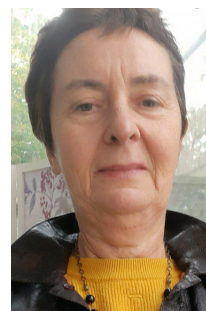




Кравченко М.Н.
Kravchenko M.N.

кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Нефтегазовая
и подземная гидромеханика»,
ФГАОУ ВО «Российский государственный
университет нефти и газа
НИУ имени И. М. Губкина»,
г. Москва,
Российская Федерация



Сафиева Р.З.
Safieva R.Z.

доктор технических наук, заведующий
кафедрой «Инженерная педагогика»,
кандидат химических наук, профессор
кафедры «Физическая и коллоидная химия»,
ФГАОУ ВО «Российский государственный
университет нефти и газа НИУ
имени И. М. Губкина»,
г. Москва,
Российская Федерация

УДК 378.147:001:66

DOI: 10.17122/2541-8904-2023-1-43-133-145

НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ШКОЛА КАК БАЗОВАЯ ЦЕННОСТЬ РОССИЙСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ШКОЛЫ НЕФТЕГАЗОВОЙ И ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОМЕХАНИКИ ГУБКИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА)

В работе показано, что научно-педагогическая школа нефтегазовой и подземной гидромеханики Губкинского университета соответствует главным отличительным признакам научно-педагогической школы: наличие научного направления со своим предметом исследования, ярко выраженная концепция и разработанный понятийный аппарат, актуальная проблематика, обусловленная применением современных методов исследования, формированием научного сообщества в двух-трех поколениях, сплоченных вокруг идей лидера нефтегазовой школы – Л.С. Лейбензона (и его учеников И.А. Чарного, Щелкачева В.Н. и других), созданием уникальной образовательной программы и профильной системы подготовки специалистов. Подчеркнута актуальность сохранения научных школ и возрождения фундаментального подхода, обусловленного анонсированным в последний год переходом к новой экономической политике в России, главной целью которой является достижение технологического суверенитета страны, независимого от зарубежных институтов. Именно такой принцип обеспечивает эффективное развитие научных школ и реализацию новых идей на практике. Фундаментальная подготовка специалистов по естественно-научным дисциплинам, их прямая нацеленность на решение конкретных практических задач отрасли, привлечение к решению этих задач молодых специалистов – вот три базовых условия развития любой научной школы.

Акцентируется, что в цифровую эпоху деятельность исследовательских вузовских коллективов в рамках научных школ обеспечивает формирование нового поколения молодых ученых, эффективно применяющих ИТ-технологии как на этапах теоретических и экспериментальных исследований, так и при решении проектных отраслевых задач. Драйвер научных школ – участие именно студентов и аспирантов в работах по научным направлениям, поддерживаемым академическими грантами.

В статье рассмотрено развитие научно-педагогической школы нефтегазовой и подземной гидромеханики от момента возникновения до настоящего времени, обозначены характерные

тенденции ее развития, связанные с глубоким пониманием существа физико-химических процессов, протекающих в пластовой нефтегазовой системе, и возможностями численного моделирования этих процессов.

Ключевые слова: научно-педагогическая школа, коллектив, нефтегазовая и подземная гидромеханика, пластовые системы, математическое моделирование, численный код, проектный метод.

SCIENTIFIC AND PEDAGOGICAL SCHOOL AS BASIC VALUE OF RUSSIAN EDUCATION (ON THE EXAMPLE OF THE RUSSIAN SCHOOL OF OIL AND GAS AND UNDERGROUND HYDROMECHANICS)

The relevance of the preservation of scientific schools and the revival of the fundamental approach now is due to the transition to a new economic policy in Russia announced last year, the main goal of which is to achieve the technological sovereignty of the country, independent of foreign institutions. It is this principle that ensures the effective development of scientific schools and the implementation of new ideas in practice. Fundamental training of specialists in the natural sciences, their focus on solving specific practical problems of the industry, attracting young specialists to solve these problems – these are the three basic conditions for the development of any scientific school.

It is emphasized that in the digital age, the activities of university research teams within scientific schools ensure the formation of a new generation of young scientists who effectively apply IT technologies both at the stages of theoretical and experimental research, and in solving industry problems. The driver of scientific schools is the participation of students and graduate students in research activities supported by academic grants.

The work shows that the development of the scientific and pedagogical school of oil and gas and underground hydromechanics of Gubkin University from the moment of its inception to the present is shown, the characteristic trends of its development are indicated, associated with a deep understanding of the essence of the physicochemical processes occurring in the reservoir oil and gas system, and the possibility of numerical simulation of these processes, which in the future, it is the basis for the development of our own domestic simulators for solving specific technical problems of oil and gas production.

Key words: scientific and pedagogical school, team, oil and gas and underground hydromechanics, reservoir systems, mathematical modeling, numerical code, design method.

Введение

Научно-педагогические школы (НПШ) – главное достижение и базовая ценность как всей российской системы образования, так и отдельной образовательной организации. Очевидно, что необходимым условием возникновения НПШ является не административное решение о ее создании, а наличие соответствующей академической среды [1, 2] и готовность «производить» как идеи, так и ученых. К числу главных отличительных признаков НПШ следует отнести: научное направление со своим предметом исследования, ярко выраженной концепцией и разработанным понятийным аппаратом, постоянно нарастающей проблематикой ввиду примене-

ния современных методов исследования и, главное, научное сообщество, сплоченное вокруг лидера и представленное учениками и последователями, как правило, во втором – третьем поколении, что возможно благодаря формированию уникальной образовательной программы и следованию главным научным принципам и традициям. Учитывая деструктивный дискурс относительно снижения интереса молодежи к научной карьере, мы согласны с авторами [3], которые отмечают, что особенно важно бережно относиться к НПШ и использовать ее потенциал, что позволит создавать «штучный товар» – ученого, готового заниматься наукой и спо-

собного успешно адаптироваться в академическом сообществе.

Примером классической НППШ является всемирно известная НППШ нефтегазовой (НГ) и подземной гидромеханики (ПГ), основанная 75 лет назад в Московском нефтяном институте (МНИ) им. И.М. Губкина (ныне РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, или «Губкинский университет») крупнейшим ученым и педагогом, академиком Л.С. Лейбензоном (1879-1951) – автором актуального до сих пор классического учебника «Нефтяная промысловая механика», развиваемая его учениками-последователями и обладающая всеми перечисленными признаками. В настоящее время эта научно-педагогическая школа готовит востребованные высококвалифицированные кадры для нефтегазовой отрасли, развивая, с одной стороны, научные основы механики жидкости и газа в приложении к проблемам добычи углеводородов, с другой – генерируя новые идеи и разрабатывая технологические решения освоения нетрадиционных месторождений углеводородов, требующих поиска инновационных подходов на базе глубокой теоретической проработки.

Закономерно, что в эпоху 4.0 – активного внедрения цифровых технологий в различные отрасли промышленности – произошли существенные сдвиги в области моделирования и прогнозирования важнейших показателей нефтегазодобычи (коэффициента извлечения нефти, воды, газа), что базируется на понимании фундаментальных принципов гидродинамики многофазных сред и применении междисциплинарных знаний в области петрофизики нефтяного пласта и физикохимии пластовых флюидов. Цель настоящей статьи – дать ретроспективный анализ развития нефтегазовой и подземной гидромеханики как одного из научных направлений гидродинамики многофазных сред, выросшего в мощную общепризнанную на мировом уровне НППШ, а также футурологический анализ относительно возможностей ее дальнейшего развития.

Методология. Ретроспективный метод анализа исторического наследия НППШ пред-

полагает рассмотрение вклада отдельных ученых в ее становление, подведение итогов текущего уровня ее развития. В записной книжке ныне покойного президента РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина профессора А.И. Владимирова, посвященной научно-педагогическим школам университета, указано, что «академик АН СССР Л.С. Лейбензон, возглавляя в Московском нефтяном институте имени И.М. Губкина кафедру нефтепромысловой механики, заложил в Губкинском институте основы «материнской» научной школы по подземной гидромеханике, ставшей основой всей современной теории разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений».

А.И. Владимиров также отмечает взаимосвязь научно-педагогических школ университета: «ученики академика Л.С. Лейбензона в дальнейшем с успехом развили его учение в «дочерних» научных школах института – «гидродинамические основы разработки месторождений нефти и газа» (проф. И.А. Чарный, проф. В.Н. Щелкачев), «разработка и эксплуатация нефтяных месторождений» (проф. И.М. Муравьев, проф. Ю.П. Желтов), «разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений» (проф. Ф.А. Требин, проф. Б.Б. Лапук), «бурение нефтяных и газовых скважин» (проф. Н.И. Шацов), «транспорт и хранение нефти, нефтепродуктов и газа» (проф. В.И. Черников), «динамические системы буровых и нефтегазопромысловых машин и оборудования» (проф. В.Н. Ивановский)» [4].

В данной работе проведен углубленный анализ научно-педагогической и практической деятельности НППШ нефтегазовой и подземной гидромеханики (НГиПГ), у истоков которой стоял ученик академика Л.С. Лейбензона – профессор И.А. Чарный и ее развития в последние годы.

Футурологический прогноз в эпоху 4.0 активного применения ИТ-технологий для численного моделирования гидродинамических процессов заключается в анализе нереализованных в полной мере возможностей на основе междисциплинарного подхода к рассмотрению физико-химических явлений,

протекающих в единой взаимосвязанной природной нефтегазовой системе «пласт – флюид». Одно из возможных решений – консолидация усилий специалистов смежных направлений для решения общей задачи увеличения нефтегазоотдачи месторождений путем развития методов проектного обучения в вузе.

Характеристика деятельности НПШ нефтегазовой и подземной гидромеханики. Легендарный ученый-механик Л.С. Лейбензон, будучи сотрудником МГУ им. М.В. Ломоносова, способствовал приходу в главный нефтяной вуз страны своих учеников, которые уже на базе Губкинского университета создали школу теоретиков-гидромехаников нефтяной отрасли.

Следуя принципам, заложенным первым заведующим кафедрой НГиПГ И.А. Чарным, выпускником МГУ им. М.В. Ломоносова, никогда не прерывавшим свое сотрудничество с альма-матер, НПШ НГиПГ во все периоды своего становления и развития использовала для улучшения учебного процесса потенциал фундаментального образования и науки, привлекая в свои ряды выпускников МГУ им. М.В. Ломоносова и других передовых российских учебных заведений.

Труды И.А. Чарного и его учеников заложили основы педагогической практики нефтегазового образования. В своих учебниках он, по существу, дал теоретическую базу общей гидравлики вязкой жидкости, газовой динамики, теории фильтрации (тогда ее называли подземная гидравлика или гидрогазодинамика), движения газожидкостных потоков по трубам, которые получили свое развитие в работах его учеников и сотрудников созданной им кафедры нефтяной и подземной гидравлики (гидромеханики).

И.А. Чарный способствовал органичному включению в коллектив кафедры НП и НГ теоретиков-математиков и механиков наряду с практиками нефтегазового производства (физиками и инженерами). Так, кафедры гидромеханики, газовой и волновой динамики, теоретической механики механико-математического факультета (мехмат), Институт механики МГУ им. М.В. Ломо-

носова, МАИ, МИФИ в разные периоды смогли обогатить знаниями студентов, обучающихся на кафедре нефтегазовой подземной гидромеханики в Губкинском университете, в области гидрогазодинамики (И.М. Астрахан, Г.Д. Розенберг, И.Н. Кочина, М.Э. Эглит, Ф.А. Слободкина), теории фильтрации и геомеханики (Г.И. Баренблатт, В.Н. Николаевский, В.М. Максимов, Н.М. Дмитриев), теории многофазных течений (А.В. Колесниченко, В.И. Исаев, М.Н. Кравченко, Ю.А. Дроздова, И.Х. Еникеев), вычислительных методов и языков программирования (Ю.М. Давыдов, Б.П. Рыбакин, Д.Е. Пивоваров), теоретических методов в механике (Е.А. Дединец, Е.Г. Разбегина). Эти и многие другие замечательные специалисты позволили аккумулировать фундаментальные знания не только в научных проектах кафедры НГиПГ, но и дали возможность участвовать преподавателям, научным работникам, аспирантам и студентам в научных проектах Академии наук СССР и РАН, грантах в области фундаментальных исследований (РФФИ и РНФ), производственных проектах и в широкой издательской и педагогической деятельности. «Природа разговаривает языком математики», – говорил Рене Декарт, распознавание культурных кодов, которыми зашифрованы природные феномены [5], в том числе, и в области нефтегазовой и подземной гидромеханики, становится приоритетной задачей будущего развития исследований в указанной области.

В продолжение традиций, заложенных Чарным А.И. в области необходимости симбиоза академической и отраслевой науки, необходимо отметить активный обмен между различными научными школами. В первую очередь это касается связей с Уфимским нефтяным институтом, зародившимся во времена эвакуации Губкинского института в г. Уфу. Ученые и преподаватели башкирских вузов, академических и нефтегазовых НИИ значительно обогатили научную школу гидромехаников и расширили спектр разрабатываемых научных проблем. Работы яркого представителя академической науки, внес-

шего неоценимый вклад в сотрудничество московских и башкирских ученых-гидромехаников, академика Мирзаджанзаде А.Х. стали основой разработки направления гидромеханики неньютоновской жидкости в приложении к теории фильтрации [6], математического подхода к описанию вязкопластических флюидов и газоконденсатных систем. Будучи высокклассным педагогом, А.Х. Мирзаджанзаде подготовил целую плеяду талантливых учеников из Башкирии (М.М. Хасанов, Р.Н. Бахтизин, И.Ш. Ахатов и др.), занимающих в настоящий момент высокие позиции в нефтегазовой отрасли и ставших соавторами высокоцитируемых изданий [7]. Особую актуальность работы по неньютоновскому поведению приобретают в настоящее время для описания фильтрации высоковязких нефтей в перспективе к освоению нетрадиционных месторождений [8].

Естественным продолжением устремлений ученых НППШ к углублению теоретических знаний явилось создание на базе кафедры нефтегазовой и подземной гидромеханики факультета разработки нефтяных и газовых месторождений отдельной специальности «Физические процессы нефтегазового производства» по инициативе К.С. Басниева (ученика В.Н. Николаевского), ставшего уже в должности заведующего кафедрой продолжателем традиций, заложенных И.А. Чарным. В этом процессе приняли деятельное участие сотрудники кафедр физики и разработки газовых месторождений. Создание новой программы обучения, включающей углубленные знания по математике, физике и всем без исключения разделам гидрогазодинамики, волновой динамике, механике упругого тела, теории фильтрации, теории горения и взрыва сделали новую специальность поистине уникальной. Развитие нового подхода в гидромеханике – гидроперколяционного, развиваемого на кафедре В.В. Кадетом (нынешним заведующим кафедрой) и М.Н. Кравченко, – позволило более глубоко изучать строение коллектора и условия его изменения с учетом химических процессов и тепловых явлений [9]. Приход на кафедру Хавкина А.Я. еще более расширил спектр

прикладных исследований в области моделирования процессов повышения нефтеотдачи низкопроницаемых сложнопостроенных коллекторов [10].

Приглашение для чтения курса лекций по механике сплошной среды (МСС – фундаментальный курс, на котором базируются все современные теории механики многофазных сред, теории взрыва, горения и детонации) самого известного из современных авторов учебников по МСС, действующего профессора кафедры гидромеханики мехмата М.Э. Эглит дало возможность студентам, обучающимся по специальности «Физические процессы нефтегазового производства», понять глубинный научный подход к описанию физических явлений и освоить великолепный инструмент к решению задач нефтегазового инжиниринга путем математического моделирования.

Среди преподавателей, работающих со студентами специальности, выпускники и действующие сотрудники механико-математического, физического, химического и геологического факультетов МГУ им. М.В. Ломоносова, с которыми до сих пор продолжается и обратная деятельная связь. Начиная с И.А. Чарного, сотрудники кафедры НПиНГ читают курсы лекций по подземной гидромеханике и актуальным проблемам нефтегазового производства, участвуют в научных разработках, грантах и научно-исследовательских договорах: М.Н. Кравченко и Н.Н. Диева – на мехмате; Д.Ю. Шигапова – на геологическом факультете, где долгое время преподавал также Н.М. Дмитриев; А.Я. Хавкин преподает в МГУ им. М.В. Ломоносова на факультете «Высшая школа инновационного бизнеса», в Институте нефти и газа (факультет) имени М.С. Гущериева Удмуртского государственного университета, МГИМО.

Выпускники МГУ привнесли в образовательный процесс такие привычные для механического образования традиции, как проведение научных семинаров не только в рамках кафедры для обсуждения направлений научной деятельности сотрудников, оценки диссертационных работ аспирантов кафедры, но

и обязательность научных семинаров для самих студентов. Начиная с третьего курса, студенты представляют доклады по актуальным проблемам нефтегазового производства. Практика защиты отчетов по НИР дает возможность под руководством опытных преподавателей включиться в решение насущных научных проблем, стоящих перед отраслью; участвовать под руководством своих научных наставников в академических грантах и отраслевых проектах; учиться излагать свои идеи в концентрированном виде на научных конференциях, начиная от уровня кафедры и до международных форумов; иметь в своем научном багаже научные публикации еще на студенческой скамье.

Многие выпускники кафедры стали руководителями производства, преподавателями вузов, работниками РАН. Выпускники кафедры, уже находясь в статусе дипломированных специалистов и руководителей научных производственных подразделений, участвуют в педагогическом процессе, в том числе принимают участие в оценке успехов студентов в качестве научных руководителей, рецензентов дипломных работ и членов государственной экзаменационной комиссии (ГЭК).

Ежегодный характер приобретает вид межвузовского взаимодействия в форме организации и участия в совместных конференциях: активно привлекаются студенты к участию в «Ломоносовских чтениях», в конкурсе «Умник» (МГУ им. М.В. Ломоносова), в конференции «Цифровые технологии: наука, образование, инновации» (Московский технологический университет «СТАНКИН»). На данных площадках студенты специальности «Физические процессы нефтегазового производства» неоднократно становились победителями, что способствует их привлечению к работам в качестве исполнителей по действующим грантам (РФФИ и РФФИ) не только на базе РГУ, но и других вузов РФ. Студенты МГУ и других московских вузов участвуют в научных конференциях, проводимых отраслевыми научными центрами, международным обществом нефтяников SPE, руководство которым на пространстве СНГ осуществляют также выпускники специаль-

ности «Физические процессы нефтегазового производства», получившие научные степени в стенах Губкинского университета.

Сотрудники кафедры НГиПГ помимо авторства в учебных пособиях и курсах лекций активно участвуют в редакционной деятельности. Под редакцией Кравченко М.Н. вышли шесть фундаментальных монографий в издательствах «Наука» и «Институт компьютерных исследований» (Библиотека «Нефтяного инжиниринга»), Дроздова Ю.А. в качестве технического редактора работала над выпуском в свет монографии по основам прикладного моделирования пластов, Диева Н.Н. является членом редакционной коллегии журнала «Теория и практика проектного образования», а А.Я. Хавкин – главным редактором журнала «Естественные и технические науки», входящим в перечень ВАК.

В работе диссертационного совета по механике жидкости, газа и плазмы, созданного по предложению проф. К.С. Басниева при Губкинском университете, основу которого составляют штатные сотрудники кафедры НГиПГ, активно работают член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией общей гидромеханики НИИ Механики МГУ, О.Э. Мельник, профессора кафедры гидромеханики М.Э. Эглит и кафедры газовой и волновой динамики Н.Н. Смирнов и Б.П. Рыбакин. Семь членов совета – действующие сотрудники институтов РАН. Диссертационный совет имеет право присваивать звания не только по техническому направлению, но и по физико-математическому, что является редким случаем в работе отраслевых учебных заведений.

Перспективы развития НППШ нефтегазовой и подземной гидромеханики в эпоху 4.0. Переход России к «цифровой экономике», обозначенный руководством страны приоритетным направлением, требует от всех сфер деятельности особого внимания к развитию информационных технологий (ИТ). В этом плане изучение возможностей ИТ – неотъемлемая часть образовательного процесса, что предполагает выделение в особый блок требований по созданию у студентов компетенций по программированию, необхо-

димых для проведения всеобъемлющего компьютерного моделирования всех процессов нефтегазового производства.

Подобный подход в образовании не является новым и отвечает традициям подготовки специалистов в области математического моделирования, развиваемого в России в последние десятилетия и практикуемого во многих ведущих вузах. Однако в настоящее время необходим переход к более глубокому пониманию принципов математического моделирования, позволяющему решать сложнейшие задачи различных отраслей производства, и в том числе, в области нефтегазового инжиниринга, где переход к разработке нетрадиционных месторождений немислим без этапа создания модели пласта и подбора эффективной технологии, в том числе, на основе численного моделирования.

В настоящее время имеется большое число промысловых «симуляторов», которые используются во многих нефтегазовых компаниях. Однако довольно часто эти программные комплексы заточены на определенные типы задач, не допускают широкого изменения исходной системы уравнений, составляющей основу математической модели, кроме того, эти IT-продукты чрезвычайно дороги и требуют использования лицензионного соглашения, а также «тяжелы» в плане объема памяти, что ставит под вопрос возможность их использования на персональных компьютерах в период обучения студентов или же требует их привязки к так называемым компьютерным классам.

Кроме того, фактически все из известных расчетных программных комплексов, используемых в нефтегазовом деле, таких как Petrel, CMG, Eclipse (Schlumberger, Франция, www.software.slb.com), Tempest (Emerson, Норвегия, www.emerson.ru) для гидродинамического моделирования нефтяных и газовых месторождений, Olga (Schlumberger) для расчета трубопроводных сетей, Flaresim (Schlumberger) для контроля наземного оборудования месторождений) и др., имеют в числе разработчиков и правообладателей зарубежные компании. В работе [11] приведен пример такой явной зависимости, и

несложно представить, какими последствиями чревата подобная ситуация. Таким образом, в условиях импортоориентированности чрезвычайно важным является создание собственных симуляторов, с одной стороны, нацеленных на конкретные задачи нефтегазовой отрасли, с другой стороны, обладающих высокой степенью эластичности в плане спектра математических постановок.

Конечно, альтернативой использования дорогостоящих узкоспециализированных симуляторов могут служить вычислительные пакеты общего назначения, которые способны решать корректно поставленные начально-краевые задачи, встречающиеся в инженерной практике. Так, хорошо себя зарекомендовали методы вычислительной гидродинамики применительно к решению задач фильтрации, основанные на конечно-элементном подходе, реализованном в нескольких десятках свободно-распространяемых пакетов. Какие-то из них предполагают декларативную парадигму написания кода, что, несомненно, упрощает и ускоряет освоение пакета, но требует четкого понимания математической постановки задачи, другие требуют навыков программирования на языках C++, Java, Python, что позволяет встраивать собственные процедуры в программу расчета и тем самым расширять функционал расчетного модуля. Последнее является важным компонентом математического моделирования, поскольку позволяет перейти от общей задачи к частной. Переход на новую парадигму позволяет создавать новые более устойчивые алгоритмы решения систем дифференциальных уравнений в частных производных, на которых базируются модели многофазной многокомпонентной механики течения жидкостей в пласте, скважинах и промысловых трубопроводных системах. Участие молодых людей со студенческих времен в создании собственных программных кодов как на известных платформах, так и с использованием современных подходов на базе нейронных сетей позволяет не только создавать новые отечественные инструменты математического моделирования, но и глубже понимать и анализировать саму

гидродинамику процессов, создавая по-настоящему новые теоретические принципы описания физических явлений. Эти подходы заложены в основу научных работ, выполняемых научными группами, которые включают студентов кафедры НГиПГ, участвующих в исследованиях, поддерживаемых грантами РНФ и в рамках отраслевых проектных заданий.

Анализ перечня компаний, в которых трудятся выпускники кафедры НГ и ПГ, показывает, что более половины из них работают в отделах математического моделирования (многие из первых выпускников кафедры стали начальниками отделов математического моделирования компаний Роснефть, Газпромнефть, Лукойл, Татнефть, в том числе, российских отделений зарубежных компаний). Именно поэтому необходимо создавать у молодых специалистов навыки программирования на различных современных языках, наиболее известные из которых Fortran, C и др. (языки структурного программирования), Maple, Matlab и др. (языки процедурного программирования и системы компьютерной алгебры), C++, Java, Python (языки объектно-ориентированного программирования, которые входят и в группу так называемых мультипарадигмальных языков), что позволяет студентам получить новые компетенции, которые абсолютно востребованы в компаниях нефтегазового комплекса и других смежных отраслях. Это дает выпускникам специальности «Физические процессы нефтегазового производства» профессиональные преимущества в плане умений построения математических моделей и использования численных методов.

Разработка гидродинамического симулятора является комплексным процессом, поскольку охватывает не только создание самого численного кода на специальном программном языке и решения систем уравнений применительно к конкретной технической задаче или типу математической постановки задачи, но и знание форматов представления расчетных и графических данных, умение работы с ними и использование программных библиотек, позволяющих произво-

дить конвертацию этих форматов между собой. Графическое отображение и обработка этих данных требует привлечения статистических методов анализа и средств компьютерной графики по отображению научных данных. Поэтому умение применять принципы модульного программирования и знание современных библиотек выходит на первый план при проектировании собственных отечественных симуляторов. Стремление сократить время разработки программного обеспечения в связке с правильной организацией процесса разработки действительно могут привести к созданию собственных симуляторов. Поэтому так важно уже со студенческой скамьи вооружить будущего работника производственной компании объемом знаний, необходимым для проектирования подобных систем.

Большую роль в освоении методов численного моделирования выпускниками специальности «Физические процессы нефтегазового производства» сыграло приглашение на должность профессора кафедры известного ученого в области вычислительной математики, автора «Метода крупных частиц» Ю.М. Давыдова, который создал оригинальный курс «Вычислительная гидромеханика», где помимо методики решения уравнений в частных производных и создания разностных схем давались и основы их программной реализации.

Сотрудничество между Губкинским университетом и МГУ имени М.В. Ломоносова в плане обучения навыкам программирования имеет также уже достаточно длинную историю. На механико-математическом факультете МГУ все студенты, начиная с первых годов обучения, приобщаются к практике программирования. Это стимулируется требованиями выполнения всех текущих расчетных заданий и курсовых работ с использованием только собственных кодов. Такую практику прошли и все выпускники мехмата, которые пришли работать в Губкинский университет. Поэтому одна из рекомендаций студентам со стороны научных руководителей-преподавателей кафедры – взаимные обсуждения и консультации: студенты МГУ им.

М.В. Ломоносова получают представление об актуальных задачах нефтегазового инжиниринга, а студенты специальности «Физические процессы нефтегазового производства» – о численных решениях систем уравнений в частных производных, на которых базируются почти все математические модели добычи нефти и газа и обучение азам программирования.

Позднее профессор Б.П. Рыбакин, имеющий в арсенале докторские степени сразу по двум направлениям – механике и вычислительным методам – и много лет читающий курсы по программированию для студентов и аспирантов мехмата, был приглашен на кафедру (по совместительству), где создал оригинальные курсы «Современные языки программирования в задачах нефтегазового инжиниринга» и «Численное моделирование процессов нефтегазового производства». Современные языки программирования, предназначенные для выполнения больших объемов вычислений, имеют в своем арсенале возможность создания программ на многопроцессорных компьютерах с общей и распределенной памятью. Поэтому в рамках упомянутых курсов студенты знакомятся и с этим важным расчетным инструментом, базирующимся на технологиях MPI и OpenMP. Затрагиваются вопросы использования графических ускорителей и технология CUDA. В сотрудничестве с мехматом МГУ проводились численные исследования процесса вторичного вскрытия пластов в рамках гранта РФФИ [12].

Студенты имеют возможность применять полученные знания не только для решения учебных задач, но и принимать участие в написании больших вычислительных комплексов, имеющих научную новизну и практическую значимость.

На основе двух подходов – фундаментальной механики и задач отраслевого нефтегазового инжиниринга – формируются задания на курсовые работы, дипломные работы, которые с успехом защищают студенты. Одно из перспективных направлений – это создание комплекса численных кодов для расчёта задач термодимического воздействия на пла-

сты трудноизвлекаемых запасов [13]. Другой пример – разработка газогидратных месторождений. Созданный оригинальный численный код позволил получить комплекс расчетов, моделирующих разложение газогидратных пород Мессояхского месторождения при использовании технологии снижения давления и получить оригинальные научные результаты [14]. Новое направление – создание математических моделей и вычислительных программ (в рамках действующего гранта РФФИ), использование углекислого газа для интенсификации добычи трудноизвлекаемых запасов [15]. Все научные работы проводятся с привлечением студентов, выполняющих в рамках заданной темы свои дипломные проекты, имея к защите в своем арсенале по несколько опубликованных работ.

Для приобретения студентами компетенций в области IT-технологий сотрудниками кафедры были усовершенствованы формы преподавания учебных дисциплин и контроля усвоения материала студентами [16]. Педагогический коллектив кафедры в период перехода на дистанционную систему образования, особенности которого для нефтегазового образования описаны в [17], провел работу по адаптации имеющихся контрольно-измерительных материалов и фонда оценочных средств, внедрив их во внутривузовскую систему обучения <https://edu.gubkin.ru>, построенную на платформе Moodle. Теперь условия задач по ряду дисциплин формируются в режиме online и студент не может спрогнозировать верный ответ, запомнив условия ряда типовых задач, а обязан повторить весь ход решения сам [18]. Поэтому можно констатировать, что использование численных кодов, создаваемых студентами под научным руководством ведущих преподавателей, является чрезвычайно продуктивным, как для профессионального роста студентов, так и для отрасли в целом.

Теоретики в области управления знаниями, нацеленные на повышение эффективности управления научными командами, предлагают для этой цели применять метод проектов [19, 20]. Учитывая, что

«синергетический эффект в результате командной работы возникает вследствие умножения усилий ее членов, в том числе, в результате совместной генерации идей, координации действий, уменьшения потерь ресурсов и других факторов», следует полагать, НПШ нефтегазовой и подземной гидромеханики и есть пример проявления такого синергизма. При этом дополнительные ресурсы по дальнейшему развитию научно-педагогических школ, в частности, НПШ НГ И ПГ, лежат, в том числе, и в плоскости реорганизации учебного процесса и научно-исследовательской деятельности студентов, которых следует привлекать к решению конкретных практических задач, сразу или после небольшого периода адаптации к вузовским реалиям, в составе проектных междисциплинарных команд. Опыт ведущих вузов доказывает эффективность такой практики [21], в том числе и опыт Губкинского университета [22].

Перспективы развития НПШ подземной и нефтегазовой гидродинамики в области нефтяного инжиниринга связаны с возможностью углубленного анализа физико-химических явлений в единой системе пласт – флюид. Изначально междисциплинарный характер рассмотрения гидродинамических процессов, протекающих в пластовой системе, предполагает использование современных данных о структуре пористой матрицы пород-коллекторов и изменении свойств пластовых флюидов при их взаимодействии с различными типами химических агентов или под действием физических факторов, применяемых для увеличения нефтегазоотдачи пласта, с одной стороны, а с другой стороны – для преодоления относительной разобщенности различных научных команд, работающих над проблемой увеличения нефтегазоотдачи месторождений.

Выводы

Перед нефтегазовой НПШ в настоящее время стоит несколько глобальных задач, решение которых нельзя отложить на будущее. Первая – создание научных основ разработки новых нетрадиционных источников углеводородов, к которым относятся место-

рождения высоковязких нефтей, низкопроницаемые керогеносодержащие пласты, добыча углеводородов из газогидратных месторождений. Опытными-промышленными исследованиями во всем мире и в России показали, что методы разработки, используемые для традиционных месторождений, не дают возможности достичь приемлемой эффективности. С точки зрения нефтяной науки, поиск новых методов сопряжен с поиском абсолютно новых технологий, требующих глубоких теоретических изысканий, обширных лабораторных исследований на кернах и множественных численных симуляционных расчетов на принципиально новых математических моделях, позволяющих адекватно описать лабораторные эксперименты на кернах и перейти к макроописанию в масштабе месторождения в целом. Это обусловлено такой особенностью новых технологий, как комплексность воздействия: тепловое и термохимическое воздействие с применением полимерных составов и ПАВ, кислот и активных терморазлагаемых систем, способствующих генерации подвижных углеводородов из твердой (керогеносодержащей) части породы, использование газов реакции и сопутствующих газовых систем, газовых выбросов нефтеперерабатывающих и промышленных предприятий для повышения подвижности пластовых флюидов. Таким образом, вторая задача современной НПШ – мультидисциплинарность, включающая глубочайшую кооперацию специалистов различных направлений.

В-третьих, с усложнением математических моделей, описывающих физико-химические процессы в пластовых системах с учетом явлений на макро-, микро- и даже наномасштабах, требуется развитие методов решений расширенных математических систем уравнений. Аналитические подходы к решению фактически исчерпаны и могут быть использованы лишь для верификации численных кодов в частных случаях. Таким образом, создание собственных симуляторов, использующих все возможности расчетных комплексов на базе современных языков программирования, требует встраивания в ком-

плекс научных инструментов, используемых НПШ, блока системного программирования.

И четвертая задача касается самовоспроизводства и развития ВПШ путем привлече-

ния новых интеллектуальных ресурсов и их возвращения в рамках деятельности научной школы при выполнении научных проектов, актуализированных научными фондами.

Список литературы

1. Гортышов Ю.Ф. Научные и научно-педагогические школы – основа развития и гордость университета // Вестник Казанского гос. техн. ун-та им. А.Н. Туполева. – 2001. – № 2. – С. 11-17.
2. Сериков В.В. Опыт научно-педагогической школы личностно-развивающего образования // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Проблемы высшего образования. – 2018. – № 2. – С. 11-18.
3. http://gubkin.ru/O_nauchnisch_i_nauchno-pedagogicheskisch_school.pdf (Дата обращения 20 июня 2022)
4. Шестак В.П., Шестак Н.В. Аспирантура как третий уровень высшего образования: дискурсивное поле // Высшее образование в России. – 2015. – № 12. – С. 22-34.
5. Сафиева Р.З. Культурный код: философско-педагогический аспект // Педагогика. – 2022. – Т. 86. – № 8. – С. 5-11.
6. Мирзаджанзаде А.Х., Ахмедов З.М., Алиев В.А. Особенности разработки месторождений не-newтоновской нефти // Темат. науч.-техн. Обзор ВНИИОЭНГ. – Сер. «Добыча». – М., 1971. – 115 с.
7. Мирзаджанзаде А.Х., Хасанов М.М., Бахтизин Р.Н. Этюды о моделировании сложных систем нефтедобычи. Нелинейность, неравновесность, неопределенность. – Уфа: Гилем, 1999. – 464 с.
8. Кравченко М.Н., Аминев Д.А. Изменение характера нелинейности закона фильтрации с учетом структурной перестройки флюида // Естественные и технические науки. – 2022. – № 7. – С. 23-28.
9. Кадет В.В., Ярыш В.В., Диева Н.Н., Лищук А.Н. Перколяционный подход к гидродинамическому моделированию заводнения с использованием активных агентов // SOCAR Proceedings. – 2020. – № 1. – 2021. – С. 029-035.
10. Хавкин А.Я. Математическое моделирование физико-химических технологий повышения нефтегазоотдачи: Учебное пособие. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2021. – 428 с.
11. Сафиева Р.З. Предиктивная аналитика свойств нефтяных систем – петроинформатика // Наноявления в геоэкологии и при разработке углеводородного сырья: от наноминералогии и нанохимии к нанотехнологиям. – М., 2022. – С. 121-123.
12. Рыбакин Б.П., Смирнов Н.Н., Горячев В.Д., Кравченко М.Н., Стамов Л.И. Компьютерное моделирование процесса вскрытия пласта с использованием кумулятивных зарядов // Вестник Кибернетики. – 2018. – № 3 (31). – С. 1-10.
13. Кравченко М.Н., Диева Н.Н., Фатыхов Г.А. Гидродинамический анализ пиролитических исследований керогеносодержащих пород Ромашкинского месторождения // Processes in GeoMedia. – 2020. – V. III, Springer Geology. – P. 273-284.
14. Кравченко М.Н. Гидродинамические аспекты поиска подходов к разработке газогидратных месторождений // Упругость и неупругость: Материалы Международного научного симпозиума по проблемам механики деформируемых тел, посвященного 110-летию со дня рождения А.А. Ильюшин, Москва, 20–21 января 2021 года. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2021. – С. 491-498.
15. Кравченко М.Н., Аминев Д.А. Особенности описания фильтрации нефти с растворенным газом // Актуальные вопросы исследования нефтегазовых пластовых систем: Материалы IV Международной научно-практической конференции. – Развилка, 2022. – С. 103.
16. Исакова Е.А., Кайфаджян А.А. Опыт применения программированного типа обучения на практических занятиях со студентами // Теория и практика проектного образования. – 2019. – Т. 12. – № 4. – С. 11-13.

17. Сафиева Р.З., Еднерал И.В., Белоусов А.В. Экстренное создание и внедрение онлайнкурсов: накануне возможных глобальных перемен в российском нефтегазовом образовании // *Oil & Gas Technologies*. – 2020. – Т. 128. – № 4. – С. 58-64.

18. Пивоваров Д.Е. Об автоматизации создания банка вопросов физико-математических дисциплин в системе MOODLE // *Теория и практика проектного образования*. – 2020. – Т. 16. – № 4. – С. 31-33.

19. Глущенко В.В. Научная теория команд и стратегического управления работой команд // *Бюллетень науки и практики*. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 272-287.

20. Глущенко В.В. Значение научно-педагогических школ в высшем образовании третьего тысячелетия // *Kazakhstan Science Journal*. – 2020. – Т. 3. – № 2 (15). – С. 13.

21. Бритвина В.В. Основные элементы проектной деятельности в образовании // *Теория и практика проектного образования*. – 2017. – № 1. – С. 8-12.

22. Мартынов В.Г., Шейнбаум В.С. Ответственность – ключевая компетенция инженера XXI века // *Высшее образование в России*. – 2022. – № 2. – С. 107-118.

References

1. Gortyshov Yu.F. Scientific and scientific-pedagogical schools – the basis of development and the pride of the university // *Bulletin of the Kazan State. tech. un-ta im. A.N. Tupolev*. – 2001. – No. 2. – P. 11-17.

2. Serikov V.V. Experience of the scientific and pedagogical school of personality-developing education // *Bulletin of the Voronezh State University. Series: Problems of Higher Education*. – 2018. – No. 2. – P. 11-18.

3. http://gubkin.ru/O_nauchnisch_i_nauchno-pedagogicheskisch_school.pdf (Accessed June 20, 2022)

4. Shestak V.P., Shestak N.V. Postgraduate study as a third level of higher education: a discursive field // *Higher education in Russia*. – 2015. – No. 12. – P. 22-34.

5. Safieva R.Z. Cultural code: philosophical and pedagogical aspect // *Pedagogy*. – 2022. – V. 86. – No. 8. – P. 5-11.

6. Mirzajanzade A.Kh., Akhmedov Z.M., Aliev V.A. Features of the development of non-

Newtonian oil fields // *Temat. sci.-tech. overview of VNIIOENG*. – Ser. "Production". – Moscow, 1971. – 115 p.

7. Mirzajanzade A.Kh., Khasanov M.M., Bakhtizin R.N. Etudes on modeling complex oil production systems. Non-linearity, non-equilibrium, uncertainty. – Ufa: Gilem, 1999. – 464 p.

8. Kravchenko M.N., Aminev D.A. Changing of the nonlinearity filtration law with taking into account structural restructuring of the fluid // *Natural and technical sciences*. – 2022. – No. 7. – P. 23-28.

9. Kravchenko M.N., Kadet V.V., Yarysh V.V., Dieva N.N., Lishchuk A.N. Percolation approach to hydrodynamic modeling of flooding through active agents // *SOCAR Proceedings*. – 2020. – No. 1. – P. 029-035.

10. Khavkin A.Ya. Mathematical modeling of physical and chemical technologies for increasing oil and gas recovery // *Textbook*. – M.: Gubkin University, 2021. – 428 p.

11. Safieva R.Z. Predictive analytics of oil systems properties – petroinformatics // *Nanophenomena in geocology and in the development of hydrocarbon raw materials: from nanomineralogy and nanochemistry to nanotechnologies*. – Moscow, 2022. – P. 121-123.

12. Rybakin B.P., Smirnov N.N., Goryachev V.D., Kravchenko M.N., Stamov L.I. Computer Simulation of Formation Exposing Process Using Cumulative Shaped Charges // *Proceedings in Cybernetics*. – 2018. – № 3 (31). – P. 1-10.

13. Kravchenko M.N., Dieva N.N., Fatykhov G.A. Hydrodynamic analysis of pyrolytic studies for the kerogen-containing rocks of Romashkinskoye field // *Processes in GeoMedia*. – 2020. – V. III, Springer Geology. – P. 273-284.

14. Kravchenko M.N., Chidyakina O.O. 2 Hydrodynamic aspects of the search for approaches to the development of gas hydrate deposits // *Elasticity and inelasticity: materials of the International scientific symposium on the problems of the mechanics of deformable bodies, dedicated to the 110th anniversary of the birth of A.A. Ilyushin*, Moscow, January 20–21, 2021. – Moscow: Moscow State University after M.V. Lomonosov, 2021. – P. 491-498.

15. Kravchenko M.N., Aminev D.A. Features of the description of the filtration of oils with dissolved gas // Topical issues in the study of oil and gas reservoir systems. Materials of the IV International Scientific and Practical Conference. "Current research issues" current research issues oil and gas reservoir systems" (SPRS-2022). – Razvilka, 2022. – P. 103.
16. Isakova E.A., Kayfadzhyan A.A. Experience of using the programmed type of training in practical classes with students // Theory and practice of project education. – 2019. – Vol. 12. – No. 4. – C. 11-13.
17. Safieva R.Z., Edneral I.V., Beloysov A.V. Experience of application of technology of operation of well on concentric lift columns // Oil & Gas Technologies. – 2020. – Vol. 128. – № 4. – P. 58-64.
18. Pivovarov D.E. About automating the creation of a bank of questions of physical and mathematical disciplines in the Moodle system // Theory and practice of project education. – 2020. – Vol. 16. – No. 4. – P. 31-33.
19. Glushchenko V.V. Scientific theory of commands and strategic management of team work // Bulletin of Science and Practice. – 2020. – Vol. 6. – No. 4. – P. 272-287.
20. Glushchenko V.V. The importance of scientific and pedagogical schools in higher education of the third millennium // Kazakhstan Science Journal. – 2020. – Vol. 3. – No. 2 (15). – P. 13.
21. Britvina V.V. Osnovnyye elementy proyektnoy deyatel'nosti v obrazovanii // Teoriya i praktika proyektnogo obrazovaniya. – 2017. – № 1. – P. 8-12.
22. Martynov V.G., Sheinbaum V.S. Responsibility is the key competence of an engineer of the XXI century // Higher education in Russia. – 2022. – № 2. – P. 107-118.