Метод гидравлического разрыв пласта (ГРП) направлен на увеличение продуктивности скважин, является одним из наиболее сложных видов работ в нефтегазовой отрасли. Гидравлический разрыв есть процесс, при котором давление жидкости действует непосредственно на породу пласта, а именно до его разрушения и возникновения трещины. Таким образом, будет создан новый, наиболее просторный канал притока [5].

По результатам оценки результатов пробного ГРП на примере Мыльджинского ГКМ можно сделать вывод о высокой эффективности проведения ГРП на газоконденсатных месторождениях ОАО «Томскгазпром»:

- Дебит УВС увеличился в 5 раз после ГРП при сопоставимых значениях буферного давления (около 60 атм);
- Скважина 127 до ГРП эксплуатировалась в периодическом режиме с регулярными прогревами один–два раза в сутки вследствие скопления жидкости на забое. После ГРП, благодаря увеличению коэффициента продуктивности, скорость потока газожидкостной смеси в НКТ стала достаточной для выноса жидкости с забоя, что сделало работу скважины стабильной;
- Проведение операции ГРП на скважине позволит увеличить коэффициент извлечения газа (КИГ) по объекту Ю на 0.75 %, коэффициент извлечения конденсата (КИК) – на 0.43 % на конец 2030 г.[6].

В работе был проведён расчёт давление разрыва,допустимое давление на устье, объём жидкости разрыва, а так же и другие расчеты связанные с показателями ГРП.

Проведённый анализ позволяет сделать следующие выводы:

Гидроразрыв, является наиболее эффективным методом для увеличения объемов добычи углеводородов.

Глинокислотная обработка имеет низкую эффективность за счет незначительного объема попадания кислоты в пласт и очищением не всей призабойной зоны.

Литература

1. Гавура А.В., Крец Э.С. и др. Проект опытно-промышленной эксплуатации Мыльджинского газоконденсатнонефтяного месторождения /ТомскНИПИнефть – Томск 1996
2. Васильев В.И. Дополнительная записка к проекту опытно-промышленной эксплуатации Мыльджинского газоконденсатного месторождения ОАО <<Томскгаз>>./ОАО <<ТомскНИПИнефть ВНК>> - Томск – 2000.
3. Дополнение к технологической схеме разработки Мыльджинского месторождения / ОАО «Тандем» - Тюмень 2011
4. Ильина Г.Ф. Методы и технологии повышения нефтеотдачи для коллекторов Западной Сибири: учебное пособие/ Г.Ф. Ильина, 2-е изд. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012.-166 с.
5. Логинов Б. Г. Интенсификация добычи нефти методом кислотной обработки. Гостоптехиздат, 1951.
6. Геологический отчет о Результатах ГРР ОАО <<Томскгазпром>> за 2009 год. /ОАО <<Томскгазпром>> - Томск 2009.

k-ε МОДЕЛЬ ТУРБУЛЕНТНОСТИ И ЕЁ ПРИМЕНЕНИЕ

А.А. Кириллин, Э.Н. Федотов

Научный руководитель профессор кафедры ТХНГ ИПР, доктор ф.-м. наук С.Н. Харламов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

В наши дни пакеты численного моделирования открывают огромные возможности для инженеров и исследователей из самых разных областей. Путем простого нажатия ряда кнопок и ввода необходимых входных данных исследователь может получать решения для комплексных междисциплинарных задач. Между тем все эти пакеты основаны на фундаментальных законах механики, и каждый входной параметр является критически важным для получения достоверного и соответствующего действительности решения.

В данной статье рассматриваются основные модели, принятые для описания турбулентности и широко применяемые в пакетах численного моделирования.

Ставится задача рассмотреть теоретический базис, необходимый для дальнейшего численного решения проблем из области турбулентности.

Стандартная модель турбулентности k-ε.

Чтобы замкнуть турбулентность, необходимо определить связь между напряжениями по Рейнольдсу и параметрами осредненного течения. Эту связь определяют с помощью различных моделей турбулентности [1]. В этих моделях принимаются определенные допущения, на основе которых вводится недостающее число уравнений, что позволяет найти все неизвестные. Одним из допущений является введение турбулентной вязкости, которое впервые осуществил Буссинеск.

Далее перейдем непосредственно к получению стандартной k-ε модели из двух уравнений, которая сегодня рассматривается как стандартная модель для описания турбулентности и решения инженерных задач. В данной модели вводятся два важных понятия – генерация P и диссипация ε [2].

$$\partial_t k + \overline{u_j}\partial_j k = P - \varepsilon + \partial_j\left(\nu + \frac{\nu_{\grave{O}}}{\sigma_k})\partial_k k\right), \qquad (1)$$

Уравнение (1) является уравнением для кинетической энергии k. σ_k – параметр, обеспечивающий нужную размерность для слагаемого с $\nu_{\grave{O}}$. Обычно принимается $\sigma_k = 1$. Уравнение для диссипации ε аналитически не выводится и просто записывается по аналогии с (1):

$$\partial_t \varepsilon + \overline{u}_j \partial_j \varepsilon = \frac{C'_{1\varepsilon} P - C'_{2\varepsilon}\varepsilon}{T} + \partial_j \left(\nu + \frac{\nu_{\grave{o}}}{\sigma_\varepsilon} \right) \partial_j \varepsilon) , \qquad (2)$$

где $T = k / \varepsilon$ обеспечивает нужную размерность, а константы $C'_{1\varepsilon}, C'_{2\varepsilon}, \sigma_\varepsilon$ вводятся, поскольку форма уравнения (2) лишь предполагается, но не выводится аналитически.

В пакете Ansys Fluent уравнения стандартной k-ε модели применяются в несколько ином, модернизированном виде. Его можно получить из (1) и (2) путем алгебраических преобразований, и он также описывается создателями модели [4]:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \dfrac{\partial}{\partial x_i}(\rho k \overline{u}_i) = \dfrac{\partial}{\partial x_j}[(\mu + \dfrac{\mu_t}{\sigma_k})\dfrac{\partial k}{\partial x_j}] + G_k + G_b - \rho\varepsilon - Y_M + S_k, \\ \dfrac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \dfrac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon \overline{u}_i) = \dfrac{\partial}{\partial x_j}[(\mu + \dfrac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon})\dfrac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}] + C_{1\varepsilon}\dfrac{\varepsilon}{k}(G_k + C_{3\varepsilon}C_b) - C_{2\varepsilon}\rho\dfrac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \end{cases} , \qquad (3)$$

В данной системе уравнений G_k представляет турбулентную кинетическую энергию, образованную от средних градиентов скорости.

G_b – кинетическая энергия выталкивающей силы,

$C_{3\varepsilon}$ – константа, определяющая степень воздействия выталкивающей силы на ε, определяется по формуле

Y_M – вклад переменного расширения при турбулентности сжатия в общую скорость диссипации. Данную величину следует учитывать при большом числе Маха. Ее обязательно учитывать, когда моделируется сжимаемый идеальный газ.

$$Y_{м} = 2\rho\varepsilon M_t^2,$$

$$M_t = \sqrt{\frac{k}{a^2}},$$

Остальные константы определены из экспериментов для фундаментальных турбулентных жидкостей и имеют следующие значения: $C_{1\varepsilon} = 1{,}44$, $C_{2\varepsilon} = 1{,}92$, $C_\mu = 0{,}09$, $\sigma_k = 1{,}44$, $\sigma_\varepsilon = 1{,}3$

RNG *k–ε* модель

RNG модель была получена при помощи теории ренормализованных групп [4]. Она имеет схожую форму со стандартной *k-ε* моделью, но включает следующие улучшения:

– имеет дополнительный член в уравнении для *ε*, который улучшает точность вычислений для жидкостей с высокими скоростями деформаций;

– в модели учтено влияние завихренности на турбулентность, что увеличивает точность для высокозавихренных жидкостей;

– данная теория предлагает аналитические формулы для турбулентных чисел Прандтля, тогда как стандартная модель использует заданные пользователем постоянные значения;

– RNG модель предлагает аналитически полученные формулы для эффективной вязкости, которая предназначена для жидкостей с низкими числами Рейнольдса. Тем не менее эффективное использование этой опции зависит от правильного рассмотрения пристеночной области.

Уравнения RNG модели имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \dfrac{\partial}{\partial x_i}(\rho k \overline{u}_i) = \dfrac{\partial}{\partial x_j}(a_k \mu_{eff}\dfrac{\partial k}{\partial x_j}) + G_k + G_b - \rho\varepsilon - Y_M + S_k, \\ \dfrac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \dfrac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon \overline{u}_i) = \dfrac{\partial}{\partial x_j}(a_k \mu_{eff}\dfrac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}) + G_{1\varepsilon}\dfrac{\varepsilon}{k}(G_k + C_{3\varepsilon}G_b) - \\ -C_{2\varepsilon}\rho\dfrac{\varepsilon^2}{k} - R_\varepsilon + S_\varepsilon. \end{cases} , \qquad (4)$$

Главное отличие RNG модели от стандартной заключается в дополнительном члене в уравнении для ε. R_ε вычисляется по формуле

$$R_\varepsilon = \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \eta / \eta_0)\varepsilon^2}{1 + \beta\eta^3}\frac{\varepsilon^2}{k}, \qquad (5)$$

Таким образом, для жидкостей со слабыми или умеренными скоростями деформаций RNG модель дает результаты, схожие с полученными при помощи стандартной k-ε модели.

Реальная k-ε модель

По сравнению со стандартной k – ε моделью данная модель имеет два существенно важных отличия [5]:

– реальная k–ε модель содержит альтернативную формулировку для турбулентной вязкости;

– модифицированное уравнение переноса для скорости диссипации ε было получено из точного уравнения для переноса среднеквадратичных колебаний завихренности.

Уравнения реальной k–ε модели имеют следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k)+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k\overline{u}_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_j}\right]+G_k+G_b-\rho\varepsilon-Y_M+S_k, \\ \frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon)+\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\varepsilon\overline{u}_i)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left[\left(\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}\right)\frac{\partial\varepsilon}{\partial x_j}\right]+\rho C_1 S\varepsilon- \\ -\rho C_2\frac{\varepsilon^2}{k+\sqrt{\nu\varepsilon}}+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}C_{3\varepsilon}G_b+S_\varepsilon. \end{cases}$$

В реальной модели нахождение турбулентной вязкости существенно отличается от других k–ε моделей.

$$C_\mu=\frac{1}{A_0+A_S\frac{kU^*}{\varepsilon}},$$

Литература

1. Белов И.А. Исаев С.А. Моделирование турбулентных течений: учеб. пособие / Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2001. – 108 с.
2. Durbin P.A., Reif B.A.P. Statical theory and modeling for turbulent flows. - John Wiley and Sons, West Sussex, United Kingdom, 2011. – 357 p.
3. Launder B.E., Spalding D.B. Lectures in Mathematical Models of Turbulence. – London: Academic Press, 1972. – 169 p.
4. Renormalization group modeling and turbulence simulations / S.A. Orszag, V. Yakhot, W.S. Flannery, F. Boysan, D. Choudhury, J. Maruzewski, B. Patel // International conference on near-wall turbulent flows, Tempe, Arizona, 1993.
5. A new k-ε eddy-viscosity model for high Reynolds number turbulent flows - Model development and validation / T.–H. Shih, W.W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, J. Zhu // Computers fluids. – 1995. – No. 24 (3). – P. 227-238.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

С.П. Красуцкий, Н.А Букин

Научный руководитель - доктор ф.-м.н., С.Н. Харламов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Моделирование образования гидратов на внутренней поверхности трубы

Для численного моделирования образования газовых гидратов, образующихся на поверхности трубы , будет использоваться итерационно-интерполяционный метод.

Постановка задачи об образовании гидратов на внутренней поверхности трубы

Будем рассматривать сечение круглой трубы, на внешней поверхности которой происходит теплообмен с окружающей средой, а внутренняя поверхность обтекается потоком газа, содержащем водяной пар. Процесс образования гидратов будем считать равновесным и моделировать как фазовый переход 1-го рода (происходит при постоянной температуре, определяемой по кривой фазового равновесия). Все теплофизические параметры задачи будем считать постоянными. Таким образом, образование гидратов идет только за счет охлаждения трубы. Процессы теплообмена в стенке трубы и слое гидрата будем описывать уравнением теплопроводности с постоянными коэффициентами, записанным в цилиндрической системе координат:

$$r\frac{\partial T}{\partial t}+rv_r\frac{\partial T}{\partial r}=\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{r\lambda}{\rho c_p}\frac{\partial T}{\partial r}\right) \tag{1}$$

где r - время, r - радиальная координата, отсчитываемая от оси трубы, λ - коэффициент теплопроводности, ρ - плотность, c_p - удельная теплоемкость, T - температура, v_r - скорость движения среды.

В начальный момент времени температура стенки полагается постоянной и равной температуре газового потока.

$$T_{t=0}=T_0\,. \tag{2}$$

На внешней поверхности трубы выставляются граничные условия 1-3 рода, записанные в обобщенном виде:

$$\alpha_w\left(r\lambda\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\beta_w T\bigg|_{r=r_w}=f_w\,. \tag{3}$$

В частности, если трубопровод находится в грунте, то выставляется граничное условие 1-го рода: