



Fluid- und Feststofftransport in Rohrsystemen und Pumpstationen

Fluid and slurry flow in pipe systems and pumping stations

Von der Fakultät Bauingenieurwesen
Der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte

DISSERTATION

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Bashar Ismael
geboren am 11. März 1984 in Latakia (Syrien)

Gutachter:
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stamm
Prof. Dr.-Ing. habil. Hartmut Eckstädt
Prof. Dr. Peter Krebs

eingereicht am: 29. Oktober 2019
verteidigt am: 11. Mai 2020

Kurzfassung

Fluid- und Feststofftransport in Rohrsystemen und Pumpstationen

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Thematik des hydraulischen Feststofftransports in Druckrohrleitungen zur Bestimmung der hydraulischen Energieverluste des Wasser-Feststoff-Gemisches und der wirtschaftlichen Gemischgeschwindigkeit (der s. g. kritischen Geschwindigkeit).

Zu diesem Zweck wurde der Feststoff-Transport-Prozess in Rohrleitungen mithilfe von zwei im Hubert-Engels-Labor des Instituts für Wasserbau und Technische Hydromechanik der Technischen Universität Dresden aufgebauten Modellen untersucht. Die Untersuchungen fanden sowohl in horizontaler als auch in $\pm 15^\circ$ geneigten Leitungen statt. Die Rohrleitung wies einen Durchmesser von 100 mm auf.

Als Feststoff kamen hauptsächlich zwei Sandfraktionen zum Einsatz (0,71 - 1,25 mm und 1,4 - 2,2 mm) und zum Teil auch eine feinere Sandfraktion (0,1 - 0,5 mm) mit einer Partikeldichte von 2650 kg/m^3 . Dabei wurden Transportkonzentrationen bis maximal 5 % erreicht.

Ziel der Untersuchungen war, mithilfe der Messdaten eine Formel zur Berechnung des Verlustanteils der dispersen Phase an dem gesamten Energieverlust besonders für das heterogene und das quasi-homogene Transportregime in Abhängigkeit von den Einflussgrößen (Dichte, Konzentration, Partikeldurchmesser etc.) abzuleiten.

Ein weiterer Schwerpunkt der Arbeit war, die kritische Gemischgeschwindigkeit genauer zu betrachten und einen entsprechenden Rechenansatz aufzustellen. Diese Geschwindigkeit stellt den Übergang von dem Transport mit beweglicher Sohle zum heterogenen Feststofftransport dar und ist für den stabilen und wirtschaftlichen Betrieb der Rohrleitung von besonderer Relevanz.

Nach Abschluss der physikalischen Versuche erfolgte die Auswertung der Messdaten, so dass zunächst ein Verlustdiagramm für jede Rohrstrecke und jede Sandfraktion erstellt wurde. Im Anschluss wurden die Messergebnisse mit den Ansätzen bekannter Autoren nachgerechnet und verglichen.

In einem weiteren Schritt erfolgte eine Ableitung von Rechenansätzen sowohl für den Energieverlust als auch für die Kritische Gemischgeschwindigkeit.

Des Weiteren wurde der Feststofftransport mit der Software ANSYS-Fluent numerisch untersucht. Im Fokus der Modellierung stand die Festsetzung der Wandrandbedingung für die disperse Phase, mit Hilfen derer die physikalisch gemessenen Energieverluste des Wasser-Feststoff-Gemisches erreicht werden konnten. Die Simulationen wurden mit dem Euler-Granular-Modell durchgeführt. Hierbei wird der Feststoff als zweites Kontinuum betrachtet und seine rheologischen Eigenschaften wurden durch die Erweiterung der kinetischen Theorie der Gase auf die disperse Phase (eng. kinetic theory of granular flow KTGF) berechnet.

Um sicherzustellen, dass die Ergebnisse des numerischen Modells realitätsnah sind, war es unerlässlich, das Modell anhand der in der Literatur vorhandenen Experimente zu validieren. Es wurden daher experimentelle Versuche sowohl in horizontaler als auch in geneigter und vertikaler Rohrleitung ausgewählt und numerisch mit dem Euler-Granular-Modell modelliert und die Ergebnisse anschließend verglichen.

Die numerische Berechnung einer partikelbeladenen Strömung mit dem angewendeten zwei-Fluid-Modell (TFM) hat sich als effiziente Methode zur Nachbildung der realen Strömungsgrößen für alle möglichen vorkommenden Feststoffkonzentrationen bewährt und liefert gute bis sehr gute Übereinstimmung mit den Messergebnissen.

Abstract

Fluid and slurry flow in pipe systems and pumping stations

The present work deals with the hydraulic transport characteristics of sand-water mixtures in pipelines to determine the head loss and the deposition-limit velocity of the mixture (critical velocity).

For this purpose, the slurry transport process was investigated on tow physical models at the Hubert Engels Laboratory of the Institute of Hydraulic Engineering and Technical Hydromechanics of the Technical University of Dresden. The investigations were carried out in various pipe configurations (horizontal, $\pm 15^\circ$ inclined) with a pipe of diameter 100 mm.

Three sand fractions were used (0.1 - 0.5 mm, 0.71 - 1.25 mm and 1.4 - 2.2 mm) with particles density of $\rho_F = 2650 \text{ kg/m}^3$ and Transport concentrations of up to 5% were reached.

The aim of the investigations was to develop a model for calculating the head loss percentage of the disperse phase in terms of total head loss, especially for the heterogeneous and quasi-homogeneous transport regime correlating to the influence quantities (density, concentration, particle diameter, etc.).

Another important aspect for this work was to consider the critical velocity and to set up a corresponding calculation approach for this parameter. The deposition-limit velocity represents the transition from sliding Bed transport to heterogeneous transport and it is of particular relevance for the stable and economical operation of the slurry pipeline.

After completing the physical tests, the measurement data was evaluated, so that a head loss diagram was first created for each pipe section and each sand fraction. The measurement results were then recalculated and compared with the approaches of well-known authors. In a further step, calculation approaches were derived for both the head loss and the critical mixture velocity.

In the next step, the slurry conveying process was investigated numerical with ANSYS-Fluent. The focus of the modeling was the determination of the wall boundary condition for the disperse phase, with help of which the physically measured head losses could be restored. The simulations were performed with the Euler Granular model. Here, the solid phase is considered to be the second continuum, and its rheological properties were calculated by expanding the kinetic theory of gases to disperse phase (KTGF).

In order to ensure that the results of the numerical model are realistic, it was essential to validate the model based on the experiments available in the literature. Experimental tests in horizontal as well as inclined and vertical pipelines were therefore selected and numerically modeled with the Euler granular model and the results were then compared.

The numerical calculation of a slurry flow with the applied two-fluid model (TFM) has proven to be an efficient method for simulating the real flow quantities for all possible solid concentrations and provides good to very good agreement with the measurement results.