

(12) Wirtschaftspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2 Patentgesetz

(19) DD (11) 259 982 A3

4(51) G 01 N 35/00

AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

(21)	WP G 01 N / 291 405 7	(22)	18.06.86	(45)	14.09.88
(71)	VEB Schwermaschinenbau „Karl Liebknecht“ Magdeburg, Alt-Salbke 6–10, Magdeburg, 3011, DD				
(72)	Rau, Helmut, Dr. sc. nat. Dipl.-Chem.; Paul, Georg, Dr.-Ing. Dipl.-Ing.; Schwartz, Walter, Prof. Dr. rer. nat. habil. Dipl.-Chem.; Krüger, Harald, Dr.-Ing. Dipl.-Ing.; Hilbig, Andreas, Dipl.-Phys.; Liberenz, Wolfgang, Dr.-Ing. Dipl.-Ing.; Heinze, Herbert, Dipl.-Ing., DD				
(54)	Einrichtung und Verfahren zur Ermittlung des Verbrennungsluftbedarfes und des Heizwertes von Gasen				

(57) Die Anwendung der Erfindung ist für eine rationelle Energieerzeugung in Gasfeuerungsanlagen vorgesehen, nach Anpassung auch für Ölfeuerungen. Erfindungsgemäß wurden Einrichtungen und Verfahren auf einer zwischen stöchiomerischem Luftbedarf und Heizwert gefundenen linearen, direkten und mit großer Genauigkeit anzugebenden Korrelation aufgebaut. Der gaspotentiometrische Meßwertgeber besitzt eine Misch- und Reaktionskammer für definierte Volumenströme von Brenngas und Verbrennungsluft. Über zwei Analysenpunkte können sowohl der stöchiometrische Luftbedarf und Heizwert gefundenen linearen, direkten und mit großer Genauigkeit anzugebenden Feuerungsanlage verwertet werden. Hauptbaugruppen sind eine Dosiereinrichtung, der gaspotentiometrische Meßwertgeber und ein Mikrorechner.

Erfindungsanspruch:

1. Einrichtung zur Ermittlung des Verbrennungsluftbedarfes und des Heizwertes von Gasen, bestehend aus Dosierpumpen, Meßwertgeber und Mikrorechner, **gekennzeichnet dadurch**, daß ein gaspotentiometrischer Meßwertfühler in Form eines Festelektrolyt-Sauerstoff-Sensors (1) in einem beheizten Reaktionsrohr (2) mit einer Mischkammer (10), die Luft- und Brenngaszuführungen besitzt, angeordnet ist, wobei diese Mischkammer (10) durch eine düsenartige Verengung (12) brenngasseitig und durch eine Fritte (11), auf der trichterartig die Luftzuleitung (13) mündet, zum Reaktionsrohr (2) hin abgeschlossen und unmittelbar dahinter ein großflächiger oxidationsaktiver Katalysator (14) angeordnet ist, der sich dicht und kontaktfrei an der Meßelektrode des Festelektrolyt-Sauerstoff-Sensors (1) befindet.
2. Einrichtung nach Punkt 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß unabhängig voneinander mikrorechnergesteuerte Dosierpumpen (19, 20) vor dem gaspotentiometrischen Meßwertgeber mit integrierter Misch- und Reaktionskammer (17) angeordnet sind.
3. Verfahren zur Ermittlung des Verbrennungsluftbedarfes und des Heizwertes von Gasen nach Punkt 1 und Punkt 2, **gekennzeichnet dadurch**, daß durch den Umsatz gemessener, temperatur- und druckbestimmter Volumenströme von Brenngas und Verbrennungsluft, also durch Zuführung eines präzisen und dichteunabhängigen Brenngasstromes und Verbrennungsluftstromes zur Mischkammer (10) des Reaktionsrohres (2) das Verhältnis von Brenngas und Luft automatisch so eingestellt wird, daß am gaspotentiometrischen Festelektrolyt-Sauerstoff-Sensor (1) mit einer bestimmten Zelltemperatur (25) eine Zellspannung (24) im Bereich des freien, molekularen Sauerstoffs erzeugt und gemessen wird, aus der mittels des Mikrorechners (18) unter Variation der Steuerspannung (26) auf der Grundlage der Nernstschen Gleichung und aus dem vorliegenden Verhältnis Brenngas zu Verbrennungsluft für den ersten Analysenpunkt und den zweiten Analysenpunkt bei unveränderter Zelltemperatur (25) sowohl der stöchiometrische Luftbedarf, als auch der Heizwert kontinuierlich angezeigt werden und als Ausgangssignal der Ausgabeeinheit (30) zur Verfügung stehen.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Ermittlung des stöchiometrischen Luftbedarfes und des Heizwertes von Gasen, die z. B. in technischen Feuerungen als Brennstoff eingesetzt werden, sowie ein Verfahren zur Nutzung dieser Einrichtung. Die Anwendung der Erfindung ist für eine rationelle Energieerzeugung in technischen Gasfeuerungsanlagen vorgesehen, mit besonderer Anpassung auch für Ölfeuerungen.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es ist bekannt, den stöchiometrischen Luftbedarf und den Heizwert durch Analyse der einzelnen stabilen Bestandteile in Gasproben und durch anschließende Berechnung zu ermitteln. Die Durchführung der diesbezüglichen Messungen erfordert einen hohen zeitlichen und apparativen Aufwand. Zur Anwendung gelangen klassische und instrumentelle Methoden der Bestimmung der einzelnen Komponenten wie die Gasanalyse nach Orsat, die nichtdisperse Infrarotspektroskopie und die Gaschromatographie. Außer durch Berechnung aus der analytischen Zusammensetzung kann der Heizwert auch mittels eines Gaskalorimeters bestimmt werden. Hier besteht jedoch eine Beschränkung auf solche Gasmischungen, die mit Luftsauerstoff zündfähig sind und eine stabil brennende Flamme ergeben.

Alle bekannten Einrichtungen sind nur diskontinuierlich zu betreiben.

Es ist überdies notwendig, stets mehrere Messungen durchzuführen, um eine genügende Aussagegenauigkeit der Ergebnisse zu erhalten. Die benutzten Einrichtungen bedürfen ständiger Wartung und Pflege.

Die diskontinuierliche Arbeitsweise bewirkt eine weitere Einschränkung bezüglich des Anwendungsbereiches, weil der hohe Zeitaufwand es zum Beispiel nicht zuläßt, kurzzeitige Schwankungen der Zusammensetzung der Gasmischung und des Heizwertes zu beurteilen und durch entsprechende Regelung die jeweils günstigsten Verbrennungsbedingungen einzustellen. Neuerlich eingeführte Meßeinrichtungen die auf der Erfassung der Wobbe-Zahl basieren, erlauben ebenfalls nur bedingt Rückschlüsse auf Luftbedarf und Heizwert. (siehe unter anderem US-PS 4488867).

Hier sind insbesondere folgende Nachteile auszuführen:

- In der Meßstelle ist ein gewisser Anteil Falschlufte enthalten.
- Es erfolgt eine Probenahme des Abgases, dann dessen Trocknung und danach erst die Bestimmung des Dichteverhältnisses (Wobbe-Zahl).
- Aus der Wobbe-Zahl erfolgt die Bestimmung der notwendigen Verbrennungswärme, dann erst kann der Gasdurchsatz gesteuert werden.
- Es ist keine Ein-Schritt-Messung möglich.
- Begrenzung auf bestimmte brennbare Gasmischungen, kein universeller Einsatz.

Ein wesentlich besseres Verfahren ist in DD-PS 230646 zur Bewertung der Verbrennungsverhältnisse in Gasfeuerungen beschrieben. Über eine gaspotentiometrische Titration wird der stöchiometrische Luftbedarf für ein Brenngas ermittelt. Im Ergebnis einer solchen Titration ist für unterschiedliche Gase auch der Heizwert zugänglich, da zwischen stöchiometrischem Luftbedarf und Heizwert ein Zusammenhang besteht. Dieses Verfahren erweist sich jedoch als zu ungenau, wenn Heizwertschwankungen in der Größenordnung von 5% kurzzeitig zu ermitteln sind. Sein Anwendungsbereich ist auf die Bewertung von Gasfeuerungen zugeschnitten. Es eignet sich daher nicht oder nur mit Einschränkungen für die separate Bestimmung von Heizwerten beliebiger Gase.

Bisher bekannte konventionelle gaspotentiometrische Analysegeräte sind nicht zur Durchführung des Verfahrens geeignet. Sie sind nicht für die Untersuchung beliebiger Gasmischungen einsetzbar und lassen nicht die erforderliche Genauigkeit zu, wie Untersuchungen zur Titration von brennbaren Gasen zeigten. Eine Ausnahme macht lediglich Wasserstoff. Bei kohlenstoffhaltigen Brenngasen treten systematische Fehler durch zu geringen Luftverbrauch und zu niedrigen Heizwert auf.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, eine Einrichtung und ein Verfahren zu schaffen, mit denen der Verbrennungsluftbedarf und der Heizwert von Gasmischungen mit beliebigen Anteilen brennbarer Komponenten kostengünstig und schnell ermittelt werden können, wobei das Ergebnis mit geringerem gerätemäßigem Aufwand als bisher zu realisieren ist und eine rationelle Energieerzeugung gewährleistet.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die bei den bekannten Einrichtungen und Verfahren auftretenden Nachteile und Einschränkungen in der Anwendungsbreite dadurch zu vermeiden, daß durch den automatisierten Betrieb einer speziellen Meßeinrichtung unter Nutzung eines Sensors eine kontinuierliche und mit sehr kurzer Ansprechzeit auf Schwankungen reagierende Anzeige des augenblicklichen stöchiometrischen Luftbedarfs für eine vollständige Verbrennung des Gases und die Bestimmung des Heizwertes erreicht wird.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß in einer Einrichtung ein Festelektrolyt-Sauerstoff-Sensor in einem beheizten Reaktionsrohr mit einer Mischkammer, die Luft- und Brenngaszuführungen besitzt, angeordnet ist, wobei die Mischkammer durch eine düsenartige Verengung brenngasseitig und durch eine Quarzfritte, auf der trichterartig die Luftzuführung mündet, zum Reaktionsraum hin abgeschlossen und unmittelbar dahinter ein großflächiger oxydationsaktiver Katalysator angeordnet ist, der sich dicht und kontaktfrei an der Meßelektrode des Sensors befindet.

Zur Gewährleistung eines automatisierten Betriebes ist weiterhin erforderlich, daß erfindungsgemäß unabhängig voneinander mikrorechnergesteuerte Dosierpumpen als Förderorgan zu präzisen und dichteunabhängigen Zuführung des Gasstromes und des Verbrennungsluftstromes zur Mischkammer des Reaktionsrohres vor dem gaspotentiometrischen Meßwertgeber mit integrierter Misch- und Reaktionskammer angeordnet sind.

Das Verfahren beinhaltet, daß durch den Umsatz gemessener, temperatur- und druckbestimmter Volumenströme von Brenngas und Verbrennungsluft, also durch Zuführung eines präzisen und dichteunabhängigen Brenngasstromes und Verbrennungsluftstromes zur Mischkammer des Reaktionsrohres das Verhältnis von Brenngas und Luft automatisch so eingestellt wird, daß am gaspotentiometrischen Festelektrolyt-Sauerstoff-Sensor mit einer bestimmten Zelltemperatur eine Zellspannung im Bereich des freien, molekularen Sauerstoffs erzeugt und gemessen wird. Aus dieser Zellspannung werden mittels des Mikrorechners unter Variation der Steuerspannung auf der Grundlage der Nernstschen Gleichung und aus dem vorliegenden Verhältnis Brenngas zu Verbrennungsluft für einen ersten Analysenpunkt und einen zweiten Analysepunkt bei unveränderter Zelltemperatur sowohl der stöchiometrische Luftbedarf, als auch der Heizwert kontinuierlich angezeigt. Beide Werte stehen als Ausgangssignale der Ausgabeeinheit zur Verfügung.

Mit der Einrichtung und dem Verfahren ist die Ermittlung des stöchiometrischen Luftbedarfs und des Heizwertes von Gasen rationell, schnell, genau und kontinuierlich möglich. Die Anwendung ermöglicht den Anschluß aller Arten von Regelungen, um Luftzufuhr und Wärmeangebot in Gasfeuerungen, unabhängig von der Feuerungsart, zu regeln. Dies ergibt große ökonomische Vorteile für den Betreiber. Mit Anpassung sind Einrichtung und Verfahren auch für Ölfeuerungen anwendbar.

Es war bisher nicht bekannt, daß ein Zusammenhang zwischen stöchiometrischem Luftbedarf und Heizwert in der Art besteht, daß man aus einem stöchiometrischen Luftbedarf linear, direkt und mit größter Genauigkeit auf einen Heizwert kommt. Dieser überraschende Effekt wurde durch umfangreiche Versuche, Experimente und theoretische Untersuchungen gefunden, wobei die Korrelation mit einem Genauigkeitsgrad von 0,998 ermittelt wurde. Dadurch ist ein effektives Messen möglich. Durch die bisherigen Steuer- und Regelvorgänge mit Totzeiten bzw. Totpunkten waren Messungen dieser Art nicht durchführbar.

Ausführungsbeispiel

Die erfindungsgemäße Einrichtung und das dazugehörige Verfahren sind nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. Dabei zeigen:

Fig. 1: den gaspotentiometrischen Meßwertgeber mit integrierter Misch- und Reaktionskammer im Schnitt
Fig. 2: den Verfahrensablauf und die Hauptbaugruppen

Die Einrichtung besteht aus drei Baugruppen. Dies sind die Gasdosiereinrichtungen 16, der gaspotentiometrische Meßwertgeber mit integrierter Misch- und Reaktionskammer 17 und ein Mikrorechner 18.

Aus Figur 1 geht hervor, daß der gaspotentiometrische Meßfühler 1 als Festelektrolyt-Sauerstoff-Sensor in ein speziell aufgebautes Reaktionsrohr 2, z. B. aus Quarzglas, über eine Schliffverbindung 3 eingesetzt wird. Der Meßfühler 1 selbst besteht aus einem einseitig geschlossenen Festelektrolytrohr, z. B. der chemischen Zusammensetzung $Zr_{0,85}Ca_{0,15}O_{1,85}$. Die Kuppe 4 des geschlossenen Endes ist innen und außen platinisiert und mit Pt-Netzen belegt. An diese sind außen eine Pt-Leitung und innen ein PtRh/Pt-Thermoelement angeschweißt und keramisch isoliert abgeführt. Zur Bespülung mit Luft als Bezugsgas ist innen eine Keramikkapillare angeordnet. Der so bestückte Meßfühler 1 ist in eine Hülse 5 mit Kernschliff eingezogen und am offenen Ende des Festelektrolytrohres mit Silikonkautschuk gasdicht verbunden. Darauf ist ein Kopf 6 für den Anschluß von Potentialleitungen 7 sowie Bezugsgasein- und austritt 8 und 9 gesetzt. Das Reaktionsrohr 2 besitzt an der gegenüber dem Meßfühler 1 liegenden Seite eine Mischkammer 10, die nach innen mit einer Fritte 11, z. B. aus Quarzglas, und nach außen durch eine düsenartige Verengung 12 für den Brenngaseintritt im Rohr abgegrenzt ist. Seitlich der Mischkammer 10 befindet sich die Verbrennungsluftzuführung 13, die trichterartig in der Mischkammer 10 auf die Fritte 11 mündet. Hinter der Fritte 11, dem Meßfühler 1 dicht, aber kontaktlos vorgelagert, befindet sich der Oxidationskatalysator 14. Zur Beheizung des gaspotentiometrischen Meßwertgebers mit integrierter Misch- und Reaktionskammer 17 ist ein elektrischer Widerstandssofen 15 temperaturgeregelt angeordnet.

Über kurze Schlauchverbindungen ist die mikrorechnergesteuerte Dosierpumpeneinrichtung für die Pumpen 19; 20, separat jeweils für Luft und Brenngas, angeschlossen.

Alle erforderlichen Meßwerte des Meßwertgebers 17 und der Dosiereinrichtung werden von einem Mikrorechner 18 erfaßt und verarbeitet.

Anhand des Schemas soll die erfindungsgemäße Verfahrensweise über die Funktion und das Zusammenwirken der Baugruppen erläutert werden.

Zur Inbetriebnahme der Einrichtung wird das Reaktionsrohr 2 des Meßwertgebers 17 auf Arbeitstemperatur, z. B. 1086K gebracht. Ist diese erreicht, werden die beiden Dosierpumpen 19 und 20 in Gang gesetzt und der Mikrorechner 18 gleichzeitig betriebsbereit geschaltet. Brenngas und Verbrennungsluft gelangen in dosierten Strömen 21 und 22 in die Mischkammer 10 und werden im Reaktionsrohr 2 flammlos am Katalysator 14 umgesetzt. Das Reaktionsgasgemisch umspült den gaspotentiometrischen Meßfühler 1 und wird über Ableitung 23 nach außen geführt. Am Meßfühler 1 wird durch das Reaktionsgasgemisch eine Zellspannung (U_{eq}) 24 erzeugt. Diese und die dazugehörige Zelltemperatur (T_z) 25 werden dem Mikrorechner 18 zugeführt. Entsprechend der Nernstschen Gleichung ist die Zellspannung durch die Gleichung

$$U_{eq}/mV = (0,0336 + 0,0496 \log p_{O_2}) \cdot T/K \quad (1)$$

bzw. der Sauerstoffpartialdruck im Reaktionsgasgemisch durch

$$p_{O_2} = 10 \exp \left(\frac{U_{eq}}{mV} \cdot \frac{T}{K} \cdot 0,0496 - 0,671 \right) \quad (2)$$

bestimmt. Durch wahlweise Veränderung der Steuerspannung ($U_{sL} \pm U_{sL}$) 26 vom Mikrorechner 18 auf die Dosierpumpe für Luft 20 wird das Volumenstromverhältnis so eingestellt, daß U_{eq} -Werte zwischen 10 und 300 mV resultieren. Vom Mikrorechner 18 werden dann die aktuelle Zellspannung 24 und die Zelltemperatur 25 sowie die aktuellen Volumenströme von Brenngas und Luft über Drehzahlmessungen 27 und 28 der Pumpen unter Berücksichtigung der Temperatur- und Druckverhältnisse 29 übernommen und das spezifische Luftvolumen V_L (1) in m^3 (N) Luft/ m^3 (N) Brenngas als erster Analysenpunkt berechnet. Durch geringfügige Veränderung der Steuerspannung 26 im Arbeitsbereich von 10 bis 300 mV bei unveränderter Zelltemperatur 25 wird ein zweiter Analysenpunkt eingestellt und das spezifische Luftvolumen V_L (2) in m^3 (N) Luft/ m^3 (N) Brenngas berechnet. Aus den Werten der Zellspannung 24 bei festgelegter Zelltemperatur 25 des ersten und zweiten Analysenpunktes berechnet. Der spezifische stöchiometrische Luftbedarf $V_{Lst.}$ folgt dann nach Gleichung (3)

$$V_{Lst.} = \frac{p_{O_2}(1) \cdot (V_L(1) - V_L(2))}{p_{O_2}(2) - p_{O_2}(1)} + V_L(1) \quad (3)$$

Mit Hilfe des spezifischen stöchiometrischen Luftbedarfs werden im nächsten Schritt unter Nutzung einer Regressionsfunktion der untere und obere Heizwert des Brenngases bestimmt. Spezifischer Luftbedarf und Heizwert für das untersuchte Brenngas stehen als geeignete Signale der Ausgabereinheit 30 übergeordneten Steuerungen zur Verfügung. Zwischen- und Endergebnisse werden durch eine adressierbare Anzeigereinheit dargestellt.

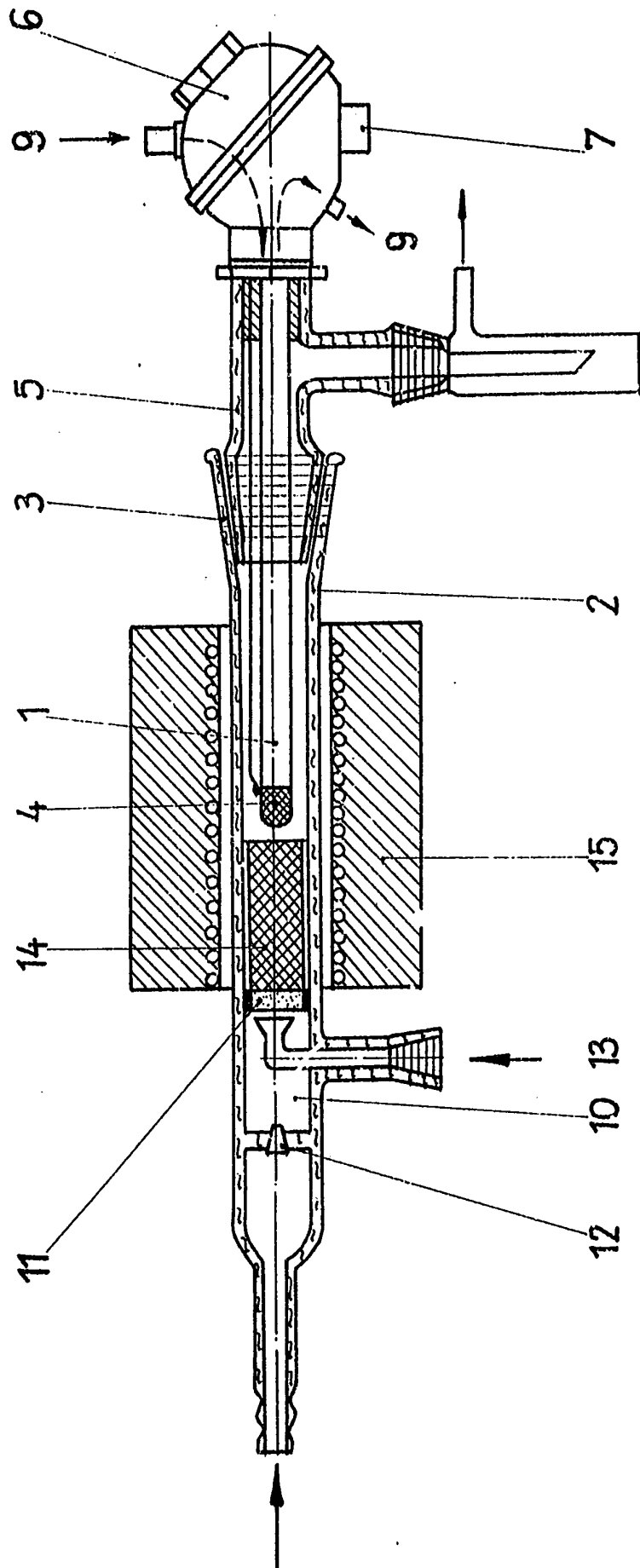


Fig. 1

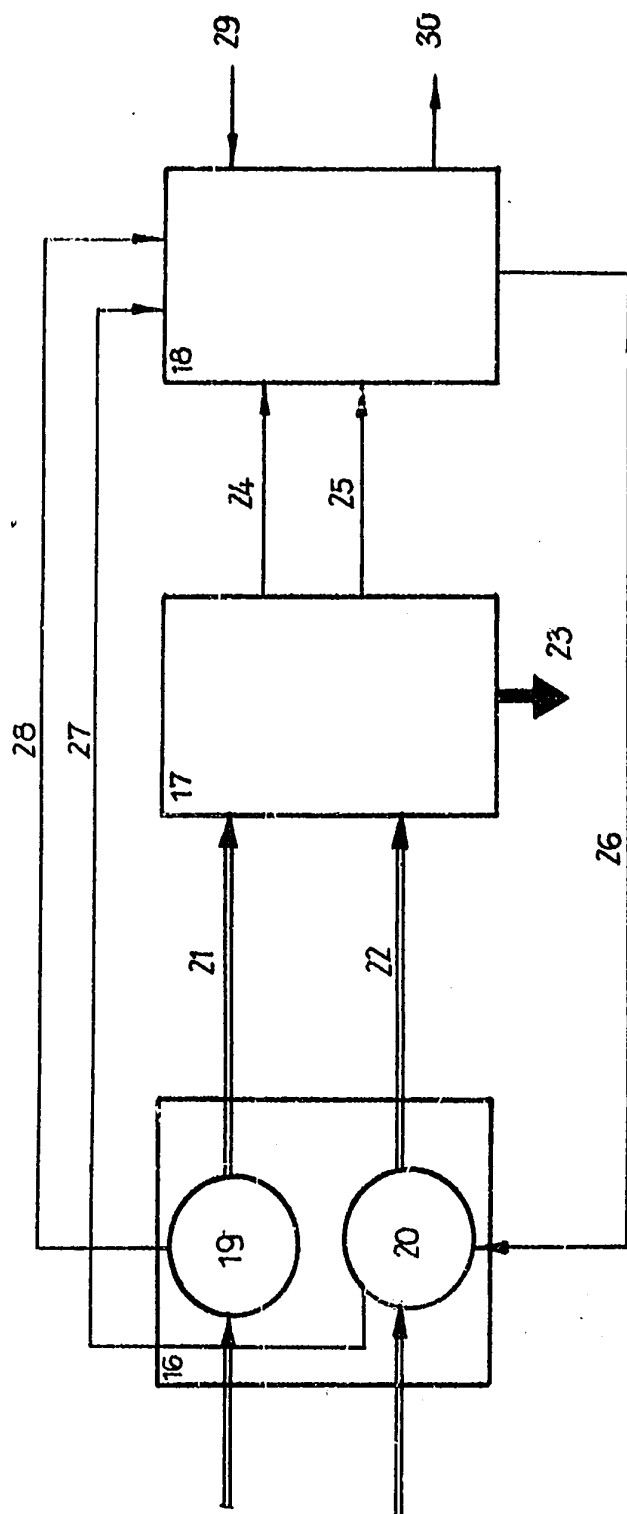


Fig. 2