



(12) Ausschließungspatent

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

(11) **DD 286 944 A7**

5(51) G 01 J 5/10
F 23 N 5/08
G 01 N 21/75

DEUTSCHES PATENTAMT

(21)	DD G 01 J / 316 162 8	(22)	30.05.88	(45)	14.02.91
------	-----------------------	------	----------	------	----------

(71)	siehe (73)
(72)	Weigel, Bernhard, Dipl.-Ing.; Hänel, Horst, Dipl.-Phys.; Zschintzsch, Manfred, Dipl.-Ing.; Böhme, Roland, Dipl.-Ing., DE
(73)	Chemieanlagenbau GmbH, Leipzig – Grimma, Bahnhofstraße 3–5, O - 7240 Grimma, DE

(54)	Verfahren zur Überwachung des Prozeßzustandes von getauchten Gasfackeln zum Zweck der Regelung
------	---

(55) Gasfackel; Fernüberwachung; Regelung; Strahlungsintensität; Pulsation; Intensitätsverteilung; Fernsehabtastung; Spektralbereich

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung des Prozeßzustandes von getauchten Gasfackeln, in dessen Ergebnis eine Regelung des Verbrennungsprozesses möglich wird. Das Verfahren hat eine Verminderung des Energieverbrauches und eine verringerte Umweltbelastung zum Ziel. Erfindungsgemäß ist das Verfahren dadurch gekennzeichnet,

- daß aus den gewonnenen digitalisierten Bildern einer Bildfolge, die das Abbild der Gasfackel repräsentieren, sowohl die Fläche jedes Einzelbildes als auch die Flächenänderung der Einzelbilder untereinander ermittelt werden, wobei die Einzelbilder die Pulsationsperiode der Fackel beschreiben,
- und daß anschließend der Mittelwert der Fläche der Bilder der Bildfolge bestimmt wird,
- daß die Intensitätsverteilung, die die Häufigkeit des Auftretens diskreter Intensitäten darstellt und der Fackelflammeneexpansionsgrad, dargestellt durch die maximale Flächen- und/oder Teilflächenänderung innerhalb der Pulsationsperiode, bestimmt werden,
- und daß der Mittelwert der Fläche, die Intensitätsverteilung sowie der Fackelflammeneexpansionsgrad jeweils mit oberen und unteren, den Sollwertraum des Verbrennungsprozesses abgrenzenden, Schwellwerten versehen werden,
- und daß bei Verlassen der Merkmalsgrößen aus dem Sollwertraum iterativ durch erhöhte Zugabe von Wasserdampf bei zu kleinem Fackelflammeneexpansionsgrad und zu großem Anteil geringerer Intensitäten und entsprechend umgekehrt durch geringere Zugabe von Wasserdampf der Sollwert aller Merkmale eingehalten wird.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Überwachung des Prozeßzustandes von getauchten Gasfackeln zum Zweck der Regelung mittels TV- oder CCD-Bildsensoren zur Erfassung der Strahlungsintensität und einer Einrichtung zur Digitalisierung, Speicherung und Auswertung durch Veränderung der Wasserdampfzufuhr, **dadurch gekennzeichnet**,
 - daß aus den gewonnenen digitalisierten Bildern einer Bildfolge, die das Abbild der Gasfackel repräsentieren, sowohl die Fläche jedes Einzelbildes als auch die Flächenänderung der Einzelbilder untereinander ermittelt werden, wobei die Einzelbilder die Pulsationsperiode der Fackel beschreiben,
 - und daß anschließend der Mittelwert der Fläche der Bilder der Bildfolge bestimmt wird,
 - daß die Intensitätsverteilung, die die Häufigkeit des Auftretens diskreter Intensitäten darstellt, und der Fackelflammexpansionsgrad, dargestellt durch die maximale Flächen- und/oder Teilflächenänderung innerhalb der Pulsationsperiode, bestimmt werden,
 - und daß der Mittelwert der Fläche, die Intensitätsverteilung sowie der Fackelflammexpansionsgrad jeweils mit oberen und unteren, den Sollwertraum des Verbrennungsprozesses abgrenzenden, Schwellwerten versehen werden,
 - und daß bei Verlassen der Merkmalsgrößen aus dem Sollwertraum iterativ durch erhöhte Zugabe von Wasserdampf bei zu kleinem Fackelflammexpansionsgrad und zu großem Anteil geringer Intensitäten und entsprechend umgekehrt durch geringere Zugabe von Wasserdampf der Sollwert aller Merkmale eingehalten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß als weiteres Merkmal die Textur, die die Hüllkurven zusammenhängender Intensitätsbereiche beschreibt, bestimmt und mit Schwellwerten versehen wird und iterativ durch erhöhte Zugabe von Wasserdampf bei geringer Zerklüftung und entsprechend umgekehrt durch geringere Zugabe von Wasserdampf bei starker Zerklüftung der Hüllkurven der Sollwertraum des Merkmals eingehalten wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß die verwendeten Merkmale in einem Merkmalsraum zusammengefaßt werden und daß dieser in drei Teilräume unterteilt wird, einen Sollwertraum und zwei weitere, die außerhalb des Sollwertraumes liegen und entgegengesetzte Entscheidungsgrößen verkörpern, und daß iterativ durch erhöhte bzw. verminderte Zugabe von Wasserdampf der Zustand der optimalen Verbrennung erreicht wird.

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung des Prozeßzustandes von getauchten Gasfackeln, in dessen Ergebnis Informationen bereitgestellt werden, die eine Regelung des Verbrennungsprozesses gestatten.

Charakteristik der bekannten technischen Lösungen

Es ist bekannt, daß zur Überwachung und Regelung von Gasfackeln optoelektronische Strahlungsempfänger eingesetzt werden. Mit diesen werden prozeßrelevante Strahlungswellenlängen des Verbrennungsprozesses erfaßt, wodurch eine Kontrolle auf Anwesenheit (Feststellung, ob Gasfackel verloschen ist) vorgenommen wird und auch eine Regelung ausgewiesen wird. Bei den bekannten Lösungen zur Fackelüberwachung werden überwiegend zum Detektieren der Fackelstrahlung Photozellen mit entsprechend vorgesetzten Filtern (meist infrarot) benutzt. Damit ist jedoch nur ein integrales Erfassen der von der Flamme ausgehenden Intensität verschiedener Strahlungswellenlängen möglich. Bedingt durch die im praktischen Betrieb gegebenen Entfernungen zwischen Fackelkopf und Photozellen wird die Flammenstrahlung und ein Teil der Flammenumgebung durch ein entsprechendes Objektiv auf die Photozelle projiziert, so daß das Signal der Photozelle repräsentant für die integral auftretende Strahlungsemission der gesamten Flamme ist.

Eine derartige Lösung beschreibt das U. S. Patent Nr. 3,891,847. Die Größe und Intensität der Flamme ist damit in gewissen Grenzen erfaßbar, jedoch nicht deren Aussehen bezüglich Form und Textur und deren Ort im betrachteten Bildfeld. Letzterer kann sich beispielsweise durch wechselnde Windverhältnisse ändern und verfälscht die Meßergebnisse.

In DE 2836895 wird eine ähnliche Lösung beschrieben, wobei mit zwei Photozellen gearbeitet wird. Die Überwachung der Gasfackel wird damit dadurch erreicht, daß die Emissionsleistung der Resonanzinfrarotstrahlung und die Emissionsleistung der Gesamtstrahlung im infraroten Bereich erfaßt und mittels Differenz- und Quotientenbildung verglichen wird.

Ähnliches ist auch aus DE 1920218 bekannt, wo ein Strahlungsdetektor zur automatischen Brandentdeckung oder Flammenüberwachung eingesetzt wird, wobei zwei Wellenlängen der ermittelten Flammenstrahlung ausgewertet werden. Dabei wird weiterhin der Umstand ausgenutzt, daß die von den Rußpartikeln emittierte Strahlung starken zeitlichen Schwankungen unterliegt, abhängig davon, in welchem Wellenlängenbereich sie nachgewiesen wird. So wird der zeitliche Verlauf der Rußstrahlung (Festkörperstrahlung) und der Gasstrahlung beobachtet und ausgewertet.

Weiterhin sind Verfahren bekannt, bei denen mittels Spiegeloptik ein periodisches Abtasten (Scannen) in horizontaler Richtung vorgenommen wird. Durch die Wahl einer bezogen auf die Flammenbreite großen Abtastamplitude ist damit eine Separierung der Flamme vom Flammenhintergrund bzw. der Flammenumgebung möglich, so daß ein Differenzsignal zur Kalibrierung vorliegt.

Mit den bekannten Verfahren zur Fackelflammenüberwachung und -regelung wird die sich auf optoelektronische Strahlungsempfänger als Abbild der Fackelflamme repräsentierende Fackelflammenstrahlung nur integral erfaßt, so daß die Form und Textur der Flamme insbesondere auch unter Beachtung deren Pulsation (stellt sich als Expansion der Fläche dar, die bei der Abbildung entsteht) nicht erfaßt werden kann. Diskrete, über die Fackelflammenfläche verteilte Strahlungsintensitäten können ebenfalls nicht erfaßt werden.

Für die automatische Fackelflammenregelung konnte mit den bekannten Verfahren nur eine integrale Informationserfassung vorgenommen werden, so daß eine Auswertung der Informationsverteilung der real strahlenden Flamme, das heißt der Informationsverteilung innerhalb des flächenhaften Abbildes auf einen flächenhaften Strahlungsempfänger, nicht möglich ist.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die Bereitstellung eines Verfahrens zur Überwachung des Prozeßzustandes von getauchten Gasfackeln zum Zweck der Regelung, daß zu einer Verminderung des Energieverbrauches und durch Reduzierung des Schadstoffausstoßes zu einer verringerten Umweltbelastung beiträgt.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Überwachung des Prozeßzustandes von getauchten Gasfackeln zum Zweck der Regelung durch Veränderung der Wasserdampfzufuhr zu entwickeln, das unter Benutzung nur eines Bildsensors aus dem optischen Abbild vergleichsweise exaktere Informationen bereitstellt, die den Prozeßzustand der Fackel charakterisieren und damit eine empfindliche Regelung der Fackel erlauben. Dieses optoelektronische Verfahren soll dennoch das optische Abbild störende atmosphärische Einflüsse, wie Wind und Niederschläge, ausschließen. Darüber hinaus sollen eindeutigere Rückschlüsse auf das Verhältnis von Prozeßgas und Wasserdampf gezogen werden können. Das Verfahren soll für unterschiedliche Prozeßgaszusammensetzungen anwendbar sein.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß zur Erfassung der Strahlungsintensität von Gasfackeln TV- oder CCD-Bildsensoren und eine Einrichtung zur Digitalisierung, Speicherung und Auswertung der von den Bildsensoren gelieferten Signale genutzt wird (System zur automatischen Bildverarbeitung).

Zum Zweck der Erfassung der Pulsation der Fackelflamme werden mehrere Bilder in Form von Bildfolgen, die das Abbild der Fackelflamme über eine Pulsationsperiode repräsentieren, mit den Bildsensoren abgetastet und im Bildspeicher abgelegt.

Erfindungsgemäß werden von den im Bildspeicher abgespeicherten Bildern der Bildfolge die Fläche jedes Einzelbildes und auch die Flächenänderung der Einzelbilder untereinander ermittelt, und anschließend wird der Mittelwert der Fläche der Bilder der Bildfolge bestimmt.

Weiterhin werden die Intensitätsverteilung, die die Häufigkeit des Auftretens diskreter Intensitäten, repräsentiert durch die bei mehrstufiger Quantisierung entstehenden Teilflächen der im Speicher abgelegten digitalen Bilder, darstellt und der Fackelflammenexpansionsgrad, dargestellt durch die maximale Flächen- und/oder Teilflächenänderung innerhalb der Pulsationsperiode, bestimmt.

Der Mittelwert der Fläche, die Intensitätsverteilung sowie der Fackelflammenexpansionsgrad werden jeweils mit oberen und unteren, den Sollwertraum des Verbrennungsprozesses abgrenzenden Schwellwerten versehen.

Bei Verlassen der Merkmalsgrößen aus dem Sollwertraum wird iterativ durch erhöhte Zugabe von Wasserdampf bei zu kleinem Fackelflammenexpansionsgrad und zu großem Anteil geringer Intensitäten und entsprechend umgekehrt durch geringere Zugabe von Wasserdampf der Sollwertraum aller Merkmale eingehalten.

Der Sollwertraum entspricht dem Zustand der optimalen Verbrennung, und die außerhalb des Sollwertraumes liegenden Zustände sind den Prozeßzuständen der Fackel zuordenbar, wo zu wenig bzw. zu viel Wasserdampf zugegeben wird.

Die Bestimmung und Festlegung der Schwellwerte, die eine Trennung des Sollwertraumes von den beiden außerhalb des Sollwertraumes liegenden, entgegengesetzte Entscheidungsgrößen verkörpernden Teilräumen vornehmen, erfolgt durch Anlernen beim Betreiben der Gasfackel in den drei Betriebszuständen.

Beim Überwachen von Gasfackeln werden die Merkmalsgrößen hinsichtlich des Verlassens des Sollwertraumes überprüft und Informationen für eine Verminderung oder Erhöhung oder auch Beibehaltung der Wasserdampfzufuhr abgeleitet.

Es ist zweckmäßig, daß als weiteres Merkmal die Textur, die die Hüllkurven zusammenhängender Intensitätsbereiche beschreibt, bestimmt und mit Schwellwerten versehen wird und iterativ durch erhöhte Zugabe von Wasserdampf bei geringer Zerklüftung und entsprechend umgekehrt durch geringere Zugabe von Wasserdampf bei starker Zerklüftung der Hüllkurven der Sollwertraum des Merkmals eingehalten wird.

Es ist vorteilhaft, daß die verwendeten Merkmale in einem Merkmalsraum zusammengefaßt werden und daß dieser in drei Teilräume unterteilt wird, einen Sollwertraum und zwei weitere, die außerhalb des Sollwertraumes liegen und entgegengesetzte Entscheidungsgrößen verkörpern, und daß iterativ durch erhöhte bzw. verminderte Zugabe von Wasserdampf der Zustand der optimalen Verbrennung erreicht wird.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel erläutert werden.

Für die Überwachung des Prozeßzustandes von getauchten Gasfackeln zum Zweck der Regelung durch Veränderung der Wasserdampfzufuhr wird ein Bildsensor, geeigneterweise ein TV- oder CCD-Bildsensor verwendet, der die Fackelflamme und deren Umgebung flächhaft abtastet. Mittels eines geeigneten Objektivs unter Berücksichtigung der Entfernung zwischen Bildsensor und Fackelflamme ist dabei eine so große Fläche abzutasten, daß die Fackelflamme selbst und ein Teil der Umgebung auch unter wechselnden Windverhältnissen stets auf den Bildsensor abgebildet werden.

Es werden Bildsensoren verwendet, die bezüglich ihrer spektralen Empfindlichkeit den für die Überwachung des Prozeßzustandes günstigen Spektralbereich überdecken und die zusätzlich mit entsprechenden optischen Filtern zur Selektion relevanter Strahlungswellenlängen versehen werden. Vorzugsweise erfolgt die Erfassung des Abbildes der Fackelflamme im infraroten Spektralbereich.

Das vom Bildsensor gelieferte analoge Signal (Videosignal) repräsentiert die zweidimensionale Abbildung der Fackelflamme und deren unmittelbare Umgebung.

Zum Zweck der Weiterverarbeitung dieses Signals mittels Rechentechnik wird dieses Signal digitalisiert und einem Rechenspeicher zugeführt, der in digitalisierter Form die Bildinformationen enthält. Die in diesem sogenannten Bildspeicher abgelegten Informationen sind die Grundlage aller weiteren Verfahrensschritte.

Die Digitalisierung kann dabei im einfachsten Fall eine Binarisierung sein (nur schwarz/weiß), kann aber auch über mehrere Stufen erfolgen. Sinnvoll erscheint eine Verarbeitungsbreite zwischen 2 und 8 Bit, das entspricht 4 bis 256 Quantisierungsstufen, um einerseits genügend, für die Bildauswertung nötige Intensitätsbereiche zu erhalten, andererseits die für die Auswertung der Bilder nötige Rechenzeit in Grenzen zu halten.

Letzteres macht auch eine sinnvolle Wahl der Anzahl der Rasterpunkte (Pixel) erforderlich, die zwischen 64×64 bis 256×256 zweckmäßig und durchaus ausreichend ist.

Die Abtastung der Fackelflamme erfolgt durch Aufnahme mehrerer Bilder in Form von Bildfolgen in einen entsprechend großen Bildspeicher, dessen Speicherkapazität von der Anzahl der Rasterpunkte pro Bild und Quantisierungsstufen je Rasterpunkt abhängig ist.

Die Anzahl der Bilder je Bildfolge muß so groß sein, daß die Dynamik der durch die Tauchung der Fackel bewirkten Pulsation ausreichend erfaßt werden kann (z. B. eine Bildfolge von 16 Bildern). Die Länge der Bildfolge ist dabei zeitlich so zu wählen, daß mindestens eine ganze Pulsationsperiode erfaßt wird.

Anhand der Bilder der Bildfolgen wird die Fackelflammengesamtfläche jedes einzelnen Bildes durch Zählung aller der Bildpunkte, deren Intensitäten der Fackelflamme zugeordnet werden, ermittelt. Die Zuordnung erfolgt über einen Schwellwert, der entsprechend der Umgebungsbedingungen bestimmt werden muß. Um eine Aussage über die Gesamtfläche der Fackelflamme unter dem Einfluß der Pulsation zu bekommen, wird der Mittelwert über eine Bildfolge gebildet.

Weiterhin erfolgt die Ermittlung der Intensitätsverteilung durch Auszählung der Bildpunkte der Bereiche mit jeweils gleichen Intensitäten über alle Bilder einer Bildfolge, wobei eine Aufteilung in zwei Intensitätsbereiche und Auswertung des Verhältnisses beider Bereiche zueinander ausreicht, und es erfolgt die Ermittlung des Fackelflammexpansionsgrades durch Suchen der Bilder der Bildfolge mit der jeweils größten und kleinsten Fackelflammengesamtfläche und die Bestimmung der Differenz zwischen beiden Flächen.

Die Ermittlung der Textur als zusätzliches Merkmal, die die Hüllkurve zusammenhängender Intensitätsbereiche beschreibt, erfolgt durch Bestimmung der Übergänge zwischen den Intensitätsbereichen und Auswertung der Zerklüftung der Hüllkurve.

Durch Betreiben der Fackel in den drei Betriebszuständen, dem Zustand der optimalen Verbrennung und zwei weiteren, bei Zugabe bzw. Verminderung von Wasserdampf zu den zu verbrennenden Prozeßgasen, dem Bereich mit zu wenig (ruhende Fackelflamme) und dem Bereich mit zu viel (entleuchtete Fackelflamme) zugegebenem Wasserdampf, werden für die genannten Merkmale obere und untere Schwellwerte angelernt, die für jedes Merkmal den Sollwertraum abgrenzen.

Durch das Anlernen der Schwellwerte sind diese gemäß der spezifischen technischen Besonderheiten des gesamten Fackelregelsystems eingestellt (z. B. Fackelkopfausführung, Empfindlichkeit der Kamera).

Bei Verlassen von Merkmalen aus dem Sollwertraum wird die Wasserdampfzufuhr erhöht bzw. vermindert und iterativ der Zustand der optimalen Verbrennung erreicht. Eine Erhöhung der Wasserdampfungabe wird bei Unterschreitung des unteren Schwellwertes des Fackelflammexpansionsgrades (zu geringe Expansion) und Überschreitung des Schwellwertes der Intensitätsverteilung (zu großer Anteil geringer Intensitäten) sowie bei Nutzung der Textur bei geringer Zerklüftung der Hüllkurven zusammenhängender Intensitätsbereiche vorgenommen. Eine Verminderung wird bei entsprechend umgekehrten Verhältnissen vorgenommen.

Die benutzten Merkmale lassen sich in einem Merkmalsraum zusammenfassen. Entsprechend der beschriebenen Schwellwerte der einzelnen Merkmale kann dieser in drei Teilräume unterteilt werden, einen Sollwertraum und zwei weitere, die außerhalb des Sollwertraumes liegen und entgegengesetzte Entscheidungsgrößen verkörpern.

Nach dem Anlernen werden beim Überwachen des Prozeßzustandes der Gasfackel das Verlassen des Sollwertraumes erfaßt und daraus Informationen für eine Verminderung oder Erhöhung oder auch Beibehaltung der Wasserdampfzufuhr abgeleitet.