

Innovationen in der Wissenschaft: Theorie und Praxis

(Proceedings of the Ith Internationale Konferenz)

25th März, 2016

**Vienna
2016**

INGENIEURWISSENSCHAFTEN

Askarova Aliya

Al-Farabi Kazakh National University
Professor, Department of Physics and Technical Physics

Bolegenova Saltanat

Al-Farabi Kazakh National University
Professor, Department of Physics and Technical Physics

Maximov Valeriy

Al-Farabi Kazakh National University
PhD, Department of Physics and Technical Physics

Saginaeva Aygerim

Al-Farabi Kazakh National University
Bachelor, Department of Physics and Technical Physics

UNTERSUCHUNG DER AERODYNAMISCHEN CHARAKTERISTIKEN DES HEIZUNGSKESSELS BKZ-75 DER „SCHACHTINSKAYA“ DAMPFKRAFTANLAGE MIT HILFE DER 3D – MODELLIERUNG

Die Arbeit untersuchte die aerodynamischen Eigenschaften der physikalischen und chemischen Prozesse in dem genannten Heizungskessel. Basierend auf der mathematischen Lösung der konvektiven Wärme- und Stofftransportgleichung und unter Berücksichtigung der Kinetik der chemischen Prozesse, der Zweiphasigkeit des Wärmestroms sowie der nichtlinearen Effekte des konvektiven und radioaktiven Wärmeaustausches wurden aerodynamischen Charakteristiken entlang des gesamten Querschnitts des Kessels identifiziert.

Die aktuelle Verschlechterung der Umweltsituation in Kasachstan ist eine direkte Bedrohung dem Wohlstand und der Gesundheit der kasachischen Bevölkerung. In den vielen Regionen des Landes ist Umweltsituation als schlecht und in manchen sogar als katastrophal einzustufen.

Von den Allen Komponenten die die Biosphäre und die „Umwelt“ ausmachen ist die Atmosphäre mit Abstand die sensibelste. Sie ist der Vorposten nicht nur für die gasförmigen sondern auch flüssigen und festen Verursacher.

Laut Statistik werden in Kasachstan regelmäßig große Mengen von hochgiftigen Abgasen freigesetzt. Der strukturelle Vergleich unter den stationären Abgasquellen verrät uns, dass 50% der Abgasen durch Dampfkraftanlagen und weitere 33% als Nebenprodukt der Eisen- sowie der Nichteisenmetallurgie entstehen.

Für die Dampfkraftanlagen in Kasachstan werden in der Regel Brennstoffe (Hauptsächlich Steinkohle) der niedrigen Qualität mit niedrigem potenziellem Energiegehalt und hohem Aschegehalt (meist über 40%) verwendet. Dennoch werden zurzeit strenge Umweltschutzregelungen zur Kesselzellen implementiert. Die Befolgung dieser und der gleichzeitige Versuch seitens Anbieter den Ertrag zu erhöhen sowie die Betriebskosten zu senken erschwert die Forschungsversuche auf diesem Gebiet.

Trotz der Tatsache, dass Wärmemassenübertragung der chemischen Hochtemperaturprozesse einer empirischen Gesetzmäßigkeit folgt, bleibt die Erforschung dieser immer noch ein großes technisches sowie wissenschaftliches Problem.

Die theoretische Erforschung solcher Wärmemassenübertragung hat seine Schwierigkeiten. Ein passendes mathematisches Modell ist nur dann gültig, wenn die Ausgangsdaten korrekt und präzise sind. Es ist vorausgesetzt die Gesetzmäßigkeiten der Zersetzung, der Verbrennung einer Kohlenstofffaser sowie die chemische Kinetik dieser während der Übergangszeit zwischen Festmaterial und Gas zu wissen. Zurzeit die einzige Methode für die Erforschung des gesamten Verbrennungsprozesses in einer Dampfkraftanlage oder Ähnlichem sind mathematische Modelle mit dem Einsatz der 3D Modellierung. Dazu notwendig sind passende Rechner sowie Software. Dies ist außerdem die einzige Methode die am besten die Faktoren die den realen Ablauf der Prozesse schildern miteinbezieht und am präzisesten die Ergebnisse überprüfen lässt.

Als das Forschungsobjekt wurde die Heizungszone des Kessels BKZ-75 von der „Schachtinskaya“ Dampfkraftanlage ausgesucht. Das Modell BKZ-75 hat vertikal gerichtete Wasserröhre und ist eine Fertigung der „Barnaul“ Dampfkesselfabrik. Das Modell hat die Produktivität von 75 t/Stunde (51,45 G.Kal./Stunde), Höchsttemperaturen von 440 °C und einer Druckbelastbarkeit durch den Dampf von 39 kg/cm². Für die Verbrennung von staubkohlbasiertem Brennstoff ist die Zelle mit vier Staubkohlbrennern

ausgestattet, jeweils zwei an beiden Wänden der Zelle. Für diese Konstruktion ist ein individuelles Staubeinblasrohr sowie zwei hammerbetriebenen Mühlen für die Vorbereitung des Staubes beigeschlossen. In dem Kessel BKZ-75 wird Staubkohle der Sorte KR-200 mit dem Aschengehalt von 31,1%, Flüchtig Anteil - 22%, der Feuchtigkeit von 10,6% und der Verbrennungsenergie von 18550 Kilojoule/Kg verwendet. Eine Tonne der zerkleinerten Kohle macht $R_{90}=20\%$.

Für die Untersuchung der aerodynamischen Eigenschaften der chemischen Prozesse in dem Verbrennungskessel unter der Verwendung des traditionellen Rechenexperiments, besteht aus folgenden Schritten. Siehe Abbildung 1.

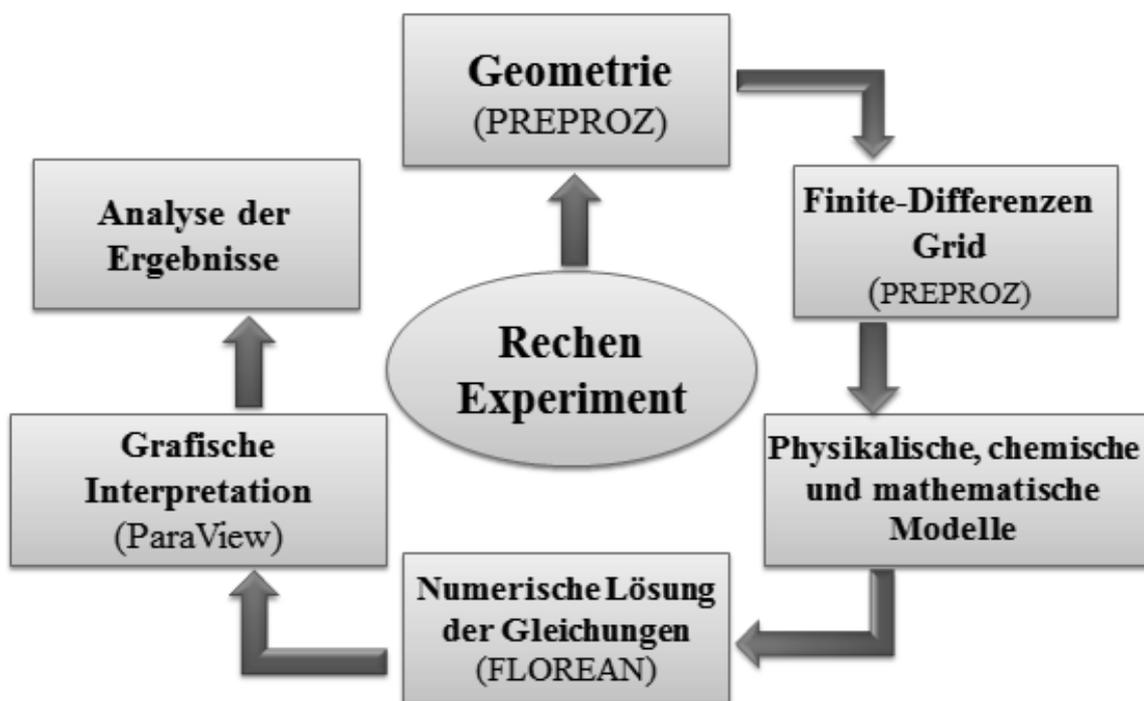


Abbildung 1 – Schritte des Rechenexperiments

Bei der Durchführung dieses Experiments ist es notwendig die Geometrie des erforschten Objektes sowie die Endgitter zu erstellen (Abbildung 2).

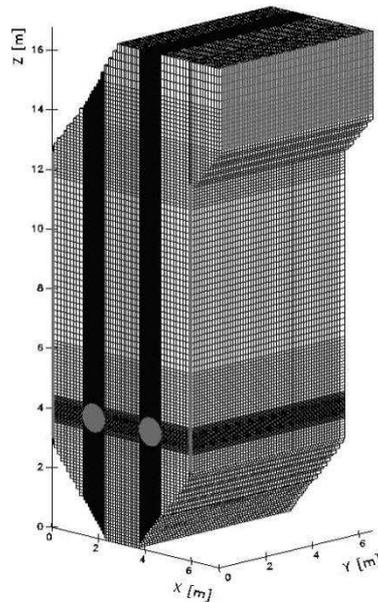


Abbildung 2 – Endgitter der Heizungszelle

Bei der Erstellung des geometrischen Modells wird jede Wand der Zelle in Form von Rechnungscodes erfasst. Zuerst werden Wände mit Brennstoffzufluss Punkten erstellt. Die Ein- und Ausgänge werden zuerst als Löcher definiert, dann werden die räumlichen Koordinaten diese „Löcher“ an vorbestimmten Stellen eingegeben. Das Loch des Brenners (Eingang) wird als ein konzentrisches Loch definiert (für runde Brenner), der Ausgang im Form eine Rechtecks mit entsprechenden Koordinaten im Modellraum.

Die Grundgleichungen für den zu beschreibenden Prozess der Verbrennung des Brennstoffes in der Zelle. Während der Verbrennung entstehen Turbulenzen durch die Übertragung der Wärme, verschiedener Komponenten und deren Produkte. Diese Prozesse können durch Gleichungen die auf Gesetzen der Masse- und Impulserhalt basieren beschrieben werden.

a) Die Gleichung für die Erhaltung der Masse, auch bekannt als die Unzertrennlichkeitsgleichung:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} = - \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i)$$

(1)

b) Gesetz des Impulserhalts:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) = -\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij}) - \frac{\partial p}{\partial x_j} + \rho f_i$$

(2)

Hier: f_i - Volumenkraft; τ_{ij} - der Tensor der dickflüssiger Anziehung.

Für die Strömungen in denen der Wärmeaustausch stattfindet muss man zusätzlich die Gleichung für den Energieerhalt lösen unter der Berücksichtigung der Konzentrationen einzelner Komponente.

c) Energiegleichung:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h) = -\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i h) - \frac{\partial q_i^{\text{res}}}{\partial x_j} + \frac{\partial p}{\partial t} + u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} + \tau_{ij} \frac{\partial u_j}{\partial x_i} + S_q \quad (3)$$

Hier: h – Enthalpie; q_i^{res} - Energiedichte im Strom durch die molekulare Wärmeübertragung; S_q – Energiequelle.

Quellenkomponente S_q beachtet:

- Den Wärmestrom durch den konvektiven Wärmeaustausch zwischen Teilchen und der Gasphase $S_{h,p}$;
- Die Wärme durch Verbrennung, in der die Präsenz von festen Teilchen beachtet wird - S_{abr} ;
- Die Wärme durch Ausstrahlung S_{str} , deren Einsatz in der Flammezone um die 90% beträgt;

d) Erhaltungssatz für Substanz:

Im Element wird die gemeinsame Masse durch die Summe der Massen aller Komponente, die im chemischen Prozess der Verbrennung teilnehmen bestimmt:

$$m = \sum_n m_n \quad (4)$$

Die Gleichung die die Konzentration einzelner Komponente in der Mischung darstellt, kann folgend dargestellt werden:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_n) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i c_n) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\frac{\mu_{eff}}{\sigma_{c_n,eff}} \frac{\partial c_n}{\partial x_i} \right] + S_{c_n}, \quad (5)$$

Hier: S_{c_n} - Anfangsteilnehmer in der chemischen Änderung der Konzentration der Komponente.

Nach der Lösung aller dieser Gleichungen erhalten wir die numerischen Werte der Verbrennung vom festen Brennstoff. Danach können die Werte in ParaView Software eingetragen werden. Mit Hilfe dieser Software

erhalten wir die graphische Interpretation der Daten mit der Möglichkeit größere Datenmengen qualitativ und quantitativ zu visualisieren.

Als Ergebnis der Rechenexperimente wurden Zuteilungen entlang Geschwindigkeitsachse des Querschnitts des Kessels folgend etabliert: das obere Teil des kalten Trichters, die im geprobtem Kessel folgend platziert ist – Höhe $Z=3.0$ m (Abbildung 3, a); entlang dem Brenner $Z=4.0$ m (Abbildung 3, b); im Querschnitts des Kessels $z=12,6$ m (Abbildung 4, a) und am Ausgang der Zelle (Abbildung 4, b).

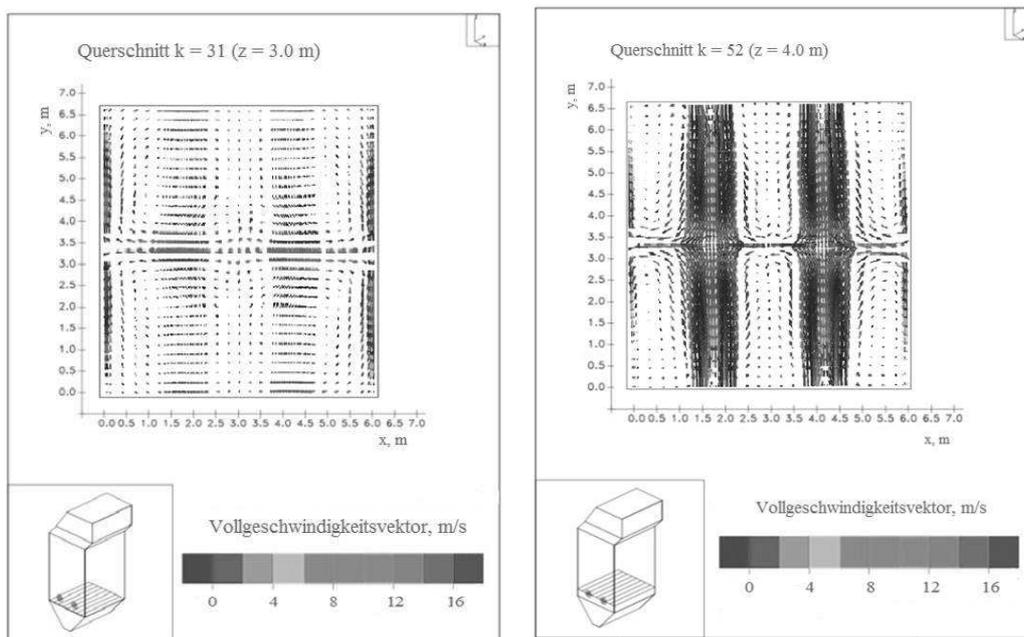


Abbildung 3 – Die Gesamtgeschwindigkeitsverteilung entlang den Querschnitten: a) Kalter Trichter ($k=31$, $z=3$ m); b) Brennanlagen ($k=52$, $z=4$)

Die Analyse der Abbildung 3 zeigt, dass die Ströme im Medianbereich der Brennanlagen aufeinanderstoßen und in sechs verschiedene Richtungen gehen, wodurch ein vortexartiger Rückstrom entsteht. Ein Teil dieser Strömungen fließt in den Bereich des kalten Trichters. Vier Ströme in den „kalten“ Ecken bilden fließen in einer wirbelartigen Motion Richtung des Ausgangs.

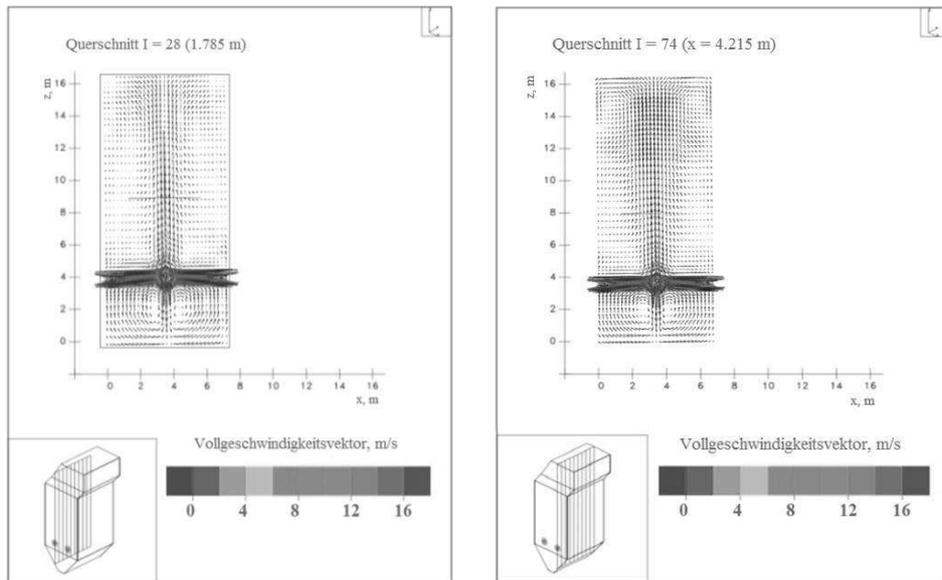


Abbildung 4 - Die Vektorverteilung der Gesamtgeschwindigkeit in den Längsschnitt:
 a) das erste Paar; b) das zweite Paar

Der Vektor der Gesamtgeschwindigkeit wird als das Wurzel aller quadrierten Komponente die sie ausmachen definiert $\vec{V} = \sqrt{U^2 + V^2 + W^2}$ und ist auf den Abbildungen mit Pfeilen repräsentiert. Mit Hilfe der Farbkodierung und Skala kann somit ein numerischer Wert festgelegt werden.

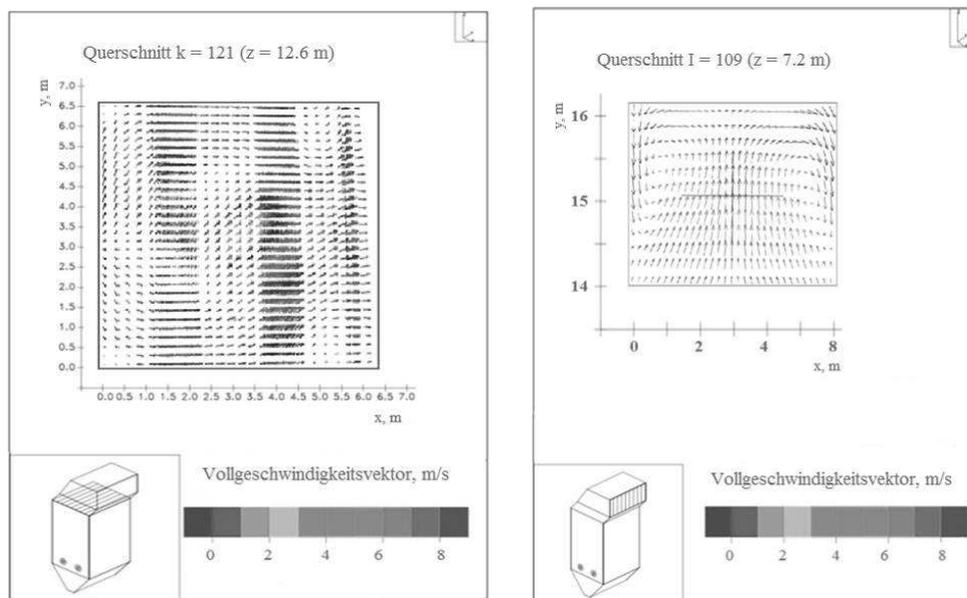


Abbildung 5 - Die Vektorverteilung der Gesamtgeschwindigkeit in den Querschnitten: a) Die Wendekamera des Kessels (k=121, z=12,6); b) Ausgangsfläche (I=109, z=7,2)

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen und, dass bei gleichen Anfangsgeschwindigkeit der Brennmischung (Staubkohle und Luft), die entgegen gesetzten Strome kollidieren und dank dem Sog im unteren Teil der Zelle im kalten Bereich zwei distinkte Wirbel bilden.

Die gebildeten Wirbel erzeugen perfekte Bedingungen für die gleichmäßige Erwärmung aller Zellenwände und verhindern Aschenrückstandbildung, was die Benutzungsdauer einzelner Kesselkomponente und die Fläche der Wärmeabfuhr erhöht.

Entlang der Bewegung dieser Turbulenzen, je mehr sie sich dem Ausgang nähern desto mehr nimmt die Intensität der Wirbel ab (Abbildung 5, a). Am Ausgang der Zelle ist ein gleichmäßiges Geschwindigkeitsprofil zu beobachten.

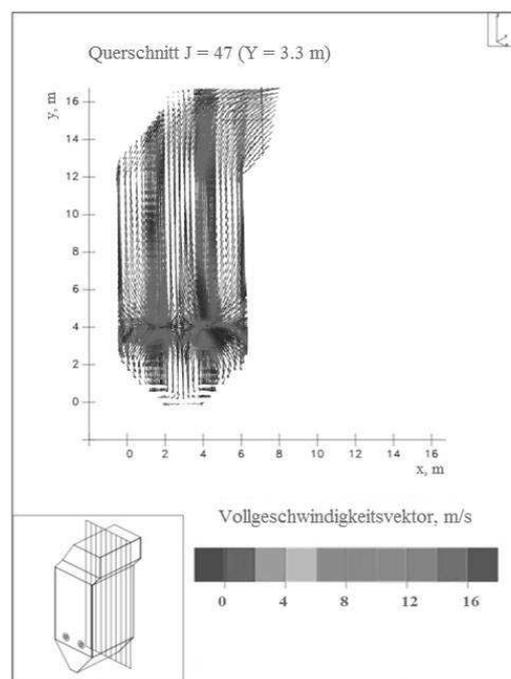


Abbildung 6 – Geschwindigkeitsverteilung in der Mitte des Querschnitts

Auf den Abbildungen 6 sind die Vektorverteilungen der Gesamtgeschwindigkeit entlang der Höhe Kessels abgebildet. Die Abbildung 6 zeigt außerdem die minimale, maximale und die durchschnittliche Werte. Auf der Höhe von 4 Metern erreicht der Vektor seine Maximalgeschwindigkeit (20 m/s). Genau an dieser Stelle sind Anzünder für Brennmischung angebracht.

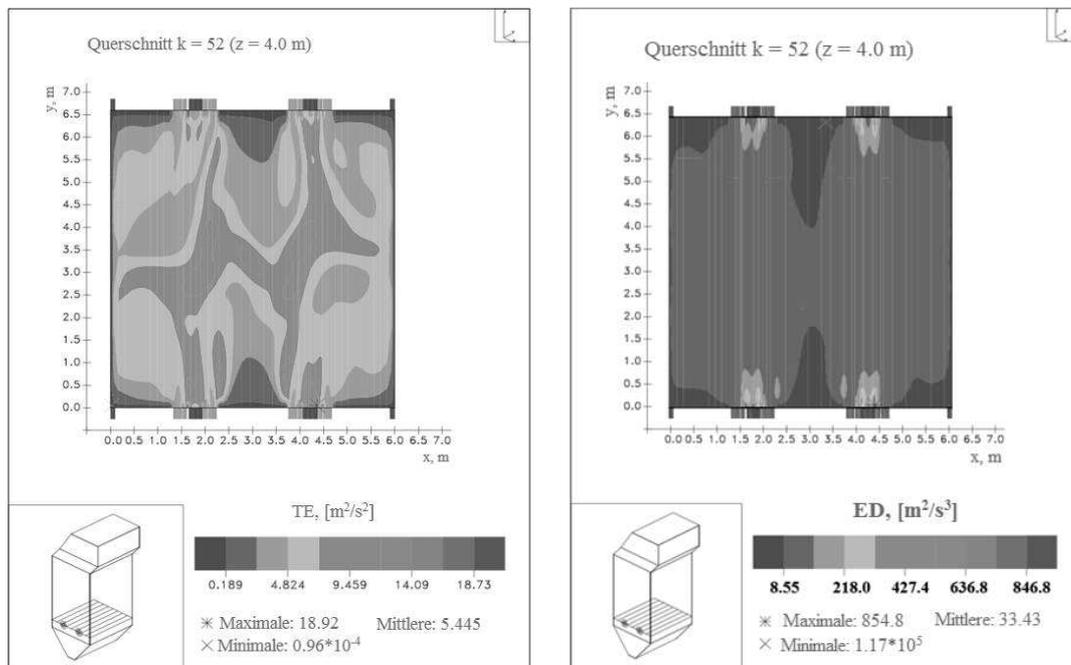


Abbildung 7 – Verteilungscharakteristiken der Turbulenzen, ein Querschnitt (z = 4m): a) Kinetische Energie der Turbulenzen; b) Verlustleistungsenergie

Die auf den Abbildungen 3 bis 6 modellierte aerodynamische Bild reflektiert vollkommen die Verhaltenscharakteristiken der Brennmischung in dem realen Kessel.

Fazit

Die aus dem Rechenexperiment resultierenden Angaben, reflektieren den realen Ablauf des Wärmeaustausches im Kessel der untersuchten Dampfkraftanlage. Die Daten zeigen eine rasante Veränderung Stromdynamik in der Mitte des Kessels, was in der Entstehung eines Wirbelmusters resultiert. Diese Wirbel besitzen einen sukzessiv abnehmenden Charakter, je mehr sie sich dem Ausgang nähern:

1. Wir können entlang des Brennweges der Brennmischung eine monoton abnehmende Geschwindigkeit feststellen, bis auf Ausnahme die Wendekamera des Kessels, wo sich die Geometrie des Raumes (z=12,6 m) auf die Geschwindigkeit auswirkt und der Strom sich drehen muss. In diesem Bereich entsteht ein zusätzlicher Wirbel (Abbildung 5, a), wodurch sich auch die Geschwindigkeit verändert.

2. Im Bereich der Anzünder spielen sich die meisten chemischen Prozesse ab. Diese Stelle zeichnet sich mit einer erhöhten Impulsdichte und

Geschwindigkeitsveränderung der Wirbelströmungen aus. Auch die Oxidierungsgeschwindigkeit der Brennstoffkomponente finden hier statt.

Die gewonnenen Einblicke bezeugen die Komplexität der sich abspielenden Prozesse des Wärmeaustausches in einer Brennzelle eines Kessels dieses Kalibers. Die Analyse erzeugter Daten zeigt vor allem, dass die Untersuchungen solcher aerodynamischen Prozesse nur durch die Methode der 3D Modellierung und eines begleitendes Rechenexperimentes möglich ist.

References:

1. Askarova A.S., Safarik P., Beketayeva M., Bolegenova S.A., Maksimov V.Yu. Numerical Modeling of Pulverized Coal Combustion at Thermal Power Plant Boilers // Journal of Thermal Science, 2015. Vol. 24, Issue 3. P.275-282.

2. Askarova A.S., Bolegenova S.A., Messerle V.E., Ustimenko A.B., Maksimov V.Yu. Numerical Simulation of the Coal Combustion Process Initiated by a Plasma Source // Journal of Thermophysics and Aeromechanics, 2014, Vol. 21, Issue 6, P.747-754.

3. Bolegenova S.A., Askarova A.S., Messerle V.E., Maksimov V.Yu., Gabitova Z. Numerical simulation of pulverized coal combustion in a power boiler furnace // Journal of High Temperature, 2015. – Vol.53, Issue 3. – P.445-452.

4. Bolegenova S.A., Askarova A.S., Maksimov V.Yu., Beketayeva M., Bekmuhamet A., Gabitova Z. Computational method for investigation of solid fuel combustion in combustion chambers of a heat power plant // Journal of High Temperature, 2015. – Vol.53, Issue 5. – P. 751-757.

5. Messerle V., Askarova A.S., Lavrishcheva Ye.I., Karpenko E.I., Ustimenko A.B. Plasma-supported coal combustion in boiler furnace // IEEE Transactions on Plasma Science. – Vol. 35, Issue 6, 2007. – P.1607-1616.

© A. Askarova, S. Bolegenova,
V. Maximov, A. Saginaeva, 2016