

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ СИСТЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ

ALGORITHM FOR THE CALCULATION OF ENERGY EFFICIENCY INDICATORS OF MAINTAINING RESERVOIR PRESSURE SYSTEM EQUIPMENT

Л. Р. Байкова
Lyalya R. Baykova

Уфимский государственный
нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Н. А. Гаррис
Nina A. Garris

Уфимский государственный
нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Реализация мероприятий по энергосбережению невозможна без достоверной оценки показателей энергетической эффективности при эксплуатации всего комплекса технологического оборудования и его отдельных объектов. В статье предлагается алгоритм расчета этих показателей применительно к системам поддержания пластового давления (ППД) на объектах нефтедобычи. К наиболее энергоемкому оборудованию систем ППД относятся насосные агрегаты различного назначения: высоконапорные насосы для закачки воды в пласт, подпорные низконапорные насосы, погружные электроцентробежные насосы водозаборных скважин для ППД и другие, что зависит от конкретной технологической схемы. В работе рассматриваются факторы, влияющие на формирование показателей энергоэффективности, а также приведены параметры, необходимые для расчета, с учетом ограничений по первичным исходным данным и периодичности их сбора.

Разработанный алгоритм определяет методику расчета таких значимых показателей, как фактическая и нормативная потребляемая мощность, фактический и нормативный удельный расход электроэнергии по отдельному насосу агрегату и всему насосу блоку, фактический КПД насосного агрегата и насосного блока, и, как следствие, текущую энергоэффективность насосного агрегата и насосного блока в целом.

Предлагаемый алгоритм имеет возможность внедрения в информационно-аналитическую программу для автоматизации процесса расчета с требуемой периодичностью и выдачей расчетных данных для формирования аналитической информации и планирования дальнейших действий по принятию мер повышения эффективности.

Implementation of energy saving measures is impossible without reliable assessment of energy efficiency indicators of operating process equipment of the entire complex and its facilities. The article proposes an algorithm for calculating these indicators in relation to reservoir pressure maintenance systems (PMS) at oil production facilities. The most energy consuming equipment of PMS systems are pumping units for various purposes: high-pressure pumps for pumping water into the reservoir, low-pressure back-up pumps, submersible electric centrifugal pumps for water extraction wells for PMS, and others, depending on the particular process scheme. The paper considers the factors influencing the formation of energy efficiency indicators, as well as the parameters necessary for the calculation, taking into account the limitations of the primary source data and the frequency of their collection. The developed algorithm determines the methodology for calculating such significant indicators as actual and normative power consumption, actual and normative specific power consumption for a separate pumping unit and the entire pump block, the actual efficiency of the pumping unit and the pump block, and, as a consequence, the current energy efficiency of the pump unit and the pump block as a whole.

The proposed algorithm can be implemented in an information and analytical program to automate the calculation process with the required periodicity and issue calculated data for the formation of analytical information and plan further actions to take measures to improve efficiency.

Ключевые слова

показатели энергоэффективности, системы поддержания пластового давления, насосный агрегат, нормативный и фактический удельный расход электроэнергии, нормативная и фактическая мощность, коэффициент полезного действия

Key words

energy efficiency indicators, systems of reservoir pressure maintenance, pump aggregate, normative and actual consumed power, normative and actual specific energy consumption, efficiency

Ресурсосбережение и повышение энергоэффективности является в настоящее время одной из самых актуальных и серьезных задач как для всего энергетического комплекса, так и для его отдельных отраслей и предприятий [1, 2].

Для достоверной оценки энергоэффективности и дальнейшей реализации мер по энергосбережению очень важной является разработка практической методики расчета показателей энергоэффективности. Рассмотрим вопрос определения алгоритма расчета этих показателей для объектов систем поддержания пластового давления (ППД) на объектах нефтедобычи на основании данных из систем АСУ ТП, систем учета электроэнергии и паспортных данных оборудования.

Согласно [3, 4], показателем энергетической эффективности называется абсолютная, удельная или относительная величина потребления или потерь энергоресурсов для технологического процесса. Применительно к процессам нефтедобычи, показателями энергоэффективности является удельное энергопотребление и фактический КПД насосного оборудования как наиболее энергоемкого. Причем для достоверной оценки энергоэффективности необходимо сопоставление номинального и фактического энергопотребления.

К параметрам, влияющим на формирование этих показателей, применительно к объектам ППД следует отнести:

- давления на входе и выходе насосов;
- периодичность их работы;
- плотность закачиваемого агента (воды);
- номинальные параметры и характеристики насосного оборудования (напор, подача, КПД);
- КПД электродвигателя;
- объемы закачки воды по насосным агрегатам, насосным блокам и объектам;
- снижение КПД насосов за счет износа;
- погрешность измерительных приборов.

Кроме того, на определение показателей энергоэффективности оказывают существенное влияние следующие факторы:

- схемы соединения насосных агрегатов, что обуславливает определение расхода и напора в насосном блоке, а также суммарного КПД насосного блока. В системах ППД используются высоконапорные насосы с относительно небольшой подачей, поэтому, как правило, применяется параллельная схема соединения насосных агрегатов;

- завод-изготовитель насосного оборудования (паспортные характеристики КПД даже одной и той же марки насоса разных изготовителей могут, как показывает практика, отличаться на 2–3 %);

- износ оборудования;
- использование дросселирования (штуцера) после насосного блока, т. к. потери напора на штуцере приводят к увеличению энергопотребления;

- режим работы насоса (отклонение от номинального режима) [5];

- потери напора в технологических трубопроводах;

- регулирование режима работы обточкой рабочих колес насосов (приводит к изменению действительной характеристики насоса относительно паспортной).

Объекты систем ППД представляют собой сложные технологические комплексы, включающие высоконапорные насосы для закачки воды в пласт, подпорные низконапорные насосы, погружные электроцентробежные насосы водозаборных скважин для ППД, высоконапорные установки типа ЭЦН, работающие в схеме «тандем» (закачка из скважины в скважину) [6, 7]. Несмотря на разницу в назначении и режимах эксплуатации объектов ППД, их основным энергос затратным оборудованием являются центробежные насосы различных типоразмеров. Классификационное сходство агрегатов определяет тот факт, что требуемые показатели рассчитываются аналогичным образом для различных видов центробежных нагнетателей. Это, в свою очередь, позволяет разработать единый алгоритм определения энергетической эффективности их работы.

Рассмотрим возможную последовательность определения требуемых параметров для *i*-го насосного агрегата, работающего в блоке, и всего блока насосных агрегатов.

Целью разработки методики является определение следующих показателей:

- фактической потребляемой мощности и фактического удельного расхода электро-энергии на перекачку рабочего агента по отдельному насосному агрегату и насосному блоку;

- нормативной потребляемой мощности и нормативного удельного расхода электроэнергии на перекачку рабочего агента по отдельному насосному агрегату и насосному блоку;

- фактического КПД насосного агрегата и насосного блока;

— текущей энергоэффективности насосно-агрегата и насосного блока.

Наиболее приемлемым вариантом расчета фактически потребляемой насосным агрегатом мощности является ее определение через фактически потребляемую электроэнергию по показаниям счетчиков для каждого агрегата:

$$N_{i\phi} = \frac{W_{i\phi}}{\tau_i}, \text{ кВт}, \quad (1)$$

где $W_{i\phi}$ — фактическая потребленная электроэнергия i -го насосного агрегата за время τ_i , кВт·ч;

τ_i — время наработки i -го агрегата, ч.

Оценка фактического удельного расхода электроэнергии производится по отношению электроэнергии, фактически потребленной насосным агрегатом, к объёму закачанной воды:

$$\omega_{i\phi} = \frac{W_{i\phi}}{V_{i\phi}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3, \quad (2)$$

где $V_{i\phi}$ — фактический объем закачки воды по i -му насосному агрегату, м³.

При отсутствии штатного оборудования по определению потребляемой электроэнергии этот параметр следует определять с помощью переносного прибора типа AR-5M (в рамках сервисного обслуживания).

Если более доступным является измерение фактической потребляемой мощности $N_{i\phi}$ (кВт), то фактический удельный расход электроэнергии по насосному агрегату можно считать как

$$\omega_{i\phi} = \frac{N_{i\phi}}{Q_{i\phi}}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3, \quad (3)$$

где $N_{i\phi}$ — фактически потребляемая мощность (по измерению) по i -му насосному агрегату, кВт;

$Q_{i\phi}$ — фактический расход жидкости (подача) по i -му насосному агрегату, м³/ч.

Информация о фактической подаче $Q_{i\phi}$ i -го насоса, работающего в блоке, не всегда доступна из-за отсутствия штатных приборов по измерению расходов по каждому насосному агрегату. При отсутствии поагрегатного учета расхода жидкости фактическую подачу можно оценить, введя коэффициент, учитывающий отклонение действительного значения подачи от номинального, в уравнение материального баланса:

$$V = k_{от}(Q_{01} \cdot \tau_1 + Q_{02} \cdot \tau_2 + \dots + Q_{0n} \cdot \tau_n) = k_{от}\Sigma(Q_{0i} \cdot \tau_i), \quad (4)$$

где V — суммарный объем закачки воды в пласт по насосному блоку, м³;

$k_{от}$ — коэффициент, учитывающий отклонение действительной подачи насоса от номинальной;

Q_{0i} — номинальная подача i -го насоса;

τ_i — время работы i -го насоса за период закачки объема V .

Отсюда

$$k_{от} = \frac{V}{\Sigma(Q_{0i} \cdot \tau_i)}. \quad (5)$$

Тогда фактическая подача насоса:

$$Q_{i\phi} = k_{от} \cdot Q_{0i}, \text{ м}^3/\text{с}. \quad (6)$$

Определение показателей по насосному блоку является более простым по сравнению с каждым отдельным насосным агрегатом, т. к. насосные блоки практически полностью оснащены расходомерным оборудованием, датчиками измерения давления и приборами учета электроэнергии.

Фактическая потребляемая мощность насосного блока:

$$N_{\phi} = \Sigma N_{i\phi}. \quad (7)$$

Также фактически потребляемую мощность насосного блока можно рассчитать через отношение фактического потребления электроэнергии насосным блоком к временному интервалу, соответствующему потреблению в количестве W_{ϕ} :

$$N_{\phi} = \frac{W_{\phi}}{\tau}. \quad (8)$$

Фактический удельный расход электроэнергии по насосному блоку:

$$\omega_{факт} = \frac{W_{\phi}}{V}, \text{ кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3, \quad (9)$$

где W_{ϕ} — фактическое потребление электроэнергии по насосному блоку (по показаниям счетчиков), кВт·ч.

Наиболее удобным является представление фактических энергопоказателей в определенном временном интервале. Так, в качестве параметра для учета объема закачки жидкости в пласт следует использовать месячный интервал как период, «усредняющий» возможность неравномерности технологических процессов (отключений, остановок агрегатов, процессов закачки, ремонтных работ и пр.) и являющийся финансовым платежным периодом.

Рассмотрим определение нормативных показателей оценки энергетической эффективности. Следует обратить внимание на то, что

недопустимо определять нормативную потребляемую мощность по номинальным параметрам оборудования. Необходимо вести расчет по фактическим величинам напора и подачи насосного оборудования, но по отношению к номинальному значению КПД.

Нормативная потребляемая мощность по насосному агрегату:

$$N_{i \text{ норм}} = \frac{\rho g H_{i\phi} Q_{i\phi c}}{\eta_i} = \frac{9,81 \cdot \rho H_{i\phi} Q_{i\phi}}{3600 \eta_i} = \frac{0,002725 \cdot \rho H_{i\phi} Q_{i\phi}}{\eta_i}, \text{ кВт}, \quad (10)$$

где ρ — плотность перекачиваемой жидкости при температуре закачки, кг/м³;

$H_{i\phi}$ — фактический напор, развиваемый насосом, м;

$Q_{i\phi c}$ — фактическая секундная подача насоса, м³/с;

$Q_{i\phi}$ — фактическая подача насоса, м³/ч;

η_i — нормативный КПД насосного агрегата, соответствующий фактической подаче $Q_{i\phi}$ по паспортной характеристике насоса и двигателя.

Плотность перекачиваемой жидкости (воды) определяется по лабораторным исследованиям при температуре закачки.

Фактический напор насоса определяется как разность удельных энергий (напоров) на нагнетании и всасывании насоса:

$$H_{i\phi} = \frac{P_{\text{наг}} - P_{\text{вс}}}{\rho g}, \quad (11)$$

где $P_{\text{наг}}$, $P_{\text{вс}}$ — давления на нагнетательном и всасывающем патрубках насоса соответственно, Па.

Значения давлений определяются по штатным приборам (датчикам давления), которыми оснащен насосный агрегат.

Нормативный КПД насосного агрегата:

$$\eta_i = \eta_n \cdot \eta_{\text{дв}}, \quad (12)$$

где η_n — нормативный КПД насоса, определяемый по паспортной характеристике насоса завода-изготовителя (либо по характеристике насоса, полученной в результате стендовых испытаний в промышленных условиях) с учетом износа насоса. Данные энергетического аудита ряда нефтедобывающих предприятий показали, что в результате износа КПД исправного насоса снижается в среднем на 3–5 % в зависимости от срока эксплуатации;

$\eta_{\text{дв}}$ — КПД двигателя, определяемый по паспортной характеристике двигателя.

Нормативный удельный расход электроэнергии по насосному агрегату:

$$\omega_{i \text{ норм}} = \frac{N_{i \text{ норм}}}{Q_{i\phi}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3. \quad (13)$$

Нормативная потребляемая мощность по насосному блоку:

$$N_{\text{норм}} = \frac{0,002725 \cdot \rho H_{\phi} Q_{\phi}}{\eta}, \text{ кВт}, \quad (14)$$

где ρ — плотность перекачиваемой жидкости при температуре закачки, кг/м³;

H_{ϕ} — фактический рабочий напор, развиваемый насосным блоком, м;

$Q_{i\phi}$ — фактическая подача насосного блока, м³/ч. Она определяется по показаниям расходомера насосного блока, либо, при его отсутствии, с помощью переносного прибора типа «Panametrics» с соответствующим классом точности;

η — нормативный КПД насосного блока.

При параллельной схеме соединения насосов напор насосного блока соответствует напору насоса. Фактическая подача насосного блока определяется как сумма подач всех насосов в блоке.

Нормативный КПД насосного блока при параллельной схеме соединения насосов определяется по формуле

$$\eta = \frac{Q_{1\phi} + Q_{2\phi} + \dots + Q_{n\phi}}{\frac{Q_{1\phi}}{\eta_1} + \frac{Q_{2\phi}}{\eta_2} + \dots + \frac{Q_{n\phi}}{\eta_n}}, \quad (15)$$

где $Q_{1\phi}$, $Q_{2\phi}$, ..., $Q_{n\phi}$ — подачи соответственно первого, второго, n -го насосных агрегатов;

η_1 , η_2 , ..., η_n — нормативные КПД соответственно первого, второго, n -го насосных агрегатов, определяемые по паспортным характеристикам насосов при фактических подачах и КПД двигателей по формуле (12).

Если рассчитаны нормативные мощности по каждому насосному агрегату, то нормативную мощность по блоку можно определить следующим образом:

$$N_{\text{норм}} = \sum N_{i \text{ норм}}, \text{ кВт}. \quad (16)$$

Нормативный удельный расход электроэнергии по насосному блоку:

$$\omega_{\text{норм}} = \frac{N_{\text{норм}}}{Q_{\phi}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^3. \quad (17)$$

Фактический КПД насосного агрегата определяется по формуле:

$$\eta_{i\phi} = \kappa_{\Delta\eta} \cdot \eta_{\phi} \cdot \eta_{\text{дв}} = \kappa_{\Delta\eta} \cdot \frac{N_{i\text{п}}}{N_{i\phi}} \cdot \eta_{\text{дв}} = \kappa_{\Delta\eta} \cdot \frac{\rho g H_{i\phi} Q_{i\phi}}{N_{i\phi}} \cdot \eta_{\text{дв}} = \kappa_{\Delta\eta} \cdot \frac{(P_{\text{вых}} - P_{\text{вх}}) \cdot Q_{\phi}}{N} \cdot \eta_{\text{дв}}, \quad (18)$$

где $\kappa_{\Delta\eta}$ — коэффициент, учитывающий износ насосного агрегата за срок его эксплуатации:

$$\kappa_{\Delta\eta} = \frac{\eta - \Delta\eta \cdot T}{\eta};$$

η_{ϕ} — фактический КПД насоса;

N_{in} — полезная мощность насосного агрегата;

$N_{i\phi}$ — мощность, подводимая к насосному агрегату, определяемая по формуле (1);

$\Delta\eta$ — фактическая величина падения КПД в год (по результатам энергообследований);

T — число лет эксплуатации насосного агрегата.

Фактический КПД насосного блока определяется по формуле

$$\eta_{\phi} = \frac{Q_{1\phi} + Q_{2\phi} + \dots + Q_{n\phi}}{\frac{Q_{1\phi}}{\eta_{1\phi}} + \frac{Q_{2\phi}}{\eta_{2\phi}} + \dots + \frac{Q_{n\phi}}{\eta_{n\phi}}}, \quad (19)$$

где $Q_{1\phi}, Q_{2\phi}, \dots, Q_{n\phi}$ — подача соответственно первого, второго, n -го насоса;

$\eta_{1\phi}, \eta_{2\phi}, \dots, \eta_{n\phi}$ — фактические КПД соответственно первого, второго, n -го насосного агрегата, определяемые по паспортным характеристикам насосов при фактических подачах, с учетом износа и КПД двигателей.

Текущая энергоэффективность как насосного агрегата, так и насосного блока, определяется отношением нормативного удельного

расхода электроэнергии $\omega_{\text{норм}}$ к фактическому удельному расходу энергии $\omega_{\text{факт}}$:

$$\Xi_{\text{эф}} = \frac{\omega_{\text{норм}}}{\omega_{\text{факт}}}. \quad (20)$$

Предлагаемый алгоритм может быть внедрен в компьютерную программу для автоматизации процесса расчета с требуемой периодичностью и выдачей расчетных данных для формирования аналитической информации и планирования дальнейших мер по повышению эффективности. В частности, алгоритм расчета показателей энергетической эффективности был реализован на основе электронных таблиц MS Excel для промышленных данных. При этом значения величин, не удовлетворяющие требованиям нормативных показателей, автоматически выделяются в таблицах красным цветом.

Выводы

Предлагаемая методика позволит с высокой степенью достоверности оценить основные показатели энергоэффективности эксплуатации систем ППД с целью оптимизации существующих технологических процессов и повышения экономичности производства с точки зрения снижения энергозатрат.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гarris Н.А. Ресурсо- и энергосберегающие технологии при транспорте углеводородов: учеб. пособие. Уфа: ООО «Монография», 2014. Ч. 1. 256 с.
2. Байков И.Р., Китаев С.В., Шаммазов И.А. Методы повышения энергетической эффективности трубопроводного транспорта природного газа. СПб.: Недра, 440 с.
3. ГОСТ 31532-2012. Энергосбережение. Энергетическая эффективность. Состав и классификация показателей. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2013. 12 с.
4. ГОСТ 31607-2012. Энергосбережение. Нормативно-методическое обеспечение. Основные положения. М.: Стандартинформ, 2012. 20 с.
5. Байков И.Р., Валиева Л.Р. Оптимизация режимов работы центробежных насосов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 1989. № 8. С. 64–68.
6. Смородова О.В. Энергия в системе поддержания пластового давления // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли: матер. Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию высшего нефтегазового образования в Республике Татарстан / Альметьевский государственный нефтяной институт. 2016. С. 234–238.
7. Костарева С.Н., Смородова О.В. Оптимизация трубопроводной системы поддержания пластового давления // Трубопроводный транспорт — 2010: матер. VI Междунар. учеб.-науч.-практ. конф. Уфа, 2010. С. 220–228.

REFERENCES

1. Garris N.A. *Resurso- i energosberegayushchie tekhnologii pri transporte uglevodorodov* [Resource and Energy Saving Technologies in Hydrocarbons Transport]. Ufa, Monografiya Publ., 2014, Ch. 1, 256 p. [in Russian].
2. Baikov I.R., Kitaev S.V., Shammazov I.A. *Metody povysheniya energeticheskoi effektivnosti truboprovodnogo transporta prirodnogo gaza* [Methods for Improving the Energy Efficiency of Natural Gas Pipelines]. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 440 p. [in Russian].
3. *GOST 31532-2012. Energoberezhnie. Energeticheskaya effektivnost'. Sostav i klassifikatsiya pokazatelei. Osnovnye polozheniya*. [State Standard 31532-2012. Energy Conservation. Energy Efficiency. Composition of Indicators. Basic Concepts]. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 12 p. [in Russian].
4. *GOST 31607-2012. Energoberezhnie. Normativno-metodicheskoe obespechenie. Osnovnye polozheniya*. [State Standard 31607-2012. Energy Conservation. Norm-Method Securing. Basic Concept]. Moscow, Standartinform Publ., 2012. 20 p. [in Russian].
5. Baikov I.R., Valieva L.R. *Optimizatsiya rezhimov raboty tsentrobezhnykh nasosov* [Centrifugal Pumps Operating Modes Optimization]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Neft' i gaz — Higher Educational Institutions News. Oil and Gas*, 1989, No. 8, pp. 64–68. [in Russian].
6. Smorodova O.V. *Energiya v sisteme podderzhaniya plastovogo davleniya* [Energy in the Reservoir Pressure

Maintenance System]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Dostizheniya, problemy i perspektivy razvitiya neftegazovoi otрасli», posvyashchennoi 60-letiyu vysshogo neftegazovogo obrazovaniya v Respublike Tatarstan, Al'met'evskii gosudarstvennyi neftyanoi institut* [Materials of the International Scientific and Practical Conference «Achievements, Problems and Prospects for the Development of the Oil And Gas Industry» Dedicated to the 60th Anniversary of Higher Oil and Gas Education in the Republic of Tatarstan, Almet'yevsk State Petroleum Institute]. 2016, pp. 234–238. [in Russian].

7. Kostareva S.N., Smorodova O.V. Optimizatsiya truboprovodnoi sistemy podderzhaniya plastovogo davleniya [Optimization of the Pipeline System to Maintain Reservoir Pressure]. *Materialy VI Mezhdunarodnoi uchebno-nauchno-prakticheskoi konferentsii «Truboprovodnyi transport — 2010»* [Proceedings of the VI International Scientific and Practical Conference «Pipeline Transport — 2010»]. Ufa, 2010, pp. 220–228. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

Байкова Ляля Ридовна, канд. техн. наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой «Гидрогазодинамика трубопроводных систем и гидромашины», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация.

Lyalya R. Baykova, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Deputy Head of Fluid Dynamics of Pipeline Networks and Fluid Machinery Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: hydrolyalya@mail.ru

Гаррис Нина Александровна, д-р техн. наук, заведующая базовой кафедрой «Технология реновации турбинных систем объектов транспорта, хранения и переработки углеводородов», профессор кафедры «Гидрогазодинамика трубопроводных систем и гидромашины», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Nina A. Garris, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of Renovation Technology of Hydrocarbons Transportation, Storage and Processing Objects Turbine Systems Base Department, Professor of the Fluid Dynamics of Pipeline Networks and Fluid Machinery Department, USPTU, Ufa, Russian Federation