

РАСЧЕТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ СТРУКТУРЫ НЕФТЯНЫХ СИСТЕМ

В.В. Лоскутов, Н.Н. Ядревская

Научные руководители: доцент, к.ф.-м.н. Рейзлин В.И., доцент, к.х.н. Н.В. Ушева

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: deonold@gmail.com

CALCULATION OF ENERGY PARAMETERS FOR HYDROMECHANICAL DESTRUCTION OF OIL SYSTEMS STRUCTURE

V.V. Loskutov, N.N. Yadrevskaya

Scientific Supervisors: Associate Professor, Cand. Sc., V.I. Reyklin,

Associated Professor, Cand. Sc. N.V. Usheva

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: deonold@gmail.com

A technique of determination of specific amount of mechanical energy necessary to destruct the supermolecular structure of paraffinic crude oils using the experimental rheological curves of laminar flow has been given. A cross-platform application capable of calculating the mechanical energy was designed as a result of this work.

К настоящему времени физико-химическая природа процессов структурообразования и их связь с поведением нефтяных систем, которыми являются высоковязкие и высокозастывающие нефти, еще полностью не выяснена. Этим объясняется отсутствие достаточной четкости в вопросах регулирования физико-химических свойств нефтей под влиянием внешних факторов.

Целью данной работы является разработка компьютерного приложения для определения суммарного расхода энергии, необходимого для разрушения структуры высокопарафинистой высокозастывающей нефти за счет сдвиговой скорости при трубопроводном транспорте.

Расчет энергетических параметров гидромеханического разрушения надмолекулярной структуры нефтей проводился по методике, описанной в [1, 2]. Лабораторные исследования проводились на ротационном вискозиметре Brookfield LVDV III+ (USA) при температуре 20 °С через 5 с при нарастании сдвиговой скорости до 30 с⁻¹, что соответствует линейным скоростям течения нефти при перекачке по трубопроводу в реальных условиях.

Уравнение внутренней энергии системы записывается в виде:

$$dW_u = dQ + dW_u = dQ + dA + dZ, \quad (1)$$

где W_u – внутренняя энергия системы; Q – теплота; A – работа; Z – энергия переноса массы. При постоянной температуре и в отсутствии переноса массы изменение внутренней энергии dW_u будет происходить за счет работы dA . Площадь между кривыми пропорциональна энергии разрушения надмолекулярной структуры нефти dW_u до установившегося значения реологических параметров. Для

определения ΔW необходимо перейти от сдвиговых скоростей γ и напряжений сдвига τ к моментам M_i и угловым вращениям ω_i .

Момент сопротивления вращению цилиндра ротационного вискозиметра определяется по формуле

$$M_i = 2\pi H r^2 \tau_i \text{ [Н·м]}. \quad (2)$$

Угловая частота вращения:

$$\omega_i = \frac{h}{r} \gamma_i \text{ [1/с]}, \quad (3)$$

где H – высота цилиндра, r – радиус цилиндра, h – зазор между стенками цилиндров вискозиметра. По формулам (2) и (3) по шагам пересчитываем кривые течения на оси угловой скорости и момента двигателя вискозиметра. Плавное изменение сдвиговой скорости от 0 до 30 с^{-1} и обратно происходит за 180 с.

Механическая мощность вискозиметра в таком случае рассчитывается по формуле

$$P_i = M_i \omega_i. \quad (4)$$

Чтобы просчитать суммарную энергию W_c , равную сумме площадей S_1 за первый цикл и S_2 за второй цикл по кривым зависимостей $P_i(t)$ для прямого и обратного хода, нужно рассчитать энергию на каждом шаге временного интервала:

$$\omega_r = N \Delta P \Delta t, \quad (5)$$

где ΔP – цена деления оси мощности; Δt – цена деления оси времени; N – количество элементарных клеток под кривой мощности $P_i(w)$. Тогда

$$W_c = (W_{r(np.xod1)} - W_{r(obr.xod1)}) + (W_{r(np.xod2)} - W_{r(obr.xod2)}) + (W_{r(np.xod3)} - W_{r(obr.xod3)}). \quad (6)$$

Для решения данной задачи было разработано приложение с использованием кроссплатформенного инструментария Qt. Данная среда позволяет совершать компиляцию для большинства современных платформ без изменения исходного кода. Пользовательский интерфейс дает возможность загрузки таблиц в базу данных. В дальнейшем таблицы загружаются автоматически при запуске программы – пользователь может выбрать их по названию из списка и отобразить на графике. Для отображенных таблиц проводится расчет энергии по описанной выше методике. На рис. 1 показана часть заголовочного файла с описанием функций, осуществляющих расчеты, согласно формулам (1-6).

```
double CalcMomentum(double H, double r, double shst);  
double CalcAngularRate(double h, double r, double y);  
double CalcOutput(double momentum, double angVel);  
double CalcEnergy(double output, double dt);
```

Рис. 1. Часть заголовочного файла с описанием функций, реализующих расчётные формулы

На рис. 2 показана часть функции, которая вычисляет внутреннюю энергию системы. Величины энергии вычисляются на каждом отдельном отрезке, после чего они суммируются или вычитаются в зависимости от направления хода. Пользователю доступны ключевые настройки для расчетов – высота цилиндра H , радиус кюветы R и величина зазора h . Также приложение позволяет настраивать параметры отображения графиков и сохранять их в отдельный файл.

```
// функция по вычислению текущей таблицы в программе
void RheoWindow::CalculateCurrentTable() {
    bool backwards = false;
    double momentum, angvel, out, energy = 0.0;
    for (int i = 1; i <= CurrentTable->count; i++) {
        // если следующее значение меньше предыдущего - значит, направление хода изменилось
        if (i != 1) {
            // unlink - переход на другую кривую
            if (CurrentTable->shrate[i-1] > CurrentTable->shrate[i] && !CurrentTable->unlink[i-1]) {
                backwards = true;
            } else {
                backwards = false;
            }
        }
        // вычисляем величины по формулам
        momentum = CalcMomentum(RHDATA_h, RHDATA_r, CurrentTable->shstress[i]);
        angvel = CalcAngularRate(RHDATA_h, RHDATA_r, CurrentTable->shrate[i]);
        out = CalcOutput(momentum, angvel);
        if (backwards)
            energy -= CalcEnergy(out, CurrentTable->dT);
        else
            energy += CalcEnergy(out, CurrentTable->dT);
    }
    // отображаем результат (урезанный вариант)
    ui->LabelEnergy->setText(QString("%1").arg(energy));
}
```

Рис. 2. Содержимое функции по определению внутренней энергии системы

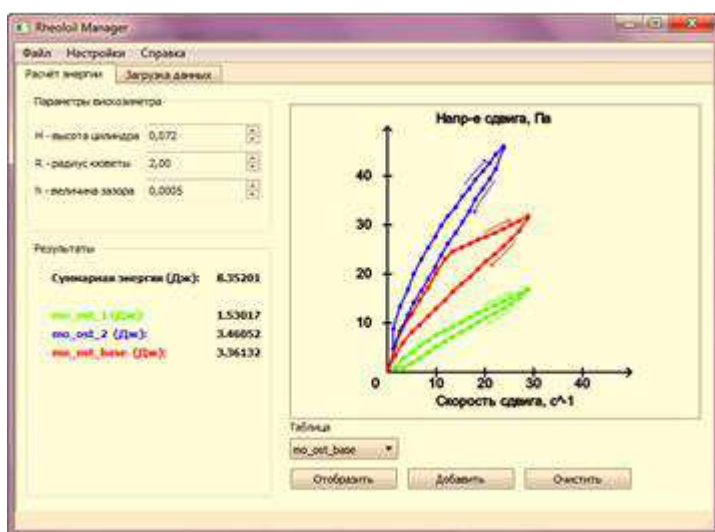


Рис. 3. Окно приложения по расчету внутренней энергии системы

Вид реологических зависимостей напряжения сдвига от скорости сдвига $\tau(\dot{\gamma})$ высокопарафинистой нефти для цикла прямого и обратного хода снятия кривых течения, входные параметры вискозиметра, а также расчетные значения энергии для 1-3 циклов петель гистерезиса и суммарная энергия представлены на рис. 3.

Таким образом, было разработано компьютерное приложение для определения суммарного расхода внутренней энергии, необходимой для

разрушения структуры высокопарафинистой высокозастывающей нефти месторождения Томской области гидромеханическим способом за счет сдвиговой скорости при трубопроводном транспорте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романков П.Г., Курочкина М.И. Гидромеханические процессы в химической технологии. – М.: Химия, 1974. – 288 с.
2. Автоматизация и информационное обеспечение технологических процессов в нефтяной промышленности: Сб.статей / Под ред. А.К. Хорькова. – Томск: Изд-во ТГУ, 2002. – Т. 2. – С. 224–229.