) v jediném pohybu v průběhu vytahování nebo spouštění palivového souboru do nebo z reaktoru nebo skladovací mříže, úložného kontejneru nebo jiného umístění. Tím, že je měření provedeno v průběhu pohybů, které by byly provedeny i bez tohoto měření (není tedy nutno uvést palivový soubor do stacionárního stavu), se významně šetří čas na provedení měření a získává informace o všech palivových souborech, se kterými je manipulováno. Není nutno nastavovat distanční mřížky do vhodné pozice vůči měřicím ultrazvukovým sondám; jejich detekce je provedena automaticky z měřených signálů vzdálenosti a energie. Toto lze také považovat za jednu z výhod této metody měření. Další výhodou je možnost měření palivových souborů s různým počtem distančních mřížek bez nutnosti změny umístění ultrazvukových sond. Významnou výhodou je také jednoduchá automatizace procesu, a tím i omezení vlivu lidského faktoru na měření a vyhodnocení výsledků. Metoda detekuje nejednoznačné vyhodnocení pozice distanční mřížky v případě, kdy je boční plocha distanční mřížky významně deformována, nebo kdy není zabezpečena kolmost ultrazvukového paprsku

k boční ploše. Metoda umožňuje měření i v případě, že není dodržena kolmost dopadajícího paprsku na boční plochu distanční mřížky, ale energie odražených paprsků je dostatečně vysoká pro detekci rozlišení odrazu od distanční mřížky a od palivových proutků.

5

Objasnění výkresů

Vynález je blíže osvětlen pomocí výkresů, kde obr. 1. zobrazuje základní schéma měření a principiálně průběh měřených signálů. Vpravo dole je schematicky naznačen vzhled průběhu signálů měřených veličin a jejich vzájemná vazba k sobě. Obr. 2. zobrazuje rozdíl mezi odrazem ultrazvukových vln od rovinné plochy distanční mřížky (vrchní část) a od palivových proutků (spodní část).

Příklady uskutečnění vynálezu

Metoda měření a vyhodnocování byla ověřována v experimentálním zařízení v laboratoři Centra výzkumu Řež, ve kterém lze simulovat a měřit různé změny geometrie palivového souboru pomocí změn pozic a poloh distančních mřížek 1, mezi kterými jsou umístěny palivové proutky 2 stejně jako v reálném palivovém souboru. Tyto činnosti probíhají v experimentálním zařízení pouze na imitátoru palivového souboru.

Toto zařízení se skládá z nádrže naplněné vodou, ve které je umístěn imitátor palivového souboru a systém umožňující pohyb ultrazvukové sondy 3, která měří zároveň vzdálenost i odraženou energii ultrazvukového signálu, mířící na boční stranu imitátoru. Ultrazvuková sonda 3 je umístěna do předem definované vzdálenosti ověřené jinou metodou (pravítkem, kalibrem) a kolmost paprsku této sondy 3 vůči povrchu imitátoru, kdy se předpokládá zaměření na distanční mřížku, je ověřena na křivce signálu odražené energie a měla by dosahovat vysoké hodnoty na této definované vzdálenosti. Při pohybu ultrazvukové sondy 3 ve směru jiném než ve směru podélné osy imitátoru palivového souboru by měla hodnota odražené energie klesat.

Současně se spuštěním pohybu ultrazvukové sondy 3 ve směru rovnoběžném s osou imitátoru palivového souboru je spuštěn i záznam hodnot osy 7 podélné souřadnice od počátku měření, průběhu grafu 10 měřené vzdálenosti a průběhu grafu 11 odražené energie z měřicího zařízení 4, které řídí chod ultrazvukové sondy 3. Po ukončení pohybu ultrazvukové sondy 3 vůči imitátoru palivového souboru jsou naměřená data uložena. Po načtení signálů všech tří veličin je počítačem analyzován signál průběhu grafu 11 odražené energie. V úsecích, kde její hodnota dosahuje nízkých hodnot vzhledem k energii sondou vysílané, je povrch imitátoru zakřivený nebo nekolmý k paprsku ultrazvukové sondy 3 a je proto přiřazen k oblasti svazku palivových proutků 2. Úsekům, které obsahují vysoké hodnoty podílu energie odražené k energii sondou vysílané, jsou přiřazeny distanční mřížky 1. V následujícím kroku zpracování je v signálu osy podélné souřadnice 7 od počátku určena podélná souřadnice středu každého úseku, který je označen jako distanční mřížka 1, kdy je určen poziční střed distanční mřížky 1 pomocí odražené energie. Všem těmto podélným souřadnicím jsou poté přiřazeny hodnoty vzdálenosti distančních mřížek 1 od ultrazvukové sondy 3 ze signálu v grafu 10 měřené vzdálenosti.

Při vynesení hodnot určených vzdáleností pro jednotlivé distanční mřížky 1 do grafu 10 naměřené vzdálenosti v závislosti na podélné souřadnici 7 a spojení křivkou, interpretuje tato průhybovou křivku imitátoru palivového souboru ve směru paprsku ultrazvukové sondy 3.

50

Pro stanovení prostorové deformační křivky imitátoru je zapotřebí použití více sond 3, kde u každé z nich, nebo některých z nich, je použita výše zmíněná metoda, a dalšího matematického postupu.

Speciálním případem pro určení vzdálenosti součástí palivového souboru od roviny ultrazvukové sondy 3 je případ nahrazení jedné ultrazvukové sondy 3 v režimu vysílač-přijímač dvěma sondami, kde každá z nich má samostatnou funkci (jedna vysílač, druhá přijímač). Tyto dvě sondy je nutno umístit v páru tak, aby vzdálenost mezi sondami byla známa a rovina procházející těmito sondami byla téměř rovnoběžná s rovinou boční strany imitátoru palivového souboru. Měřená vzdálenost je v tomto případě určována z doby letu ultrazvukových vln po dráze vysílač-odrazná plocha-přijímač. Následné zpracování signálů je stejné jako v případě použití jedné ultrazvukové sondy 3.

- 10 Metoda měření deformace palivového souboru pomocí ultrazvuku byla ověřována také v jaderné elektrárně Temelín v reálných zátěžových podmínkách.

Průmyslová využitelnost

- 15 Metodu měření geometrie pomocí ultrazvuku a vyhodnocování naměřeného signálu je možné aplikovat v zařízeních manipulujících s palivovými soubory, zařízeních určených k prohlídkám a měřením palivových souborů nebo jejich skladování. Tato zařízení se vyskytují především v jaderných elektrárnách, ale také v průmyslových podnicích vyrábějících jaderné palivo, výzkumných ústavech, případně v lokalitách pro mokré skladování vyhořelého jaderného paliva.

Tuto metodu je možné využít také při měření geometrie jiných předmětů, u kterých se vyskytuje výrazný rozdíl ve tvaru odrazného povrchu (rovinnost-křivost).

25

PATENTOVÉ NÁROKY

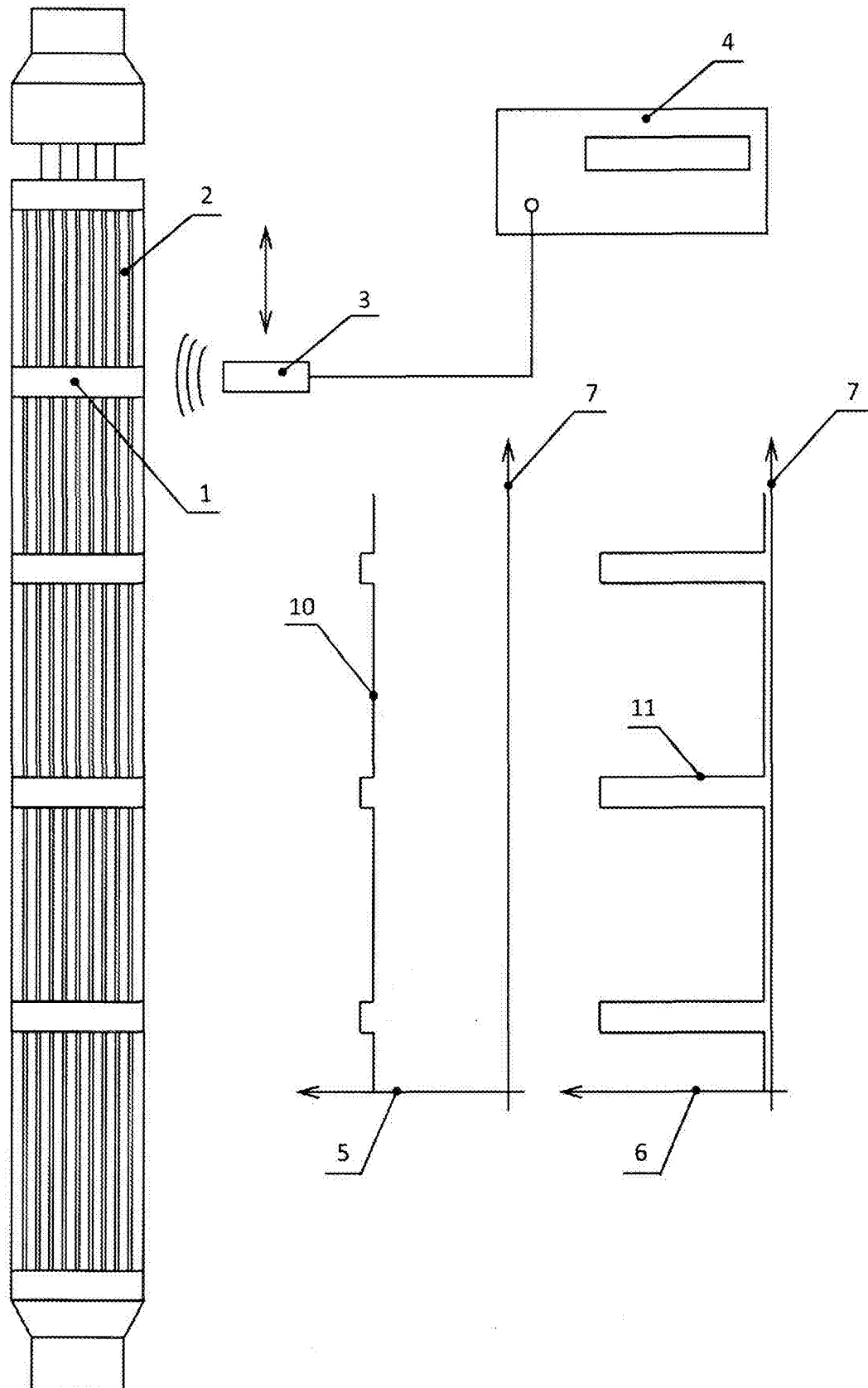
1. Způsob bezkontaktního ultrazvukového měření a vyhodnocení vzdálenosti mezi ultrazvukovou sondou a odraznou plochou jaderného palivového souboru a současně energie odražené od odrazné plochy, určená pro výpočet geometrie a deformace jaderného palivového souboru, **vyznačující se tím**, že odečtení správné hodnoty vzdálenosti se provede po určení poměru hodnot energií odražené od plochy distanční mřížky (1) a od válcové plochy palivových proutků (2), přičemž měření se provede v rovnoběžném vzájemném pohybu ultrazvukové sondy (3) a palivového souboru ve směru jeho podélné osy, přičemž naměřené hodnoty jsou zpracovány v měřicím zařízení (4) pro zpracování signálu z měření a zobrazení výstupu.
2. Způsob podle nároku 1, **vyznačující se tím**, že pro měření je použito více sond (3) a u každé z nich, nebo některých z nich, je použito metody měření podle nároku 1.
3. Způsob podle nároků 1 a 2, **vyznačující se tím**, že v případě použití více sond (3) jsou některé sondy (3) použity v režimu vysílání a ostatní v režimu přijímání ultrazvukových vln.

45

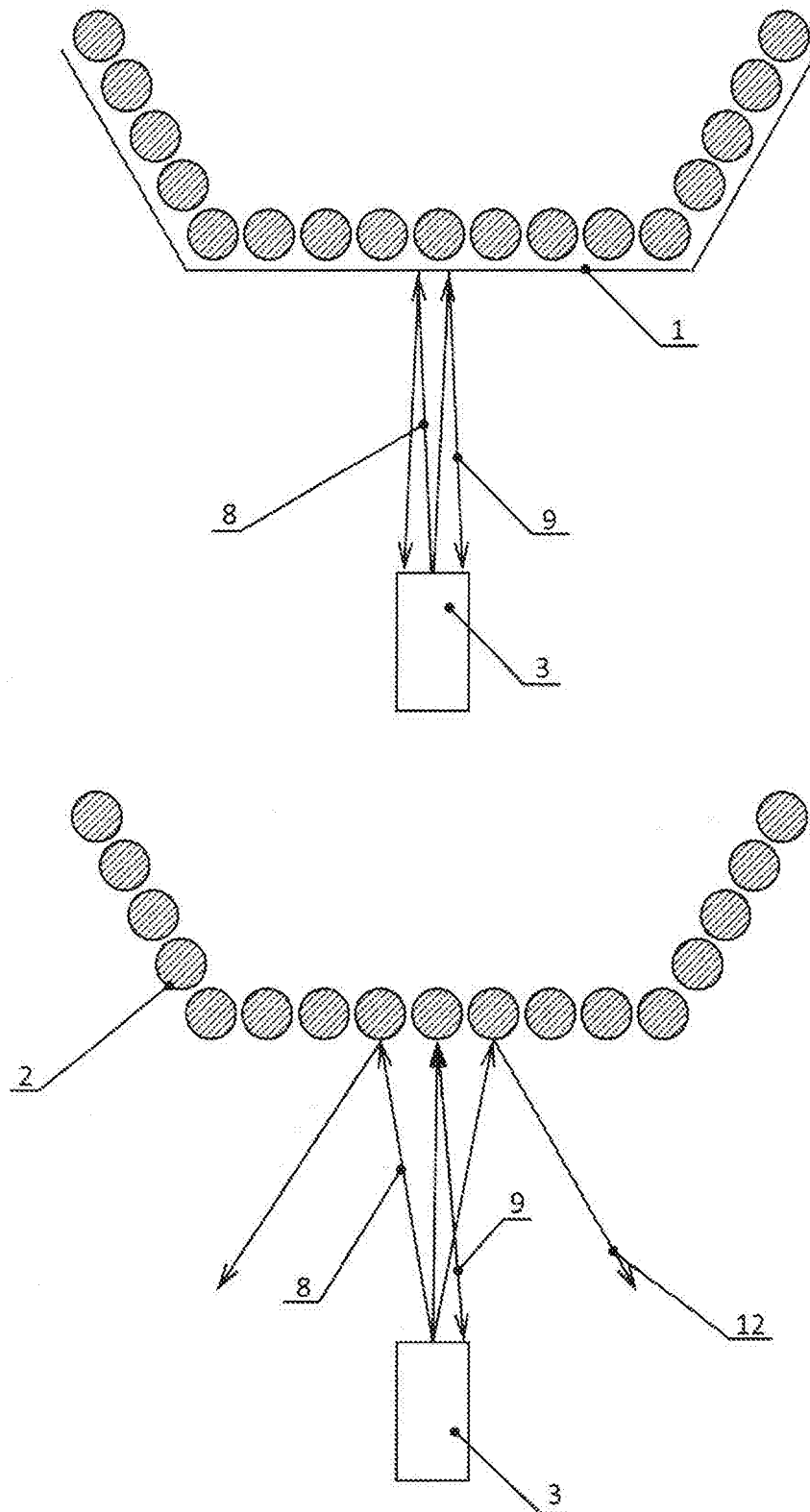
2 výkresy

Seznam vztahových značek:

- [1] Distanční mřížka
- [2] Palivové proutky
- [3] Ultrazvuková sonda
- [4] Měřicí zařízení pro zpracování signálu z měření a zobrazení výstupu
- [5] Osa měřené vzdálenosti
- [6] Osa odražené energie
- [7] Osa podélné souřadnice (výškové souřadnice na palivovém souboru)
- [8] Vysílané ultrazvukové paprsky
- [9] Odražené ultrazvukové paprsky vracející se do sondy
- [10] Průběh grafu měřené vzdálenosti
- [11] Průběh grafu měřené odražené energie
- [12] Odražené ultrazvukové paprsky odrážející se mimo sondu



Obr. 1



Obr. 2