

Добыча, транспорт и переработка нефти и газа

УДК 622.276

СПОСОБ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВЫСОКОВЯЗКОЙ НЕФТИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ПРОГРЕВА ПЛАСТА

В.А. Ольховская, А.М. Зиновьев, С.И. Губанов

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Разработка месторождений высоковязкой нефти скважинами с дуальной системой стволов предоставляет потенциальную возможность увеличения добычи за счет периодического прогрева пласта. Эффект достигается путем размещения высокотемпературного твердотопливного источника на забое вертикального ствола и отбора пластовой жидкости через дополнительный (боковой) ствол, расположенный за пределами зоны ожидаемого повреждения породы. Технические решения по использованию малогабаритного глубинно-насосного оборудования позволяют оптимизировать процессы термообработки и добычи. Отход бокового ствола от вертикали определяется радиусом прогрева пласта.

Ключевые слова: высоковязкая нефть, тепловое воздействие, скважина, дуальная система стволов, компоновка оборудования, радиус прогрева.

Тепловые методы воздействия часто являются единственным средством, позволяющим извлекать и доставлять из пласта на поверхность нефть с высокой вязкостью, склонную к образованию малоподвижных комплексов из асфальтенов, смол и парафинов.

Многие известные способы прогрева залежей и доставки в пласт теплоносителя являются энергоемкими, технически сложными, порой взрывоопасными. В ряде случаев тепловое воздействие сопровождается изменением структуры порового пространства и ухудшением фильтрационных свойств пород.

Скважина с дуальной системой стволов и прогрев пласта

Для поддержания теплового баланса на месторождениях высоковязкой нефти предлагается осуществлять вскрытие продуктивного пласта вертикальными скважинами с бурением дополнительного бокового ствола (БС). И вертикальный, и боковой ствол вскрывают один и тот же нефтенасыщенный пласт. В скважину спускается компоновка глубинно-насосного оборудования по вариантам, показанным на рис. 1.

Валерия Александровна Ольховская, доцент кафедры «Машины и аппараты химических производств».

Алексей Михайлович Зиновьев, старший преподаватель кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

Сергей Игоревич Губанов, студент кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений».

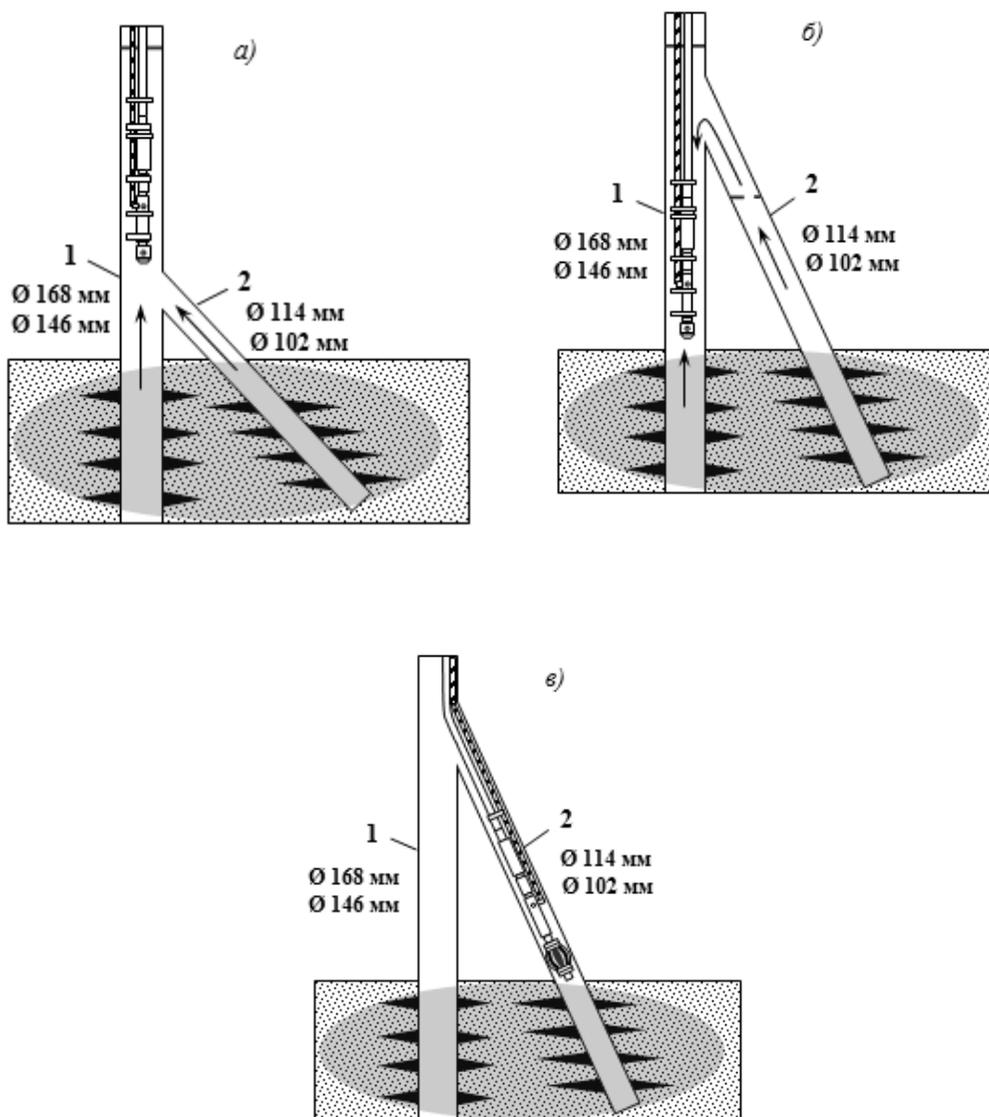


Рис. 1. Вскрытие пласта скважиной с дуальной системой стволов:
 а – насос располагается выше уровня забуривания БС;
 б – насос располагается ниже уровня забуривания БС;
 в – насос располагается в БС;
 1 – вертикальный ствол; 2 – боковой ствол

При этом главное назначение вертикального ствола (ВС) – обеспечить через забой доступ к пласту для проведения работ по его периодическому разогреву. На боковой ствол ложится главная нагрузка по эксплуатации нефтяного пласта.

Разогреть нефтесодержащую породу рекомендуется по технологии термогазохимического воздействия (ТГХВ), термобарохимической обработки (ТБХО) в режиме газогидро разрыва пласта, либо применяя гидроокислительные или горюче-окислительные составы (ГОС).

В технологии ТГХВ с использованием аккумуляторов давления АДС [6] пласт в призабойной зоне подвергается тепловому и химическому воздействию при горении пороховых зарядов и одновременно – ударно-механическому воздействию за счет образования большого количества пороховых газов за 1...5 с горения от 30 до 150 кг твердого топлива.

В технологиях ТБХО [1] также используются пороховые (твердотопливные) заряды, которые сжигаются в интервале перфорации в течение более продолжительного времени (10-30 мин). Если обрабатываемый интервал изолирован пакером, то в нем происходит существенный рост давления, и нагретый газообразными продуктами сгорания топлива химический реагент поступает в пласт в едином газожидкостном потоке. В скважине с предлагаемой дуальной системой стволов нет необходимости отбирать и удалять из пласта продукты реакции, поскольку перфорированный вертикальный ствол 1 не предназначен для добычи нефти. Поэтому на забой скважины на геофизическом кабеле или порожних насосно-компрессорных трубах (НКТ) достаточно доставить два контейнера, включающих модернизированный аккумулятор давления АДС с низкой линейной скоростью горения и химический реагент, в комплексе с пакерно-якорным устройством. Необходимость в спуске оборудования для дополнительного депрессионного или имплозионного воздействия отпадает.

Отличительное свойство жидких гидроокислительных реагентов – способность вступать в термохимические реакции со скважинной жидкостью (водой). К их числу относятся гидрореагирующие составы на основе хлористого алюминия [8], алюминий, активированный галлием, индием, оловом или их эвтектическим расплавом, и целый ряд других. Аналогично взаимодействует с водой твердый или жидкий (суспензионный) состав на основе боргидридов щелочных металлов и щелочи (NaOH или KOH). При соприкосновении с водой боргидриды в скважинных условиях разлагаются с выделением газообразного водорода и большого количества тепла при резком повышении давления.

В свою очередь, горюче-окислительные составы способны к воспламенению после срабатывания высокотемпературного инициатора горения, который размещается в интервале обработки и через кабель-трос подключается к источнику электроэнергии на устье скважины. В качестве инициатора горения используются пороховые заряды из баллиститного или смесового топлива (пороховые генераторы давления ПГД) или, например, по способу [9] – малогазовый, медленно-горящий и высокотемпературный при сгорании твердый состав на основе железоалюминиевого термита (химический прогреватель пласта ППХ). В качестве ГОС широко применяются водные растворы нитрата аммония (аммиачной селитры) с водорастворимым горючим органического происхождения, например глицерин, мочевины, фенол, этаноламиннитрат и др.

Общим недостатком всех указанных технологий является высокая вероятность перегрева пристволевой части пласта до температур, приводящих к спеканию пород и коксованию тяжелых углеводородов, т. е. к снижению проницаемости. В результате эффект от интенсификации может оказаться существенно ниже ожидаемого, вплоть до полного отсутствия притока после воздействия. В предлагаемой дуальной системе стволов жидкость из пласта после разогрева будет продолжать поступать в скважину через боковой ствол, находящийся за пределами зоны повреждения породы. Вертикальный ствол с поврежденной пристволевой частью пласта можно и дальше использовать для многократного повторного разогрева.

Оборудование для добычи нефти и его размещение в скважине

Отдельного рассмотрения требует вопрос о рациональном размещении глубинно-насосного оборудования в дуальной системе стволов.

Бурение бокового ствола производится с установкой временного моста. После завершения бурения БС мост разбуривается и насосное оборудование спускается в скважину. При высоком пластовом давлении и протяженном вертикальном участке ствола 1 возможен спуск глубинного насоса в вертикальный ствол выше или ниже уровня забуривания бокового ствола (рис. 1, варианты *а* и *б*).

Опыт эксплуатации скважин с боковыми стволами на отечественных месторождениях свидетельствует о том, что размещение насоса в основном стволе выше уровня забуривания БС приводит, как правило, к уменьшению депрессии на пласт и снижению добычи нефти. Спуск штанговых насосов ниже уровня забуривания БС создает условия работы, благоприятные по кривизне ствола, и способствует сохранению потенциального дебита малопродуктивных чисто нефтяных скважин.

Однако размещение насоса в вертикальном стволе скважины может препятствовать проведению тепловой обработки. Спуск электроцентробежного насоса 5-го габарита в вертикальный ствол скважины диаметром 168 или 146 мм будет вынуждать извлекать из скважины всю компоновку подземного оборудования для осуществления прогрева пласта. Это увеличит время простоя скважины и потери добычи нефти. Кроме того, низкое пластовое давление и небольшой по длине условно-вертикальный участок ствола 1 часто не оставляют иного пути, кроме как спуск насосной установки в боковой ствол, диаметр которого меньше диаметра ВС (рис. 1, вариант *в*).

По опыту эксплуатации отечественных месторождений, в боковые стволы с эксплуатационной колонной диаметром 102 мм возможен спуск штанговых вставных насосов типоразмером 29 и 32 мм, невставных – 32 и 44 мм. В боковые стволы с эксплуатационной колонной диаметром 114 мм возможен спуск всех вставных и невставных штанговых насосов. Однако применение данного способа эксплуатации затруднено из-за больших изгибающих напряжений в штанговой колонне и осложнений, которыми сопровождается добыча высоковязкой нефти (водонефтяной эмульсии). Кроме того, наклонный участок отрицательно влияет на рабочие характеристики оборудования.

Для эксплуатации продуктивного пласта по предлагаемому способу предпочтительнее использовать малогабаритные электроцентробежные и винтовые насосы, в частности линейку малогабаритного оборудования компании «Новомет» и винтовые насосы для добычи нефти ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» [3, 4, 5].

Компанией «Новомет» для колонн диаметром 114 мм создана установка ЭЦН 3-го габарита, для колонн диаметром 102 мм – установка 2А габарита.

Максимальный размер установки 3-го габарита составляет 95 мм, диаметр насоса и двигателя – 81 мм. Установки работают с подачей от 40 до 250 м³/сут и комплектуются вентильными двигателями.

Максимальный размер установки габарита 2А составляет 82 мм, диаметр двигателя – 81 мм, диаметр насоса – 69 мм.

Для обеспечения ввода малогабаритных ЭЦН в боковой ствол добавляется центратор, как показано на рис. 2, а для защиты кабельного удлинителя при спуско-подъемных операциях – специальные протекторы.

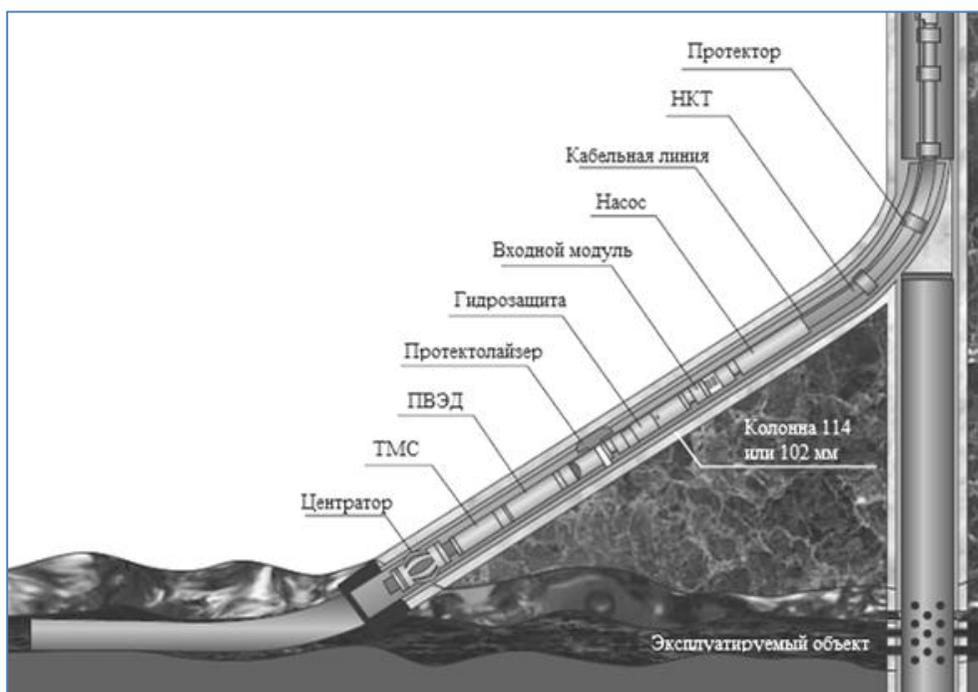


Рис. 2. Применение малогабаритных установок ЭЦН в боковых стволах

В комплект установок производства ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» входят:

а) винтовой насос серии УВНП с наружным диаметром 54 мм для эксплуатации скважин с внутренним диаметром обсадной колонны 89 мм (подача – от 5 до 15 м³/сут, напор – 1200 м);

б) вставной винтовой насос (серия МВНВ) с аналогичными характеристиками, конструкция которого позволяет производить смену насоса без подъема НКТ;

в) винтовые насосы для погружных вентильных электродвигателей (серия НВП) с минимальным диаметром корпуса 90-95 мм двух типоразмеров – с подачей от 80 до 120 м³/сут и напором 1300 м, а также с подачей от 5 до 30 м³/сут и напором до 2500 м;

г) винтовые насосы с подачей от 1 до 40 м³/сут с напором до 2000 м для поверхностных приводов импортного производства.

В отличие от штанговых глубинных насосов винтовые механизмы обеспечивают равномерную подачу и постоянное движение жидкости в одном направлении без пульсаций, создавая за счет самовсасывающей способности постоянную депрессию на пласт. Работоспособность и энергоэффективность установок сохраняется при низких частотах вращения винта, а за счет малой инерционности штанговой колонны параметры работы изменяются достаточно оперативно. Это позволяет эксплуатировать малодобитные и осложненные скважины в стационарном режиме, при оптимальной скорости восходящего потока жидкости с высокой вязкостью и значительным содержанием механических примесей. Соответственно, существенно уменьшается риск образования пробок из асфальтенов, смол, парафинов и твердых частиц пластового и непластового происхождения.

Технические решения по уменьшению числа спуско-подъемных операций

Для проведения тепловой обработки пласта без предварительного извлечения из скважины всей компоновки оборудования может потребоваться спуск двух параллельных колонн насосно-компрессорных труб. О том, что такой вариант технически возможен, говорят следующие примеры.

По способу строительства многостволовой скважины [7], включающему бурение основного ствола и дополнительных боковых стволов, глубинные насосы с цепным или штанговым приводом спускаются в скважину на индивидуальных лифтовых колоннах (рис. 3). Авторы изобретения подчеркивают, что для эксплуатации скважины могут быть использованы любые погружные насосы: штанговые, электроцентробежные, винтовые и т. п. Если позволяют размеры основного ствола 1, могут быть спущены и три лифтовые колонны с насосами, а основной ствол 1 тоже может быть сообщен с продуктивным пластом.

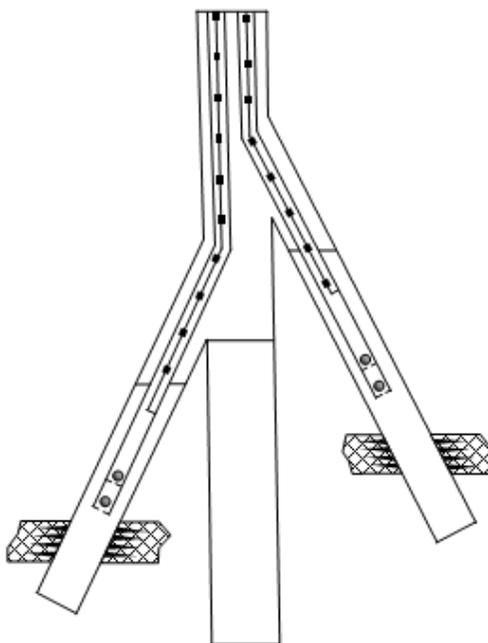


Рис. 3. Схема спуска насосных установок в скважину на индивидуальных лифтовых колоннах

На рис. 4 представлена двухлифтовая установка для одновременно-раздельной эксплуатации двух пластов в скважине. Чтобы исключить возможность закручивания одной колонны НКТ вокруг другой при проведении спуско-подъемных операций, на двухлифтовых скважинах используются децентраторы, что, как отмечает автор [2], снижает аварийность при подземных ремонтах.

Известны байпасные системы (разветвители) типа Y-TOOL и опыт их применения в колоннах диаметром 146 мм для проведения исследований эксплуатируемых объектов с возможностью спуска по НКТ каротажных приборов в обход ЭЦН [4]. Сначала, как показано на рис. 5, производится спуск установки ЭЦН с байпасом и геофизическими приборами на кабеле, после чего установка запускается.

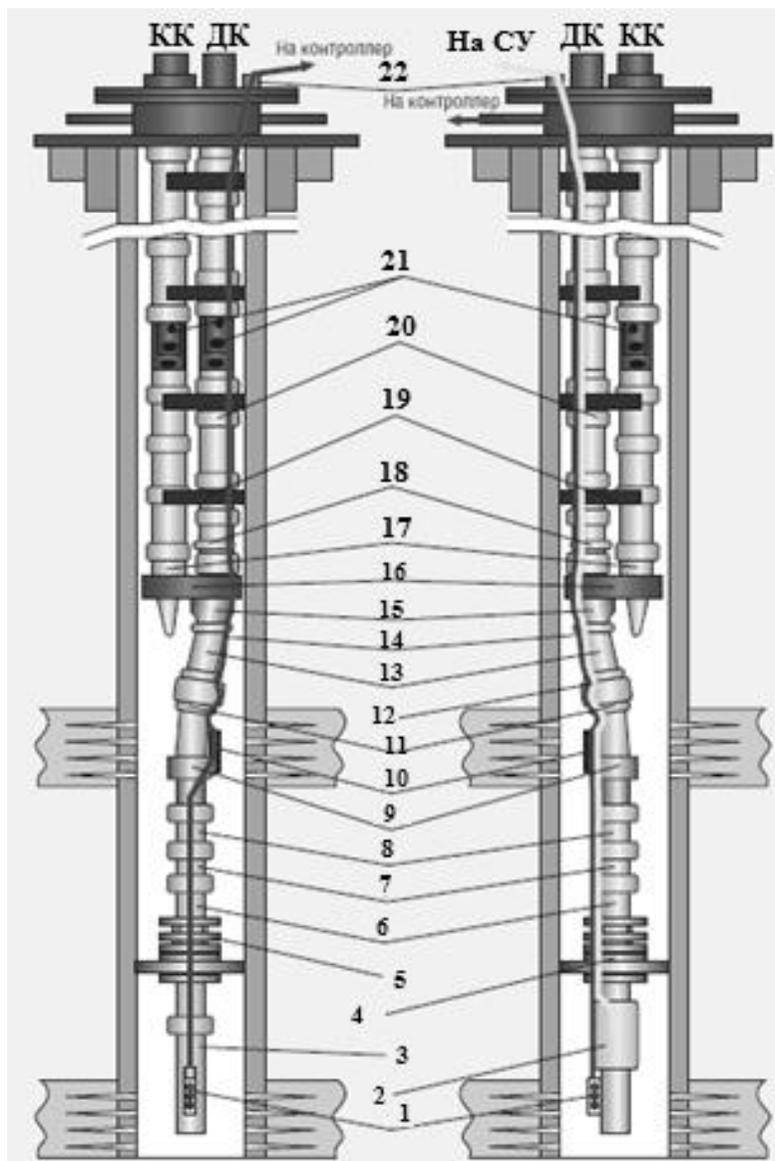


Рис. 4. Схема двухлифтовой установки для одновременно-раздельной эксплуатации двух пластов в одной скважине:

1 – глубинный (подпакерный) прибор; 2 – УЭЦН (без кожуха и системы телеметрии); 3 – перфопатрубок НКТ-2,5"; 4 – пакер 1ПРОК-ИВЭ-1; 5 – пакер М-1Х; 6 – НКТ-2,5"; 7 – реперный патрубок НКТ-2,5"; 8 – НКТ-2,5"; 9 – устройство герметичного перевода кабеля УПК-02; 10 – муфта крепления прибора; 11 – верхний манометр-термометр; 12 – защитные скобы с поясами; 13 – НКТ-2,5"; 14 – геофизический кабель КГ 1х0,75-20-1300А; 15 – силовой кабель УЭЦН (КРБП); 16 – переводник НКТ-2"-5"; 17 – параллельный якорь 6" с ниппелем; 18 – клямсы (пояса); 19 – децентраторы самоориентируемые; 20 – патрубки НКТ-2" с муфтами 69 мм; 21 – насосы СШН; 22 – устройство герметичного вывода кабеля

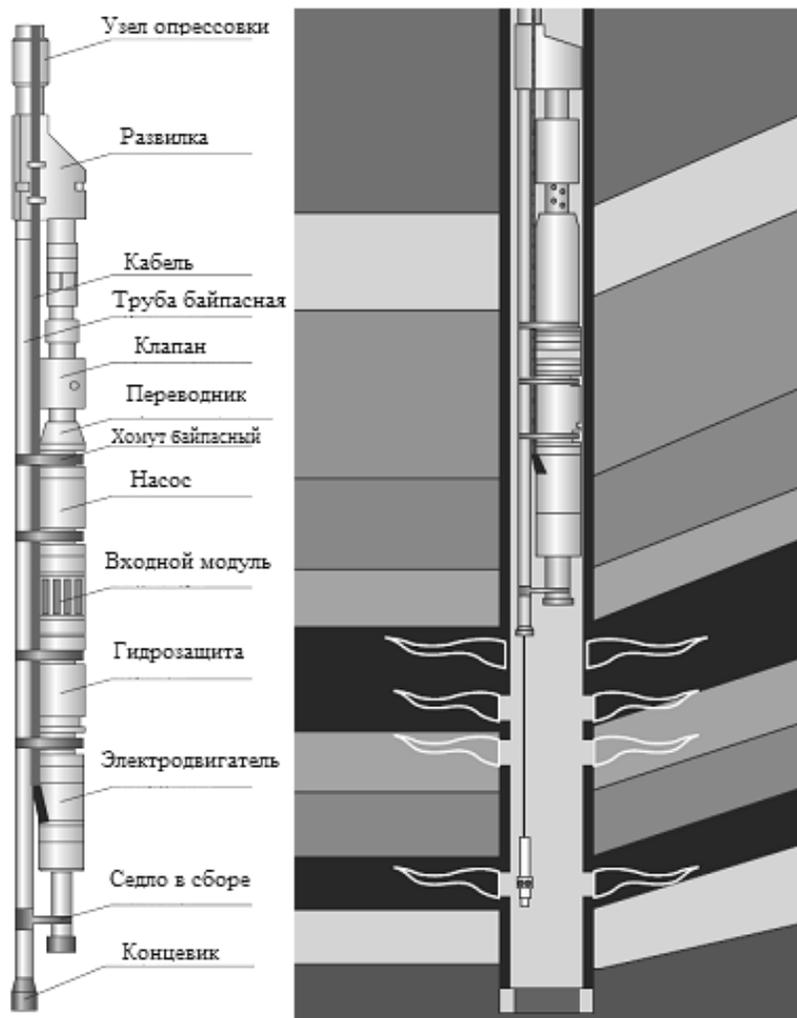


Рис. 5. Принципиальная схема установки с байпасной системой и каротажными приборами на геофизическом кабеле

Таким образом, применение малогабаритного оборудования технически допускает возможность проведения тепловой обработки пласта без предварительного извлечения всей компоновки из скважины. Спуск оборудования для ТБХО может осуществляться одним рейсом на НКТ или геофизическом кабеле.

Обоснование отхода бокового ствола от вертикали

С целью обоснования оптимального отхода бокового ствола от вертикали выполнен расчет радиуса прогрева для условий терригенного пласта Б₂ Волгановского месторождения, расположенного на границе Красноярского и Ставропольского районов Самарской области. Для расчета использован способ Ловерье, позволяющий определять координату температурного фронта в случае закачки в скважину теплоносителя – горячей воды или пара с заданным темпом q (м³/с):

$$r_{np} = \sqrt{\frac{qC_a\rho_a t}{\pi C_n\rho_n h\eta}}, \quad (1)$$

где r_{np} – расстояние от скважины, в пределах которого температура отличается от начальной пластовой;

q – темп закачки теплоносителя;

C_a – теплоемкость агента-теплоносителя;

ρ_a – плотность агента-теплоносителя;

t – время прогрева пласта;

C_n – теплоемкость породы пласта;

ρ_n – плотность пород пласта;

h – нефтенасыщенная толщина пласта;

η – коэффициент охвата пласта воздействием.

Все уравнения в данной статье предполагают использование единиц системы СИ.

В нашем случае в уравнение (1) вместо показателя q подставлялся эквивалентный параметр, значение которого определялось в зависимости от скорости ударной волны, создаваемой импульсом давления в технологии ТБХО.

Скорость ударной волны D рассчитывалась по формуле

$$D = \sqrt{\frac{\rho_c(P - P_0)}{\rho_{0n}(\rho_n - \rho_{0n})}}, \quad (2)$$

где P – давление на фронте ударной волны;

ρ_n – плотность нефти на фронте ударной волны;

ρ_{0n} – плотность нефти перед фронтом ударной волны;

P_0 – давление перед фронтом ударной волны.

Значение параметра, имитирующего темп закачки теплоносителя, рассчитывалось через площадь фильтрации (сумму площадей перфорационных отверстий с плотностью перфорации 40 отв/м) с учетом пористости пласта. При расчете радиуса прогрева сделаны следующие допущения: а) теплопроводность продуктивного пласта по простиранию равна реальной теплопроводности пород, а перпендикулярно напластованию – бесконечности; б) перенос тепла в кровле и подошве происходит только в вертикальном направлении.

Использованный расчетный прием дает значение радиуса прогрева пласта порядка 31 м, но не позволяет оценить степень прогрева пласта по мере удаления от забоя скважины, что указывает на необходимость корректировки и усовершенствования методики расчета. Вместе с тем данные мониторинга состояния пласта после ТБХО, полученные для одной из скважин Ново-Хазинской площади Арланского месторождения [1], указывают на то, что температура ближней зоны пласта через 80 мин после сгорания заряда составила 38 °С. Забойная температура до обработки была равна 26 °С, пластовое давление 13,5 МПа, давление газогидроразрыва пласта 23,9 МПа. Авторы [1] подчеркивают, что в технологиях ТБХО большое значение имеет вес порохового заряда. При увеличении веса заряда прогрев пласта усиливается, однако в реализованных технологиях рост температуры намеренно ограничивался из-за риска «закупорки пласта парафиновыми отложениями, переходящими при температурах выше 120...140 °С вследствие процессов коксообразования в твердое состояние». По этой причине в условиях Узеньского месторождения Республики Казахстан при проведении газогидроразрыва пласта вес заряда, как отмечается, не должен превышать 6-10 кг

на 1 м интервала перфорации. Для Волго-Уральского региона плотная закупорка пласта из-за коксования отложений, по мнению автора [8], возможна в диапазоне температур от 55 до 100...120 °С.

Преимуществом предлагаемого способа разработки месторождений высоковязкой нефти является отсутствие ограничений, связанных с ростом температуры пласта и происходящими в нем изменениями. Вес порохового заряда может быть увеличен (оптимизирован) с целью достижения требуемой температуры на заданном удалении от вертикального ствола скважины. Согласно предварительному расчету, отход БС от вертикали должен составлять 20-25 м.

Выводы

Разработка месторождений высоковязкой нефти скважинами с дуальной системой стволов предоставляет потенциальную возможность периодического прогрета пласта с минимальными энергетическими затратами.

К числу очевидных преимуществ относится генерирование тепла на забое скважины, что приводит к снижению непроизводительных потерь тепла по сравнению с закачкой теплоносителя с поверхности.

Использование в качестве высокотемпературного источника твердого ракетного топлива, как уже доказано практически, способствует его утилизации и не оказывает негативного воздействия на окружающую среду.

Основное ограничение касается глубины залегания пласта (не более 2500 м) и связано с технологией спуска оборудования для термобарообработки в вертикальный ствол. Если учесть, что традиционные тепловые методы эффективны в пластах, глубина залегания которых не превышает 1500 м, то и здесь налицо явное преимущество.

Можно также предположить, что успешность воздействия будет зависеть от толщины непроницаемых пород, экранирующих продуктивный пласт от выше- и нижележащих водоносных горизонтов.

В случае реального прогрета и оптимального температурного режима индикаторами эффективности будут являться интенсификация добычи, увеличение степени выработки запасов и возможность адресного регулирования структурно-механических свойств высоковязкой нефти.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Аглиуллин М.М., Абдуллин В.М., Абдуллин М.М., Курмаев С.А.* Разработка и внедрение термобарохимического метода увеличения продуктивности нефтегазовых скважин // Нефтегазовое дело: Электронный научный журнал. – 2004. http://www.ogbus.ru/authors/Agliullin/Agliullin_1.pdf.
2. *Желонкин А.Л.* Системы постоянного мониторинга для скважин с ОПЭ // Инженерная практика. – 2012. – № 3. – С. 62-67.
3. *Игнатьев М.* Многофакторный анализ // Нефтегазовая вертикаль. – 2011. – № 12. – С. 50-56.
4. *Устинов В.В.* Технологии добычи и исследования скважин с применением малогабаритного оборудования // Инженерная практика. – 2011. – № 4. – С. 40-45.
5. *Худяков Д.А.* Оборудование малого габарита и технические решения для повышения эффективности добычи // Инженерная практика. – 2011. – № 5. – С. 112-115.
6. *Чазов Г.А., Азаматов В.И. и др.* Термохимическое воздействие на малодобитные и осложненные скважины. – М.: Недра, 1986.
7. Пат. 2494215, Российская Федерация, МПК E21В. Способ строительства многоствольной скважины / Гарифов К.М., Ибрагимов Н.Г., Фадеев В.Г., Ибатуллин Р.Р., Кадыров А.Х., Рахманов И.Н., Глухоед А.В., Балбошин В.А. – №2012114541/03; заявл. 12.04.2012; опубл. 27.09.2013. Бюл. № 27.

8. Пат. 2320862, Российская Федерация, МПК E21B043/22. Способ термохимической обработки призабойной зоны нефтяных скважин / Аглиуллин М.М. – № 2006111111/03; заявл. 05.04.2006; опубл. 27.03.2008. Бюл. № 9.
9. Пат. 2459946, Российская Федерация, МПК E21B43/26. Способ обработки призабойной зоны пласта жидким горюче-окислительным составом / Садыков И.Ф., Брюханова О.А., Марсов А.А., Минуллин Р.М., Мокеев А.А. – № 2009124356/03; заявл. 25.06.2009; опубл. 27.08.2012. Бюл. № 24.

Статья поступила в редакцию 24 апреля 2014 г.

METHOD OF HIGH-VISCOSITY OIL FIELD DEVELOPMENT WITH PERIODIC LAY HEATING

V.A. Olkhovskaya, A.M. Zinoviev, S.I. Gubanov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

High-viscosity oil field development with dual-well system gives an opportunity for increasing oil extraction with periodic lay heating. The effect is reached by putting of solid-fuel source on the bottom of vertical hole and fluid recovery from additive rat hole drilled beyond lay desctructive zone. Technical decisions of using small-sized downhole pumping equipment allow to optimize heating and extraction processes. Vertical bottom hole deviation with reservoir heating radius is determined.

Keywords: *High-viscosity oil, thermal treatment, well, dual-well system, Equipment Layout, thermal influence radius.*

*Valeriya A. Olkhovskaya, Associate Professor.
Aleksey M. Zinoviev, Senior Lecture.
Sergey I. Gubanov, Student.*

УДК 66.041.6:662.951.2

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ГОРЕЛКИ ТИПА АГГ

А.С. Печников, Л.Г. Григорян

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: PetchnikovAS@mail.ru

При организации настильного сжигания топлива в топках трубчатых печей большое значение имеет равномерность разогрева излучающей поверхности. Эта задача возложена на горелочные устройства, которые, в свою очередь, должны обеспечивать высокую степень равномерности истечения газозвушной смеси из выходной амбразуры. Для газовых горелок типа АГГ, широко применяемых в трубчатых печах нефтегазопереработки, на основании исследования аэродинамики проточной части сопла определены оптимальные конструктивные размеры амбразуры горелок типа АГГ-2 и АГГ-3, позволяющие достичь высокой степени равномерности выходного вихревого потока газозвушной смеси. Результаты исследований распространены на всю серию горелок типа АГГ, изготавливаемых серийно.

Ключевые слова: горелка типа АГГ, испытания, аэродинамика проточной части сопла, равномерность истечения из сопла.

В трубчатых печах с излучающими стенами топки для процессов нефтегазопереработки широко применяются вихревые веерные горелки типа АГГ [1]. Для создания равномерного температурного поля кладки печей за счет веерных настильных факелов горелок типа АГГ необходимо в первую очередь обеспечить высокую степень равномерности выходных потоков топливо-воздушной смеси из сопла горелок.

Неравномерность выходного газозвушного потока из сопла горелки связана с закруткой его в нескольких каналах завихрителя и геометрией проточной части от выходных каналов завихрителя до среза сопла. С целью определения оптимальных конструктивных размеров проточной части горелок типа АГГ, позволяющих достичь необходимой степени равномерности выходного вихревого потока газозвушной смеси, проведены аэродинамические испытания натуральных образцов горелок типа АГГ-2 и АГГ-3 на стенде.

Течение закрученного потока в цилиндрическом канале характеризуется двумя участками. На первом участке (в непосредственной близости от завихрителя) структура потока определяется конструкцией закручивающего устройства и его геометрическими характеристиками. Нами использовался завихритель (с каналами, выполненными по профилю двухзаходной полуспирали Архимеда), позволяющий максимально сократить длину этого участка. Характерная особенность второго (основного) участка состоит в том, что структура потока на этом участке уже не зависит от вида завихрителя и определяется только интенсивно-

Александр Сергеевич Печников (к.т.н.), старший преподаватель кафедры «Машины и аппараты химических производств».

Леон Гайкович Григорян (д.т.н., проф.), профессор кафедры «Машины и аппараты химических производств».

стью закрутки, которая уменьшается по мере удаления рассматриваемого сечения от завихрителя.

Качественное представление о структуре потока в проточной части модели горелки АГГ объясняется рис. 1.

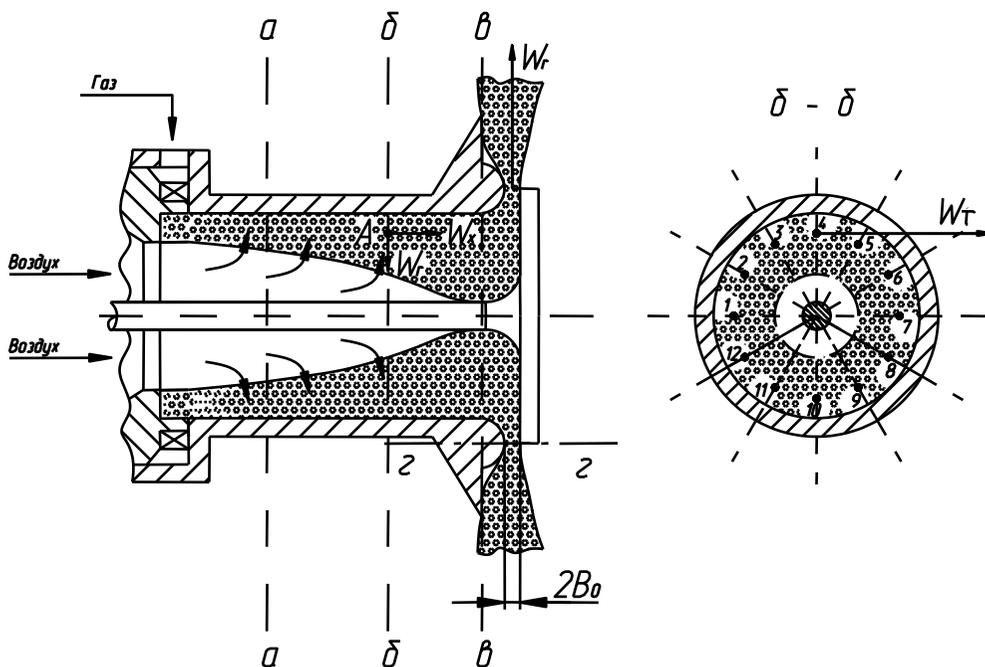


Рис. 1. Схема измерения скоростного напора в проточной части горелки АГГ:

a-a, б-б, в-в, z-z – исследуемые сечения проточной части модели горелки;
 1÷12 – точки замера тангенциальной и радиальной составляющих скорости потока в указанных сечениях

Для создания большого фронта распространения потока за горелкой необходимо сохранить высокую крутку потока и высокие выходные скорости газозвушной смеси, поэтому длину этого участка также необходимо сократить до минимума. При этом основным условием эффективной работы горелки является равномерность поля скоростей газозвушной смеси по периметру камеры смешения у среза сопла.

Для исследования аэродинамики проточной части горелок типа АГГ был разработан и смонтирован аэродинамический стенд, схема которого представлена на рис. 2.

Исследуемая модель 1 горелки АГГ жестко устанавливалась на специальном столике 2. Рабочим телом при испытаниях являлся атмосферный воздух, подаваемый в горелку под давлением за счет компримирования его в компрессорной установке 3. Расход подаваемого на горелку воздуха регулировался вентилем 4 на байпасной линии и замерялся с помощью камерной диафрагмы 5 и дифманометра 6. Давление воздуха в газопроводе до диафрагмы и непосредственно перед горелкой измерялось манометрами 7, а его температура – ртутным термометром 8.

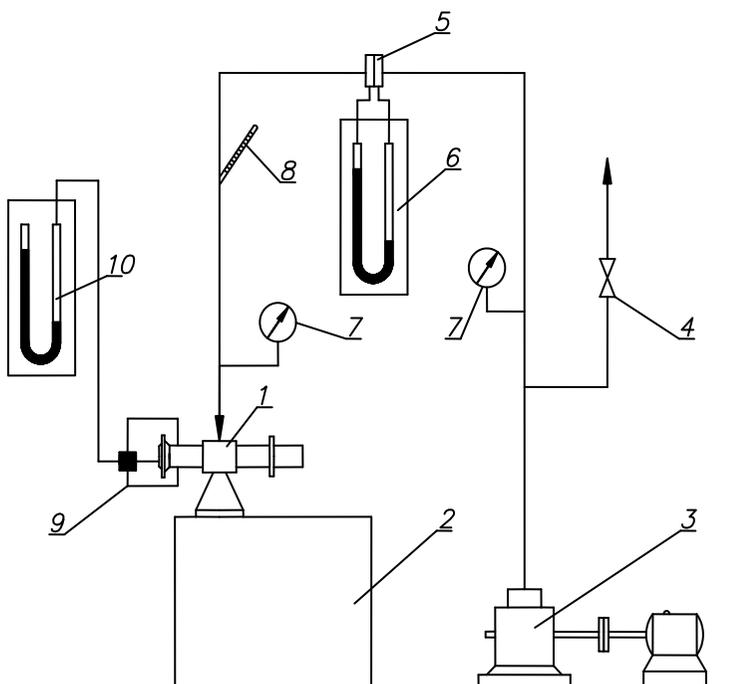


Рис. 2. Схема стенда для исследования проточной части горелки:

1 – исследуемая модель горелки; 2 – столик; 3 – компрессорная установка; 4 – регулировочный вентиль; 5 – камерная диафрагма; 6 – дифманометр; 7 – манометр; 8 – термометр; 9 – координатник с датчиком; 10 – U-образный манометр

Расход воздуха от компрессора определялся измерением перепада давления, показываемого дифманометром, и далее по зависимости

$$V = K \cdot \sqrt{\Delta P}, \text{ нм}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

где K – постоянный для данной диафрагмы коэффициент, взятый из расчета диафрагмы;

ΔP – перепад давления по дифманометру, кгс/м².

При определении размеров измерительной диафрагмы принимались определенные расчетные значения температуры, избыточного давления и плотности компримируемого воздуха, поэтому его расход соответствует измеренному по шкале дифманометра значению только при соблюдении расчетных параметров воздуха. При проведении испытаний измерениями параметров среды выявлялось отклонение указанных величин от расчетных и к показаниям дифманометра дополнительно вводились поправки [2].

Поскольку осевая составляющая скорости W_x у среза сопла мала, оценка неравномерности проводилась по тангенциальной составляющей скорости потока W_r , вырождающейся в радиальную W_r у среза сопла за счет полуторовой выходной амбразуры.

В качестве параметра неравномерности принималось соотношение

$$\varepsilon = \frac{W_{\max} - W_{\min}}{\frac{1}{m} \cdot \sum_{j=1}^m W_j} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где W_{\max}, W_{\min} – экстремальные значения тангенциальной составляющей скорости газоздушного потока W_j , определяемой по периметру камеры смешения модели горелки и на срезе сопла;

j – номер направления измерения в данном сечении;

m – количество направлений.

Для измерения скоростей воздушного потока в проточной части горелки применялся пневмометрический метод. Для определения направления скоростного напора и его значения в соответствующих точках воздушного потока использовалась трубка Пито и цилиндрический зонд, изготовленный в виде трубки диаметром 1 мм, заглушенной с торца, с боковым отверстием, равным $0,3d_{TP}$ и расположенном на расстоянии $3d_{TP}$ от торца. Положение пневмометрической трубки и зонда в соответствующих точках воздушного потока устанавливалось при помощи координатника 9, обеспечивающего перемещение трубки и зонда в вертикальной и горизонтальной плоскостях, а также круговое вращение относительно оси модели горелки.

Тангенциальная составляющая скорости воздушного потока внутри и на выходе из камеры смешения (на срезе сопла) определялась по перепаду давления, измеренного при помощи цилиндрического зонда и U -образного манометра по формуле

$$W_{\tau} = 4,43 \cdot K_1 \cdot \sqrt{\Delta h_i}, \text{ м/с}, \quad (3)$$

где $K_1 = 0,71$ – тарировочный коэффициент зонда;

Δh_i – показания U -образного манометра при измерениях, кгс/м².

Измерения величины напора, вызванного тангенциальной составляющей скорости газового потока, проводились в двенадцати точках по периметру камеры смешения ($m = 12$), в трех сечениях по ее длине и на срезе сопла горелки (на расстоянии от внутренней поверхности камеры смешения, соответствующем максимальному значению скоростного напора). Исследуемые сечения выбирались на расстоянии от выходной части завихрителя, соответствующем 0,7; 1,2 и 1,55 диаметров камеры смешения, и на срезе сопла горелки (см. рис. 1).

Результаты исследований аэродинамики проточной части горелок типа АГГ-3 и АГГ-2 (при расходе компримируемого воздуха, близком к номинальному) представлены на рис. 3, где графически показано угловое распределение относительной тангенциальной составляющей скорости воздушного потока по сечениям проточной части и на выходе из сопла (на срезе) исследованных типов горелок.

По характеру представленной картины видно, что распределение тангенциальной составляющей скорости газового потока по периметру камеры смешения в каждом из сечений имеет по два явно выраженных максимума, соответствующих числу выходных каналов завихрителя, которые по мере удаления от завихрителя сглаживаются.

На расстоянии более 1,55 диаметра камеры смешения параметр неравномерности близок к 10 % (при нагрузках, близких к номинальным). Полученные результаты соответствуют теоретическим представлениям о диссипации энергии при смешении закрученного и осевого потоков газа в цилиндрическом канале. Дальнейшее снижение неравномерности может быть достигнуто путем увеличения числа выходных каналов завихрителя и (или) увеличения длины камеры

смещения, однако в первом случае усложняется конструкция горелки из-за дополнительной нарезки каналов, при этом уменьшаются также размеры газовых каналов, а во втором – снижается момент количества движения (закрутка) потока и, как следствие, сужается диапазон устойчивой работы горелки. Диаметр камеры смещения и ее длина определены из условий сохранения средних значений момента количества движения и скоростных характеристик у среза сопла в рабочем диапазоне производительности горелки по топливу. Таким образом, установлено соотношение длины камеры смещения и ее диаметра, принятое для конструктивного исполнения изготавливаемых горелок:

$$l_{KC} = (1,55 \div 1,8) \cdot d_{KC}, \text{ м}, \quad (4)$$

где d_{KC} – диаметр камеры смещения, м.

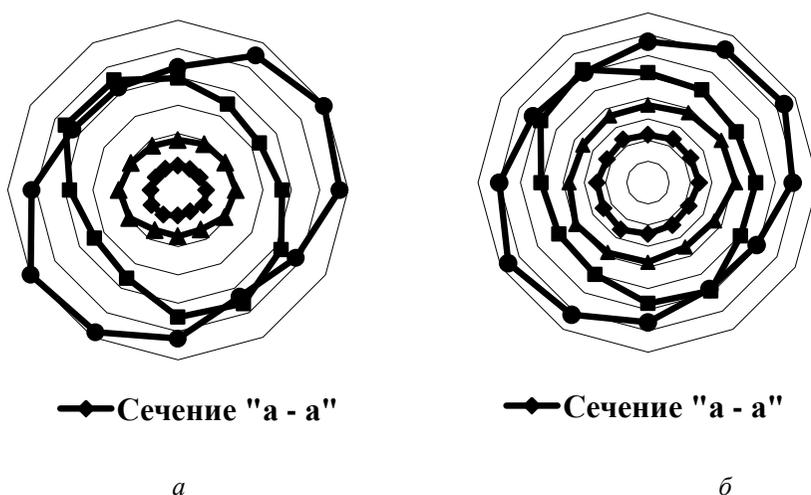


Рис. 3. Угловое распределение тангенциальной составляющей скорости потока в проточной части горелки типа АГГ-3 при производительности 56 м³/ч (а) и горелки типа АГГ-2 при производительности 122 м³/ч (б)

Получив разомкнутый газовый поток на срезе сопла горелки с минимальной неравномерностью по периметру сопла, следует ожидать минимальный градиент температур излучающей стенки печи по концентрическим окружностям вокруг горелок, что было выявлено и доказано последующими огневыми испытаниями горелок типа АГГ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шарихин В.В. Газовые горелки типа АГГ для систем сжигания топлива в трубчатых печах / В.В. Шарихин, Т.Н. Мухина, А.С. Печников, В.В. Степанчук // Нефтепереработка и нефтехимия. – 1998. – № 1. – С. 32-35.
2. Справочник эксплуатационника газовых котельных / Под ред. Е.Б. Столнера. – Л.: Недра, 1976. – 528 с.

Статья поступила в редакцию 30 июня 2014 г.

AERODYNAMIC RESEARCH OF AGG-TYPE BURNER FLOWING PART

A.S. Petchnikov, L.G. Grigoryan

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

Radiant surface heating regularity has the high profile at gas incineration in furnaces. This problem is solving by burners which must guarantee high regularity of air-gas outlet stream. AGG-type gas burners are much used in furnaces for oil refining. On the basis of aerodynamic research optimal constructive dimensions are determined. They allows to amount to high regularity of outlet vortical air-gas stream. Results of research are extended for all series-produced AGG-type burners.

Keywords: burner type AGG test, aerodynamics of nozzle flowing part, regularity of nozzle stream.

УДК 517.958:536.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

А.Ю. Шупляк, С.П. Шкарунна

Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Приводится математическое описание процесса открытого испарения веществ из нефтешламонакопителей. Исследования аналитического решения позволили выделить четыре основные области протекания процесса испарения углеводородов с открытых поверхностей в зависимости от значений критериальных чисел. На основе полученных результатов предложена упрощенная математическая модель открытого испарения углеводородов, подтверждающая существование указанных областей. Установлено, что испарение веществ с поверхности нефтешлама лимитируется скоростью диффузии веществ в жидкой фазе. Получена зависимость коэффициентов диффузии испаряющихся веществ от температуры и молекулярной массы.

Ключевые слова: нефтесодержащие отходы, математическая модель, испарение, массообмен, скорость диффузии.

Технологический процесс добычи и переработки нефти сопровождается образованием значительного количества нефтесодержащих отходов, или нефтешламов. Нефтешламы накапливаются в шламовых амбарах, ило- и нефтешламонакопителях, ямах аварийного хранения продукта, на полигонах нефтеотходов и др. Подавляющее большинство таких объектов открыто расположены на местности и активно воздействуют на атмосферу [1].

Общие закономерности процесса испарения легких углеводородов, полученные на основе экспериментальных данных, представлены в работе [1, 2]. Экспериментально установлено, что интенсивность испарения углеводородов с поверхности нефтешламов экспоненциально зависит от времени. В существующих в настоящее время методах оценки скорости испарения нефтесодержащих отходов учитывают только испарение углеводородов с поверхности жидкости на границе раздела фаз [2]. Результаты экспериментального исследования процесса испарения многокомпонентных углеводородосодержащих смесей для открытых систем позволяют сделать вывод о влиянии также массопереноса веществ внутри жидкой фазы на процесс их испарения [1].

Полное математическое описание процесса испарения многокомпонентной жидкости для открытых систем с учетом массопереноса веществ в жидкой фазе при постоянной температуре приведено в [3, 4]:

$$\frac{\partial}{\partial t} C_i(x, t) = D_i \frac{\partial^2}{\partial x^2} C_i(x, t) \text{ при } h(t) < x < \infty, i \in [1..N]; \quad (1)$$

Анатолий Юрьевич Шупляк, инженер кафедры «Химическая технология и промышленная экология».

Светлана Петровна Шкарунна (к.х.н., доц.), доцент кафедры «Химическая технология и промышленная экология».

$$J_i(t) = C_i(x, t) dh(t) / dt + D_i \partial C_i(x, t) / \partial x \text{ при } x = h(t), i \in [1..N]; \quad (2)$$

$$C_i(x, t) = C_{0,i} \text{ при } t = 0, i \in [1..N]; \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} h(t) = \sum_{i=0}^N [J_i(t) / \rho_i], i \in [1..N]; \quad (4)$$

$$h(t) = 0 \text{ при } t = 0; \quad (5)$$

$$J_i(t) = \varepsilon p_i Y_i(t) \sqrt{\mu_i / (2\pi RT)}; \quad (6)$$

$$Y_i(t) = (C_i(x, t) / \mu_i) / \sum_{j=1}^N [C_j(x, t) / \mu_j] \text{ при } x = h(t); \quad (7)$$

$$\partial C_i(x, t) / \partial x = 0 \text{ при } x = H, \quad (8)$$

где t – время;

x – координата в жидкой фазе перпендикулярно границе раздела фаз (начало координат соответствует нахождению границы раздела фаз в начальный момент времени);

i – порядковый номер компонента;

$C_{0,i}$, C_i – начальная концентрация и концентрация в произвольный момент времени i -го компонента;

D_i , J_i , μ_i , p_i , ρ_i – коэффициент диффузии, интенсивность испарения, молярная масса, давление насыщенных паров и плотность i -го компонента соответственно;

Y_i – молярная доля компонента в растворе на границе раздела фаз;

$h(t)$ – функция зависимости координаты границы раздела фаз от времени;

N – число веществ в растворе;

ε – эмпирический коэффициент, зависящий от движения воздушных масс над поверхностью жидкости [3].

Краевая задача (1)-(8) может быть решена только численными методами. Однако возможность получения численного решения ограничена наличием данных о химическом составе нефтесодержащего отхода и литературными данными по коэффициентам диффузии испаряющихся веществ в жидкой фазе. Поэтому для проверки применимости модели необходимо рассмотреть стадии процесса испарения веществ, которые позволяют исключить параметры, оказывающие пренебрежимо малое воздействие на систему. В этом случае возможно аналитическое решение математической модели с целью определения коэффициентов диффузии испаряющихся веществ в жидкой фазе на основе экспериментальных данных.

В качестве одной из таких областей можно рассмотреть испарение сильно разбавленного раствора, где в качестве растворителя выступает плохо испаряющееся вещество [3]. Для глубины H для разбавленного раствора решением задачи является функция

$$J_i^H(t) = 2 \frac{D_i C_{0,i}}{H_{eff}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\lambda_{k,i} \xi_{n,i}^2 \exp(-\chi_{n,i} F o_i)}{\chi_{n,i}^2 / (\lambda_{k,i} - 2\lambda_{b,i}) + \chi_{n,i} (1 + \lambda_{k,i}) - \lambda_{b,i} \lambda_{k,i}}, \quad (9)$$

где $t \in [0..t_{\max}]$, $\lambda_{b,i}$, $\lambda_{k,i}$, $\chi_{n,i}$ – безразмерные критериальные числа, определяемые выражениями:

$$\lambda_{b,i} = P e_i / 2 = (b H_{eff} / D_i) / 2; \quad (10)$$

$$\lambda_{k,i} = k_i H_{eff} / D_i; \quad (11)$$

$$\chi_{n,i} = \xi_{n,i}^2 + \lambda_{b,i}^2, \quad (12)$$

где $P e_i = b H_{eff} / D_i$, $F o_i = D_i \chi_{n,i} t / H_{eff}^2$ – диффузионные критерии Пекле и Фурье;

b – усредненная скорость движения границы раздела фаз (стефановского потока);

k_i – коэффициент скорости испарения i -го компонента:

$$k_i \approx \varepsilon \mu_1 p_i / (\rho_1 \sqrt{2\pi \mu_1 R T}), \quad (13)$$

μ_1 , ρ_1 – молярная масса и плотность плохо испаряющегося компонента, накапливающегося на поверхности; $\xi_{n,i}$ – множество положительных корней следующего трансцендентного уравнения на отрезках $(n\pi; n\pi + \pi/2)$, $n = [0.. \infty)$:

$$\tan(\xi_{n,i}) / \xi_{n,i} = (\lambda_{k,i} - 2\lambda_{b,i}) / (\xi_{n,i}^2 + \lambda_{k,i} \lambda_{b,i} - \lambda_{b,i}^2), \quad (14)$$

при больших значениях переменной t

$$J_i^H(t) \approx A_{3,i} \exp(-A_{4,i} t); \quad (15)$$

$$A_{3,i} = \frac{1}{H_{eff}} \frac{2C_{0,i} D_i \lambda_{k,i} \xi_0^2}{\chi_{0,i}^2 / (\lambda_{k,i} - 2\lambda_{b,i}) + \chi_{0,i} (1 + \lambda_{k,i}) - \lambda_{b,i} \lambda_{k,i}}; \quad (16)$$

$$A_{4,i} = \chi_{0,i} F o_i, \quad (17)$$

где $\chi_{0,i}$ – характеристическая функция, зависящая от критериальных чисел $\lambda_{k,i}$, $\lambda_{b,i}$, учитывающих скорость испарения веществ с поверхности, скорость стефановского потока и скорость диффузионного потока [3].

Значения критериальных чисел позволяют определить область протекания процесса испарения веществ. Применимость модели слоем жидкости конечной толщины ограничена областью существования решений трансцендентного уравнения (14) [3]:

$$\lambda_{b,i} < 1 + 0,5\lambda_{k,i} - 0,5\sqrt{\lambda_{k,i}^2 + 4}, \quad \lim_{\lambda_{k,i} \rightarrow \infty} \lambda_{b,i} < 1. \quad (18)$$

Выражение (9) содержит ряд усредненных параметров, вносящих погрешность, поэтому целесообразно провести исследование влияния параметров критериальных чисел на точность полученных решений введением допустимого процента потери качества модели ($\Delta_{доп} = 1\%$):

$$(f - f_{ynp}) / f \cdot 100\% \leq \Delta_{доп}, \quad (19)$$

где f – значения оригинальной функции;

f_{ynp} – значения, принимаемые упрощенной функцией.

Используя выражение (19), получим критерий пренебрежимо малого воздействия стефановского потока ($\lambda_{b,i} \rightarrow 0$):

$$\lambda_{b,i} < 1 + 0,5\lambda_{k,i} - \sqrt{(1 + 0,5\lambda_{k,i})^2 - 0,04\lambda_{k,i}} / 1,01, \quad \lim_{\lambda_{k,i} \rightarrow \infty} \lambda_{b,i} < 0,01. \quad (20)$$

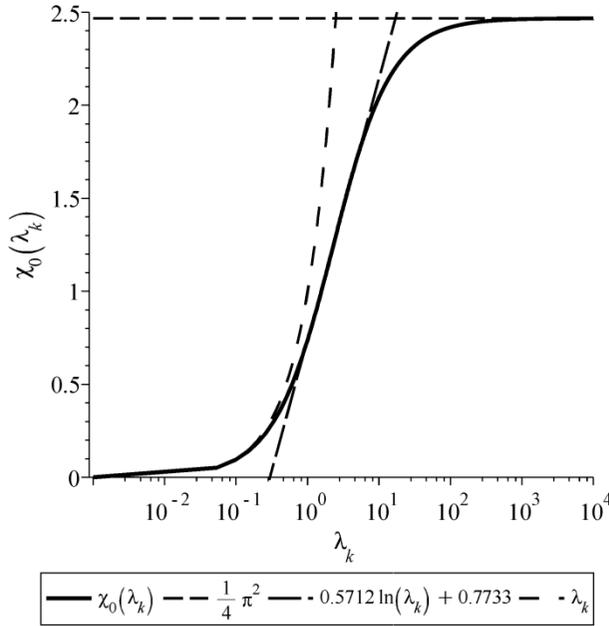


Рис. 1. График функции $\chi'(\lambda_b)$

При $\lambda_{b,i} \rightarrow 0$ получаем следующие зависимости $\chi_{0,i}$ от значений $\lambda_{k,i}$ (рис. 1):

$$\chi_{0,i}(\lambda_{k,i}) \approx \pi^2/4, \quad \lambda_{k,i} \geq 200; \quad (21)$$

$$\chi_{0,i}(\lambda_{k,i}) \approx A_5 + A_6 \ln(\lambda_{k,i}), \quad 1 \leq \lambda_{k,i} \leq 6; \quad (22)$$

$$\chi_{0,i}(\lambda_{k,i}) \approx \lambda_{k,i}, \quad \lambda_{k,i} \leq 0,03. \quad (23)$$

Таким образом, для разбавленного раствора получены четыре основные области протекания процесса испарения для каждого вещества:

1) лимитирующая стадия «диффузия вещества в жидкой фазе» ограничена выполнением условий (20) и (21);

2) лимитирующая стадия «испарение вещества с поверхности раздела двух фаз» ограничена выполнением условий (20) и (23);

3) смешанная область, характеризующаяся отсутствием доминирующих параметров, ограничена выполнением условия (18);

4) модель бесконечного слоя жидкости характеризуется невыполнением условия (18).

Для первой области интенсивность испарения i -го компонента не зависит от критериальных чисел $\lambda_{k,i}$, λ_b и лимитируется только диффузией вещества в растворе. Для второй области скорость испарения не зависит от коэффициента диффузии и определяется коэффициентом скорости испарения веществ с поверхно-

сти раздела фаз. Если условие (23) выполняется для всех растворенных веществ, то система дифференциальных уравнений (1)-(8) примет вид

$$\frac{d}{dt} m_i(t) = -\frac{\varepsilon S p_i}{\sqrt{2\pi\mu_i RT}} m_i(t) / \sum_{j=0}^N (m_j(t)/\mu_j), \quad i \in [0..N], \quad t \in [0..\infty]; \quad (24)$$

$$m_i(t) = m_{0,i}, \quad i \in [0..N], \quad t = 0, \quad (25)$$

где $m_{i,0}$, m_i – начальная масса и масса в произвольный момент времени i -го компонента в растворе;

S – площадь зеркала испарения.

Аналитическое решение задачи (24)-(25) можно выразить в виде n трансцендентных уравнений:

$$\sum_{j=0}^N \left[\frac{m_{0j}}{p_j \sqrt{\mu_j}} [m_i(t)/m_{0i}]^{\alpha_{j,i}} \right] + \varepsilon \frac{St}{\sqrt{2\pi RT}} = \sum_{j=1}^n \left[\frac{m_{0j}}{p_j \sqrt{\mu_j}} \right], \quad i \in [0, N]. \quad (26)$$

Интенсивность испарения определяется дифференцированием выражения (26) в виде

$$J_i(t) = \frac{\varepsilon p_i}{\sqrt{2\pi\mu_i RT}} / \sum_{j=0}^N [m_{0j} [m_i(t)/m_{0i}]^{\alpha_{j,i}-1} / \mu_j], \quad i \in [0..N], \quad (27)$$

где $J_i = -S^{-1} dm_i(t)/dt$ – интенсивность испарения;

$m_i(t)$ определяется решением трансцендентного уравнения (26).

Проверка полученных решений (9)–(14), (26)–(27) выполнялась посредством аппроксимации экспериментальных данных. Поскольку в модели присутствуют неизвестные величины – коэффициент ε , значения коэффициентов диффузии веществ и концентраций компонентов в нефтешламе, которые необходимо учитывать при обработке экспериментальных данных, рассмотрим преобразование (26)–(27) относительно неизвестных величин. Из выражения (27) методом наименьших квадратов можно получить значение неизвестного коэффициента:

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sqrt{2\pi RT} \sum_{j=1}^n \left[\sum_{u=1}^n J_{j,u} / (p_j \sqrt{\mu_j}) \right], \quad (28)$$

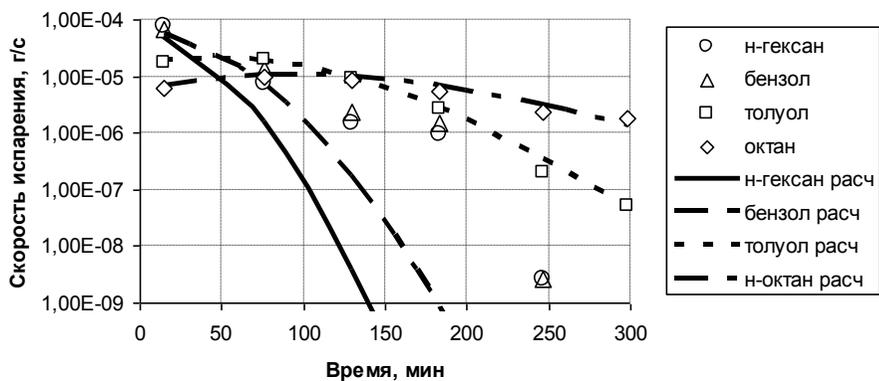
где $J_{j,u}$ – значение интенсивности испарения, определяемое из опыта и соответствующее времени $t_{j,u}$.

Коэффициент ε можно также определить из формулы (26):

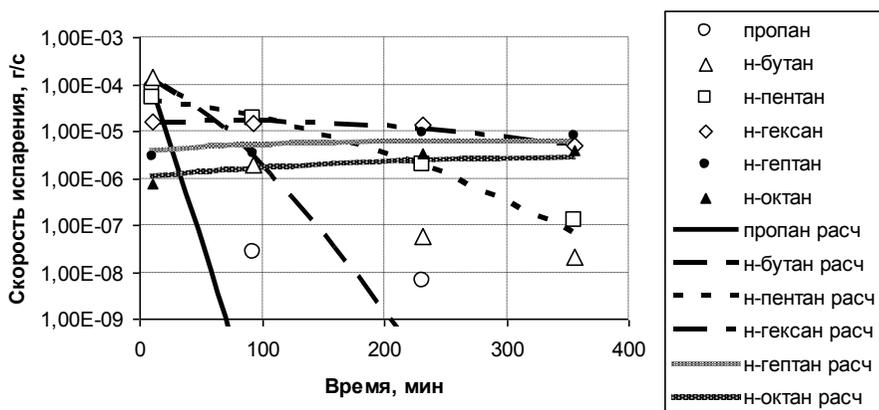
$$\varepsilon = \frac{1}{tS} \sqrt{2\pi RT} \sum_{j=0}^N \left[m_{0j} (1 - [m_i(t)/m_{0i}]^{\alpha_{j,i}}) / (p_j \sqrt{\mu_j}) \right], \quad (29)$$

где значение массы i -го компонента определяется из трансцендентного уравнения, получаемого аналитическим решением модели (26)–(27) через изменение массы испаряющейся жидкости:

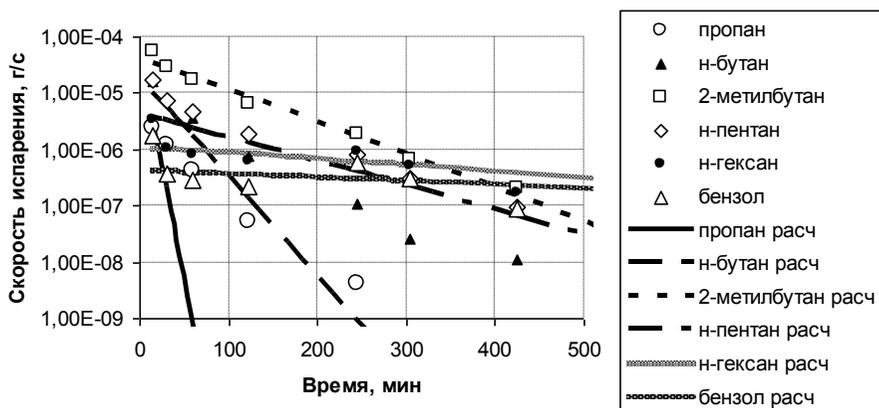
$$\sum_{j=0}^N \left[m_{0j} (m_i(t)/m_{0i})^{\alpha_{j,i}} \right] = \sum_{j=0}^N m_j(t). \quad (30)$$



a



б



в

Рис. 2. Сравнение результатов расчета с экспериментальными данными.
 Скорости испарения индивидуальных компонентов:
a – н-гексан, бензол, толуол, н-октан, н-додекан; *б* – бензин; *в* – бензин в н-додекане

Усредненное значение стефановского потока определяется из формулы

$$b = \Delta H / t_{\text{эксп}}, \quad (31)$$

где ΔH – изменение толщины слоя испаряющейся жидкости за время проведения эксперимента;

$t_{\text{эксп}}$ – время проведения эксперимента.

Для проверки предложенного решения проведена серия экспериментов по методике, описанной в [1], с использованием специально приготовленных модельных смесей следующего состава: 1 – смесь н-гесана, бензола, толуола, н-октана, н-додекана в объемном соотношении 1:1; 2 – стандартный бензин с октановым числом 92; 3 – раствор бензина в н-додекане. Результаты аппроксимации представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Результаты определения коэффициента ε разными методами и коэффициент достоверности аппроксимации

| Наименование | Коэффициент ε | | | Коэффициент достоверности |
|--------------|---------------------------|--------------|-----------------|---------------------------|
| | Формула (28) | Формула (29) | Численный метод | |
| Смесь 1 | 1,30 | 3,41 | 3,65 | 0,980 |
| Смесь 2 | 2,02 | 2,47 | 2,70 | 0,994 |
| Смесь 3 | 0,69 | 1,68 | 1,92 | 0,387 |

Из табл. 1 следует, что результаты расчета по формуле (28) дают существенную погрешность, которая уменьшается по мере увеличения экспериментальных данных об интенсивности испарения всех веществ. Разность между расчетом по формуле (29) и решением численными методами определяется погрешностью определения интенсивности испарения индивидуальных компонентов.

Анализ результатов обработки опытов по модели (26)-(27) позволяет заключить, что при высокой концентрации легко испаряющихся веществ результаты аналитического расчета в целом соответствует экспериментальным данным, но для конкретного вещества может наблюдаться их расхождение. По мере снижения концентрации испаряющихся веществ погрешность увеличивается.

Таким образом, модель (26)-(27) применима для расчета суммарной скорости испарения смеси, состоящей преимущественно из быстро испаряющихся компонентов, но расчет испарения отдельных компонентов может давать значительную погрешность. Для расчета испарения смеси, содержащей большое количество высококипящих компонентов, модель (26)-(27) неприменима.

Для модели (9)–(14) преобразуем выражение (11):

$$\lambda_{k,i} = \frac{\varepsilon \mu_{cm} p_{n,i} H_{eff}}{\rho_{cm} D_i \sqrt{2\pi \mu_i RT}} = \frac{\varepsilon \mu_{cm} H_{eff}}{\rho_{cm} \sqrt{2\pi RT}} \frac{p_{n,i}}{D_i \sqrt{\mu_i}} = \frac{\varphi \psi_i H_{eff}}{D_i \sqrt{2\pi RT}}, \quad (32)$$

где φ – постоянная, зависящая от условий проведения опыта;

ψ_i – константа, характеризующая индивидуальные свойства компонента в смеси, определяемые выражениями:

$$\varphi = \varepsilon \mu_{cm} / \rho_{cm}, \quad (33)$$

$$\psi_i = p_{n,i} / \sqrt{\mu_i}. \quad (34)$$

Исходя из формул (32) – (34), запишем выражение (9) в виде

$$J_i(t) = C_{0,i} I(\varphi, D_i, \psi_i, b, H_{eff}, t), \quad (35)$$

где

$$I(\varphi, D_i, \psi_i, b, H_{eff}, t) = 2 \frac{D_i}{H_{eff}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\lambda_{k,i} \zeta_{n,i}^2 \exp(-\chi_{n,i} F o_i)}{\chi_{n,i}^2 / (\lambda_{k,i} - 2\lambda_{b,i}) + \chi_{n,i} (1 + \lambda_{k,i}) - \lambda_{b,i} \lambda_{k,i}}, \quad (36)$$

λ_k определяется по выражению (32).

Полученное выражение (35) содержит три неизвестных коэффициента – один линейный $C_{0,i}$ и два нелинейных φ , D_i , которые можно получить аппроксимацией экспериментальных данных. Величина $C_{0,i}$ постоянна для всех обрабатываемых опытов, величина φ постоянна для всех веществ в индивидуальном опыте, величина D_i индивидуальна для каждого компонента и зависит от температуры.

Для определения неизвестных параметров необходимо отыскать минимум функции по переменным φ , D_i , u :

$$\delta(\varphi, C_{0,i,u}, D_{i,u}, \psi_{i,u}) = \sum_{i=1}^{n_{вещ}} \sum_{j=1}^{n_{точ}} [J_{i,j,u}^{экс} - C_{0,i,u} I(\varphi, D_{i,u}, \psi_{i,u}, b_u, H_{eff}, t_j)]^2, \quad (37)$$

где $n_{вещ}$ – число анализируемых веществ; $n_{точ}$ – число экспериментальных точек, соответствующих определенному промежутку времени.

Таблица 2

**Результаты обработки экспериментальных данных по испарению бензина
в полифениловом эфире**

| Компонент | Коэфф. диффузии, $10^{-10} \text{ м}^2/\text{с}$ | Коэфф. достоверности | Концентрация, $\text{г}/\text{м}^3$ | | Отн. погрешность, % |
|----------------|--|----------------------|-------------------------------------|------------|---------------------|
| | | | $C_{расч}$ | $C_{эксп}$ | |
| Пропан | 2,06 | 0,973 | 219 | 194 | 13 |
| Изобутан | 1,54 | 0,923 | 1552 | 1477 | 5 |
| Бутен-1 | 1,81 | 0,955 | 681 | 643 | 6 |
| Н-бутан | 1,84 | 0,956 | 1743 | 1749 | 0,3 |
| Бутен-2т | 2,11 | 0,960 | 607 | 667 | 9 |
| Бутен-2с | 1,77 | 0,939 | 493 | 609 | 19 |
| 3-метилбутен-1 | 1,68 | 0,901 | 104 | 112 | 7 |
| 2-метилбутан | 1,23 | 0,858 | 8882 | 9896 | 10 |
| Пентен-1 | 1,47 | 0,848 | 286 | 362 | 21 |
| 2-метилбутен-1 | 1,23 | 0,807 | 522 | 659 | 21 |
| Н-пентан | 1,88 | 0,817 | 2618 | 3633 | 28 |

В выражении (37) начальное значение концентраций испаряющихся компонентов определяется методом наименьших квадратов, остальные три неизвестных величины определяются численными методами.

Данный алгоритм был апробирован для модельной смеси бензина (концентрация 0,1222 г/мл) в полифениловом эфире и для нефтешлама Нефтегорского

нефтестабилизирующего предприятия с прудов дополнительного отстоя (ПДО). Результаты аппроксимации опыта бензина с полифениловым эфиром представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что при высоких значениях коэффициентов достоверности ($>0,9$) средняя погрешность не превышает 8,5 % и в единичном опыте достигает 20 %.

Для нефтешлама с ПДО результаты поиска минимума функции отражены на графике (рис. 3), из которого видно, что функция (37) не имеет четко выраженного минимума. Следовательно, влиянием коэффициента φ можно пренебречь и зависимость находится в области, определяемой выражением (22).

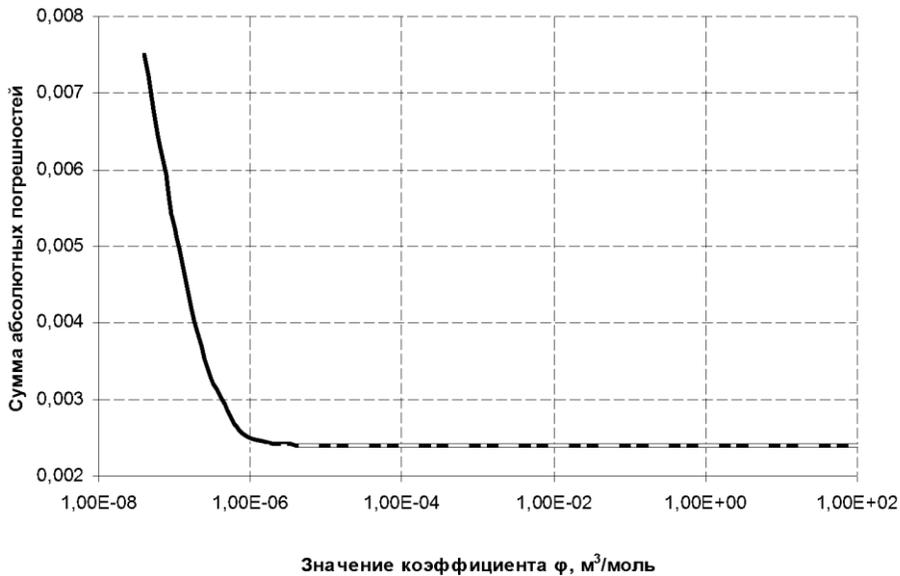


Рис. 3. Зависимость суммарной абсолютной погрешности от φ

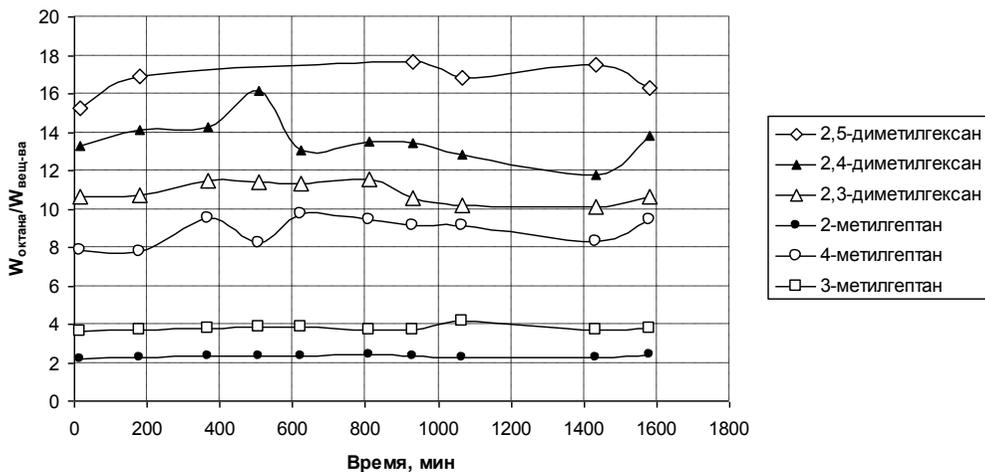


Рис. 4. Зависимость отношения скоростей испарения октана к его изомерам для различных промежутков времени

С учетом анализа данных, полученных при первичной математической обработке, была выдвинута гипотеза о зависимости коэффициентов диффузии от мо-

лярных масс компонентов. На рис. 4 отображены отношения экспериментальных скоростей испарения веществ с одинаковой молекулярной массой для различных промежутков времени.

Аппроксимацией полученных значений коэффициентов диффузии, рассчитанных в результате математической обработки экспериментальных данных для температур от 30 до 70 °С по веществам с температурами кипения от пропана до октана, была получена следующая формула:

$$D_T = 0,2149\mu^{-0,5} \exp(-5386/T). \quad (38)$$

Графические результаты аппроксимации представлены на рис. 5 и 6.

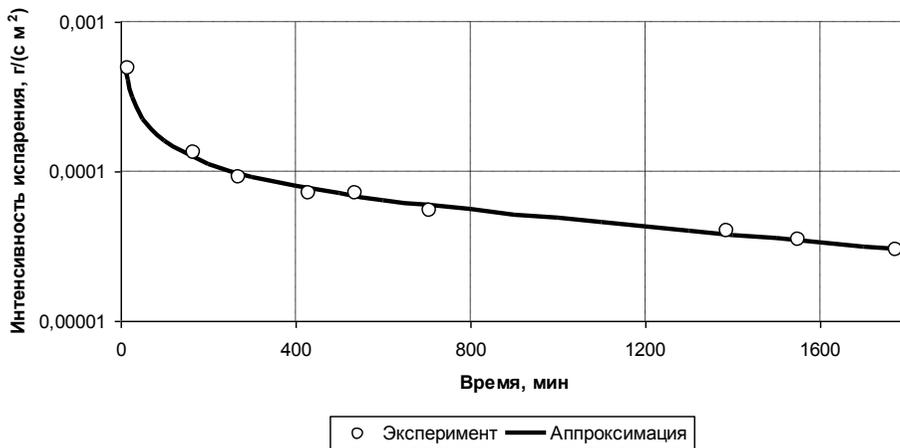


Рис. 5. Изменение интенсивности испарения н-пентана из нефтешлама с ПДО при 30 °С

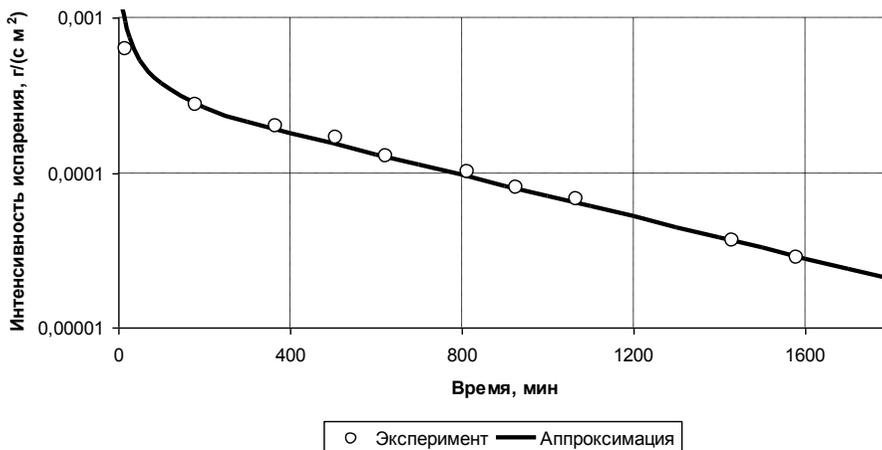


Рис. 6. Изменение интенсивности испарения н-пентана из нефтешлама с ПДО при 70 °С

Таблица 3

Усредненные значения скорости стефановского потока и $\lambda_{b,i}$

| Температура, °С | Скорость стефановского потока, м/с | Значение $\lambda_{b,i}$ | |
|--------------------|---------------------------------------|--------------------------|--------------|
| | | Минимальное | Максимальное |
| 30 | $3,866 \cdot 10^{-9}$ | 0,062 | 0,102 |
| 50 | $8,484 \cdot 10^{-9}$ | 0,046 | 0,074 |
| 60 | $1,220 \cdot 10^{-8}$ | 0,040 | 0,064 |
| 70 | $1,603 \cdot 10^{-8}$ | 0,033 | 0,053 |

Таким образом, в результате математической обработки экспериментальных данных процесса испарения углеводородов в открытых системах установлено, что модель (24)–(25), не учитывающую диффузию веществ в жидкой фазе, можно применять только для легкоиспаряющихся жидких смесей. Для расчета испарения углеводородов с открытой поверхности нефтешламонакопителей следует применять модель (1)–(8).

Установлено, что испарение компонентов может происходить в разных режимах в зависимости от значений критериальных чисел $\lambda_{b,i}$, $\lambda_{k,i}$, для которых получены приближенные аналитические решения. Значения коэффициентов диффузии компонентов испаряющихся из раствора веществ, коэффициента аккомодации ϵ можно определить на основе упрощенной модели (9)–(14) аппроксимацией экспериментальных данных. Из полученных аналитических решений выведены формулы, позволяющие определить начальный состав испаряющейся жидкости. На основе экспериментальных данных по испарению модельных смесей получена зависимость коэффициентов диффузии веществ от температуры и молекулярной массы.

Зная распределение температуры в слое жидкости в любой момент времени, можно определить текущую интенсивность испарения. Полученная математическая модель, описывающая кинетику испарения углеводородов с поверхности объектов накопления жидких нефтесодержащих отходов, позволяет охарактеризовать интенсивность поступления в воздушную среду паров легковоспламеняющихся или токсичных углеводородов. Из приведенных формул и результатов расчета видно, что ключевыми параметрами, характеризующими потенциальную опасность накопителя с течением времени, являются концентрация испаряющихся веществ и глубина накопителя. Таким образом, можно прогнозировать выброс от нефтешламонакопителей в зависимости от их «возраста» и сезона, а также оценить экологический риск эксплуатации накопителей нефтесодержащих отходов [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шупляк А.Ю. Кинетика испарения углеводородов с поверхности объектов накопления нефтесодержащих отходов / А.Ю. Шупляк, С.П. Шкаруппа // Нефть. Газ. Новации. – 2011. – № 1. – С. 72-75.
2. Шупляк А.Ю. Математические модели испарения многокомпонентных углеводородсодержащих смесей // А.Ю. Шупляк, С.П. Шкаруппа. Деп. в ВИНТИ 19.12.2013, №377-В2013. – 52 с.: ил. 5; библиогр.: 120 назв. – Рус. – № 2, 2014.
3. Шупляк А.Ю. Математическое моделирование массопереноса в процессе испарения многокомпонентных жидкостей / А.Ю. Шупляк, С.П. Шкаруппа, А.М. Штеренберг // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Физико-математические науки. – 2013. – № 3(32). – С. 98-109.

4. *Кульчицкий А.В.* Математическое моделирование процессов испарения в многокомпонентных средах: Дис. ... канд. физ-мат наук / А.В. Кульчицкий. – М., 1999. – 168 с.
5. *Шупляк А.Ю., Шкарунна С.П.* Оценка риска для здоровья персонала при эксплуатации объектов накопления нефтесодержащих отходов / Известия Самарского научного центра РАН. Т. 15. – 2013. – № 3(6). – С. 2016-2020.

Статья поступила в редакцию 27 мая 2014 г.

PROCESS EVAPORATION MODELING OF THE HYDROCARBONACEOUS WASTES

A.Yu. Shuplyak, S.P. Shkaruppa

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

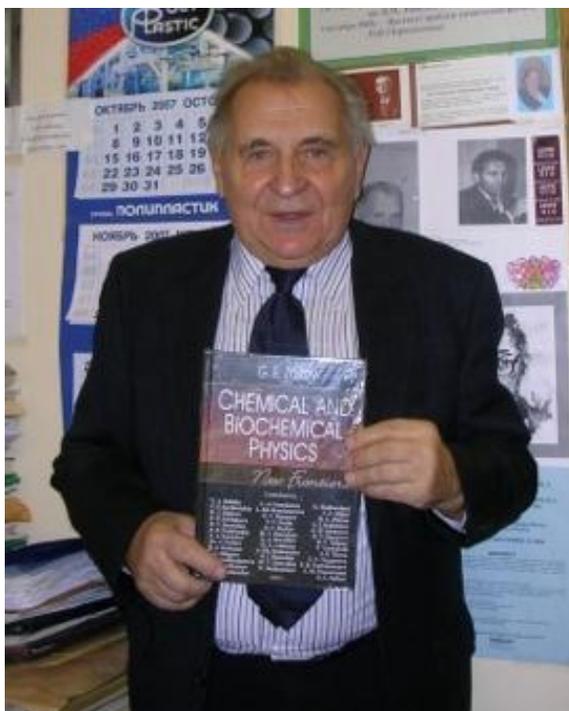
Mathematical description of the open evaporation process of substances from accumulators of oil slime is given. The analytical solution researches of the allow to identify four basic parts of the evaporation process of hydrocarbons from exposed surfaces depending on the values of criterion numbers. The results obtained suggest a simplified mathematical model of open evaporation of hydrocarbons confirming the existence of these parts. The substances evaporation from the surface of oil slime is limited by the diffusion rate of substances in the liquid phase. The dependence of the diffusion coefficients of volatile substances from the temperature and molecular weight is received.

Keywords: *oil product waste, mathematical model, evaporation, mass-transfer, diffusion rate.*

Поздравление

**ПРОФЕССОР ГЕННАДИЙ ЕФРЕМОВИЧ ЗАЙКОВ –
ЧЕЛОВЕК, УЧЕНЫЙ, ГРАЖДАНИН
(К 80-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

А.И. Опалко, А.А. Пимерзин



Старость приходит тогда, когда количество денег на лекарства и медицину в целом становится равным (или превышает) количество денег на еду, одежду и все удовольствия, вместе взятые.

Г.Е. Заиков, 2014

Анатолий Иванович Опалко (к.с.-х. н., проф.), заведующий отделом физиологии, генетики, селекции и биотехнологии Национального дендропарка «Софиевка» НАН Украины, профессор кафедры генетики, селекции и биотехнологии Уманского национального университета садоводства.

Андрей Алексеевич Пимерзин (д.х.н., проф.), первый проректор Самарского государственного технического университета, заведующий кафедрой «Химическая технология переработки нефти и газа».

Curriculum Vitae¹

Родился Геннадий Ефремович Заиков 7 января 1935 года в Омске, одном из крупнейших городов Западной Сибири (ныне административный центр Омской области), расположенном в месте впадения Оми в Иртыш. Воспитывался будущий ученый в семье русских интеллигентов: отец, Ефрем Ксенофонович, был геодезистом-картографом, а в околопенсионном возрасте стал преподавать математику для старшеклассников; мать, Матрена Трофимовна, преподавала общую и неорганическую химию в Омском медицинском институте и в средней школе того же города [1, 2].

Среднюю общеобразовательную, а также музыкальную школу по классу скрипки и фортепиано Геннадий Ефремович окончил в родном городе в 1952 году. У юного Гены Заикова типичные для большинства выпускников колебания относительно выбора профессии сводились к двум вариантам: стать профессиональным скрипачом или идти в университет. Однако по совету родителей, которые перед принятием окончательного решения проконсультировались с учителем по классу скрипки Вильгельмом Шпетом, он поступил, подражая матери, на химический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. При этом он выдержал высокий конкурс – 10 претендентов на место! [1]. В декабре 1957 года Г.Е. Заиков блестяще окончил университет, а в феврале 1958-го молодой исследователь был принят на работу в Институт химической физики (г. Москва). В 1996 году этот институт разделился на два: Институт химической физики им. Н.Н. Семенова (ИХФ) и Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля (ИБХФ). Сейчас Г.Е. Заиков работает в ИБХФ. Таким образом, хотя название учреждения и изменилось, Геннадий Ефремович за весь период своей деятельности ни разу не менял места работы [2, 3].

С душевной теплотой Геннадий Ефремович вспоминает школьные годы, отмечая, что учителя в отдаленном от столицы сибирском городе были очень высокой квалификации. С мягкой иронией объясняет он это тем, что «тогдашний руководитель СССР И.В. Сталин» засылал лучших учителей из Москвы и других крупных городов Европейской части государства в Сибирь, на Дальний Восток и на Север (как, кстати, и многих других лучших представителей интеллигенции, и не только в упомянутые регионы, но и в различные периферийные города и городки Украины и среднеазиатских республик. – *Прим. авт.*). Он называет имена Веры Тарасовой (химия), Евгения Клевакина (алгебра), Павла Гончарика (физика), Розы Хацкилевич (геометрия и тригонометрия), Фердинанда Кремера (география), Веры Рубинштейн (французский язык), Вильгельма Шпета (скрипка), Ядвиги Щепановской (фортепиано) и добавляет, что, судя по фамилиям, многие из них были выходцами из Польши, Германии и Франции [1].

В университете Геннадий Заиков учился очень хорошо. Его профессиональной подготовке способствовали первоклассные профессора-преподаватели: Лев Абрамович Тумаркин (математика), Виктор Иванович Спицын (неорганическая химия), Александр Николаевич Несмеянов – тогдашний президент Академии наук СССР (органическая химия), Николай Константинович Кочетков (химия природных соединений), Валентин Алексеевич Каргин (химия высокомолекулярных соединений), Петр Александрович Ребиндер (коллоидная химия) и мно-

¹ «Ход жизни» (лат.).

гие другие. Приняв во внимание успехи в учебе Геннадия Заикова, его после третьего курса перевели в специальную группу, которую руководство химического факультета сформировало из лучших студентов. Им было поручено разработать элементы технологии отделения радиоактивных изотопов лития ${}^6\text{Li}$ от лития ${}^7\text{Li}$. Через 2,5 года исследований молодыми учеными был разработан эффективный способ, положенный в основу дипломной работы Геннадия Заикова, которую он вскоре блестяще защитил и получил диплом с отличием [1].

В Институт химической физики Г.Е. Заикова пригласил профессор Николай Маркович Эмануэль [2, 3]. Геннадий Ефремович вспоминает, что зачислению в это престижное научное учреждение предшествовало собеседование с заместителями Николая Марковича – профессорами Эрной Альбертовной Блюмберг и Зинаидой Кушелевной Майзус, после положительного заключения которых и состоялась встреча с Н.М. Эмануэлем. Рассказ Г.Е. Заикова о его разговоре с профессором Н.М. Эмануэлем заслуживает дословного цитирования: «Профессор Эмануэль спросил у меня, что я умею делать в науке. Я ответил, что знаю химическую кинетику, умею разделять изотопы и еще умею играть на саксофоне (до этого я играл на саксофоне в кинотеатрах и на танцах). На что Н.М. Эмануэль пошутил: «Последнее особенно важно, поскольку ни один мой сотрудник не умеет играть на саксофоне» [1]. Цитата свидетельствует о том, что Н.М. Эмануэль не только оценил по достоинству самоиронию молодого выпускника, который причислил к числу научных достижений умение играть на саксофоне, но и поддержал его собственной очень меткой, пропитанной юмором репликой.

Сочетая ежедневную многочасовую работу в лаборатории с музицированием на танцевальных вечерах, проводившихся по субботам не только для ученых института, но и для гостей из родственных академических научных учреждений, в 1963 году Геннадий Ефремович под руководством Н.М. Эмануэля защищает кандидатскую диссертацию по теме «Сравнение кинетики и механизма окисления органических соединений в газообразной и жидкой фазах». Результаты этого исследования сразу нашли применение в отечественной промышленности. В Москве на нефтехимическом заводе в Капотне был построен цех по производству уксусной кислоты (10 тыс. т/год) и метилэтилкетона (5 тыс. т/год) с использованием окисления н-бутана в жидкой фазе в критических условиях (50 атм, 150 °С). Существенный вклад в налаживание и развитие этого производства внесли Н.М. Эмануэль, Э.А. Блюмберг, З.К. Майзус, М.Г. Булыгин, Е.Б. Чижов, Л.И. Кораблев и сам Г.Е. Заиков. Через пять лет, в 1968 году, Г.Е. Заиков защищает докторскую диссертацию по теме «Роль среды в радикально-цепных реакциях окисления», а в 1970 году получает звание профессора [2, 3]. Всего через месяц после защиты докторской диссертации он едет на стажировку в Национальный научно-исследовательский совет Канады (National Research Council of Canada, Ottawa) к известному британскому химику профессору Кейту Ушервуду Инголду (Keith Usherwood Ingold), с которым Геннадий Ефремович проработал более полугода. Первую монографию по материалам докторской диссертации Г.Е. Заиков издает вместе с Н.М. Эмануэлем и З.К. Майзус в 1973 году в престижном российском издательстве «Наука». Вскоре монография была переведена на английский язык и опубликована в не менее престижном британском издательстве Pergamon Press (Oxford, UK) [1].

Кроме Канады Г.Е. Заиков неоднократно выезжал в США, Великобританию,

Японию, Германию, Польшу и многие другие страны мира, где работал в ведущих научных учреждениях по несколько месяцев. Активно изучать полимеры Геннадий Ефремович начал еще в 1966 году. Сначала под руководством Н.М. Эмануэля он развернул работу, связанную с решением проблем старения и стабилизации, а позже горения полимеров. В 70-х годах почти тысяча ученых из 50 научно-исследовательских центров СССР работала над решением этих проблем, и в частности 200 ученых ИХФ АН СССР, которыми непосредственно руководил Г.Е. Заиков. Научные исследования по полимерам проводились по таким направлениям, как термическая деструкция, биодеструкция, фотодеструкция, окисление, озонолиз, гидролиз, механическое разрушение, пиролиз и горючесть. После распада СССР новое российское правительство существенно сократило финансирование науки. Вследствие этого в настоящее время в лаборатории ИБХФ, где работает Г.Е. Заиков, осталось лишь 15 научных сотрудников. Геннадий Ефремович компенсирует сокращение их количества расширением научных связей с учеными различных зарубежных научно-исследовательских центров. Это более 150 ученых из 29 научных центров, ведущих университетов и фирм, которые заинтересованы в разработках, касающихся полимеров, в Великобритании, Германии, Франции, США, Южной Африке, Испании, Португалии, Италии, Болгарии, Румынии, Польше, Чехии, Турции, Иране, Таиланде, а также в Армении, Беларуси, Грузии, Киргизии и Украине. Геннадий Ефремович сотрудничает с учеными Института физической химии им. Л.В. Писаржевского НАН Украины, Донецкого государственного университета и Днепропетровского государственного аграрного университета. К выполнению исследований он привлек также ученых из 20 российских научно-исследовательских учреждений и научных подразделений вузов [2, 3].

Подытоживая автобиографический очерк, Геннадий Ефремович отмечает: «Мне в работе и в жизни очень помогает семья: жена Марина Израилевна Ардис, сын Вадим, его жена Ольга, внуки Александра и Денис. Жизнь очень изменилась за последние 20-25 лет. Вадим с семьей живет и работает в США (г. Перри, штат Огайо). Внучка Александра является аспиранткой последнего года обучения и живет в Чикаго, штат Иллинойс, внук Денис учится в 10-м классе школы в г. Перри. Моя супруга – старший научный сотрудник, кандидат химических наук – работает вместе со мной в Институте биохимической физики Российской академии наук» [1].

Чувствуется, что Геннадий Ефремович гордится и сыном, и внуками, однако немного грустит, что они так далеко...

Юбилейный очерк о Геннадии Ефремовиче Заикове можно было бы завершить, перечислив составляющие круга его научных интересов, сосредоточенные (кроме игры на саксофоне, конечно) на вопросах старения и стабилизации полимеров (термораспаде, окислении, озонолизе, фото- и радиационном разложении, гидролизе, биодеструкции, механодеструкции), прогнозировании сроков эксплуатации полимерных материалов, особенностей горения полимеров, а также кинетических закономерностей в химии, биологии и медицине (в частности онкологии, гастроэнтерологии, механизмах лучевых поражений) и так далее, назвав все 30 научных журналов, в состав редакционных коллегий которых он входит, добавив, что знаменитый биолог, легенда мутационной селекции и генетики И.А. Рапопорт также был в кругу его научных контактов, и поставить точку, тра-

диционно пожелав юбилюру творческого долголетия. Однако феномен этого творческого долголетия, уже состоявшегося, и его истоки, а также особенности формирования личности ученого заслуживают более подробного анализа во всех связях и зависимостях со скоротечными изменениями в современном обществе, и мировом научном сообществе в частности.

Личность ученого в противоречиях начала двадцать первого столетия

Центральным элементом процесса научного познания ныне, в двадцать первом веке, по-прежнему выступает ученый, личность которого с большими или меньшими уровнями адекватности отражает различные тенденции и веяния времени [4]. Интерес к личности ученого, и особенно к возможностям влияния на формирование определяющих черт этой личности в соответствии с социальным заказом, возрос в мире в конце девятнадцатого столетия вследствие известного кризиса классического естествознания, поставившего под сомнение саму веру в адекватность научного познания. Кризис собственно парадигмы в науке всегда назревает постепенно, с накоплением массива полученных в экспериментах аномальных фактов, которые невозможно постичь в рамках привычных аксиологических интерпретаций. Универсальные до недавнего времени теоретические модели постепенно теряют универсальность, что побуждает исследователей к методологическим новациям, поэтому, переосмысливая не совсем понятные следствия своей собственной работы, ученый вынужденно становится философом и латентная стадия кризиса ускоренно развивается. В открытую стадию кризиса наука переходит с появлением новых теоретических моделей, не уместящихся в прежние границы, однако убедительно объясняющих накопившиеся проблемы познания. Для науки на рубеже девятнадцатого и двадцатого веков такими моделями стали квантовая теория и специальная теория относительности, пошатнувшие почти непререкаемый авторитет трехсотлетних основ классического естествознания [5]. Не вдаваясь в тонкости упомянутых теорий, освоить которые способны не все научные работники до сих пор, сосредоточимся на дальнейшей истории изучения, и прежде всего на диагностике качеств, наличие которых делает человека науки способным на решительное преобразование устоявшихся представлений и принципов с целью создания нового. Ведь известно, что «истина всегда рождается как ересь и умирает как предрассудок». Поэтому, как советовал И.П. Павлов [6], следует иметь прочную основу, то есть изучить азы науки, прежде чем пытаться взойти на ее вершины; научиться делать черную работу в науке; сопоставлять, накапливать факты и анализировать их, сочетая при этом скромность, которая обезопасит от поспешных выводов, со страстью, побуждающей работать всю жизнь с полной отдачей, памятуя, что наука требует от человека всей его жизни.

Проанализировав жизненный путь Геннадия Ефремовича Заикова по его собственным воспоминаниям [1, 7] и высказываниям коллег [2, 3], приняв во внимание результаты его фундаментальных и прикладных исследований [8–16], касающихся базовых особенностей жидкостно- и газофазного окисления органических соединений, выяснения на количественном уровне роли среды в радикально-цепных реакциях окисления, рассмотрев его новую теорию гидролитической деструкции гетерогенных полимеров, оценив его существенный вклад в теорию и практику окисления, озонолиза и горения органических соединений, а

также в проблему влияния механических напряжений на реакционную способность полимеров и низкомолекулярных аналогов, можно понять истоки его востребованности в мировой науке.

Геннадий Ефремович, как он сам пишет [7], «... с удивлением обнаружил, что... окончил шесть университетов. Один из них – Московский государственный университет. Остальные пять – по поручению заместителя секретаря парткома ИХФ Александра Николаевича Голощапова. Это Университет марксизма-ленинизма, Университет марксистской философии, Университет атеизма, Университет пропаганды и агитации и Университет молодого лектора».

Перелистывая страницы книги воспоминаний Геннадия Ефремовича [7], в которой он (по его словам) пишет немного о себе и много о других (в том числе со слов третьих), начинаешь восторгаться удачным выбором эпитафий, некоторые из которых стоит процитировать.

«Чтобы не иметь завистников и врагов, нужно иметь четыре «Б». Нужно быть бедным, бездомным, больным и бездарным. Если хотя бы одно «Б» отсутствует, то будут завистники и враги. Если же не будет ни одного «Б», то подавляющее большинство будет во врагах» (мнение членов Союза советских писателей).

«Знание может быть только у того, у кого есть вопросы» (Генри Форд).

«Если тебя съели, значит, ты был нужен людям» (Император Бокасса I Жан Бедель, Центральноафриканская империя).

«Главное в жизни мужчины – это удачно жениться. Многие из сегодняшних знаменитостей никогда не прославились бы дальше ближайшей пивной, если бы не их жены» (Джон Майкл Озборн).

Иногда от недавних диссертантов приходится слышать, что почти сразу после защиты они почувствовали настоящее облегчение, как будто гора спала с плеч, что теперь можно, наконец, расслабиться и жить в свое удовольствие, меньше работать, меньше напрягать и мозг, и мышцы, а зарплату получать больше. Конечно, далеко не достаточную, значительно меньшую, чем хочется, но больше, чем раньше.

Можно по-разному относиться к таким тенденциям, которые, не будем кривить душой, наблюдались и в «старые добрые времена» (хотя и значительно реже), можно осуждать их или солидаризироваться с ними, однако увеличение количества таких горе-диссертантов побуждает к анализу проблемы. Следствием такого постдиссертационного облегчения (а может, и причиной) обычно бывает резкое снижение активности как в проведении исследований, так и в написании научных статей по данным невыполненных экспериментов. Ведь отсутствие экспериментальных результатов сводит на нет все попытки анализировать то, что отсутствует. Под давлением руководства такие кандидаты наук вымучивают тезисы или статьи по материалам давно защищенной диссертации или паразитируют на более активных коллегам по работе, различными способами побуждая их к псевдосоавторству.

Проблема формирования личности ученого не нова. Отметим, что первые попытки исследования особенностей становления ученого осуществили сами ученые, в частности математик, физик и философ А. Пуанкаре и химик В. Оствальд. При этом следует отметить, что В. Оствальд исследовал биографии выдающихся ученых по заказу японского правительства, которое после русско-

японской войны 1904–1905 гг. искало пути интенсивного развития Японии. Материалы выполненных исследований были проанализированы, обобщены и в 1909 году изданы в Лейпциге под названием «Великие люди» [17]. Через год книга была переиздана в Санкт-Петербурге на русском языке [18], а затем многократно переиздавалась в Германии и других государствах. Выводы В. Оствальда, касающиеся проявления выдающихся способностей в молодом возрасте, вполне подтверждаются биографией Г.Е. Заикова, который «сделал себя сам» и стал известным ученым, не достигнув и 30 лет, защитил докторскую диссертацию в 33, а ученое звание профессора получил в 35-летнем возрасте.

В двадцатом веке личность ученого стала предметом специального изучения психологов и социологов. Над своеобразием творчества ученого размышляли выдающиеся естествоиспытатели нашей планеты Г. Гельмгольц, И.М. Сеченов, А. Эйнштейн, М. Планк, В.И. Вернадский и многие другие [5]. Так, В.И. Вернадский утверждал, что для естествоиспытателя важны все природные явления, к которым он причислял и талант отдельного человека, в частности отмечая: «В мире реально существуют только личности, создающие и высказывающие научную мысль, проявляющие научное творчество – духовную энергию. Ими созданные невесомые ценности – научная мысль и научное открытие – в дальнейшем меняют... ход процессов биосферы, окружающей нас природы» [19]. Результаты анализа особенностей взаимодействия генотипа с условиями среды в процессе становления ученого посвящены обнародованные в конце прошлого столетия труды В.П. Эфроимсона [20], который признавал именно биосоциальные факторы главными источниками высокой интеллектуальной активности.

Краткий итог и пожелания юбиляру

Труды Г.Е. Заикова развивают высказанные В.И. Вернадским идеи в современном прагматическом воплощении, в частности касательно экологических аспектов устойчивости полимеров [10–14]. Рассматривая кислотные дожди как одно из важнейших проявлений загрязнения окружающей среды, связанное с деятельностью химической и других отраслей промышленности, Г.Е. Заиков с коллегами еще в 80-х годах прошлого столетия проанализировал негативное влияние кислотных дождей на сельское хозяйство и лесоводство, водные источники, а также на различные конструкции и сооружения. Он описывает основные промышленные источники загрязнений, механизмы образования кислотных дождей, уделяя внимание их предотвращению и борьбе с их последствиями не только на локальном, но и на биосферном уровне [9], добиваясь принятия соответствующих мер от руководителей развитых государств мира.

Не могут не восхищать чрезвычайная смелость и свежесть творческой мысли Геннадия Ефремовича, свойственные обычно молодому возрасту, в сочетании с многолетним опытом, развившим его природные способности. «От жизни никогда не устаю», – любит он повторять слова из известной песни Владимира Высоцкого, и не зарождаются ни малейшие сомнения в искренности юбиляра.

Пожелаем же ему крепкого здоровья, неугасающей энергии, успехов в его истинно благородном труде – научном поиске и подготовке научных кадров. Пусть крепнет неугасающий юмор Геннадия Ефремовича, пусть на жизненном пути профессора Г.Е. Заикова всегда светит солнце, голубеет ласковое небо, расцветают нежные цветы, а его щедрую душу согревает любовь друзей и близких.

Пусть его радуют весомые достижения в науке – и личные, и принадлежащие многочисленным благодарным ученикам. Убеждены, что мировое научное общество еще не раз поздравит его с новыми достижениями.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Заиков Г.Е.* Мой жизненный и научный путь (Curriculum Vitae) в течение 80 лет // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – № 3 (18). – С. 5–8.
2. *Монаков Ю.Б.* Профессор Геннадий Ефремович Заиков: более полувека – в науке // Башкирский химический журнал. – 2009. – Т. 16. – № 4. – С. 7–12.
3. *Микитаев А.К.* Профессор Геннадий Ефремович Заиков: более полувека в науке // Заиков Г.Е. Немного о себе и много о других (в том числе со слов третьих): Как бы мемуары / Ред. А.К. Микитаев. – Нальчик: Принт Центр, 2009. – Гл. 1, 8. – С. 75–83.
4. *Бусько И.В.* Личность ученого: нарастание противоречий // Культура, наука, образование в современном мире: Мат-лы V Международной научной конференции (Гродненский государственный аграрный университет) / Редкол.: Л.Л. Мельникова и др. – Гродно: ГГАУ, 2011. – С. 36–41.
5. Психология науки: учеб. пособие / А.Г. Аллахвердян, Г.Ю. Мошкова, А.В. Юревич, М.Г. Ярошевский. – М.: МПСИ Флинта, 1998. – 312 с.
6. *Павлов И.П.* Наука требует от человека всей его жизни // Техника – молодежи. – 1936. – № 2-3. – С. 79.
7. *Заиков Г.Е.* Немного о себе и много о других (в том числе со слов третьих): Как бы мемуары / Ред. А.К. Микитаев. – Нальчик: Принт Центр, 2009. – 268 с.
8. *Афанасьев В.А., Заиков Г.Е.* Физические методы в химии. – М.: Наука, 1984. – 175 с.
9. *Заиков Г.Е., Маслов С.А., Рубайло В.Л.* Кислотные дожди и окружающая среда. – М.: Химия, 1991. – 144 с.
10. *Заиков Г.Е.* Деструкция и стабилизация полимеров. – М.: Изд-во МИТХТ им. М.В. Ломоносова, 1993. – 248 с.
11. *Zaikov G.E.* Degradation and Stabilization of Polymers. – N.Y.: Nova Sci. Publ., 1999. – 296 p.
12. *Lomakin S.M., Zaikov G.E.* Ecological Aspects of Polymer Flame Retardancy. – Zeist (Netherlands): VSP, 1999. – 158 p.
13. *Lomakin S.M., Zaikov G.E.* Modern Polymer Flame Retardancy. – Zeist (Netherlands): VSP, 2003. – 265 p.
14. *Zaikov G.E., Jiménez A.* Homolytic and Heterolytic Reactions: Problems and Solutions. – N.Y.: Nova Sci. Publ., 2004. – 340 p.
15. *Monakov Yu.B., Zaikov G.E.* Molecular and High Molecular Chemistry: Theory and Practic. – N.Y.: Nova Sci. Publ., 2004. – 346 p.
16. *Kozlov G.V., Doblin I.V., Zaikov G.E.* The Fractal Physical Chemistry of Polymer Solutions and Melts. – Toronto; New Jersey: Apple Academic Press Press, 2013. – 334 p.
17. *Ostwald W.* Grosse Männer. – Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft m.b.h., 1909. – 424 s.
18. *Оствальд В.* Великие люди / Пер. с нем. Г. Кваша. – СПб.: Вятское книгоиздательское товарищество «Народная библиотека», 1910. – 398 с.
19. *Вернадский В.И.* Мысли о современном значении истории знаний. – Л.: Изд-во АН СССР, 1927. – 205 с.
20. *Эфроимсон В.П.* Генетика гениальности: Биосоциальные механизмы и факторы наивысшей интеллектуальной активности. – М.: Тайдекс Ко, 2002. – 375 с.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Представленная в журнал работа **должна обязательно содержать новые научные результаты**, нигде ранее не публиковавшиеся и не представленные к публикации в других изданиях.

В журнале предполагается публикация статей объемом до 7 страниц (включая рисунки и таблицы), а также кратких сообщений по соответствующим разделам (объем 3-4 стр. вместе с рисунками и таблицами).

В приоритетном порядке будут рассматриваться материалы докторских и кандидатских диссертаций. Аспирантские работы рекомендуется представлять в форме кратких сообщений.

Требования к оформлению статей находятся на сайте университета

www.samgtu.ru → Наука → Вестник СамГТУ →
→ Серия «Технические науки».

К статье прилагаются:

- экспертное заключение;
- авторская справка;
- лицензионный договор передачи авторского права на публикацию;
- направление от организации (если авторы не работают в СамГТУ).

Статьи, не удовлетворяющие указанным правилам оформления, будут возвращены авторам без рассмотрения.

Статьи и краткие сообщения передаются ответственному секретарю серии «Технические науки» И.Г. Минаковой (443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, корп. 8, комн. 519).

Справки по телефонам:

337 07 00 – Эдгар Яковлевич Рапопорт

337 03 42 – Ирина Григорьевна Минакова

(e-mail: vest_teh@samgtu.ru)

Редколлегия журнала