

CONTRIBUTIONS CONCERNING THE IMPROVEMENT OF THE GAS TRANSPORTATION SYSTEM

Natural gas is an important energy resource. The natural gas is extracted from fields, using gas wells. It contains a quantity of water that originates in the water reservoir:

- in gas fields in which rocks have an irreducible water saturation, the gas is saturated at that pressure with water vapor.
- in deposits with active aquifer, the water is mobile and part of it is driven by the gas extracted.

According to current regulations, the natural gas introduced into the transportation system has a limitation of the amount of moisture. The reduction in gas moisture value is carried out in drying plants, before they are placed into the transportation system.

In all natural gas fields there is a saturation in water. Thus, the gas is saturated with water vapor under the applied pressure and temperature of the reservoir. On the other hand, during the movement of gas to the wells, the mobile water reservoir is driven in the gas flow and produced with it.

Therefore, the gas extracted from the deposits also contains varying fractions of water, both in liquid and vapor state.

The water contained by the natural gas transported by pressure, temperature and composition may be in the form of vapor or condensed form in liquid phase. If the water contained by the gas is in liquid form, it may cause problems in the transport of gas, the gas transport pipes are located on the ground and pass through various forms of relief which, from the point of view of the altitude, determine a profile for each pipe.

Water flow in the liquid phase is released from the gas flow, moving to higher speeds. Liquid phase in the pipe with a high density from the gas is strongly influenced by gravity, which leads to accumulations of water in low-lying areas, accumulations that create bottlenecks or plugs on pipes, affecting the gas flow.

One of the main issues covered and resolved in this paper is the clear definition of the phase behavior of the wet gas. Natural wet gas forms a complex thermodynamic system falling under real gas mixtures.

Water is the component intended, but mixed with natural gas, the phase behavior differs from the behavior of pure element. When discussing wet gas with liquid phase, it is actually an aqueous solution that contains hydrocarbons. At the same time, not all the water is in liquid phase, a small part remains as a vapor.

Phase behavior of natural wet gas phase is a complex issue that can be known based on the phase envelope, which is based on humidity, gas composition, pressure and temperature.

The paper is structured into: introduction, 5 chapters, conclusions and personal contributions, appendices and bibliography.

Chapter 1 presents the result of a bibliographic research on empirical correlations. Although the results obtained for the estimation of the water vapor amount in natural gas with thermodynamic models have good results, the degree of difficulty and the calculation time introduce an obstacle in use.

The main advantage of empirical and graphical correlations is the availability of input data and the simplicity of calculations. Moreover, they have quite good results. The paper presents a series of graphical correlations (McKetta and Webe, Katz, Maddox, Campbell, Robinson, Gordon Wichert) and empirical (Ideal Model, Biukachek, Bukacek, Sloan, Kazim, Ning) and also a new empirical model for estimating the water content of natural gas.

Data from the specialty literature are used to demonstrate the validity and accuracy of the water content estimate of natural gas and also for different natural gas mixtures containing different amounts of acidic gases. Four cases of gas mixtures have been studied in this paper. These mixtures are: natural corrosive gas, natural gas containing CO₂, natural gas containing H₂S, natural gas containing both CO₂ and H₂S.

Chapter 2 deals with the phase equilibrium for natural wet gas. For pure substances, as the components that make up natural gas, the phase change from liquid to vapor or vice versa is carried out in compliance with the law of Gibbs. Gas transported by the Romanian transport system falls within real gas mixtures. For the case where the wet gas has liquid phase, the two phases - liquid and gas - which may be present at the same time, have different compositions. Typical for biphasic mixture of gas is the fact that a composition is defined for each phase.

For natural dry gas (in terms of chromatographic analysis), vapor liquid equilibrium diagram is called the phase envelope. Information in this area is very important for the carrier as it allows establishing the state of the water in the gas carried. Depending on the humidity, pressure and local temperature (in the pipeline), we can determine whether the water is in liquid or vapor state.

In order to analyze the phase behavior of water in the natural gas, we shall take as a reference the dew points curve corresponding to measured natural gas humidity. If the point position that characterizes the gas state is above the dew point curve, then the natural gas water is liquid, if the point is below the dew point curve, the water is in vapor form.

Chapter 3 shapes the phase behavior of the natural gas. This phase behavior is determined punctually. To perform this analysis on a pipe, we need to know the variation in the parameters over the whole length of the pipe. Since the gas composition is determined by chromatographic analysis that is carried on only dry gas, humidity must be added and the composition of wet gas must be recalculated.

In order to define the phase behavior of the water which is the moisture of gas, phase envelopes of natural wet gas have been processed from 0.01% humidity to 2% mole fraction of water in the gas.

Phase envelopes were analyzed and processed in the field of interest for the Romanian transport system, meaning 2-60 bar pressure and temperature (-30) - (+30) ° C. Based on them, a complex function allowing to continuously define the phase behavior was achieved.

Determination of the phase behavior of gas humidity aims to highlight the points in the transportation system in which the water is liquid. Given the pipeline fittings, the water will accumulate in low areas.

In Chapter 4 there is a careful analysis on the influence of natural gas composition on the phase equilibrium. Phase equilibrium was analyzed for four different compositions. To each of them, water was added from 0.01% to 5% (molar composition). Based on the resulted analysis of phase equilibrium, correlations between the composition characterized by molecular weight and dew point parameters of the mixture have been determined.

Chapter 5 extends the analysis of phase equilibrium to the whole pipeline. Along a pipeline, gas pressure and temperature values change, which affects its phase behavior of gas humidity. Even if the absolute humidity value remains constant, the phase behavior is influenced by the pressure and temperature of the gas.

Knowing the phase behavior over the pipe enables us to find the areas in which water is liquid and the areas where this is vapor.

The paper presents a model of the phase behavior of gas moisture on transport pipes, based on Simone simulator. The simulator must consider the variation of the gas pressure depending on the pipe profile, since the introduction of altitude causes significant changes in pressure along the pipeline that can influence the phase behavior of moisture.

For this simulation we used a non-isothermal flow model, in which soil temperature is constant and gas temperature varies depending on local energy changes.

To analyze a more realistic situation, we created a model where soil temperature is constant and the gas temperature is variable. Variation of gas temperature in this case is due to heat exchange with the soil and the gas enthalpy change depending on kinetic energy variation.

From the examples given, we may notice that small changes in pressure and temperature strongly influence the phase behavior of moisture.

Gas moisture adversely affects the transportation process when water vapor condenses and creates the danger of accumulation in the pipes. The most effective method consists in drying the gas in order to maintain the low humidity value so that the gas water maintains in vapor. The pressure drop reduces the risk of water vapor condensation, but this reduces the transport capacity of the system.

During the summer, when soil temperatures are higher, higher moisture gas can be carried, during the winter when temperatures drop, gas moisture must be limited to prevent condensation and the appearance of liquid water.

CONTRIBUTII PRIVIND IMBUNATATIREA SISTEMULUI DE TRANSPORT AL GAZELOR

Gazele naturale reprezintă o resursă energetică importantă. Acestea se extrag din zăcăminte cu ajutorul sondelor de gaze. Gazele naturale conțin o cantitate de apă ce își are originea în apa de zăcământ:

- în zăcămintele de gaze în care rocile au o saturație ireductibilă în apă, gazele sunt saturate la presiunea respectivă cu vapori de apă.
- în zăcămintele care au acvifer activ, apa este mobilă și o parte din ea este antrenată de gazele extrase.

Conform normelor în vigoare gazele naturale introduse în sistemul de transport au o limitare a valorii umidității. Reducerea valorii umidității gazelor se realizează în stațiile de uscare, înainte ca acestea să fie introduse în sistemul de transport.

În toate zăcămintele de gaze naturale există și o saturație în apă. Astfel, gazele sunt saturate cu vapori de apă în condițiile de presiune și temperatură din zăcământ. Pe de altă parte, în timpul mișcării gazelor spre sonde, apa de zăcământ mobilă este antrenată în curentul de gaze și produsă odată cu aceasta.

Ca urmare, gazele extrase din zăcăminte conțin și fracții variabile de apă, aflată atât în stare lichidă, cât și în stare de vapori.

Apa conținută de gazele naturale transportate în funcție de presiune, temperatură și compoziția acestora poate fi sub formă de vapori sau sub formă condensată în fază lichidă. Dacă apa conținută de gaze este în fază lichidă aceasta poate crea probleme în procesul de transport, conductele de transport gaze sunt amplasate pe sol și străbat diverse forme de relief lucru care determină din punct de vedere al altitudinii un profil pentru fiecare conductă.

Curgerea apei în fază lichidă se decuplează de curgerea gazelor, care se deplasează cu viteze mai mari. Faza lichidă din conductă având o densitate mare față de gaze este influențată puternic de gravitație fapt ce conduce la acumulări de apă în zonele joase, acumulări care creează și angustări sau dopuri pe conducte care afectează procesul de curgere a gazelor.

Una din principalele probleme abordate și rezolvate în această lucrare este definirea clară a comportamentului de fază al gazelor umede. Gazele naturale umede formează un sistem termodinamic complex care se încadrează la amestecuri de gaze reale.

Apa este componentul urmărit, dar în amestec cu gazele naturale comportarea de fază diferă de comportarea elementului pur. Când discutăm de gaze umede cu fază lichidă, aceasta este de fapt o soluție apoasă care conține și hidrocarburi. În același timp nu toată apa este în fază lichidă o mică parte rămâne sub formă de vapori.

Comportarea de fază a gazelor naturale umede este o problemă complexă, ce poate fi

cunoscută pe baza anvelopei de fază care este în funcție de umiditate, compoziția gazelor presiunea și temperatura acestora.

Lucrarea este structurată în: introducere, 5 capitole, concluzii și contribuții personale, anexe și bibliografie.

În capitolul 1 este prezentat rezultatul unei cercetări bibliografice referitoare la corelații empirice. Deși rezultatele obținute pentru estimarea cantității vaporilor de apă în gaze naturale cu modele termodinamice dau rezultate bune, gradul de dificultate și timpul de calcul introduc o piedică în folosirea lor.

Principalul avantaj al corelațiilor empirice și corelațiilor grafice este disponibilitatea datelor de intrare și simplitatea calculelor. Mai mult, ele dau rezultate destul de bune. În cadrul lucrării sunt prezentate o serie de corelații grafice (McKetta și Webe, Katz, Maddox, Campbell, Robinson, Gordon și Wichert) și empirice (Modelul ideal, Biukachek, Bukacek, Sloan, Kazim, Ning) cât și un model empiric nou pentru estimarea conținutului de apă din gazele naturale.

Datele din literatura de specialitate sunt folosite pentru a demonstra validitatea și corectitudinea estimării conținutului de apă al gazelor naturale și pentru diferite amestecuri de gaze naturale care conțin cantități diferite de gaze acide. Patru cazuri de amestecuri de gaze au fost studiate în această lucrare. Aceste amestecuri sunt: gaz natural necoroziv, gaz natural cu conținut de CO_2 , gaz natural cu conținut de H_2S , gaz natural care conține atât CO_2 cât și H_2S .

Capitolul 2 tratează echilibrul de fază pentru gazele naturale umede. Pentru substanțele pure, cum sunt și componentii care alcătuiesc gazele naturale schimbarea de fază de la lichid la vapori sau invers se face respectând legea lui Gibbs. Gazele transportate prin sistemul de transport românesc se încadrează la amestecuri de gaze reale. Pentru situația când gazele umede au fază lichidă cele două faze, lichid și gaz care pot exista în același timp au compoziții diferite. Caracteristic amestecurilor bifazice de gaze este faptul că, pentru fiecare fază se definește o compoziție.

Pentru gazele naturale uscate (în condițiile analizei cromatografice) diagrama de echilibru lichid vapori poartă denumirea de anvelopă de fază. Informațiile din această zonă sunt foarte importante pentru transportator deoarece permite stabilirea stării de agregare a apei din gazele transportate. În funcție de umiditate, presiune și temperatura locală (din conductă) se poate stabili dacă apa este în fază lichidă sau vapori.

Pentru a putea analiza comportamentul de fază al apei din gazele naturale vom lua ca referință curba punctelor de rouă corespunzătoare umidității măsurate a gazelor naturale. Dacă poziția punctului ce caracterizează starea gazelor este deasupra curbei punctelor de rouă atunci apa din gazele naturale este în stare lichidă, dacă punctul se află sub curba punctelor de rouă apa este sub formă de vapori.

Capitolul 3 modelează comportamentul de fază al gazelor naturale. Acest comportament de fază se determină punctual. Pentru a realiza această analiză pe o conductă trebuie să se cunoască variația parametrilor pe întreaga lungime a conductei. Deoarece compoziția gazelor se determină prin analiză cromatografică care se face numai pentru gazele uscate, la acestea trebuie adăugată umiditatea și recalculată compoziția gazelor umede.

Pentru a putea defini comportamentul de fază al apei ce reprezintă umiditatea gazelor s-au prelucrat anvelopele de fază ale gazelor naturale umede începând cu 0.01% umiditate până la 2% fracție molară a apei în gaze.

Anvelopele de fază au fost analizate și prelucrate în domeniul de interes pentru sistemul de transport românesc adică presiunea 2-60 bar și temperatura (-30)-(+30)°C. Pe baza lor s-a realizat o funcție complexă care permite definirea comportamentului de fază în mod continuu.

Determinarea comportamentului de fază al umidității gazelor urmărește să evidențieze punctele din sistemul de transport în care apa este în stare lichidă. Având în vedere profilul conductelor, apa se va acumula în zonele joase.

În capitolul 4 este făcută o analiză riguroasă privind influența compoziției gazelor naturale asupra echilibrului de fază. S-a analizat echilibrul de fază pentru patru compoziții diferite. La fiecare din acestea s-a adăugat apă de la 0.01% până la 5% (compoziție molară). Pe baza analizei rezultate din echilibrul de fază s-au construit corelații între compoziția caracterizată prin masa moleculară și parametrii punctului de rouă al amestecului.

Capitolul 5 extinde analiza privind echilibrul de fază la întreaga conductă de transport. În lungul unei conducte valorile presiunii gazelor și a temperaturii acestuia se modifică fapt ce afectează comportamentul de fază al umidității gazelor. Chiar dacă valoarea umidității absolute rămâne constantă comportamentul de fază este influențat de presiunea și temperatura gazului.

Cunoașterea comportamentului de fază în lungul conductei ne permite să descoperim zonele în care apa este în fază lichidă și zonele când aceasta este în stare de vapori.

În lucrare este prezentat un model al comportării de fază al umidității gazelor pe conductele de transport bazat pe simulatorul Simone. Simulatorul trebuie să ia în considerare variația presiunii gazului în funcție de profilul conductei, deoarece introducerea altitudinii determină modificări importante ale presiunii în lungul conductei ce pot influența comportamentul de fază al umidității.

Pentru această simulare s-a utilizat un model neizoterm de curgere în care temperatura solului este constantă iar temperatura gazului variază în funcție de modificările energetice locale.

Pentru a analiza o situație mai apropiată de realitate s-a creat un model în care

temperatura solului este constantă iar temperatura gazului este variabilă. Variația temperaturii gazului în această situație se datorează schimbului de căldură cu solul și variației entalpiei gazului în funcție de variația energiei cinetice.

Din exemplele prezentate se observă că variațiile mici ale presiunii și ale temperaturii influențează puternic comportamentul de fază al umidității.

Umiditatea gazelor influențează negativ procesul de transport atunci când vaporii de apă condensează și creează pericolul de acumulare în conducte. Cea mai eficientă metodă constă în uscarea gazelor în vederea menținerii la valori scăzute a umidității astfel încât apa din gaze să se mențină în stare de vapori. Scăderea presiunii reduce riscul de condensare a vaporilor de apă, dar acest lucru reduce și capacitatea de transport a sistemului.

În perioada verii când temperaturile solului sunt mai ridicate se pot transporta gaze cu umiditate mai mare, iarna când temperaturile scad trebuie limitată umiditatea gazelor pentru a împiedica fenomenul de condens și apariția apei în fază lichidă.