
Eindimensionale Berechnung instationärer Ringspaltströmungen mit thermofluiddynamischer Betrachtung

One-dimensional Calculation of Unsteady Annular Channel Flows with Consideration of Thermofluid Phenomena

Von der Fakultät für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Ingenieurwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Enrico Gaspare Pasquini

Berichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hubertus Murrenhoff
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Katharina Schmitz

Tag der mündlichen Prüfung: 19.06.2020

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird ein Verfahren vorgestellt, welches die Berechnung von instationären Strömungen durch konzentrische Ringspalte im Rahmen einer eindimensionalen Systemsimulation ermöglicht. Das Rechenmodell zeichnet sich dadurch aus, dass trotz des eindimensionalen Ansatzes auch bei stark instationären Strömungen Berechnungsergebnisse von vergleichbarer Qualität wie bei einer mehrdimensionalen Strömungssimulation erzielt werden können.

Die hohe Ergebnisgüte wird erreicht, indem das von ZIELKE für die Kreisrohrströmung entwickelte Berechnungsverfahren zur Berücksichtigung von instationären Druckverlusten auf die Strömungsverhältnisse im Ringspalt übertragen wird. Aufgrund des numerisch ungünstigen Verhaltens der exakten Lösung wird eine einfacher zu handhabende Näherungsgleichung auf Grundlage der ebenen Spaltströmung konstruiert. Zur ressourcensparenden Auswertung der zur Berechnung des Druckverlusts benötigten Faltungsintegrale kommt das von TRIKHA entwickelte und durch SCHOHL verbesserte Rekursionsverfahren zum Einsatz.

Das vorgestellte Rechenmodell bietet durch Berücksichtigung der Energiegleichung darüber hinaus die Möglichkeit, auch thermofluiddynamische Effekte bei der Leitungssimulation abzubilden. Dabei wird neben dem Wärmeübergang zwischen Fluid und Rohr- oder Zylinderwand auch die reibungsbedingte Erwärmung erfasst, sodass mit dem Rechenmodell z. B. temperaturbedingte Änderungen der Viskosität und damit des Durchflusswiderstands analysiert werden können.

Zur numerischen Lösung des entwickelten Differentialgleichungssystems wird im Zeitbereich auf die bewährte Kombination aus dem Charakteristikenverfahren und einem Finite-Differenzen-Schema zurückgegriffen. Um die Ringspaltströmung bei Spezialfällen auch im Frequenzbereich untersuchen zu können, wird eine entsprechende Übertragungsmatrix hergeleitet.

Die Validierung des in die Simulationsumgebung *DSHplus*[®] implementierten Rechenverfahrens erfolgt durch Gegenüberstellung mit experimentellen Befunden und CFD-Simulationsergebnissen.

Abstract

This thesis presents a method for the one-dimensional numerical simulation of transient flows through concentric annular channels. Despite the one-dimensional approach, the computational model is capable of producing results of comparable quality like multidimensional CFD simulation even for highly transient flows.

The high quality of the results is achieved by adapting the ZIELKE method for calculating transient pressure drops in flow through circular pipes to the conditions present in annular channels. Due to the numerically unfavorable behavior of the exact solution, an easier to handle approximation equation is developed based on the similarity to flows through plane channels. In order to enable a resource-saving evaluation of the convolution integrals required to calculate the pressure loss, the recursive method of TRIKHA with the improvement by SCHOHL is employed.

By taking the energy equation into account, the presented model also offers the possibility to include thermofluiddynamic effects during a simulation. In addition to the heat transfer between fluid and pipe or cylinder wall, the friction-related dissipative heating is also considered, so that temperature-related changes in viscosity and thus in flow resistance can be analysed.

For the numerical solution of the developed differential equation system, the tried and tested combination of the characteristic method and a finite-difference scheme is used in the time domain. In order to be able to investigate special cases of annular channel flow also in the frequency domain, the respective transfer matrix is derived.

The numerical scheme is implemented into the fluid power simulation environment *DSHplus*[®] and validated by comparison with experimental findings and CFD simulation results.