

параметром η , равным отношению количества, выделившегося за время t газа к полному количеству газа, которое может выделиться к моменту установления равновесия:

$$\eta = 1 - \int_0^1 \Delta \bar{\rho} \cdot \xi \quad (1)$$

где: ξ – степень полноты реакции или координата реакции; $\bar{\rho}$ – относительное перенасыщение раствора.

Полученная зависимость позволяет оценить характерное время установления равновесия в смеси.

В работе был рассмотрен метод отдувки который позволяет сократить содержание газа в нефти до минимальных величин. Была получена зависимость, которая позволяет оценить характерное время установления равновесия в смеси.

Следует отметить, что на процесс объединения газовых пузырьков влияют как силы молекулярного притяжения, так и силы взаимодействия, обусловленные разностью диаметров больших и маленьких пузырей. Кроме того, в массивных слоях жидкости процесс установления равновесия будет длительным за счет того, что нижние слои жидкости обедняются медленнее верхних, в которых происходит объединение пузырьков, всплывающих из нижних слоев и пузырьков, содержащихся в этом объеме. Это подтверждает идею, заложенную автором, что продувочный углеводородный газ позволит интенсифицировать процесс удаления из нефти растворенного газа.

Литература

1. Stewart M. Gas-Liquid and Liquid, Liquid separators / M. Stewart, K. Arnold. Burlington, USA: Gulf Professional Publishing, 2008. 226p.
2. Персиянцев М. Н. Совершенствование процессов сепарации нефти от газа в промышленных условиях / М. Н. Персиянцев. М.: Недр-Бизнесцентр, 1999. 365 с. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа.– М.: Дрофа, 2003.– 840с.
3. Вязовой Ю. С. Процессы, проходящие при отдувке в нефтегазовых сепараторах / Ю. С. Вязовой, В. И. Гулевич // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. 2012. № 1 (53). С. 27–30. ISSN 1812-9498.
4. Вязовой Ю. С., Гулевич В. И. Повышение эффективности работы промышленного вертикального нефтегазового сепаратора // Энергия молодежи – ресурс развития нефтегазовой отрасли: сб. тез. докл. IV открытой науч.-практ. конф. молодых специалистов и работников ООО «Газпром добыча Астрахань». – Астрахань: Факел, 2011. – С. 18–19.
5. Технологии очистки нефти от сероводорода / Р. З. Сахабутдинов, А. Н. Шаталов, Р. М. Гарифуллин и др. // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 7. – С. 82–85.
6. Синайский Э. Г., Ляпина Е. Я., Зайцев Ю. В. Сепарация многофазных многокомпонентных систем. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 621 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ ГПА-16Р «УРАЛ»

Д.И. Борисов

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Одним из основных элементов любой режимно – технологической задачи транспорта газа по МГ является гидравлический и энергетический расчет режимов работы компрессорной станции (КС). Такие задачи возникают как при планировании режимов работы, так и при контроле и анализе фактических режимов работы КС [2].

Основной задачей расчета при контроле и анализе режимов работы КС является определение энергетических показателей работы ГПА-16Р «Урал», цеха и КС, т.е. расходуемой мощности N , коэффициента полезного действия η , затрат топливного газа на компримирование с целью оценки технического состояния газоперекачивающих агрегатов (ГПА) на основе нормативных отраслевых показателей и оценки эффективности принятых режимов работы.

Разработке алгоритмов и программ расчета режимов работы ГПА всегда предшествует работа по составлению математических моделей центробежного нагнетателя (ЦБН) и газотурбинного привода.

Газоперекачивающий агрегат с газотурбинным приводом типа ГПА-16Р «Урал» состоит из центробежного нагнетателя Н 235 и газотурбинного привода ГТУ-16П.

В данной работе рассмотрим построение математической модели центробежного нагнетателя Н 235.

Предполагая, что компримирование газа в ЦБН является стационарным политропическим процессом сжатия, теоретическая зависимость для внутренней мощности имеет вид

$$N_{\text{пол}} = \frac{m}{m-1} \cdot \frac{P_{\text{вс}} \cdot Q_{\text{вс}}}{\eta_{\text{пол}}} \left[\frac{\varepsilon^{\frac{m-1}{m}}}{\varepsilon^{\frac{m-1}{m}} - 1} \right], \quad (1)$$

где m – показатель политропы;

$P_{\text{вс}}, Q_{\text{вс}}$ – давление и производительность при условии всасывания ЦБН;

$\varepsilon = P_{\text{наг}} / P_{\text{вс}}$ – степень повышения давления при компримировании.

В связи со сложностью процессов, происходящих при сжатии газа, их аналитическое описание является достаточно громоздким. Практика показала, что гораздо проще получить графические характеристики по результатам стендовых испытаний и представить их в приведенных координатах, используя при этом аппарат теории подобия и размерностей.

Наибольшее распространение в практике расчетов режимов работы ГПА получили характеристики ЦБН, выпускаемые ВНИИГАЗом [1] и представленные в виде зависимостей степени повышения давления ε , политропического КПД ЦБН $\eta_{\text{пол}}$ и приведенной относительной внутренней мощности от приведенной объемной подачи при различных значениях приведенных относительных оборотов

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \varphi_1(Q_{\text{вс}}, \bar{n}_{\text{пр}}), \\ \eta_{\text{пол}} &= \varphi_2(Q_{\text{вс.пр}}), \\ \left[\frac{N_i}{\rho_{\text{вс}}} \right] &= \varphi_3(Q_{\text{вс.пр}}), \end{aligned} \quad (2)$$

где

$$\bar{n}_{\text{пр}} = \frac{n}{n_{\text{н}}} \sqrt{\frac{(ZRT)_{\text{ном}}}{ZRT}}, \quad (3)$$

$$Q_{\text{вс.пр}} = Q_{\text{вс}} \cdot \frac{n_{\text{н}}}{n}, \quad (4)$$

$$\left[\frac{N_i}{\rho_{\text{вс}}} \right]_{\text{пр}} = \frac{N_i}{\rho_{\text{вс}}} \cdot \left(\frac{n_{\text{н}}}{n} \right)^3. \quad (5)$$

Опыт показывает, что при переходе к машинным методам расчета для создания математических моделей целесообразно использовать полиномиальную аппроксимацию. При этом достаточно описать характеристики для номинального значения n / \sqrt{ZRT} сокращая при этом объем вводимой информации в память ЭВМ, а в случае отклонения параметров от номинальных, воспользоваться соотношениями теории подобия [3]

$$Q_{\text{н}} = Q \cdot \frac{n_{\text{н}}}{n}, \quad (6)$$

$$H_{\text{пол.н}} = H_{\text{пол}} \cdot \left(\frac{n_{\text{н}}}{n} \right)^2, \quad (7)$$

$$\frac{N_{i.н}}{\rho_{\text{вс.н}}} = \frac{N_i}{\rho_{\text{вс}}} \cdot \left(\frac{n_{\text{н}}}{n} \right)^3. \quad (8)$$

Политропический напор $H_{\text{пол}}$ принимается равным

$$H_{\text{пол}} = \frac{m}{m-1} (ZRT)_{\text{вс}} \cdot \left(\frac{\varepsilon^{\frac{m-1}{m}}}{\varepsilon^{\frac{m-1}{m}} - 1} \right), \quad (9)$$

Аппроксимация зависимостей (2) выполняется в виде

$$\varepsilon^2 = a_0 + a_1 Q_{\text{вс.пр}} + a_2 Q_{\text{вс.пр}}^2 + a_3 Q_{\text{вс.пр}}^3 \quad (10)$$

$$\eta_{\text{пол}} = k_0 + k_1 Q_{\text{вс.пр}} + k_2 Q_{\text{вс.пр}}^2 + k_3 Q_{\text{вс.пр}}^3 \quad (11)$$

$$\left[\frac{N_i}{\rho_{\text{вс}}} \right]_{\text{пр}} = c_0 + c_1 Q_{\text{вс.пр}} + c_2 Q_{\text{вс.пр}}^2 + c_3 Q_{\text{вс.пр}}^3 \quad (12)$$

Значения коэффициентов аппроксимации определены методом наименьших квадратов с использованием графических газодинамических характеристик при номинальных значениях параметров и представлены в таблице.

Таблица

Коэффициенты аппроксимации характеристики центробежного нагнетателя Н 235

Характеристики	Значения коэффициентов аппроксимации			
	a_0	a_1	a_2	a_3
ε^2	7,9625874E-01	10164044E-02	-2,2753497E-06	1,3403263E-08
$\Pi_{пол}$	$\frac{k_0}{k_1}$ 2,7776621E-01	$\frac{k_1}{k_2}$ 1,7920040E-03	$\frac{k_2}{k_3}$ 1,0734749E-06	$\frac{k_3}{k_4}$ -4,8922907E-09
$[N_i / P_{вс}]_{пр}$	$\frac{c_0}{c_1}$ -73,897992	$\frac{c_1}{c_2}$ 2,3706396	$\frac{c_2}{c_3}$ -3,9635088E-03	$\frac{c_3}{c_4}$ 2,4256791E-06

Степень сжатия для условий, отличных от номинальных будет определяться из соотношения, полученного с учетом уравнений (6)...(8)

$$\varepsilon = \left[1 + \left(\frac{n}{n_H} \right)^2 \cdot \frac{(ZRT)}{(ZRT)_{вс}} \left(\varepsilon_H^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right) \right]^{\frac{m-1}{m}} \quad (13)$$

Математическая модель ЦБН кроме соотношений, связывающих основные параметры, включает группу условий, отражающих технологические ограничения на работу оборудования. Это ограничения по частоте вращения снизу и сверху, приведенной объемной производительности (снизу по приближению к помпажной зоне и сверху из-за резкого падения политропического КПД), а также ограничение по мощности сверху, т.е

$$n_{min} \leq n \leq n_{max} \quad (14)$$

$$Q_{вс.пр.min} \leq Q_{вс.пр.} \leq Q_{вс.пр.max} \quad (15)$$

$$N_i \leq N_{imax} \quad (16)$$

Кроме того, давление центробежного нагнетателя не должно превышать предельной величины, зависящей от технического состояния линейной части. Совокупность всех ограничений на технологические параметры описывает область допустимых режимов (ОДР) [2].

В результате проведенной работы рассмотрено построение математической модели центробежного нагнетателя Н 235, описывающей режимы работы газоперекачивающего агрегата с газотурбинным приводом типа ГПА-16Р «Урал».

Полученная математическая модель может применяться для:

расчета режимов работы КС;

оптимизации режимов работы ГПА КС;

управления и контроля режимов работы ГПА;

параметрического контроля технологических параметров и технического состояния ГПА.

Разработанный подход к процессам эксплуатации газоперекачивающих агрегатов может применяться для остальных типов газотурбинных установок с учетом индивидуальных коэффициентов аппроксимации.

Литература

1. Альбом приведенных газодинамических характеристик и центробежных нагнетателей. Союзоргэнергогаз. ВНИИГаз, - М.,1985. – 87 с.
2. Сеницын С.Н., Барцев И.В., Леонтьев Е.В. Влияние параметров природного газа на характеристики центробежных нагнетателей. М.: Недр, 1967, - В кн.: Транспорт и хранение газа (Труды ВНИИГаЗа, вып. 29/37).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ АНАЛИЗА ПРОЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ

Д.Л. Вахитов

Научный руководитель профессор С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.Томск, Россия

При действии статической нагрузки задачи определения напряженно-деформированного состояния пространственных конструкций в общих постановках являются краевыми задачами механики деформированного твердого тела. Данные задачи, в предположении бесконечно малой деформации, сводятся к решениям при заданных граничных условиях систем, состоящих из геометрического соотношения (уравнения Коши, устанавливающего связи между перемещением и деформацией, и уравнение совместности деформации Сен-Венана), дифференциального уравнения равновесия (уравнений Навье), физического уравнения, определяющего связи между деформацией и напряжением. Не нарушая общности рассуждения, для упрощения выкладки, выбираем прямоугольные декартовы системы координат (x_1, x_2, x_3) . В данных случаях рассматриваемые системы уравнений имеют следующий вид [4]:

– уравнение равновесия Навье