

НАШЕМУ ВУЗУ - 75 ЛЕТ

Высшее строительное образование в Республике Татарстан создавалось и выкристаллизовывалось в самостоятельную образовательную структуру на протяжении многих лет.

75 лет назад приказом Народного комиссариата по просвещению РСФСР № 255 от 13.05.1930 года “О реорганизации существующей сети высших учебных заведений” (п. X) было предписано “образовать строительный институт на базе строительного факультета Казанского политехнического института с передачей его в ведение Наркомвнудела”. Так начинается новая глава в истории высшего строительного образования г. Казани.

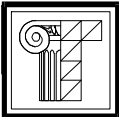
За годы своего существования наш вуз превратился в крупный научно-образовательный центр, осуществляющий подготовку высококвалифицированных кадров для архитектурно-строительного комплекса, жилищно-коммунального хозяйства, дорожного строительства и других отраслей экономики страны. КГАСУ является головным учебным заведением в Поволжье в рамках Ассоциации строительных вузов России. Вуз имеет высокий кадровый и научно-технический потенциал, обеспечивающий высокое качество подготовки специалистов и научных исследований. Подготовку специалистов осуществляют 55 докторов наук и профессоров, 220 кандидатов наук и доцентов.

Коллектив вуза не останавливается на достигнутом. Намечено открыть подготовку по новым специальностям: специалистов по информационным технологиям в строительстве; по шахтному и подземному строительству; организовать факультет военного обучения. Планируется создание НИИ по экспертизе и контролю качества строительства, в работе которого будут задействованы специалисты многих кафедр вуза; создание современных научно-исследовательских лабораторий и укрепление материально-технической базы университета.

Примечательно, что в год своего юбилея вуз поднимается на новую, более высокую ступень и становится Казанским государственным архитектурно-строительным университетом.

75-летний юбилей КГАСУ - это знаменательная дата в жизни нашего вуза. Она завершает определенный исторический период, связанный со становлением высшего строительного образования в республике, с именами выдающихся ученых, создавших в стенах вуза целые научные школы, с поколениями выпускников, которые в течение нескольких десятков лет формируют строительный комплекс Татарстана и России. Кроме того, юбилей – это начало нового этапа в развитии вуза, от которого зависит его будущее. В сложное для российской науки и образования время юбилей вуза – не только большой праздник, но и уникальная возможность активизировать деятельность всех подразделений, возродить самые лучшие традиции, продвинуть научно-технические разработки, привлечь внимание общественности к проблемам строительного образования, сделать конкретные шаги для процветания вуза на рынке образовательных услуг, а также для повышения востребованности огромного научно-технического потенциала КГАСУ.

Гл. редактор,
чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,
проф. В.Н. Куприянов



В.Н. Куприянов

МОЛОДОМУ СТРОИТЕЛЬНОМУ УНИВЕРСИТЕТУ (КГАСУ) - 75 ЛЕТ

Один из старейших строительных вузов России - Казанская государственная архитектурно-строительная академия - в феврале 2005 г. получил статус университета, а в июне 2005 г. отметил свое 75-летие. В данной статье представлены исторический обзор становления вуза, его достижения и перспективы развития.

История высшего строительного образования в Казани берёт начало со 2 января 1919 года. Постановлением отдела вузов Наркомпроса РСФСР № 22 Казанский промышленный, экономический и художественный техникум был преобразован в Политехнический институт, который 9 января начал свою работу в составе 4-х факультетов: архитектурно-строительного, химического, механического, экономического с сельскохозяйственным уклоном. За период с января 1919 г. по 1 октября 1925 г. в Политехническом институте подготовлено 33 специалиста-строителя с высшим образованием.

8 августа 1924 г. Совет Народных Комиссаров РСФСР принял постановление о реорганизации Казанского политехнического института в Индустриальный техникум повышенного типа. Реорганизация была обусловлена экономическими соображениями и, по существу, не повлекла за собой изменений в организационной структуре, учебных планах и специальностях учебного заведения. Индустриальный техникум повышенного типа имел четыре отделения: строительное, химическое, механическое и торгово-промышленное. Техникуму было дано право выпускать инженеров узкой специальности. С 1 января 1925 г. по май 1929 г. техникум выпустил 93 специалиста-строителя, из них - 65 инженеров по коммунальному строительству и 28 инженеров-гидротехников.

Вскоре вновь встал вопрос о реорганизации индустриального техникума во вуз и 18 июня 1929 года Совет Народных Комиссаров РСФСР постановил открыть в Казани политехнический институт с факультетами: инженерно-строительным, химическим и механическим.

Инженерно-строительный факультет имел два отделения - коммунального строительства и гидротехнический. Однако вновь созданный Политехнический институт проработал всего 1 год.

13 января 1930 г. ВЦИК и СНК СССР принимают постановление № 65 "О подготовке технических кадров для народного хозяйства Союза ССР". С этого постановления начинается коренная перестройка

системы высшего образования. Многопрофильные институты (как Казанский политехнический) были разукрупнены и реорганизованы в отдельные отраслевые учебные заведения.

Приказ по Наркомпросу № 255 от 13 мая 1930 года "О реорганизации существующей сети высших учебных заведений" (пункт X) гласит: "Образовать строительный институт на базе строительного факультета Казанского политехнического института с передачей его в ведение Наркомвнудела".

Управление кадрами Наркомвнудела 23 мая 1930 года издает приказ № 3 о присвоении вновь организуемому вузу наименование: Казанский институт коммунального строительства (КИКС) в составе трех факультетов: гражданского строительства, дорожного строительства и санитарно-технического.

Постановлением ВЦИК и СНК СССР "О реорганизации высших учебных заведений, техникумов и рабочих факультетов", принятым 23 июня 1930 года, был утвержден Казанский строительный институт с передачей его в Народный комиссариат коммунального хозяйства. В титульный список (реестр) высших учебных заведений страны новый институт был включен как "Казанский институт коммунального строительства".

В июне 1930 года начала работу приемная комиссия. 1 января 1931 года был открыт вечерний рабочий факультет, который приступил к работе 4 сентября этого же года. В это время в институте открывается заочное отделение, а с 1 апреля 1932 г. - вечернее отделение, на котором обучение студентов ведется без отрыва от производства.

25 марта 1932 года институт переименовывается в Казанский институт инженеров коммунального строительства (КИИКС), а 1 октября этого же года, в ознаменование 40-летия литературной деятельности А.М. Горького, институт получает наименование: Казанский институт инженеров коммунального строительства имени А.М. Горького.

Период с 1930 по 1941 гг. явился временем становления института. В связи с трудностями в обеспечении преподавательскими кадрами по дисциплинам строительного профиля руководство института взяло курс на подготовку собственных научно-педагогических кадров. С этой целью при институте в 1931 году была открыта аспирантура по специальностям: "инженерные конструкции", "строительная механика", "архитектура",



“строительные материалы”, “мосты”. Однако Всесоюзный комитет по делам высшей школы своим постановлением от 11 февраля 1934 г. утвердил аспирантуру только на кафедре строительных материалов. Были созданы условия для роста собственных кадров высшей квалификации – докторов и доцентов. С 1930 по 1940 гг. в профессорском звании было утверждено 4 человека, в звании доцента – 19 человек.

Повышению качества подготовки специалистов и росту квалификации преподавателей способствовала их научно-исследовательская деятельность. В 30-е годы профессорско-преподавательским составом (ППС) разрабатывались 35 научно-исследовательских тем. Институт имел свое собственное периодическое издание “Труды КИИКСа”, в котором публиковались работы ППС. К научно-исследовательской работе активно привлекались и студенты. Для этого на кафедрах были организованы научно-технические кружки под руководством профессоров и доцентов. С 1935 года начали проводиться научно-методические конференции преподавателей и студентов.

К середине 30-х гг. институт превратился в крупное учебное заведение. Определились структура института, наименования факультетов, контингент студентов и преподавателей. Все эти изменения были закреплены уставом института, который был впервые утвержден приказом НККХ РСФСР № 107 от 29 апреля 1935 г.

13 мая 1939 года Всесоюзный комитет по делам высшей школы при СНК СССР утвердил новый устав института, которым было окончательно закреплено название института — Казанский институт инженеров коммунального строительства (без имени А.М. Горького). Уставом предусматривалось, что институт находится в ведении Народного комиссариата коммунального хозяйства и готовит инженеров по специальностям: промышленное и гражданское строительство, городские пути сообщения.

С каждым годом росло число студентов дневного отделения: в 1931 г. в институте обучались 253 студента, а в 1941 г. – около 700. Большинство студентов получали стипендию. При институте имелось общежитие на 450 мест и 65 % студентов были обеспечены жильём. К своему десятилетнему юбилею, который широко отмечался общественностью города и республики, институт располагал 14 кафедрами, прочной материально-технической базой и высококвалифицированными кадрами: 8 профессоров, 21 доцент, 10 старших преподавателей, 13 ассистентов и 9 преподавателей. Ведущие преподаватели и кафедры осуществляли тесную связь научных исследований с решением практических задач строительства.

За довоенные 11 лет существования КИИКС внёс заметный вклад в подготовку строительных кадров и развитие науки. Он превратился в крупное учебное заведение, стал ведущим в Поволжье и Приуралье и с момента образования выпустил 993 инженера.

Институт, являясь единственным в Среднем Поволжье и Приуралье, готовил специалистов для Чувашской, Марийской, Мордовской, Удмуртской, Башкирской республик. Достижения коллектива КИИКСа были высоко оценены правительством ТАССР и центральными учреждениями России.

Однако плодотворная работа института была прервана Великой Отечественной войной. В связи с растущей военной угрозой Советское правительство предприняло ряд срочных мер по укреплению оборонных отраслей промышленности. В их числе было принято решение об ускоренной подготовке авиационных инженеров за счет старших курсов необоронных специальностей некоторых вузов. По этому поводу СНК СССР 12 июня 1941 г. принял специальное постановление. В соответствии с этим НККХ и НКАП 18 июня издали совместный приказ, по которому весь контингент студентов, учебное здание и другие сооружения, оборудование и инвентарь, материалы и имущество КИИКСа были переданы в Казанский авиационный институт.

После войны, 16 февраля 1946 года в соответствии с Постановлением СНК СССР №2002-р институт возобновил работу как Казанский институт инженеров гражданского строительства (КИИГС). С 1 сентября студенты единственного тогда инженерно-строительного факультета, специальности “Промышленное и гражданское строительство”, приступили к занятиям. 21 января 1952 года Постановлением СМ СССР №166 институт реорганизован в Казанский институт инженеров-строителей нефтяной промышленности (КИИС НП). В 1957 г. вуз переименован в Казанский инженерно-строительный институт (КИСИ), а Постановлением Совета Министров СССР от 17 июня 1959 года № 671 передан в Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР.

В 1961 г. в стенах КИСИ открываются специальности “Автомобильные дороги” и “Водоснабжение и канализация”, а с 1963 г. – “Теплогазоснабжение и вентиляция”. С марта 1964 г. работают 4 факультета: инженерно-строительный, строительно-технологический, вечерний и заочный и обучение идет по 5-и специальностям. В 1966 г. из строительно-технологического факультета выделяются автодорожный и санитарно-технический факультеты, разрешена подготовка архитекторов.

28 февраля 1995 года приказом по Госкомвузу России № 286 институт получает статус академии с наименованием Казанская государственная архитектурно-строительная академия (КГАСА).

16 февраля 2005 года приказом Федерального агентства по образованию № 67 вуз получил статус университета с наименованием Казанский государственный архитектурно-строительный университет (КГАСУ).

КГАСУ является многопрофильным



государственным образовательным учреждением высшего профессионального образования, реализующим образовательные программы довузовского, высшего, послевузовского и дополнительного образования, одним из ведущих вузов в системе высшего строительного образования в России. Вуз имеет высокий кадровый и научно-технический потенциал: из 437 преподавателей более 50 докторов наук и профессоров, 220 кандидатов наук и доцентов. Среди преподавателей есть члены-корреспонденты и действительные члены российских и Международных государственных и общественных академий, в т. ч. Российской академии архитектуры и строительных наук: член-корр. – д. арх., проф. С.С.Айдаров; д.т.н., проф. В.Н. Куприянов; д.т.н., проф. Р.З. Рахимов; д.т.н., проф. Б.С.Соколов и советники – д.т.н., проф. И.Т. Мирсаяпов; д.х.н., проф. В.Ф.Строганов; д. арх., проф. Г.Н. Айдарова; д.э.н., проф. Г.М. Загидуллина. Академиком Академии наук РТ является д. ф.-м.н., проф. И.Г. Терегулов, член-корр. – д.т.н., проф. Ф.Г. Ахмадиев. Более 30 сотрудников университета награждены нагрудным знаком “Почетный работник ВО РФ”, 30 имеют звания заслуженного деятеля науки и техники РФ, науки РТ, заслуженного архитектора РФ и РТ, заслуженного работника культуры РТ и т.д.

В структуру КГАСУ входят: Институт архитектуры и дизайна, Институт транспортных сооружений, 10 факультетов, 43 кафедры, а также ряд филиалов кафедр на производстве. Подготовка специалистов в университете осуществляется по многоуровневой системе.

В настоящее время университет осуществляет образовательную деятельность по программам подготовки бакалавров по направлениям “Строительство” и “Архитектура”, магистров по направлению “Строительство”, по 17 образовательным программам подготовку дипломированных специалистов по специальностям:

030500 - Профессиональное обучение (строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы);

052500 - Искусство интерьера;

060800 - Экономика и управление на предприятии (в строительстве);

060800 - Экономика и управление на предприятии (в городском хозяйстве);

240400 - Организация и безопасность движения;

290100 - Архитектура;

290200 - Дизайн архитектурной среды;

290300 - Промышленное и гражданское строительство;

290600 - Производство строительных материалов, изделий и конструкций;

290700 - Теплогасоснабжение и вентиляция;

290800 - Водоснабжение и водоотведение;

291000 - Автомобильные дороги и аэродромы;

291100 - Мосты и транспортные тоннели;

291200 - Реставрация и реконструкция архитектурного наследия;

291400 - Проектирование зданий;

291500 - Экспертиза и управление недвижимостью;

330200 - Инженерная защита окружающей среды.

Освоение образовательных программ осуществляется по дневной и заочной формам обучения. В университете обучается 4000 студентов по дневной форме обучения и 1600 – по заочной. Ежегодный прием составляет более 950 человек по дневной форме обучения и 350 – по заочной. Выпуск специалистов в 2004 году составил 480 человек по дневной форме обучения и 190 – по заочной.

Учебный процесс в университете организован по учебным планам, разработанным в соответствии с государственными образовательными стандартами. В образовательный процесс внедрены современные активные методы обучения, методы поиска новых технических решений, технологии коллективной мысли в виде деловых ролевых игр, проблемного обучения, исследовательских методов. Исследование, развитие и внедрение данных подходов к организации учебного процесса, подготовки специалистов реализуется в рамках научного направления “Методы и пути развития высшего архитектурно-строительного образования”.

В университете функционирует система получения второго высшего образования. Создан и работает Институт повышения квалификации по всем основным направлениям подготовки специалистов. Организованы подготовительные курсы на 700 человек с различными сроками обучения.

В университете создана Детская архитектурно-дизайнерская школа “ДАШКА” со своей уникальной программой обучения. Учебный процесс соответствует трем возрастным программам: “студия” (6-9 лет), “школа” (10-13 лет), “колледж” (14-16 лет). “ДАШКА” ставит перед собой задачу — сформулировать концепцию начального архитектурно-дизайнерского обучения.

Коллектив ученых университета сохраняет и развивает научные традиции своих предшественников, открывает новые научные направления, связанные с широким спектром задач строительной отрасли, техники и высшего образования.

В университете сложились и получили развитие ряд научных школ:

– Школа проф. Бурмана З.И. (1924-1986 гг.) - известного ученого-механика. З.И. Бурман вместе со своими учениками проводил научные исследования в области строительной механики летательных аппаратов и расчета динамики и прочности сложных пространственных конструкций. Коллективом выполнены приоритетные разработки, позволившие создать методики и алгоритмы, сделавшие возможным расчеты конструкций весьма высокой сложности и нерегулярности на основе метода конечных элементов,



в том числе созданы новые образцы специальной техники. Его учениками защищены около 20 кандидатских диссертаций. Работы З.И. Бурмана и его учеников известны не только в России, но и за рубежом. Ими в соавторстве опубликованы 3 монографии.

– Школа проф. Воскресенского В.А. (1914-1986 гг.), создавшего в вузе научное направление по модификации полимеров и их применению в области технологий и производства строительных материалов, изделий и конструкций. Научная школа была создана в 1966 году на базе кафедры пластических масс, ставшей первой специализированной кафедрой в СССР, выпускавшей в строительном вузе инженеров-технологов по производству полимерных строительных материалов. Под руководством В.А. Воскресенского были подготовлены 4 доктора и более 50 кандидатов наук, а под руководством его учеников в последующие годы защищены 38 диссертаций.

– Школа профессора Терегулова И.Г. - известного ученого в области механики деформируемого твердого тела. Коллективом ученых кафедры сопротивления материалов и основ теории упругости под руководством академика АН РТ Терегулова И.Г. предложены варианты построения уточненных теорий оболочек и методы расчета оболочек на прочность и устойчивость с учетом пластических деформаций, ползучести и конечности перемещений; предложен новый подход к термодинамическому анализу процессов необратимого деформирования сложных сред и получению на его основе физических соотношений. Терегуловым И.Г. совместно с учениками разработаны теория определяющих соотношений для анизотропных упругих и неупругих тел и способы их построения для композиционных материалов и сформулированы вариационные принципы механики деформируемого твердого тела с учетом физической и геометрической нелинейности. Под научным руководством Терегулова И.Г. подготовлены 4 доктора и 15 кандидатов наук. В области разработки, исследования и совершенствования методов расчета строительных конструкций и сооружений в университете работает ряд кафедр под руководством член-корр. РААСН, проф. Соколова Б.С., проф. Кузнецова И.Л. и проф. Мирсаяпова И.Т. Под их руководством подготовлены и защищены 3 докторских и 11 кандидатских диссертаций.

Общепризнана Казанская архитектурная школа, несомненным лидером которой является член-корр. РААСН, действительный член Международной Академии архитектуры стран Востока Айдаров С.С. Ученым университета принадлежат приоритеты в области изучения архитектурного наследия и решения современных проблем реконструкции, сохранения и развития ценнейшего архитектурно-градостроительного памятника – столицы РТ, города Казани, отмечающего в 2005 году свое 1000-летие.

Научный потенциал Казанской архитектурной школы составляют 8 докторов архитектуры, технических наук, профессоров и 36 кандидатов архитектуры и технических наук, доцентов.

Совместно с Академией наук Республики Татарстан создан научный центр “Теория, история и прикладные проблемы архитектуры”. Участие ученых вуза в разработке “Градостроительного кодекса Республики Татарстан” направлено на масштабную и плодотворную работу для города и республики. Наиболее яркие достижения ученых-архитекторов получили широкое общественное признание. Заведующему кафедрой ИЗО, к. арх., проф. Е.И. Прокофьеву присуждена Госпремия РФ за разработку и реконструкцию Большого концертного зала им. С. Сайдашева (г. Казань). Серия книг из пяти томов по истории дизайна была удостоена Госпремии РФ в области литературы и искусства за 2003 год в номинации “Дизайн”. Одним из трех авторов этой серии является С.М. Михайлов, профессор, декан факультета дизайна, написавший двухтомник “История дизайна”, являющийся уникальным в России и рекомендованный УМО в качестве учебника для вузов.

Подготовка научно-педагогических кадров в университете осуществляется через аспирантуру и докторантуру. По состоянию на 01.01.2005 г. количество обучающихся в докторантуре и аспирантуре составило 1005 человек, соискателей - 89. На базе действующего кандидатского диссертационного совета в 2004 году открыт региональный диссертационный совет по строительным специальностям 05.23.01 – “Строительные конструкции, здания и сооружения” и 05.23.05 – “Строительные материалы и изделия” с правом защиты докторских и кандидатских диссертаций. Защищены 9 кандидатских диссертаций, рассмотрены 3 и принята к защите 1 докторская диссертация. Кроме того, действуют 3 региональных кандидатских диссертационных советов по экономическим и архитектурным специальностям. Во всех советах ежегодно защищается не менее 25-30 диссертаций.

По результатам НИР в вузе проводятся конференции и семинары по профилю вуза. Стало традицией проведение Воскресенских чтений “Полимеры в строительстве” (1999, 2004 гг.) и конференций, отражающих региональные и национальные проблемы в архитектуре Волго-Камского региона (1996-2004 гг.).

Университет тесно сотрудничает с Российской академией архитектуры и строительных наук (РААСН). Под патронажем РААСН на базе вуза проведены несколько академических чтений, собрание Волжского регионального отделения РААСН (2000 г.), общее собрание РААСН (2003 г.) с изданием материалов и представлением экспонатов участников конференции из КГАСУ и других городов России.

В вузе активно проводится работа по защите интеллектуальной собственности сотрудников.



Новизна результатов научно-исследовательской деятельности университета подтверждена 650 авторскими свидетельствами, 165 патентами на изобретения и 5 патентами на полезные модели, что позволяет университету стабильно занимать 2 место среди вузов РТ по изобретательской деятельности.

В университете осуществляется внедрение в учебный процесс новых информационных технологий. С этой целью созданы Центр новых информационных технологий в архитектуре и строительстве, ряд специализированных кафедр и 18 компьютерных классов. В вузе функционирует локальная сеть, которая объединяет более 100 компьютеров, имеющих выход в международную сеть Интернет по выделенной оптоволоконной линии. Открыты авторизованные учебные центры фирм Autodesk и Graphisoft с правом выдачи сертификатов от имени фирм.

Социальная сфера постоянно находится в поле зрения руководства университета. Важнейшим направлением является улучшение жилищно-бытовых условий, оказание медицинских услуг, организация отдыха преподавателей и сотрудников вуза. В 1998 г. в межвузовских домах с 50 %-ной оплатой стоимости жилья получили квартиры 7 семей, в 2003 г. - 4, в 2005 г. — 14 семей. По договорам со строительными организациями (по себестоимости жилья) в 2001, 2002, 2005 гг. сотрудниками вуза получена 31 квартира. В настоящее время идет строительство жилого дома по ул. Калинина, следовательно, в 2006 году улучшить свои жилищные условия смогут 20 семей преподавателей и сотрудников университета.

Большое внимание в вузе уделяется решению социально-экономических проблем студентов. Одним из направлений работы является предоставление всем нуждающимся иногородним студентам общежития. Постоянно улучшается материально-техническое оснащение общежитий, проводится капитальный и текущий ремонт.

Другим направлением является поддержка деятельности санатория-профилактория. В настоящее

время из 23 государственных вузов Республики Татарстан только в 4-х функционируют такие подразделения. Санаторий-профилакторий представляет собой современный лечебно-оздоровительный центр, оборудованный новой медицинской техникой, с широким спектром оздоровительных услуг и квалифицированным персоналом. С 2002 г. финансирование санатория-профилактория осуществляется за счет внебюджетных средств вуза.

Стратегическим направлением в развитии университета является создание университетского комплекса, включающего все уровни образования - от начального и среднего технического к высшему вузовскому и послевузовскому (аспирантура, докторантура и соискательство), в том числе через систему дополнительного профессионального образования и развитую научную инфраструктуру (НИИ, Центры, лаборатории и пр.).

Для реализации этих задач в 2005-2010 гг. планируется:

- открыть подготовку специалистов по специальностям: информационные технологии в строительстве, шахтное и подземное строительство;
- создать НИИ по экспертизе и контролю качества на всех стадиях строительства и межкафедральные научно-исследовательские лаборатории, модернизировать и обновить учебное и научное оборудование;
- реконструировать здания и сооружения университета с целью создания необходимых условий для эффективной образовательной и научной деятельности преподавателей и студентов, а также придания им современного архитектурного облика; построить новые учебные корпуса и спортивные комплексы.

Осуществление перспективных задач в развитии университета будет способствовать интегрированию науки и образования в регионе, повышению качества подготовки специалистов.



*Настоящее рождается из прошлого,
и все же будущее основывается
на настоящем (из Пекинской хартии 2000 г.)*

*Негоже России связывать свое будущее
с топливными ресурсами, ... потому
что будущее великих наций зависит
от развития высоких технологий
(Харви-Шлегель-Оэср)*

В.Г. Хозин

РЕТРОСПЕКТИВА КАФЕДРЫ ТСМИК (2000-2004 г.г.)

Кафедра технологии строительных материалов, изделий и конструкций (ТСМИК) является головной кафедрой строительно-технологического факультета, определяющей профессиональное содержание и облик выпускников: инженеров-строителей-технологов. Мы готовим профильных специалистов для строительной промышленности, а именно, для предприятий, производящих: а) бетонные и железобетонные изделия и конструкции для сборного строительства, а также товарный бетон – для монолитного; б) глиняный кирпич и другие виды строительной керамики; в) стеновые, отделочные, тепло- и гидроизоляционные материалы и изделия на основе гипса, силикатов, полимеров, битума, древесины. По сути, все три специализации, перекрываясь по основным специальным дисциплинам, позволяют готовить инженеров-технологов-материаловедов широкого профиля, способных работать на любых предприятиях, производящих строительную продукцию: от бетона и раствора до современных окон из ПВХ-профиля и стеклопакетов.

В этом году кафедре исполняется 20 лет. По возрасту юная, но она – “дитя” двух солидных кафедр – “сестер” – бывших выпускающих кафедр СТФ: технологии производства строительных конструкций (ПСК) и пластических масс (ПМ), возраст которых – 43 и 38 лет, соответственно. На кафедре 27 преподавателей, в том числе 9 совместителей, в основном, производственников, ведущих различные дисциплины, начиная от общей химии и заканчивая проектированием предприятий строительной промышленности. Руководство всеми дипломниками (а их ежегодно 100-110 человек) осуществляют преподаватели только нашей кафедры (хотя мы с удовольствием “поделились” бы ими со специалистами других “подходящих” кафедр).

За последние 4 года мы выпустили 402 инженера-технолога, защитивших как традиционные инженерные

проекты, так и дипломные научно-исследовательские работы, причем, доля последних составляет порядка 20-25 %.

Наука в учебном процессе – традиционная особенность учебного процесса на факультете, заложенная впервые в нашем вузе основателем кафедры пластических масс проф. Воскресенским В.А. Показателями участия студентов в научной работе, отражающими их активность и эффективность работы научных руководителей, являются результаты проводимых в вузе, республике и России научно-технических конференций, профессиональных межвузовских олимпиад и конкурсов научных работ.

Общие итоги за 5 лет: научные конференции – 94 участника, 16 премий, 71 почетная грамота, 1 диплом; конкурсы – 16 участников, 2 первых места, 5 почетных грамот, именная стипендия, 2 диплома, в том числе, Минобразования РФ; олимпиады: 31 участник – 5 почетных грамот, 2 первых и одно 2-е место, премия Госстроя РФ (правда, в деньгах не выданная - на студентов в правительстве страны денег не нашлось!). На фоне этих цифр следует отметить отдельные достижения: 2000 год – Всероссийские Туполевские чтения (г. Казань – студенты Ивлев В., Корнилов А. – рук. доц. Мурафа А.В.); 2001 – Межвузовская студенческая НТК (г. Белгород – студентка Соловьева И., рук. проф. Абдрахманова Л.А.); Форум молодых ученых и специалистов (г. Казань, КГТУ – студенты Фассаев М., Галиуллин И. – рук. доц. Мурафа А.В.); 2003 – Международная НТК молодых ученых и студентов (г. Санкт-Петербург – студентка Старовойтова И., рук. проф. Абдрахманова Л.А.).

Во Всероссийских конкурсах студенческих научных работ (г. Новосибирск, 2000, 2001 гг., г. Самара – 2000 г., г. Казань – 2001, 2002, 2003 гг.) участвовали и завоевали медали, дипломы, премии и почетные грамоты студенты Соловьева И., Пилипенко Е., Макаров Д., Галимов И., Ненастьева О., Старовойтова И. и многие другие.



Ежегодно дипломные работы наших выпускников выставлялись на олимпиады и смотры-конкурсы и нередко получали призовые места. Хочу отметить выпускника нашей кафедры Макарова Д.Б., с 3 курса “вошедшего” в науку, завоевавшего в 2001 году в г. Ростове-на-Дону диплом Минвуза РФ и премию Госстроя за 1 место. Доцент Мурафа А.В. “довела” его до аспирантуры и кандидатской диссертации и ныне к.т.н. Макаров Д.Б. – самый молодой и перспективный преподаватель нашей кафедры.

Часть из “научных” выпускников, рекомендованных ГЭК в аспирантуру, остаются на кафедре и защищают диссертации: за эти 5 лет защитили кандидатские диссертации 12 соискателей, из них 9 стали преподавателями родного вуза (в том числе 6 – на нашей кафедре).

Важнейшими показателями эффективности научной работы являются публикации статей, тезисов, выпуск книг, а также получение патентов на изобретения. Конечно, научная активность неодинакова среди ППС и это можно понять, но в целом показатели в этой части следующие: 104 опубликованные журнальные статьи, 104 тезиса научных докладов на конференциях в разных городах России, 16 патентов на изобретения. Естественно, когда позволяют средства, мы представляем некоторые из своих “завершенных” научных работ на официальных отраслевых (строительных, в том числе, инновационных) выставках. Только в 2003 году мы экспонировались на ВВЦ в г. Москве – 2 раза; в г. Казани (выставка РААСН), в г. Наб. Челны; в 2004 г. мы представляли 3 свои разработки на Инновационном Форуме “Большая Волга” (г. Альметьевск). Участвуем, как правило, на ежегодных выставках, сопровождающих коллегии Министерства строительства архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства РТ. Вот и 24 февраля этого года мы представили на коллегию этого министерства 6 экспозиций.

Конечно, финалом прикладных работ должно становиться их внедрение в реальное производство. Процесс этот сложный, длительный и болезненный. В период с 2000 по 2004 гг. к такому завершению пришли три разработки кафедры: Битум-полимерное вяжущее (патент РФ № 2179986 от 27.02.02 – авторы Хозин В.Г., Мурафа А.В., Мурузина Е.В.), на основе которого в ООО “Альтея” организовано производство нового кровельного материала “Бистерол”. Кстати, мы разработали для этого не только нормативную документацию – технические условия, но и подготовили выпускника кафедры Галимова И. для реализации этого проекта (к сожалению, но это характерно для нынешнего бизнеса, хозяин фирмы так и не заплатил авторам ни копейки!). Еще две разработки, также запатентованные нами (2 патента – авторы Корнилов Р., Хозин В., Морозова Н., Сальников А. и др.) – комплексная добавка и вяжущее для

беспрогревной технологии цементных бетонов, а также технология сверхлегкого пенобетона, – внедрены в производство (завод ЖБИ в г. Волжске, Марий Эл), входящее в фирму “Унистрой” (г. Казань). Кстати, один из разработчиков пенобетона Кондратьев В., защитив по этой теме диссертацию, проработав на кафедре год за нищенскую (как и у всех “кафедралов”) зарплату, ушел на этот завод директором производства этих новых наших материалов. К сожалению, для кафедры этот факт закономерен, ибо высшая “нищая” школа в России перестает быть притягательной сферой деятельности для способных людей.

В конце 2004 года вышла монография (научное издание) “Усиление эпоксидных полимеров” (446 страниц, автор Хозин В.Г.), а еще в 2003 г. – монография “Производство строительной керамики” (авторы Салахов А.М., Ремизникова В.И., Спирина О.В., Мочалов А.Ю.).

Я уже упоминал о третьей специализации – технологии строительной керамики, открытой в 2000-2001 учебном году. Она востребована жизнью – в РТ более 50 кирпичных заводов, но специалистов-керамиков-строителей никто в строительных вузах России не готовит. Инициатором и основателем этого направления в подготовке технологов стал проф. Н. Вороновский, удивительно “молодой” и энергичный в профессиональном творчестве человек – также, кстати, выпускник нашего факультета (1960 г.). Вокруг него образовался костяк опытных преподавателей – профессиональных специалистов-керамиков: доц. Ремизникова В.И., доц. Санникова В.И., доц. Женжурист И.А., доц. Спирина О.В. Преподает керамику и недавно защитивший подготовленную на нашей кафедре диссертацию опытный производственник-администратор Салахов А.М.

Стараясь не отставать от темпов развития отрасли, кафедра ТСМИК осваивает новые дисциплины, в том числе элективные, например: “Метрология, стандартизация и сертификация строительной продукции” (доц. Низамов Р.К.), “Технология современных оконных конструкций” (ст. преп. Солдатов Д.А.), “Химический анализ в производстве строительных материалов” (доц. Ушакова Г.Г.), “Основы безотходных технологий” (проф. Хозин В.Г.).

Появление первой дисциплины связано еще и с тем, что на базе нашей кафедры (безусловно, с привлечением ряда других кафедр вуза) создан Испытательный сертификационный центр (ИЦС) “Татстройтест”, входящий в систему сертификации Росстроя РФ и аккредитованный им.

Введение новых дисциплин требует большой учебно-методической работы, включающей создание новых курсов лекций, разработку и издание учебных пособий, методических указаний к лабораторным и практическим занятиям, производственным практикам, курсовым проектам. За прошедшие 5 лет преподавателями кафедры изданы через РИО КГАСА



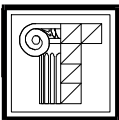
38 методических указаний (общим объемом 764 стр.), 5 учебных пособий (авторы Низамов Р.К., Абдрахманова Л.А., Солдатов Д.А., Изотов В.С.). Разработаны и подготовлены к изданию 4 учебных пособия и 16 методических указаний общим объемом 625 стр. Но теперь за все нужно платить, даже за издание учебных пособий, только рецензирование одного пособия стоит более 4000 руб.

Реалии нынешнего времени в высшей школе таковы, что сохранить “боеготовность” профессорско-преподавательского состава и УВП кафедр пока еще можно только за счет высокого профессионализма, а также гражданского долга и совести, заложенных в нашу кровь, плоть и душу ушедшим советским периодом. Тогда достойное (относительно других отраслей) положение и уважение общества и государства к работникам высшей школы и науки обеспечивали жесткий отбор и воспроизводство наиболее талантливой и высоконравственной части интеллигенции страны. Естественное вымирание старого “качественного” поколения вузовских кадров при слабом притоке достойных молодых не дает оснований для оптимизма, во всяком случае, в ближайшей перспективе.

Пагубная в отношении науки и образования политика руководства нашей России, начатая первым ее Президентом Б. Ельциным в эпоху грабительской “рыночной” вакханалии, подрывает материальную базу высшей школы и, что более опасно, разъедает ее нравственные основы, унижая ее работников – от профессора до лаборанта – нищенской зарплатой, вызывающей снисходительно-презрительное

отношение работников частных фирм и чиновников госслужб. К сожалению, руководители вузов, “прикормленные” властью, мало отличаются в этом отношении от “верхов”. И тем не менее, пока еще сплоченный и дружный коллектив кафедры ТСМИК ответственно выполняет свой профессиональный долг. Мы понимаем, что пришедшие к нам учиться дети не виновны в сложившейся объективной ситуации, а мы, несмотря ни на что, обязаны перед собой и обществом растить будущее поколение инженеров. Ведь приоритет высшего образования доминирует в настоящее время во всех странах, поскольку только специалисты с высшим образованием могут обеспечить реализацию инновационного развития каждого государства. А это – единственный путь достижения экономического благосостояния и военно-политического потенциала любой страны. Исторический опыт многих, ранее отсталых, стран в последние десятилетия – наглядный тому пример.

Поэтому мы не теряем веру в то, что Россия выйдет из очередного политико-экономического “перекоса” и положение высшего образования и науки будет соответствовать требованиям времени. Это будет тогда, когда гражданская совесть руководства страны поднимется до уровня гражданской совести народа, и оно поймет обращенную к нему восточную мудрость: “Если вы думаете на год вперед – посадите семя, если на десять лет – посадите дерево, если вы думаете на сто лет вперед – дайте образование народу!” (Так может руководителей избирать не на 4-5 лет, а на всю жизнь, чтобы они “подольше” думали о народе?).



УДК 725

Н.М. Новиков, Э.Г. Валеев

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АРХИТЕКТУРНЫХ И ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ КАК СРЕДСТВО ДИАЛОГА АРХИТЕКТОРА С ЗАКАЗЧИКАМИ И ОБЩЕСТВЕННОСТЬЮ

Визуализация – наглядное представление архитектурного замысла в перспективных и панорамных изображениях, макетах, трехмерных компьютерных моделях способами демонстрационного представления архитектурного и градостроительного проекта. Совершенное владение визуально-графическими средствами во многом определяет успешность диалога архитектора с заказчиком, общественностью, администрацией города, а значит, и успешность архитектурного бизнеса.

Актуальность совершенствования визуальной ясности и убедительности графического языка архитектора связана с тем, что:

- во-первых, в условиях жесткой конкурентной борьбы за заказчика в проектной практике, как показывает мировой опыт, зачастую право на проектирование получает та фирма, чье предложение было более убедительным и наглядным;

- во-вторых, активное включение в проектную практику конкурсного распределения прав на проектирование доказывает необходимость представления убедительной графической подачи;

- в-третьих, современное градостроительное законодательство (в частности, положения Градостроительного кодекса РФ) предусматривает проведение публичных слушаний, градостроительных советов и общественных обсуждений архитектурных и

градостроительных проектов с предварительным опубликованием информации о проекте, в т.ч. в виде зрительного ряда;

- в-четвертых, проектирование в условиях сложившегося городского окружения требует тщательного учета всех факторов существующего контекста (градостроительная преемственность, визуальный анализ и т.д.), что тоже должно найти отражение в графическом изложении идеи проекта.

Спектр средств визуального представления архитектурного объекта весьма широк: это и традиционная ручная графика, и объемное моделирование (макет), и современная компьютерная графика. Информационные технологии и программные средства компьютерной графики позволяют сделать процесс визуализации архитектурного объекта более оперативным, содержательным и убедительным. В статье приводится сжатый обзор некоторых средств информационных технологий и компьютерной графики.

Трехмерное компьютерное моделирование является эффективным средством проектного поиска и визуального представления проекта. На основе трехмерной компьютерной модели могут быть получены фотореалистичные видовые кадры, которые при помощи компьютерного монтажа могут быть вписаны в фотоизображения контекста.

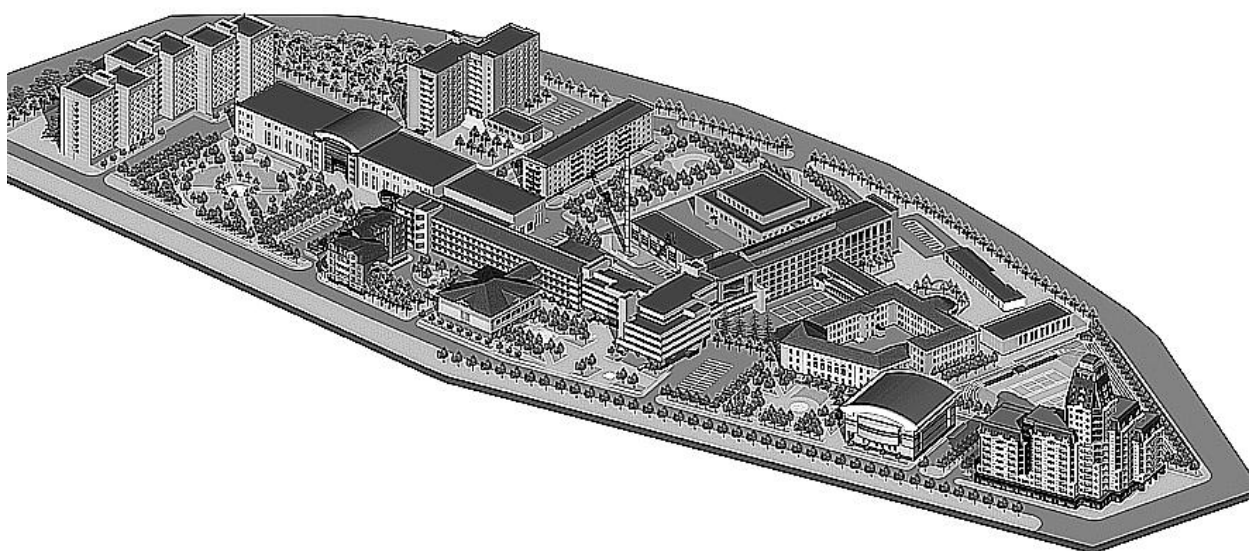


Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3

Для восприятия проектируемого объекта в процессе движения и быстрого просмотра модели с любой точки создаются компьютерные анимации. Специальные программные пакеты анимации и видеографики позволяют получать фотореалистичные анимационные ролики.

Наиболее сложным и дорогостоящим на сегодняшний день является визуализация трехмерной модели с помощью систем виртуальной реальности. Такие системы имитируют реальность и полностью зависимы от поведения пользователя. Виртуальная модель позволяет архитектору и заказчику оценить объект в динамике в реальном масштабе и времени.

Виртуальные модели городов предлагают своеобразную форму обсуждения в рамках широкой непрофессиональной аудитории перспектив развития архитектурного облика города. В рамках такого обсуждения житель города может совершить прогулку по виртуальному городу и высказать затем свои предложения и пожелания по преобразованию города.

Ни одно из описанных выше средств графического отображения не является самодостаточным в аргументации идеи проекта. Часто для убеждения заказчика недостаточно только компьютерной визуализации проекта. Заказчику необходима некая легенда, описывающая проектный поиск от прообраза к окончательному решению посредством определенного зрительного ряда. Такой зрительный ряд может формироваться в программах иллюстративной графики и программах для создания компьютерных презентаций.

Кафедра архитектурного проектирования в учебном и реальном проектировании активно использует компьютерную графику. В частности,

концепция развития комплекса КазГАСУ была представлена визуальным рядом, включающим аксонометрию комплекса с высоты птичьего полета (рис.1) и видовые кадры с реальных точек восприятия (рис.2-3), выполненные в программе трехмерного компьютерного моделирования.

Информационные технологии позволяют вывести информацию о проекте на широкую аудиторию. Это могут быть WEB-технологии и мультимедийные технологии, при помощи которых создаются сайты Интернет и мультимедийные презентации проектов. На сегодняшний день создается много сайтов Интернет, на которых размещается визуальная информация о градостроительной и строительной деятельности, проводимой в городе. Причем, в состав сайтов и презентаций может входить не только компьютерная визуализация, но и ручная графика, поисковые эскизы, фотографии с макета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Градостроительный кодекс РФ.
2. Градостроительный кодекс РТ.
3. Валеев Э. Образы будущего города как средство диалога между архитектором и общественностью// В сб. статей и сообщений Международной научно-методической конференции. Том 2. Казань: Новое знание, 2003.
4. Paul M. Torrens, Centre for Advanced Spatial Analysis (CASA), University College London. <http://www.geosimulation.com>.
5. Центр Прогрессивных Пространственных Исследований (CASA), сервер университетского колледжа Лондона (UCL). www.casa.ucl.ac.uk.



УДК 72.06

М.Ю. Забурскова, Т.Ф. Мухаметзянов

СОЦИАЛЬНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ КАК ОБЪЕКТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Проектирование любого объекта всегда связано с наличием в действительности такой позиции, как **субъект**, для жизненных потребностей которого разрабатывается и реализуется проектный замысел. Любой конкретный объект проектирования представляет собой определенную физическую материально-пространственную ситуацию, тесно взаимосвязанную с жизнедеятельностью конкретного субъекта. Это то самое “место под солнцем”, в котором нуждается любое живое существо.

В проектировании, как правило, приходится иметь дело с “существом” социального типа. На таких примерах, как “семья – квартира”, “организация – здание”, очевидна взаимосвязь “субъект – среда его жизнедеятельности”. Здесь субъектом является та или иная социальная структура с определенной системой взаимоотношений входящих в нее индивидов, количество которых и принадлежность к данной социальной единице можно объективно и однозначно определить. Аналогично и границы “их” фрагмента материально-пространственной среды (квартиры, здания, территории) также объективно и однозначно физически и юридически определимы.

Подобная логика рассуждений и стремление к упорядоченности и устойчивому развитию городской среды приводят к задаче выделить и на градостроительном уровне системы “субъект – территория его жизнедеятельности”.

Это требует, прежде всего, упорядоченности в решении вопроса о границах как в их социальном понимании (выявление социальных субъектов), так и в физическом, территориально-пространственном смысле слова (выявление территориальных элементов).

Что касается территориально-пространственных членений города, то практика и теория градостроительного проектирования оперируют известным набором единиц в их иерархии, соответствующих действующим положениям и нормам профессиональной “анатомии” города.

Что касается социальных единиц, то в социологии города отмечалось: “в качестве субъекта могут выступать социальные общности самого разного масштаба и характера, а в качестве среды – разные по уровню городские и региональные структуры”. Упоминается, что “территориальные общности

населения городов и сельских поселений, соседские коллективы населения жилых районов объединяют людей по признаку места жизни и деятельности” [4], с.25.

Однако, если продолжить ряд примеров, который был начат выше, то, по сравнению с архитектурными объектами, в отношении *реальной* жилой территории проявляется тенденция к неопределенности границ как физических, визуальных (между дворами, кварталами, микрорайонами), так и социальных, вплоть до невозможности выделения социального субъекта, связанного с конкретной территорией. Вызывает сомнение, что множество жителей многоэтажного дома или людей, живущих в одном дворе, квартале, в некой зоне города, представляет собой нечто социально и организационно целостное и что их можно назвать коллективным субъектом. Во всяком случае, этот вопрос требует отдельного анализа с привлечением наработок из области социологии.

Тем не менее, мы знаем, что некоторые части города часто имеют свое название (“Ометьево”, “Кварталы” и др.), обозначающее их как нечто целостное и отличное от остального окружения, в том числе, можно предположить, и в социальном отношении.

Это позволяет поставить вопрос о социальной и средовой специфике отдельных единиц жилой территории города.

Осознание значимости взаимосвязи субъекта и среды привело к появлению социально-пространственного подхода в теории, к постановке вопроса о системном проектировании таких целостных образований, как “субъект-среда”. Подобный подход был положен в основу специального социально-территориального раздела Концепции пространственного развития г. Казани [5]; он остается актуальным, требует дальнейшего развития и изучения *социально-территориальной структуры* города.

Исторически сложилась практика градостроительного проектирования, в которой социальные категории “переводятся” в пространственные только с помощью норм. В них описывается некий “усредненный город” по аналогии с “идеальным городом”. Следует отметить,



что эти нормы, являясь усредненными, не отражают специфику – и очень существенную – отдельных элементов конкретного города.

Принцип учета социального фактора, учета потребностей различных групп людей стал общепризнанным после более чем тридцати лет усилий специалистов, разрабатывавших архитектурно-социологический подход. Но надо признать и то, что пока трудно говорить о разработанных процедурах и технологиях этого учета в ситуациях реального проектирования, затрагивающего интересы множества людей. Ясна ситуация с конкретным заказчиком или пользователем: он как субъект деятельности говорит сам за себя. А вот народу (населению той или иной территориальной единицы города) приходится по-прежнему безмолвствовать. Его интересы учтут так, как сочтут возможным.

В основополагающем документе – “Градостроительном кодексе РФ” [7] – сформулировано: “В градостроительной документации о градостроительном планировании развития территорий и поселений и об их застройке определяются состав и структура объектов социального и культурно-бытового обслуживания населения *с учетом комплексности застройки, интересов различных социально-демографических и профессиональных групп населения.*” (Гл. II, ст.13, п.1). Да, предлагается, разрабатывая проектные решения для территории, принимать во внимание социальные особенности населения, подразумевая, что они влияют на особенности образа жизни и потребности. Но при этом перечисляются такие характеристики, корреляция которых с местом проживания людей и процессами их жизнедеятельности в конкретной части города совсем неочевидна.

Выглядит это примерно так же, как установка на проектирование жилого дома, с учетом распределения жильцов по группам молодых и старых учителей и врачей (учет профессиональных и демографических признаков) при полном забвении необходимости учитывать семейную структуру и проектировать отдельные квартиры для отдельных семей. Реально же не вызывает сомнения то, что для сферы жилища первичной является естественно сложившаяся структура социальных единиц по семейному признаку (в которые, собственно, и входят люди любой профессии и возраста). И именно она органично учитывается при проектировании жилища. Соответственно, при проектировании учебного здания, например, принимается в расчет не распределение членов коллектива по их семейному положению, а организационно-профессиональная структура, органичная для того вида деятельности, которым занята эта организация.

Это говорит о том, что *социально-*

организационная структура, определяемая характером жизнедеятельности социального субъекта, должна быть первична по отношению к территориально-пространственным делениям.

Следовательно, без определения картины того, какие социальные субъекты деятельности проявляются на жилой территории (социально-территориальные субъекты), нельзя адекватно заниматься организацией территории. В то же время вопрос об естественных целостностях населения на основе территориального принципа практически не поднимается в теории и практике проектирования.

В сферах деятельности различных ведомств используется разделение населения города по различным территориальным единицам, например: административные районы; зоны хозяйствования структур ЖКХ (эксплуатационные участки); зоны действия пожарных, скорой помощи, милиции; коммерчески-оценочные пояса; градостроительные зоны и микрорайоны; выборные участки и т.д.

Но эти способы деления городского населения производятся искусственно и сверху в соответствии с целями функционирования определенных ведомств и организаций, занимающихся административными, эксплуатационными и прочими вопросами. У каждой такой части населения, отнесенной к подобным подведомственным единицам, отсутствуют признаки, которые позволили бы назвать это множество горожан единым социальным целым, тем более проявляющим себя как социальный субъект.

Безусловно, это есть следствие и того, что в нашей реальной городской общественной жизни, в процессе жизнедеятельности городского населения фактически никаких самоорганизаций населения не существует. Можно утверждать, что на арене городской жизни мы не видим такого рода коллективно действующих субъектов.

Вот в отношении отдельного жилого дома, иногда и двора, уже можно говорить об организованностях жителей, о появлении реально действующих социальных субъектов (см. рис.). Это всем известные кооперативы и нарождающиеся кондоминиумы, товарищества собственников жилья (опять-таки, это та сфера, где и территориально-пространственные границы, и социальная принадлежность легко определимы).

А применительно к территориальным единицам вопрос становления соответствующих социальных единиц весьма не прост. И, в том числе, требует теоретического определения, уточнения терминологии с обращением в область социологии как науки, непосредственно изучающей социальные целостности.

Для социологии архитектуры “...важнейшей задачей является формирование представлений о конкретных формах ... взаимосвязи” архитектуры и

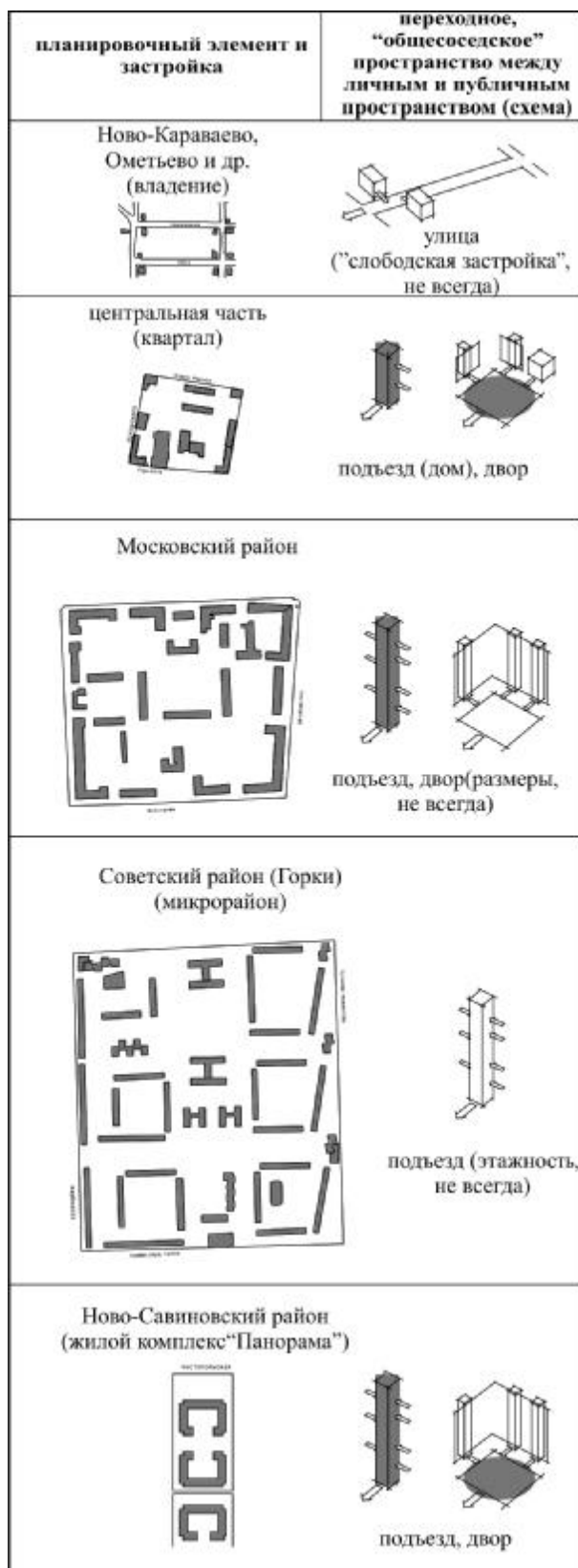


Рис. Примеры планировочных элементов и застройки (ПЭ и З) г. Казани разных периодов времени (в едином масштабе)

градостроительства с социально-экономическими процессами, "...построение моделей "перевода" социальных категорий в пространственные." [4].

Важно отметить, что при понимании этой задачи в социологии архитектуры (не говоря уже об общей социологии) отсутствует описание целостных элементов, связывающих *элементы социальной структуры и территориальной структуры города*.

Структура – расположение и связь частей, составляющих целое [6].

Социальная структура определяется как внутреннее устройство общества или социальной группы; упорядоченная совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих социальных групп, социальных институтов и отношений между ними [6].

В связи с этим авторами под *социальной структурой города* понимается внутреннее устройство части общества, являющейся населением города; упорядоченная совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих социальных групп, социальных институтов и отношений между ними. Под *территориальной структурой города* понимается внутреннее членение территории города; упорядоченное расположение и взаимосвязь планировочных элементов территории города.

Правовые основы *территориальной структуры города* отражены в Градостроительном кодексе РФ [7] в трехступенчатой системе деления селитебной территории города: территория муниципального образования – территориальная зона – земельный участок. *Муниципальное образование* в РФ – это городское, сельское поселение или иная населенная территория, в пределах которых: осуществляется местное самоуправление; имеются муниципальная собственность, местный бюджет и выборные органы местного самоуправления [7].

Социально-территориальная структура в терминологии социологов – это возникающая в результате территориального расслоения совокупность профессиональных групп, различающихся по социально-экономическим функциям, содержанию и социальной значимости труда [6].

Применительно к градостроительным проектным задачам это понимание представляется нам недостаточным, поскольку в нем на первый план выдвинуты профессиональные, социально-экономические функции населения, что связано лишь с выполнением трудовых функций. Это понимание исходит из задач сугубо социально-экономических, связанных с организацией производства, для чего и выявляется распределение по территории необходимой рабочей силы.

А для проектных задач, направленных на *организацию жилой среды*, необходим другой



“портрет” населения, необходимо представление о таких характеристиках населения, которые связаны с его повседневной жизнедеятельностью, не сводимой к трудовой занятости. Необходимо выявить взаимосвязь места проживания людей в городе и характера их жизнедеятельности; требуется понимание того, как специфика конкретных территорий, их положение в городе отражаются на характере образа жизни проживающей здесь части населения.

Под *социально-территориальной структурой города* авторы предлагают понимать внутреннее устройство того сообщества, которое является населением города, взятое в единстве с внутренним устройством территории города, отражающим жизнедеятельность этого сообщества. Это упорядоченная совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих социальных групп, социальных институтов – субъектов деятельности, – взятая в единстве с упорядоченной совокупностью взаимосвязанных территорий, используемых ими для своей деятельности. Каждый такой субъект в единстве с территорией/средой его деятельности представляет собой *социально-территориальное образование* (СоТО), которое необходимо рассматривать как системный объект. Таким образом, *социально-территориальная структура города* – это упорядоченная совокупность *социально-территориальных образований*.

Применительно к жилой территории, для СоТО

различных иерархических уровней можно указать соответствующие им *компоненты* (подсистемы):

- социальное образование – часть населения, население, общность, множество людей (семей) с одним местом жительства;
- территориальное образование – фрагмент материально-пространственной среды с фиксируемыми границами, являющийся их местом жительства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Общая социология. Под ред. А.Г.Эфендиева. М., 2004.
2. Забрускова М.Ю. Городская среда как фактор формирования городского сообщества // Материалы Всероссийского студенческого форума “Молодежь и всемирное наследие”. Казань, 2003.
3. Мухаметзянов Т.Ф. Социально-территориальные образования, г. Казань // Материалы 56 НТК КГАСА. Казань, 2004.
4. Яргина З.Н., Хачатрянц К.К. Социальные основы архитектурного проектирования. М: Стройиздат, 1990.
5. Забрускова М.Ю. Раздел II. Социальное развитие города (градостроительный аспект) // Концепция пространственного развития г. Казани. Центр разработки генплана г. Казани. Казань, 1994.
6. www.glossary.ru - словарь терминов и определений, 2005.
7. Градостроительный кодекс РФ, 2005.



711.168

Т.А. Крамина, Ю.В. Васильева

АНАЛИЗ ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕННЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ ОЦЕНКЕ УСЛОВИЙ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

Для разработки научно обоснованной методологии реставрации памятников архитектуры, учитывающей причинно-следственные связи, формирующиеся в системе “памятник – геологическая среда”, значительный интерес представляет диагностика деформаций памятников, позволяющая объяснить наблюдаемые признаки деформаций, обусловленные различными причинами, которые можно классифицировать следующим образом:

- 1) конструктивные, присущие самому памятнику;
- 2) внешние, связанные с действием внешних природных и антропогенных факторов и с режимом эксплуатации памятника.

В числе первых причин можно перечислить следующие: ошибки, связанные с выбором местонахождения памятника (геоморфологические территории, например, Печёрский монастырь XV в., Солотчинский монастырь и храм Христа Спасителя на Воробьёвых горах); ошибки, связанные с характером сооружения (тип применённых материалов, конструктивные дефекты, ошибки, допущенные при строительстве, ошибки технологического порядка и прочее).

Внешние причины включают в себя естественный ущерб и повреждения, нанесённые человеком; их можно подразделить, в свою очередь, на:

- 1) естественные долговременные причины;
- 2) естественные случайные причины;
- 3) причины, связанные с хозяйственной деятельностью человека.

Естественные причины включают в себя многочисленные физические, химические, биологические, микробиологические процессы, медленно разрушающие конструкцию памятника. Их часто определяют термином “старение” сооружения.

В качестве примера подобного “старения” можно привести случай химического выветривания раствора кирпичной кладки в цокольной части торговых рядов Солигачине. В результате подсоса высокоминерализованных сульфатных вод был полностью выщелочен известковый раствор, что привело к осадке цоколя и расположенных выше конструкций.

Причины, связанные с деятельностью человека, включают ущерб, связанный с изменениями, приносимыми людьми в окружение памятника (появление вредных элементов в воздухе, например, сернистый газ, окись углерода, изменение гидрогеологических условий).

Существование памятника архитектуры проходит под воздействием окружающих его и действующих на него факторов внешней среды. Взаимодействие их с основными несущими конструкциями приводит к формированию сложных причинных связей и явлений. Фиксирование явлений, как результат такого взаимодействия, даёт возможность судить о ходе дальнейшего развития наблюдаемых явлений, которые могут нанести ущерб сохранению памятника.

Особого внимания заслуживает анализ воздействия внешних факторов на памятники архитектуры.

Геологическая среда является основанием любого памятника архитектуры и выполняет очень важную роль при сохранении несущих конструкций, наиболее полно аккумулирует и истощает энергию в связи с инженерной деятельностью человека.

На рубеже последних двух столетий и особенно в последние десятилетия деятельность человека стала несоизмерима с возможностями окружающей геологической среды, которая не в состоянии оказывать сопротивление этим воздействиям. Об этом свидетельствует участвовавшее число проявлений:

- морозного пучения;
- суффозионного износа;
- оползней, провалов;
- геохимического техногенеза на исторических территориях.

Известно, например, что в связи с процессами, развивающимися в результате подземной урбанизации, нарушается “зона комфорта” окружающей геологической среды в сфере взаимодействия её с памятниками архитектуры.

Особого отношения заслуживают исторические центры городов и зоны регулирования застройки, где изменение геологической среды способно поставить под угрозу сохранность и даже само существование памятников архитектуры.

Поэтому при таком широкомасштабном строительстве, какое ведётся сейчас, например, в историческом ядре г. Казани, необходимо проводить детальный, научно обоснованный прогноз изменений инженерно-геологических условий.

Анализ этих изменений позволил выделить следующие из них, как приводящие к наиболее существенным деформациям памятников архитектуры г. Казани:

- 1) неравномерное уплотнение грунтов;
- 2) гидростатическое и гравитационное сжатие и



уплотнение;

- 3) развитие ползучести;
- 4) разрушение структуры грунтов;
- 5) снижение их прочности;
- 6) набухание глинистых грунтов;
- 7) промерзание грунтов;
- 8) поверхностный эрозионный размыв;
- 9) разложение органического вещества;
- 10) геохимические преобразования в грунтах.

В проектах детальной планировки исторических городов необходимо предусматривать технические решения, исключаяющие последствия вышеперечисленных процессов.

Любая деятельность человека, вооруженного современной техникой, представляет собой большую опасность, и когда человек неразумно пользуется данными ему возможностями, природа мстит. Она мстит и тогда, когда её мудрые предостережения остаются без внимания, а охранные мероприятия перед началом строительных работ не проводятся на должном уровне.

Особый риск представляет в настоящее время освоение подземного пространства г. Казани. По-прежнему наиболее опасным видом строительства в исторических центрах городов является метрополитен. Крупномасштабные технологии проходки станционных и наклонных эскалаторных тоннелей, котлованов для кассовых залов, шахт существенно изменяют состояние геологической среды. Устройство ограждающих стен с помощью шпунтов и обсадных труб, забиваемых ударно-канатным методом, замораживание грунтов и откачка воды, разуплотнение пород вблизи котлованов и тоннелей, использование большегрузных самосвалов и тяжелой техники создают условия, несовместимые с сохранением весьма хрупкого равновесия, установившегося в системе “памятник – геологическая среда”.

Сохранение памятников архитектуры зависит от стабильности гидрогеологических условий. Например, для Великого Новгорода и Казани это во многом зависит от “законсервированности” первого водоносного слоя, поскольку многие памятники архитектуры покоятся на культурном слое, сформированном в IX – XIV веках. И если произойдёт резкое понижение уровня грунтовых вод в пределах культурных накоплений, которые содержат большое количество органических остатков, то в результате их окисления вся территория города будет испытывать

неравномерное уплотнение грунтов культурного слоя и очень многие памятники могут оказаться в сложных инженерно-геологических условиях.

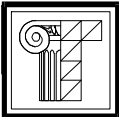
Изучение явления подъёма грунтовых вод показало, что оно может быть вызвано двумя обстоятельствами: во-первых, плохим качеством проведённых ранее строительных работ (нарушение вертикальной планировки исторических территорий, оставленные на длительный срок не закрытыми котлованы, скопление строительного мусора, утечка воды и т.п.); во-вторых, причинами, связанными с изменением естественных условий площадок и нарушением структуры напластований, вызываемыми их перерезкой подземными коммуникациями, уменьшением поверхности испарения из-за асфальтирования взамен грунтовому или брусчатому первоначальному покрытию.

Рассмотренные случаи показывают, сколь важно стремиться к исключению влияния нежелательных антропогенных факторов, снижающих несущую способность грунтов в сфере взаимодействия с памятниками архитектуры. Если это соответствие сохранить не удаётся, необходимо прибегать к искусственным мероприятиям по укреплению грунтов оснований памятников, дренажированию территорий, их планировке и т.п.

Таким образом, исследование причинно-следственных связей, формирующихся в системе “памятник – геологическая среда”, приобретает в настоящее время всё большую значимость, поскольку в области реставрационных мероприятий оно способствует повышению эффективности и рациональности работ по выявлению причин и факторов, разрушающих памятники архитектуры, и тем самым поможет более надёжно и грамотно принимать решения по их восстановлению, обеспечивающему долговременный срок службы отреставрированных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балковски Ф.Д. Санирование исторических зданий. – М.: Стройиздат, 2002. – 80 с.
2. Порывай Г.А. Техническая эксплуатация зданий. – М.: Стройиздат, 2001. – 176 с.
3. Физдель И.А. Дефекты в конструкциях, сооружениях и методы их устранения. – М.: Стройиздат, 1997. – 336 с.



УДК 624.02.86
Б.С. Соколов

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ АНИЗОТРОПНЫХ МАТЕРИАЛОВ СЖАТИЮ

В 1990 г. впервые в истории кафедры железобетонных и каменных конструкций КИСИ была защищена докторская диссертация [1], из названия которой следует, что она посвящена исследованию балок-стенок.

При строительстве зданий и сооружений используются балки-стенки различных конструктивных решений (рис.1):

- одно- и многопролетные;
- глухие и с отверстиями;
- сплошные и составные;
- в виде горизонтальных и вертикальных диафрагм;
- с различными контурными условиями;
- выполняющие роль связей сдвига (перемычки) и др.

Многообразие конструктивных форм балок-стенок потребовало разработки методологии научного поиска решения проблемы (рис.2) для достижения поставленной цели создания методики расчета балок-стенок на основе единого подхода к оценке прочности и трещиностойкости. Основными этапами исследований являлись:

- проведение численных исследований по изучению напряженно-деформированного состояния разных решений конструкций;
- выполнение физических экспериментов;
- разработка общего подхода к расчету, отражающего основные закономерности в работе балок-стенок различных конструктивных решений;

- создание частных методик расчета, учитывающих конструктивные особенности балок-стенок.

Численные исследования выполнялись начиная с 1974 г., с использованием существующих вычислительных комплексов для ЭВМ типа ЕС (Стресс, Экспресс и др.), затем для ПЭВМ (Лира, Мираж, Scad и др.). Программами численных экспериментов предусматривалось варьирование большого числа факторов с определением, после анализа напряженно-деформированного состояния, наиболее значимых. В каждом случае конструкция доводилась до виртуального разрушения введением в зоны максимальных напряжений микрощелей, имитирующих трещины в бетоне. Зоны разрушения определялись по критериям прочности в зависимости от напряженного состояния. Численные исследования способствовали эффективному планированию физических экспериментов.

Физические эксперименты проводились на геометрически и физически подобных натуре образцах, с использованием современных способов изучения напряженно-деформированного состояния, в т.ч. оптически чувствительных покрытий (совместно с МИСИ и НИИЖБ), и на натурных панелях при внедрении крупнопанельных жилых домов типовых серий 121, 125 и 90 в г. Казани.

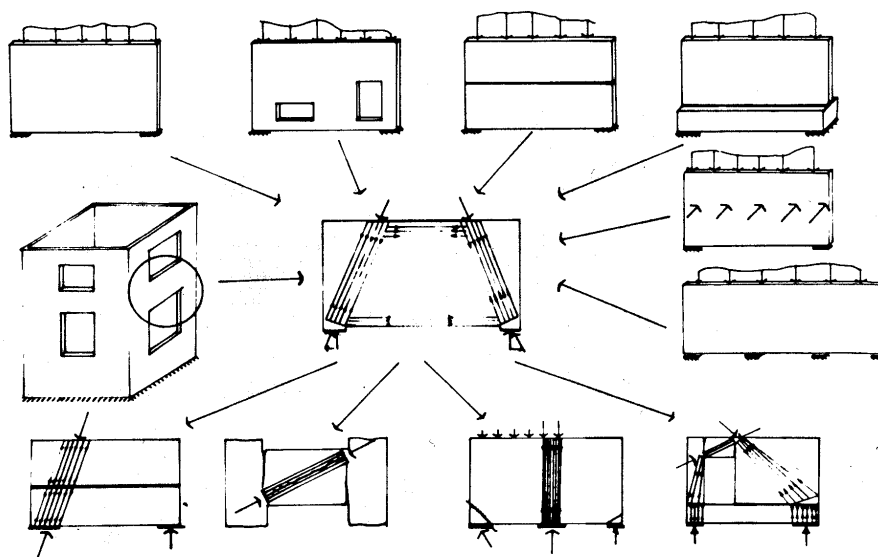


Рис.1.

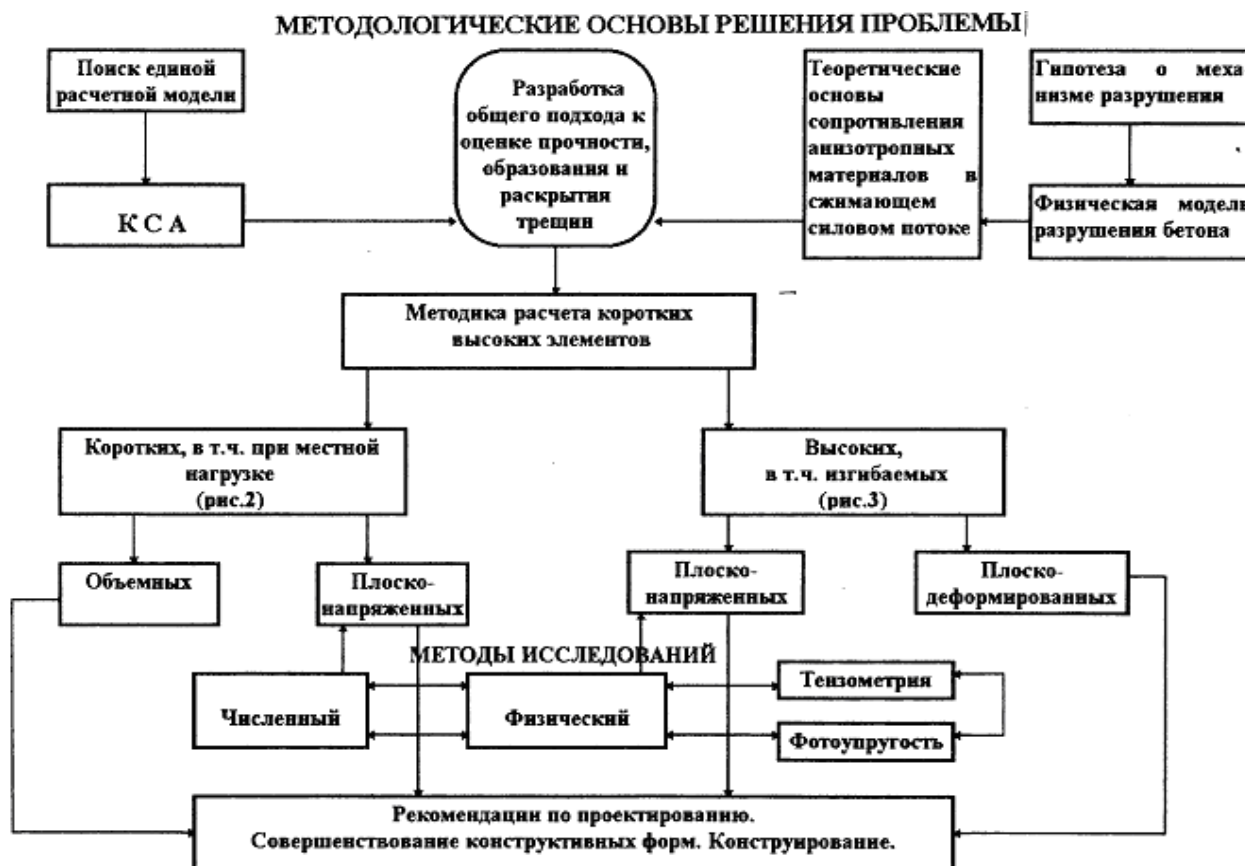


Рис.2

Результаты численных исследований и опытов, их анализ позволили выявить общую закономерность в работе балок-стенок различных конструктивных форм, заключающуюся в том, что перед разрушением они превращаются в распорные системы. В таких системах достаточно четко выделяются основные ее элементы: сжатые, по которым проходят сжимающие силовые потоки, растянутые, по которым проходят растягивающие потоки, и узлы, в которых сходятся сжатые и растянутые потоки.

Распорные системы, моделирующие работу разных конструкций, на прошедшей в г. Казани конференции [2] названы каркасно-стержневыми аналогами (КСА) и рекомендованы для оценки прочности разнообразных элементов и конструкций (рис.1, 3 и др.), объединенных в класс коротких высоких.

Подход к расчету перечисленных конструкций широко используется зарубежными и отечественными учеными и включен в нормативные документы (кодексы) в ряде стран.

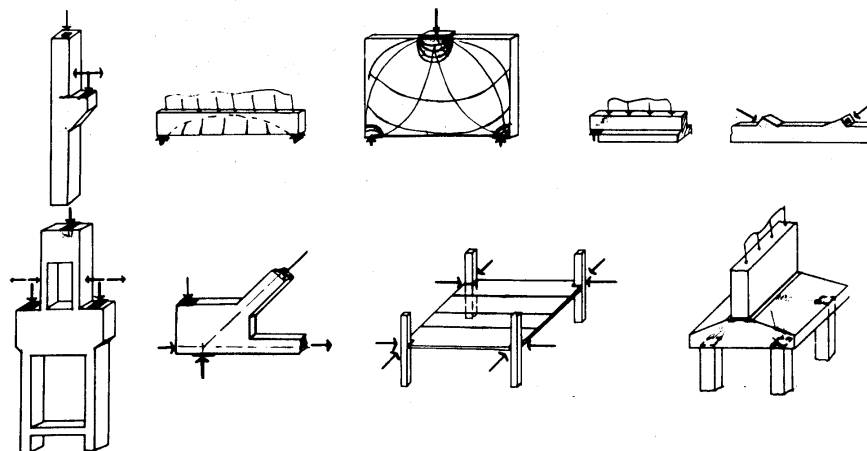


Рис.3



Узлы КСА шарнирные. Поэтому по КСА легко определяются осевые усилия, действующие на элементы системы, по которым производится оценка прочности или подбор сечения ее элементов. Как правило, при расчете сжатых элементов используется расчетное сопротивление бетона сжатию с введением эмпирических коэффициентов, сближающих расчетные и опытные данные. Однако такой подход, во-первых, не отражает действительной работы материала в сжимающем силовом потоке, во-вторых, не может быть использован для оценки прочности узлов системы и оценки сопротивления трещинообразованию.

В [1] предложен принципиально отличающийся от существующих подход к оценке прочности бетона при сжатии и базирующийся на физической модели разрушения. При ее разработке была выдвинута рабочая гипотеза, заключающаяся в следующем. Под грузовыми площадками, передающими на элемент нагрузки, образуются уплотнения в виде клиньев, под действием которых происходит разрушение от преодоления сопротивления отрыву и раздавливанию с последующим сдвигом вдоль граней клиньев. При рассмотрении вертикального сжимающего силового потока определены геометрические, физические и статические характеристики модели и на их основе получено условие прочности:

Разрушению предшествует стадия сопротивления бетона образованию и раскрытию трещин. В [3] получены аналитические выражения по оценке работы бетонных и железобетонных элементов на всех

$$N \leq N_u = (N_{bt} \cos \alpha + N_{sh}) / \sin \alpha + N_{ef}. \quad (1)$$

характерных стадиях напряженно-деформированного состояния, т.е. были созданы теоретические основы сопротивления бетона и железобетона при сжатии. Это позволило оценить прочность сжатых элементов и узлов КСА, их сопротивление всем возможным случаям разрушения от отрыва, сдвига и раздавливания. Была решена поставленная в исследованиях цель, заключающаяся в разработке единого подхода к оценке прочности и трещиностойкости балок-стенок. Учет различных конструктивных решений и форм рассматриваемых конструкций позволил создать частные методики их расчета [4, 5 и др.]. Созданная теория использована для разработки методики расчета плоских элементов при действии местной нагрузки и в модифицированном виде для объемных элементов из тяжелых, легких и ячеистых бетонов [6, 7].

Исследованиям прочности бетона при локальном приложении нагрузки уделяется большое внимание, т.к. по такой схеме работают весьма ответственные элементы зданий – стыки контактные, платформенные, комбинированные.

Только в [8] опубликовано более 500 результатов испытаний опытных образцов, отличающихся прочностью бетона, формой и размерами грузовых площадок, схемой приложения нагрузок и др., из которых заметна тенденция увеличения прочности бетона по мере уменьшения соотношения рабочей площади к площади поперечного сечения образца. Ни один из приведенных в [9] подходов, также как и формулы отечественных норм, не дают физического объяснения этому явлению. По модели разрушения это явление можно увидеть наглядно. В соответствии с ней в сжимающем силовом потоке образуются две зоны: зона сжатия-сжатия непосредственно под грузовыми площадками и зона сжатия-растяжения между ними. Известно, что прочность бетона, работающего в условиях сжатия-сжатия, выше, чем находящегося в области сжатия-растяжения. Поэтому разрушение в сжимающем силовом потоке начинается с области сжатия-растяжения. Для этого случая получено условие (1). Однако вероятность такого случая уменьшается с увеличением высоты элемента и размеров грузовой площадки, что вызвано уменьшением высоты растянутой зоны. При этом увеличивается вероятность разрушения в области сжатия-сжатия от раздавливания (смятия) бетона. Для оценки прочности бетона в этой области в [9] использованы известные критерии прочности, а в [7] разработана методика расчета на основе многоклинчатой модели. Сравнение результатов расчетов с опытными данными [8] показало, во-первых, удовлетворительную сходимость результатов, во-вторых, границу применимости предложенных расчетных выражений. При отношении меньшего размера грузовой площадки к высоте элемента более 0.3 разрушение происходит по 1-му случаю по сжато-растянутой области; при отношении меньше 0.3 по второму случаю – в области сжатия-сжатия. Представленные решения принципиально важны для конструирования при косвенном армировании. В первом случае разрушение сетки косвенного армирования следует размещать в сжато-растянутой зоне, во втором – на высоте сжатой зоны.

На основе модели разрушения рассмотрен расчет контактных стыков в [10]. Исследования платформенных и комбинированных стыков продолжаются. Проведены численные и физические эксперименты, показавшие перспективность использования теории сопротивления для расчета основных элементов новой каркасно-панельной несущей системы [11], что будет способствовать ее внедрению в реальные проекты при строительстве и реконструкции зданий.

Каменная кладка относится по своим механическим свойствам к анизотропным материалам. Поэтому сделана попытка использовать модель разрушения для оценки прочности кладок и получены положительные результаты. Анализ существующих в литературе опытных данных позволил уточнить геометрические



параметры модели разрушения и разработать предложения по оценке прочности кладок на сжатие, которые, по сравнению с расчетом по действующему СНиП, дают близкое совпадение с опытными данными. В течение 2-х лет проведены исследования каменных кладок с поперечным сетчатым армированием, позволившие получить новые данные, необходимые для разработки методики их расчета. В дальнейшем предполагается продолжить исследования каменных кладок из камней, изготовленных из новых материалов, с использованием современных технологий и разработать методику их расчета. Основой предлагаемых подходов к расчету является теория сопротивления анизотропных материалов сжатию, и этим она принципиально отличается от существующих в СНиП, которые были разработаны еще в 30-х годах прошлого века, и норм (кодексов) зарубежных стран.

Выводы:

1. Впервые для оценки прочности сжатых бетонных элементов предложена физическая модель, описывающая разрушение процессом преодоления сопротивления отрыву, сдвигу и раздавливанию. В совокупности с геометрическими, физическими и статическими характеристиками они составляют теоретические основы сопротивления бетона сжатию.

2. На основе модели разрушения бетона разработаны новые, более совершенные, отвечающие современному состоянию науки, методики расчета разнообразных конструкций из различных материалов (тяжелого, легкого и ячеистого бетонов, кирпичной кладки из глиняного и силикатного кирпича и др.) и элементов с уточнением лишь ее геометрических параметров, отражающих характерные особенности каждой из рассмотренных конструкций. Это свидетельствует о том, что создана теория сопротивления анизотропных материалов (бетона, железобетона, каменной кладки и др.) сжатию.

3. При конструировании анизотропные материалы, учитывая высокое сопротивление сжатию, используются преимущественно для восприятия сжимающих усилий. Поэтому разработанная теория может быть использована как основа для расчета любых конструкций и элементов, выполненных из этих материалов, воспринимающих сжимающие нагрузки.

В заключение необходимо отметить, что в последние годы некоторые исследования выполнялись по грантам и МНТ программе "Архитектура и строительство". Тема: "Теоретические основы

сопротивления анизотропных материалов сжатию" является частью госбюджетной НИР, по которой работают аспиранты и соискатели кафедры ЖБиКК. Защищены три кандидатских диссертации. Основные положения теории и методик расчета изложены в учебно-методическом пособии [5], разработан спецкурс для специальности ПГС и подготовки специалистов по магистерской программе 530106.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов Б.С. Прочность и трещиностойкость железобетонных балок-стенок. Автореферат докторской диссертации. Казань, 1989. - 31с.
2. Прочность и трещиностойкость коротких железобетонных элементов. Межвузовский сборник. Казань: КИСИ, 1989.
3. Соколов Б.С. Теоретические основы сопротивления бетона и железобетона при сжатии. //Известия вузов. Строительство. 1993, №9. - С. 39-43.
4. Соколов Б.С. Каркасно-стержневой аналог - основа для проектирования железобетонных балок-стенок различных конструктивных решений. // Межвузовский сборник Прочность и трещиностойкость коротких железобетонных элементов. Казань, 1989. - С. 42-47.
5. Соколов Б.С. Проектирование стеновых панелей зданий. Казань. Ч.1, 1991. - С.76; Ч.2, 1994. - С. 64.
6. Соколов Б.С., Мустафин И.И. Прочность керамзитобетонных элементов при действии местной нагрузки. //Известия ВУЗов. Строительство. 1995, №1. - С.7-10.
7. Соколов Б.С., Антаков А.Б. Прочность объемных элементов из керамзитобетона при местном действии нагрузки. //Известия вузов. Строительство. 1999, №5. - С.139-144.
8. A.Williams Cehg, MIMechE. Technical Report 526. The bearing capacity of concrete loaded over a limited area. Cement and concrete association.
9. Соколов Б.С. Новый подход к расчету прочности бетонных элементов при местном действии нагрузки. //Бетон и железобетон, 1992, №10. - С. 22-24.
10. Никитин Г.П. Совершенствование методики расчета контактных стыков железобетонных колонн. //Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции "Градостроительство, реконструкция и инженерное обеспечение устойчивого развития городов Поволжья". Тольятти, 2004.
11. Соколов Б.С., Никитин Г.П. Патент на полезную модель №33595 от 27.10.2003. Реконструируемое каркасно-панельное здание.



УДК 624.012.351.45

Илизар Т. Мирсаяпов, Д.М. Нуриева

ОЦЕНКА СЕЙСМОСТОЙКОСТИ МНОГОЭТАЖНЫХ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ С УЧЕТОМ НЕЛИНЕЙНОГО ПОВЕДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОСНОВАНИЕМ

При землетрясениях в конструкциях зданий развиваются повреждения, что заставляет их работать в условиях, когда проявляются нелинейные свойства железобетона. В результате происходит снижение жесткости конструкций, перераспределение усилий и образование зон пластичности. Характер разрушения здания зависит как от особенностей сейсмической нагрузки, так и от характеристик самого здания. Анализ последствий разрушительных землетрясений и экспериментальные исследования крупномасштабных моделей зданий показывают, что в многоэтажных каркасных зданиях наиболее характерным является разрушение колонн. Причем, разрушение, как правило, происходит от совместного действия изгибающих моментов и продольных сил.

Сейсмические нагрузки, действующие на здание, имеют инерционную природу. Они зависят не только от ускорений грунта, но и от собственных ускорений масс. Любые изменения в конструкции здания (снижение жесткости, образование пластических шарниров) влекут изменение его инерционных характеристик, а, следовательно, и изменение приложенных сейсмических сил. Наблюдается явная зависимость сейсмических сил от жесткости системы и степени ее повреждения. Поэтому при оценке сейсмостойкости многоэтажных каркасных зданий для получения наиболее достоверных результатов необходимо учитывать нелинейное поведение конструкций.

Учесть это позволяет прямой динамический метод расчета. В основе метода лежит шаговое интегрирование уравнений колебания системы. Процесс нагружения разбивается на небольшие интервалы времени, и нагрузка задается по шагам. В пределах каждого шага деформативные и динамические характеристики системы изменяются в соответствии с текущим напряженно-деформированным состоянием. Таким образом, неупругая работа конструкций аппроксимируется рядом последовательно изменяющихся систем.

С целью учета предыстории нагружения предполагается проведение предварительного нелинейного статического расчета на действие эксплуатационных нагрузок. Результаты, полученные по окончании статического расчета, служат начальными условиями для последующего – динамического.

Расчетная схема многоэтажного каркасного здания при динамическом расчете представляется в виде невесомой рамы с массами, сосредоточенными на

уровне перекрытий, загруженная вертикальными силами N_i и изменяющимися во времени силами $P_i(t)$. Силы $P_i(t)$ определяются в зависимости от ускорений грунта:

$$P_i(t) = -m_i y''_{za}(t) \quad (1)$$

Для учета податливости грунта основания в расчетной схеме предполагается введение вместо жестких заделок в основании рамы упругоподатливых связей.

Уравнение динамического равновесия системы записывается в форме приращений:

$$m \Delta y(t) + c \Delta y' + k(t) \Delta y = -m \Delta y''_{za}(t), \quad (2)$$

где m , c , k матрицы масс, демпфирования и жесткости, соответственно; Δy , $\Delta y'$, $\Delta y''$ – вектора изменения (приращения) ускорений, скоростей и перемещений масс системы в рассматриваемом интервале времени; $\Delta y''_{гр}$ – приращение ускорения грунта, изменяющегося по произвольному закону.

Решение уравнений производится методом линейных ускорений [3]. Нелинейные процессы, происходящие в системе, учитываются путем изменения на каждом шаге матрицы жесткости. При этом в качестве рабочей диаграммы предлагается использовать диаграмму деформирования в координатах Момент-кривизна, построение которой проводится на основе деформационной модели железобетонного элемента (рис.1, 2). На рисунке $M_{кр}$ – момент трещинообразования; M_T – изгибающий момент, соответствующий достижению растянутой арматуры предела текучести; M_{ult} – предельный момент, воспринимаемый сечением элемента; $M_{разр}$ – момент разрушения; $(1/r)_{ult}$ – предельная кривизна, определяется при достижении бетоном или арматурой предельных деформаций.

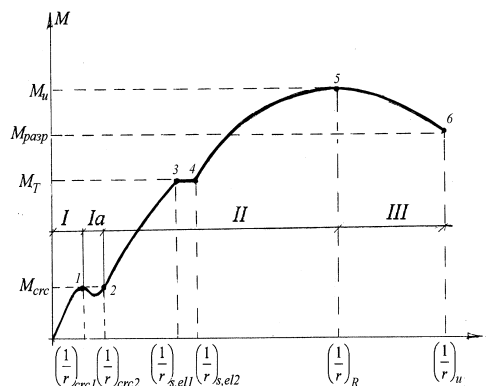


Рис.1. Общий вид диаграммы “Момент-кривизна” сжато-изогнутого железобетонного элемента



Деформационная модель включает в себя уравнения равновесия сечения железобетонного элемента, условия деформирования в виде плоского поворота сечения и диаграммы деформирования бетона и арматуры, трансформированные для случая знакопеременного циклического нагружения [2].

Уравнения равновесия нормального сечения элемента:

$$\int_0^{x_b} s_b(e_b)b(x)dx - \int_0^{x_{bt}} s_{bt}(e_{bt})b(x)dx + s_s(e'_s)A'_s - s_s(e_s)A_s - N = 0; \quad (3)$$

$$\int_0^{x_b} s_b(e_b)b(x)x dx + \int_0^{x_{bt}} s_{bt}(e_{bt})b(x)x dx + s_s(e_s)A_s(h_0 - x_b) + s'_s(e'_s)A'_s(x_b - a'_s) \pm Ne = M + \Delta M_s + \Delta M_b, \quad (4)$$

где $\sigma_b(\epsilon_b)$, $\sigma_{bt}(\epsilon_{bt})$, $\sigma'_s(\epsilon'_s)$, $\sigma_s(\epsilon_s)$ - зависимости напряжения - деформации бетона и арматуры при сжатии и растяжении; $b(x)$ - функция изменения ширины сечения по его высоте; M - изгибающий момент от внешней нагрузки; ΔM_s и ΔM_b - дополнительные изгибающие моменты, возникающие вследствие развития остаточных деформаций в арматуре и бетоне сжатой зоны.

Условия деформирования элемента:

$$\frac{e_b}{e_s} = \frac{x_b}{h_0 - x_b}; \quad \frac{e'_s}{e_s} = \frac{x_b - a'_s}{h_0 - x_b}; \quad \frac{e_{bt}}{e_b} = \frac{h - x_b}{x_b}. \quad (5)$$

Кривизна элемента определяется по формуле:

$$\frac{1}{r} = \frac{e_b + e_s}{h_0} \quad (6)$$

Построение диаграммы производится шагово-итерационным методом, суть которого заключается в решении на каждом шаге счета системы уравнений равновесия (3, 4) в сочетании с условиями деформирования (5): прежде определяются величины дополнительных моментов ΔM_s и ΔM_b . Затем с определенным шагом задаются деформации краевого волокна бетона сжатой зоны ϵ_b . Для каждого значения ϵ_b совместно решаются уравнения (3, 5) и вычисляются деформации в других компонентах сечения. На основе диаграмм « $\sigma - \epsilon$ » определяются напряжения, соответствующие полученным деформациям, и из уравнения (4) вычисляется изгибающий момент, воспринимаемый сечением при рассматриваемых деформациях, а по формуле (6) - кривизна элемента.

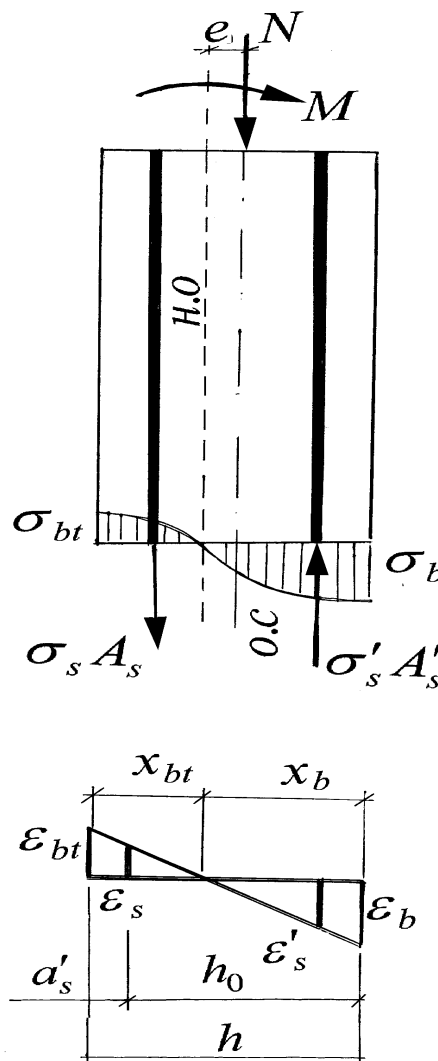


Рис.2. Модель сжато-изогнутого железобетонного элемента

Диаграммы Момент-кривизна используются в расчете рамных конструкций для определения переменной жесткости элементов. Причем, универсальность диаграмм заключается в том, что они могут быть использованы не только для сжато-изогнутых элементов (колонн), но и изгибаемых, и растянуто-изогнутых ригелей, если в уравнениях равновесия (3, 4) продольное усилие N равно нулю или имеет обратный знак, соответственно. Жесткость элементов принимается секущая и вычисляется с включением итерационного процесса. В статическом расчете на действие эксплуатационных нагрузок за начальное приближение принимается линейная жесткость, в динамическом - значение, полученное в конце предыдущего шага.

Динамический расчет проводится в следующей последовательности: процесс нагружения разбивается на небольшие интервалы времени. Для каждого шага задаются приращения ускорений грунта $\Delta y''_{гр}$. При этом начальные жесткости, усилия в элементах, ускорения, скорости и перемещения масс системы известны либо из начальных условий задачи, либо из



величин, полученных в конце предыдущего приращения времени. Для каждого элемента рамы строится диаграмма Момент-кривизна. Итерационным путем производится определение жесткости элементов, уточнение матрицы жесткости k , решение уравнений (2), вычисление усилий и кривизны в элементах рамы от заданного приращения нагрузки. В качестве начального приближения используются жесткости, полученные в конце предыдущего шага. Итерации проводятся до тех пор, пока во всех элементах системы разность жесткостей в двух последующих итерациях не будет меньше величины, характеризующей заданную точность расчета. По выполнению условия сходимости производится проверка условия жесткости (кривизна элементов не должна превышать предельных значений). Если жесткость системы обеспечена, производится переход к новому шагу. Невыполнение условия жесткости в каком-либо элементе равносильно развитию в нем пластического шарнира. В соответствии с этим производится изменение расчетной схемы и проводится дальнейший расчет до окончания нагружения или до образования такого количества шарниров, которое превращает конструкцию в механизм. Причем, выключение связей производится по очереди. Если в пределах одного шага выключается сразу несколько элементов, то этот шаг повторяется вновь с более мелким разбиением.

Таким образом, расчет позволяет изучить механизм разрушения рамы, исследуя последовательность выключения связей и элементов. Система может быть разрушена частично (локально) или полностью (при появлении геометрической изменяемости).

На языке C++ разработана программа, реализующая вышеописанный метод применительно к плоским рамным железобетонным конструкциям. Она написана на базе расчетного комплекса СУМРАК-ПК, реализующего метод конечных элементов в форме метода перемещений.

Для проверки достоверности разработанной методики расчета были рассмотрены фрагменты поперечной рамы многоэтажного каркасного здания, экспериментально исследованные Беспаявым А.А. [1], и модели трехэтажного трехпролетного каркасного здания, исследованные Ржевским В.А. [4]. Характеристики рам, схемы нагружения, результаты расчетов и сопоставление теоретических и экспериментальных данных показаны на рисунках 3-9 и в таблице 1. Качественная картина поведения конструкций совпала с экспериментальной. Сопоставление теоретических и экспериментальных исследований показало хорошую сходимость результатов.

1) Модели, испытанные Беспаявым А.А.:

а) фрагмент многоэтажного здания 1 (при знакопеременном нагружении):

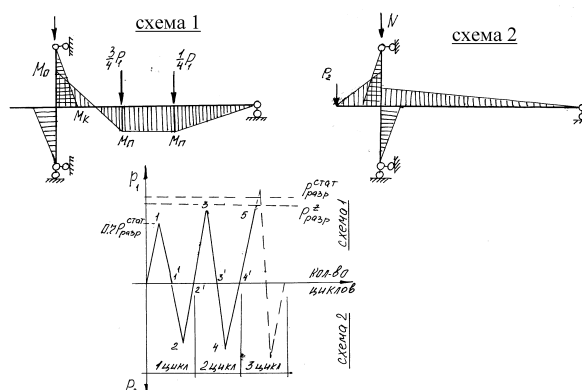


Рис.3. Схема рам нагружения.

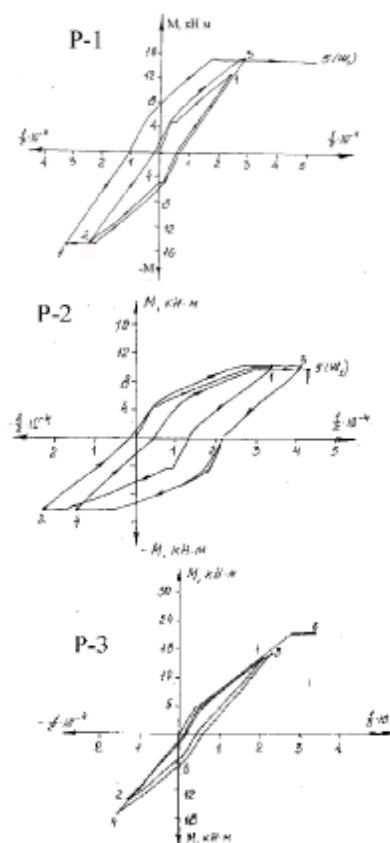


Рис.4. Расчетные диаграммы деформирования сечения в основании верхней стойки рам при знакопеременном нагружении.

Таблица 1. Сопоставление расчетных и экспериментальных усилий в критических сечениях рам при знакопеременном нагружении.

Образец	Разрушающая знакопеременная нагрузка, кН		
	Экспер-т	Расчет	Отклон-е
P-1	92	96	+4,1 %
P-2	81,7	79,2	-3 %
P-3	114	112,8	-1,1 %



б) фрагмент многоэтажного здания 2:

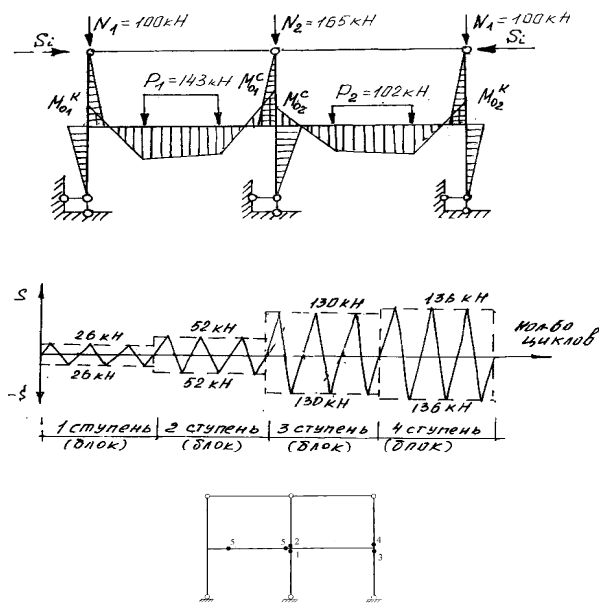


Рис.5. Схема нагружения Ж рамы и последовательность образования пластических шарниров.

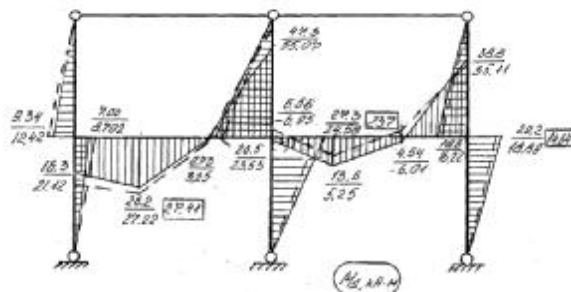


Рис.6. Эпюра моментов в Ж-раме от действия горизонтальной знакопеременной нагрузки.

2) Модели каркасного здания, испытанные Ржевским В.А.:

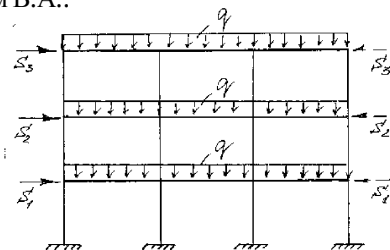


Рис.7. Расчетная схема каркаса трехэтажного здания.

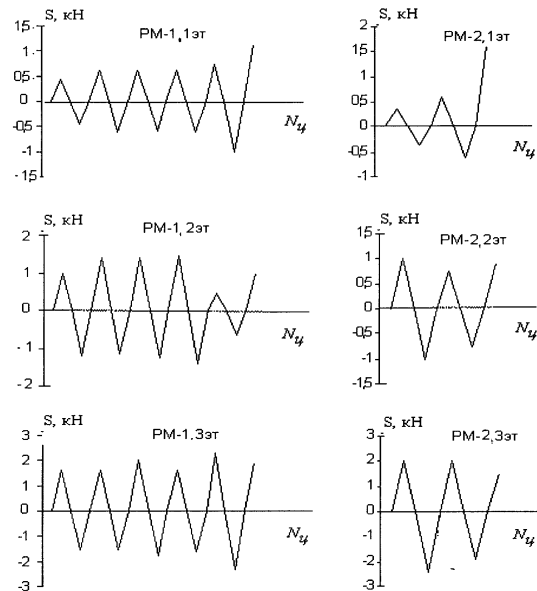


Рис.8. Графики изменения нагрузки.

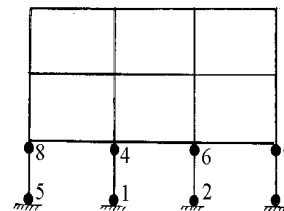


Рис. 9. Расчетный механизм разрушения рамы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспаяев А.А., Тастанбеков А.Т. Реакция железобетонного каркаса многоэтажного здания при горизонтальных сейсмических воздействиях. // Информационный листок, ППО КазЦНТИС Госстроя КазССР. Алматы, 1989. - 1 89-668 с.
2. Воронов А.А. Сейсмостойкость одноэтажных каркасных зданий при знакопеременном малоцикловом деформировании колонн: Автореф. дис. канд. техн. наук. Казань, 2000. - 23с.
3. Клаф Р., Пензиен Дж. Динамика сооружений. М.: Стройиздат, 1979. - 320 с.
4. Ржевский В.А., Аванесов Г.А. Параметры предельных состояний железобетонных элементов и рамных каркасов//Бетон и железобетон. №6, 1979. - С.17-18.



УДК 624.04

Г.Н. Дмитриев, Е.Г. Михайлова

К ПОСТРОЕНИЮ ФУНКЦИИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УСТОЙЧИВОСТИ НЕРАЗРЕЗНЫХ БАЛОК

Вопросы расчета устойчивости простых неразрезных балок с одним или двумя защемлениями рассмотрены во многих работах. Однако особенности расчета устойчивости консольно-неразрезных балок в известных работах освещены недостаточно. Анализ изменений свойств неразрезных балок при изменении технических и эксплуатационных параметров посвящено еще меньше работ.

На рис. 1 приведена схема исследуемой консольно-неразрезной балки с защемлением.

Здесь: $L_i, EI_i, i = 1(1)n$ - длины и жесткости консольной части и пролетов; $a_{pi}, i = 1(1)n$ - безразмерные эксплуатационные параметры; P - общий параметр нагрузки.

На рис. 2 приведена основная система метода перемещений консольно-неразрезной балки с защемлением.

Число основных неизвестных: углов поворота фиктивных защемлений $Z_i, i = 1(1)(n-1)$ и линейного перемещения в направлении фиктивной опоры 0 в конечном сечении консоли, определяет степень кинематической неопределимости рассматриваемой неразрезной балки, равной n .

Каноническое уравнение метода перемещений в расчете на устойчивость в матричной форме запишется в виде:

$$RZ = 0, \quad (1)$$

где R - квадратная матрица жесткости неразрезной балки, элементы $r_{ij}, i, j = 0(1)(n-1)$ которой являются коэффициентами канонических уравнений, $\dim R = n, Z = colon[Z_i], i = 0(1)(n-1)$ - вектор основных неизвестных перемещений.

Элементы матрицы R , являющиеся реакциями в введенных фиктивных связях, находят, рассматривая равновесие узлов или отсеченной части балки при деформациях, соответствующих единичным углам поворотов $Z_i, i = 1(1)(n-1)$ либо единичному смещению узла $Z_0 = 1$. Они выражаются через погонные жесткости пролетов основной системы i_i , технические параметры a_{li}, a_{ei} и базовые величины

$$\left. \begin{aligned} EI, L \quad (i_i = \frac{EI_i}{L_i}, EI_i = a_{ei}EI, L_i = a_{li}L): \\ \left. \begin{aligned} r_{00} &= \frac{3ia_{e1}}{L^2 a_{l1}^3} \cdot m_8^*(l_1), r_{01} = r_{10} = -\frac{3ia_{e1}}{L a_{l1}^2} \cdot m_7^*(l_1), \\ r_{11} &= \frac{3ia_{e1}}{a_{l1}} \cdot m_7^*(l_1) + \frac{4ia_{e2}}{a_{l2}} \cdot m_1^*(l_2), \\ r_{i,i+1} &= r_{i+1,i} = \frac{2ia_{ei}}{a_{li}} \cdot m_2^*(l_i), i = 1(1)(n-1), \\ r_{ii} &= \frac{4ia_{ei}}{a_{li}} \cdot m_1^*(l_i) + \frac{4ia_{e,i+1}}{a_{l,i+1}} \cdot m_1^*(l_{i+1}), \\ i &= 2(1)(n-1). \end{aligned} \right\} \quad (2) \end{aligned}$$

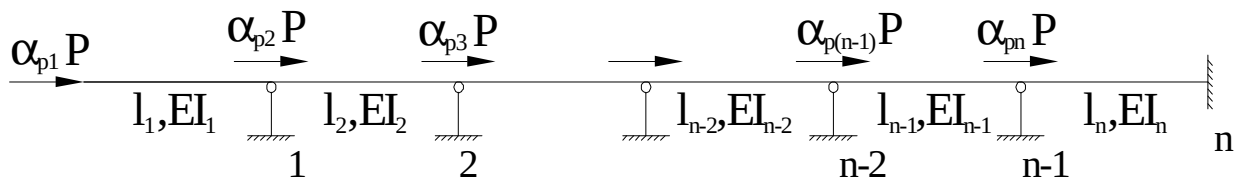


Рис.1

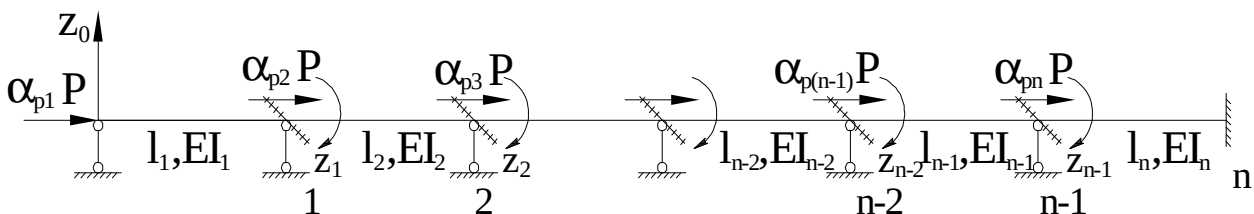


Рис.2



Для сжатого стержня со смещениями узлов реакции в связях зависят не только от смещений, но и от продольной силы. Вычисление их сложно, влияние продольной силы учитывается безразмерным

параметром l_i , $l_i = \sqrt{\frac{N_i}{EI_i}} \cdot L_i$, где N_i, EI_i, L_i - продольно-сжимающая сила, жесткость и длина i -го пролета основной системы, соответственно.

Параметры сжатия каждого пролета l_i можно определить через общий безразмерный параметр l :

$$l_i = b_i l, \quad b_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^i a_{pj}}{a_{ei}}} \cdot a_{ii}, \quad (3)$$

$$i = 1(1)n, \quad l = \frac{EI}{L}.$$

Специальные функции $m_k^*(l_i)$ получены профессором Н.В. Корноуховым в виде:

$$\left. \begin{aligned} m_1^*(l_i) &= \frac{l_i}{8 \operatorname{tg} l_i} \cdot \frac{\operatorname{tg} l_i - l_i}{\frac{l_i}{2} - \frac{l_i}{2}}, \\ m_2^*(l_i) &= \frac{l_i}{8 \sin l_i} \cdot \frac{l_i - \sin l_i}{\operatorname{tg} \frac{l_i}{2} - \frac{l_i}{2}}, \\ m_7^*(l_i) &= \frac{l_i^2 \operatorname{tg} l_i}{3(\operatorname{tg} l_i - l_i)}, \\ m_8^*(l_i) &= \frac{l_i^3}{3(\operatorname{tg} l_i - l_i)}, \end{aligned} \right\} i = 1(1)n. \quad (4)$$

Анализ структуры матрицы жесткости $\mathbf{R}$ показывает, что она кодиагональная, Якобиева, так как $r_{ik} = r_{ki}$, $r_{ik} \cdot r_{ki} > 0$. Учитывая, что вектор $\mathbf{Z}$ отличен от нуля, приходим к выводу, что матрица $\mathbf{R}$ является сингулярной. Откуда неизвестный параметр l_0 , через который определяются значения критических продольно-сжимающих сил, является минимальным корнем уравнения устойчивости:

$$\det \mathbf{R} = 0. \quad (5)$$

Заметим, что минимальный корень l_0 уравнения (5) определяет минимальное значение критической нагрузки P_0 . Вообще, уравнение (5) имеет

бесконечно большое количество корней, соответствующих Эйлеровым силам системы с бесконечно большим числом степеней свободы.

Каждой высшей Эйлеровой нагрузке $P_{0i} > P_0$ соответствует своя форма равновесия, которая неустойчива и практически не существует без введения дополнительных связей.

Уравнение устойчивости (5) можно представить в виде:

$$\det \mathbf{R} = \prod_{i=1}^n r_{ii} - \sum_{i=1}^n \prod_{\substack{s=1 \\ s \neq i, \\ s \neq i-1}}^n r_{ss} r_{i-1i}^2 = 0. \quad (6)$$

Конечным результатом расчета устойчивости неразрезной балки является определение критических продольно-сжимающих сил $N_{kpi}, i = 1(1)n$ и приведенных длин пролетов $L_{i0i}, i = 1(1)n$ по выражениям:

$$N_{kpi} = \sum_{j=1}^i a_{pj} \cdot P_0, \quad L_{npi} = m_i L_i, \quad i = 1(1)n,$$

где $m_i = \frac{P}{a_{kpi}}$ - коэффициент приведенной длины i -го пролета;

$$P_0 = \frac{l_0^2 \cdot EI}{L^2} \quad - \text{минимальное значение}$$

критической нагрузки.

Для практики представляет большой интерес исследование характера и величины изменений критических сил при изменении физических и геометрических параметров неразрезной балки. Этот вопрос имеет принципиальное значение в виду того, что практически коэффициенты канонических уравнений состояния, определяющие свойства исследуемой балки, всегда определяются приближенно или подвергаются целенаправленному изменению для изменения её свойств. При этом необходимо иметь в виду, что в случаях так называемых плохо обусловленных систем небольшие отклонения величин параметров от точных значений могут полностью обесценить получаемый в ходе решения результат.

Дальнейшие исследования проводятся с привлечением методов теории чувствительности [2]. При этом уравнение устойчивости в формах (5) или (6) будем рассматривать в качестве параметрической модели неразрезной балки. Простейшим по идее методом анализа чувствительности является численное исследование параметрической модели во всем диапазоне изменения определяющей совокупности параметров. Практическое применение такого подхода



оказывается нецелесообразным или невозможным из-за огромного количества требуемых вычислений и необозримости полученных результатов.

Функции чувствительности первого порядка представляют собой производные различных переменных состояния по параметрам соответствующей определяющей группы. Заметим, что коэффициенты r_{ij} матрицы R являются голоморфными, отсюда функции чувствительности существуют и непрерывны по параметрам определяющей группы.

Первое приближение для дополнительного решения определяется в виде:

$$l_0^{(1)} = \sum_{\substack{i=1 \\ j=n+1}}^n U_{ij}(a_0) \tilde{a}_{ij} \quad (7)$$

где $\tilde{a}_{ij}$ - приращение (вариация) параметров,

$$U_{ij}(a_0) = \frac{\partial}{\partial a_{ij}} \det R|_{a=a_0} \quad (8)$$

- соответствующие функции чувствительности.

По (7) следует, что первое приближение линейно относительно приращений параметров $\tilde{a}_{ij}$ и функций

чувствительности $U_{ij}(a_0)$, поэтому оно весьма удобно для анализа и его часто используют как приближенное представление дополнительного решения:

$$l_0 \approx l_0^{(1)}(a). \quad (9)$$

Таким образом, при исследовании чувствительности устойчивости неразрезных балок на первом шаге по уравнению устойчивости (5) либо (6) определяется минимальное значение l_0 . На следующем шаге вычисляются функции чувствительности (8) по всем параметрам определяющей совокупности параметров a .

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев В. А. Строительная механика. Специальный курс. М.: Стройиздат, 1969. - 432 с.
2. Розенвассер Е. Н., Юсупов Р. М. Чувствительность систем управления. М.: Наука, 1981. - 464 с.



УДК 624.012.35.45

Ильшат Т. Мирсаяпов

МОДЕЛЬ УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С БОЛЬШИМ ПРОЛЕТОМ СРЕЗА

Усталостные испытания железобетонных балок при $c_0 = 3h_0$, где c_0 – расстояние между осью опоры и грузом, позволяют выдвинуть следующую гипотезу образования и развития критической наклонной трещины и разработать модель усталостного разрушения железобетонных изгибаемых элементов в зоне действия поперечных сил при многократно повторяющихся нагрузках. Задолго до образования нормальных и наклонных трещин в глубине пролета

среза, тем более до формирования и развития критической наклонной трещины, в нормальном сечении в конце пролета среза образуется нормальная трещина. К моменту образования остальных трещин в зоне действия поперечных сил эта нормальная трещина в конце пролета среза развивается на большую высоту и растянутая зона практически исключается из работы; эпюра напряжений $s_x^{max}(t)$ искривляется (рис.),

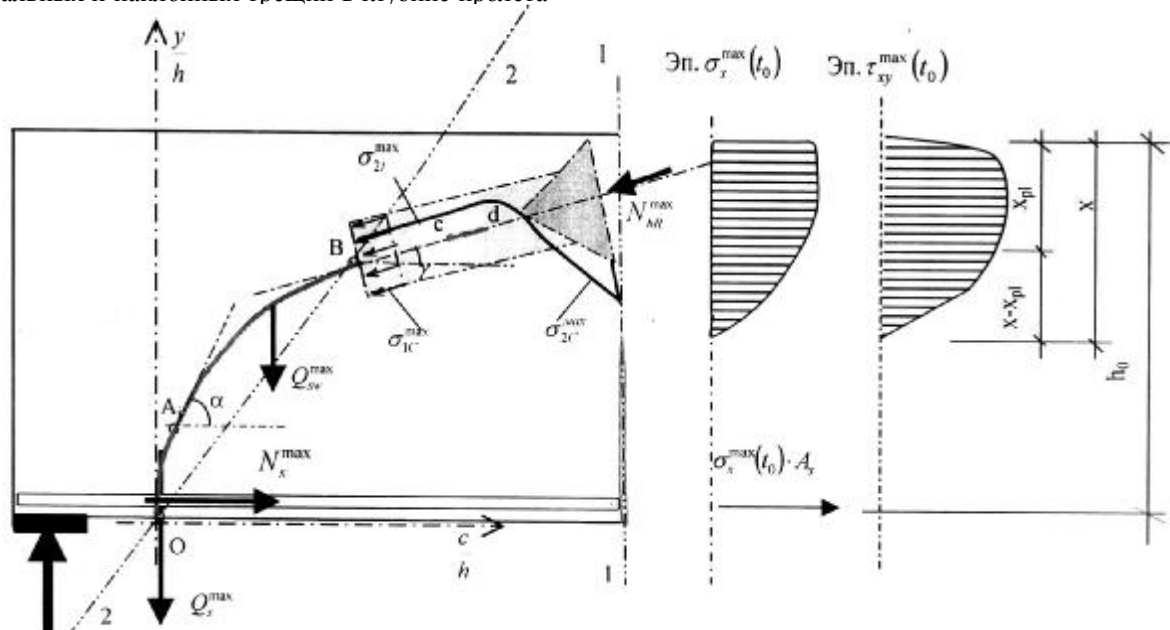


Рис. Схема развития критической наклонной трещины и распределение начальных напряжений в нормальном сечении 1-1, проходящем через нормальную трещину в конце пролета среза

увеличивается полнота эпюры W_s и начинает образовываться пластический участок в верхней части эпюры; уменьшение высоты нетреснутой части бетона в этом нормальном сечении с трещиной приводит к увеличению полноты эпюры W_t касательных напряжений и к резкому увеличению максимального значения касательных напряжений $t_{xy}^{max}(t)$. Поэтому в пределах пластического участка сжатой зоны X_{pl} резко увеличивается равнодействующая N_{br}^{max} нормальных

$$N_{b1}^{max} = \int_{A_{pl}} s_x^{max}(t) \cdot dA \quad \text{и} \quad \text{касательных}$$

$$Q_{b1}^{max} = \int_{A_{pl}} t_{xy}^{max}(t) \cdot dA \quad \text{усилий, где } A_{pl} \text{ — площадь}$$

пластического участка сжатой зоны в нормальном сечении с трещиной в конце пролета среза. Под воздействием усилия в сжатой зоне, действующего в пределах ограниченной грузовой площадки $X_{pl}/\cos$, в направлении действия этого усилия возникает наклонный сжимающий силовой поток. Характер распределения напряжений внутри этого наклонного сжимающего силового потока такой же, как при смятии. Как известно, при смятии, как и при местном сжатии, под грузовой площадкой небольшой ширины образуется клин уплотнения, который находится в условиях двухосного сжатия. Под воздействием клина уплотнения в средней части сжимающего силового



потока возникает плоское напряженное состояние растяжение-сжатие. При циклическом нагружении, еще до образования критической наклонной трещины, внутри наклонного сжимающего силового потока от микропор в теле бетона или усадочных микротрещин по линии действия главных растягивающих напряжений зарождаются и развиваются усталостные микротрещины отрыва, а затем они объединяются в макротрещину отрыва **cd** под углом к продольной оси элемента (рис.). При увеличении уровня нагрузки при первом нагружении или увеличении количества циклов нагружений происходит появление и развитие других трещин в глубине пролета среза. В приопорной зоне, в результате совместного действия моментов и поперечных сил, в сечениях возникают нормальные $s_x^{\max}(t)$, $\sigma_y^{\max}(t)$ и касательные $t_{xy}^{\max}(t)$ напряжения.

Поэтому в растянутой зоне приопорной зоны за критерий образования трещины принимается достижение главными растягивающими напряжениями предела прочности бетона при первом кратковременном нагружении или его усталостной прочности, если она образуется после определенного количества циклов нагружения. В изгибаемых элементах с большим пролетом среза отношение главных сжимающих напряжений к главным растягивающим напряжениям по длине траектории главных сжимающих напряжений увеличивается от 0 на растянутой грани до (1-8,5) на высоте (0,5-0,6)h. Поэтому при увеличении уровня нагрузки при первом нагружении или увеличении количества циклов нагружения в зоне действия поперечных сил вначале образуются нормальные трещины, а затем они, искривляясь по траектории главных сжимающих напряжений, превращаются в наклонные трещины (участок на рис.). Траектории главных сжимающих напряжений с удовлетворительной точностью можно описать уравнением:

$$\frac{y}{h} = \frac{a}{b + \frac{h}{c}} \quad (1)$$

Если в (1) принимать $a = 8$ и $b = 10$, получается выражение, полученное в [1] для описания траектории главных сжимающих напряжений, а, следовательно, и трещин в приопорной зоне при статическом нагружении, которое хорошо согласуется с экспериментальными данными.

При увеличении количества циклов нагружения одна из таких наклонных трещин начинает развиваться более интенсивно, чем остальные, и становится критической. После вхождения в сжатую зону, если следовать по траектории главных сжимающих напряжений, главные растягивающие напряжения уменьшаются, а главные сжимающие напряжения, наоборот, увеличиваются. Учитывая, что в пределах

начального участка ОАВ развитие наклонной трещины происходит при достижении главными растягивающими напряжениями предела прочности бетона или его усталости при растяжении, то уровня

S_{mt} на высоте около 0.6h уже не хватает, а уровня

S_{mc} еще не хватает для дальнейшего продвижения наклонной трещины в направлении конца пролета среза. Поэтому нужно искать другую причину дальнейшего развития критической наклонной трещины.

Причиной превращения одной из наклонных трещин в критическую, дальнейшего развития критической наклонной трещины и более интенсивного ее раскрытия по сравнению с остальными наклонными трещинами, а также резкого увеличения напряжений

$s_s^{\max}(t)$ в продольной арматуре в месте пересечения с критической наклонной трещиной (выравнивание усилий) является наклонный сжимающий силовой поток, образованный ранее от действия равнодействующей $N_{BR}^{\max}$ усилий в сжатой

зоне. Это можно объяснить тем, что согласно [2] наиболее характерной особенностью развития трещин нормального отрыва, развивающихся вдоль линии действия сжимающих усилий, является стремление любой, даже первоначально наклонной к линии действия сжимающего усилия, трещины выравнивать свою траекторию в направлении сжатия, т.е. критической становится та наклонная трещина, которая попадает в зону влияния наклонного сжимающего силового потока.

Таким образом, критическая наклонная трещина в растянутой зоне развивается по траектории, описываемой уравнением (1), в котором a и b определяются исходя из граничных условий. При этом угол наклона $a_i \neq const$ и меняется в каждой следующей точке. Далее, попадая под влияние наклонного сжимающего силового потока, продолжает развиваться также под углом $g = const$ к продольной оси изгибаемого элемента, как и макротрещина отрыва **cd** внутри наклонного сжимающего силового потока.

В наклонном сжимающем силовом потоке, как отмечалось выше, еще до образования наклонных трещин в зоне действия поперечных сил развиваются микротрещины, которые с увеличением количества циклов нагружения объединяются в макротрещину отрыва **cd** вдоль оси силового потока, т.е. под углом g . В изгибаемых элементах без поперечной арматуры, когда длина этой макротрещины отрыва $l(t)$ достигает критической величины, происходит динамическое



развитие макротрещины отрыва в наклонном сжимающем силовом потоке. Поэтому в элементах без поперечной арматуры критерием разрушения по сжатой зоне можно принимать достижение макротрещиной отрыва в сжатой зоне (с углом наклона ϑ) критической

длины, т.е. $l(t) = l_{cr}$. При соблюдении этого условия происходит ее неустойчивое, динамическое развитие и слияние с критической наклонной трещиной ОАВ и происходит мгновенное разрушение. Учитывая, что развитие микротрещин и объединение их в макротрещину происходит в сжатой полосе, образующейся под влиянием N_{br}^{max} , объективную усталостную прочность сжатой зоны наклонного сечения в элементах без поперечной арматуры в зависимости от длины макротрещины отрыва $l(t)$ можно представить в виде:

$$R_b(t) = \frac{1,5K_{Icf}}{\sqrt{p \cdot l_I(t) \cdot Y_I(l) \cdot l \cdot x_1 \cdot \sin 2j}} + \frac{2K_{IIcf}}{\sqrt{p \cdot l_{II}(t) \cdot Y_{II}(l) \cdot \sin 2j \cdot \cos^2 j}}; \quad (2)$$

где K_{Icf} , K_{IIcf} – критические коэффициенты интенсивности напряжений при циклическом нагружении для трещин I и II типов в рассматриваемый момент времени t ; $l_I(t)$; $l_{II}(t)$ – текущие длины трещин I и II типов; $Y_I(l)$, $Y_{II}(l)$ – функции, учитывающие геометрические формы образца и схему нагружения; j – угол внутреннего трения бетона; x_1 ; l – высота сжатой зоны бетона в сечении с трещиной в конце пролета среза и коэффициент пластичности бетона.

В элементах с поперечной арматурой наличие поперечной арматуры отражается на характере развития макротрещины отрыва в сжатой зоне, а, следовательно, и на величине объективной прочности, так как стержни, пересекающие макротрещину отрыва в сжатой зоне, оказывают сдерживающее влияние в ее развитии. В элементах с поперечной арматурой влияние поперечной арматуры учитываем заменой K_{Icf} в (2) на $K_{Icf} + K_{IS}$; где K_{IS} – коэффициент интенсивности напряжений, характеризующий сдерживающее влияние арматуры на развитие трещины, т.е. коэффициент, учитывающий влияние усилий в поперечной арматуре на интенсивность напряжений в вершине трещины. Поэтому в элементах с поперечной арматурой развитие макротрещины в сжатой зоне является плавным, и в процессе циклического нагружения происходит ее слияние с начальным участком критической наклонной трещины ОАВ (рис.).

В элементах без поперечной арматуры разрушение может произойти также из-за усталостного разрыва продольной арматуры в месте пересечения с критической наклонной трещиной под совместным действием нормальных $s_s^{max}(t)$ и касательных

$t_s^{max}(t)$ напряжений. Основным очагом усталостного разрушения продольной арматуры является ее периодический профиль – мощный концентратор напряжений. На стадии зарождения усталостной трещины происходит интенсивное пластическое деформирование металла в местах концентрации напряжений и, когда исчерпывается пластический ресурс металла, в указанных местах образуются микротрещины. Затем микротрещина за определенное количество циклов нагружения развивается до размеров макротрещины. С увеличением длины усталостной трещины происходит уменьшение объективной (остаточной) усталостной прочности продольной арматуры, и это уменьшение

происходит пропорционально величине $l^{-\frac{1}{2}}(t)$.

Поэтому объективную усталостную прочность продольной арматуры в месте пересечения с критической наклонной трещиной можно представить в виде:

$$R_{SQ}(t) = \frac{s_{sc} \cdot K_{cf}(t)}{\sqrt{(Y(l) \cdot s_{sc})^2 \cdot l(t) + K_{cf}^2(t)}}, \quad (3)$$

$$= \frac{s_s^{max}(t) \cdot s_{su}}{\left[1 + \exp\left(-2 \frac{E_s \cdot e_{pl}}{s_{su}}\right) \right] \cdot \sqrt{(s_s^{max}(t))^2 + 3(t_s^{max}(t))^2}}, \quad (4)$$

где $K_{cf}(t)$ – критический коэффициент интенсивности напряжений в продольной арматуре при циклическом нагружении.

В элементах с поперечной арматурой, после образования критической наклонной трещины, весь прирост поперечной силы воспринимается хомутами и поэтому нагельные силы Q_s^{max} в продольной арматуре незначительны и их можно принимать равными нулю. Усталостную прочность продольной арматуры в месте пересечения с критической наклонной трещиной определяем по (3), но в этом случае в (4) принимаем $t_s^{max}(t) \approx 0$. В поперечной арматуре нагельные силы незначительны, и она работает на осевое растяжение. Усталостную прочность поперечной арматуры в сечении с критической наклонной трещиной определяем также



по (3), приняв в ней $t_w^{\max}(t) \approx 0$ и заменив индекс «s» на «w».

Другой возможной формой разрушения по растянутой зоне наклонного сечения является усталость сцепления между продольной арматурой и бетоном, а в результате – нарушение анкеровки продольной арматуры за критической наклонной трещиной. После образования критической наклонной трещины под воздействием усилия $s_s^{\max}(t) \cdot A_s$ в продольной арматуре в месте пересечения с критической наклонной трещиной происходит ее выдергивание из бетона. При этом опорную зону изгибаемого элемента за наклонной трещиной можно рассматривать как половину кососимметрично загруженного элемента.

Согласно [3] при увеличении нагрузки на заделку в определенный момент под выступами арматуры образуется система внутренних трещин с шагом, близким к шагу выступов S_r . После появления системы несквозных трещин контактная зона разбивается на независимо работающие участки. Согласно [4] приращение перемещений данного выступа после возникновения внутренних несквозных трещин зависит не от того, как нагружены остальные выступы арматуры, а лишь от величины нагрузки, приходящейся на данный выступ. В связи с этим усталостную прочность анкеровки необходимо связать с образованием внутренних несквозных трещин. Образование этих конусообразных трещин связано с работой бетона под выступами арматуры на смятие. Поэтому объективную усталостную прочность бетона под выступами, а, следовательно, и силы зацепления выступов арматуры о бетон нужно определить как функцию длины конусообразных трещин $l_i(t)$, которая постоянно увеличивается с увеличением количества циклов нагружения. С

учетом этого объективную усталостную прочность сцепления после приложения N циклов нагружения представим в виде:

для вертикальных выступов

$$R_{an}(t) = \frac{8K_{cf} \cdot s_r \cdot l_{an} \cdot ctgj}{\sqrt{p \cdot l(t)} \cdot d^2 \cdot \sin j_k}, \quad (6)$$

для наклонных выступов

$$R_{an}(t) = \frac{8K_{cf} \cdot c_r \cdot (d + c_r) \cdot A_t \cdot l_{an} \cdot ctgj}{\sqrt{p \cdot l(t)} \cdot d^2 \cdot A_c \cdot \sin a_r \cdot \sin^2 j_k}, \quad (7)$$

ВЫВОДЫ:

Рассмотренная модель описывает характер образования и развития критической наклонной трещины, отражает возможные формы усталостного разрушения в зоне действия поперечных сил и позволяет определить усталостную прочность наклонного сечения изгибаемых элементов по сжатой и растянутой зонам как при стационарном, так и при нестационарных режимах внешнего циклического нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климов Ю.А. Теория и расчет прочности, трещиностойкости и деформативности железобетонных элементов при действии поперечных сил. // Дисс... докт. техн. наук. Киев, 1992. - 502 с.
2. Митченко С.В., Степков В.М. Кинетика развития трещин отрыва вдоль линии сжатия. // Проблемы прочности. 1987, №11. – С. 22-25.
3. Goto I. Crack formed in concret around deformed tension bars. ACI Jornal, 1971, v.68, №4.
4. Холмянский М.М. Бетон и железобетон. Деформативность и прочность. М.: Стройиздат, 1997.



УДК 539.415

А.Н. Драновский, А.И. Латыпов

АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОЕ РАЗРУШЕНИЕ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Возникновение автоколебаний в элементах и конструкциях различных технических устройств может привести к нарушению их нормальной работы и аварийным ситуациям, предусмотреть которые традиционными методами расчета невозможно. Примером этого служит разрушение крыльев и хвостового оперения самолетов из-за флаттера одного из разновидностей автоколебаний. Другим примером автоколебаний являются землетрясения высокого класса, возникающие при взаимном смещении блоков земной коры.

В процессе проектирования строительных конструкций возникает задача предотвращения катастрофических разрушений зданий и сооружений при неблагоприятных условиях. Для ее решения необходим полный анализ взаимодействия всех элементов и конструкций сооружения. Выбор конструктивной схемы, прочностных, деформационных и геометрических параметров отдельных элементов должен производиться на основе исследования несущей способности, деформативности, устойчивости, а также прогнозирования кинетики процесса деформирования и разрушения как отдельных элементов, так и всей системы в целом. Под кинетикой процесса разрушения понимаются скорости и, особенно, ускорения процесса деформирования при разрушении.

Процесс деформирования и разрушения строительных изделий и конструкций при статическом нагружении может происходить медленно, постепенно, квазистатически, т.е. без возникновения значительных ускорений и инерционных сил. Такой процесс в механике сплошной среды рассматривается как устойчивый. Перераспределение усилий в элементах, снижение их прочностных свойств происходит постепенно, без резких скачков. Процесс разрушения в этом случае носит длительный характер. Появление в элементах и конструкциях трещин, деформаций предупреждает о нарушении прочности и устойчивости сооружения и позволяет вовремя предотвратить разрушение принятием необходимых мер.

Гораздо более опасным является разрушение зданий и сооружений, возникающее внезапно, при отсутствии до разрушения значительных дефектов и деформаций. В силу кратковременности протекания предотвратить такой процесс часто бывает невозможно.

Такой вид разрушения может произойти из-за потери устойчивости несущих конструкций, оснований фундаментов, а также вследствие динамических воздействий, возникающих при автоколебаниях системы сооружения. В этом случае процесс разрушения протекает неустойчиво, дискретно, сопровождаясь резкими, скачкообразными изменениями прочностных и деформационных свойств элементов и конструкций.

В предлагаемой статье рассматривается новый подход к объяснению механизма разрушения, основанный на исследованиях прочности песчаного грунта при кинематическом режиме нагружения [1]. При дальнейших наших исследованиях [2-5] оказалось, что такой вид разрушения может возникать в статически неопределимых системах для любых материалов и конструкций, обладающих остаточной прочностью в запредельном состоянии. Основная особенность этого вида разрушения состоит в том, что оно развивается в результате возбуждения в системе автоколебательного процесса.

Для иллюстрации вышеизложенного рассмотрим испытание на прочность образца какого-либо материала, например, бетона, в испытательной машине с винтовым приводом (рис.1а). Образец помещается между испытательным столиком и верхней плитой, соединенными между собой винтовыми штангами, вращением которых осуществляется подъем или опускание плиты.

Различными исследователями отмечался тот факт, что разрушение образца в значительной степени зависит от системы нагружения. Для одного и того же образца при испытаниях на прочность может произойти или не произойти полная потеря сплошности, монолитности. На рис.1б показаны две возможные диаграммы разрушения. После достижения максимальной прочности при выключении мотора испытательной машины образец может продолжать деформироваться, не разрушаясь (диаграмма 1), а может полностью потерять свою несущую способность (диаграмма 2).

На сегодняшний день существует мнение, что, изменяя жесткость испытательной машины k_m и жесткость образца $k_{об}$, можно добиться для одного и того же материала устойчивого или неустойчивого разрушения. С этой целью предлагается, например, увеличить площадь поперечного сечения или уменьшить высоту образца.

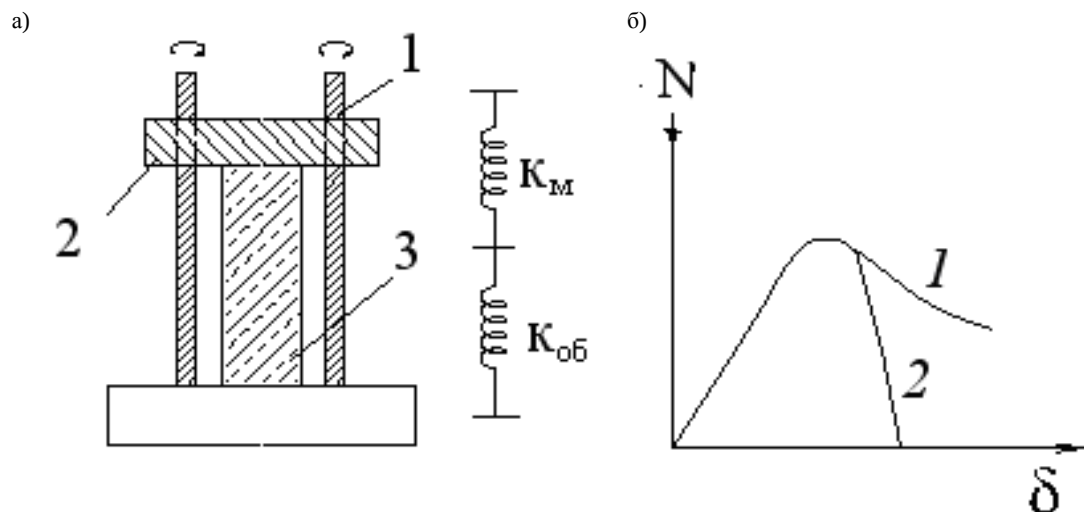


Рис.1. Влияние жесткости испытательной машины на разрушение:
а - схема испытательной машины: 1- винтовая штанга, 2 - верхняя плита, 3 - образец;
б - примеры устойчивого 1 и неустойчивого 2 разрушения

Однако наши исследования показали, что характер разрушения зависит не от жесткости машины и жесткости образца, а от жесткости нагружающей системы, которая приблизительно может рассматриваться как жесткость системы образец-машина и диаграммы деформирования в запредельном состоянии.

Жесткость системы образец-машина определяется схемой нагружения. Например, для схемы, изображенной на рис.1а, суммарное перемещение системы d_Σ определяется выражением:

$$d_\Sigma = \frac{N}{K_M} + \frac{N}{K_{об}} = \frac{N(K_M + K_{об})}{K_M \cdot K_{об}}, \quad (1)$$

где N - передаваемое на образец вертикальное усилие.

Тогда жесткость системы равна:

$$K_\Sigma = \frac{K_M + K_{об}}{K_M \cdot K_{об}}. \quad (2)$$

На основе проведенных ранее экспериментов установлено, что характер разрушения образцов и кинетика процесса разрушения зависят от того, происходит ли в системе возбуждение автоколебаний или нет.

Теоретический вывод критерия самовозбуждения колебаний был выполнен в работе [5] на основе анализа модели упругопластической системы. Устойчивость процесса запредельного деформирования определяется условием невозникновения в системе автоколебаний. Последнее зависит от соотношения жесткости системы K_Σ и резкости спада позиционной характеристики силы пластического сопротивления $N(\delta)$ образца (рис.2).

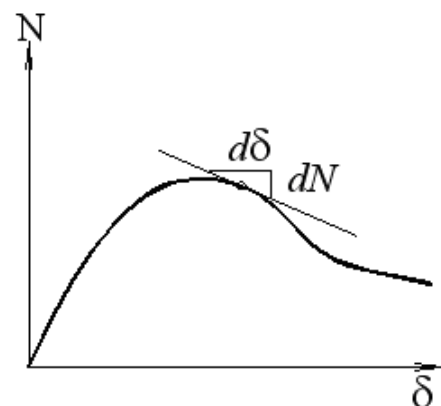


Рис.2.Графическое определение момента страгивания

Система деформируется устойчиво при

$$K_\Sigma + \frac{dN}{d\delta} > 0 \quad (3)$$

и неустойчиво – при

$$K_\Sigma + \frac{dN}{d\delta} \leq 0. \quad (4)$$

Физический смысл приведенного выше неравенства следующий: пластическая деформация происходит динамически, если при малом ее приращении скорость снижения разрушающего усилия меньше скорости падения сопротивления разрушению.

Момент возникновения неустойчивого разрушения, момент страгивания, может быть определен графически, как показано на рис.2. Для этого необходимо к кривой $N(\delta)$ провести касательную, наклон которой равен коэффициенту K_Σ с обратным знаком.



Условие (4) является критерием самовозбуждения колебаний, который может быть выражен через потенциальную энергию системы W :

$$\frac{\partial^2 W}{\partial d^2} + \frac{dN}{dd} \leq 0. \quad (5)$$

Таким образом, при статическом нагружении процесс разрушения элементов и конструкций может носить автоколебательный характер. Из-за неустойчивости и быстротечности такого вида разрушения невозможно провести полноценные испытания на прочность некоторых материалов с получением остаточной ветви диаграммы напряжение - деформация. То есть задача проектировщика - добиться, чтобы разрушение было устойчивым. Поэтому для исключения неустойчивого разрушения элементов и конструкций их жесткость на стадии проектирования должна рассматриваться не только с позиций недопущения предельных деформаций, но и с позиции исключения возможности автоколебательного разрушения.

Необходимо отметить, что в настоящий момент изучаются, в основном, фрикционные автоколебания, т.е. автоколебания, возникающие при контакте трущихся поверхностей. Причем, многими исследователями в качестве обязательного условия возникновения автоколебаний считается падающая характеристика трения. Например, способность смычка скрипки поддерживать колебания струны связывается со снижением трения при переходе от малых скоростей к средним.

Исследования показали, что в статически неопределимых системах автоколебательный характер процесса разрушения может наблюдаться для любых конструкций или элементов конструкций, характеризуемых падающей ветвью диаграммы деформирования. Причем, причиной снижения предельной прочности могут быть как особенности свойств материала конструкции, так и образование ослабленных участков, например, шейки при растяжении стального стержня или трещин при сжатии бетонного или железобетонного элемента.

Выводы:

1. Процесс деформирования и разрушения строительных изделий и конструкций при статическом

нагружении может происходить как медленно, постепенно, квазистатически, так и неустойчиво, дискретно, динамически.

2. Характер процесса деформирования при разрушении и кинетика процесса зависят от жесткости конструктивной системы и резкости спада позиционной характеристики силы пластического сопротивления элемента системы.

3. Автоколебательный процесс разрушения может наблюдаться для любых материалов и конструкций, характеризуемых падающей ветвью диаграммы деформирования в запредельном состоянии.

4. Необходимо проведение исследований работы конструкций и сооружений с позиции невозникновения в их элементах автоколебательного разрушения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Драновский А.Н. Явление автоколебаний при испытании грунтов на прямой срез при кинематическом режиме нагружения // В сб. трудов международной конференции по механике грунтов и фундаментостроению Геотехника Поволжья-99. Йошкар-Ола, Салика, 1999. - С.22-27.
2. Латыпов А.И., Савкин С.М. О прочностных свойствах песчаных грунтов при автоколебательном разрушении // Сборник трудов Международной научно-технической конференции Современные проблемы фундаментостроения, часть 3,4. Волгоград, 2001. - С.55-57.
3. Савкин М.С., Латыпов А.И. Определение статических и кинетических характеристик сопротивления грунтов разрушению // Міжвідомчий науково-технічний збірник 4-та українська науково-технічна конференція Механіка ґрунтів та фундаментобудування, Вып.53. кн.1. Київ, НДІБК, 2000. - С.215-220.
4. Драновский А.Н. Влияние жесткости зданий и сооружений на кинетику разрушения оснований фундаментов // Міжвідомчий науково-технічний збірник 4-та українська науково-технічна конференція Механіка ґрунтів та фундаментобудування, Вып.53. кн.1. Київ, НДІБК, 2000. - С.102-107.
5. Драновский А.Н. О механизме дискретного деформирования грунтов // В сб. трудов Международной научно-технической конференции. Современные проблемы фундаментостроения, часть 3, 4. Волгоград, 2001. - С.34-37.



УДК 624.23

А.У. Богданович

КРАЕВОЙ ЭФФЕКТ В ЗАДАЧЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНКОСТЕННОГО СТЕРЖНЯ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ СЖАТИИ

Тонкостенные стержни переменного сечения привлекают всё большее внимание теоретиков и конструкторов. Оптимизация конструкций и элементов конструкций по весу неизбежно приводит к созданию элементов самых разнообразных и подчас экзотических форм. Расчёт таких объектов на прочность и устойчивость далеко не прост даже при наличии современных стандартных программных пакетов для ЭВМ. Одна из причин затруднений - краевой эффект (быстрое изменение НДС элемента) в областях контакта элемента с другими элементами конструкции.

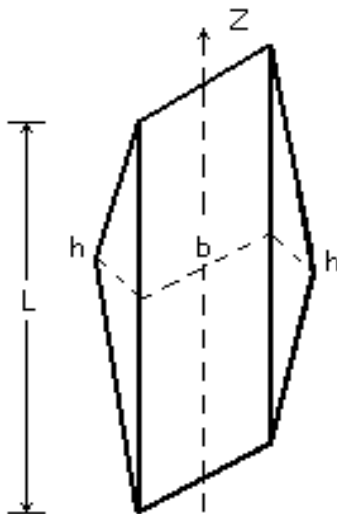


Рис.1. Тонкостенный стержень переменного сечения; b – ширина пластины; h – высота треугольника; толщина листа – t

Стержень [1], показанный на рис.1, предназначен для работы на продольное сжатие. Его центральная часть усилена на изгиб боковыми треугольными пластинами; ось центров тяжести сечений – прямая, совпадающая с осью центров изгиба, что при центральном сжатии даёт возможность избежать докритического стеснённого кручения стержня и, соответственно, увеличивает его устойчивость. Вырождение стержня на торцах в пластину позволяет легко и технологично соединять его с соседними элементами конструкции без заметного нарушения центровки на сжатие. В то же время, сравнительно небольшое количество материала в окрестности торцов отрицательно влияет не только на прочность стержня, но и на его устойчивость.

Уравнения устойчивости стержня под продольной нагрузкой P имеют вид:

$$EJ_w j^{IV} + EJ'_w j''' + k_1 j'' + k_2 j' + k_3 j - p(x_0 - e_x)v'' + p(y_0 - e_y)u'' = 0 \quad (1)$$

$$EJ_y(z)u^{IV} + 2EJ'_y(z)u''' + [p + EJ''_y(z)]u'' + p(y_0 - e_y)j'' + k_4 j' + k_5 j = 0 \quad (2)$$

$$EJ_x(z)v^{IV} + 2EJ'_x(z)v''' + [p + EJ''_x(z)]v'' + p(-x_0 + e_x)j'' + k_6 j' + k_7 j = 0 \quad (3)$$

где

$$k_1 = -C - 2p[e_x(x_0 + R_y) + e_y(y_0 + R_x) - r_0^2/2] \quad (4)$$

$$k_2 = -C' + 2p[x'_0(x_0 - e_x) + y'_0(y_0 - e_y)]$$

$$k_3 = p[x''_0(x_0 - e_x) + y''_0(y_0 - e_y)] - 2p(a')^2[e_x(x_0 - R_y) + e_y(y_0 - R_x) + r_0^2/2]$$

$$k_4 = 2p(y'_0 + e_x a')$$

$$k_5 = p[y''_0 + e_x a'' + e_y (a')^2]$$

$$k_6 = -2p(x'_0 - e_y a')$$

$$k_7 = -p[x''_0 - e_y a'' + e_x (a')^2]$$

$$R_x = \frac{1}{2J_x} \cdot \iint_F y(x^2 + y^2) dF$$

$$R_y = \frac{1}{2J_y} \cdot \iint_F x(x^2 + y^2) dF$$



$$r_0^2 = x_0^2 + y_0^2 + (J_x + J_y) / F$$

u, v, j - перемещения центра тяжести сечения Z вдоль его главных центральных осей X, Y и угол закручивания вокруг оси центров изгиба; X_0, Y_0 - координаты следа оси центра изгиба в сечении; e_x, e_y - след линии нагружения (PP) в сечении; $C = GJ_{кр}$ - жёсткость данного сечения на свободное

кручение ($C = \frac{1}{3} G \cdot \sum b_k t_k^3$ - если сечение состоит из прямоугольников; по рекомендации [2] эта величина в наших расчётах увеличивалась на 10%). Естественная (конструктивная) закрученность ненагруженного стержня учтена углом закручивания $\alpha(z)$ в коэффициентах $k_3 - k_7$ (4). Так как прямая нагружения ($P-P$) неподвижна в пространстве, координаты e_x, e_y следа линии нагружения в каждом сечении зависят от положения центра тяжести и угла $\alpha = \alpha(z)$; они должны преобразовываться в коэффициентах уравнений (1)-(3) по формулам:

$$\begin{aligned} e_{x_*} &= e_y \sin \alpha + e_x \cos \alpha, \\ e_{y_*} &= e_y \cos \alpha - e_x \sin \alpha. \end{aligned} \quad (5)$$

Зависимость изгибных жесткостей EJ_x и EJ_y от угла $\alpha(z)$ для конструктивно сильно закрученных стержней также должна учитываться [3].

Уравнения (1)-(3) выведены по схеме вывода уравнений С.П. Тимошенко [4]. При их выводе учитывалась зависимость всех величин, кроме P, E, G , от продольной координаты Z . Кроме того, для естественно закрученных стержней учитывалась зависимость координат X, Y от угла $\alpha(z)$ при переходе от одного сечения к другому, бесконечно близкому. С использованием формул типа (5) получаем:

$$\begin{aligned} x'_z &\approx y \cdot a'_z; \quad y'_z \approx -x \cdot a'_z; \\ x''(z) &\approx -x \cdot (a')^2 + y \cdot a''; \\ y''(z) &\approx -x \cdot a'' - y \cdot (a')^2 \end{aligned}$$

Для тонкостенных стержней постоянного сечения уравнения (1)-(3) переходят в уравнения В.З. Власова [5] и С.П. Тимошенко [4].

Для стержня на рис.1 определялась критическая нагрузка $\sigma_{кр}$ при продольном центральном сжатии

(σ - равномерное сжимающее напряжение на торце). Уравнения (1)-(3) решались методом конечных разностей при различных условиях закрепления стержня. Для тестирования уравнений (1)-(3) задача решалась также методом конечных элементов (вычисления выполнил сотрудник КГАСА Абдюшев А.А.). Результаты вычислений оказались несколько неожиданными:

для условий закрепления “свободный конец + заделка” и “шарнир + шарнир” результаты совпали; при закреплении “шарнир + заделка” МКЭ дал завышение критической нагрузки на 5%; при закреплении “заделка + заделка” расхождение оказалось более значительным. Для выяснения причин несовпадения результатов в случае жёсткой заделки на обоих торцах задача была решена третьим независимым методом.

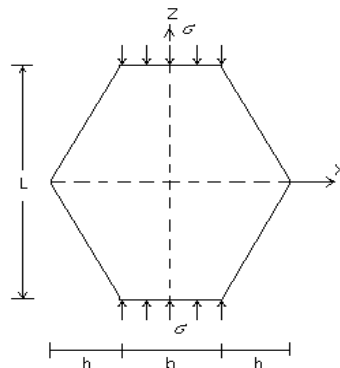


Рис.2. Сжатие пластины с наклонными кромками

Таблица. Напряжения в центральной пластине (правая верхняя четверть). $P=1000$ кгс; $t = 1$ см.

Напряжения S_z

-166,66	-166,67	-166,67	-167,92
-125,51	-125,44	-125,24	-124,91
-100,39	-100,36	-100,26	-100,10
-83,66	-83,64	-83,59	-83,49
-71,84	-71,82	-71,76	-71,66
-63,98	-63,93	-63,77	-63,50

Напряжения τ_{zx}

0,0	0,0	0,0	0,0
0,0	+2,07	+4,15	+6,24
0,0	+1,31	+2,61	+3,91
0,0	+0,89	+1,78	+2,67
0,0	+0,62	+1,23	+1,86
0,0	0,0	0,0	0,0



Напряжения S_x

-1,93	-1,77	-1,29	-0,48
-0,01	-0,04	-0,13	-0,29
-0,00	-0,02	-0,07	-0,15
+0,01	-0,00	-0,03	-0,08
+0,08	+0,07	+0,05	+0,01
-2,13	-2,17	-2,26	-2,41

При сжатии прямоугольной пластины с боковыми треугольными пластинами (рис.2) её напряжённо-деформированное состояние описывается уравнениями плоской задачи теории упругости и определено в работе [6]. При этом напряжения

$\sigma_z, \sigma_x, \tau_{zx}$ распределяются по поперечным сечениям срединной поверхности пластины неравномерно (таблица).

Полученное поле напряжений можно использовать для решения задачи об устойчивости стержня на рис.1.

Напряжения σ_x и τ_{zx} для центральной пластины на рис.2 составляют около 4-6% от напряжений σ_z , а для центральной пластины стержня на рис.1 ещё меньше, т.к. после отгибания боковых пластин центральная пластина становится более свободной для деформаций в поперечном направлении. Далее напряжения и не учитываем. С учётом переменности уравнение устойчивости сжимаемой пластины имеет вид [7]:

$$D \cdot \left(\frac{\partial^4 v}{\partial z^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 v}{\partial z^2 \partial x^2} + \frac{\partial^4 v}{\partial x^4} \right) + t \cdot \left(\sigma_z \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \cdot \frac{\partial v}{\partial z} \right) = 0 \quad (6)$$

где D – цилиндрическая жёсткость пластины; t – толщина пластины.

Граничные условия для жёсткой заделки на горизонтальных кромках центральной пластины

$$(\text{рис.1}): v = 0 \text{ и } \frac{\partial v}{\partial z} = 0. \quad (7)$$

Условия взаимодействия центральной пластины и ребра переменной жёсткости на длинных кромках центральной пластины (рис.1) с учётом малости крутильной жёсткости ребра :

$$M_x \approx 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial^2}{\partial z^2} [E J_x^{(p)}(z) \cdot \frac{\partial^2 v_p}{\partial z^2}] = -D \cdot \left[\frac{\partial^3 v_{пл}}{\partial x^3} + (2 - \mu) \cdot \frac{\partial^3 v_{пл}}{\partial z^2 \partial x} \right], \quad (8)$$

где: $v_p = v_{пл} = v$; $J_x^{(p)}(z)$ – момент инерции сечения ребра относительно его главной центральной оси. Задача (6)-(8) для прямоугольной центральной пластины (рис.1) также решалась методом конечных разностей.

Напряжения $\sigma_z(Z, X)$, найденные для единичной нагрузки P из уравнений теории упругости, увеличивались пропорционально сжимающему напряжению $\sigma = P/F$ на торце и вводились в уравнение (6). Все вычисления производились при следующих числовых данных: $L = 160$ см, $b = 6$ см, $h = 5$ см, $t = 0.5$ см, $E = 2.1 \cdot 10^6$ кгс/см.кв., $G = 8.1 \cdot 10^5$ кгс/см.кв.

Выяснилось, что при решении задачи (6)-(8) для определения критической нагрузки требуется сетка с числом делений в продольном направлении $N_z > 2000$ и в поперечном $N_x \approx 200$. Даже при столь мелкой сетке удаётся определить лишь третью по величине критическую нагрузку

$\sigma_{кр} \approx 3200$ кгс/см.кв. Аналогичные трудности возникают, видимо, и при решении задачи методом конечных элементов. Эта проблема известна, но универсальных методов её решения не существует. В данном случае удаётся решить задачу методом малого параметра изложим это решение схематично.

Перейдём в уравнении (6) с нагрузкой q в правой части к безразмерным величинам с учётом того, что величина q может быть сколь угодно малой:

$$\delta^2 = t/b; \quad \tilde{q} = \frac{q(1-\mu^2)}{E/12};$$

$$\tilde{\sigma}_z = \frac{\sigma_z(1-\mu^2)}{E/12}; \quad v = b \cdot w; \quad z = b \cdot \tilde{z}; \quad x = b \cdot \tilde{x}.$$

Положим $\tilde{\sigma}_z = \tilde{\sigma}_z \cdot \delta^2$; $\tilde{q} = q_* \cdot \delta^4$; при $\delta \rightarrow 0$ из (6) получаем уравнение:

$$\tilde{\sigma}_z \cdot \frac{\partial^2 w_0}{\partial \tilde{z}^2} + \frac{\partial \tilde{\sigma}_z}{\partial \tilde{z}} \cdot \frac{\partial w_0}{\partial \tilde{z}} = q_*. \quad (9)$$

Функция W_0 даёт фоновое решение, связанное с нагрузкой q , и является функцией, медленно изменяющейся вдоль координаты $\tilde{z}$, что можно подтвердить непосредственным решением уравнения (9). Поскольку величина q считается малой и формы потери устойчивости наслаиваются на фоновые прогибы, полным решением уравнения (9) заниматься не будем. Представим перемещение



и как сумму медленной и быстрой функций и растянем координату $\tilde{z}$:

$$w = w_0 + \tilde{w} \cdot \delta^2; \tilde{z} = \tilde{z} \cdot \delta. \quad (10)$$

Примечание: здесь нет необходимости переносить начало отсчёта координаты $\tilde{z}$ на край, как в методе Люстерника-Вишика, так как быстрые решения в случае пластины не содержат затухающих составляющих. Далее производными от медленных функций по растянутой координате $\tilde{z}$ пренебрегаем. Представим функцию $\tilde{w}$ как $\tilde{w} = \tilde{w}(\tilde{z}) \cdot f(\tilde{x})$, все функции одного порядка d^0 . Функцию $f(\tilde{x})$ не обязательно считать медленной: аналогично сказанному выше, можно построить асимптотику для быстрых функций в поперечном направлении, но здесь нас больше интересует поведение пластины как длинного стержня. В поперечном направлении (X) НДС близко к однородному и $\sigma_z(z, x) \approx \sigma_z(z)$.

Уравнение (6) с учётом (9) для членов при d^2 приводит к уравнению:

$$\frac{d^4 \tilde{w}}{d\tilde{z}^4} + \tilde{\sigma}_z \cdot \frac{d^2 \tilde{w}}{d\tilde{z}^2} = 0. \quad (11)$$

В размерных величинах уравнение (11) имеет вид:

$$\frac{Et^3(z)}{12(1-\mu^2)} \cdot \frac{d^4 v}{dz^4} + t(z) \cdot \sigma_z(z) \cdot \frac{d^2 v}{dz^2} = 0. \quad (12)$$

Пусть P - сжимающая сила на торце и в (12) $\sigma_z(z) = P/F(z)$. Для эквивалентной пластины или стержня переменного сечения площадь сечения $F(z) = b(z) \cdot t(z)$; тогда в (12)

$$\frac{Et^2(z)}{12(1-\mu^2)} \cdot F(z) = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot \frac{b(z) \cdot t^3(z)}{12} = \frac{E}{1-\mu^2} \cdot J_x(z),$$

где $J_x(z)$ - момент инерции эквивалентного сечения и теперь ось X – главная центральная ось каждого сечения. Напомним, что в теории В.З. Власова из соображений недеформируемости контура сечения принято $\mu = 0$, хотя многие считают это равенство излишним.

Вместо уравнения (12) теперь получаем:

$$EJ_x(z) \cdot \frac{d^4 v}{dz^4} + P \cdot \frac{d^2 v}{dz^2} = 0, \quad (13)$$

где для согласования обозначений уравнения (13) с обозначениями уравнения (3) будем считать, что $EJ_x(z) < EJ_y(z)$.

Уравнение (13) при большом подъёме треугольника боковых пластин нуждается в уточнении. Считая $J_x(z)$ медленной функцией и пренебрегая производными от неё по растянутой координате (переход к растянутой координате не приводим ввиду очевидности), запишем (13) в классическом виде [6]:

$$[(EJ_x(z) \cdot v'')]'' + (p \cdot v')' = 0.$$

Интегрируя это уравнение дважды, получаем:

$$EJ_x(z) \cdot v''(z) + p \cdot v(z) = C_1 \cdot z + C_2. \quad (14)$$

Уравнение (14) легко решается методом конечных разностей, если константы C_1 и C_2 включить в число неизвестных величин и записать уравнение (14) не только внутри области интегрирования, но и на опорах. Наличие двух дополнительных констант при этом позволяет выполнить все четыре граничных условия:

$$v = 0 \text{ и } v' = 0 \text{ при } z = m L/2.$$

Первые три критические нагрузки, определённые методом конечных разностей из уравнения (14) по критерию $\det \approx 0$, совпали с аналогичными решениями системы (1)-(3) (кгс/см.²):

$$s_{кр}^I = 1153; s_{кр}^{II} = 1721; s_{кр}^{III} = 3412,$$

но для решения системы (1)-(3) требуется значительно большее число разбиений N_z , чем при решении уравнения (14).

При решении уравнений (6) и (13) для получения первых двух критических нагрузок число разбиений должно быть в десятки раз больше, N_z чем = 1000. Это обстоятельство для стержней с неоднородным докритическим НДС надо учитывать, и оно может вызывать большие затруднения в расчётах прямыми численными методами. При решении задачи с помощью уравнений (1)-(3) численной проблемы краевого эффекта не возникало по крайней мере, вплоть до числа делений стержня $N_z = 1000$ (большого количества делений не понадобилось).

Проведённые нами эксперименты [8] полностью подтвердили полученные теоретические результаты. Уравнения (1)-(3) позволили правильно предсказать величины критических нагрузок, а в расчётах на прочность по предельному состоянию определить нагрузки, при которых в окрестности заделки в негибком стержне образуется



пластический шарнир. Данная работа подтверждает, что решение задачи устойчивости тонкостенных стержней переменного сечения с помощью уравнений (1)-(3) многократно проще, чем её решение на основе двумерной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на изобретение № 2236524. Решетчатая конструкция. / И.Л.Кузнецов, А.У. Богданович. Заявл. 01.04.04; Оpubл. 20.09.04; Бюллетень №26.
2. Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин. М.: Машиностроение, 1973. – 454 с.
3. Богданович А.У., Кузнецов И.Л., Абдюшев А.А. О продольно сжатых тонкостенных стержнях непрерывно-переменного сечения и естественно закрученных стержнях. // Изв. вузов. Строительство. - 2003, № 5. - С. 10–17.
4. Тимошенко С.П. Устойчивость стержней, пластин и оболочек. М.: Наука, 1971. – 800 с.
5. Власов В.З. Тонкостенные упругие стержни. М.: Наука, 1959. - 568 с.
6. Богданович А.У. Особенности деформирования тонкостенных стержней переменного сечения при продольном сжатии (ч. II). // Сб. науч. трудов докторантов и аспирантов. Казань: КГАСА, 2004. – С. 280-286.
7. Вольмир А.С., Кильдибеков И.Г. Устойчивость пластин в пределах упругости. // В справочнике “Прочность. Устойчивость. Колебания.” М.: Машиностроение, 1968, Т.3. - С.91; Т.1. - С. 531.
8. Богданович А.У. Продольное сжатие тонкостенного стержня переменного сечения. // Труды математического центра им. Н.И. Лобачевского, Казань: Изд-во КГУ, т.28, 2004. -С.44-46.



УДК 539.3

Ю.И. Бутенко

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОГРАНСЛОЕВ В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЛАСТИНАХ

В работах [1-3] проведено тщательное изучение погранслоев для однослойной пластины из ортотропного материала. При определенных ограничениях вычислены погранслои в многослойных пластинах [4]. Эти ограничения связаны с тем, что использование точного аналитического подхода к многослойным конструкциям с учетом точного решения для каждого отдельного слоя приводит к трудностям раскрытия определителей высокого порядка. Так, для определения плоской краевой деформации n -слойной пластины задача сводится к определителю $4 \times n$ -порядка. Использование для этих целей системы “Математика 4.0” [5] приводит к анализу большого числа выходных данных, что не позволяет получить компактные уравнения в замкнутом виде. Для преодоления указанных трудностей необходимо использовать особенности полученных определителей, что и представлено в работе.

1. Рассмотрим задачу определения НДС многослойной прямоугольной в плане пластины, размерами $a \times b \times 2H$, в физически и геометрически линейной постановке. Будем считать, что пластина состоит из n ортотропных слоев, отсчет которых ведется от нижнего слоя. Каждый k -слой имеет толщину $2h_k$ и описывается индивидуальной ортогональной системой координат x_k, y_k, z_k , в которой оси x_k, y_k связаны со срединной плоскостью слоя, а ось z_k нормальна к ней. Оси ортотропии слоя совпадают с системой координат.

Для k -ого слоя задача погранслоя описывается однородными уравнениями равновесия:

$$\frac{\partial \sigma_x^{(k)}}{\partial x_k} + \frac{\partial \tau_{xy}^{(k)}}{\partial y_k} + \frac{\partial \tau_{xz}^{(k)}}{\partial z_k} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{xy}^{(k)}}{\partial x_k} + \frac{\partial \sigma_y^{(k)}}{\partial y_k} + \frac{\partial \tau_{yz}^{(k)}}{\partial z_k} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{xz}^{(k)}}{\partial x_k} + \frac{\partial \tau_{zy}^{(k)}}{\partial y_k} + \frac{\partial \sigma_z^{(k)}}{\partial z_k} = 0 \quad (1.1)$$

и физическими соотношениями ортотропного тела:

$$\begin{aligned} \sigma_x^{(k)} &= B_{11}^{(k)} \frac{\partial U^{(k)}}{\partial x_k} + B_{12}^{(k)} \frac{\partial V^{(k)}}{\partial y_k} + B_{13}^{(k)} \frac{\partial W^{(k)}}{\partial z_k}, \quad \sigma_y^{(k)} = B_{21}^{(k)} \frac{\partial U^{(k)}}{\partial x_k} + B_{22}^{(k)} \frac{\partial V^{(k)}}{\partial y_k} + B_{23}^{(k)} \frac{\partial W^{(k)}}{\partial z_k}, \\ \sigma_z^{(k)} &= B_{31}^{(k)} \frac{\partial U^{(k)}}{\partial x_k} + B_{32}^{(k)} \frac{\partial V^{(k)}}{\partial y_k} + B_{33}^{(k)} \frac{\partial W^{(k)}}{\partial z_k}, \\ \tau_{xy}^{(k)} &= G_{12}^{(k)} \left(\frac{\partial U^{(k)}}{\partial y_k} + \frac{\partial V^{(k)}}{\partial x_k} \right), \quad \tau_{yz}^{(k)} = G_{23}^{(k)} \left(\frac{\partial W^{(k)}}{\partial y_k} + \frac{\partial V^{(k)}}{\partial z_k} \right), \quad \tau_{zx}^{(k)} = G_{31}^{(k)} \left(\frac{\partial W^{(k)}}{\partial x_k} + \frac{\partial U^{(k)}}{\partial z_k} \right) \end{aligned} \quad (1.2)$$

Здесь $\sigma_{ij}^{(k)}$ – компоненты тензора напряжения; $\bar{U}^{(k)}(U^{(k)}, V^{(k)}, W^{(k)})$ – вектор перемещения k -ого слоя; $G_{ij}^{(k)}$ – модули сдвига в соответствующих плоскостях, а $B_{ij}^{(k)}$ – некоторые постоянные, которые записываются через модули упругости $E_i^{(k)}$ и коэффициенты Пуассона $\nu_{ij}^{(k)}$ ($i, j = 1, 2, 3$) следующим образом:

$$\begin{aligned} B_{11}^{(k)} &= \frac{E_1^{(k)}}{\Delta^{(k)}} (1 - \nu_{23}^{(k)} \nu_{32}^{(k)}), \quad B_{12}^{(k)} = \frac{E_1^{(k)}}{\Delta^{(k)}} (\nu_{12}^{(k)} + \nu_{13}^{(k)} \nu_{32}^{(k)}), \quad B_{13}^{(k)} = \frac{E_1^{(k)}}{\Delta^{(k)}} (\nu_{13}^{(k)} + \nu_{12}^{(k)} \nu_{23}^{(k)}), \\ B_{21}^{(k)} &= \frac{E_2^{(k)}}{\Delta^{(k)}} (\nu_{21}^{(k)} + \nu_{23}^{(k)} \nu_{31}^{(k)}), \quad B_{22}^{(k)} = \frac{E_2^{(k)}}{\Delta^{(k)}} (1 - \nu_{13}^{(k)} \nu_{31}^{(k)}), \quad B_{23}^{(k)} = \frac{E_2^{(k)}}{\Delta^{(k)}} (\nu_{23}^{(k)} + \nu_{21}^{(k)} \nu_{13}^{(k)}), \end{aligned}$$



$$B_{31}^{(k)} = \frac{E_3^{(k)}}{\Delta^{(k)}} (v_{31}^{(k)} + v_{32}^{(k)} v_{21}^{(k)}), B_{32}^{(k)} = \frac{E_3^{(k)}}{\Delta^{(k)}} (v_{32}^{(k)} + v_{31}^{(k)} v_{12}^{(k)}), B_{33}^{(k)} = \frac{E_3^{(k)}}{\Delta^{(k)}} (1 - v_{12}^{(k)} v_{21}^{(k)}),$$

$$\Delta^{(k)} = 1 - v_{31}^{(k)} v_{12}^{(k)} v_{23}^{(k)} - v_{13}^{(k)} v_{32}^{(k)} v_{21}^{(k)} - v_{12}^{(k)} v_{21}^{(k)} - v_{23}^{(k)} v_{32}^{(k)} - v_{31}^{(k)} v_{13}^{(k)}, B_{ij}^{(k)} = B_{ji}^{(k)} (i \neq j).$$

В системах уравнений (1.1)-(1.2) переходим к безразмерным координатам и перемещениям:

$$\xi_k = \frac{x_k}{a}, \eta_k = \frac{y_k}{a}, \zeta_k = \frac{z_k}{H}, u = \frac{U}{a}, v = \frac{V}{a}, w = \frac{W}{a},$$

где a – наименьший размер пластины в плане, $H = \sum_{k=1}^n h_k$ – полутолщина многослойной пластины. Вводим

также параметры: $\varepsilon = H/a$ – малый геометрический параметр, $\alpha_k = h_k/H$ – безразмерная полутолщина слоя.

Тогда уравнения теории упругости ортотропного тела k -ого слоя принимают вид:

$$\varepsilon \left(\frac{\partial \sigma_x^{(k)}}{\partial \xi_k} + \frac{\partial \tau_{xy}^{(k)}}{\partial \eta_k} \right) + \frac{\partial \tau_{xz}^{(k)}}{\partial \zeta_k} = 0, \quad \varepsilon \left(\frac{\partial \tau_{xy}^{(k)}}{\partial \xi_k} + \frac{\partial \sigma_y^{(k)}}{\partial \eta_k} \right) + \frac{\partial \tau_{yz}^{(k)}}{\partial \zeta_k} = 0,$$

$$\varepsilon \left(\frac{\partial \tau_{xz}^{(k)}}{\partial \xi_k} + \frac{\partial \tau_{yz}^{(k)}}{\partial \eta_k} \right) + \frac{\partial \sigma_z^{(k)}}{\partial \zeta_k} = 0, \quad (1.3)$$

$$\sigma_x^{(k)} = B_{11}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)}}{\partial \xi_k} + B_{12}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \eta_k} + \varepsilon^{-1} B_{13}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)}}{\partial \zeta_k}, \quad \sigma_y^{(k)} = B_{21}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)}}{\partial \xi_k} + B_{22}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \eta_k} + \varepsilon^{-1} B_{23}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)}}{\partial \zeta_k},$$

$$\sigma_z^{(k)} = B_{31}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)}}{\partial \xi_k} + B_{32}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \eta_k} + \varepsilon^{-1} B_{33}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)}}{\partial \zeta_k}, \quad (1.4)$$

$$\tau_{xy}^{(k)} = G_{12}^{(k)} \left(\frac{\partial u^{(k)}}{\partial \eta_k} + \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \xi_k} \right), \quad \tau_{yz}^{(k)} = G_{23}^{(k)} \left(\frac{\partial w^{(k)}}{\partial \eta_k} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \zeta_k} \right), \quad \tau_{zx}^{(k)} = G_{31}^{(k)} \left(\frac{\partial w^{(k)}}{\partial \xi_k} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial u^{(k)}}{\partial \zeta_k} \right)$$

Рассмотрим погранслою у кромки $\xi_k = \text{const}$. Проводим растяжение координаты $\xi_k = t_k \varepsilon$, и уравнения погранслоя примут вид:

$$\frac{\partial \sigma_x^{(k)}}{\partial t_k} + \varepsilon \frac{\partial \tau_{xy}^{(k)}}{\partial \eta_k} + \frac{\partial \tau_{xz}^{(k)}}{\partial \zeta_k} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{xy}^{(k)}}{\partial t_k} + \varepsilon \frac{\partial \sigma_y^{(k)}}{\partial \eta_k} + \frac{\partial \tau_{yz}^{(k)}}{\partial \zeta_k} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{xz}^{(k)}}{\partial t_k} + \varepsilon \frac{\partial \tau_{yz}^{(k)}}{\partial \eta_k} + \frac{\partial \sigma_z^{(k)}}{\partial \zeta_k} = 0, \quad (1.5)$$

$$\sigma_x^{(k)} = \varepsilon^{-1} B_{11}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)}}{\partial t_k} + B_{12}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \eta_k} + \varepsilon^{-1} B_{13}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)}}{\partial \zeta_k},$$

$$\sigma_y^{(k)} = \varepsilon^{-1} B_{21}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)}}{\partial t_k} + B_{22}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \eta_k} + \varepsilon^{-1} B_{23}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)}}{\partial \zeta_k}, \quad (1.6)$$

$$\sigma_z^{(k)} = \varepsilon^{-1} B_{31}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)}}{\partial t_k} + B_{32}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \eta_k} + \varepsilon^{-1} B_{33}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)}}{\partial \zeta_k},$$

$$\tau_{xy}^{(k)} = G_{12}^{(k)} \left(\frac{\partial u^{(k)}}{\partial \eta_k} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial v^{(k)}}{\partial t_k} \right), \quad \tau_{yz}^{(k)} = G_{23}^{(k)} \left(\frac{\partial w^{(k)}}{\partial \eta_k} + \varepsilon^{-1} \frac{\partial v^{(k)}}{\partial \zeta_k} \right)$$

$$\tau_{zx}^{(k)} = G_{31}^{(k)} \varepsilon^{-1} \left(\frac{\partial w^{(k)}}{\partial t_k} + \frac{\partial u^{(k)}}{\partial \zeta_k} \right).$$

2. Система уравнений (1.5)-(1.6) содержит два вида краевых решений: плоскую и антиплоскую деформации (краевое скручивание) [1,2].

В задаче о плоской деформации решение обозначим индексом “р” сверху и для основных величин решение ищем в виде асимптотического представления:



$$\begin{pmatrix} \sigma_x^{(k)p}, \sigma_y^{(k)p}, \sigma_z^{(k)p}, \tau_{xz}^{(k)p} \end{pmatrix} = \sum_{s=0}^{q_p} \varepsilon^{q_p} \begin{pmatrix} \sigma_x^{(k)s}, \sigma_y^{(k)s}, \sigma_z^{(k)s}, \tau_{xz}^{(k)s} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} u^{(k)p}, w^{(k)p} \end{pmatrix} = \sum_{s=0}^{q_p+1} \varepsilon^{q_p+1} \begin{pmatrix} u^{(k)s}, w^{(k)s} \end{pmatrix}, \quad (2.1)$$

а для вспомогательных величин:

$$\begin{pmatrix} \tau_{xy}^{(k)p}, \tau_{yz}^{(k)p} \end{pmatrix} = \sum_{s=0}^{q_p+1} \varepsilon^{q_p+1} \begin{pmatrix} \tau_{xy}^{(k)s}, \tau_{yz}^{(k)s} \end{pmatrix}, \quad v^{(k)p} = \sum_{s=0}^{q_p+2} \varepsilon^{q_p+2} v^{(k)s}. \quad (2.2)$$

Здесь, $q_p = s + \kappa_p$, где параметр κ_p должен выбираться из условия согласования краевых условий внутренней задачи и задачи погранслоя.

После подстановки соотношений (2.1) и (2.2) в уравнения (1.5)-(1.6) для коэффициентов рядов (2.1)-(2.2) получены следующие уравнения равновесия:

$$\frac{\partial \sigma_x^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial \tau_{xy}^{(k)s-2}}{\partial \eta_k} + \frac{\partial \tau_{xz}^{(k)s}}{\partial \zeta_k} = 0, \quad \frac{\partial \tau_{xy}^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial \sigma_y^{(k)s}}{\partial \eta_k} + \frac{\partial \tau_{yz}^{(k)s}}{\partial \zeta_k} = 0,$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial \tau_{yz}^{(k)s-2}}{\partial \eta_k} + \frac{\partial \sigma_z^{(k)s}}{\partial \zeta_k} = 0 \quad (2.3)$$

и соотношения упругости:

$$\begin{aligned} s_x^{(k)p} &= B_{11}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial t_k} + B_{12}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)s-2}}{\partial h_k} + B_{13}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)s}}{\partial z_k}, \\ s_y^{(k)p} &= B_{21}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial t_k} + B_{22}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)s-2}}{\partial h_k} + B_{23}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)s}}{\partial z_k}, \\ s_z^{(k)p} &= B_{31}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial t_k} + B_{32}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)s-2}}{\partial h_k} + B_{33}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)s}}{\partial z_k}, \\ t_{xy}^{(k)p} &= G_{12}^{(k)} \left(\frac{\partial u^{(k)s}}{\partial h_k} + \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial t_k} \right), \quad t_{yz}^{(k)p} = G_{23}^{(k)} \left(\frac{\partial w^{(k)s}}{\partial h_k} + \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial z_k} \right), \quad t_{xz}^{(k)p} = G_{31}^{(k)} \left(\frac{\partial w^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial z_k} \right) \end{aligned} \quad (2.4)$$

Здесь и далее величины с отрицательными индексами s тождественны нулю.

Система уравнений (2.3)-(2.4) распадается на основную и вспомогательную системы уравнений. Основная система уравнений служит для определения перемещений и состоит из уравнений равновесия:

$$\frac{\partial s_x^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial t_{xy}^{(k)s-2}}{\partial h_k} + \frac{\partial t_{xz}^{(k)s}}{\partial z_k} = 0, \quad \frac{\partial t_{xz}^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial t_{yz}^{(k)s-2}}{\partial h_k} + \frac{\partial s_z^{(k)s}}{\partial z_k} = 0, \quad (2.5)$$



и соотношений упругости:

$$\begin{aligned} s_x^{(k)s} &= B_{11}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial t_k} + B_{12}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)s-2}}{\partial h_k} + B_{13}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)s}}{\partial z_k}, \\ s_y^{(k)s} &= B_{21}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial t_k} + B_{22}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)s-2}}{\partial h_k} + B_{23}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)s}}{\partial z_k}, \\ s_z^{(k)s} &= B_{31}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial t_k} + B_{32}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)s-2}}{\partial h_k} + B_{33}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)s}}{\partial z_k}, \quad t_{xz}^{(k)s} = G_{31}^{(k)} \left(\frac{\partial w^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial z_k} \right) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Вспомогательная система уравнения содержит уравнение равновесия

$$\frac{\partial t_{xy}^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial s_y^{(k)s}}{\partial h_k} + \frac{\partial t_{yz}^{(k)s}}{\partial z_k} = 0 \quad (2.7)$$

и соотношения упругости:

$$t_{xy}^{(k)s} = G_{12}^{(k)} \left(\frac{\partial u^{(k)s}}{\partial h_k} + \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial t_k} \right), \quad t_{yz}^{(k)s} = G_{23}^{(k)} \left(\frac{\partial w^{(k)s}}{\partial h_k} + \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial z_k} \right). \quad (2.8)$$

В основной системе уравнений (2.5)-(2.6) при $s=0,1$ исключаются из рассмотрения напряжения и перемещение, которые затем находятся из вспомогательной системы уравнений при известных основных параметрах. При $s \geq 2$ вспомогательные величины являются известными функциями.

Для решения основной системы после подстановки (2.6) в (2.5) получим уравнения равновесия в перемещениях $u^{(k)s}, w^{(k)s}$:

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u^{(k)s}}{\partial t_k^2} + n_1^{(k)} \frac{\partial^2 u^{(k)s}}{\partial z_k^2} + n_2^{(k)} \frac{\partial^2 w^{(k)s}}{\partial t_k \partial z_k} &= R_a^{(k)s-2}, \\ n_3^{(k)} \frac{\partial^2 w^{(k)s}}{\partial t_k^2} + \frac{\partial^2 w^{(k)s}}{\partial z_k^2} + n_4^{(k)} \frac{\partial^2 u^{(k)s}}{\partial t_k \partial z_k} &= R_y^{(k)s-2}, \end{aligned} \quad (2.9)$$

Эту систему можно назвать некоторой плоской задачей теории упругости в плоскости $x, z(t, \zeta)$. Здесь введены обозначения:

$$\begin{aligned} v_1^{(k)} &= G_{31}^{(k)} / B_{11}^{(k)}, \quad v_2^{(k)} = (B_{13}^{(k)} + G_{31}^{(k)}) / B_{11}^{(k)}, \quad v_3^{(k)} = G_{31}^{(k)} / B_{33}^{(k)}, \quad v_4^{(k)} = (B_{31}^{(k)} + G_{31}^{(k)}) / B_{33}^{(k)}, \\ R_\alpha^{(k)s-2} &= -\frac{B_{12}^{(k)} + G_{12}^{(k)}}{B_{11}^{(k)}} \frac{\partial^2 v^{(k)s-2}}{\partial t_k \partial \eta_k} - \frac{G_{12}^{(k)}}{B_{11}^{(k)}} \frac{\partial^2 u^{(k)s-2}}{\partial \eta_k^2}, \\ R_y^{(k)s-2} &= -\frac{B_{32}^{(k)} + G_{23}^{(k)}}{B_{33}^{(k)}} \frac{\partial^2 v^{(k)s-2}}{\partial \eta_k \partial \zeta_k} - \frac{G_{23}^{(k)}}{B_{33}^{(k)}} \frac{\partial^2 w^{(k)s-2}}{\partial \eta_k^2}. \end{aligned} \quad (2.10)$$

“Массовые” силы $R_a^{(k)s-2}, R_y^{(k)s-2}$, неравные нулю лишь при $s \geq 2$, могут привести к незатухающим решениям, и поэтому необходимо получить условия существования затухающих решений краевой плоской задачи.



Решение однородной системы уравнений (2.9) при $s=0,1$ ищем в виде метода Фурье:

$$u^{(k)s}_p(t_k, z_k, h_k) = u^{(k)s}_1(z_k) j^{(k)s}(h_k) e^{-lt_k}, \quad w^{(k)s}_p(t_k, z_k, h_k) = u^{(k)s}_3(z_k) j^{(k)s}(h_k) e^{-lt_k}. \quad (2.11)$$

Где $\lambda > 0$ - показатель изменяемости погранслоя. Решение строится с точностью до некоторой функции $\varphi^{(k)s}$.

После подстановки (2.11) в (2.9) получаем однородную систему уравнений для определения изменения функций по толщине слоя (ξ_k):

$$n_1^{(k)} \frac{d^2 u_1^{(k)s}}{dz_k^2} + l^2 u_1^{(k)s} - n_2^{(k)} l \frac{d u_3^{(k)s}}{dz_k} = 0, \quad \frac{d^2 u_3^{(k)s}}{dz_k^2} + n_3^{(k)} l^2 u_3^{(k)s} - n_4^{(k)} l \frac{d u_1^{(k)s}}{dz_k} = 0. \quad (2.12)$$

Соотношения упругости (2.6) записываются в виде:

$$\begin{aligned} s_x^{(k)s} &= \bar{E}_1^{(k)} j^{(k)s}(h_k) \left(-l u_1^{(k)s} + m_{13}^{(k)} \frac{d u_3^{(k)s}}{dz_k} \right) e^{-lt_k}, \\ s_y^{(k)s} &= \bar{E}_2^{(k)} j^{(k)s}(h_k) \left(-l m_{21}^{(k)} u_1^{(k)s} + m_{23}^{(k)} \frac{d u_3^{(k)s}}{dz_k} \right) e^{-lt_k}, \\ s_z^{(k)s} &= \bar{E}_3^{(k)} j^{(k)s}(h_k) \left(\frac{d u_3^{(k)s}}{dz_k} - m_{31}^{(k)} l u_1^{(k)s} \right) e^{-lt_k}, \\ t_{xz}^{(k)s} &= G_{31}^{(k)} j^{(k)s}(h_k) \left(\frac{d u_1^{(k)s}}{dz_k} - l u_3^{(k)s} \right) e^{-lt_k}. \end{aligned} \quad (2.13)$$

Здесь и далее используются общепринятые обозначения:

$$\begin{aligned} \bar{E}_1^{(k)} &= B_{11}^{(k)}, \quad \bar{E}_2^{(k)} = B_{22}^{(k)}, \quad \bar{E}_3^{(k)} = B_{33}^{(k)}, \quad \mu_{12}^{(k)} = B_{12}^{(k)} / B_{11}^{(k)}, \quad \mu_{13}^{(k)} = B_{13}^{(k)} / B_{11}^{(k)}, \\ \mu_{21}^{(k)} &= B_{21}^{(k)} / B_{22}^{(k)}, \quad \mu_{23}^{(k)} = B_{23}^{(k)} / B_{22}^{(k)}, \quad \mu_{31}^{(k)} = B_{31}^{(k)} / B_{33}^{(k)}, \quad \mu_{32}^{(k)} = B_{32}^{(k)} / B_{33}^{(k)}. \end{aligned}$$

Выражения μ_{ij} играют роль специфических коэффициентов Пуассона и для плоского напряженного состояния совпадают с ними $\mu_{ij} = \nu_{ij}$.

Решение системы однородных уравнений (2.12) ищем в виде:

$$u_1^{(k)s}(z_k) = C_1^{(k)s} e^{gz_k}, \quad u_3^{(k)s}(z_k) = C_2^{(k)s} e^{gz_k}, \quad (2.14)$$

где $C_1^{(k)s}, C_2^{(k)s}$ - постоянные интегрирования k -ого слоя.

После подстановки (2.14) в (2.13) приходим к однородной алгебраической системе уравнений относительно постоянных $C_1^{(k)s}, C_2^{(k)s}$:

$$(n_1^{(k)} g^2 + l^2) C_1^{(k)s} - n_2^{(k)} l g C_2^{(k)s} = 0, \quad -n_4^{(k)} l g C_1^{(k)s} + (g^2 + n_3^{(k)} l^2) C_2^{(k)s} = 0. \quad (2.15)$$

Наличие ненулевого решения требует, чтобы определитель коэффициентов этой системы был равен нулю. Из этого следует алгебраическое уравнение относительно g .

$$n_1^{(k)} g^4 + l^2 (1 + n_1^{(k)} n_3^{(k)} - n_2^{(k)} n_4^{(k)}) g^2 + n_3^{(k)} l^4 = 0 \quad (2.16)$$

Для плоского напряженного состояния уравнение (2.16) хорошо изучено [2] и его корни имеют вид:

$$g_{1,2}^2 = -l^2 \frac{1 + n_1^{(k)} n_3^{(k)} - n_2^{(k)} n_4^{(k)}}{2n_1^{(k)}} \pm l^2 \frac{1}{2n_1^{(k)}} \sqrt{D^{(k)}},$$



где: $D^{(k)} = (1+n_1^{(k)}n_3^{(k)} - n_2^{(k)}n_4^{(k)})^2 - 4n_1^{(k)}n_3^{(k)}$.

В зависимости от значений упругих постоянных характеристическое уравнение имеет корни следующих вариантов [2]:

задача А при $D^{(k)}=0$

$$g_{1,2}^{(k)} = i l b^{(k)}, \quad g_{3,4}^{(k)} = -i l b^{(k)}, \quad b^{(k)} = \sqrt[4]{\frac{n_3^{(k)}}{n_1^{(k)}}} = \sqrt[4]{\frac{E_1^{(k)}}{1-n_{12}^{(k)}n_{21}^{(k)}} \cdot \frac{1-n_{23}^{(k)}n_{32}^{(k)}}{E_3^{(k)}}}, \quad (2.17)$$

задача Б при $D^{(k)}>0$

$$g_{1,2}^{(k)} = \pm i l b_1^{(k)}, \quad g_{3,4}^{(k)} = \pm i l b_2^{(k)}, \quad b_1^{(k)} = \sqrt{\frac{1}{2n_1^{(k)}} [1+n_1^{(k)}n_3^{(k)} - n_2^{(k)}n_4^{(k)} - \sqrt{D^{(k)}}]},$$

$$b_2^{(k)} = \sqrt{\frac{1}{2n_1^{(k)}} [1+n_1^{(k)}n_3^{(k)} - n_2^{(k)}n_4^{(k)} + \sqrt{D^{(k)}}]}, \quad (2.18)$$

задача В при $D^{(k)}<0$

$$g_{1-4}^{(k)} = \pm a^{(k)} \pm i b^{(k)}, \quad a^{(k)} = \sqrt{\frac{1}{2n_1^{(k)}} \left[\sqrt{n_1^{(k)}n_3^{(k)}} - \frac{1}{2}(1+n_1^{(k)}n_3^{(k)} - n_2^{(k)}n_4^{(k)}) \right]},$$

$$b^{(k)} = \sqrt{\frac{1}{2n_1^{(k)}} \left[\sqrt{n_1^{(k)}n_3^{(k)}} + \frac{1}{2}(1+n_1^{(k)}n_3^{(k)} - n_2^{(k)}n_4^{(k)}) \right]}. \quad (2.19)$$

В соотношениях (2.17)-(2.19) $\alpha^{(k)}, \beta^{(k)}, \beta_1^{(k)}, \beta_2^{(k)} > 0$.

Решение задачи А при корнях γ (2.17) записывается в виде:

$$u_1^{(k)s} = q_1^{(k)} [\beta^{(k)} A_1^{(k)s} - q_2^{(k)} A_2^{(k)s}] \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + q_1^{(k)} [\beta^{(k)} A_3^{(k)s} + q_2^{(k)} A_4^{(k)s}] \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k +$$

$$+ q_1^{(k)} \beta^{(k)} (A_2^{(k)s} \zeta_k \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + A_4^{(k)s} \zeta_k \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k), \quad (2.20)$$

$$u_3^{(k)s} = A_1^{(k)s} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k - A_2^{(k)s} \zeta_k \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k - A_3^{(k)s} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + A_4^{(k)s} \zeta_k \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k,$$

где: $q_1^{(k)} = \frac{n_2^{(k)}}{1-n_1^{(k)}b^{(k)2}}, \quad q_2^{(k)} = \frac{1+n_1^{(k)}b^{(k)2}}{1-n_1^{(k)}b^{(k)2}}.$

Напряжения в слое k имеют вид:

$$\sigma_x^{(k)s} = -\bar{E}_1^{(k)} \left[(b_1^{(k)} A_1^{(k)s} - b_2^{(k)} A_2^{(k)s}) \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + (b_1^{(k)} A_3^{(k)s} + \right.$$

$$\left. + b_2^{(k)} A_4^{(k)s}) \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + b_1^{(k)} (A_2^{(k)s} \zeta_k \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + A_4 \zeta_k \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) \right] \varphi^{(k)s}(\eta_k) e^{-\lambda t_k},$$

$$\sigma_y^{(k)s} = -\bar{E}_2^{(k)} \left[(b_3^{(k)} A_1^{(k)s} - b_4^{(k)} A_2^{(k)s}) \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + (b_3^{(k)} A_3^{(k)s} + \right.$$

$$\left. + b_4^{(k)} A_4^{(k)s}) \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + b_3^{(k)} (A_2^{(k)s} \zeta_k \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + A_4 \zeta_k \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) \right] \varphi^{(k)s}(\eta_k) e^{-\lambda t_k},$$

$$\sigma_z^{(k)s} = -\bar{E}_3^{(k)} \left[(b_5^{(k)} A_1^{(k)s} - b_6^{(k)} A_2^{(k)s}) \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + (b_5^{(k)} A_3^{(k)s} + \right.$$

$$\left. + b_6^{(k)} A_4^{(k)s}) \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + b_5^{(k)} (A_2^{(k)s} \zeta_k \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + A_4 \zeta_k \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) \right] \varphi^{(k)s}(\eta_k) e^{-\lambda t_k}, \quad (2.21)$$

$$\tau_{xz}^{(k)} = G_{31}^{(k)} \left[- (b_7^{(k)} A_1^{(k)s} - b_8^{(k)} A_2^{(k)s}) \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + (b_7^{(k)} A_3^{(k)s} + \right.$$

$$\left. + b_8^{(k)} A_4^{(k)s}) \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + b_7^{(k)} (A_2^{(k)s} \zeta_k \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k - A_4 \zeta_k \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) \right] \varphi^{(k)s}(\eta_k) e^{-\lambda t_k},$$



где

$$\begin{aligned} b_1^{(k)} &= l b^{(k)} \left(\frac{n_2^{(k)}}{1-n_1^{(k)} b^{(k)2}} - m_{12}^{(k)} \right) & b_2^{(k)} &= \frac{n_2^{(k)} (1+n_1^{(k)} b^{(k)2})}{(1-n_1^{(k)} b^{(k)2})^2} - m_{13}^{(k)}, \\ b_3^{(k)} &= l b^{(k)} \left(m_{21}^{(k)} \frac{n_2^{(k)}}{1-n_1^{(k)} b^{(k)2}} - m_{23}^{(k)} \right) & b_4^{(k)} &= m_{21}^{(k)} \frac{n_2^{(k)} (1+n_1^{(k)} b^{(k)2})}{(1-n_1^{(k)} b^{(k)2})^2} - m_{23}^{(k)}, \\ b_5^{(k)} &= l b^{(k)} \left(m_{31}^{(k)} \frac{n_2^{(k)}}{1-n_1^{(k)} b^{(k)2}} - 1 \right) & b_6^{(k)} &= m_{31}^{(k)} \frac{n_2^{(k)} (1+n_1^{(k)} b^{(k)2})}{(1-n_1^{(k)} b^{(k)2})^2} - 1, \\ b_7^{(k)} &= l \left(1 + \frac{n_2^{(k)} b^{(k)2}}{1-n_1^{(k)} b^{(k)2}} \right) & b_8^{(k)} &= b^{(k)} \frac{2n_2^{(k)}}{(1-n_1^{(k)} b^{(k)2})^2}. \end{aligned}$$

В частном случае для изотропного материала имеем:

$$\begin{aligned} b^{(k)} &= 1, \quad n_1^{(k)} = \frac{1-2n}{2(1-n)}, \quad n_2^{(k)} = \frac{1}{2(1-n)}, \quad n_1^{(k)} + n_2^{(k)} = 1, \\ m_{12} &= m_{21} = m_{13} = m_{31} = m_{23} = m_{32} = \frac{n}{1-n}, \\ b_1^{(k)} &= \lambda(1-\mu), \quad b_2^{(k)} = \frac{1+v_1^{(k)}}{v_2^{(k)}} - \mu, \quad b_3^{(k)} = 0, \quad b_4^{(k)} = \mu \frac{2v_1^{(k)}}{v_2^{(k)}}, \\ b_5^{(k)} &= \lambda(\mu-1), \quad b_6^{(k)} = \mu \frac{1+v_1^{(k)}}{v_2^{(k)}} - 1, \quad b_7^{(k)} = 2\lambda, \quad b_8^{(k)} = \frac{2}{v_2^{(k)}} \end{aligned}$$

и тогда при выполнении статических краевых условий на лицевых поверхностях однослойной пластины получим известные уравнения:

$$\sin 2l \pm 2l = 0,$$

описывающие соответственно плоский погранслои для задачи растяжения-сжатия (знак +) и изгиба (знак -). Эти уравнения хорошо изучены в монографии Л.А. Агаловяна [2].

Решение задачи Б, которая чаще всего имеет место для ортотропного материала [2], записывается:

$$\begin{aligned} u_1^{(k)s} &= -q_1^{(k)} A_1^{(k)s} \sin l b_1^{(k)} z_k + q_1^{(k)} A_2^{(k)s} \cos l b_1^{(k)} z_k - q_2^{(k)} A_3^{(k)s} \sin l b_2^{(k)} z_k + \\ &+ q_2^{(k)} A_4^{(k)s} \cos l b_2^{(k)} z_k, \end{aligned} \quad (2.22)$$

$$u_3^{(k)s} = A_1^{(k)s} \cos l b_1^{(k)} z_k + A_2^{(k)s} \sin l b_1^{(k)} z_k + A_3^{(k)s} \cos l b_2^{(k)} z_k + A_4^{(k)s} \sin l b_2^{(k)} z_k,$$

$$\text{при} \quad q_1^{(k)} = \frac{n_2^{(k)} b_1^{(k)}}{1-n_1^{(k)} b_1^{(k)2}}, \quad q_2^{(k)} = \frac{n_2^{(k)} b_2^{(k)}}{1-n_1^{(k)} b_2^{(k)2}}$$

Напряжения определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} \sigma_x^{(k)s} &= \bar{E}_1^{(k)} \lambda \left(b_1^{(k)} A_1^{(k)s} \sin \lambda \beta_1^{(k)} \zeta_k - b_1^{(k)} A_2^{(k)s} \cos \lambda \beta_1^{(k)} \zeta_k + b_2^{(k)} A_3^{(k)s} \sin \lambda \beta_2^{(k)} \zeta_k - \right. \\ &\left. - b_2^{(k)} A_4^{(k)s} \cos \lambda \beta_2^{(k)} \zeta_k \right) \varphi^{(k)s}(\eta_k) e^{-\lambda t_k}, \\ \sigma_y^{(k)s} &= \bar{E}_2^{(k)} \lambda \left(b_3^{(k)} A_1^{(k)s} \sin \lambda \beta_1^{(k)} \zeta_k - b_3^{(k)} A_2^{(k)s} \cos \lambda \beta_1^{(k)} \zeta_k + b_4^{(k)} A_3^{(k)s} \sin \lambda \beta_2^{(k)} \zeta_k - \right. \\ &\left. - b_4^{(k)} A_4^{(k)s} \cos \lambda \beta_2^{(k)} \zeta_k \right) \varphi^{(k)s}(\eta_k) e^{-\lambda t_k}, \end{aligned} \quad (2.23)$$



$$\sigma_z^{(k)s} = -\bar{E}_3^{(k)} \lambda \left(b_5^{(k)} A_1^{(k)s} \sin \lambda \beta_1^{(k)} \zeta_k - b_5^{(k)} A_2^{(k)s} \cos \lambda \beta_1^{(k)} \zeta_k + b_6^{(k)} A_3^{(k)s} \sin \lambda \beta_2^{(k)} \zeta_k - \right. \\ \left. - b_6^{(k)} A_4^{(k)s} \cos \lambda \beta_2^{(k)} \zeta_k \right) \varphi^{(k)s}(\eta_k) e^{-\lambda t_k},$$

$$\tau_{xz}^{(k)s} = -G_{31}^{(k)} \lambda \left(b_7^{(k)} A_1^{(k)s} \cos \lambda \beta_1^{(k)} \zeta_k + b_7^{(k)} A_2^{(k)s} \sin \lambda \beta_1^{(k)} \zeta_k + b_8^{(k)} A_3^{(k)s} \cos \lambda \beta_2^{(k)} \zeta_k + \right. \\ \left. + b_8^{(k)} A_4^{(k)s} \sin \lambda \beta_2^{(k)} \zeta_k \right) \varphi^{(k)s}(\eta_k) e^{-\lambda t_k},$$

где $b_1^{(k)} = q_1^{(k)} - \mu_{13}^{(k)} \beta_1^{(k)}$, $b_2^{(k)} = q_2^{(k)} - \mu_{13}^{(k)} \beta_2^{(k)}$, $b_3^{(k)} = \mu_{21}^{(k)} q_1^{(k)} - \mu_{23}^{(k)} \beta_1^{(k)}$,
 $b_4^{(k)} = \mu_{21}^{(k)} q_2^{(k)} - \mu_{23}^{(k)} \beta_2^{(k)}$, $b_5^{(k)} = \beta_1^{(k)} - \mu_{31}^{(k)} q_1^{(k)}$, $b_6^{(k)} = \beta_2^{(k)} - \mu_{31}^{(k)} q_2^{(k)}$,
 $b_7^{(k)} = 1 + q_1^{(k)} \beta_1^{(k)}$, $b_8^{(k)} = 1 + q_2^{(k)} \beta_2^{(k)}$.

Для задачи В перемещения вычисляются по соотношениям:

$$u_1^{(k)s} = e^{a^{(k)} l z_k} \left(A_1^{(k)s} \cos l b^{(k)} z_k + A_2^{(k)s} \sin l b^{(k)} z_k \right) + e^{-a^{(k)} l z_k} \left(A_3^{(k)s} \cos l b^{(k)} z_k + \right. \\ \left. + A_4^{(k)s} \sin l b^{(k)} z_k \right), \\ u_3^{(k)s} = A_1^{(k)s} e^{a^{(k)} l z_k} \left(a^{(k)} \cos l b^{(k)} z_k - b^{(k)} \sin l b^{(k)} z_k \right) + \\ + A_2^{(k)s} e^{a^{(k)} l z_k} \left(b^{(k)} \cos l b^{(k)} z_k + a^{(k)} \sin l b^{(k)} z_k \right) - \\ - A_3^{(k)s} e^{-a^{(k)} l z_k} \left(a^{(k)} \cos l b^{(k)} z_k + b^{(k)} \sin l b^{(k)} z_k \right) + \\ + A_4^{(k)s} e^{-a^{(k)} l z_k} \left(b^{(k)} \cos l b^{(k)} z_k - a^{(k)} \sin l b^{(k)} z_k \right). \quad (2.24)$$

Здесь $a^{(k)} = \frac{a^{(k)}}{n_2^{(k)}} \left(n_1^{(k)} + \frac{1}{a^{(k)2} + b^{(k)2}} \right)$, $b^{(k)} = \frac{b^{(k)}}{n_2^{(k)}} \left(n_1^{(k)} - \frac{1}{a^{(k)2} + b^{(k)2}} \right)$

Напряжения записываются в виде:

$$\sigma_x^{(k)s} = \bar{E}_1^{(k)} \lambda \left[A_1^{(k)s} e^{\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_1^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k - b_2^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) + \right. \\ + A_2^{(k)s} e^{\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_1^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + b_2^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) + A_3^{(k)s} e^{-\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_1^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + \\ + b_2^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) + A_4^{(k)s} e^{-\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_1^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k - b_2^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) \left. \right] \varphi^{(k)s}(\eta_k) e^{-\lambda t_k} \\ (2.25) \\ \sigma_y^{(k)s} = \bar{E}_2^{(k)} \lambda \left[A_1^{(k)s} e^{\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_3^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k - b_4^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) + \right. \\ + A_2^{(k)s} e^{\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_3^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + b_4^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) + A_3^{(k)s} e^{-\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_3^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + \\ + b_4^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) + A_4^{(k)s} e^{-\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_3^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k - b_4^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) \left. \right] \varphi^{(k)s}(\eta_k) e^{-\lambda t_k},$$



$$\begin{aligned} \sigma_z^{(k)s} = & \bar{E}_3^{(k)} \lambda \left[A_1^{(k)s} e^{\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_5^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k - b_6^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) + \right. \\ & + A_2^{(k)s} e^{\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_5^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + b_6^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) + A_3^{(k)s} e^{-\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_5^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k \\ & \left. + b_6^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) + A_4^{(k)s} e^{-\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_5^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k - b_6^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) \right] \varphi^{(k)s}(\eta_k) e^{-\lambda t_k} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau_{xz}^{(k)s} = & G_{31}^{(k)} \lambda \left[A_1^{(k)s} e^{\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_7^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k - b_8^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) + \right. \\ & + A_2^{(k)s} e^{\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (b_7^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + b_8^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) + A_3^{(k)s} e^{-\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (-b_7^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k \\ & \left. - b_8^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) + A_4^{(k)s} e^{-\alpha^{(k)} \lambda \zeta_k} (-b_7^{(k)} \sin \lambda \beta^{(k)} \zeta_k + b_8^{(k)} \cos \lambda \beta^{(k)} \zeta_k) \right] \varphi^{(k)s}(\eta_k) e^{-\lambda t_k} \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} b_1^{(k)} &= -1 + \mu_{13}^{(k)} (\alpha^{(k)} a^{(k)} - \beta^{(k)} b^{(k)}), \quad b_2^{(k)} = \mu_{13}^{(k)} (\alpha^{(k)} b^{(k)} + \beta^{(k)} a^{(k)}), \\ b_3^{(k)} &= -\mu_{21}^{(k)} + \mu_{23}^{(k)} (\alpha^{(k)} a^{(k)} - \beta^{(k)} b^{(k)}), \quad b_4^{(k)} = \mu_{23}^{(k)} (\alpha^{(k)} b^{(k)} + \beta^{(k)} a^{(k)}), \\ b_5^{(k)} &= -\mu_{31}^{(k)} + (\alpha^{(k)} a^{(k)} - \beta^{(k)} b^{(k)}), \quad b_6^{(k)} = (\alpha^{(k)} b^{(k)} + \beta^{(k)} a^{(k)}), \\ b_7^{(k)} &= \alpha^{(k)} - a^{(k)}, \quad b_8^{(k)} = \beta^{(k)} - b^{(k)}. \end{aligned}$$

В различных вариантах решений (2.20), (2.22), (2.24) содержится неизвестный параметр λ , который определяется из условия существования ненулевого решения относительно постоянных $A_1^{(k)}, K, A_4^{(k)}$. Для получения этого условия запишем краевые условия на лицевых поверхностях пластины

$$\tau_{xz}^{(1)s} = \sigma_z^{(1)s} = 0 \quad \text{при} \quad \zeta_1 = -\alpha_1, \quad \tau_{xz}^{(n)s} = \sigma_z^{(n)s} = 0 \quad \text{при} \quad \zeta_n = \alpha_n \quad \text{и условий непрерывности функций}$$

$$u^{(k)s}, \quad w^{(k)s}, \quad \tau_{xz}^{(k)s}, \quad \sigma_z^{(k)s} \quad \text{на границе слоев } (k) \text{ и } (k+1) \text{ и выполнения условия } \varphi^{(k)s} = \varphi^{(k+1)s}.$$

Для n -слойной пластины задача сводится к решению однородной алгебраической системы уравнений порядка $4n$, которая имеет ненулевое решение только в том случае, когда определитель, составленный из коэффициентов этой системы уравнений, будет равен нулю. Задача сводится к собственной проблеме, которая для трехслойной пластины представляется в виде определителя 12 порядка, элементами которого являются тригонометрические и показательные функции. А если пластина имеет регулярное строение и можно отдельно рассматривать симметричную и кососимметричную задачи, то порядок определителя уменьшается в два раза.

Постоянные интегрирования $A_i^{(k)s} (i=1,2,3,4)$ на каждом этапе определяются из краевых условий на торце $x=0$, которые учитывают и решение основного напряженного состояния.

Решение системы уравнений (2.5)-(2.6) при $s \geq 2$ сводится к решению неоднородной системы уравнений (2.9) с известной правой частью. Для системы уравнений (2.9) ищется полное решение, которое состоит из известного решения однородной задачи и частного решения неоднородной задачи, в котором участвует перемещение v , определяемое из вспомогательной задачи.

После решения основной задачи (2.9) при $s=0,1$ переходим к решению вспомогательной задачи (2.7)-(2.8), которая сводится к неоднородному уравнению относительно перемещения $v^{(k)s}$, решение которого представим в виде:

$$v^{(k)s}(t_k, z_k, h_k) = u_2^{(k)s}(z_k) \frac{dj^{(k)s}}{dh_k} e^{-\lambda t_k}. \quad (2.26)$$

Функция $u_2^{(k)s}$ определяется из неоднородного уравнения второго порядка:



$$\frac{d^2 u_2^{(k)s}}{dz_k^2} + \frac{G_{12}^{(k)}}{G_{32}^{(k)}} l^2 u_2^{(k)s} = R_v^{(k)s}, \quad (2.27)$$

$$\text{где } R_v^{(k)s} = \frac{G_{12}^{(k)} + m_{21}^{(k)} \bar{E}_2^{(k)}}{G_{32}^{(k)}} l u_1^{(k)s} - \frac{G_{32}^{(k)} + m_{23}^{(k)} \bar{E}_2^{(k)}}{G_{32}^{(k)}} \frac{du_3^{(k)s}}{dz_k} - \frac{\bar{E}_2^{(k)}}{G_{32}^{(k)}} u_2^{(k)s-2} \left(\frac{dj^{(k)s}}{dh_k} \right)^{-1} \frac{d^3 j^{(k)s-2}}{dh_k^3}$$

Полное решение уравнения (2.27) представим в виде:

$$u_2^{(k)s} = B_1^{(k)s} \cos \sqrt{\frac{G_{12}^{(k)}}{G_{32}^{(k)}}} l z_k + B_2^{(k)s} \sin \sqrt{\frac{G_{12}^{(k)}}{G_{32}^{(k)}}} l z_k + u_2^{(k)s*}, \quad (2.28)$$

где $u_2^{(k)s*}$ – частное решение уравнения (2.27) при известной правой части.

Постоянные $B_1^{(k)s}, B_2^{(k)s}$ находятся из краевых условий на лицевых поверхностях для $t_{yx}^{(k)s}$ и условий непрерывности функций $v^{(k)s}, t_{yz}^{(k)}$ по толщине пластины. При $s \geq 2$ в правую часть $R_v^{(k)s}$ добавляется еще одно слагаемое, из которого следует $j^{(k)s} = \frac{d^2 j^{(k)s-2}}{dh_k^2}$. Таким образом выполняются все уравнения теории упругости для краевой плоской деформации.

Из решения (2.28) следует, что на краю $x = \text{const}$ имеют место ненулевое перемещение $v^{(k)s}$ и напряжение $t_{xy}^{(k)s}$, которые сопутствуют плоскому погранслою и могут быть сняты только антиплоским погранслоем.

Таким образом, задача по определению погранслоя в многослойных конструкциях сводится к собственной проблеме и решению соответствующих трансцендентных уравнений. Покажем получение соответствующих уравнений для двух и трехслойных пластин.

3. Общий определитель для трехслойной пластины, являющийся условием существования ненулевых решений при определении $A_i^{(k)}$ ($k=1,2,3$), содержит четыре краевых условия на лицевых плоскостях: при $z_1 = -a_1$ $t_{xz}^{(1)} = s_z^{(1)} = 0$, при $z_3 = a_3$ $t_{xz}^{(3)} = s_z^{(3)} = 0$ и условий непрерывности функций перемещений u, w и напряжений t_{xz}, S_z при переходе от слоя (k) к слою $(k+1)$. Такая структура условий позволяет упростить общую процедуру раскрытия определителя и выполнить ее поэтапно. На первом этапе используются только условия непрерывности функций при переходе от слоя (k) к слою $(k+1)$. Этих условий четыре, что позволяет выразить $A_i^{(k)s}$ через $A_i^{(k+1)s}$ на “карандаше”. Эти выражения имеют вид:

$$A_i^{(k)s} = \sum_{j=1}^4 \prod_{ij}^{(k)-(k+1)} A_j^{(k+1)s} \quad (i=1, \dots, 4) \quad (3.1)$$

Для задачи Б матрица перехода от слоя (k) к слою $(k+1)$ определяется соотношениями:

$$\begin{aligned} \Pi_{11}^{(k)-(k+1)} &= k_5^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} + k_7^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\ \Pi_{12}^{(k)-(k+1)} &= k_5^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} - k_7^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\ \Pi_{13}^{(k)-(k+1)} &= k_6^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} + k_8^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\ \Pi_{14}^{(k)-(k+1)} &= k_6^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} - k_8^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} \end{aligned} \quad (3.2)$$



$$\begin{aligned}
 \Pi_{21}^{(k)-(k+1)} &= -k_5^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} + k_7^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\
 \Pi_{22}^{(k)-(k+1)} &= -k_5^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} - k_7^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\
 \Pi_{23}^{(k)-(k+1)} &= -k_6^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} + k_8^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\
 \Pi_{24}^{(k)-(k+1)} &= -k_6^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} - k_8^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_1^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\
 \Pi_{31}^{(k)-(k+1)} &= k_1^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} + k_3^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\
 \Pi_{32}^{(k)-(k+1)} &= k_1^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} - k_3^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\
 \Pi_{33}^{(k)-(k+1)} &= k_2^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} + k_4^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\
 \Pi_{34}^{(k)-(k+1)} &= k_2^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} - k_4^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\
 \Pi_{41}^{(k)-(k+1)} &= -k_1^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} + k_3^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\
 \Pi_{42}^{(k)-(k+1)} &= -k_1^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} + k_3^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_1^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\
 \Pi_{43}^{(k)-(k+1)} &= -k_2^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} + k_4^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} \\
 \Pi_{44}^{(k)-(k+1)} &= -k_2^{(k)-(k+1)} \cos \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \cos \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1} - k_4^{(k)-(k+1)} \sin \lambda \beta_2^{(k)} \alpha_k \sin \lambda \beta_2^{(k+1)} \alpha_{k+1}
 \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned}
 k_1^{(k)-(k+1)} &= \left(\frac{q_1^{(k+1)}}{q_1^{(k)}} - \frac{\overline{E}_3^{(k+1)}}{\overline{E}_3^{(k)}} \frac{b_5^{(k+1)}}{b_5^{(k)}} \right) / \left(\frac{b_6^{(k)}}{b_5^{(k)}} - \frac{q_2^{(k)}}{q_1^{(k)}} \right) & k_5^{(k)-(k+1)} &= \left(\frac{q_1^{(k+1)}}{q_2^{(k)}} - \frac{\overline{E}_3^{(k+1)}}{\overline{E}_3^{(k)}} \frac{b_5^{(k+1)}}{b_6^{(k)}} \right) / \left(\frac{b_5^{(k)}}{b_6^{(k)}} - \frac{q_1^{(k)}}{q_2^{(k)}} \right) \\
 k_2^{(k)-(k+1)} &= \left(\frac{q_2^{(k+1)}}{q_1^{(k)}} - \frac{\overline{E}_3^{(k+1)}}{\overline{E}_3^{(k)}} \frac{b_6^{(k+1)}}{b_5^{(k)}} \right) / \left(\frac{b_6^{(k)}}{b_5^{(k)}} - \frac{q_2^{(k)}}{q_1^{(k)}} \right) & k_6^{(k)-(k+1)} &= \left(\frac{q_2^{(k+1)}}{q_1^{(k)}} - \frac{\overline{E}_3^{(k+1)}}{\overline{E}_3^{(k)}} \frac{b_6^{(k+1)}}{b_6^{(k)}} \right) / \left(\frac{b_5^{(k)}}{b_6^{(k)}} - \frac{q_1^{(k)}}{q_2^{(k)}} \right) \\
 k_3^{(k)-(k+1)} &= \left(1 - \frac{G_{31}^{(k+1)}}{G_{31}^{(k)}} \frac{b_7^{(k+1)}}{b_7^{(k)}} \right) / \left(1 - \frac{b_8^{(k)}}{b_7^{(k)}} \right) & k_7^{(k)-(k+1)} &= \left(1 - \frac{G_{31}^{(k+1)}}{G_{31}^{(k)}} \frac{b_7^{(k+1)}}{b_8^{(k)}} \right) / \left(1 - \frac{b_7^{(k)}}{b_8^{(k)}} \right) \\
 k_4^{(k)-(k+1)} &= \left(1 - \frac{G_{31}^{(k+1)}}{G_{31}^{(k)}} \frac{b_8^{(k+1)}}{b_7^{(k)}} \right) / \left(1 - \frac{b_8^{(k)}}{b_7^{(k)}} \right) & k_8^{(k)-(k+1)} &= \left(1 - \frac{G_{31}^{(k+1)}}{G_{31}^{(k)}} \frac{b_8^{(k+1)}}{b_8^{(k)}} \right) / \left(1 - \frac{b_7^{(k)}}{b_8^{(k)}} \right)
 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Для двухслойной пластины осталось выполнить однородные статические краевые условия на лицевых поверхностях. Эти условия приводят к алгебраической системе уравнений:

$$\begin{aligned}
 b_7^{(1)} A_1^{(1)s} \cos l b_1^{(1)} a_1 - b_7^{(1)} A_2^{(1)s} \sin l b_1^{(1)} a_1 + b_8^{(1)} A_3^{(1)s} \cos l b_2^{(1)} a_1 - b_8^{(1)} A_4^{(1)s} \sin l b_2^{(1)} a_1 &= 0, \\
 b_5^{(1)} A_1^{(1)s} \sin l b_1^{(1)} a_1 + b_5^{(1)} A_2^{(1)s} \cos l b_1^{(1)} a_1 + b_6^{(1)} A_3^{(1)s} \sin l b_2^{(1)} a_1 + b_6^{(1)} A_4^{(1)s} \cos l b_2^{(1)} a_1 &= 0, \\
 b_7^{(2)} A_1^{(2)s} \cos l b_1^{(2)} a_2 + b_7^{(2)} A_2^{(2)s} \sin l b_1^{(2)} a_2 + b_8^{(2)} A_3^{(2)s} \cos l b_2^{(2)} a_2 + b_8^{(2)} A_4^{(2)s} \sin l b_2^{(2)} a_2 &= 0, \\
 b_5^{(2)} A_1^{(2)s} \sin l b_1^{(2)} a_2 - b_5^{(2)} A_2^{(2)s} \cos l b_1^{(2)} a_2 + b_6^{(2)} A_3^{(2)s} \sin l b_2^{(2)} a_2 - b_6^{(2)} A_4^{(2)s} \cos l b_2^{(2)} a_2 &= 0.
 \end{aligned} \quad (3.4)$$

В системе уравнений (3.4) постоянные интегрирования $A_i^{(1)s}$ ($i=1, \mathbf{K}, 4$) выражаются через $A_i^{(2)s}$ по соотношениям (3.1), что приводит к определителю:

$$\text{Det} \begin{vmatrix} F_1 \sin l b_1^{(2)} a_2 + F_2 \cos l b_1^{(2)} a_2 & F_1 \cos \lambda \beta_1^{(2)} \alpha_2 - F_2 \sin \lambda \beta_1^{(2)} \alpha_2 \\ F_5 \sin l b_1^{(2)} a_2 - F_6 \cos l b_1^{(2)} a_2 & F_5 \cos \lambda \beta_1^{(2)} \alpha_2 + F_6 \sin \lambda \beta_1^{(2)} \alpha_2 \\ b_7^{(2)} \cos l b_1^{(2)} a_2 & b_7^{(2)} \sin \lambda \beta_1^{(2)} \alpha_2 \\ b_5^{(2)} \sin l b_1^{(2)} a_2 & -b_5^{(2)} \cos \lambda \beta_1^{(2)} \alpha_2 \end{vmatrix} \quad (3.5)$$



$$\left. \begin{array}{l} F_3 \sin \lambda \beta_2^{(2)} \alpha_2 + F_4 \cos \lambda \beta_2^{(2)} \alpha_2 \\ F_7 \sin \lambda \beta_2^{(2)} \alpha_2 - F_8 \cos \lambda \beta_2^{(2)} \alpha_2 \\ b_8^{(2)} \cos \lambda \beta_2^{(2)} \alpha_2 \\ b_6^{(2)} \sin \lambda \beta_2^{(2)} \alpha_2 \end{array} \right| \begin{array}{l} F_3 \cos \lambda \beta_2^{(2)} \alpha_2 - F_4 \sin \lambda \beta_2^{(2)} \alpha_2 \\ F_7 \cos \lambda \beta_2^{(2)} \alpha_2 + F_8 \sin \lambda \beta_2^{(2)} \alpha_2 \\ b_8^{(2)} \sin \lambda \beta_2^{(2)} \alpha_2 \\ -b_6^{(2)} \cos \lambda \beta_2^{(2)} \alpha_2 \end{array} = 0$$

где

$$\begin{aligned} F_1(\lambda, \beta_1^{(1)}, \beta_2^{(1)}, \alpha_1) &= b_7^{(1)} k_5^{(1)-(2)} \sin 2\lambda \beta_1^{(1)} \alpha_1 + b_8^{(1)} k_1^{(1)-(2)} \sin 2\lambda \beta_2^{(1)} \alpha_1, \\ F_2(\lambda, \beta_1^{(1)}, \beta_2^{(1)}, \alpha_1) &= b_7^{(1)} k_7^{(1)-(2)} \cos 2\lambda \beta_1^{(1)} \alpha_1 + b_8^{(1)} k_3^{(1)-(2)} \cos 2\lambda \beta_2^{(1)} \alpha_1, \\ F_3(\lambda, \beta_1^{(1)}, \beta_2^{(1)}, \alpha_1) &= b_7^{(1)} k_6^{(1)-(2)} \sin 2\lambda \beta_1^{(1)} \alpha_1 + b_8^{(1)} k_2^{(1)-(2)} \sin 2\lambda \beta_2^{(1)} \alpha_1, \\ F_4(\lambda, \beta_1^{(1)}, \beta_2^{(1)}, \alpha_1) &= b_7^{(1)} k_8^{(1)-(2)} \cos 2\lambda \beta_1^{(1)} \alpha_1 + b_8^{(1)} k_4^{(1)-(2)} \cos 2\lambda \beta_2^{(1)} \alpha_1, \\ F_5(\lambda, \beta_1^{(1)}, \beta_2^{(1)}, \alpha_1) &= b_5^{(1)} k_5^{(1)-(2)} \cos 2\lambda \beta_1^{(1)} \alpha_1 + b_6^{(1)} k_1^{(1)-(2)} \cos 2\lambda \beta_2^{(1)} \alpha_1, \\ F_6(\lambda, \beta_1^{(1)}, \beta_2^{(1)}, \alpha_1) &= b_5^{(1)} k_7^{(1)-(2)} \sin 2\lambda \beta_1^{(1)} \alpha_1 + b_6^{(1)} k_3^{(1)-(2)} \sin 2\lambda \beta_2^{(1)} \alpha_1, \\ F_7(\lambda, \beta_1^{(1)}, \beta_2^{(1)}, \alpha_1) &= b_5^{(1)} k_6^{(1)-(2)} \cos 2\lambda \beta_1^{(1)} \alpha_1 + b_6^{(1)} k_2^{(1)-(2)} \cos 2\lambda \beta_2^{(1)} \alpha_1, \\ F_8(\lambda, \beta_1^{(1)}, \beta_2^{(1)}, \alpha_1) &= b_5^{(1)} k_8^{(1)-(2)} \sin 2\lambda \beta_1^{(1)} \alpha_1 + b_6^{(1)} k_4^{(1)-(2)} \sin 2\lambda \beta_2^{(1)} \alpha_1, \end{aligned} \quad (3.6)$$

Определитель (3.5) раскрывается точно и приводит к уравнению:

$$\begin{aligned} & b_6^{(2)} b_8^{(2)} (F_2 F_5 + F_1 F_6) + b_5^{(2)} b_7^{(2)} (F_4 F_7 + F_3 F_8) - \\ & - b_6^{(2)} b_7^{(2)} [(-F_1 \cos 2\lambda b_1^{(2)} a_2 + F_2 \sin 2\lambda b_1^{(2)} a_2)(F_7 \sin 2\lambda b_2^{(2)} a_2 - F_8 \cos 2\lambda b_2^{(2)} a_2) + \\ & + (F_5 \cos 2\lambda b_1^{(2)} a_2 + F_6 \sin 2\lambda b_1^{(2)} a_2)(F_3 \sin 2\lambda b_2^{(2)} a_2 + F_4 \cos 2\lambda b_2^{(2)} a_2)] - \\ & - b_5^{(2)} b_8^{(2)} [(F_1 \sin 2\lambda b_1^{(2)} a_2 + F_2 \cos 2\lambda b_1^{(2)} a_2)(F_7 \cos 2\lambda b_2^{(2)} a_2 + F_8 \sin 2\lambda b_2^{(2)} a_2) + \\ & + (F_5 \sin 2\lambda b_1^{(2)} a_2 - F_6 \cos 2\lambda b_1^{(2)} a_2)(F_3 \cos 2\lambda b_2^{(2)} a_2 + F_4 \sin 2\lambda b_2^{(2)} a_2)] = 0. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Для трехслойной пластины необходимо воспользоваться матрицей преобразований (3.1) дважды: сначала выразить $A_i^{(1)s}$ через $A_j^{(2)s}$, а последние через $A_k^{(3)s}$. Тогда остается выполнить только статические краевые условия при $z_1 = -a_1$, $z_3 = a_3$, которые приводят к определителю, аналогичному (3.5):

$$\begin{aligned} & \text{Det} \left| \begin{array}{l} \Phi_1 \sin \lambda \beta_1^{(3)} \alpha_3 + \Phi_2 \cos \lambda \beta_1^{(3)} \alpha_3 \\ \Phi_5 \sin \lambda \beta_1^{(3)} \alpha_3 - \Phi_6 \cos \lambda \beta_1^{(3)} \alpha_3 \\ b_7^{(3)} \cos \lambda \beta_1^{(3)} \alpha_3 \\ b_5^{(3)} \sin \lambda \beta_1^{(3)} \alpha_3 \end{array} \right| \begin{array}{l} \Phi_1 \cos \lambda \beta_1^{(3)} \alpha_3 - \Phi_2 \sin \lambda \beta_1^{(3)} \alpha_3 \\ \Phi_5 \cos \lambda \beta_1^{(3)} \alpha_3 + \Phi_3 \sin \lambda \beta_1^{(3)} \alpha_3 \\ b_7^{(3)} \sin \lambda \beta_1^{(3)} \alpha_3 \\ -b_5^{(3)} \cos \lambda \beta_1^{(3)} \alpha_3 \end{array} \\ & \left| \begin{array}{l} \Phi_3 \sin \lambda \beta_2^{(3)} \alpha_3 + \Phi_4 \cos \lambda \beta_2^{(3)} \alpha_3 \\ \Phi_7 \sin \lambda \beta_2^{(3)} \alpha_3 - \Phi_8 \cos \lambda \beta_2^{(3)} \alpha_3 \\ b_8^{(3)} \cos \lambda \beta_2^{(3)} \alpha_3 \\ b_6^{(3)} \sin \lambda \beta_2^{(3)} \alpha_3 \end{array} \right| \begin{array}{l} \Phi_3 \cos \lambda \beta_2^{(3)} \alpha_3 - \Phi_4 \sin \lambda \beta_2^{(3)} \alpha_3 \\ \Phi_7 \cos \lambda \beta_2^{(3)} \alpha_3 + \Phi_8 \sin \lambda \beta_2^{(3)} \alpha_3 \\ b_8^{(3)} \sin \lambda \beta_2^{(3)} \alpha_3 \\ -b_6^{(3)} \cos \lambda \beta_2^{(3)} \alpha_3 \end{array} \right| = 0 \end{aligned} \quad (3.8)$$



Здесь

$$\begin{aligned}
 \Phi_1(l, a_1, a_2) &= k_5^{(2)-(3)} (F_2 \sin 2lb_1^{(2)} a_2 - F_1 \cos 2lb_1^{(2)} a_2) + k_1^{(2)-(3)} (F_4 \sin 2lb_2^{(2)} a_2 - F_3 \cos 2lb_2^{(2)} a_2), \\
 \Phi_2(l, a_1, a_2) &= k_7^{(2)-(3)} (F_2 \cos 2lb_1^{(2)} a_2 + F_1 \sin 2lb_1^{(2)} a_2) + k_3^{(2)-(3)} (F_4 \cos 2lb_2^{(2)} a_2 + F_3 \sin 2lb_2^{(2)} a_2), \\
 \Phi_3(l, a_1, a_2) &= k_6^{(2)-(3)} (F_2 \sin 2lb_1^{(2)} a_2 - F_1 \cos 2lb_1^{(2)} a_2) + k_2^{(2)-(3)} (F_4 \sin 2lb_2^{(2)} a_2 - F_3 \cos 2lb_2^{(2)} a_2), \\
 \Phi_4(l, a_1, a_2) &= k_8^{(2)-(3)} (F_2 \cos 2lb_1^{(2)} a_2 + F_1 \sin 2lb_1^{(2)} a_2) + k_4^{(2)-(3)} (F_4 \cos 2lb_2^{(2)} a_2 + F_3 \sin 2lb_2^{(2)} a_2), \\
 \Phi_5(\lambda, \alpha_1, \alpha_2) &= k_5^{(2)-(3)} (F_6 \sin 2\lambda\beta_1^{(2)} \alpha_2 + F_5 \cos 2\lambda\beta_1^{(2)} \alpha_2) + k_1^{(2)-(3)} (F_8 \sin 2\lambda\beta_2^{(2)} \alpha_2 + F_7 \cos 2\lambda\beta_2^{(2)} \alpha_2), \\
 \Phi_6(\lambda, \alpha_1, \alpha_2) &= k_7^{(2)-(3)} (-F_6 \cos 2\lambda\beta_1^{(2)} \alpha_2 + F_5 \sin 2\lambda\beta_1^{(2)} \alpha_2) + k_3^{(2)-(3)} (-F_8 \cos 2\lambda\beta_2^{(2)} \alpha_2 + F_7 \sin 2\lambda\beta_2^{(2)} \alpha_2), \\
 \Phi_7(\lambda, \alpha_1, \alpha_2) &= k_6^{(2)-(3)} (F_6 \sin 2\lambda\beta_1^{(2)} \alpha_2 + F_5 \cos 2\lambda\beta_1^{(2)} \alpha_2) + k_2^{(2)-(3)} (F_8 \sin 2\lambda\beta_2^{(2)} \alpha_2 + F_7 \cos 2\lambda\beta_2^{(2)} \alpha_2), \\
 \Phi_8(\lambda, \alpha_1, \alpha_2) &= k_8^{(2)-(3)} (-F_6 \cos 2\lambda\beta_1^{(2)} \alpha_2 + F_5 \sin 2\lambda\beta_1^{(2)} \alpha_2) + k_4^{(2)-(3)} (-F_8 \cos 2\lambda\beta_2^{(2)} \alpha_2 + F_7 \sin 2\lambda\beta_2^{(2)} \alpha_2),
 \end{aligned} \quad (3.9)$$

Для трехслойной пластины уравнение краевой плоской деформации описывается уравнением:

$$\begin{aligned}
 &b_6^{(3)} b_8^{(3)} (\Phi_2 \Phi_5 + \Phi_1 \Phi_6) + b_5^{(3)} b_7^{(3)} (\Phi_4 \Phi_7 + \Phi_3 \Phi_8) - \\
 &- b_6^{(3)} b_7^{(3)} [(-\Phi_1 \cos 2lb_1^{(3)} a_3 + \Phi_2 \sin 2lb_1^{(3)} a_3)(\Phi_7 \sin 2lb_2^{(3)} a_3 - \Phi_8 \cos 2lb_2^{(3)} a_3) + \\
 &+ (\Phi_5 \cos 2lb_1^{(3)} a_3 + \Phi_6 \sin 2lb_1^{(3)} a_3)(\Phi_3 \sin 2lb_2^{(3)} a_3 + \Phi_4 \cos 2lb_2^{(3)} a_3)] - \\
 &- b_5^{(3)} b_8^{(3)} [(\Phi_1 \sin 2lb_1^{(3)} a_3 + \Phi_2 \cos 2lb_1^{(3)} a_3)(\Phi_7 \cos 2lb_2^{(3)} a_3 + \Phi_8 \sin 2lb_2^{(3)} a_3) + \\
 &+ (\Phi_5 \sin 2lb_1^{(3)} a_3 - \Phi_6 \cos 2lb_1^{(3)} a_3)(-\Phi_3 \cos 2lb_2^{(3)} a_3 + \Phi_4 \sin 2lb_2^{(3)} a_3)] = 0.
 \end{aligned} \quad (3.10)$$

4. Для основных величин антиплоской деформации, для которой вводим верхний индекс "a", принимаем решение в виде асимптотических рядов:

$$(t_{xy}^{(k)}, t_{yz}^{(k)}) = \sum_{s=0} e^{q_a} (t_{xy}^{(k)s}, t_{yz}^{(k)s}), \quad v^{(k)} = \sum_{s=0} e^{q_a+1} v^{(k)s}, \quad (4.1)$$

а для вспомогательных величин:

$$\begin{aligned}
 (s_x^{(k)}, s_y^{(k)}, s_z^{(k)}, t_{xz}^{(k)}) &= \sum_{s=0} e^{q_a+1} (s_x^{(k)s}, s_y^{(k)s}, s_z^{(k)s}, t_{xz}^{(k)s}), \\
 (u^{(k)}, w^{(k)}) &= \sum_{s=0} e^{q_a+2} (u^{(k)s}, w^{(k)s}),
 \end{aligned} \quad (4.2)$$

где $q_a = s + k_a$. Параметр находится при согласовании краевых условий.

После подстановки (3.1)-(3.2) в уравнения равновесия (1.5) и соотношения упругости (1.6) имеем уравнения равновесия:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial s_x^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial t_{xy}^{(k)s}}{\partial h_k} + \frac{\partial t_{xz}^{(k)s}}{\partial z_k} &= 0, \quad \frac{\partial t_{xy}^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial s_y^{(k)s-2}}{\partial h_k} + \frac{\partial t_{yz}^{(k)s}}{\partial z_k} = 0, \\
 \frac{\partial t_{xz}^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial t_{yz}^{(k)s}}{\partial h_k} + \frac{\partial s_z^{(k)s}}{\partial z_k} &= 0
 \end{aligned} \quad (4.3)$$



и соотношения упругости:

$$\begin{aligned} s_x^{(k)s} &= B_{11}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial t_k} + B_{12}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial h_k} + B_{13}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)s}}{\partial z_k}, \quad s_y^{(k)s} = B_{21}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial t_k} + B_{22}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial h_k} + B_{23}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)s}}{\partial z_k}, \\ s_z^{(k)s} &= B_{31}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial t_k} + B_{32}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial h_k} + B_{33}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)s}}{\partial z_k}, \quad t_{xy}^{(k)s} = G_{12}^{(k)} \left(\frac{\partial u^{(k)s-2}}{\partial h_k} + \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial t_k} \right), \\ t_{xz}^{(k)s} &= G_{31}^{(k)} \left(\frac{\partial w^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial z_k} \right), \quad t_{yz}^{(k)s} = G_{23}^{(k)} \left(\frac{\partial w^{(k)s-2}}{\partial h_k} + \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial z_k} \right) \end{aligned} \quad (4.4)$$

Система уравнений (3.3)-(3.4) также распадается на основную и вспомогательную задачи. Для основной задачи имеем уравнение равновесия:

$$\frac{\partial t_{xy}^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial s_y^{(k)s-2}}{\partial h_k} + \frac{\partial t_{yz}^{(k)s}}{\partial z_k} = 0 \quad (4.5)$$

и соотношения упругости:

$$t_{xz}^{(k)s} = G_{12}^{(k)} \left(\frac{\partial u^{(k)s-2}}{\partial h_k} + \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial t_k} \right), \quad t_{yz}^{(k)s} = G_{23}^{(k)} \left(\frac{\partial w^{(k)s-2}}{\partial h_k} + \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial z_k} \right) \quad (4.6)$$

Вспомогательная система содержит следующие уравнения:

$$\frac{\partial s_x^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial t_{xy}^{(k)s}}{\partial h_k} + \frac{\partial t_{yz}^{(k)s}}{\partial z_k} = 0, \quad \frac{\partial t_{xz}^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial t_{yz}^{(k)s}}{\partial h_k} + \frac{\partial s_z^{(k)s}}{\partial z_k} = 0 \quad (4.7)$$

и соотношения упругости:

$$\begin{aligned} s_x^{(k)s} &= B_{11}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial t_k} + B_{12}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial h_k} + B_{13}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)s}}{\partial z_k}, \quad s_y^{(k)s} = B_{21}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial t_k} + B_{22}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial h_k} + B_{23}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)s}}{\partial z_k}, \\ s_z^{(k)s} &= B_{31}^{(k)} \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial t_k} + B_{32}^{(k)} \frac{\partial v^{(k)s}}{\partial h_k} + B_{33}^{(k)} \frac{\partial w^{(k)s}}{\partial z_k}, \quad t_{xz}^{(k)s} = G_{31}^{(k)} \left(\frac{\partial w^{(k)s}}{\partial t_k} + \frac{\partial u^{(k)s}}{\partial z_k} \right) \end{aligned} \quad (4.8)$$

Основная задача при определении антиплоского погранслоя сводится к нахождению перемещения $v^{(k)}$ из уравнения:

$$\frac{\partial^2 v^{(k)s}}{\partial t_k^2} + \frac{G_{12}^{(k)}}{G_{23}^{(k)}} \frac{\partial^2 v^{(k)s}}{\partial z_k^2} = R_b^{(k)s-2}, \quad (4.9)$$

где

$$R_b^{(k)s-2} = - \frac{G_{12}^{(k)} + \mu_{21}^{(k)} \bar{E}_2^{(k)}}{G_{23}^{(k)}} \frac{\partial^2 u^{(k)s-2}}{\partial t_k \partial \eta_k} - \frac{\bar{E}_2^{(k)}}{G_{23}^{(k)}} \frac{\partial^2 v^{(k)s-2}}{\partial \eta_k^2} - \frac{G_{23}^{(k)} + \mu_{23}^{(k)} \bar{E}_2^{(k)}}{G_{23}^{(k)}} \frac{\partial^2 w^{(k)s-2}}{\partial \eta_k \partial \zeta_k} \quad (4.10)$$



Решение однородного уравнения при $s=0,1$ ищем в виде:

$$v^{(k)s}_a(t_k, \eta_k, \zeta_k) = u^{(k)s}_2(\zeta_k) F^{(k)s}(\eta_k) e^{-\mu t_k}, \quad (4.11)$$

где $\mu > 0$ показатель изменяемости антиплоского погранслоя.

Из (3.9) вытекает, что при любых $F^{(k)s}$ для $u^{(k)s}_2(\zeta_k)$ решение имеет вид:

$$u^{(k)s}_2 = C_1^{(k)s} \cos \sqrt{\frac{G_{12}^{(k)}}{G_{23}^{(k)}}} m z_k + C_2^{(k)s} \sin \sqrt{\frac{G_{12}^{(k)}}{G_{23}^{(k)}}} m z_k. \quad (4.12)$$

Напряжения $t^{(k)s}_{xy}$ и $t^{(k)s}_{yz}$ определяются соотношениями:

$$\begin{aligned} t^{(k)s}_{xy} &= -G_{12}^{(k)} m u^{(k)s}_2(z_k) F^{(k)s}(h_k) e^{-m t_k}, \\ t^{(k)s}_{yz} &= -\sqrt{G_{12}^{(k)} G_{23}^{(k)}} m \left(C_1^{(k)s} \sin \sqrt{\frac{G_{12}^{(k)}}{G_{23}^{(k)}}} m z_k - C_2^{(k)s} \cos \sqrt{\frac{G_{12}^{(k)}}{G_{23}^{(k)}}} m z_k \right) F^{(k)s}(h_k) e^{-m t_k}. \end{aligned} \quad (4.13)$$

Задача решена с точностью до некоторой функции $F^{(k)s}(h_k)$.

Из сравнения основных задач плоского и антиплоского погранслоев видно, что антиплоский погранслой определяется значительно проще и сводится к уравнению типа уравнений гармонических колебаний.

Параметр μ находится из условий выполнения краевых условий на лицевых поверхностях и условий непрерывности функций $v^{(k)s}_a, t^{(k)s}_{yz}$ на границах слоев и $F^{(k)s} = F^{(k+1)s}$. Для однослойной пластины $t^{(k)s}_{yz} = 0$ при $z = \pm 1$, что приводит к уравнению [2]

$$m^2 \sin \sqrt{\frac{G_{12}}{G_{23}}} m \cdot \cos \sqrt{\frac{G_{12}}{G_{23}}} m = 0,$$

которое имеет два нулевых корня. Для задачи симметричной по ζ решение уравнения $\sin \sqrt{G_{12}/G_{23}} m = 0$ представляется в виде $m_n = n p \sqrt{G_{23}/G_{12}}$ ($n=1,2,\mathbf{K}$), а для кососимметричной задачи $\cos \sqrt{G_{12}/G_{23}} m = 0$ - в виде $m_n = \frac{2n-1}{2} p \sqrt{G_{23}/G_{12}}$ ($n=1,2,\mathbf{K}$).

Эти результаты для однослойной пластины хорошо известны [2] и показывают сильную зависимость глубины проникновения погранслоя от отношения G_{23}/G_{12} . В литературе данный погранслой называется слабым в связи со значительным проникновением в глубь пластины.

5. С целью упрощения записи уравнений антиплоского погранслоя для многослойных пластин введем обозначения:

$$G_k^2 = G_{12}^{(k)} G_{23}^{(k)}, \quad K_k^2 = G_{12}^{(k)} / G_{23}^{(k)}.$$

Для антиплоского погранслоя при переходе от слоя k к слою $(k+1)$ должны выполняться только два условия стыковки: при $z_k = a_k$ и $z_{k+1} = -a_{k+1}$; $v^{(k)s} = v^{(k+1)s}$, $t^{(k)s}_{yz} = t^{(k+1)s}_{yz}$. На этом этапе рассматривается ма линейных алгебраических уравнений второго порядка, решение которой представляется в виде:

$$C_i^{(k)s} = \sum_{j=1}^2 M_{ij}^{(k)-(k+1)} C_j^{(k+1)s} \quad (i=1,2), \quad (5.1)$$

где матрица перехода определяется соотношениями:



$$\begin{aligned}
 M_{11}^{(k)-(k+1)} &= \cos K_k m a_k \cos K_{k+1} m a_{k+1} - \frac{G_{k+1}}{G_k} \sin K_k m a_k \sin K_{k+1} m a_{k+1}, \\
 M_{12}^{(k)-(k+1)} &= -\cos K_k m a_k \sin K_{k+1} m a_{k+1} - \frac{G_{k+1}}{G_k} \sin K_k m a_k \cos K_{k+1} m a_{k+1}, \\
 M_{21}^{(k)-(k+1)} &= \sin K_k m a_k \cos K_{k+1} m a_{k+1} + \frac{G_{k+1}}{G_k} \cos K_k m a_k \sin K_{k+1} m a_{k+1}, \\
 M_{22}^{(k)-(k+1)} &= -\sin K_k m a_k \sin K_{k+1} m a_{k+1} - \frac{G_{k+1}}{G_k} \cos K_k m a_k \cos K_{k+1} m a_{k+1},
 \end{aligned} \tag{5.2}$$

Для двухслойной пластины осталось выполнить два статических краевых условия на лицевых поверхностях при $z_1 = a_1 t_{yz}^{(k)s} = 0$ и при $z_2 = a_2 t_{yz}^{(k)s} = 0$. Эти условия приводят к уравнению:

$$(G_1 + G_2) \sin 2\mu(K_1 \alpha_1 + K_2 \alpha_2) + (G_1 - G_2) \sin 2\mu(K_1 \alpha_1 - K_2 \alpha_2) = 0. \tag{5.3}$$

Для трехслойной пластины необходимо воспользоваться матрицей преобразований (5.1) дважды. Тогда оставшиеся два статических краевых условия приводят при $G = G_1 G_3 / G_2$ к уравнению:

$$\begin{aligned}
 &(G_1 + G_2 + G_3 + G) \sin 2m(K_1 a_1 + K_2 a_2 + K_3 a_3) + \\
 &+ (-G_1 + G_2 + G_3 - G) \sin 2m(-K_1 a_1 + K_2 a_2 + K_3 a_3) + \\
 &+ (G_1 - G_2 + G_3 - G) \sin 2m(K_1 a_1 - K_2 a_2 + K_3 a_3) + \\
 &+ (G_1 + G_2 - G_3 - G) \sin 2m(K_1 a_1 + K_2 a_2 - K_3 a_3) = 0.
 \end{aligned} \tag{5.4}$$

Для пластины с мягким средним слоем $G \gg G_k$ и тогда уравнение (5.4) приобретает вид:

$$\begin{aligned}
 &\sin 2m(K_1 a_1 + K_2 a_2 + K_3 a_3) - \sin 2m(-K_1 a_1 + K_2 a_2 + K_3 a_3) - \\
 &- \sin 2m(K_1 a_1 - K_2 a_2 + K_3 a_3) - \sin 2m(K_1 a_1 + K_2 a_2 - K_3 a_3) = 0.
 \end{aligned} \tag{5.5}$$

Из уравнения (5.5) видно, что наибольшее влияние на проникновение погранслоя оказывает отношение $K_k = \sqrt{G_{12}^{(k)} / G_{23}^{(k)}}$, численное значение которого практически отсутствует в литературе для ортотропных материалов, хотя и отмечается, что для некоторых заполнителей $G_{12} \gg G_{23}$.

Предложенный в статье точный аналитический метод решения задач погранслоев для многослойных пластин из ортотропного материала позволил впервые получить уравнения, описывающие погранслои в двух и трехслойных пластинах и требующие своего решения в дальнейшем. Для решения полученных трансцендентных уравнений возможно использование методов, изложенных в [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Гольденвейзер А.Л. Построение приближенной теории изгиба пластинки методом асимптотического интегрирования уравнений теории упругости // ПММ. 1962. Т.2. Вып.4. - С.668-686.
2. Агаловян Л.А. Асимптотическая теория анизотропных пластин и оболочек. М.: Наука, 1997. - 414с.
3. Бутенко Ю.И. Вариационно-асимптотические методы построения неклассических методов расчета стержней и пластин. Казань: "Новое знание", 2001. - 320 с.
4. Гусейн-Заде М.И. Напряженное состояние погранслоя для слоистых пластинок // Тр. Всесоюз. конф. по теории оболочек и пластин. М.: Наука, 1970. - С.638-649.
5. Артюхин Ю.М., Гурьянов Н.Г., Котляр Л.М. Система Математика 4.0 и ее приложения в механике. Казань-Набережные Челны. Изд-во КамПИ, 2002. - 415с.



УДК 621.873/875 (031)

А.З. Манапов, И.Ю. Майстренко

ОЦЕНКА ФАКТИЧЕСКОГО ЗАПАСА ЖЕСТКОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ

В настоящее время более 80% мостовых кранов эксплуатируются за пределами установленного нормативного срока службы. Оценка фактического запаса жесткости металлоконструкций необходима для принятия решения о возможности или невозможности продления срока эксплуатации кранов.

В работе приводятся результаты статистического анализа фактического запаса жесткости 32 мостовых кранов, эксплуатируемых на машиностроительных предприятиях Приволжского округа Госгортехнадзора России с 1956 года.

В качестве критерия оценки состояния мостового крана может быть использован наряду с другими параметрами и коэффициент запаса жесткости конструкции. Логичность такого подхода объясняется: во-первых, тесной корреляцией жесткости и прочности главной балки; во-вторых, простотой получения информации о фактической жесткости главной балки путем измерения ее прогибов.

В расчетах были использованы результаты инструментальных измерений прогибов главных балок, полученные при проведении статических испытаний кранов в течение всего периода эксплуатации с периодичностью 1 раз в 3 года (при полном техническом освидетельствовании крана).

Можно говорить о двух коэффициентах запаса жесткости: о фактическом запасе жесткости и о расчетном запасе жесткости.

Фактический коэффициент запаса жесткости рассчитан по результатам инструментальных измерений прогибов и установлены границы доверительных интервалов для принятой доверительной вероятности:

$$K_i = \frac{[f]}{f_i \pm e_i}$$

где $[f]$ - допустимое значение прогиба главной балки, назначаемое с учетом группы режима работы крана и расположения кабины управления;

f_i - фактический прогиб главной балки по инструментальным измерениям;

e_i - половина доверительного интервала для доверительной вероятности b (принята $b = 0,95$).

Расчетный коэффициент запаса жесткости получен решением зависимости

$$K_p = \frac{[f]}{f_p},$$

где f_p - расчетный прогиб главной балки в середине пролета крана под действием нагрузок: от веса груза, включая грузозахватный орган, и от собственного веса грузовой тележки с учетом соответствующих коэффициентов перегрузки [1].

Отношение $\frac{f_i \pm e_i}{f_p}$ рассматривается как показатель наличия или отсутствия дополнительного запаса жесткости K_f главной балки и представляется как один из относительных критериев оценки остаточного ресурса металлических конструкций крана.

Результаты статистического анализа фактического запаса жесткости главных балок мостовых кранов для различных заводов-изготовителей, режимов работы и грузоподъемности представлены на рисунках 1-3.

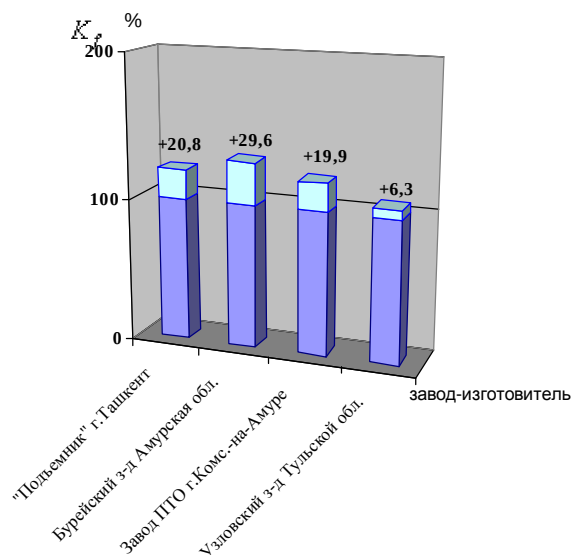


Рис.1 Дополнительный запас жесткости K_f для различных заводов-изготовителей



Завод-изготовитель	Расчетный запас жесткости			Фактический запас жесткости			$K_f = \frac{\hat{K}_i}{\hat{K}_p}$
	K_p	e_p	$\hat{K}_p$	K_i	e_i	$\hat{K}_i$	
«Подъемник» г.Ташкент	1,233	0,096	1,137	1,866	0,493	1,373	1,208 (+20,8%)
Бурейский завод Амурской области	1,277	0,234	1,043	2,733	1,381	1,352	1,296 (+29,6%)
Завод ПТО г.Комсомольск-на-Амуре	1,193	0,072	1,121	1,617	0,273	1,344	1,199 (+19,9%)
Узловский завод Тульской области	1,24	0,105	1,135	1,583	0,377	1,206	1,063 (+6,3%)

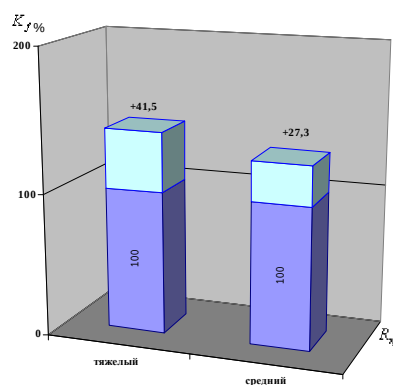


Рис.2 Дополнительный запас жесткости K_f для различных заводов-изготовителей

Режим работы крана, $R_{кр}$	Расчетный запас жесткости			Фактический запас жесткости			$K_f = \frac{\hat{K}_i}{\hat{K}_p}$
	K_p		$\hat{K}_p$	K_i		$\hat{K}_i$	
Тяжелый	1,158	0,050	1,108	1,993	0,425	1,568	1,415 (+41,5%)
Средний	1,256	0,053	1,203	1,695	0,163	1,532	1,273 (+27,3%)

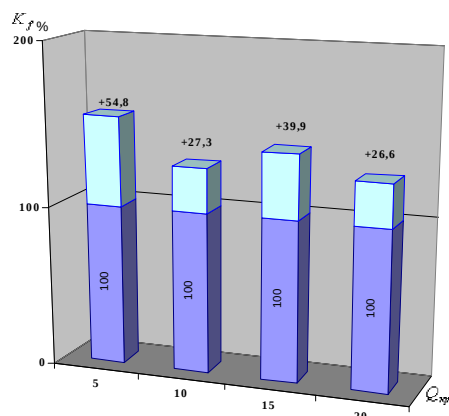


Рис.3 Дополнительный запас жесткости K_f для различных заводов-изготовителей



Грузоподъемность, $Q_{\text{ед}}, \text{т}$	Расчетный запас жесткости			Фактический запас жесткости			$K_f = \frac{\hat{K}_i}{\hat{K}_p}$
	K_p	e_p	$\hat{K}_p$	K_i	e_i	$\hat{K}_i$	
5,0	1,312	0,097	1,215	2,364	0,483	1,881	1,548 (+54,8%)
10,0	1,225	0,079	1,146	1,638	0,179	1,459	1,273 (+27,3%)
15,0	1,168	0,102	1,066	2,20	0,708	1,492	1,399 (+39,9%)
20,0	1,137	0,092	1,045	1,433	0,110	1,323	1,266 (+26,6%)

$\hat{K}_p$ – расчетный запас жесткости по минимальному значению доверительного интервала e_p с доверительной вероятностью $b = 0,95$.

$\hat{K}_i$ – фактический запас жесткости по инструментальным измерениям прогиба по минимальному значению доверительного интервала e_i с доверительной вероятностью $b = 0,95$.

В объеме использованной выборки можно сделать следующие выводы:

- фактический запас жесткости по всем объектам анализа превышает расчетный запас жесткости на $6,3 \div 54,8\%$;

- наибольшее превышение фактического запаса жесткости по сравнению с расчетным получено для кранов, изготовленных Бурейским заводом, для кранов с более интенсивным режимом эксплуатации, для кранов с грузоподъемностью 5 тонн;

- для наиболее объективной оценки фактического состояния металлических конструкций главных балок мостовых кранов требуется иметь в наличии не только единичные результаты инструментальных измерений статических прогибов, полученных при проведении экспертных обследований, но и равномерную по времени выборку значений данных инструментальных измерений,

которая может быть получена при проведении, например, полных технических освидетельствований кранов с установленной периодичностью 1 раз в 3 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Краны грузоподъемные промышленного назначения. Нормы и методы расчета элементов стальных конструкций. СТО 24.09-5821-01-93. Стандарт ВНИИПТМАШ., 1993. - С.-135.
2. ПБ 10-382-00. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов.
3. РД 22-28-36-01. Краны грузоподъемные. Типовые программы и методики испытаний (вкл. ИТОс 22-01-01 “Инструкция по проведению технического освидетельствования грузоподъемных кранов”) (взамен РТМ 2201-79-93).



УДК 69.058 (075.8)

Р.А. Галимшин, А.З. Манапов, А.А. Абдюшев

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ БАШНИ “СЮЮМБИКЕ” КАЗАНСКОГО КРЕМЛЯ

Башня Сююмбике построена неизвестными мастерами в конце 17 - начале 18 веков. Начиная с 19 века признается архитектурным шедевром и копируется при создании других шедевров архитектуры, таких как: Казанский вокзал в Москве, Русский павильон на Всемирной выставке 1990 г. в Париже. В 20 веке становится главным символом города Казани.

Надземная часть башни высотой 58 метров выполнена в кирпичной кладке из глиняного кирпича на известковом растворе. Кирпич, использованный в кладке, глиняный, пластического формования, хорошо обожженный и сильнообоженный, на звук звонкий. Размеры и форма кирпича в виде параллелепипеда и фигур с параллельными горизонтальными поверхностями, близки к итальянским. Раствор кладки известковый, ярко-белый, без признаков желтизны. Система перевязки кладки близка к крестовой. В кладке башни использована система тяжей из кованого железа. Кладка 1-4 ярусов массивная, с толщиной стен от 1450 до 5000 мм. В этой части башни основной нагрузкой и одновременно силой, обеспечивающей связность кладки, является собственный вес кладки. Кладка 5 яруса среднemasивная, а 6 и 7 ярусов тонкостенная, с толщиной стенки кладки до 400 мм. Шпилевая часть башни высотой 9150 мм имеет сложную конструктивную схему. Стержневым несущим элементом шпилевой части башни является вертикальная деревянная мачта из бревна диаметром 270 мм, у основания заделанная в кирпичную кладку 7 яруса. Вокруг деревянной мачты выполнена кладка из кирпича, армированная тремя железными стержнями сечением 32*52 мм. Состояние древесины мачты в выступающей из кладки части удовлетворительное.

Фундамент башни выполнен из плоского бутового камня с заполнением из щебня и грунта. Глубина заложения фундамента неоднородна: от 1,2 м до 4,5 м. По непонятным причинам фундамент башни не соответствует критериям, применявшимся при строительстве каменных башен на рубеже 17-18 веков.

За время эксплуатации башня Сююмбике получила общие деформации и повреждения, такие, как крен башни; макротрещины в основном массиве кладки башни; макротрещины в выступающих частях кладки и в наружном слое

цокольной части; повреждения тяжей; выветривание раствора кладки; выветривание кирпичей кладки; отколы наружного слоя кладки; микротрещины в кладке.

Наружный слой кладки башни фрагментарно ремонтировался. Ремонт производился путем замены наружного слоя кладки в полкирпича на новый кирпич и нанесения растворного слоя. Кирпич, использованный для замены коренного, плохо обожженный, имеет значительно меньшую морозостойкость сравнительно с коренным. Раствор, использованный для ремонта, розового цвета, марка раствора низкая, адгезия к кирпичу кладки слабая.

Первые сведения об обнаружении крена башни относятся к 1910 году. В последующем наблюдения производились нерегулярно, различными организациями. В таблице 1 сведены все имеющиеся данные по наблюдениям за креном башни.

По имеющимся данным измерения крена можно сделать следующие обобщения:

- 1) средняя скорость приращения крена башни за полный период наблюдений между 1910-2003 годами составляет 8,65 мм/год;
- 2) максимальная скорость приращения крена по результатам наблюдений имела место между 1941 и 1946 годами по 36 мм/год и между 2001 и 2002 годами по 33 мм/год;
- 3) минимальная скорость приращения крена по результатам наблюдений имела место между 1910 и 1930 годами по 2 мм/год и между 1946 и 1957 - по 1 мм/год;
- 4) средняя скорость приращения крена после усиления буроинъекционными сваями между 1990 и 2003 годами составила 6,53 мм/год;
- 5) выполненные расчеты скорости приращения крена сделаны без учета погрешностей измерений, однако для длительных наблюдений достоверность результатов достаточно высокая;
- 6) просадка фундаментов башни и вызванный этим его крен могли произойти вследствие действия: просадки грунтов основания под фундаментом из-за значительного удельного давления на грунт до 8 кг/см²; деформаций сжатия и нарушений целостности самого фундамента, выполненного из плоского бутового камня с заполнением пустот щебнем и грунтом; общей подвижки холма, на котором расположена башня.



Таблица 1

Год наблюдения, организация выполнившая измерения, точка отсчета	Величина крена, мм	Приращение крена в мм/год
1910 г. Константиновский межевой институт. Точка отсчета - яблоко шпиля	1220	
1930 г. Московское эрогеодезическое предприятие. Точка отсчета -яблоко шпиля	1280	Между 1910 и 1930 годами по 2 мм/год
1941 г. Топограф Н.Н. Несмелов. Точка отсчета -яблоко шпиля	1460	Между 1930 и 1941 годами по 16 мм/год
20 апреля 1946 г. Точка отсчета - яблоко шпиля	1640	Между 1941 и 1946 годами по 36 мм/год
6 мая 1957 г. Точка отсчета - яблоко шпиля	1650	Между 1946 и 1957 годами по 1 мм/год
7 июня 1989 г. Казанский инженерно-строительный институт	1919 -+8	Между 1957 и 1989 годами по 8,7 мм/год
4 декабря 1990 г. Казанский инженерно-строительный институт	1940 -+10	Между 1989 и 1990 годами по 13 мм/год
Сентябрь 2001 г. Татинвестгражданпроект	1990	Между 1990 и 2001 годами по 5 мм/год
Декабрь 2003 г. Татинвестгражданпроект	2025 мм	Между 2001 и 2003 годами по 17 мм/год Между 1990 и 2003 годами средняя скорость приращения крена 6,53 мм/год

Наиболее известной из наклонных башен является Пизанская башня в Италии. Наклон Пизанской башни в 1992 году составлял 4,5 м при высоте башни 60 м. По результатам конкурса с значительным призовым фондом были отобраны наиболее приемлемые технические решения по усилению башни. К настоящему времени выполнены работы по усилению надземной части металлическим внутренним каркасом, усилен фундамент массивным железобетонным кольцом, выполнено

закрепление грунта основания цементным раствором. Из-под фундамента башни с северного направления, противоположного направлению наклона, маленькими объемами около 2 мешков в сутки произведена выемка грунта специальным механизмом, общим объемом 37 кубических метров. После производства этих работ измерения показали, что наклон башни стабилизировался, а затем постепенно башня выпрямилась на 40 см, что соответствует положению 1700 года.

Таблица 2

№	Место измерения прочности кирпича или раствора	Прочность кирпича или раствора на сжатие по показаниям склерометра (кгс/см ²)
1	1 ярус, кирпич	61,64,82,147
2	3 ярус, кирпич.	123,110,115,102,102,178,118,48,85,137
3	4 ярус, кирпич.	143,143,265,130,89,113
4	1 ярус, раствор	32,23

Для выполнения проверочных расчетов несущих конструкций башни Сююмбике определялись прочность на сжатие кирпичей и раствора при помощи электронного измерителя прочности ИПС-МГ4, результаты измерений приведены в таблице 2.

Расчетное сопротивление кладки башни с учетом результатов измерений прочности кирпичей и раствора принято равным 10 кгс/см².

Измерения натяжения тяжей кладки выполнялись частотным методом, результаты измерений приведены в таблице 3.



Таблица 3

Местоположение затяжки	Собственные частоты в вертикальной плоскости/горизонтальной плоскости (Гц)	Напряжение в затяжке (кгс/см ²)
3 ярус, направление север-юг, M=12,5кг/м, L=6,1 м, E=2*10 ¹¹ н/м ² , A= 0,0016м ² , q ₀ =0,07м	14,5/ 12	2400
3 ярус, направление запад-восток	14/ 12,5	2400
3 ярус, направление запад-восток	14/ 13	2400
4 ярус, направление север-юг M=12,5кг/м, L=5,3 м, E=2*10 ¹¹ н/м ² , A= 0,0016м ² , q ₀ =0,07м	16	2500
4 ярус, направление запад-восток	15	2400
4 ярус, направление запад-восток	16	2500

Расчет напряжений в кладке башни выполнен на базе пакета программ Сумрак. Расчетная модель башни представлена из 5064 конечных элементов изопараметрического параллелепипеда и 147 стержневых конечных элементов при 7565 узлах.

Выборка из результатов расчета представлена в таблице 4.

По результатам обследования и проверочных расчетов можно сделать следующие выводы:

1. Кирпичная кладка башни Сююмбике имеет повреждения в виде трещин, ширина раскрытия до 4мм. Трещины в кирпичной кладке башни возникли вследствие двух причин: первая причина - напряжения в толще кладки глобального характера, пронизывающие все тело башни и обусловленные действием собственного веса при существующем крене башни; вторая причина - местные напряжения, возникающие в периферийных выступающих областях кладки, например, около пилястр.

2. Расслоение наружного слоя кладки наиболее выражено в местах, где коренной кирпич был заменен на новый. При ремонте кладки с заменой кирпичей был использован кирпич низкого качества. Расслоение, выветривание и выкрашивание кирпичей и раствора имеет место на обширных площадях наружной поверхности кладки.

3. При ремонте наружных поверхностей кладки использовано в основном 4 технологии: при глубоких разрушениях замена кладки на новую на глубину 0,5 кирпича; при неглубоких повреждениях кладки ремонт с использованием цементного раствора и использованием раствора красного цвета; ремонт

горизонтальных поверхностей выполнен укладкой бетона на эти поверхности. Эффективным и качественным можно признать ремонт, выполненный с использованием цементного раствора, и ремонт горизонтальных поверхностей укладкой бетона. При ремонте кладки с заменой кирпичей был использован кирпич низкого качества, плохо обожженный, подверженный ускоренному расслоению и выветриванию. Раствор красного цвета, использованный для восстановления верхнего слоя кладки с прорисовкой на нем швов кладки, оказался недолговечным. В настоящее время этот раствор осыпается, стал рыхлым и потерял связность.

4. Усиление фундаментов башни буроинъекционными сваями оказало двоякое влияние на надземную кладку. С одной стороны, положительное - за счет замедления крена башни, с другой стороны, отрицательное - за счет местного повышения жесткости и перераспределения напряжений в кладке с их увеличением в кладке над сваями.

5. Наружные стальные обоймы по периметру 1 яруса повреждены и нуждаются в замене. Разрыв подарочной тяги на 1 ярусе необходимо устранить без применения сварки. У входа в башню имеется ниша, в которой в настоящее время находится электрощитовая. Угол башни с нишей в сочетании с местной концентрацией усилий над буроинъекционными сваями в настоящее время является одним из слабейших и критических участков в массиве башни.

6. Расчетное сопротивление кладки башни с учетом результатов измерений прочности кирпичей и раствора целесообразно принять равным 10 кгс/см².



7. Выполненный анализ результатов измерения крена башни показывает:

- средняя скорость приращения крена башни за полный период наблюдений между 1910-2003 годами

составляет 8,65 мм/год;

- максимальная скорость приращения крена по результатам наблюдений имела место между 1941 и

Таблица 4

Номер яруса	Наименование нагрузки	Минимальные напряжения (кгс/см ²)	Максимальные напряжения (кгс/см ²)
1 ярус	Собственный вес без учета наклона башни	-3,72	-7,42
	Собственный вес с учетом наклона башни	-3,03	-9,36
	Собственный вес с учетом наклона башни + ветровая нагрузка	-2,94	-9,59
2 ярус	Собственный вес без учета наклона башни	0	-2,88
	Собственный вес с учетом наклона башни	0	-3,17
	Собственный вес с учетом наклона башни + ветровая нагрузка	0	-3,26
3 ярус	Собственный вес без учета наклона башни	-0,93	-4,35
	Собственный вес с учетом наклона башни	-0,80	-4,65
	Собственный вес с учетом наклона башни + ветровая нагрузка	-0,74	-4,72
4 ярус	Собственный вес без учета наклона башни	-0,22	-2,92
	Собственный вес с учетом наклона башни	-0,24	-3,36
	Собственный вес с учетом наклона башни + ветровая нагрузка	-0,17	-3,58
5 ярус	Собственный вес без учета наклона башни	-0,64	-1,88
	Собственный вес с учетом наклона башни	-0,59	-2,19
	Собственный вес с учетом наклона башни + ветровая нагрузка	-0,57	-2,46
6 ярус	Собственный вес без учета наклона башни	-1,16	-1,35
	Собственный вес с учетом наклона башни	-0,97	-1,63
	Собственный вес с учетом наклона башни + ветровая нагрузка	-0,64	-2,09
Основание 7 яруса отм. 40.950	Собственный вес без учета наклона башни	-0,21	-1,11



6 ярус	Собственный вес без учета наклона башни	-1,16	-1,35
	Собственный вес с учетом наклона башни	-0,97	-1,63
	Собственный вес с учетом наклона башни + ветровая нагрузка	-0,64	-2,09
Основание 7 яруса отм. 40.950	Собственный вес без учета наклона башни	-0,21	-1,11
	Собственный вес с учетом наклона башни	-0,18	-1,26
	Собственный вес с учетом наклона башни + ветровая нагрузка	-0,12	-1,74
7 ярус отм. 2.600 Низ оконных проемов	Собственный вес без учета наклона башни	-0,42	-0,81
	Собственный вес с учетом наклона башни	-0,40	-0,89
	Собственный вес с учетом наклона башни + ветровая нагрузка	-0,41	-1,54
7ярус отм 45.650 верхняя отм. яруса	Собственный вес без учета наклона башни	-0,05	-0,38
	Собственный вес с учетом наклона башни	-0,06	-0,39
	Собственный вес с учетом наклона башни + ветровая нагрузка	0,00	-1,07

1946 годами по 36 мм/год и между 2001 и 2002 годами по 33 мм/год;

- минимальная скорость приращения крена по результатам наблюдений имела место между 1910 и 1930 годами по 2 мм/год и между 1946 и 1957 годами по 1 мм/год; - средняя скорость приращения крена после усиления буронабивными сваями между 1990 и 2003 годами составила 6,53 мм/год. Так как измерения крена производились различными приемами и с различной точностью, объективно достоверными следует признавать результаты только за длительный период наблюдений.

8. Просадка фундаментов башни и вызванный этим его крен могли произойти вследствие действия одной или нескольких причин: просадки грунтов основания под фундаментом из-за значительного удельного давления на грунт до 8 кг/см²; деформаций сжатия и нарушений целостности самого фундамента, выполненного из плоского бутового камня, с заполнением пустот щебнем и грунтом; общей подвижки холма, на котором расположена башня.

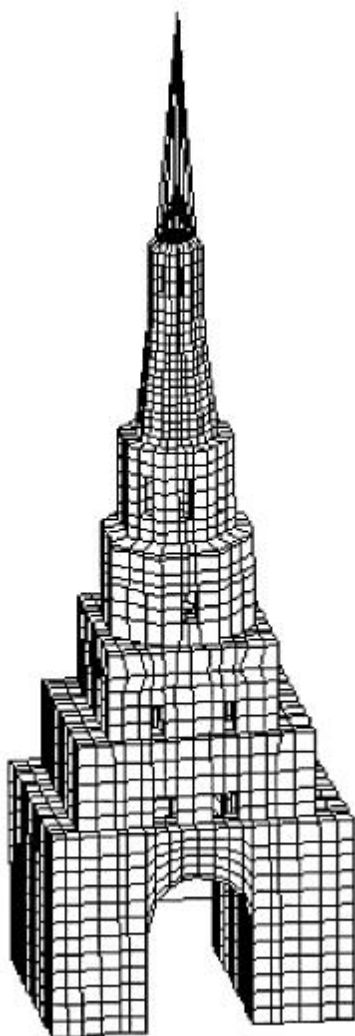
9. Максимальные напряжения сжатия в кладке у основания 1 яруса башни без учета наклона башни

составляют $\sigma_c = -7,42$ кгс/см², для принятого

расчетного сопротивления на сжатие кладки $R=10$ кгс/см², коэффициент запаса прочности $K_{пр}=1,34$. Максимальные напряжения сжатия в кладке у основания 1 яруса башни с учетом наклона башни составляют $\sigma_c = -9,36$ кгс/см², коэффициент запаса прочности $K_{пр}=1,07$. Максимальные напряжения сжатия в кладке у основания 1 яруса, башни с учетом наклона башни и ветровой нагрузки составляют $\sigma_c = -9,59$ кгс/см², коэффициент запаса прочности $K_{пр}=1,04$.

10. По результатам расчетов растягивающие напряжения имеют место в 7 ярусе башни $\sigma_t = +0,02$ кгс/см². Растягивающие напряжения возникают при совместном учете крена и ветровой нагрузки, наличие растягивающих напряжений в кладке башни является одним из признаков приближения к критическому состоянию.

11. При линейной интерполяции результатов расчета для принятого расчетного сопротивления на сжатие кладки $R=10$ кгс/см², без учета перераспределения напряжений от усиления фундаментов, при предположении разрушения от



напряжений сжатия основания 1 яруса критический уклон башни составляет 2453мм. С учетом концентрации напряжений в районе входной ниши и концентрации напряжений над буроинъекционными сваями существующее состояние башни можно признать критическим.

12. По результатам обследования и расчетов выявлены 3 критических участка в надземной кладке башни. Первый участок – угол 1 яруса у входа в башню. На этом участке имеют место максимальные напряжения сжатия, возникшие вследствие сочетания трех факторов. Первый фактор – максимальное увеличение напряжений сжатия от крена башни, второй фактор – наличие ослабляющей тело кладки ниши и третий фактор – концентрированная отпорность буроинъекционных свай. Второй критический участок расположен на 2 ярусе. Критичность этого участка возникла вследствие концентрации напряжений над и под оконными арками большого размера, расположенными в створе направления крена, и выражена в виде сквозных трещин. Третий критический участок – 7 ярус башни, наиболее подверженный воздействию растягивающих напряжений вследствие своей немассивности и отсутствия достаточного

пригруза вышерасположенными конструкциями.

13. По данным расчетов, нормальные напряжения сжатия на основании 1 яруса находятся в пределах 2,94-9,59 кгс/см². Учитывая, что фундамент башни своими контурами повторяет основание 1 яруса, есть основание считать, что нагрузки на основание фундамента близки к этим значениям.

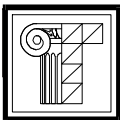
14. Положительные растягивающие напряжения на отм. 12.05 представляют собой изгибные растягивающие напряжения от изгиба подоконной части арки от нагрузок, передаваемых по простенкам, и отпорных нагрузок от подоконной части кладки.

15. Для повышения надежности надземной кладки башни Сююмбике считаем целесообразным выполнение следующих работ:

- устройство железобетонного ростверка в цокольной части 1 яруса для перераспределения концентрированной отпорности от буроинъекционных свай;
- усиление тела фундамента закачиванием цементного раствора в тело фундамента через горизонтальные отверстия;
- устройство дополнительных буроинъекционных свай;
- частичная заделка ниши у входа в башню с обеспечением связности;
- преднапряжение кирпичной кладки 7 яруса, с установкой тяжей и передачей усилий от ветровой нагрузки и наклона на нижерасположенные ярусы; скрытое армирование кирпичной кладки по швам проволокой из легированной стали;
- устройство тяжей в приарочных и подоконных участках 2 яруса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Гендель. Пример методики подсчета нормативных нагрузок и рекомендации по расчету специфических элементов конструкций. 1961.
2. Стебнев В.И., Боровских В.С. Наблюдения за креном башни Сююмбике. Информационно-рекламный листок №22-92. Татарский центр научно-технической информации, 1992.
3. Татинвестгражданпроект. Рабочий проект Наблюдения за креном башни Сююмбеке на территории музея заповедника Казанский Кремль. 2003. Заказ №2462.
4. Пархоменко Н.И. Инженерно-геологические условия территории Кремля. Ленгипрокоммунстрой. Заключение по вопросу образования трещин в Кремлевском откосе и в стенах гаража Совета Министров ТАССР. Экспедиция №16, 1954.
5. Центральная проектно-реставрационная мастерская Академии архитектуры СССР. Проект укрепления фундаментов и постановка затяжек у свода башни Сююмбике в г. Казани. 1955.
6. Татаргражданпроект. Рабочий проект Пересчет усилий в конструкциях и проектирование затяжек башни Сююмбике. 1991. Заказ №2462-КМ.



ПРИОРИТЕТНЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ БАЗЫ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Коллектив кафедры строительных материалов КГАСУ наряду с систематическим проведением исследований составов, свойств, разновидностей и объемов запасов местных сырьевых ресурсов и разработки эффективных строительных материалов и изделий на их основе выступает инициатором и разработчиком программ развития базы строительной индустрии РТ под патронажем сотрудников Министерства строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства РТ с привлечением сотрудников ЦНИИГеологии нерудного сырья, проектных институтов и других кафедр университета. Результатами этой работы являются Постановления КМ РТ от 19.01.1996 г. №33 “Об утверждении Приоритетных направлений структурной перестройки базы строительной индустрии Республики Татарстан в условиях рыночных отношений”, от 17.06.1999 г. №326 “О рациональном использовании местного сырья в производстве строительных материалов”, от 15.12.2001г. О мероприятиях по дальнейшему развитию базы строительной индустрии Республики Татарстан и разработка в 2004 г. подпрограммы “Приоритетные направления развития промышленности строительных материалов и строительной индустрии Республики Татарстан на 2005-2010 годы”. В настоящей статье приведены отдельные сведения о ее содержании.

Подпрограмма “Приоритетные направления развития промышленности строительных материалов и строительной индустрии Республики Татарстан на 2005-2010 годы” разработана в составе “Целевой комплексной программы устойчивого развития строительного комплекса Республики Татарстан на 2005-2010 гг.” с целью определения направлений дальнейшего развития базы строительной индустрии РТ до уровня развития баз строительной индустрии других технически развитых стран и способной обеспечивать потребности строительной отрасли РТ высококачественными материалами и изделиями и экспорт их в другие регионы РФ и страны. Подпрограмма разработана на основе оценки современного состояния базы строительной индустрии РТ, тенденций развития промышленности строительных материалов РФ и других технически развитых стран, учета планов инновационного развития предприятий строительного комплекса РТ, программ социального и экономического развития и развития строительной отрасли РФ и отдельных ее регионов, Программы социального и экономического

развития РТ и с учетом ранее принятых Постановлений КМ РТ по развитию базы строительной индустрии РТ.

Республика Татарстан располагает одной из крупнейших в Российской Федерации региональных баз строительной индустрии, в составе которой более 500 предприятий, из которых производят: 93 - бетон, бетонные и железобетонные изделия; 53 - строительный кирпич; 21 - теплоизоляционные материалы; 33 - полимерные изделия и конструкции; 15 - кровельные материалы; 114 - материалы, изделия и конструкции из древесины; 55 - металлические изделия и конструкции; 5 - минеральные вяжущие вещества; 7 - керамзит; 62 - гравий, щебень, песчано-гравийные смеси, строительный песок и пильный камень.

В 2003 г. промышленностью строительных материалов произведено продукции на сумму 4613,8 млн. руб., что составляет 1,7% в общем объеме продукции промышленности РТ при численности занятых 1,1% от общей численности занятых в экономике республики.

До начала перестройки экономики страны промышленность строительных материалов РТ отмечалась крайней ограниченностью номенклатуры выпускаемой продукции, основной объем которой составляли: бетон, бетонные и железобетонные изделия, строительный кирпич и нерудные материалы. Кроме того, высокий износ и высоко энерго-, ресурсо- и трудозатратные технологии не обеспечивали производства продукции, конкурентоспособной с зарубежными аналогами по качеству и технико-экономическим показателям. За последние 15 лет в промышленности строительных материалов РТ произошли значительные позитивные изменения, которые сопровождались повышением качества и технико-экономических показателей продукции существующих предприятий за счет реконструкции и модернизации технологий и освоением производства продукции, которая ранее в РТ не производилась. Введены в строй новые, оснащенные современным зарубежным и отечественным оборудованием, предприятия по производству: бетона, бетонных и железобетонных изделий методом вибропрессования и стенового безопалубочного формования, железобетонных изделий для сооружений метрополитена, алюминиевых профилей и конструкций, высококачественных оконных и дверных блоков из древесины, пластмасс и металлов, рулонных



битумно-полимерных и полимерных кровельных, гидро-, тепло- и звукоизоляционных материалов, профилированного стального настила, сэндвич-панелей и металлочерепицы, теплоизоляционных материалов из пенополистирола, пенополиуретана, пенополиэтилена и базальтового волокна, навесных вентилируемых фасадов, изделий из гранита, декоративных штукатурных растворов на синтетических связующих.

Вместе с тем в настоящее время база строительной индустрии РТ не является достаточно конкурентоспособной по сравнению с соответствующими базами отдельных регионов РФ и развитых зарубежных стран. Мировому уровню соответствуют лишь отдельные виды строительной продукции небольшого числа из общей численности предприятий, как и в целом по РФ. В большинстве других технически развитых странах стоимость основных фондов промышленности строительных материалов составляет 6-8% от стоимости основных фондов промышленности в целом. В 2003 году этот показатель в РФ составлял 2,8%, а в РТ - 0,9%. При этом удельный вес отрасли в общем объеме промышленного производства в 2003 году составил в РФ 3%, в РТ - 1,7%. В связи с этим номенклатура производимой промышленностью строительных материалов продукции остается ограниченной. В РТ ввозятся основные объемы цемента, листовой, профилированной и арматурной стали, асбестоцементных изделий, теплоизоляционных материалов, сухих строительных смесей, гипсокартона, гипсоволокнистых плит, керамических плит для облицовки стен и устройства полов, рулонных кровельных материалов, отделочных полимерных материалов, изделий для подвесных потолков, акустических плит, пигментов, химических добавок для бетонов и растворов, огнеупорных и кислотоупорных материалов и изделий.

В 2003 г. в РТ ввезено 47,6% от общего объема использованных строительных материалов и изделий. Все это ведет к удорожанию конечной строительной продукции как новых, так и реконструируемых зданий и сооружений, так как транспортные затраты повышают стоимость строительных материалов до 2-х раз. Современное состояние большинства предприятий промышленности строительных материалов РТ характеризуется высокой 50-80% степенью износа основных фондов и энерго- и ресурсозатратами в 2-3 раза на производство продукции выше, а трудозатратами до 10 раз выше, чем на предприятиях других технически развитых стран.

Дальнейшее развитие базы строительной индустрии РТ должно быть направлено на максимально возможное обеспечение строительного рынка РТ высококачественными материалами, изделиями и конструкциями местного производства, способными конкурировать с импортной продукцией из других

регионов РФ и зарубежных стран. Вместе с тем, очевидно, что в РТ не может быть организовано производство отдельных видов строительных материалов из-за недостатка или отсутствия сырьевых ресурсов цемента, профильной, листовой и арматурной стали, асбестоцемента, которые ввозятся в больших объемах. В связи с этим в РТ должно быть развито производство материалов, изделий и конструкций, в том числе для экспорта в другие регионы РФ и зарубежные страны, в объемах и по стоимости, равной или превышающей стоимость ввозимых строительных материалов. Следует наращивать объемы поставок в другие регионы РФ экспортируемых в настоящее время из РТ: изделий из тяжелого и ячеистого бетонов, алюминиевых профилей и конструкций, оконных и дверных блоков, сэндвич-панелей, профилированных листов, металлических конструкций промышленных холодильников, фрукто- и овощехранилищ, производственных зданий, складов и спортивных сооружений. Создание производств новых строительных материалов должно планироваться с учетом обязательного экспорта части продукции.

Для решения этих задач в РТ должна измениться инвестиционная политика по отношению к промышленности строительных материалов с целью вывода всех ее подотраслей на мировой уровень. Подобная задача эффективно решается в Москве, где еще в 2002 г. ввод в действие основных фондов в строительную индустрию превысил выбытие основных фондов в 16 раз. В 2003 году объем инвестиций в основной капитал по отрасли Промышленность строительных материалов составил 1.15% от инвестиций в основной капитал в промышленность в целом. В других технически развитых странах ежегодно объем инвестиций в основной капитал промышленности строительных материалов составляет 6-8% от инвестиций в промышленность в целом. Исходя из учета современного состояния промышленности строительных материалов РТ, крайне низкой стоимости основных ее фондов 0,9% от общей стоимости основных фондов промышленности, необходимости решения строительства доступного жилья и социальных задач, объем ежегодных инвестиций в промышленность строительных материалов должен быть увеличен в 6-10 раз и должен составлять 1,7-2,5 млрд. руб. в год. При этом развитие базы строительной индустрии до уровня соответствующих других технически развитых стран может быть достигнуто до 2020 г., а удельный вес отрасли в общем объеме промышленного производства РТ составит 8-10%. Направления развития базы строительной индустрии РТ разработаны с учетом прогноза потребностей строительного комплекса РТ по определенным подпрограммой объемам и структуре жилищного, соцкультбытового и промышленного строительства.



В соответствии с этим прогнозом структура и объемы жилищного строительства в тыс. кв. м. предполагаются в следующем виде, соответственно, в 2005 и 2010 годах: всего жилой площади - 1670 и 2200, из них: много- и среднеэтажных зданий - 1098 и 1427,5, в том числе крупнопанельных - 362,4 и 481,6, монолитных и монолитно-каркасных - 102 и 467,8, кирпичных - 634,2 и 478,1; малоэтажных зданий - 545,6 и 715,6. Сохранение темпов и наращивание объемов крупнопанельного домостроения связаны с получившими в последние годы в РФ тенденциями перехода заводов КПД на производство ширококорпусных домов и востребованностью модернизированных энергоэффективных домов, конкурентоспособных по показателю цена-качество в больших населенных пунктах. Увеличение объемов монолитного и монолитно-каркасного домостроения в общем объеме крупно- и среднеэтажных зданий составит с 9,3% в 2005 г. до 32,8% в 2010 г., которое планируется с учетом тенденций развития домостроения в целом по РФ.

Наружные стены этих зданий планируется возводить преимущественно 3-х типов конструктивных решений:

1 - керамический кирпич+теплоизоляция+лицевой керамический кирпич;

2 - силикатный кирпич+теплоизоляция+лицевой силикатный кирпич;

3 - камни и блоки из ячеистого бетона+лицевой кирпич.

При этом планируется увеличение наружных стен 3-го типа с 5% в 2005 г. до 20% в 2010 г. Объем кирпичных в общем объеме много- и среднеэтажных зданий снизится с 57,7% в 2005 году до 33,3% в 2010 г. Планируется увеличение объемов малоэтажных зданий с наружными стенами из камней и блоков из ячеистого бетона с 1,6% в 2005 г. до 4,4% в 2010 г. от общего объема малоэтажных зданий.

Расчет потребностей в основных видах строительных материалов на строительство зданий соцкультбыта произведен из сложившегося соотношения строительства их в объеме 30% от объемов жилищного строительства. Расчет потребностей в основных строительных материалах на строительство промышленных и сельскохозяйственных зданий произведен из сложившегося соотношения - 10% - в Северо-Восточной зоне и 5% - в остальных зонах РТ от планируемых объемов жилищного строительства.

Подпрограммой определены приоритетные и перспективные направления развития базы строительной индустрии РТ. Приоритетные направления разработаны как главные и обязательные к реализации с целью решения задач обеспечения строительной отрасли РТ основными видами конкурентоспособных материалов и изделий местного производства. Реализация перспективных, как

дополняющих, направлений преследует цель развития базы строительной индустрии РТ с существенным расширением номенклатуры продукции на основе более полного использования местных сырьевых ресурсов и научно-технических достижений. Реализация приоритетных направлений предусмотрена в 2 этапа: 1-ый - с 2005 г. по 2010 г.; 2-ой - с 2010 г. по 2020 г. Реализация перспективных направлений может выполняться в период с 2005 г. по 2020 г.

Направления развития базы стройиндустрии определены по подотраслям промышленности строительных материалов и изделий.

По подотрасли производства бетона, бетонных и железобетонных изделий приоритетным направлением на период до 2010 г. является реконструкция, модернизация и обновление основных фондов заводов КПД в г.г. Казани, Набережных Челнах, Нижнекамске, Альметьевске и Заинске с доведением их общей реальной мощности по жилой площади с 362,4 тыс. кв. м. в 2005 г. до 481,6 тыс. кв. м. в 2010 г. Приоритетным направлением развития подотрасли производства бетона, бетонных и железобетонных изделий является также и организация производств: изделий из ячеистых бетонов мощностью до 100 тыс. куб. м. в год в Северо-Западной зоне РТ; внедрение безпропарочных технологий твердения изделий; производства химических добавок для бетонов и растворов. Перспективным направлением по подотрасли производства бетона, бетонных и железобетонных изделий является организация производств: железобетонных изделий из высокопрочных, сверхвысокопрочных и песчаных бетонов; бетонных и железобетонных изделий на основе шлакощелочных вяжущих.

По подотрасли производства керамических и силикатных стеновых материалов до 2010 г. приоритетными направлениями являются: модернизация и обновление оборудования и технологий действующих заводов; организация производства эффективного керамического кирпича и камня в Предволжской зоне мощностью до 45 млн. шт. условного кирпича в год; организация производства пористо-пустотелых стеновых керамических камней мощностью 60-80 млн. шт. условного кирпича в Северо-Западной зоне РТ; перевод ОАО "Арское СПК" полностью на производство лицевого кирпича; организация линий по производству лицевого керамического кирпича мощностью 10 млн. шт. условного кирпича на ОАО "Казанский КСМ" и ООО "КамАЗстройиндустрия"; доведение объемов производства лицевого кирпича до 10 млн. шт. условного кирпича на ОАО "Алексеевская керамика"; доведение мощностей по производству цветного и рельефного силикатного кирпича на ООО "Казанский ЗССМ" и "Набережно-Челнинском КСМ" до 25 млн. шт. условного кирпича на каждого. Приоритетным направлением развития подотрасли на период 2010-2020 годы является организация производств: пористо-



пустотелых камней мощностью 60-80 млн. шт. условного кирпича в Северо-Восточной и Юго-Западной зонах РТ и завода крупнопанельного керамического домостроения мощностью 100 тыс. кв. м. жилой площади в год по технологии австрийской фирмы “Цигельмайстерхаус”. Это обеспечит возможность вести возведение наружных стен зданий без дополнительной теплоизоляции по конструктивному решению пористо-пустотелый камень+лицевой кирпич.

По подотрасли стеновых материалов из ячеистых бетонов приоритетным направлением до 2010 г. является организация производства изделий из автоклавного ячеистого бетона мощностью до 100 тыс. куб. м. в год в Северо-Западной зоне РТ.

Перспективным направлением производства местных стеновых материалов является организация производств: пенополистиролбетонных камней и блоков; стеновых материалов типа “Геокар” на основе торфа месторождений районов Актанышского, Алькеевского, Агрызского и Нурлатского.

По подотрасли производства теплоизоляционных материалов приоритетными направлениями являются: повышение качества пенополистирола на действующих предприятиях; создание и расширение производств теплоизоляционных материалов на основе базальтового волокна, соответственно, на ОАО “ХК Ак барс” и ООО “СМП-Механика” общей мощностью до 200 тыс. куб. м. в год в Северо-Западной зоне РТ. Перспективным направлением в развитии производства теплоизоляционных материалов является создание производств: “Эковаты”; теплоизоляционных материалов на основе соломы и торфа, газокarbonата.

По подотрасли производства кровельных и гидроизоляционных материалов приоритетным направлением до 2010 г. является модернизация и обновление оборудования и технологий с целью повышения качества и использования мощностей действующих предприятий мягких рулонных полимербитумных и полимерных материалов.

Перспективным направлением по подотрасли кровельных материалов является организация производств: мягкой черепицы на предприятиях рулонных кровельных материалов; волнистых кровельных листовых материалов типа “Ондулин” на основе битумов, полимерных добавок и целлюлозных волокон в Юго-Восточной зоне РТ; светопрозрачных бесцветных и тонированных листовых полимерных материалов и сотовых панелей из поликарбоната.

По подотрасли производства полимерных строительных материалов приоритетными направлениями до 2010 г. являются: улучшение качества и конструкций пластмассовых профилей и повышение использования мощностей ГУП завода “Стройпласт” с 40% до проектной; модернизация и обновление технологий, расширение номенклатуры, повышение качества и объемов производства

линолеума суммарно до 1,5 млн. кв. м. на ООО завод “Эластик” и ЗАО “Казанский завод искусственных кож”. Перспективным направлением производства минеральных вяжущих является создание производств: полимерного сайдинга мощностью до 300 тыс. кв. м. в год; базальтовой арматуры для армирования бетонных конструкций.

По подотрасли производства строительных машин, оборудования, оснастки, инструментов и комплектующих для строительной отрасли приоритетными являются: расширение номенклатуры и объемов производства строительных машин, оборудования, инструментов и комплектующих для строительной отрасли в связи со снижением в последнее десятилетие производства оборудования для строительной отрасли в РФ до 25 раз; организация производства комплектной опалубки для монолитного и монолитно-каркасного домостроения в связи с планируемым расширением объемов такого строительства.

По подотрасли производства металлических конструкций приоритетным направлением является модернизация и обновление оборудования и технологий на предприятиях Казанский ООО “Стройкоммаш”, Камский завод металлоконструкций, Нижнекамского ОАО “Стальметаллоконструкция” и других.

По подотрасли производства минеральных вяжущих веществ приоритетными направлениями являются: расширение номенклатуры и объемов производства гипсовых вяжущих до 120 тыс. т. в год; создание производства цемента на основе привозного клинкера и местных минеральных добавок мощностью 300 тыс. т. в год в Северо-Западной зоне РТ, расширение объемов кальциевой извести. Перспективным направлением производства минеральных вяжущих веществ является организация производств: шлакощелочных вяжущих, доломитового цемента, доломитовой извести, жидкого стекла из местных цеолитсодержащих пород, гидравлической извести и романцемента.

По подотрасли производства материалов и изделий из древесины перспективным является направление создания производства клееного бруса из древесного шпона и строительных конструкций из него.

По подотрасли производства нерудных строительных материалов приоритетными направлениями являются: модернизация и обновление оборудования предприятий нерудного сырья с целью повышения объемов добычи и переработки, производительности труда и качества продукции; организация производства кубовидного щебня общей мощностью 300 тыс. куб. м. в год; создание производства чистого и фракционированного песка для сухих строительных смесей мощностью 50 тыс. куб. м. в год; расширение объемов добычи пильного камня и номенклатуры производства изделий из него в Юго-



Восточной зоне РТ; организация производства керамзита с насыпной плотностью 200-250 кг/м³ на керамзитовых предприятиях.

Перспективными направлениями в развитии производства нерудных материалов являются организация производства легких заполнителей из цеолитсодержащих пород и керамзитового песка для легких строительных растворов и сухих строительных смесей, организация добычи декоративно-поделочного камня и производства изделий из него в Спасском районе.

В использовании отходов промышленности в производстве строительных материалов и защите окружающей среды перспективными направлениями являются: организация предприятий переработки конструкций сносимых зданий и сооружений для использования продуктов переработки в производстве строительных материалов; организация переработки отходов добычи карбонатных пород для применения их в производстве строительных материалов; формирование целевых программ отраслевых министерств и ведомств по расширению использования продуктов и отходов промышленности в производстве строительных материалов и изделий.

Отдельные приоритетные направления развития базы строительной индустрии РТ:

- создание производства гипсокартона мощностью 3 млн. кв. м. в год;
- завершение создания производства сухих строительных смесей мощностью 30 тыс. т. в год в Лаишевском районе;
- создание производства гипсовых сухих строительных смесей мощностью 20 тыс. т. в год;
- организация производства сухих строительных смесей мощностью 10 тыс. т. в год в Северо-Восточной и Юго-Восточной зонах РТ.

Отдельные перспективные направления развития базы строительной индустрии РТ:

- организация производства керамических плит для отделки зданий и устройства полов мощностью 300 тыс. кв. м. в год;
- создание производства строительного стекла мощностью 2 млн. кв. м. в год в Северо-Западной зоне РТ;
- создание производства пигментов на основе местного сырья месторождений в Северо-Восточной зоне РТ;
- развитие производства огнеупорных материалов и изделий в Северо-Восточной зоне РТ;
- создание производства древесно-стружечных плит с ориентированной стружкой;
- создание производства цементно-стружечных плит;
- создание производства фиброцементных плит;
- создание производства шлаковой пемзы и шлакоситалловых плит для отделки зданий и устройства полов на основе шлаков литейного завода КамАЗа.

Для реализации приоритетных и перспективных направлений развития базы строительной индустрии

РТ необходимо научное сопровождение с использованием известных результатов научно-исследовательских работ и выполнением следующих научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок:

- анализ состояния, проведение комплекса исследований и разработка научно-обоснованных рекомендаций по рациональному использованию местного минерального сырья в производстве строительных материалов РТ;
- анализ состояния, проведение комплекса исследований и разработка научно-обоснованных рекомендаций по расширению использования продуктов промышленности в производстве строительных материалов РТ;
- анализ состояния, проведение комплекса исследований и разработка научно-обоснованных рекомендаций по расширению использования техногенных образований и отходов промышленности в производстве строительных материалов и строительстве РТ;
- разработка составов сырьевых смесей для производства пустотело-пористых керамических стеновых материалов на основе местных глин в Северо-Восточной, Северо-Западной и Юго-Восточной зонах РТ;
- разработка составов и технологии производства пигментов из местного сырья и отходов промышленности;
- разработка новых ресурсо- и энергосберегающих конструктивных систем гражданских и промышленных зданий и сооружений;
- разработка эффективных систем опалубки для монолитного и каркасно-монолитного строительства;
- разработка смазок форм и опалубки для бетонирования, в том числе при отрицательных температурах;
- разработка химических добавок на основе и с применением местного сырья для бетонов, растворов и сухих строительных смесей;
- рациональное использование серы в производстве строительных материалов;
- разработка технологий по переработке конструкций сносимых зданий;
- рациональное использование продуктов переработки конструкций сносимых зданий в производстве строительных материалов и изделий;
- разработка особо легких заполнителей для бетонов;
- разработка составов и технологий производства высоко- и особопрочных бетонов;
- разработка эффективных теплоизоляционных материалов на основе и с применением местного сырья;
- разработка ресурсо- и энергосберегающих технологий добычи и переработки нерудного сырья;
- разработка огнеупорных материалов на основе и с применением местного сырья;
- разработка кислотоупорных материалов на основе и с применением местного сырья;



- разработка эффективных строительных материалов и изделий на основе гипсовых вяжущих;
- разработка эффективных строительных бетонных, железобетонных, металлических и деревянных конструкций;
- разработка материалов для внутренней и наружной отделки зданий на основе и с применением местного сырья;
- разработка оптимальных составов сухих строительных смесей на основе и с применением местного сырья;
- разработка эффективных теплоизоляционно-конструктивных материалов самонесущих ограждающих конструкций на основе и с применением местного сырья;
- разработка эффективных вяжущих для бетонов, растворов и сухих строительных смесей на основе и с применением местного сырья.

Для обеспечения определенного снижения конечной строительной продукции перспективным является направление упорядочения рынка строительных материалов и защита местных производителей.

Из РТ в 2003 г. вывезено 232,3 тыс.кв.м., в то же время ввезено 188,1 тыс.кв.м. линолеума, ввезено 77,3 тыс.кв.м. профнастила при наличии значительных собственных объемов его производства в РТ и т.д.

Ожидаемые показатели социально-экономического эффекта от реализации инновационной деятельности по модернизации и обновлению техники и технологий за период с 2005 по 2010 годы в сумме составят: дополнительная добавленная стоимость 527,25 млн. руб.; дополнительный фонд заработной платы с социальными отчислениями 240 млн.руб.; дополнительная прибыль 119,25 млн.руб.; дополнительная амортизация 365,25 млн.руб.; дополнительные налоговые отчисления в бюджет РФ - 354 млн.руб.; в бюджеты РТ и местные - 178,5 млн.руб.; дополнительное количество рабочих мест - 507.

Для реализации подпрограммы необходима концентрация усилий всех участников инвестиционного процесса по направлениям:

- создание централизованного фонда инновационного развития базы строительной индустрии с включением бюджетных средств, кредитов банков, отчислений от прибыли высокодоходных

строительных организаций и предприятий строительной индустрии;

- создание в структуре Министерства строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Управления инновационного развития базы строительной индустрии строительного комплекса с целью координации инвестиционных процессов, разработки и реализации мер государственной поддержки и стимулирования инновационной деятельности в строительном комплексе;

- организация в составе одного из ведущих проектных институтов совместно с Казанским государственным архитектурно-строительным университетом Центра инноваций в строительстве (ЦИС) с созданием необходимой исследовательской и опытно-экспериментальной базы, на который возложить задачи информационного обеспечения инновационного развития отрасли, экспертизы заявляемых инновационных проектов, содействия авторам изобретений и отдельных разработок в завершении исследований и опытно-промышленных испытаний, разработок технологий, материалов и конструкций, определение потенциальных производителей и инвесторов по инновационным проектам;

- организация союзов предпринимателей по подотраслям промышленности строительных материалов с целью координации и, при необходимости, объединения финансовых и интеллектуальных ресурсов по инновационной деятельности на предприятиях подотраслей;

- для увеличения собственных средств предприятий на инновационную деятельность необходимо принятие решения Кабинета Министров РТ о финансировании за счет включения в сметы объектов отчислений от стоимости работ и затрат в размере 3-5% на развитие базы строительной индустрии, обновление строительной техники и технологий, информационного обеспечения, научно-исследовательских работ и опытно-конструкторских разработок; половину из образующихся при этом средств целесообразно оставлять у предприятий, другую половину - перечислять в централизованный Фонд инновационного развития базы строительной индустрии.



УДК 691(035.5):622.3372

Р.Г. Газизуллин

ПРОБЛЕМА ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ ТАТАРСТАНА

В связи с переходом на рыночную экономику проблема эффективного и комплексного использования полезных ископаемых Татарстана приобретает важное народнохозяйственное и социальное значение. Новые условия требуют оптимального управления природными ресурсами и горным производством.

Минерально-сырьевая база Татарстана представлена 524 месторождениями твердых полезных ископаемых, из которых 445 имеют разведанные и утвержденные запасы, 200 месторождений разрабатываются. Кроме того, около 20 месторождений эксплуатируются без разведки и утверждения запасов. На большинстве месторождений производится селективная добыча сырья, а другие полезные ископаемые выбрасываются в отвал, т.е. отсутствуют комплексная добыча и использование минерально-сырьевых ресурсов. Это приводит к сокращению сельскохозяйственных земель, нарушению ландшафтно-экологической обстановки. На многих карьерах нарушается технология ведения горных работ, не уделяется должного внимания рекультивации отвалов и выработанного пространства.

Наиболее ценными полезными ископаемыми в Татарстане являются бентонитовые типы и цеолитсодержащие породы, ресурсы которых составляют, соответственно, около 400 млн. т и 2500 млн. м³. Кроме того, имеются большие запасы гипса, бигуминозных пород, песчано-гравийных материалов (ПГМ), карбонатных пород, глин кирпичных и др. Некоторые из них (гипс, бентонитовые глины, цеолитсодержащие породы, природные битумы) имеют международное значение.

Нефтегазовые ресурсы являются наиболее важными полезными ископаемыми Республики Татарстан. За 60 лет в Татарстане было добыто более 3 млрд. т нефти и 90 млрд. м³ попутного газа. Высокие темпы добычи нефти привели к быстрому истощению запасов высокопродуктивных залежей, вследствие этого доля трудноизвлекаемых запасов нефти возросла с начальных 32,8 до 79,3 % [1].

На территории республики выявлено около 430 залежей природных битумов, которые вместе с битумоносными породами в будущем могут явиться резервом получения углеводородного сырья и

строительных материалов. Месторождения природных битумов и тяжелых нефтей Татарстана содержат значительные запасы ванадия и других ценных металлов. По предварительной оценке, в геологических и извлекаемых запасах и ресурсах природных битумов содержится около 520 тыс. т [1].

В Татарстане выявлено около 85 месторождений каменных углей, прогнозные ресурсы которых составляют около 2,2 млрд. т, в том числе по категории P₁ - 1386,3 млн. т, P₂ - 828,1 млн. т; P₃ - 16,6 млн. т; на 29 залежей, в пределах которых сосредоточено около 2050 млн т углей, приходится 93 % ресурсов. Распределение залежей по глубинам: до 900 м - 82,2 млн. т; 900-200 м - 1137 млн. т; 1200-500 м - 995 млн. т. Залегание угольных пластов почти горизонтальное, мощность их колеблется от 1,2 до 29,4 м. Горно-геологические условия угольных залежей сложные. По петрографическим признакам и химическому составу угли Татарстана отнесены А. П. Блудоровым к марке Д, влажность углей - от 1,17 до 19,13 %; зольность - от 5,24 до 58 % (средняя 16-24 %); содержание серы - от 1,89 до 9,97 % (среднее 3,44 %); выход летучих веществ - от 25,19 до 69,25 % (средний 40-49 %); теплота сгорания от 22,08 до 34,26 МДж/кг (средняя 30,37 МДж/кг). Элементарный состав: С - от 8,97 до 81,33 % (средний - 74,68 %).

Для сравнения экономической эффективности и социальной значимости твердых полезных ископаемых и нефти приведена ориентировочная ценность минеральных ресурсов Республики Татарстан (табл.1).

Как видно из табл. 1, ценность твердых полезных ископаемых и нефти и природных битумов примерно одинакова (105 264,3 и 118 900 млн. р.). Однако до сих пор для Татарстана интерес представляла только нефть, поэтому основные ассигнования по геологическому изучению направлялись именно в нефтедобывающую отрасль, а твердым полезным ископаемым должного внимания не уделялось. Многие месторождения твердых полезных ископаемых до сих пор детально не разведаны, не оконтурированы, и запасы не утверждены в ГКЗ. В условиях рыночной экономики развитие на основе только нефтяной промышленности социально-экономически неэффективно. Во-первых, нефтяная промышленность не решила проблемы занятости населения: там работают около 90 тыс. человек, а в Татарстане проживает около 3,2 млн. человек. Во-вторых, зависимость от конъюнктуры мировых цен на нефть нарушает стабильность экономики и социального положения населения.



Таблица 1

Экономическая эффективность нефти и твердых полезных ископаемых

Полезные ископаемые	Ресурсы, млн. т	Средняя цена, р/ед. (01.01.91 г.)	Ориентировочная ценность, млн. р	Область применения
1. Нефть	875	60,0	52 500	Нефтехимическое сырье
2. Природный битум	830	80,0	66400	Нефтехимическое и химическое сырье
Итого			118900	
3. Битуминозные породы	1800'	4,6	8280	Строительно-дорожные материалы
4. Каменные угли	2230	23,0	51 310	Топливо, химическое сырье
5. Гипс	1300'	9,1	11 830	Стр-во, гипсовые вяжущие, медицина
6. Bentonитовые глины	400	3,74	1496	Тампонажная и буровая смесь, керамзит, черная металлургия
7. Карбонатный (строительный) камень	1448,1'	8,4	12 164	Пильный, бутовый и дробленый камень
8. ПГМ	2352'	4,3	10 114	Дорожные и строительные материалы
9. Глина (кирпичная)	77,9'	3,1	242	Строительные материалы
10. Цеолит-содержащие породы	2500'	3,9	9750	Строительство, очистка нефти, молока, продуктов
11. Песок (стекольный)	27	2,9	78,3	Оконное стекло, бутылки
Всего			105 264,3	

Если бы в Татарстане, наряду с нефтяной, была развита и горноперерабатывающая промышленность, то потери от снижения цен на нефть можно было бы компенсировать доходами от продажи продукции данной отрасли.

Это можно показать на примере комплексного освоения Сюкеевского месторождения Татарстана [2]. Нами проведены ориентировочные расчеты годового дохода при пуске горноперерабатывающего комплекса (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что при производстве различных видов стройматериалов только один Сюкеевский горноперерабатывающий комплекс может дать годовой доход до 4,5 млрд. р., или 138 млн. дол.

В советские времена Татарстан добывал 100 млн. т в год, сейчас добыча нефти составляет 20-25 млн. т, а через 15-20 лет она может снизиться до 5-7 млн. т в год. Использование нефти и газа в

качестве котельного топлива и для получения электроэнергии является неразумной и недальновидной политикой, это, как сказал Д. И. Менделеев, равносильно сжиганию ассигнаций. Нам надо думать о том, что мы оставим нашим детям и внукам. Запасы нефти и газа быстро истощаются, в ближайшее время надо переводить всех потребителей топлива на каменный уголь, ресурсы которого только в Татарстане составляют около 2,5 млрд. т. Конечно, многие могут возразить, что геологические и гидрогеологические условия угольных месторождений тяжелые, пласты залегают глубоко. Но, например, в Донбассе работают шахты глубиной до 1950-2000 м, там условия еще тяжелее, пласты крутопадающие (60-85) толщиной 0,5-9,7 м.

Вопрос сейчас не ставится о разработке угольных



месторождений Татарстана. Проблема ставится иначе: в условиях, когда добыча нефти неуклонно снижается, надо думать о перспективах снабжения топливно-энергетическими ресурсами народного хозяйства Татарстана.

При Советской власти научно-исследовательские работы выполнялись на основе перспективного плана Госкомитета по науке и технике при Совмине СССР. Было сделано немало, однако с распадом СССР был ликвидирован этот Госкомитет и работы по альтернативным источникам углеводородного сырья прекращены. Эта проблема в перспективные планы научно-исследовательских работ Академии наук Татарстана не включена, так как ей должного внимания не уделяют. Многие думают, что для нашего поколения нефти и газа хватит. Однако, проблема добычи нефти, природных битумов и угля рудничными методами - очень сложная научно-техническая задача, ее в один-два года не решишь. Хотим мы или не хотим, этой проблемой в ближайшее время придется заниматься.

Дальнейшие работы необходимо проводить в направлении детальной разведки отдельных конкретных месторождений природных битумов и угля с обоснованием: количество, мощность, строение и глубина залегания природных битумов и угольных пластов, литологический состав вмещающих и перекрывающих их пород, физико-механические и технологические свойства, структурные особенности месторождения, горно-геологические и гидрогеологические условия,

качество природных битумов и углей и их запасы по категориям А1, В и С. Нужно изучить обогатимость углей и их технологические свойства и пути их рационального использования. Эти данные позволят оценить масштабы и направление использования угледобычи, выбор системы вскрытия и разработки, размеры капитальных затрат, очередность и объемы нового шахтного строительства, рациональное размещение новых объектов угледобычи, с учетом максимального сокращения дальности перевозок добываемого угля и экономической целесообразности промышленного освоения разведанного объекта.

В настоящее время основные крупные месторождения нефти на суше почти полностью открыты и маловероятно открытие супергигантов типа Самотлорского и Ромашкинского месторождений. Дальнейшее наращивание темпов добычи нефти будет идти наряду с введением новых месторождений нефти Западной Сибири, совершенствованием технологии добычи и глубокой переработки сырой нефти. Возможность открытия новых месторождений нефти неограничена, запасы имеющихся месторождений быстро истощаются, и в дальнейшем основным направлением прогресса будет, наряду с применением вторичных, третичных, в том числе рудничных, способов добычи нефти на старых месторождениях, и вовлечение в добычу новых альтернативных видов углеводородного и минерального сырья - природных битумов и битумоносных пород.

Добыча оставшихся в недрах 40 % нефти и

Таблица 2

Ориентировочный годовой доход при пуске горно-перерабатывающего комплекса

Материал	Количество	Стоимость, р.	Итого	
			млн. р.	млн. дол.
Цемент, т	1 000 000	1000	1000,0	33,3
Кирпич керамический, шт.	30 000 000	4,0	120,0	4,0
Черепица, м ²	1 000 000	120	120,0	4,0
Плитка керамическая, м ²	3 000 000	85	255,0	8,5
Кирпич силикатный, шт.	50 000 000	1,5	75,0	2,5
Гипс, т	2 500 000	650	1625,0	54,2
Известь, м ³	1 500 000	550	825,0	27,5
Щебень, м ³	1 500 000	50,0	75,0	2,5
Битум, т	20 000	2 000	40,0	1,33
Асфальтобетон, м ³	500 000	150	75,0	2,5
Железобетонные конструкции, м ³	250 000	450	112,5	3,75
Доломитовая мука, т	1 000 000	60	60,0	2,0
Глина, м ³	1 000 000	30	30,0	1,0
Всего			4412,5	147,1



природных битумов традиционным скважинным способом не представляется возможной, так как нефть окисленная, тяжелая и вязкая. В будущем добыча нефти и природных битумов может быть осуществлена только рудничными способами. В этой связи, очевидно, целесообразно организовать отдел по проблемам освоения топливно-энергетических ресурсов рудничными методами при Академии наук Татарстана. Проблемы снабжения Татарстана топливно-энергетическими и минеральными ресурсами и улучшения социально-экономических условий жизни народа при наличии огромных ресурсов нефти, природных битумов и углей можно решить только в государственном масштабе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газеев Н.Х. Экология Татарстана: современная ситуация, пути к устойчивому развитию. - Казань, 1996. - 195с.
2. Газизуллин Р.Г. Проблема комплексного освоения битумонасыщенных горных пород// Итоги и проблемы производства, науки и образования в сфере добычи полезных ископаемых открытым способом: Материалы междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГГГА, 2002. - С. 51-55.
3. Газизуллин Р.Г. Технологические основы рудничной разработки и комплексной переработки битумоносных пород. - Казань: Плутон, 2002. - 392 с.



УДК 625.731:624.138.23

А.И. Брехман, О.Н. Ильина

НОВЫЙ ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕФТЯНОГО ШЛАМА

Успешное решение экономических и социальных проблем тесно связано с необходимостью значительного увеличения объемов строительства автомобильных дорог. При этом предусмотрено широкое использование прогрессивных технологий сооружения дорог, эффективных нетрадиционных дорожных конструкций, местных материалов и побочных продуктов производства.

Исходя из экологических и экономических предпосылок, в дорожном строительстве для обработки минеральных материалов дефицитные и относительно дорогие вяжущие используются в минимальных объемах, а основную часть материала составляют отходы и побочные продукты промышленности.

В Республике Татарстан имеются значительные запасы низкопрочных минеральных материалов, которые после специальной обработки органическими и неорганическими вяжущими могут эффективно использоваться при строительстве оснований дорожных одежд на автомобильных дорогах III-V технической категории.

Основным минеральным вяжущим для обработки низкопрочных минеральных материалов на данный момент является относительно ценный портландцемент. Для экономии цемента при устройстве слоев оснований дорожных одежд все чаще используют композиции с применением отходов нефтедобывающей, энергетической и других видов промышленности.

Побочные продукты и отходы разных отраслей народного хозяйства вводят в качестве добавок и реагентов, повышающих строительно-технические свойства обработанных материалов. Такие технологии строительства автомобильных дорог одновременно решают проблему утилизации отходов.

Перспективным представляется использование для этих условий отхода нефтедобывающей промышленности - нефтяного шлама. Масштабы образования нефтешлама достаточно велики: ежегодно в стране накапливается 600 тыс. т этого отхода, в настоящее время скопилось более 4,5 млн. т нефтешлама. Из всего объема реально утилизируется только 0,5 % образующегося нефтешлама.

На нефтяных промыслах Татарстана запасы нефтешлама продолжают увеличиваться. Так, только на 2005 г. объемы всех видов нефтесодержащих отходов составили 250 тыс. т, а ежегодный прирост - 25-50 тыс. т.

Основная масса отходов сбрасывается в пруды-накопители, занимающие большие территории, что исключает их из рационального землепользования и является источником значительного загрязнения окружающей среды.

В таких условиях разработка новых, перспективных способов утилизации нефтешлама приобретает государственное и народнохозяйственное значение и является актуальной задачей.

В соответствии с Программой развития и совершенствования дорожной сети в Республике Татарстан до 2005 года в Институте транспортных сооружений КГАСУ проведены исследования возможности применения местных минеральных материалов, обработанных нефтешламом и другими добавками, в конструкциях дорожных одежд.

В работе использованы в качестве минеральных материалов карбонатные породы Казанского и Татарского ярусов, представляющие собой напластования неоднородных по прочности известняков. Некондиционные щебеночные смеси малоприспособлены для устройства несущих слоев дорожных одежд без специальных мероприятий по улучшению их качеств. Для укрепления щебеночных смесей применен портландцемент М400 Ново-Ульяновского завода, ГОСТ 10178-85 (ПЦ 400-ДО-Н). Для проведения лабораторных исследований использованы нефтешламы из прудов-отстойников АО "Татнефть" (р.п. Карабаш), а также с установки для переработки нефтешлама. В составе нефтешлама содержание нефти изменялось в пределах 0,5-8%, воды - до 30%, механических примесей - до 7%. В органической части нефтешлама содержались масла - 50-90%, парафин - 3-6%, смолы и асфальтены - 3-16%.

Исследования проведены по стандартным методам подготовки и испытания образцов в соответствии с ГОСТ 23558-94, ГОСТ 10060-87, ГОСТ 30491-97, ГОСТ 12801-98. Основные результаты эксперимента приведены в таблице 1.

Наблюдается улучшение практически всех физико-механических показателей обработанных щебеночных материалов при введении добавок нефтешлама. Для щебней марок М200 и М400 оптимальное количество вяжущего цемента составляет 8%, а добавки нефтешлама - 15% и 10%, соответственно.



Таблица 1

№ состава	Состав смесей, масс. ч.			Физико-механические показатели составов обработанных материалов в возрасте 28 сут.						
	Щебень марки	Цемент	Нефть-шлам	Плотность, г/см ³	R ^{вод} , МПа	R ^{сух} , МПа	R ⁵⁰ , МПа	Коэф. водостойкости	Водонасыщение	Набухание
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	M200 100	4	0	2,02	0,69	0,82	-	0,84	19,93	1,33
2		12	0	1,98	1,28	1,56	-	0,82	21,41	1,19
3		12	15	2,13	1,92	2,13	1,46	0,90	0,13	0,06
4		4	15	2,14	1,45	1,73	0,69	0,84	0,36	0,33
5		8	5	2,06	0,96	1,20	-	0,80	11,83	0,70
6		8	10	2,09	1,40	1,65	1,66	0,85	1,36	0,27
7	M400 100	4	10	2,19	2,65	2,86	2,24	0,93	0,40	0,21
8		8	10	2,17	3,62	3,92	3,06	0,92	0,29	0,22
9		8	15	2,26	2,04	2,09	1,53	0,98	0,29	0,19
10		4	15	2,23	1,58	1,76	1,02	0,90	0,33	0,05
11		6	12,5	2,19	2,26	2,34	1,42	0,97	0,39	0,15
12		8	5	2,15	2,33	3,25	-	0,72	7,15	0,53
13		4	0	2,12	1,04	1,60	-	0,65	13,63	1,00
14		8	0	2,14	2,03	3,17	-	0,64	13,11	0,86

Важнейшим нормативным показателем обработанных материалов является морозостойкость. Согласно ГОСТ 23558-94 для Татарстана рекомендуемая марка по морозостойкости - F15 (число циклов замораживания-оттаивания, при котором прочность снижается не более чем на 25%). Испытания на морозостойкость показали, что заданная марка по морозостойкости не может быть обеспечена без введения специальных химических добавок. Далее в результате поисковых экспериментов было установлено, что в качестве такой эффективной химической добавки может быть использован сульфат железа FeSO₄, который значительно повышает морозостойкость обработанных материалов по сравнению с добавками ОП-6, NaCl и другими.

При вычислении модуля упругости, который определяли путем измерения упругих деформаций образцов-цилиндров на приборе стабилометре СТП 80/38, установлено увеличение деформативности обработанных материалов с добавкой нефтешлама по сравнению с контрольными образцами без добавки нефтешлама. Модуль упругости минеральных материалов, обработанных цементом с добавкой нефтешлама, изменялся в зависимости от содержания цемента и нефтешлама и составлял 300 550 МПа.

В соответствии с ГОСТ 23558-94 и ГОСТ 30491-97 для строительства автомобильных дорог и аэродромов обработанные материалы и грунты, в зависимости от значения суммарной удельной активности естественных радионуклидов ($A_{эфф}$), могут использоваться: без ограничений при $A_{эфф}$ до 740 Бк/

кг. Для определения безопасности минеральных материалов, обработанных цементом с добавкой нефтешлама, были проведены исследования его на универсальном радиометре-спектрометре РСУ Сигнал № 025-А-Б-Г. Полученный результат $A_{эфф} = 675,1$ Бк/кг свидетельствует о том, что исследуемый материал соответствует требованиям ГОСТ.

Также были проведены анализы водных вытяжек из образцов смесей на содержание нефти и нефтепродуктов, свинца и ХПК. Результаты испытаний подтвердили их соответствие нормативным требованиям ОДН 21.8.5.016-2002. Показатели и нормы экологической безопасности автомобильной дороги, это свидетельствует об эффективном обезвреживании нефтешлама принятым способом их утилизации.

Для получения достаточно однородного материала, характеристики которого в значительной степени зависят от дозировки нефтешлама и его состава, необходимо добиться равномерного распределения составляющих нефтешлама в пределах каждого подготавливаемого к утилизации пруда. Наиболее однородным по составу и свойствам нефтешлам был получен после его предварительной подготовки на нефтешламовой установке НШУ-1 АО "Татнефть" путем отделения механических примесей и воды.

Опытно-производственное внедрение результатов исследований показало, что приготовление минеральных материалов, обработанных цементом с добавкой нефтешлама, может осуществляться в серийно выпускаемых



Таблица 2

Наименование показателей	Требования ГОСТ 30491-97	Физико-механические показатели для обработанных материалов	
		со щебнем М200	со щебнем М400
Прочность на сжатие, МПа, не менее при температуре 20 ⁰ С 50 ⁰ С	1,4 0,5	1,4-1,92 0,69-1,66	1,76-3,92 1,02-3,06
Водонасыщение, %, не более	10	0,13-1,36	0,29-0,40
Набухание, %, не более	2	0,06-1,33	0,05-0,22
Водостойкость, не менее	0,60	0,8-0,9	0,9-0,98

установках периодического действия с принудительным перемешиванием. При этом к асфальтосмесительной установке дополнительно должны быть предусмотрены: подача воды к смесителю путем введения в технологическую линию водопровода и дозатора воды, а также емкость для химической добавки и механизмы для ее подачи и дозирования.

Для строительства опытного участка смесь готовили в асфальтосмесительной установке ДС-185. Транспортирование смеси осуществлялось автосамосвалами КАМАЗ-5510, разравнивание смеси автогрейдером ДЗ-98. Для достижения оптимальной влажности смеси осуществляли розлив воды поливо-моечной машиной в количестве 10 л/м², уплотнение конструктивного слоя производили пневмокатком при 4-6 проходах по 1 следу и гладковальцевым катком - при 4 проходах по 1 следу. Уход за слоем основания осуществлялся путем розлива битумной эмульсии при ее расходе 0,8-1,2 л/м².

Из результатов исследований следует, что при использовании разных марок щебня (М200, М400), различного количества цемента и нефтешлама получены материалы марки по прочности М10, М20 и по морозостойкости - марки F10, F15, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 23558-94 и ГОСТ 30491-97 (табл. 2).

Примечание. Результаты приведены для составов обработанных материалов с содержанием цемента в количестве 4-12%, нефтешлама в количестве 5-15% (от массы минерального материала).

Полученные результаты позволяют рекомендовать щебеночные смеси, обработанные цементом с добавкой нефтешлама, в следующих конструктивных элементах автомобильных дорог:

1. В верхних и нижних слоях оснований нежестких дорожных одежд усовершенствованного капитального или облегченного типа с асфальтобетонным или чернощебеночным покрытием.

2. В дорожных одеждах переходного (низшего) типа с устройством поверхностной обработки или грунтового защитного слоя на автомобильных дорогах и площадках с низкой интенсивностью движения (до 100 авт/сут).

3. В краевых укрепительных полосах, а также для укрепления обочин.

4. В качестве капилляропрерывающих морозозащитных слоев.

Экономическая эффективность применения минеральных материалов, обработанных цементом с добавкой нефтешлама, состоит в возможности предотвращения экологического ущерба, причиняемого шламовыми прудами, и составляет около 195,5 млн. рублей в год. Введение добавки нефтешлама позволяет снизить расход основного вяжущего портландцемента - на 30-50% по сравнению с традиционными цементощебеночными смесями. Это составляет, в среднем, 41,2т или 18 296,51 руб. экономии на 1км автомобильной дороги. Только по Республике Татарстан экономия может составить 4 775 388,5 руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автомобильные дороги: одежды из местных материалов: Учебное пособие для вузов / А.К.Славуцкий, В.К. Некрасов, Г.А. Рамаданов и др.; Под ред. А.К. Славуцкого 3 изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1987. - 255 с.
2. Строительство дорожных одежд низкой стоимости с основаниями из укрепленных грунтов и тонкослойными покрытиями. //Обзорная информация. Под ред. В.М. Ольховикова. М.: Информавтодор, 2003. - 84 с.
3. Фассахов Р.Х. Проблемы утилизации нефтешламов на промыслах: Дис. ... канд. техн. наук. Казань, 1997. - 117 с.
4. ГОСТ 30491-97. Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства. Технические условия М.: МНТКС, 1997. - 21 с.



УДК 620.678:539.371:518.12

А.М. Сулейманов

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ

При изучении сложных физических и химических систем можно выделить два принципиально разных подхода:

- детальное изучение процессов, происходящих в системе, и построение содержательных моделей (белые модели), обычно в виде систем дифференциальных или интегро-дифференциальных уравнений, далее - применение специальных пакетов или методов для их решения;

- гибкий и достаточно надежный способ анализа данных, основанный на многофакторном формальном моделировании (черные модели).

Каждый из этих подходов имеет свои плюсы и минусы, но в любом случае построенная модель, сколь сложна она ни будет, - всегда некоторое приближение к реальности. Однако хорошая модель является эффективным инструментом для анализа структуры данных. Формально-математический подход особенно эффективен в случаях, когда непонятно, как строить содержательную модель, либо на ее построение и дальнейшие вычисления требуются чрезмерные усилия.

В основе многофакторного анализа данных лежат проекционные математические методы. Эти методы позволяют выделить в больших массивах данных скрытые (латентные) переменные и анализировать связи, существующие в изучаемой системе. На западе такой подход, получивший название Chemometrics (хемометрика), бурно развивается: регулярно проводятся конференции, издаются журналы, такие как *Journal of Chemometrics* и *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. Важное место в методах анализа многомерных данных занимает метод главных компонент (МГК) - Principal Component Analysis (PCA). Идея метода главных компонент была сформулирована английским математиком Карлом Пирсоном [1] в 1901 году, и с тех пор плодотворно используется для анализа внутренних закономерностей в больших массивах. Центральная концепция такого подхода это понятие главного компонента. Так называют специальный тип переменной - латентную переменную, которая не может быть явно объявлена и непосредственно измерена. В математическом смысле латентная переменная является линейной комбинацией исходных

переменных [2], которая может быть формально определена как собственный вектор ковариационной матрицы данных. Главные компоненты [рис. 1] показывают скрытые систематические связи, присущие исходному набору данных. При этом новая модель имеет, как правило, существенно меньшее количество переменных, в силу чего такой подход и может интерпретироваться как проекционный, когда исходные данные проецируются на гиперплоскость [рис. 2] размерности меньшей, нежели исходное пространство.

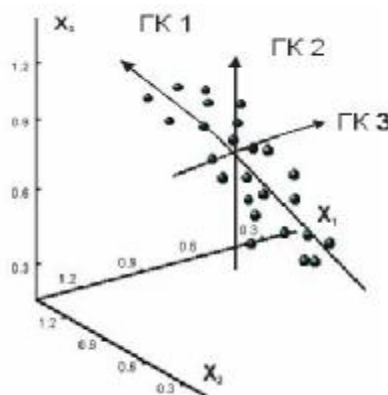


Рис.1. Поиск главных компонент модели

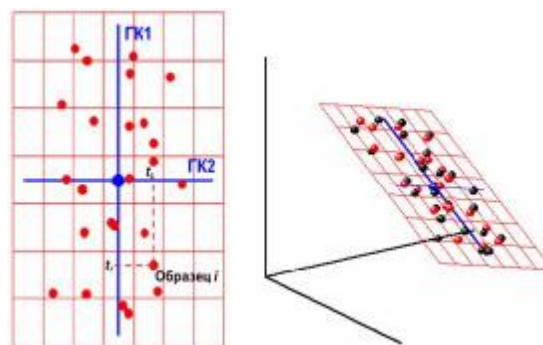


Рис.2. Проекция данных на плоскость главных компонент

При построении моделей с помощью проекционных методов основными являются два момента. Первый - это калибровка [2], т.е. создание модели [рис.3] исходных данных. Центральным момент здесь - это определение скрытой

размерности системы, т.е. количество латентных переменных. При таком выборе необходимо учитывать, что слишком малое количество переменных плохо опишет данные и оставит существенную часть информации вне модели. С другой стороны, слишком подробное описание модели, с помощью большого количества главных компонент, будет моделировать не только систематические связи в системе, но также и различные ошибки, неизбежно присутствующие в любых данных, что приведет затем к ошибкам при прогнозировании. Поэтому вторым важным моментом при построении модели является ее проверка, позволяющая исследовать качество предлагаемой модели. Отдельно необходимо изучать вопрос пригодности модели для последующего прогнозирования [рис.4]. При этом необходимо отметить, что матрицы входных (X) и выходных (Y) параметров могут состоять практически из неограниченного количества переменных. Также необходимо иметь в виду и другие стадии моделирования, такие как предварительная обработка данных и выявление выбросов. Хотя данный подход и называется формально-математическим, для эффективного анализа данных необходимо не только знание основ билинейного моделирования, но также очень важно и понимание сущности изучаемой системы.

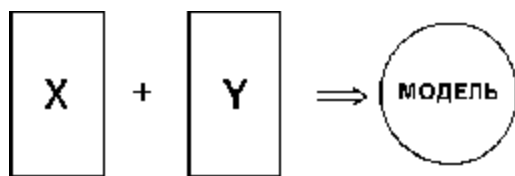


Рис.3. Калибровка. Построение регрессионной модели по известным данным X и Y



Рис.4. Использование многомерной регрессионной модели для предсказания новых значений Y

Основываясь на вышеописанном подходе, по полученным экспериментальным данным [3], используя пакет программ Unscrambler® фирмы CAMO, мы [4] построили модель для анализа зависимости эксплуатационных показателей (ЭП)

ПВХ-профилей от состава смеси. Исследовалось влияние 2-х основных типов добавок, модификатора ударной прочности и стабилизатора. Исходный массив данных состоял из 15 образцов [табл], из них 11 образцов использовались для построения модели (калибровочные образцы) и 4 образца - в качестве тестовых. В качестве предикторов были выбраны массовые части добавок: два типа модификатора ударной прочности МУП (FM 22 и дакрилан); два типа стабилизатора (интерстаб 3009, нафтомикс GMX). Т.е. 4 переменные в матрице X. В качестве откликов использовались следующие ЭП: белизна (%); предел прочности при растяжении (МПа); ударная прочность (кДж/м²); показатель текучести (г/10мин); т.е. 4 переменные в матрице Y.

Естественно, строя МГК-модель для анализа данных такой относительно простой системы, мы не ставили задачи открыть что-то новое для материаловедения, а хотели просто показать, что данный подход дает всеобъемлющее представление о структуре данных, которое можно охватить одним взглядом. Например, модель (график нагрузок [рис 5]) показывает, что:

- МУП (FM 22 и дакрилан) располагаются рядом, т.е. они действуют на отклики одинаково;
- то же самое можно сказать и о стабилизаторах (интерстаб и нафтомикс);
- между МУП и стабилизаторами - отрицательная корреляция;
- между прочностью на растяжение и текучестью - также отрицательная корреляция;
- расположение белизны на нуле говорит о том, что на этот ЭП эти добавки не оказывают никакого действия.

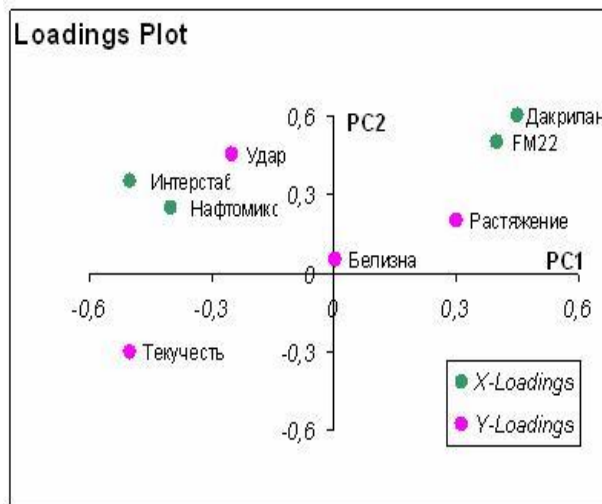


Рис.5. Графики нагрузок для ГК1 и ГК2



Таблица

№		X							Y			
		МУП		Стабилизатор								
		FM22	Дакрилан	Интерстаб 3009	Нафтомикс GМХ	Наполнитель	Пластификатор	Пигмент	Белизна	Растяжение	Удар	Текучесть
1	ка ли б р о в о ч н ы е	7	0	5,5	0	6	0,1	5	82,5	43,5	30	0,2
2		6	0	5,5	0	6	0,1	5	85,5	45,5	26	0,15
3		5	0	4,2	0	6	0,1	5	85	44	28	0,17
4		0	6	5	0	6	0,1	5	84	55	28	0,008
5		0	7	5,5	0	6	0,1	5	83,5	53	26	0,3
6		0	8	6	0	6	0,1	5	86	43	26	0,2
7		6	0	0	5,5	6	0,1	5	85,5	45	32	0,15
8		6	0	0	6	6	0,1	5	84,5	46	30	0,12
9		7	0	0	5,3	6	0,1	5	86,5	48	24	0,13
10		7	0	0	3	6	0,1	5	84	44,5	31	0,17
11		5	0	0	6,5	6	0,1	5	83,5	42	28	0,2
12	т е с т о в ы е	6	0	0	4	6	0,1	5	83,5	55	26	0,2
13		0	6	4	0	6	0,1	5	84,5	48	30	0,15
14		5	0	0	4,5	6	0,1	5	85	42,5	28	0,25
15		0	6,3	5,5	0	6	0,1	5	86,5	43,5	31	0,1

ЛИТЕРАТУРА

1. Pirson K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. Phil.Mag. (6), 2, 559-572, 1901.
2. Esbensen K.H. Multivariate Data Analysis - In Practice 4-th Ed., CAMO, (2000), 598p (ISBN 82-993330-2-4).
3. Абдрахманова Л.А., Шакуров Ф.Г., Сулейманов А.М., Хозин В.Г. Поведение жестких поливинилхлоридных профилей при естественном и ускоренном старении //Деструкция и стабилизация полимеров. Тезисы докладов 9-ой конференции. РАН М., 2001. - С. 3-4.
4. Сулейманов А.М., Абдрахманова Л.А., Родионова О.Е., Померанцев А.Л. Формально-математический подход к анализу многомерных массивов данных при исследовании свойств полимеров// Материалы научных трудов Вторых Воскресенских чтений "Полимеры в строительстве". Казань, 2004. - С.76.



УДК [691.41-666.3+691.4]

М.Г. Габидуллин, И.Х. Киямов, А.В. Темляков, А.Р. Хузагарипов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОВОЙ СТРУКТУРЫ ЭФФЕКТИВНЫХ СТЕНОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С ПОМОЩЬЮ НОВОГО ПК “СТРУКТУРА”

Актуальной исследовательской задачей для высокопористых керамических материалов является изучение их структуры, определение соотношения структурных составляющих, их количественных и качественных показателей. Одной из важнейших характеристик структуры пористой керамики являются параметры его порового пространства, так как даже незначительные изменения количества пустот в материале приводят к резкому изменению их физико-механических и эксплуатационных свойств.

До настоящего времени пористость строительной керамики чаще всего определялась такими методами, как метод ртутной порометрии, метод изотерм адсорбции азота или паров воды, электронной микроскопией, но каждый из них имеет определенные недостатки. В последние годы с развитием компьютерного моделирования появились дополнительные инструменты для определения пористости различных материалов, использование которых значительно упрощает обработку и анализ структуры, но эти методы несовершенны, требуют определенных навыков и доработки.

Цель исследований - изучение закономерностей изменения характеристик порового пространства и соотношения структурных составляющих черепка при увеличении в шихтах количества выгорающих добавок.

Для реализации цели исследования на кафедре строительных материалов КГАСУ авторами был разработан программный комплекс (ПК) “СТРУКТУРА”, на который было получено свидетельство Роспатента. Его отличительной особенностью является новый способ определения характеристик порового пространства черепка, заключающийся в компьютерной обработке изображений шлифов контрольных образцов. После установки границ анализируемой площади изображения дается команда на автоматическое построчное считывание размеров пор, общей пористости черепка, количества пор на единицу площади, дифференциальной пористости, усредненного количества пор на одной горизонтальной строке толщиной в один пиксель, количество пор на одной строке единичной длины, однородность распределения, дисперсия, ошибка расчета. Достоинством способа является возможность формирования полученных данных в удобной для анализа табличной и графической форме.

Отличительной особенностью алгоритма программы является то, что изображение фотоснимка пористой поверхности шлифа рассматривается в виде массива точек различной яркости от 0 до 255, представляющего собой различные уровни глубины пор: 0 - минимальная яркость, 255 - максимальная. Программа позволяет с высокой точностью выбирать уровень яркости границы раздела поры и материала, а также выделить нужную область анализа и автоматически подсчитывать характеристики пористости с приведением данных к единице площади изображения. Интерфейс включает: меню, масштаб, полное изображение шлифа, увеличенное изображение выделенного участка, закладки для регулирования параметров анализа, строку статуса.

Основная часть ПК “СТРУКТУРА” - это блок алгоритма и команд, а вторая часть - База Структура-1.0 - это обширная дифференцированная база данных, сформированная на основании данных результатов автоматизированного считывания параметров порового пространства черепка исследованных образцов. База данных включает пять блоков. Первые два блока - это базы данных изображений образцов: первая - в виде общего плана реального изображения шлифа; вторая - в виде выделенного для исследования квадратного или прямоугольного участка изображения, преобразованного (конвертированного и инвертированного) в заданном оператором масштабе. В третьем блоке базы размещены табличные данные автоматизированного считывания параметров порового пространства: дифференциация пор по размерам, размеры пор, их доли от общего количества, характеристики пор на единицу анализируемой площади, однородность их распределения, статистические параметры, данные расчета на единицу анализируемой площади изображения, ошибка считывания и т.д. Всего определяется двенадцать параметров. В четвертом блоке базы размещаются кривые дифференциального распределения пор по размерам, построенные на основании обработки табличных данных блока 3. В пятом - новые схемы моделей структуры черепка, построенные на основании табличных данных из блока 3 и дополнительных результатов тонких методов



исследований по определению кристаллических новообразований и стеклофазы черепка. Модели учитывают соотношения структурных составляющих: пор, стеклофазы, кристаллических новообразований и реликтов глинистых минералов. По мере дальнейшего совершенствования ПК и расширения данных исследований база будет пополняться и расширяться.

В течение двух последних лет проведена лабораторная апробация программы на более чем 300-х образцах различных видов пористой керамики плотностью от 150 до 1900 кг/м³. В качестве основного сырья в исследованиях использовались типичные легкоплавкие кирпично-черепичные высокочувствительные полиминеральные средне-, умеренно- и малопластичные глины Красногорского, Сарай-Чекурчинского, Шеланговского, Кошаковского и Калининского месторождений (Республика Татарстан), основные характеристики которых были приведены в более ранних наших исследованиях [1,2]. Особенности минералогии и гранулометрии глин показали их высокую чувствительность к сушке и, как следствие, низкую трещиностойкость. Поэтому, учитывая состав и свойства глин, в них вводились грубодисперсные добавочные материалы в виде древесной пыли, древесных опилок и шелухи гречихи

в количестве от 0 до 60 % от объема глины.

В данной статье будут изложены результаты исследования структуры черепка эффективного пустотелого и пустотело-пористого кирпича и камня, полученных путем введения в состав шихт на основе Красногорской глины выгорающих добавок в количестве от 0 до 60 об.%. Была проведена серия экспериментов путем формования контрольных образцов-кубиков размером 50х50х50 мм из шихт различных составов. В процессе формования, сушки и обжига при 950° С определяли основные свойства образцов. Получены зависимости изменения основных свойств сырца, полуфабриката и обожженных образцов при увеличении количества вводимых добавок.

Пористость черепка изучали путем фотографирования через микроскоп поверхности шлифов, изготовленных из обожженных образцов-кубиков. В качестве примера на рис.1 приведены изображения шлифов для шихт с древесными опилками, которые направляли в базу данных ПК "СТРУКТУРА" для дальнейшей их обработки.

На рис.2 приведены зависимости изменения количества пор при увеличении в шихте древесных опилок (для древесной пыли и шелухи гречихи - не приводятся). Для удобства анализа все поры были предварительно разделены по размерам на три группы: микропоры

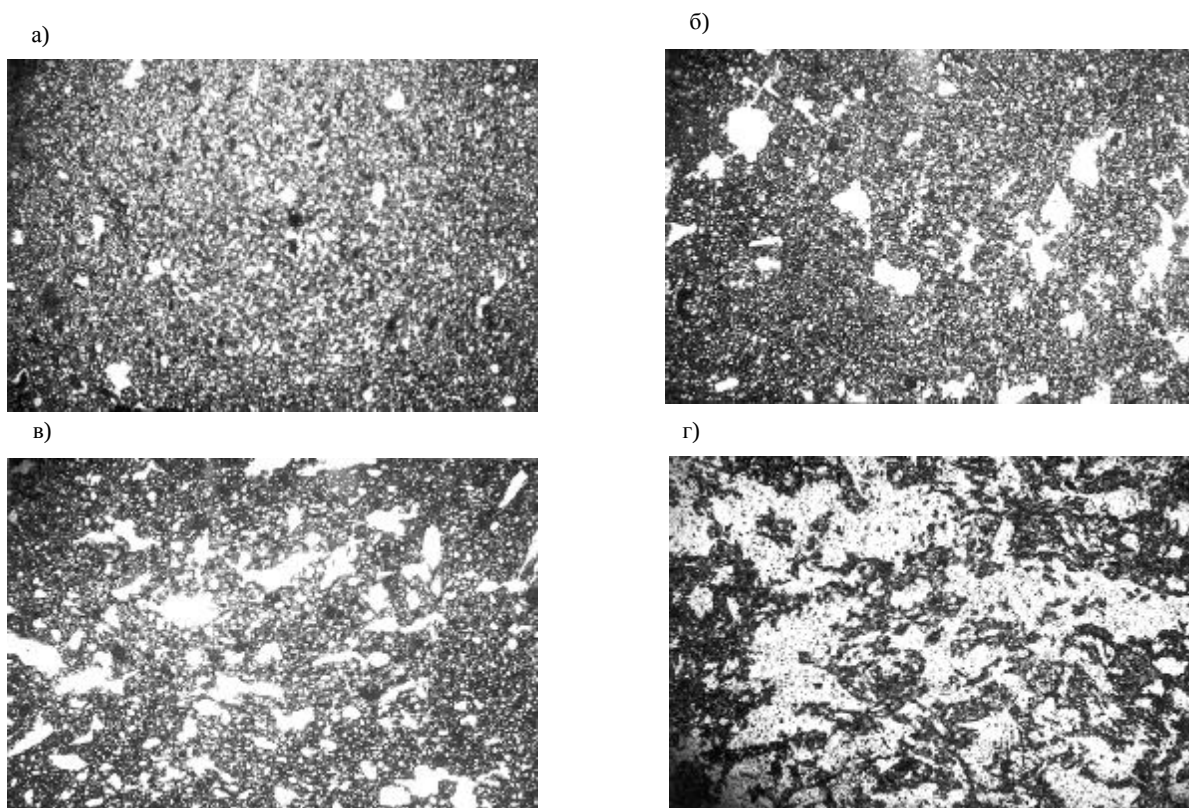


Рис.1. Изменение характера поверхности прозрачных шлифов черепка контрольных образцов пористого кирпича на основе Красногорской глины при введении в шихту древесных опилок: а) древесные опилки 0 (об.) %; б) 9%; в) 33%; г) 60%

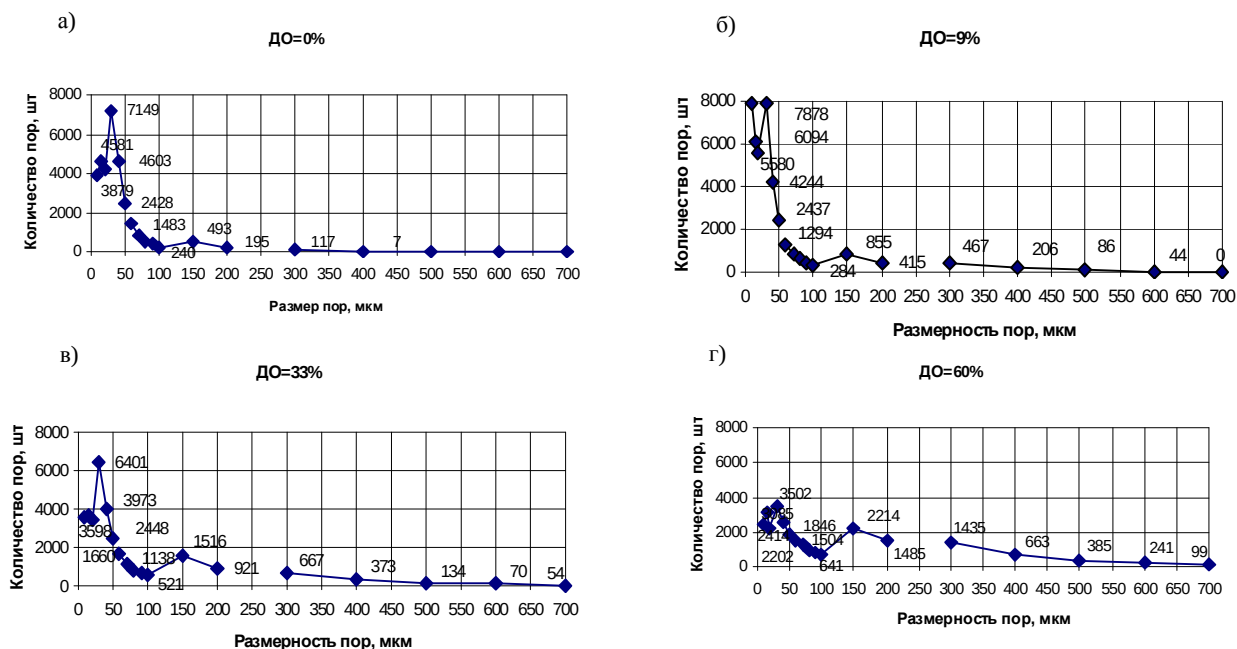


Рис.2. Зависимости изменения количества пор в черепке на основе Красногорской глины при увеличении объема в шихте выгорающей добавки в виде древесных опилок: а) 0 % добавки; б) 9%; в) 33%; г) 60 %; I ветвь кривой для микропор; II то же для средних пор; III то же для макропор

размером менее 50, средние - от 50 до 200 и макропоры - от 200 до 700 мкм. Для их наглядности кривая разбита на три ветви: I для микро-, II для средних и III для макропор.

Анализ характера изображений шлифов, приведенных на рис.1, показывает, что практически на всех шлифах основной процент пор составляют микропоры размером менее 50 мкм. Так, для нулевого состава (рис.1а) таких пор - около 86,22 % от общего количества пор, при введении древесной пыли в количестве 9 % - 77,95 %, при 24 - 61,94 %, при 60 - 57,48 %. В случае, когда вводятся древесные опилки (рис.1б-г) в количестве 9 % - 86,16 %, при 33 - 73,28 % и при 60 - 56,82 %. Видно, что с увеличением в шихте объема обеих добавок от 0 до 60 % доля микропор по отношению к общему количеству пор снижается для древесной пыли - на 50 %, для опилок - на 51,74 %.

Это подтверждается и изменением характера I-го участка кривых (рис.2) дифференциальной пористости, так как его экстремум уменьшается с 7149 для нулевого состава (рис.2а) до 2502 (рис.2г) для 60% добавки. Несколько иная картина перераспределения микропор происходит при увеличении в шихте с 0 до 50 % добавки в виде шелухи гречихи. При ее введении в количестве 9%, доля микропор равна 89,73 %, при 24 - 71,99 %, при 50 - 80,19 %, то есть в данном случае четкой зависимости между количеством пор и вводимых добавок не прослеживается. Тем не менее, при увеличении добавки с 0 до 50% происходит снижение на 11,9% количества микропор.

Противоположная тенденция перегруппировки пор наблюдается с увеличением выгорающих добавок в области макропор (200<700 мкм). При увеличении в

шихте древесной пыли от 9 до 60 %, количество крупных пор увеличивается с 0,4 до 13,41 %, или более, чем в 33,52 раза, а для мелких пор - уменьшается только в 1,5 раза. При тех же условиях для шихт с древесными опилками доля крупных пор увеличивается от 0,4 до 10,32 %, или в 25,8 раз, а для мелких - уменьшается в 1,52 раза. Этот вывод подтверждается повышением уровня III-ей ветви кривой (рис.2). Так, количество пор размером 300 мкм при нулевом составе равно 117, а при 60% - это уже 1435 штук. Для составов с шелухой гречихи доля макропор в черепке возрастает от 0,4 до 4,9 % с увеличением ее объема в шихте с 0 до 50 %, или в 12,24 раза, а микропор - снижается всего в 1,08 раз.

Для средних пор (50<200 мкм) характер их изменения с увеличением добавки несколько отличается от изменения количества микро- и макропор. Для древесной пыли с увеличением ее количества в шихте от 0 до 9%; 24% и 60 % доля средних пор увеличивается от 13,3 % до 18,71%; 24,27% и 28,33 %, соответственно. Для составов с древесными опилками наблюдается аналогичная картина: при увеличении добавки от 0% до 9%; 33% и 60 % - доля средних пор, соответственно, составляет от 13,3% до 11,79%; 22,44% и 32,31 %, то есть наблюдается их увеличение. Это подтверждается и изменением уровня II-ой ветви кривой на рис.2. Для черепка с шелухой гречихи порядок цифр несколько иной: при количестве добавок 0%; 9%; 24% и 50 % доля средних пор составляет, соответственно, 13,3%; 8,4%; 23,97% и 13,21 %, а общее увеличение пор средних размеров с увеличением добавки от 0% до 50 % составляет от 0,4% до 4,9 %, или в 12,24 раза.

В дальнейшем с помощью известных способов

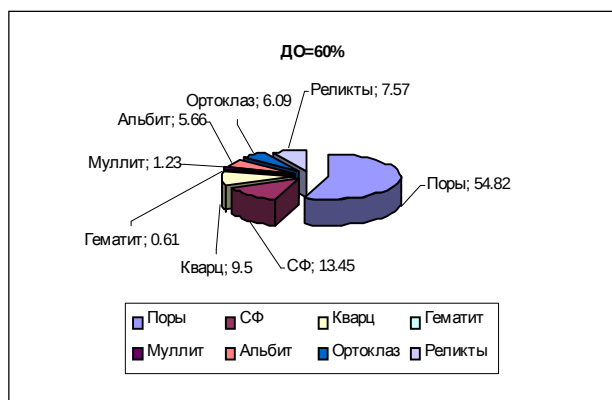
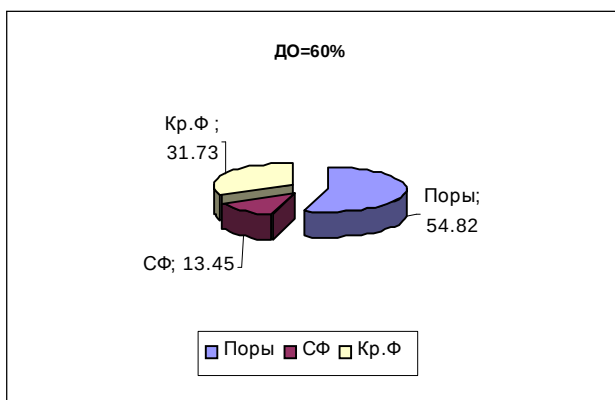
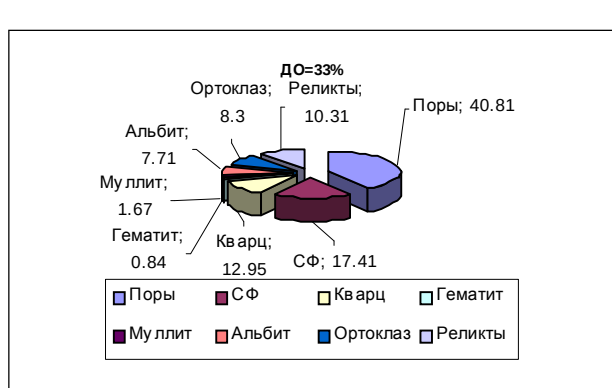
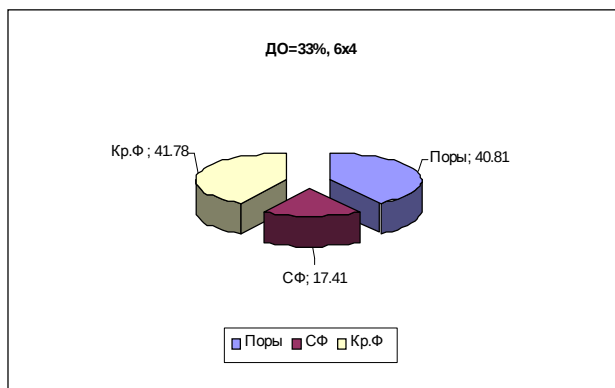
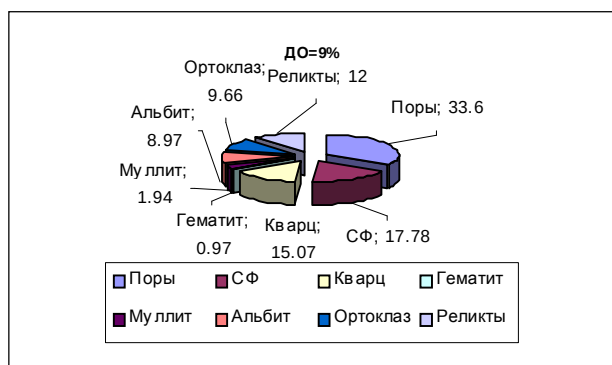
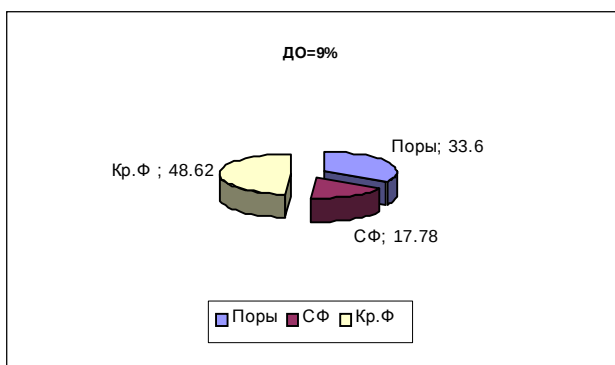
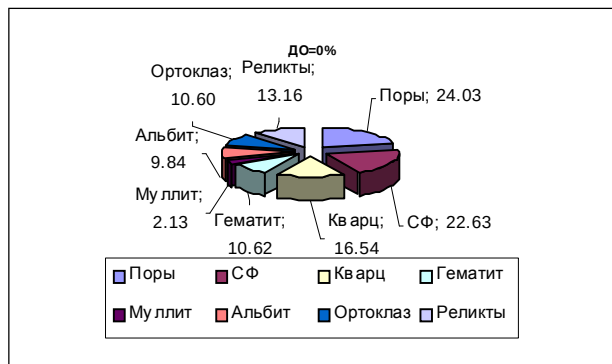
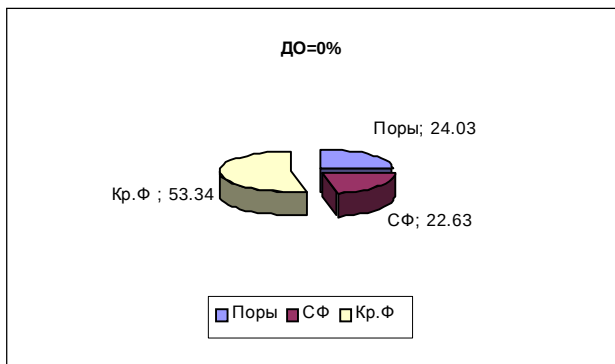


Рис.3. Изменение характера распределения долей структурных составляющих в пористом черепке на основе Красногорской кирпично-черепичной глины с увеличением в шихте количества древесных опилок от 0 до 60 об.%; слева - основные три фазы, справа - то же вместе с кристаллическими составляющими



на отобранных контрольных образцах определяли количество стеклофазы (СФ) и кристаллических новообразований (Кр.Ф).

Первые определяли расчетным и экспериментальным способами по методике, разработанной Чумаченко Н.Г. и Чудиным [3], а вторые согласно требованиям нормативных документов [4,5]. По полученным значениям характеристик пористости, СФ и Кр.Ф, впервые были построены новые схемы моделей структуры пористого черепка, отличительной особенностью которых от известных является наличие количественных показателей микро-, макро- и средних пор, смоделированной толщины СФ и Кр.Ф и поровых фаз для групп ячеек определенных размеров. Подробно схемы этих моделей и методика их построения представлены в наших более ранних работах [3,4]. Здесь же ограничимся представлением этих моделей в виде круговых гистограмм (рис.3) для пористого черепка, полученного путем введения в шихту 60 % древесных опилок. Сравнение представленных диаграмм показывает, что происходит перераспределение долей структурных составляющих черепка с увеличением в нем количества выгорающей добавки. Если доля поровых фаз при этом значительно увеличивается с 24,03 % до 54,82 %, то доля кристаллических новообразований (Кр.Ф) также усиленно снижается с 53,34 % до 31,75 %. В то же время наблюдается незначительное снижение СФ с 22,63% до 13,45%. Пропорционально снижению общей доли Кр.Ф., уменьшается и доля ее составляющих в виде кварца, гематита, муллита, альбита, анортита и реликтов глинистых минералов.

Таким образом, экспериментально апробирован новый разработанный программный комплекс "СТРУКТУРА" для оценки порового

пространства черепка эффективных стеновых керамических материалов. Он позволяет оперативно и с высокой точностью считывать с изображений шлифов контрольных образцов основные параметры пористости черепка. Можно надеяться, что этот комплекс явится новым дополнительным инструментом для исследования пористости различных материалов лабораторий различных НИИ и вузов, занимающихся разработкой новых технологий и новых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Габидуллин М.Г., Рахимов Р.З., Морозов В.П. Моделирование структуры черепка эффективной стеновой керамики, полученной путем регулирования ее пористости введением выгорающих добавок // Статья в сб. трудов годичного собрания РААСН "Ресурсо- и энергосбережение как мотивация творчества в архитектурно-строительном процессе". Москва-Казань, 2003. -С.362-366.
2. Габидуллин М.Г. Новые виды пористой керамики и моделирование их структуры // Статья в научно-теоретическом журнале Вестник БелГТАСМ, №5, 2003. Материалы межд. конгресса "Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии", посвященного 150-летию В.Г. Шухова. Ч.2. -С.67-73.
3. Чумаченко Н.Г. Методологические основы производства строительной керамики на основе природного и техногенного сырья. Автореф. дисс. докт. техн. наук - Самара, 1999. 35 с.
4. Дудеров Ю.Г., Дудеров И.Г. Расчеты по технологии керамики. М: Стройиздат, 1973. -80 с.
5. Горшков В.С., Савельев В.Г., Абакумов А.В. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы. Структура и свойства. Справочное пособие. -М: Стройиздат, 1995. - 575 с.



УДК 691.328:620.193

В.С. Изотов

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОНОВ НА СМЕШАННЫХ ВЯЖУЩИХ

Долговечность цементных бетонов является важнейшей эксплуатационной характеристикой, определяющей экономическую эффективность применения бетонных изделий и железобетонных конструкций в различных отраслях народного хозяйства. Действию агрессивных сред подвергаются более 20% строительных конструкций зданий и сооружений. Поэтому важнейшей задачей является использование резервов повышения коррозионной стойкости строительных материалов и изделий. Использование смешанных вяжущих, полученных на основе цеолитсодержащих пород (ЦСП) и зол гидроудаления [1], открывает новые возможности и в этой области.

Наряду с воздействием агрессивных сред, бетон на смешанных вяжущих может подвергаться воздействию и других эксплуатационных факторов, например, переменному увлажнению и высушиванию, замораживанию и оттаиванию. Кроме того, при использовании бетонов на смешанных вяжущих могут применяться различного рода химические добавки, оказывающие активное влияние на микро- и макроструктуру цементного камня. Поэтому для получения гарантированной долговечности бетонов на смешанных вяжущих необходимо проведение комплекса исследований поведения бетонов на этом виде вяжущего при воздействии на него перечисленных выше эксплуатационных факторов.

Результаты ранее выполненных исследований влияния состава смешанного вяжущего на сульфато- и щелочестойкость, усадку и набухание, трещиностойкость и морозостойкость, стойкость против высолообразования растворов и бетонов на этих видах вяжущих, а также их защитные свойства по отношению к стальной арматуре позволили установить, что указанные выше свойства находятся в тесной взаимосвязи с составом смешанного вяжущего и с микро- и макроструктурой бетона [1,8].

Особенностью структуры бетона является ее высокая неоднородность, определяемая тремя факторами: пористостью цементного камня, значительным различием составляющих бетона по упругим и прочностным характеристикам, наконец, дефектностью структуры бетона на всех ее уровнях.

В зависимости от размеров, в цементном камне выделяют три группы пор: поры геля, капиллярные поры и макропоры. Поры геля имеют средний размер $15-30 \times 10^{-4}$ мкм и составляют, по Пауэрсу, около 28% от его объема [5-7].

Капиллярная составляющая пор характеризуется спектром пор от сотых долей до нескольких микрон и изменяется в пределах от 10 до 40 % и более. Меньшее значение пористости соответствует цементному камню нормального твердения в возрасте 28 суток при В/Ц около 0,2, большее значение - при В/Ц около 0,8. В этом интервале В/Ц прочность цементного камня изменяется в пределах одного порядка: на сжатие приблизительно от 100 до 15 МПа.

Макропоры в цементном камне - это поры с размерами до 10^{-4} мкм. Несмотря на незначительное содержание их в цементном камне и бетоне (всего несколько %), они отрицательно влияют на прочность бетона.

На рис. приведены дифференциальные кривые распределения пор в растворной части пропаренного бетона на смешанных вяжущих, содержащих в своем составе 30% АМД. Анализ полученных данных показывает, что поровая структура растворной части бетона на смешанном вяжущем более однородна, отличается меньшим объемом макро- и большим объемом микропор, чем структура раствора на портландцементе.

Дифференциальные кривые распределения пор в растворной части пропаренного бетона

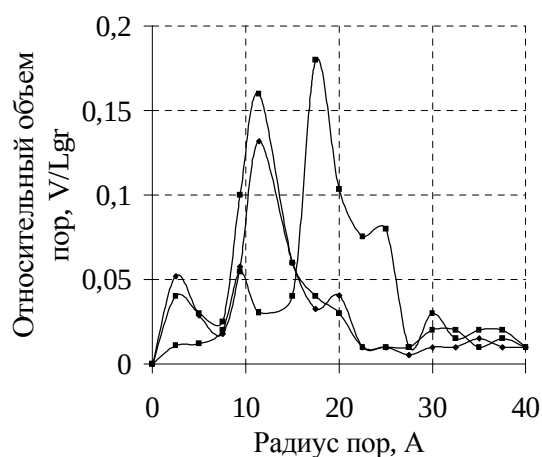


Рис.

1-исходный портландцемент; 2-смешанное вяжущее, содержащее 30% золы; 3- то же, 30% ЦСП



Значительное различие цементного камня и заполнителя в бетоне по прочностным и упругим характеристикам определяется тем обстоятельством, что плотные заполнители, в том числе и кварцевый песок, не обладают идеальной совместимостью с цементным камнем, имеющим модуль упругости $0,8-2,0 \times 10^{-4}$ МПа, в силу своей высокой жесткости (модуль упругости до 10^5 МПа), приводящей к значительным усадочным напряжениям при твердении.

Дефектность структуры бетона складывается из дефектности цементного камня, определяемой размерностью кристаллов и контактов в кристаллогидратном сростке, микротрещинами термической и усадочной природы, а также несовершенством контактного слоя между цементным камнем и заполнителем. Кристаллогидратный сросток представляет собой хаотически ориентированную, статически неопределимую структуру, состоящую из неравнопрочных и разномерных кристаллов, сросшихся в местах контактов, в которых уже на стадии гидратационного твердения возможны деструктивные процессы, обусловленные усадочными напряжениями. Как показали результаты ранее выполненных исследований [1,8,10], в процессе гидратации смешанных вяжущих оптимальных составов образуется повышенное количество низкоосновных гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, кристаллизующихся в высокодисперсном виде. В результате образуется специфическая структура, отличающаяся тем, что низкоосновные гидросиликаты кристаллизуются не только в порах цементного камня, но и на поверхности заполнителя, способствуя образованию плотного и более однородного контактного слоя на границе раздела цементный камень - заполнитель.

При твердении бетонов на портландцементе возникающие внутренние напряжения снижают предельную растяжимость цементного камня и приводят к образованию трещин при меньших уровнях и меньшем количестве циклов знакопеременных нагрузок. Это обусловлено слабостью контактного слоя в результате проявления седиментационных процессов в свежееуложенной бетонной смеси и развитием в бетоне усадочных трещин при последующем твердении. При использовании в бетонах смешанных вяжущих оптимального состава, ввиду наличия высокоразвитой поверхности активных минеральных добавок, седиментационные явления в свежееуложенной бетонной смеси сводятся к минимуму, что приводит к повышению прочности и однородности контактного слоя.

По данным [5-7], микротрещины в бетоне на портландцементе существуют и до приложения механических нагрузок. В зависимости от локализации различают три разновидности начальных трещин: в контактном слое (трещины сцепления, составляющие 60-70% общего количества трещин в бетоне), в

цементном камне и в заполнителе. Инициаторами трещинообразования в бетоне, по мнению этих авторов, являются трещины, сконцентрированные на поверхности раздела "крупный заполнитель - цементнопесчаный раствор". При этом начальные трещины под действием как одноосного, так и трехосного сжатия образуются, преимущественно, под частицами крупного заполнителя еще до нагружения. Все это ослабляет контактный слой, нарушает монолитность, снижает однородность и прочность бетона, а в конечном итоге - его долговечность.

Таким образом, следует, что причины, определяющие неоднородность и дефектность самого цементного камня и его контакта с заполнителями, одни и те же. Это наличие в цементном камне и контактном слое пор, пустот и начальных трещин усадочной природы. Все перечисленные причины оказывают влияние не только на прочность бетона, но и на его долговечность.

Установлено [7], основным механизмом, останавливающим распространение трещин в бетоне на плотных заполнителях, является нарушение сцепления на поверхности раздела "цементный камень - заполнитель". Эта область, как правило, слабее растворной части и является местом возникновения микротрещин в результате водоотделения и усадки. Кроме того, в зоне контакта обнаружено наличие мест с высокой концентрацией напряжений, обуславливающих развитие начальных микротрещин в магистральные трещины отрыва. Из этого следует, что поверхность раздела "цементный камень - заполнитель" способна блокировать развивающую трещину только в том случае, когда имеется достаточное сцепление заполнителя с цементным камнем. При низком, а также при нарушенном сцеплении поверхность раздела является зоной, где появляются и откуда развиваются трещины, нарушающие дальнейшее сцепление заполнителя с цементным камнем и определяющие характер общего разрушения бетона. Оптический и электронно-микроскопический анализ микрофотографий среза зерен заполнителя в цементном камне показывает, что зерна заполнителя в камне на смешанном вяжущем имеют плотный контакт с цементным камнем, гелевидная гидросиликатная оболочка однородная, какие-либо трещины отсутствуют.

Электронные спектры распределения основных элементов, полученных путем сканирования электронным лучом перпендикулярно плоскости среза, свидетельствуют, что гидросиликатная оболочка вокруг зерна заполнителя в камне на портландцементе существенно отличается как по размеру, так и по элементному составу по сравнению с гидросиликатной оболочкой вокруг аналогичного зерна в камне на смешанном вяжущем. Количественное распределение основных элементов в гидросиликатной оболочке, а также ее толщина показывают, что гидросиликатная



оболочка вокруг зерна заполнителя в портландцементном камне характеризуется большой неоднородностью распределения по толщине оболочки элементов натрия, алюминия, калия и кальция, следовательно, данная оболочка неоднородна и по составу слагающих ее минералов. Толщина этой оболочки в пропаренном образце в возрасте 30 суток последующего твердения во влажных условиях находится в пределах 0,7-1,15 мм. В результате развития диффузионных процессов в этой оболочке четко видны трещины на границе, отделяющей оболочку, как от зерна заполнителя, так и от цементного камня. Развитие диффузионного давления в оболочке приводит также и к образованию трещины в цементном камне. Распределение основных элементов в плоскости среза образца заполнителя в цементном камне на смешанном вяжущем свидетельствует, что гидросиликатная оболочка вокруг зерна заполнителя имеет четкую границу только с цементным камнем. Граница с заполнителем размыта и визуально прослеживается с трудом. По данным спектрального анализа, в гидросиликатной оболочке можно выделить зону, отличающуюся по составу элементов от основной массы оболочки. Толщина этой зоны в возрасте 180 суток нормального твердения находится в пределах 0,5-0,78 мм, что примерно в 1,5 раза меньше, чем в случае применения портландцемента.

Поскольку контактный слой наиболее слабое и дефектное место в структуре бетона, то следует предпринять меры для повышения его однородности, его усиления. Такой мерой, по нашим данным, может служить создание условий возникновения на границе раздела низкоосновных гидросиликатов, обладающих высокой степенью дисперсности, а следовательно, и большим числом контактов друг с другом. Это возможно за счет использования смешанного вяжущего, гидратация которого создает благоприятные условия для формирования низкоосновных гидросиликатов кальция в матрице - в цементном камне (растворе). С другой стороны, важно создать условия кристаллизации низкоосновных гидросиликатов на поверхности крупного заполнителя как на подложке. Для этого необходимо создать условия, в которых в начальный период гидратации поддерживается пониженное значение рН среды, как одно из необходимых условий кристаллизации низкоосновных гидросиликатов кальция. Это условие обеспечивается введением в состав вяжущего АМД, обладающих высокой адсорбционной и химической активностью по отношению к $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в результате на границе раздела фаз обеспечивается пониженное значение рН среды, в которой формируются низкоосновные гидросиликаты кальция [8], которые, как известно, отличаются повышенной прочностью

и стойкостью в агрессивных средах. Кроме того, П.Г. Комохов считает, что частицы АМД в составе смешанного вяжущего играют роль демпфера, понижая концентрацию напряжений на границе раздела фаз [9]. Исходя из этого представления, важно найти приемлемые технологические приемы, позволяющие гасить внутренние напряжения, прежде всего в контактном слое, то есть на границе раздела фаз. Одним из таких приемов, по нашему мнению, может служить слой на границе раздела с демпфирующими свойствами, т.е. более податливый, способный гасить внутренние напряжения и процесс образования трещин, а в целом – структуру бетона, способную активно сопротивляться различным внешним воздействиям, среди которых большое значение имеет воздействие знакопеременных температур. Такой слой должен состоять преимущественно из гелевидной-субмикроструктурной фазы, отличающейся от крупнокристаллических новообразований более высокой деформативностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Изотов В.С. Формирование структуры и свойств бетонов на активированных смешанных вяжущих // Материалы академических чтений РААСН. Часть 1. Новые научные направления строительного материаловедения. Белгород, 2005. - С.185-196.
2. Сегалова Е.Е., Ребиндер П.А. Возникновение кристаллизационных структур твердения и условия развития их прочности. // В кн.: Новое в химии и технологии цемента. М.: Госстройиздат, 1962. - С.202-213.
3. Бабушкин В.И., Матвеев Г.М., Мчедлов-Петросян О.П. Термодинамика силикатов. М.: Стройиздат, 1972. - 351 с.
4. Торопов Н.А. Химия цементов. М.: Промстройиздат, 1956. - С.24.
5. Десов А.Е., Красильников К.Г., Цилосани З.Н. Некоторые вопросы теории усадки бетона. // Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1979. - С. 25-255.
6. Александровский С.В. Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1976. - 206 с.
7. Горчаков Г.И. Состав, структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1976. - С.97-113.
8. Изотов В.С., Морозова Н.Н. Коррозионная стойкость бетонов на смешанном вяжущем // Известия вузов. Строительство. -1997. - № 12. - С.50-52.
9. Комохов П.Г. Механо-технологические основы торможения процесса разрушения бетонов ускоренного твердения: Дисс. докт. техн. наук. - Л.: ЛИСИ, 1979. - 356 с.
10. Изотов В.С., Морозова Н.Н. Смешанное вяжущее для бетонов, твердеющих при пропаривании // Строительные материалы, № 12, 1998, с.19-20.



УДК 691.56:666.971

Н.В. Секерина

ЭФФЕКТИВНЫЕ СУХИЕ СМЕСИ С ПОЛИМЕРНЫМИ ДОБАВКАМИ

Целесообразность использования сухих смесей как материала полной заводской готовности подтверждена зарубежной и отечественной практикой строительства. Область применения сухих смесей обширна: выполнение штукатурных, кладочных, плиточных, монтажных и др. видов работ. При этом наибольший объем производства и потребления приходится на долю сухих штукатурных смесей на цементной основе [1]. Для придания им достаточно высоких технологических и эксплуатационных свойств производят модификацию сухих смесей химическими функциональными добавками. В массовом

строительстве применяют, в основном, пластифицирующие порошкообразные добавки (С-3, ЛСТ) и эфиры целлюлозы, отличительным свойством которых является высокая водоудерживающая способность (ВУС). Эти продукты представляют собой светлые порошки, биологически безвредные, обладающие достаточной скоростью растворения в воде и устойчивые к продуктам гидратации цемента. В нашей стране выпуск широкого ассортимента модифицирующих добавок еще не налажен, а применение импортных материалов существенно повышает стоимость сухих смесей.

Таблица

Свойства растворов на основе сухих смесей с модифицирующими добавками

NN сос- тава	Вид добавки	Колич. добавки, % от массы цемента	В/Ц	ВУС, %	Плот- ность смеси, г/см ³	Проч- ность, МПа (28 сут)	Плот- ность раствора, г/см ³
1.	-	-	0,87	81,83	2,08	5,7	2,09
2.	Mecellose MC 50UF	0,05	0,91	91,1	2,07	5,6	2,08
3.	То же	0,10	0,92	92,4	2,03	5,6	2,06
4.	-«-	0,15	0,94	93,5	2,00	5,3	2,00
5.	-«-	0,20	0,96	97,0	1,88	4,4	1,90
6.	КМК	0,25	0,96	93,0	2,00	5,3	2,02
7.	-«-	0,50	0,99	95,3	1,95	4,5	1,98
8.	-«-	0,75	1,02	95,7	1,87	3,7	1,92
9.	С-3	0,3	0,86	82,1	2,06	6,0	2,10
10.	-«-	0,5	0,85	82,0	2,06	6,4	2,10
11.	-«-	0,7	0,83	81,5	2,09	6,7	2,11
12.	-«-	0,9	0,79	82,3	2,12	7,1	2,12
13.	Melment F-10	0,5	0,80	81,7	2,09	6,6	2,12
14.	То же	0,7	0,75	81,9	2,06	7,6	2,13
15.	-«-	0,9	0,71	82,5	2,14	8,0	2,16
16.	Mecellose + С-3	0,2+0,9	0,80	95,6	2,13	7,3	2,16
17.	Mecellose+Melment	0,2+0,9	0,79	96,8	2,15	8,3	2,20
18.	КМК+С-3	0,5+0,9	0,77	96,4	2,12	8,2	2,13
19.	КМК+Melment	0,5+0,9	0,77	96,4	2,12	8,2	2,18
20.	(Mecellose+КМК)+ С-3	0,35 0,9	0,78	98,5	2,14	7,8	2,19
21.	(Mecellose+КМК)+ Melment	0,35 0,9	0,70	99,0	2,19	10,1	2,23



В настоящей работе ставилась задача изучения сравнительного влияния некоторых отечественных и импортных химических добавок на свойства сухих штукатурных смесей и возможности получения на их основе эффективных комплексных добавок.

Для проведения исследований применяли следующие материалы. В качестве вяжущего использовали портландцемент активностью 33,7 МПа. Модифицирующими добавками служили: импортными – Mecellose PMC 50 UF (метилгидроксипропилцеллюлоза) и разжижитель Melment F-10 (на основе меламина-формальдегидного олигомера); отечественными – карбоксиметилованный крахмал (КМК), получаемый этерификацией крахмала и пока не нашедший применения в сухих штукатурных смесях, и суперпластификатор С-3 (на основе нафталин-формальдегидного олигомера). В качестве заполнителя применяли фракционированный кварцевый песок Буинского месторождения с $M_{кр} = 1,31$, что позволяет использовать его в растворных смесях для обрызга, грунта и отделочного слоя. Из сухих смесей, приготовленных перемешиванием всех компонентов в лабораторной мельнице, готовили растворные смеси подвижностью 8 см номинального состава 1:3, что позволяет получить, в соответствии с классификацией Баженова Ю.М. и др. [2], растворы со структурой типа II, которая характеризуется наиболее компактным расположением зерен песка и плотным заполнением пор между его частичками вяжущим тестом.

Результаты исследований приведены в таблице.

Анализ представленных данных показывает, что Mecellose и КМК, введенные в сухие смеси, проявляют значительный, но неравноценный загущающий эффект. При их добавлении ВУС растворных смесей существенно возрастает: с 81,8% угарцовки (сост.1) до 95% у смесей с КМК (сост. 7,8), что соответствует требованиям ГОСТ 28013 (не < 95%), и до 97% у смесей с Mecellose (сост.5), что выше требований стандарта. Одновременно проявляется и косвенный эффект модификации: растворные смеси становятся более пластичными и удобоукладываемыми, что, вероятно, является следствием предотвращения явления высыхания, т.е. замедления гидратации цемента из-за потери воды в растворе.

Однако применение Mecellose и КМК сопровождается существенным увеличением В/Ц отношения смесей: с 0,87 у контрольного состава, соответственно, до 0,96 (сост.5) и 1,02 (сост.8). Поэтому наблюдается некоторое снижение прочности растворов, более заметное у составов с КМК (сост. 3,8), что, очевидно, связано, помимо повышенного В/Ц, с более грубой дисперсностью этого продукта и большей трудностью его равномерного распределения в составе смеси.

Исходя из полученных результатов, оптимальным количеством этих добавок по их влиянию на ВУС растворных смесей можно считать 0,2% для Mecellose и 0,5-0,75% – для карбоксиметилованного крахмала.

Сравнительная оценка эффективности использования в сухих смесях разжижителей Melment и С-3, изготовленных на различной полимерной основе, показывает, что эти добавки проявляют неодинаковый водопонижающий эффект: снижение В/Ц составляет с 0,87 у контрольного состава до 0,79 у смесей с С-3 (сост. 12) и до 0,71 - у смесей с Melment. Это достигается за счет улучшения диспергируемости цементных зерен в воде затворения; флокуляция их снижается или предотвращается, а вода, содержащаяся внутри флоккул, добавляется к той, в которой частицы могут двигаться в результате уменьшается трение между твердыми компонентами растворной смеси [3].

Пониженное водосодержание позитивно сказывается на изменении прочностных характеристик раствора. Так, при введении Melment можно получить раствор с прочностью 8 МПа (сост. 15), а при использовании С-3 раствор с прочностью, равной 7,1 МПа (сост. 12). Водоудерживающая способность растворных смесей с этими разжижающими добавками практически такая же, как у исходной простой смеси (сост. 9-15), но эта величина не соответствует требованиям к сухим смесям по ВУС. Оптимальное содержание этих водопонижающих добавок в отношении величины В/Ц и прочности растворов составляет для С-3 0,7-0,9%, для Melment – 0,9%.

В таблице представлены также результаты по изучению влияния на свойства сухих штукатурных смесей комплексных добавок, составленных из оптимальных количеств данных модифицирующих веществ. Видно, что применение комплексных добавок, содержащих Mecellose и КМК в сочетании с разжижителями, позволяет получить растворы, которые одновременно проявляют повышенные ВУС (95-97%) и прочность (сост. 16-19). При этом прочностные показатели растворов с Melment более высокие (сост. 17,19).

Эффективными являются комплексные добавки, содержащие бинарные водоудерживающие компоненты в сочетании с суперпластификаторами. С их использованием получают растворные смеси с ВУС, равной 98-99% и растворы с максимальной прочностью: для бинарных добавок с С-3– 7,8 МПа, с Melment – 10,1 МПа (сост. 20,21). Повышенная ВУС таких смесей может быть связана, вероятно, с взаимоусиливающим влиянием КМК и Mecellose, а более высокая прочность с одновременным влиянием пониженного В/Ц, что ведет к уплотнению раствора и повышенной способности к водоудержанию, что способствует углублению процесса гидратации.



Таким образом, проведена сравнительная оценка влияния на основные свойства сухих штукатурных смесей и растворов на их основе отечественных и импортных водоудерживающих и пластифицирующих добавок. Показано, что отечественный КМК по водоудерживающей способности почти не уступает сложному эфиру целлюлозы Mecerlose, а суперпластификатор С-3 проявляет несколько пониженный водопонижающий эффект по сравнению с Melment. Разработаны комплексные химические добавки на основе исследуемых водоудерживающих и разжижающих компонентов, взятых в оптимальных соотношениях и проявляющих большую эффективность по сравнению с их индивидуальным введением в сухие смеси. В этом случае растворы приобретают высокие значения ВУС (98-99%) и прочности (до М 100). Их применение позволяет частично заменить

дорогостоящую импортную добавку Mecerlose на отечественный карбоксиметилированный крахмал, что расширяет номенклатуру функциональных добавок для сухих штукатурных смесей и снижает их стоимость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухие смеси в современном строительстве. Под редакцией В.И.Белана. Новосибирск: НГАСУ, 1988. - 89 с.
2. Баженов Ю.М., Коровяков В.Ф., Денисов Г.А. Технология сухих строительных смесей. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2003. - 95 с.
3. Бабаев Ш.Т., Комар А.А. Энергосберегающая технология железобетонных конструкций из высокопрочного бетона с химическими добавками. М.: Стройиздат, 1987. - 240 с.



УДК 661.2

Р.Т. Порфирьева, В.В. Герасимов, Г.А. Медведева, В.А. Ефимова

ПОЛИСУЛЬФИДНЫЕ КОМПОЗИЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО КОМПЛЕКСА И ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

Широкую возможность для изготовления материалов строительного назначения, обладающих достаточной стойкостью к воздействию окружающей среды и коррозионной стойкостью, открывают полисульфидные композиции на золошлаковых отходах ТЭЦ [1,2]. Отвалы золошлаковых отходов (ЗШО) практически не используются, их объемы растут год от года. Между тем, они представляют собой доступное, дешевое и недефицитное алюмосиликатное сырье, имеющее невысокий модуль основности.

Основной характеристикой атома серы, существенно определяющей особенности процессов образования, типы химической связи и физико-химические свойства полисульфидных фаз, является его способность выступать и как донор, и как акцептор. Акцепторная способность вызвана стремлением к достройке оболочки до конфигурации s^2p^6 , присущей инертным газам и отвечающей минимальной энергии. Эта особенность атома серы обуславливает значительную долю ионной связи металл – сера во многих сульфидах, а также образование атомами серы ковалентных полисульфидных групп, что, в частности, определяет склонность к образованию полисульфидных фаз полимерной серы. Полимерная сера обладает рядом преимуществ по сравнению с кристаллической серой [3]. К ее несомненным достоинствам можно отнести высокую устойчивость к агрессивным средам, высокую ударную прочность, отсутствие термических усадочных деформаций в композициях и т.д.

Интересными с точки зрения научных исследований и практического применения являются полисульфидные материалы с использованием металлосодержащих соединений, таких как сульфид железа (пирит). Пирит – полисульфид железа способен проявлять электронодонорные свойства. Использование в качестве модифицирующей добавки пирита, на наш взгляд, повышает реакционную активность серы и ее способность вступить в химическое взаимодействие с компонентами в системе. Для выяснения указанной возможности и оценки влияния сульфида железа на активацию разрыва серных колец были проведены квантово-химические исследования системы сера-сульфид железа. Поскольку при температуре 170-180°C в расплаве присутствует шестиатомная сера, расчеты проводились для циклической шестиатомной серы, геометрические характеристики которой приведены на рисунке 1.

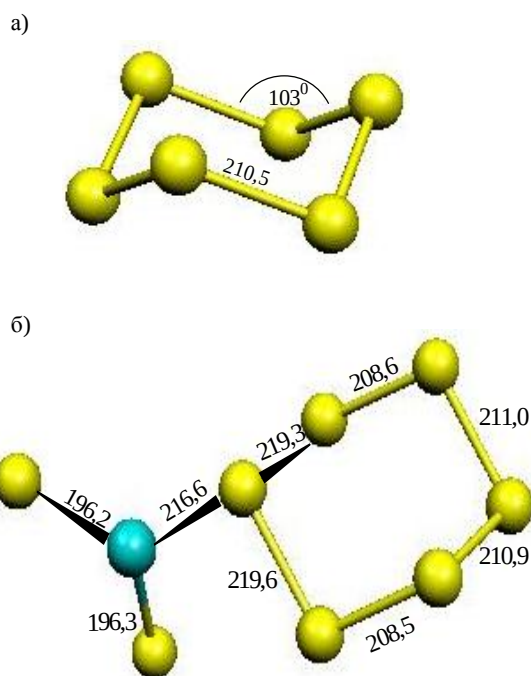


Рис.1. Геометрические характеристики цикла S_6 (а) и сульфида железа FeS_6 (б)

Установлено, что присоединение пирита к молекуле серы приводит к снижению энергии связи в серном цикле на 62,6 кДж/моль. Связь сера-сера разрывается и вытягивается с 210,5 пм до 219,6 пм. Реакция протекает экзотермически с образованием прочной ковалентной связи. Энергия связи железо-сера составляет 237,76 кДж/моль, длина связи – 216,6 пм. При этом двухвалентное железо становится трехвалентным. Можно ожидать, что при взаимодействии серы с пиритом произойдет образование полисульфидов железа различной степени конденсации, возможно, сшитой структуры, которые обеспечат формирование материала с высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Поэтому нами были проведены исследования композиций, в которых в качестве исходных компонентов были выбраны сера, пирит и золошлаковые отходы теплоэнергетики.

В работе использовались следующие материалы:

- сера – отход Нижнекамского нефтеперерабатывающего завода. По химическому составу эти отходы содержат 99,9% серы, т.е. практически представляют собой товарный продукт;



- пирит (сульфид железа), широко распространённый природный минерал, является попутным продуктом добычи некоторых цветных металлов, в том числе золота;

- золошлаковые отходы ТЭЦ-2 г.Казани следующего состава (масс.%):

SiO ₂	47,7-52,2	CaO+MgO	4,3
Al ₂ O ₃ +TiO ₂	21,24-25,28	SO ₃	0,2
Fe ₂ O ₃	5,2-5,9	K ₂ O+Na ₂ O	1,84-1,9

Для более детального исследования ЗШО методом рассева были разделены на зольную и шлаковую составляющие. В работе использовалась зольная составляющая с размером частиц менее 1 мм. Образцы серных композиций готовились путем горячего смешения исходных компонентов при различном времени выдержки (от 10 минут до 4 часов). Далее указанные смеси направлялись на формирование образцов заливкой в формы размером 2х2х6 см (виброукладка) или прессованием при стандартном давлении 120 кг/см² цилиндров 2х2 см. Полученные материалы испытывались на физико-механические показатели согласно ГОСТ 10180-90 и исследовались методами физико-химического анализа - ИК спектроскопии (ИК-спектрометр фирмы Bruker), рентгенографического анализа (рентгеновский дифрактометр ДРОН-3 с Cu K α-излучением), электронно-парамагнитного резонанса (прибор РЭ-1306). Ударная прочность образцов оценивалась на маятниковом копре. Для выяснения механизма взаимодействия компонентов в системе проводились квантово-химические исследования методом функционала плотности в программе Priroda с базисом 3z.bas, включающим р- и d- орбитали на атомах.

Проведенными исследованиями установлено, что прочностные свойства серных композиционных материалов на золошлаковых отходах повышаются лишь при незначительных количествах пирита (до 2% масс). Избыток пирита понижает прочностные свойства материала. Происходит также некоторое расслаивание расплавленного образца вследствие разности в плотностях (плотность серы - 2,1, а пирита - 5 г/см³).

Свойства полисульфидных композиций различного состава приведены в таблице.

Как видно из таблицы, оптимальным составом следует считать следующий, % масс.:

- сера	37-39,5;
- золошлаковые отходы	60-57,5;
- пирит	0,5-3.

Образцы указанного состава обладают высокой прочностью, удельной ударной вязкостью, водостойкими свойствами и устойчивостью к агрессивным средам. Коэффициент стойкости к 5% раствору серной кислоты составляет 0,962; 5% раствору хлороводородной кислоты - 0,977; 5% раствору сульфата магния - 0,975; 5% раствору хлорида натрия - 0,989.

На химическое взаимодействие между компонентами в системе и возможное образование некристаллических полисульфидов указывает увеличение доли аморфной фазы на рентгенограмме образца, модифицированного пиритом. Степень кристалличности образца уменьшается на 33%.

Рис.2. Результаты исследований ЭПР для образцов серы, термообработанной при 180°C (1), и серных композиций с добавкой пирита (2).

Исследованиями методом парамагнитного резонанса (рис.2) установлено, что в серном образце, термообработанном при температуре 180°C, содержится значительное количество парамагнитных центров, т.е. чрезвычайно реакционноактивных свободных радикалов, которые исчезают при добавлении в расплав серы модифицирующей добавки пирита. Это также является подтверждением химического взаимодействия компонентов.

Таким образом, разработаны полисульфидные композиционные материалы на основе золошлаковых отходов ТЭЦ, модифицированные сульфидом железа (пиритом), с высокими физико-механическими свойствами. Высокие прочностные свойства и устойчивость к агрессивным средам и

Таблица

Физико-механические свойства полисульфидных композиций различного состава

Составы, % масс.			Свойства				
Сера	Золо- шлаковые отходы	Пирит	σ _{сж} , МПа	σ _{изг} , МПа	Удельная ударная вязкость, Дж/см ²	Плотность, ρ, г/см ³	Водопогло- щение, W, %
40	60	0	28	5,1	45	2,5	0,3
39,5	60	0,5	40	5,8	47,5	2,64	0,24
39	60	1,0	41	7	50	2,69	0,23
38	60	2	39,5	6,8	52,5	2,70	0,2
39,5	57,5	3	37	6,4	55	2,57	0,22
35	60	5	30	5,8	43,7	2,45	0,25

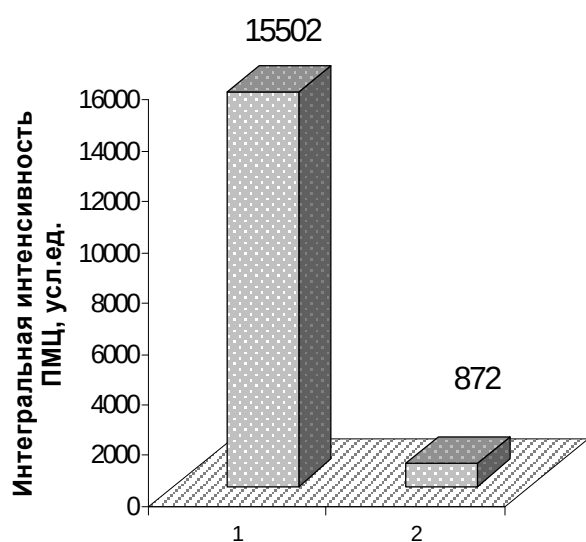
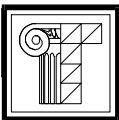


Рис.2. Результаты исследований ЭПР для образцов серы, термообработанной при 180°C (1), и полисульфидных композиций с добавкой пирита (2).

воде обусловлены химическим взаимодействием компонентов и образованием полисульфидов железа, возможно, сшитой структуры. Разработанные материалы могут использоваться в качестве плиток, полов, тротуарных и бордюрных камней в химическом производстве и теплоэнергетике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов В.В., Порфирьева Р.Т. Получение безобжиговых керамических и пористых огнеупорных материалов на фосфатной связке // Известия вузов. Проблемы энергетики. - Казань. 2002. №5-6. - С.48-55.
2. Порфирьева Р.Т., Герасимов В.В. Серные композиционные материалы для теплоэнергетики // Известия вузов. Проблемы энергетики. - Казань. 2002. №1-2.- С.41-43.
3. Патуроев В.В. Полимербетоны. - М.: Стройиздат, 1987. - 286с.



ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ФАКТОРЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ ИНВЕСТИЦИОННО- ЗАВИСИМЫХ ОТРАСЛЕЙ

Исследование организационно-технологических условий и факторов, взаимодействующих на каждом этапе развития и становления рыночных отношений как в Татарстане, так и в России в целом, является основой выбора и разработки моделей и методов управления отраслями, требующими значительных и долгосрочных инвестиционных вложений. Практика показывает, что причина большинства неудач в управлении отраслями, решающими проблемы жизнеобеспечения населения, заключалась именно в недостаточном изучении условий рынка, организационно-технологических факторов и ограничений, слабом использовании возможностей сбалансированного развития регионального комплекса инвестиционно-зависимых отраслей, поэтому анализ условий и факторов управления на региональном уровне является важной и актуальной проблемой.

В последние годы методы организации управления региональным хозяйственным комплексом вырабатываются в условиях формирования рыночных отношений. При этом исследование принципиально новых условий управления такими отраслями, как строительство, транспорт, коммунальное хозяйство, решение экологических проблем становится особо актуальной задачей. Это связано с тем, что развитие основных отраслей требует больших масштабов инвестиций по сравнению с другими отраслями, при этом экономическая эффективность вложений просматривается лишь в долгосрочной перспективе из-за длительного цикла реализации инвестиций. Риск потери вложений в дорогостоящие и длительно выполняемые инвестиционные проекты достаточно высок. Кризисное состояние экономики также оказывает избирательно сильное влияние на строительную индустрию и смежные отрасли: резко падает приток заказов на все виды строительства, останавливаются уже начатые стройки, происходит обвальное банкротство строительных фирм, тысячи строителей лишаются работы. Быстроокупаемые проекты, передовые в технологическом плане отрасли и фирмы страдают меньше. Следовательно, привлекательность инвестиционной деятельности в инвестиционно-зависимых или инвестиционно-зависимых отраслях для хозяйствующих субъектов невысока или, как минимум, неоднозначна.

Строительство, транспорт, коммунальное хозяйство и экология тесно взаимосвязаны не только с позиций управления региональным комплексом, но и с точки

зрения эффективности инвестиций. Специфической чертой инвестиционно-зависимых отраслей является то, что здания, сооружения, коммуникации, т.е. подавляющая часть объектов инвестирования, неподвижны и используются там, где производятся. Эта особенность оказывает влияние на экономику региона. Экономические ресурсы, которые направляются на строительство, расширение или модернизацию производства, приобретение новых машин, зданий, транспортных средств, строительство дорог, мостов и других инженерных сооружений, предопределяют возможности экономического роста региона в долгосрочной перспективе и влияют на общую эффективность хозяйствования. Таким образом, с точки зрения моделирования управления, строительство, транспорт, экология и коммунальное хозяйство должны рассматриваться как единый региональный комплекс инвестиционно-зависимых отраслей.

В условиях административно-командной системы управления социалистический способ воспроизводства общественного капитала представлял собой процесс, который осуществлялся по общегосударственному плану, охватывал все отрасли народного хозяйства, все звенья общественного разделения труда на государственных предприятиях. Единая государственная форма собственности на средства производства в последние годы стала многоукладной и в настоящее время представлена такими формами собственности, как: государственная, муниципальная, коллективная, корпоративная, частная, смешанная и другие. При этом возникает воспроизводство капитала, представляющее собой непрерывное возобновление процесса производства на отдельном капиталистическом (частном или коллективном) предприятии.

Как следствие, меняются цели инвестиционно-строительной деятельности: обязательное выполнение единых государственных планов трансформируется в регулируемое и востребованное рынком соблюдение государственных, региональных, коллективных, индивидуальных коммерческих интересов. Реализация данных интересов в значительной степени определяется стратегиями развития предприятий в условиях жесткой рыночной конкуренции и непрерывных изменений во внешней среде. Общая или стратегическая цель существует как постоянный стимул развития, существующий в изменяющихся социально-



экономических условиях. На уровне отрасли стратегическая цель управления – нивелирование состояний жизненного цикла отдельных предприятий, т.е. обеспечение организационно-технологической надежности функционирования отрасли. На уровне регионального комплекса должна быть обеспечена стратегия интенсивного развития отраслей, включающая в себя привлечение инвестиций, оптимизацию направлений развития, повышение эффективности управления комплексом отраслей.

Стратегические цели и методы оперативного управления предприятием во многом определяются состоянием и этапом жизненного цикла рассматриваемой организационной структуры. Период, в течение которого относительно замкнутая организационная структура интенсивно и устойчиво развивается, обозначается как жизненный цикл предприятия. О завершении некоторого жизненного цикла системы свидетельствует падение интенсивности развития, снижение уровня организационно-технологической надежности управления.

Анализ условий и факторов, влияющих на продолжительность жизненного цикла отдельного предприятия и отрасли в целом, позволяет получить объективную информацию для принятия решений, а также моделировать и выбирать методы управления в новых условиях.

Проведенный анализ условий и факторов управления на региональном уровне показывает, что формирование рыночных отношений сопровождается стабильным ростом организационно-экономической самостоятельности предприятий и регионов. Поэтому определяющим условием выбора модели управления комплексом отраслей становится учет растущей самостоятельности субъектов хозяйствования, которые сами определяют цели своей деятельности, перспективы развития, находят источники инвестиций, заказчиков, партнеров, приобретают материалы, машины, механизмы, формируют трудовой коллектив. Меняется отношение заказчика к возводимой собственности, который теперь может являться владельцем, арендатором, застройщиком, инвестором всех или части объектов, потребителем конечной продукции. Очевидно, что изменившаяся форма собственности резко повышает заинтересованность всех участников в эффективности инвестиций и качестве конечной продукции в соответствии с требованиями заказчика. При этом продолжительность строительства, а, следовательно, и цикл реализации инвестиций стали, как правило, короче.

Необходимо подчеркнуть, что рост самостоятельности субъектов хозяйствования закономерно приводит, с одной стороны, к расширению инвестиционных возможностей внутри региона, с другой стороны – к переносу центра тяжести проблем управления на региональный уровень.

Данные изменения коснулись не только сферы

производственной деятельности. Исследования статистических данных по Татарстану показывают, что основные направления инвестиций в социальную сферу региона также расширились и переместились с преимущественно организации застройки микрорайонов, свободных или освобождаемых территорий на переустройство освоенных и функционирующих селитебных территорий, реконструкцию, ремонт, реставрацию и модернизацию объектов жилищного, социально-бытового и транспортного назначения, решение экологических проблем. Анализ общих тенденций в других регионах и областях свидетельствует об объективности данного процесса. Очевидно, что по мере укрепления рыночной экономики региональные и местные органы власти и управления будут не только содержать, но и строить все объекты социальной инфраструктуры региона.

Объективные изменения в структуре инвестиций по отраслям, существенные темпы роста вложений в коммунальное хозяйство, жилищное строительство, транспорт, социальные объекты требуют освоения новых технологий, материалов, проектных решений, что, в свою очередь, влечет за собой реорганизацию и перепрофилирование строительных предприятий. Автоматизация технологии и организации производства, структурные сдвиги в процессе производства существенно изменяют и совершенствуют средства производства. Так, например, увеличение в последние десять лет инвестиций в непроизводственную сферу вызвало необходимость переориентации и перевода значительных мощностей предприятий строительного и транспортного комплекса на непроизводственное строительство. Снижается материалоемкость строительной продукции, в структуре капиталовложений возрастает доля оборудования. При этом в технологической структуре инвестиций доля строительно-монтажных работ осталась прежней (45-60%).

Развитие рыночных отношений и технического прогресса изменяет структуру инвестиций: соотношения между сырьем и материалами, оборудованием, зданиями и сооружениями, затратами на внедрение инноваций и охрану окружающей среды. В сфере промышленного строительства анализ статистических данных последних лет позволяет выделить отчетливую тенденцию роста доли реконструкции, модернизации и технического перевооружения. Подобная динамика вызывает существенные изменения в формах и организационных структурах строительной отрасли.

Повышается ценовая гибкость, уровень конкуренции и, как результат, уровень организационно-технологической надежности проектов. В этих условиях критериями эффективности модели управления становятся: рентабельность, прибыльность,



доходность, конкурентоспособность продукции, финансовая устойчивость, организационно-технологическая надежность и социальная значимость. Тем не менее, в строительстве, транспорте, коммунальном хозяйстве цикл реализации инвестиций остается самым длительным, а требуемые объемы инвестиционных вложений - самыми значительными при высоком уровне риска потери вложений. Это означает, что сбалансированное развитие комплекса инвестиционно-зависимых отраслей региона требует использования особых методов управления.

Закономерно меняются объект и субъект управления. Многие годы в качестве объекта управления рассматривались, как правило, только процессы проектирования и возведения зданий и сооружений, коммуникаций и дорог. В современных условиях объект управления должен включать в себя более широкую область и новые подсистемы, которые ранее были вне объекта управления (направления деятельности, связанные с реализацией инвестиций, координация проектов в смежных отраслях, решение социальных и экологических проблем и др.). Традиционные субъекты управления в виде государственных предприятий-заказчиков и генподрядных строительных организаций с назначаемым административным аппаратом заменили акционерные общества различного типа и другие организационные формы, в которых используются принципиально новые методы управления.

Претерпевают принципиальные изменения организационные структуры, в рамках которых осуществляется управление инвестиционно-строительными проектами. Централизованное государственное управление и иерархическое подчинение всех структур регионального комплекса уступили место ограниченному государственному влиянию, горизонтальному регулированию, горизонтальным связям и договорным формам взаимоотношений субъектов хозяйствования или структурных элементов. Административно-командное воздействие на объекты управления уступило место сочетанию рыночных воздействий на уровне субъектов хозяйствования и влияния государства через законодательные стимулы и другие методы регулирования. Многолетняя единая стратегическая политика укрупнения производства и создания государственных структур-монополистов в последние годы замещается тенденцией разукрупнения производства, выделением малых организационных форм. В рыночных условиях создается и выживает множество малых и средних предприятий и фирм, которые в состоянии обеспечить интенсификацию и эффективность производства.

С увеличением сложности и разнообразия проектных решений зданий и сооружений связана современная тенденция углубления технологической специализации организационных структур.

Возникновение новых видов малых и узкоспециализированных строительных организаций связано, в первую очередь, с процессом специализации производства. Анализ опыта развитых стран показывает, что подобная тенденция объективно возникает на определенном этапе научно-технического и экономического развития хозяйственного инвестиционного комплекса.

Опыт многочисленных реорганизаций и перестроек показывает, что классические модели организационных структур статичны: даже небольшие изменения в подразделениях, реализации вертикальных или горизонтальных связей требуют значительных усилий и затрат. При этом любая оргструктура функционирует во внешней среде, основными характеристиками которой в настоящее время становятся такие динамические процессы, как ускорение научно-технического прогресса, дальнейшее развитие рыночных отношений и перестройка хозяйственного механизма. Все это является причиной противоречий между консерватизмом отраслевых оргструктур и необходимостью сокращения сроков внедрения инноваций, адаптации к новым хозяйственным условиям, новым формам собственности. Следовательно, условие интенсивного развития отрасли – адекватное современным требованиям изменение функций организаций и их подразделений, изменение положения предприятий инвестиционного комплекса в общем хозяйственном комплексе региона.

Данное противоречие проявляется особенно остро в инвестиционно-зависимых отраслях регионального комплекса. Пока функционирует устаревающая оргструктура, падают общие темпы роста, резко снижается уровень прибыли строительных организаций. Как следствие, сокращаются возможности расширенного воспроизводства, возможности вовлечения в производство новых технологий и материалов, приводя к существенному снижению качества продукции и низкой конкурентоспособности в условиях рынка. Одновременно с этим нарушается нормальное функционирование в денежной сфере, а значит, становятся неблагоприятными общий инвестиционный климат и условия развития и внедрения инноваций.

Казалось очевидным, что в каждой территориальной единице в соответствии с ее экономическими, национальными, природно-климатическими и другими особенностями должны развиваться отрасли, наиболее эффективные по сравнению с другими. Однако десятилетие глубоких структурных изменений экономики России показало недостатки данного подхода. Политика углубленной специализации региона, отдельной территории на выпуске определенной продукции в период изменения спроса, неустойчивости рынка привела экономику отдельных регионов и областей к кризисному состоянию и социальным проблемам.



Рыночные условия хозяйствования со временем выравнивают перекосы углубленной специализации данной территории в сторону более разностороннего экономического и социального развития региона, развития производства продукции, необходимой для удовлетворения местных нужд. Региональный хозяйственный комплекс включает в себя, наряду со специализированными отраслями (строительство, транспорт, коммунальное хозяйство), множество предприятий и организационных структур, удовлетворяющих местные социально-экономические потребности. Следовательно, эффективное развитие региона требует гармоничного сочетания специализации с учетом наличия трудовых ресурсов, а также энергетической и сырьевой базы и развития производств местного значения.

В условиях нынешнего этапа формирования рынка теряют свою эффективность многие методы организации и управления проектированием и строительным производством, отработанные в годы административно-командного управления. Принципиальные изменения основных условий и ограничений административно-командного и рыночного этапов для становления и развития инвестиционно-зависимого комплекса отраслей на уровне региона и России в целом повлияли на весь комплекс организационно-технологических факторов и показателей разрабатываемых инвестиционно-строительных проектов: сроки проектирования и строительства, предлагаемые технологии, методы организации и механизации работ, их качество, технологичность проектных решений, эксплуатационные характеристики объектов, экономическая целесообразность и эффективность инвестиций, условия сбыта продукции, прибыль и возвратность вложений, система гарантий и др. В этой связи становится очевидной актуальность комплексного подхода к моделированию управления региональным строительством с учетом таких условий и ограничений рыночной экономики, как:

- совместное существование различных форм собственности;
- вытеснение монополизма и диктата государственных ведомств;
- декомпозиция целей субъектов управления за счет

регулирования интересов на основе договоров и цен открытого рынка;

- возрастающая самостоятельность субъектов хозяйствования;
- свобода предпринимательства на внутреннем и внешнем рынках;
- расширение инвестиционных возможностей внутри региона;
- перенос центра тяжести проблем управления на региональный уровень;
- изменение структуры инвестиций;
- изменение информационной структуры регионального комплекса за счет разукрупнения, специализации и интеграции;
- изменение показателей эффективности методов управления проектами.

Недостаточная отработанность российских и региональных организационно-правовых норм по сравнению с зарубежными аналогами свидетельствует о том, что в настоящее время формирование рыночных условий и ограничений продолжается. Рыночные отношения в сфере инвестиционно-строительной деятельности находятся в стадии становления и развития, что требует от разрабатываемой модели управления таких свойств, как гибкость и адаптивность.

Таким образом, исследование динамики развития Республики Татарстан показывает общие закономерности и тенденции в развитии строительства, транспорта, коммунального хозяйства и решении экологических проблем, что позволяет рассматривать их как *единый региональный комплекс инвестиционно-зависимых отраслей*.

В новых условиях возникает потребность в новых моделях управления и организации инвестиционно-строительной деятельности, позволяющих оперативно учитывать взаимное влияние многочисленных рыночных, производственных, технологических, экологических и социальных факторов и условий региона.

Разработка свойств, взаимосвязей, структурных и функциональных параметров таких моделей должна базироваться на анализе функций управления региональным комплексом инвестиционно-зависимых отраслей.



УДК 666.67.25.21

Р.Х.Мубаракшин, В.К.Падерин, В.Ф.Строганов, В.С.Изотов

СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Одной из важнейших витальных человеческих потребностей является потребность в жилье. Нерешенность жилищной проблемы или проживание в жилье, не отвечающем элементарным требованиям комфорта, негативно сказывается на показателях деятельности человека во всех без исключения областях – экономической, политической, социальной, семейно-бытовой и др. Во все времена “жилищный вопрос” был такой проблемой, вокруг которой разгорались нешуточные баталии, споры, конфликты и которая нередко приводила к тому, что человек жил, не ощущая в полном объеме всей прелести человеческого бытия, и уходил в мир иной обиженным, неудовлетворенным и разочарованным. Одна из серьезных попыток решить эту проблему была предпринята в шестидесятые годы путем массового строительства пятиэтажных панельных домов. Однако по прошествии времени происходили качественные изменения в массовом сознании, менялись взгляды на качество жилья и население перестали удовлетворять так называемые “хрущовки” и уже в 70-х годах начали высоко цениться квартиры с высокими потолками, которые выгодно отличались от “хрущовок” своей планировкой.

Интенсивное формирование рынка жилья в стране привело к тому, что во многих городах начался настоящий строительный “бум”. Повышенный спрос на жилье сделал его устойчивым и перманентным. С одной стороны, он имел позитивные последствия, а с другой – породил целый ряд негативных тенденций, связанных, в первую очередь, с представителями строительной индустрии (застройщиками), которые, уловив конъюнктуру на рынке жилья, выбрали путь ускоренного решения своих финансовых проблем в ущерб качеству жилья, и нанося, в конечном счете, ущерб тем, кто захотел создать для себя и для своей семьи нормальные жилищные условия.

Понятно, что современный уровень развития стройиндустрии не позволяет ориентироваться на строительство только элитного жилья.

Собственно, и то, что в Казани называется элитным жильем, фактически таковым не является. Чтобы жилье имело статус элитного, оно должно удовлетворять целому ряду показателей (кстати, российские перечни критериев элитности жилья отличаются от зарубежных, да и последние в различных зарубежных странах далеко не одинаковы). Методики оценки качества жилья существуют. И, в частности, элитное жилье должно соответствовать двадцати четырем критериям, которые

включают в себя: материал, применяемый при возведении стен (должен использоваться не силикатный, а керамический кирпич); качество и дизайн отделочных материалов, высоту потолков; количество квартир в доме (не более сорока); высокотехнологичные системы дымоудаления и пожаротушения; электропроводы в двойной изоляции; наличие парковки, гаражей; систем внутренней и внешней охраны дома; зона нахождения жилья и другое [1].

В Казани максимального количества показателей практически нет ни у одного дома. Так называемые элитные дома отвечают не более чем 12-ти показателям.

Таким образом, сам перечень показателей элитности жилья свидетельствует о том, что его строительство – финансовое дело. Учитывая же реальные финансовые возможности застройщиков, нельзя ориентироваться только на такого рода жилье. В связи с этим обозначились концепции жилищного строительства, создатели которых пытаются учесть происходящие в нашей стране процессы социальной дифференциации [2].

Не случайно, одни концепции ориентируют стройиндустрию на строительство панельных быстро возводимых домов, другие – на строительство долговечных зданий из монолитного бетона, третьи – на строительство элитного жилья. Стратегия строительства социального жилья, начало которой положила утвержденная в 1996 году и уже реализованная “Программа ликвидации ветхого жилого фонда Казани и реконструкции кварталов ветхого жилья”, – жилья, рассчитанного на представителей “средних слоев”, и жилья, рассчитанного на состоятельных горожан, в целом, безусловно, оправдана. Хотя не лишены основания и сомнения, согласно которым перевести в плоскость практической реализации перечисленные стратегии (как и сбалансировать их) довольно затруднительно, так как интенсивно протекающие в обществе стратификационные процессы еще далеки от своего относительного завершения (относительно и потому, что они идут всегда). Однако поскольку контуры социально-стратификационного каркаса все-таки обозначились, есть смысл увязывать их с изложенными стратегиями жилищного строительства, с поправкой, разумеется, на незавершенность стратификационных процессов.

Такая постановка вопроса не может служить



аргументацией решения проблемы повышения качества жилищного строительства в отдаленной перспективе. Если решение этих проблем отодвинуть, то это будет означать не только невнимание к ныне живущим, но и фактическое создание проблем для будущих поколений. Это в полной мере показала практика реконструкции панельных пятиэтажек шестидесятых годов.

Представляется, что решение проблемы повышения качества жилищного строительства предполагает учет двух аспектов – “внутреннего” и “внешнего”. Первый касается тенденции снижения качества построенных квартир. Заселившись в новые квартиры (построенные ли по программе строительства социального жилья или рассчитанного на людей со средним достатком, а также элитного жилья), люди нередко сталкиваются с множеством проблем, связанных с неисправностью канализации, отсутствием должной отделки квартир и другими недоработками фирм-застройщиков.

Особенно много такого рода проблем возникает при долевом участии в строительстве жилья.

Поскольку жилое здание существует пока еще только в проекте, деньги дольщиками уже выплачены, то нередки факты недобросовестного отношения застройщиков к выполнению принятых на себя обязательств.

Такое отношение к качеству строительства имеет негативные последствия, как отчетливо видимые, так и латентные, которые, как правило, не принимаются во внимание и считаются чем-то незначительным и второстепенным. На самом деле это далеко не так. Строительные недоработки – это на самом деле такой феномен, который способен влиять на все поведение человека, на всю его жизнь.

Во-первых, в подобном случае на психику горожан обрушивается град “ударов”, наносимых строительными недоработками, порождая многочисленные стрессы. Как доказано специалистами, накладывающиеся друг на друга стрессы, даже если они “приходят малыми порциями”, по поводу, казалось бы, малозначительных причин, чрезвычайно тяжелы для людей и порождают многочисленные негативные последствия, одним из которых является агрессия. Обилие строительных “неделок”, причем в самых неожиданных местах, приводит к тому, что жильцы начинают буквально “задыхаться” в неряшливо исполненном пространстве квартиры. Происходит “вытаптывание” человеческой души, которое подтачивает взаимоотношения между живущими в таком пространстве (подрывает основу семьи), определяя стратегию поведения людей и создавая предпосылки для агрессивного выплескивания эмоций друг на друга.

Во-вторых, предварительно не спланированная система средств, затрудняющих проникновение посторонних в жилище, приводит к тому, что после

заселения практически каждая вселившаяся в дом семья начинает устанавливать металлические двери, решетки на окна и прочее. На все это тратятся большие денежные средства, растрачивается психологический ресурс. Создается впечатление, что каждый строит себе крепость, не говоря уже о том непривлекательном (с точки зрения эстетики) виде, который представляют собой “ощетинившиеся” разномастными охранными сооружениями входные двери, окна, балконы. Все это еще больше усиливает и без того воплощенный в системе охранных сооружений страх.

Для получения психологического комфорта требуется, чтобы вид через окно ласкал взор, успокаивал человека, инициировал рекреационные процессы. Взгляд же на окружающий мир через железную оконную решетку, через маленький глазок бронированной двери определяет и сознание людей. Никто еще не смог опровергнуть постулат, согласно которому бытие определяет сознание. Проживание в пространстве, “оформленном” таким образом, определяет и образ мыслей, и образ действий людей. Фактически стимулируется формирование агрессивно-индивидуалистических установок. В результате нарушается система нормальных человеческих взаимодействий со всеми вытекающими отсюда последствиями.

В-третьих, большое значение имеет “внешний аспект”, связанный с характером застройки и местом расположения жилого дома. Жизнь показала несостоятельность, а главное, социальный вред микрорайонной застройки, изобретенной англичанином Патриком Оберкромби. Искусственно созданная человеком окружающая среда всегда имеет социальные параметры. Организация окружающей среды путем микрорайонной застройки не оптимальна в силу целого ряда обстоятельств. Одним из них является то, что человек, выходя на пустой двор, ощущает дискомфорт, чувства потерянности и душевной опустошенности, и как бы отделяется от других людей. Обширные социальные пространства, на первый взгляд принадлежащие всем, на самом деле никому не принадлежат, они обычно запущены, грязны, полуразрушены (скамейки, детские песочницы и прочее). Как справедливо отмечает чешский исследователь М. Черноушек [3], “печальна судьба территории, принадлежащей всем и никому. Это относится и к телефонам-автоматам, а точнее, будкам, в которых они находятся. Здесь также речь идет об общей территории, которой пользуются сменяющие друг друга люди, а ее хозяин – служба связи находится слишком далеко. В ярости, вызванной плохой работой телефона, люди могут мстить этой анонимной территории – анонимность среды способствует появлению асоциальных действий”.

Личность в микрорайонной застройке утрачивает чувство идентичности с местом и пространством. Более того, это приводит к разрыву как духовной связи



с окружающими, так и адекватному восприятию жизненно важных ориентиров и ценностей. Организация жилищной застройки требует учета культурно-исторического и психологического аспектов проблемы. Она должна учитывать важность ограждения горожан от “ударов”, наносимых плохой планировкой жилых домов.

Следовательно, жилищная застройка (сам ее характер) выполняет целый ряд функций, важнейшей из которых является функция объединения людей, установления между ними социальных связей. С одной стороны, она является продуктом социальных отношений, а с другой – выступает существенным фактором регулирования всей системы социального взаимодействия. Кристаллизация данной традиции имеет своим последствием конфликты, процессы дезинтеграции, а также делинквентные проявления, что отчетливо наблюдается на примере так называемых “спальных” районов, которые не просто раздражают своей безликостью, но и дают наибольшее количество социальных отклонений в отношениях тех, кто там проживает.

В социально-экологическом плане более перспективным представляется возвращение к “идее двора”. И прецедент такого рода в Казани есть. Так, под руководством архитектора В.С.Токарева на улице Чистопольской возводятся несколько домов, где предпринимается попытка реанимировать рассматриваемую идею. Однако она имеет и своих противников, полагающих, что это слишком претенциозная задумка. Но это далеко не так. Имеющиеся там фонтаны, бассейны, светильники, скамеечки – это не излишества и не дань помпезности, а детали, которые стимулируют жителей к размышлениям, являются источником положительных эмоций и, в конечном счете, способствуют формированию у жильцов чувств идентичности со своим местом жительства, чувства гордости за то, что место его жительства неповторимо, уникально и комфортно. В то время, как места без особых архитектурных примет усиливают чувства заброшенности и одиночества, а архитектурно невыразительная, “пустая” среда вызывает на подсознательном уровне чувства напряжения и страха. Специфика восприятия архитектурно однообразных городских пространств в чем-то схожа с ассоциациями, которые возникают при наблюдении в одиночестве безграничного звездного неба.

Архитектура малых форм, помимо всего прочего, создает “уголок радости и добра”, способствующий удовлетворению такой экзистенциальной потребности, как потребность в безопасности, что также немаловажно в наше переменчивое, динамичное и тревожное время. Тем более что поиск новых способов организации всех сфер общественной жизни всегда увеличивал фактор неопределенности.

Есть такая дефиниция - топофимум, которая

фиксирует всю совокупность факторов, оказывающих влияние на отношение индивида к окружающему. Существует прямо пропорциональная зависимость между топофильной позицией и архитектурой малых форм. Наличие последних оберегает человека от хронически повторяющихся импульсов однообразия.

Таким образом, необходимы структуры, которые бы отслеживали указанные выше обстоятельства (“экстра” и “интро”) в процессе застройки городских территорий жилыми домами.

Необходимо создать комфортную среду обитания для жителей современных городов. Основой градостроительной политики должен стать генеральный план. При этом план должен пройти широкие общественные дискуссии с участием не только представителей заинтересованных компаний и специалистов, но и всего населения города. В результате градостроительная политика должна “стать осмысленной”.

Важным шагом в деле решения данной проблемы могло бы стать создание Координационного Совета по градостроительной политике, в который входили бы представители департаментов администрации города, Министерства строительства, архитектуры и ЖКХ, Государственного архитектурно-строительного надзора, представители отраслевой науки и строительных организаций. Одной из сфер деятельности данного совета, на наш взгляд, может служить анализ и доведение до широкой общественности не только организационных, технических, экологических проблем качества в строительстве, но и социально-психологические аспекты проблемы качества в строительстве, в основе которых лежат качественные изменения строящегося и реконструируемого жилища, необходимость перехода к проектированию и строительству энергоэффективных домов из экологически чистых материалов, изделий и конструкций, увеличения доли домов коттеджного типа в пригородных зонах, а, соответственно, и переход от типового проектирования и строительства к индивидуальному.

ЛИТЕРАТУРА

1. Березин В.П., Сборщиков С.Б., Кузнецов В.С., Шумейко Н.М. Основные параметры и показатели развития жилищной сферы и жилищного строительства в РФ // Экспресс-информация “Зарубежный и отечественный опыт в строительстве”, ВНИИИНТПИ, Москва. Сводный том №2, 2005. -С.10-12.
2. Березин В.П., Сборщиков С.Б., Кузнецов В.С., Шумейко Н.М. Анализ основных факторов формирования государственной стратегии в жилищной сфере // Экспресс-информация “Зарубежный и отечественный опыт в строительстве”, ВНИИИНТПИ, Москва. Сводный том №3, 2004. -С.17-21.
3. Черноушек М. Психология жизненной среды. - М.: Мысль, 1989. - С. 135.



УДК 658.012.12

А.И. Романова

МЕТОДОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОГО ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ИНВЕСТИЦИОННО- СТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Реальная ситуация в инвестиционно-строительном комплексе обострила проблему совершенствования деятельности строительных предприятий на основе изменения методологии планирования их функционирования.

Функционирование экономической системы предприятия представляет собой динамический процесс, в котором важнейшее место принадлежит двум ее сторонам: строению системы, от чего зависит характер взаимодействия элементов, и воздействию на эти элементы, от чего зависят способы достижения наилучших результатов. С позиции методологии это означает, что управление устойчивостью строительного предприятия следует рассматривать:

– в тесном единстве с устойчивостью экономики в

целом;

– во взаимосвязи с инвестиционно-строительным комплексом как целостным образованием;

– с позиции отдельно взятого предприятия, его структуры, составленной из определенных частей.

Другими словами, устойчивость отдельно взятого предприятия находится в таком же диалектическом взаимодействии с устойчивостью инвестиционно-строительного комплекса, как и устойчивость инвестиционно-строительного комплекса – с устойчивостью экономики в целом.

Устойчивость функционирования той или иной системы в результате воздействия внешней и внутренней среды всегда включает в себя нарушение как необходимый момент своего внутреннего

Источник возмущения		Степень воздействия источника возмущения на устойчивость строительного предприятия			
		Слабое	Средн.	Сильн.	Полно
I этап – выживание	Риск в обеспечении производства трудовыми, материальными, финансовыми ресурсами				
	Контрактный риск (ошибки в оплате, задержки в согласованиях, изменения в контрактной документации)				
	Недостаток квалифицированных рабочих				
	Изменения и (или) ошибки в проектных решениях				
	Нарушение управленческой дисциплины (в том числе установление некачественных пропорций в управлении)				
	Риск недополучения прибыли и (или) сокращения собственных средств предприятия				
II этап – функционирование	Появление нового конкурента				
	Использование системы зачетов вместо фактической оплаты СМР				
	Неэффективное использование капитала предприятия				
	Неплатежеспособность предприятия				
	Отсутствие продуманных сценариев развития				
	Не заинтересованность физических и юридических лиц в инвестировании строительства, либо неплатежеспособность заказчиков				
III этап – развитие	Несовершенство налоговой политики и законодательства				
	Непрогнозируемое увеличение тарифов на энергоресурсы				
	Отсутствие НИОКР				
	Изменения в политической обстановке				
	Инфляция				
Общее воздействие факторов на устойчивость					
		Предел устойчивости			
		Запас устойчивости			

Рис. 1. Оценка воздействия на инвестиционно-строительный комплекс возмущающих факторов (по этапам развития)



Рис. 2. Уровни экономической устойчивости строительного предприятия

противоречия. Действительно, вероятностному характеру производства свойственны случайные возмущения, объективно отклоняющие ход производственного процесса от запланированного. Это в особенности относится к строительному производству, которое является сложной, динамической, вероятностной системой с присущей ей большой степенью неопределенности поведения.

Современные, требующие первоочередного решения проблемы строительной отрасли, выявленные нами при анализе внешней среды и структурировании внутренних и внешних источников риска, позволили определить уровень гибкости (эластичности) инвестиционно-строительного комплекса к подобным возмущениям (рис.1). Было установлено, что инвестиционно-строительный комплекс имеет сегодня примерно 70% неустойчивости к возмущающим факторам, оставляя на “запас устойчивости” лишь 30%. В условиях конкуренции и внешнего потока возмущающих воздействий предприятие сможет успешно реализовать свои цели, если эффективность его функционирования обеспечит сохранение запаса устойчивости. Действие возмущающих факторов, как показало исследование, оказывает влияние на три составляющие устойчивого развития (рис.2):

1) управленческую, определяющую способность предприятия производить продукцию со средними издержками, достаточными для поддержания ее цены на конкурентном уровне в условиях изменения

ценовых факторов на входные и выходные материальные потоки;

2) финансовую, определяющую способность предприятия адаптироваться к изменяющемуся спросу на строительную продукцию, работы и услуги и обеспечить потоки финансовых средств, достаточные для поддержания баланса отношения с контрагентами строительного рынка (партнерами, заказчиками, поставщиками);

3) деловую, определяющую способность активов предприятия генерировать стабильные доходы на интервале развития и обеспечивающую возможность планирования новых видов деятельности (продукции).

Изменение этих составляющих приводит к переводу производственной системы из одного состояния (выживание) в другое (функционирование) и затем - третье (развитие), а линия, их соединяющая, определяет траекторию движения. Процесс жизнедеятельности предприятия рассматривается как неограниченное движение к цели, во время которого могут изменяться как сами цели, так и средства их достижения, а устойчивость процесса обеспечивается балансом стабилизирующих и возмущающих факторов.

Таким образом, под экономическим развитием строительного предприятия мы предлагаем понимать способность движущейся во временном пространстве производственной системы решить проблему

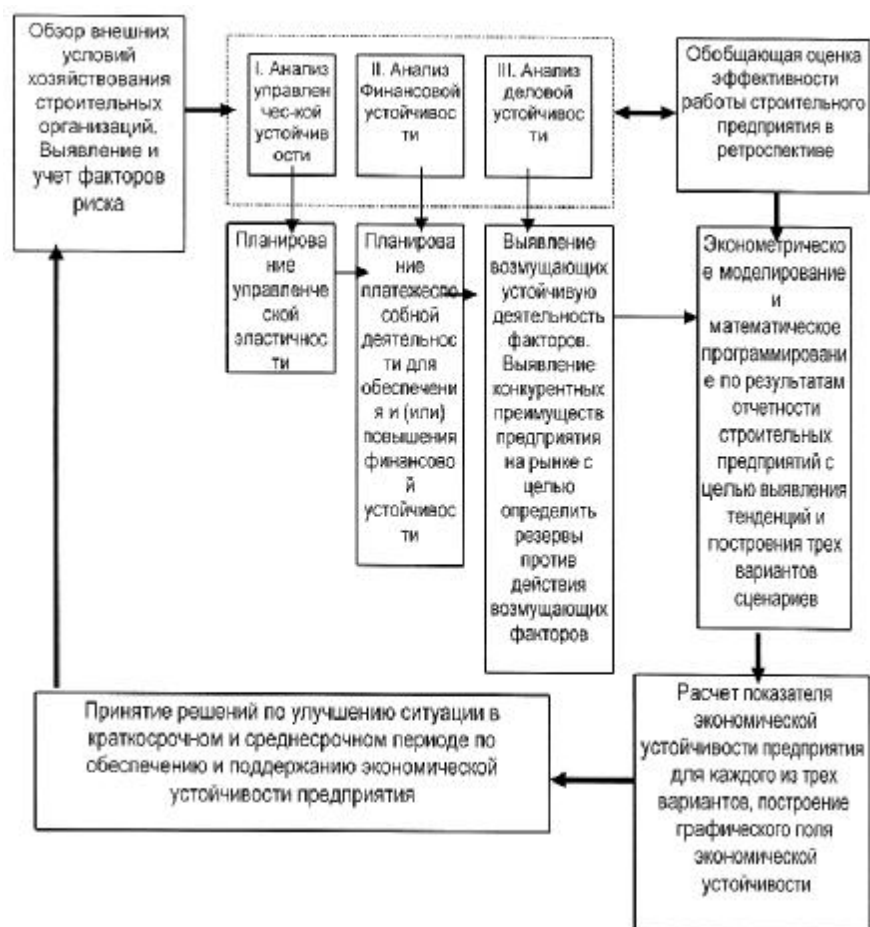


Рис.3. Методика оценки экономической устойчивости строительного предприятия

выживания (этап спада I) обеспечить нормальное функционирование (этап остановки спада II), и, не отклоняясь от своего движения при каких-либо внутренних и внешних воздействиях, развиваться в условиях конкурентной среды (этап роста III). Такое движение свидетельствует о повышении конкурентоспособности.

Логическая схема формирования и поддержания устойчивости и развития предприятия в конкурентной среде представляет последовательный процесс (рис. 3), развертывающийся по схеме:

- 1) в систему должна поступать достоверная информация о состоянии внешней среды и достоверная информация о ее внутреннем состоянии;
- 2) управляющая система должна быть гибкой и способной эту информацию перерабатывать и принимать разумные решения;
- 3) разумное решение должно приниматься с учетом текущего и возможных будущих состояний системы;
- 4) должен существовать эффективный механизм конкурентоспособности, который способен парировать всевозможные возмущения и удерживать систему в равновесии;
- 5) система должна быть открыта и способствовать применению инноваций (нововведений), способных приносить отдачу и повышать общий уровень

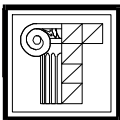
устойчивости;

- 6) ресурсы системы должны распределяться между ее элементами достаточно эффективно, чтобы не вызывать внутри нее антагонистических противоречий;
- 7) система должна находиться в окрестности траектории устойчивого развития, где ее основные макропоказатели сбалансированы;
- 8) система должна иметь перспективы развития и (или) примерный план приоритетных направлений развития.

Замкнутость цепочки “оценка состояния – диагноз – прогноз – стратегия” обеспечивает рассмотрение системы в динамике изменения состояния предприятия (отрасли), исследования динамических процессов развития при различных исходных данных и стратегиях управления и создания множества различных потенциально возможных сценариев его развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романова А.И. Вопросы планирования экономической устойчивости строительных предприятий: Монография.—Казань: КГАСА, ИСЭПНАНТ, 2001.—180с.
2. Экономика строительства // Москва, 2002-2004 гг.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕДНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНОГО КОМПЛЕКСА НА ЭКОЛОГИЮ ГОРОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОЭФФИЦИЕНТА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Экологическая ситуация современных городов становится все более напряженной. Причем, очевидной становится лидирующая роль автомобильно-дорожного комплекса в загрязнении атмосферного воздуха города. Основными источниками загрязнения являются автотранспортные предприятия, базы дорожно-строительной техники, гаражи, стоянки, пункты мойки, АЗС, станции техобслуживания, мастерские по техобслуживанию транспортной и дорожно-строительной техники, а также сами дороги и мосты. Но, в первую очередь, негативное воздействие на состояние окружающей среды города оказывают выхлопные газы автомобильного транспорта. Так, выявлена зависимость заболевания раком легких от уровня загрязнения атмосферного воздуха в городах с населением более 1 млн. человек, а также установлена прямо пропорциональная зависимость заболеваемости населения ишемической болезнью сердца от увеличения количества автотранспортных средств [1]. Выхлопные газы автомобилей представляют собой многокомпонентную смесь токсичных веществ органического и неорганического происхождения, уровень приземной концентрации которых в районе автомобильной дороги зависит как от техногенных, так и от природно-климатических факторов, таких, как направление ветра, температура воздуха, рельеф местности и т.д. Так, например, в выхлопных газах идентифицировано 57 органических веществ, которые в результате трансформации, под действием физико-химических факторов, таких как озон, УФ-излучение, образуют более токсичные соединения – альдегиды и кетоны, увеличивающие токсичность отходящих газов в 1,34 раза [2]. Кроме того, отработанные газы автотранспорта содержат тяжелые металлы, такие как свинец, кадмий и т. д., которые являются опасным токсикантом глобального значения. ореол распространения тяжелых металлов в почве вдоль автомагистрали распространяется на расстоянии до 100-150 м от полотна дороги [3]. В результате проведенных нами исследований выявлено, что содержание тяжелых металлов в асфальтобетонном покрытии, таких как свинец, кадмий, цинк, растет с течением времени эксплуатации, то есть наблюдается эффект поглощения тяжелых металлов асфальтобетонным покрытием. Представляется интересным способность асфальтобетонных покрытий сорбировать тяжелые металлы, за счет этого эффекта можно снизить концентрацию тяжелых металлов в

придорожной полосе, тем самым уменьшив нагрузку на окружающую среду. От других объектов автомобильно-дорожного комплекса также образуются отходы: растворители, нефтепродукты, взвеси, хлориды, загрязняющие сточные воды, а также твердые отходы (смет, тормозные накладки, стекломой, резина и т.д.). Так, например, во время эксплуатации автомобильных дорог, в результате износа дорожного покрытия, стирания автомобильных шин, происходит образование дорожной пыли, содержащей канцерогенные соединения, например, бенз(а)пирен, концентрация которого в окружающей среде в первую очередь зависит от интенсивности движения автомобильного транспорта. Итак, именно автомобильно-дорожный комплекс в больших городах по экологическому ущербу лидирует во всех видах негативных воздействий на окружающую среду: загрязнение атмосферного воздуха – 71 %, воздействие на климат – 68 %. Необходимость проводить экологический мониторинг автомобильно-дорожного комплекса очевидна.

Нашей задачей являлось определение степени воздействия автомобильно-дорожного комплекса на экологию города Казани.

Наибольшую сложность оценки состояния окружающей среды в зоне влияния автомобильных дорог представляет отсутствие единого обобщающего комплексного критерия. Поэтому необходима разработка системного подхода к технико-экологическим показателям для оценки взаимодействия дорожно-транспортного комплекса с окружающей средой. Таким обобщающим критерием может стать коэффициент экологической безопасности, который можно использовать для определения степени загрязнения автомобильных дорог. Он является интегрируемой величиной, базирующейся на частных показателях уровней загрязнения атмосферного воздуха, почвы, поверхностных и грунтовых вод. Расчет и использование его позволят объективно оценить состояние придорожной полосы.

Уровень загрязнения последней определяют с учетом концентрации в атмосферном воздухе токсичных веществ, транспортного шума и содержания тяжелых металлов в почве в придорожной полосе.

Суммарная относительная концентрация вредных веществ в атмосфере в зоне влияния дороги не должна превышать 1,0:



$$\sum C_i / \text{ПДК}_i < 1, \quad (1)$$

т.е.

$$C_{\text{CO}} / \text{ПДК}_{\text{CO}} + C_{\text{NO}} / \text{ПДК}_{\text{NO}} + C_{\text{CH}} / \text{ПДК}_{\text{CH}} < 1, \quad (2)$$

где C_{CO} , C_{NO} , C_{CH} - фактическая концентрация, соответственно, оксида углерода, оксидов азота и углеводородов, мг/м³;

ПДК_{CO} , ПДК_{NO} , ПДК_{CH} - предельно-допустимые концентрации указанных веществ, мг/м³.

При оценке степени загрязнения почвы придорожной полосы свинцом его концентрация не должна превышать предельно-допустимую. В этом случае:

$$C_{\text{Pb}} / \text{ПДК}_{\text{Pb}} < 1. \quad (3)$$

Аналогичное условие должно выполняться и при оценке акустического загрязнения (дБа):

$$L_{\text{экв}} / \text{ПДУ} < 1, \quad (4)$$

где $L_{\text{экв}}$ - эквивалентный уровень транспортного шума, дБа.

Итак, для комплексной оценки транспортного загрязнения придорожной полосы от совместного действия оксида углерода, азотистых соединений, углеводородов, свинца и шума рассчитывают коэффициент экологической безопасности K_3 , который представляет собой средневзвешенный показатель отношения суммы фактических или расчетных значений уровня загрязнения (с учетом степени опасности загрязняющего вещества) к сумме ПДК по всем загрязняющим веществам (также с учетом степени их опасности) и определяется из соотношения (5):

$$K_3 = \frac{C_{\text{CO}}}{\text{ПДК}_{\text{CO}}} + \frac{C_{\text{NO}}}{\text{ПДК}_{\text{NO}}} + \frac{C_{\text{CH}}}{\text{ПДК}_{\text{CH}}} + \frac{P_{\text{Pb}}}{\text{ПДК}_{\text{Pb}}} + \frac{L_{\text{экв}}}{\text{ПДУ}}, \quad (5)$$

где: K_3 коэффициент экологической безопасности;
 C_{CO} , C_{NO} , C_{CH} - фактическая концентрация, соответственно, оксида углерода, оксидов азота и углеводородов, мг/м³;

ПДК_{CO} , ПДК_{NO} , ПДК_{CH} - предельно-допустимые концентрации указанных веществ, мг/м³;

P_{Pb} - фактическая концентрация свинца в почве придорожной полосы, мг/кг;

ПДК_{Pb} - предельно допустимая концентрация свинца в почве придорожной полосы, мг/кг;

$L_{\text{экв}}$ - эквивалентный уровень транспортного шума, дБа;

ПДУ - предельно допустимый уровень транспортного шума на территории жилой застройки.

Нами были обследованы некоторые улицы города Казани [4]. Проанализировав полученные результаты, можно сказать, что значение коэффициента

экологической безопасности для таких улиц, как Техническая, Декабристов, Б.Красная, Пр.Победы и т.д. превышает допустимые значения. Наибольшее превышение допустимых норм наблюдается по транспортному шуму и выбросам углеводородов.

Таким образом, полученные данные достаточно убедительно характеризуют уровень загрязнений в городе от источников автомобильно-дорожного комплекса, что требует более серьезного отношения к сложившейся экологической ситуации. А также еще раз подтверждают необходимость разработки мероприятий по снижению негативного воздействия данных факторов на экологию города. В мире накоплен большой опыт внедрения мероприятий по снижению шума транспортных потоков и концентрации вредных веществ в зоне влияния автомобильной дороги в условиях урбанизированной среды. Опираясь на имеющиеся разработки, необходимо изменить экологическую ситуацию в городе в лучшую сторону.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красовицкая М.Л., Дмитриев М.Т., Кулеш Т.А., Барихин С.Я. Транспорт и окружающая среда. // Гигиена и санитария, 1984, №9. - С.9-11.
2. Малышева А.Г. Гигиеническая оценка фотохимической трансформации выхлопных газов автомобилей под действием озона. // Гигиена и санитария. 1993. №9. - С.6-8.
3. Макарова А.И., Полунин С.Ф., Ильин Н.П., Славин Ф.И. Ореолы рассеяния тяжелых металлов на территории, прилегающей к автомагистрали. // Гигиена и санитария, 1993, №7. - С.63-64.
4. Скибинская А.А. Локальный экологический мониторинг загрязнения окружающей среды от автомобильно-дорожного комплекса. Казань, 2002. - 201с.
5. Евгеньев И.Е., Каримов Б.Б. Автомобильные дороги в окружающей среде. - М.: ООО Транснаука, 1997. - 285с.
6. Подольский В.П., Артюхов В.Г., Турбин В.С., Канищев А.Н. Автотранспортное загрязнение придорожной территории. Воронеж.: Воронежский университет, 1999. - 263 с.
7. Подольский В.П. Методика определения коэффициента экологической безопасности. // Автомобильные дороги, 1995, №1-2. - С.31-33.
8. Найман С.М. Образование производственных отходов в жизненном цикле дороги.// Экология и промышленность России, 2004, №8. - С.35-39.



УДК 697.2

В.А. Бройда

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСТАТОЧНОЙ ТЕПЛОТЫ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ОТОПЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Производственные процессы нередко сопровождаются образованием нагретых газов, продуктов горения, имеющих достаточно высокую температуру, которые часто просто выбрасываются в атмосферу. Можно снизить энергетические затраты на отопление производственных помещений, утилизируя остаточную теплоту отработанных газов с помощью протяженного теплопередающего газохода. Для перемещения газов по газоходу требуется вентилятор, преодолевающий аэродинамическое сопротивление газохода.

В зависимости от количества, температуры, регулярности и продолжительности поступления горячих газов, их физических свойств такая система отопления может быть основной или дополнительной к основной, использующей другой источник тепловой энергии. Конкретное воплощение теплоутилизационного отопления может быть различно: при высокой температуре горячих газов - это вариант лучистого отопления, типа газоздушного лучистого отопления; либо газоход, проложенный в нижней зоне помещения с преимущественно конвективной теплоотдачей при невысокой температуре газов.

Целью данной статьи является энергетическое и экономическое обоснование рациональности использования остаточной теплоты отработанных газов с помощью теплоутилизационного газохода.

Основу расчета энергетической эффективности такого устройства составляет решение дифференциального уравнения изменения температуры горячих газов t при их перемещении по круглому газоходу, происходящем вследствие передачи тепла через его стенку в воздушную среду помещения [1]:

$$\frac{dt}{dx} = -\frac{4k(t-t_B)}{crwd} \quad (1)$$

где: x , d - соответственно, продольная координата по длине газохода и его диаметр, м;

w - средняя скорость горячих газов в сечении газохода, м/с;

r - плотность горячих газов, для воздуха

$$r = \frac{353}{273+t}, \text{ кг/м}^3;$$

c - теплоемкость горячих газов, кДж/(кг $^{\circ}$ С);

t_B - температура воздуха в помещении, $^{\circ}$ С;

k - коэффициент теплопередачи от горячих газов к воздушной среде помещения, Вт/(м 2 С).

Коэффициент теплопередачи определяется выражением

$$k = \frac{1}{1/a_B + d_{CT}/l_{CT} + 1/(a_K + a_L)}, \quad (2)$$

где: a_B - коэффициент конвективной теплоотдачи от горячих газов к стенке газохода, Вт/(м 2 С);

d_{CT} - толщина стенки газохода, м;

l_{CT} - коэффициент теплопроводности материала стенки, для стали - $l_{CT} = 52$ Вт/(м $^{\circ}$ С);

a_K , a_L - соответственно, коэффициенты конвективной и лучистой теплоотдачи от стенки газохода в помещение, Вт/(м 2 С).

По данным [2] для течений в каналах применимы формулы:

$$a_B = \frac{Nu_{\Gamma} \cdot l}{d} \quad (3)$$

$$Nu_{\Gamma} = 0,018 \cdot Re^{0,8} \quad (4)$$

$$Re = \frac{w \cdot d}{n} \quad (5)$$

где: Nu_{Γ} , Re - соответственно, критерии Нуссельта и Рейнольдса для течения внутри газохода;

l - коэффициент теплопроводности газа, Вт/(м $^{\circ}$ С);

n - коэффициент кинематической вязкости газа, м 2 /с;

Величины u зависят от состава газа и его температуры. В диапазоне от 30 до 280 $^{\circ}$ С их значения для воздуха приближенно могут быть рассчитаны по формулам:

$$l = (2,44 + 0,0072t) \cdot 10^{-2} \quad (6)$$

$$n = (12,275 + 0,1135t) \cdot 10^{-6} \quad (7)$$

Величина определяется критериальными уравнениями [2]:



$$a_K = \frac{Nu \cdot l}{d} \quad (8)$$

$$Nu = 0,5 \cdot (Gr \cdot Pr)^{0,25} \text{ при условии} \quad (9)$$

$$10^3 \leq Gr \cdot Pr \leq 10^8 \quad (9)$$

$$Gr = \frac{b d^3 g(t - t_B)}{n^2} \quad (10)$$

где: Nu, Gr, Pr - соответственно, критерии Нуссельта, Грасгоффа и Прандтля для внешнего теплообмена;

b - коэффициент объемного расширения, для воздуха, $b = \frac{1}{273+t}$, $1/^\circ\text{C}$;

g - ускорение свободного падения, м/с^2 .

Коэффициент лучистой теплоотдачи может вычисляться по формуле [2]:

$$a_L = e \cdot c_0 \cdot 10^{-8} ((273+t)^4 - (273+t_B)^4) / (t - t_B) \quad (11)$$

где: e, c_0 - соответственно, приведенная степень черноты обменивающейся системы и коэффициент излучения абсолютно черного тела, для стальных окисленных поверхностей, $e \cdot c_0 = 4,7 \text{ Вт/}(\text{м}^2\text{K}^4)$ [3].

Решение дифференциального уравнения (1) находится численно, методом Рунге-Кутты при граничном условии:

$$\text{при } x = 0, t = t_\Gamma \quad (12)$$

где: t_Γ - температура горячего газа в начале газохода, $^\circ\text{C}$.

Энергетическую эффективность использования остаточной теплоты отработанных газов для отопления помещений можно оценить показателем h :

$$h = \frac{t_\Gamma - t}{t_\Gamma - t_B}, \quad (13)$$

который рассчитывается на основе решения дифференциального уравнения (1).

За меру оценки экономической эффективности принимается срок окупаемости затрат (год), на устройство и использование теплоутилизационного газохода с вентилятором

$$N = \Delta K / \Delta \mathcal{E}, \quad (14)$$

где: ΔK - увеличение капитальных вложений, связанное с устройством теплоутилизационного газохода, руб;

$\Delta \mathcal{E}$ - уменьшение эксплуатационных годовых затрат, руб/год.

Уменьшение эксплуатационных затрат обусловлено, в основном, экономией затрат на тепловую энергию (руб/год) и одновременно учитывает некоторое возрастание затрат на электроэнергию, расходуемую на работу вентилятора (руб/год). Другие виды эксплуатационных затрат в данной модели не рассматриваются как существенно меньшие. Тогда

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta T - \Delta \mathcal{E}_L. \quad (15)$$

В свою очередь, уменьшение затрат на тепловую энергию рассчитывается по формуле:

$$\Delta T = \frac{Q \cdot h \cdot (t_B - t_{OT}) \cdot 8 \cdot sm \cdot Dn \cdot z_{OT} \cdot c_T}{(t_B - t_H) \cdot 7} \quad (16)$$

где Q - количество тепла, поступающего с горячими газами в теплоутилизационный газоход, кВт;

t_H, t_{OT} - соответственно, расчетная для отопления температура наружного воздуха и средняя температура наружного воздуха за отопительный период [4], $^\circ\text{C}$;

z_{OT} - продолжительность отопительного периода [4], сут;

sm - число рабочих смен в сутки;

Dn - число рабочих дней в неделю;

c_T - стоимость тепловой энергии, которую замещает тепло утилизации, руб/кВт-час (руб/Гкал).

Количество тепла (кВт), поступающего в газоход, рассчитывается по формуле:

$$Q = w_H \cdot \frac{p \cdot d^2}{4} \cdot c_\Gamma \cdot r_\Gamma \cdot (t_\Gamma - t_B), \quad (17)$$

где: w_H - скорость газов в начале газохода, м/с;

c_Γ, r_Γ - соответственно, теплоемкость и плотность горячих газов в начале газохода, $\text{кДж}/(\text{кг}^\circ\text{C})$, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Увеличение годовых затрат на электроэнергию, связанных с работой вентилятора, определяется выражением (используется модель одноставочного тарифа):

$$\Delta \mathcal{E}_L = Ne \cdot 8 \cdot sm \cdot \frac{Dn}{7} \cdot z_{OT} \cdot c_E, \quad (18)$$

где: Ne - электрическая мощность, потребляемая вентилятором, кВт;

c_E - стоимость электроэнергии, руб/кВт-час.

Следует учесть, что наиболее рационально устанавливать вентилятор в конце газохода, так как в этом случае протяженный газоход находится под разрежением, снижается вероятность просачивания горячих газов в воздушную среду помещения и



вентилятор находится под воздействием остывших газов. Потребляемая вентилятором электрическая мощность (кВт) определяется по формуле:

$$Ne = \frac{P \cdot w \cdot p \cdot d^2}{4 \cdot 1020 \cdot КПД}, \quad (19)$$

где: P - аэродинамические потери давления в газоходе, Па;

$КПД$ - полный коэффициент полезного действия вентилятора.

Аэродинамические потери давления в газоходе складываются из потерь по длине и потерь в местных сопротивлениях. Оба вида потерь давления зависят от изменяющейся температуры газов в газоходе и, следовательно, от продольной координаты

$$P = \int_0^l R dx + \sum_1^n (x_i \cdot r \cdot w^2 / 2), \quad (20)$$

где: R - удельная потеря по длине газохода, Па/м;

l - длина газохода, м;

x_i - коэффициент потери давления в местном сопротивлении;

n - общее число местных сопротивлений газохода.

Удельные потери по длине газохода рассчитываются по известным формулам аэродинамики с использованием коэффициента трения, определяемого по формуле Альтшуля [3].

Увеличение капитальных вложений, связанных с устройством теплоутилизационного газохода, обусловлено, в основном, затратами на материал, изготовление и монтаж самого газохода и затратами на вентилятор и его монтаж:

$$\Delta K = p \cdot d \cdot l \cdot c_F + Vent, \quad (21)$$

где: c_F - стоимость материала, изготовления и монтажа 1 м² газохода, руб/м²;

$Vent$ - стоимость вентилятора и его монтажа, руб.

Используя приведенные зависимости, можно рассчитать технико-экономические характеристики теплоутилизационного газохода и, в частности, энергетическую эффективность h и срок окупаемости N .

Пример расчета.

Вычисления произведены для климатических условий г. Казани [4]: $t_H = -32^\circ C$, $t_{OT} = -5,2^\circ C$,

$z_{OT} = 215$ сут. Температура внутреннего воздуха

$t_B = 16^\circ C$, диаметры газохода $d_1 = 0,1$ м и $d_2 = 0,15$ м, суммы коэффициентов местных потерь давления в начале и конце газохода приняты, соответственно, $x_1 = 2$,

$x_2 = 2$, эквивалентная шероховатость стенок, с учетом

возможных отложений $K_3 = 0,001$ м. Ценовые

характеристики по условиям г. Казани на 1.07.2004 г.: $c_T = 0,251$ руб/кВт-час тепловой энергии (292,07 руб за 1 Гкал),

$c_E = 1,34$ руб/кВт-час электроэнергии, стоимость стального газохода с толщиной стенки 1 мм составляет

для $d_1 = 0,1$ м - 662 руб/м², для $c_F = 0,15$ м - 717 руб/м²,

ориентировочная стоимость вентилятора $Vent = 10000$ руб. Результаты расчета нескольких вариантов газохода представлены в таблице 1.

Результаты расчета показывают, что наряду с существенным изменением технических характеристик (таких как: температура газов, эффективность утилизации, расходуемая электрическая мощность и др.) существенно меняются и экономические характеристики (эксплуатационные затраты, капитальные вложения, срок окупаемости).

Из представленных данных следует, что экономичность варианта теплоутилизационного газохода существенно зависит от его конкретного технического исполнения (диаметра и длины, начальной скорости газов, их температуры), режимных параметров (числа рабочих смен и дней в неделю, когда производятся отработанные газы) и стоимостных характеристик тепловой и электроэнергии, а также используемых материалов и изделий. Причем, высокая энергетическая эффективность ($h = 0,85 - 0,75$) не совпадает с коротким сроком окупаемости, и, наоборот, высокая экономическая эффективность (срок окупаемости $N = 2,5 - 4$ года) соответствует ограниченной длине газохода и эффективности $h = 0,55 - 0,7$. Полученные в расчетах сроки окупаемости свидетельствуют об экономичности рассматриваемого способа теплоутилизации.

Кроме обстоятельств, учтенных в представленной модели расчета, возможны различные технические ограничения, снижающие реальную энергетическую и экономическую эффективность утилизации тепла. К таковым могут относиться: длинные транзитные теплоизолированные участки газохода; ограничение конечной температуры как защита от возможной конденсации водяных паров газовой среды; устройство предохранительных клапанов на газоходе и пр. Тем не менее, используя приведенную методику расчета как основу, можно определять экономически целесообразную конструкцию теплоутилизационного газохода и добиваться наиболее рационального варианта утилизации тепловой энергии для целей отопления производственных помещений.



Таблица

Условия расчета	Расчетные величины	Значения величин при длине газохода l м				
		20	30	40	50	60
1	2	3	4	5	6	7
d=0,1 м w _H =12,0 м/с t _r =150 °C c _F =662 руб/м ² sm=3 Dn=7	t, °C	77,5	59,6	47,5	39,1	33,5
	h	0,55	0,68	0,77	0,83	0,87
	Q · h, кВт	8,9	11,1	12,6	13,6	14,3
	Ne, кВт	0,073	0,089	0,1	0,118	0,13
	ΔK, руб	14160	16239	18319	20399	22478
	ΔЭ, руб/год	4574	5723	6469	6959	7278
	N, год	3,1	2,83	2,83	2,93	3,09
d=0,15 м w _H =8,0 м/с t _r =150 °C c _F =717 руб/м ² sm=3 Dn=7	t, °C	85,3	6,74	54,7	45,5	38,6
	h	0,48	0,62	0,72	0,78	0,83
	Q · h, кВт	11,9	15,2	17,5	19,2	20,5
	Ne, кВт	0,04	0,044	0,05	0,056	0,06
	ΔK, руб	16758	20136	23515	26894	30273
	ΔЭ, руб/год	6536	8372	9669	10601	11280
	N, год	2,56	2,41	2,43	2,54	2,68
d=0,15 м w _H =12,0 м/с t _r =150 °C c _F =717 руб/м ² sm=2 Dn=5	t, °C	96,8	80,1	67,4	57,6	49,4
	h	0,4	0,52	0,62	0,69	0,75
	Q · h, кВт	14,7	19,3	22,8	25,5	27,6
	Ne, кВт	0,13	0,178	0,18	0,198	0,22
	ΔK, руб	16758	20136	23515	26894	30273
	ΔЭ, руб/год	3556	4731	5613	6284	6797
	N, год	4,71	4,26	4,19	4,28	4,45
d=0,15 м w _H =15,0 м/с t _r =110 °C c _F =717 руб/м ² sm=3 Dn=7	t, °C	81,1	70,7	62,3	55,4	49,6
	h	0,31	0,42	0,51	0,58	0,64
	Q · h, кВт	10,0	13,5	16,4	18,8	20,8
	Ne, кВт	0,31	0,37	0,43	0,49	0,55
	ΔK, руб	16758	20136	23515	26894	30273
	ΔЭ, руб/год	3549	5751	6400	7372	8123
	N, год	4,72	3,91	3,67	3,65	3,73

Примечание: жирным шрифтом выделены наиболее выгодные варианты, с наименьшими значениями срока окупаемости.

ЛИТЕРАТУРА

- Бройда В.А. Эффективное использование остаточной теплоты продуктов горения и сбросных газов для отопления помещений: Материалы 11 Международной научной конференции "Качество внутреннего воздуха и окружающей среды". Волгоград: ВолгГАСУ, 2003. - С.75-78.
- Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1973. - 318 с.
- Отопление и вентиляция. Ч.2. Вентиляция. /Под ред. В.Н. Богословского. М.: Стройиздат, 1976.- 439 с.
- СниП 23-01-99* Строительная климатология/Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. - 70 с.
- Богуславский Л.Д., Симонова А.А., Митин М.Ф. Экономика теплогазоснабжения и вентиляции. М.: Стройиздат, 1988. - 351 с.



УДК 66.067

А.В. Шарафутдинова, В.Ф. Шарафутдинов

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В ТРУБОПРОВОДАХ СО ВСТРОЕННЫМИ ФИЛЬТРУЮЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Транспортировка сточных вод по трубопроводам к очистным сооружениям осуществляется за счет создания насосом большого давления на начальном участке трубопровода. Это высокое давление можно использовать для получения части очищенной жидкости непосредственно из трубопровода с помощью фильтров, встроенных в этот трубопровод. Для этого вместо некоторого отрезка трубы вставляется фильтровальный элемент, по форме подобный удаленному участку трубы. Внутренний радиус полой трубы R совпадает с внутренним радиусом фильтровального элемента, толщина фильтрующего элемента d может не совпадать с толщиной трубы. За счет перепада давления, который равен разности давления внутри трубопровода и атмосферного давления P_0 вне трубы, осуществляется течение жидкости через фильтр, а тем самым и очистка жидкости от примесей.

Особенностью такого процесса очистки сточных вод является то, что по мере увеличения концентрации крупных частиц у поверхности фильтра они смываются с нее потоком жидкости, тем самым происходит самоочистка поверхности фильтра, что, в свою очередь, не позволяет уменьшаться расходу жидкости через встроенный фильтр. Фильтры изготавливаются из различных материалов в зависимости от потребности очистки стоков от тех или иных примесей. В данном процессе очистки требуется, чтобы фильтры обладали определенной прочностью. Поэтому по их способности задерживать те или иные примеси, они изготавливаются из полимеров, металлокерамики, спрессованной ацетатцеллюлозы и т. д. [1, 2, 3].

Целью данной работы является определение расчета производительности фильтровального элемента. Для построения схемы рассмотрим течение жидкости внутри трубы, стенками которой служит этот фильтровальный элемент.

Решая задачу в цилиндрической системе координат z, r, ϕ , будем учитывать, что через боковую поверхность фильтра уходит лишь малая часть жидкости, а основная часть жидкости проходит в осевом направлении Oz , как в обычной трубе. Вышеуказанное позволяет записать

неравенства: $V_r \ll V_z$, $\frac{\partial V_r}{\partial z} \ll \frac{\partial V_z}{\partial r}$. С учетом этих неравенств и осевой симметрии уравнения движения и сохранения масс внутри трубы можно записать в виде [4]:

$$\frac{\partial P}{\partial z} = m \cdot \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot \left(r \cdot \frac{\partial V_z}{\partial r} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial r V_z}{\partial z} + \frac{\partial r V_r}{\partial r} = 0, \quad (2)$$

где P - давление, μ - вязкость жидкости, V_z, V_r - проекции вектора скорости жидкости.

Так как давление меняется в направлении оси r много меньше, чем направление оси z , будем полагать,

что $P = P(z)$ и $\frac{\partial P}{\partial z} = \frac{dP}{dz}$. Интегрируя (1)

дважды по r , с учетом граничных условий

$$V_z|_{r=R} = 0, \quad \frac{\partial V_z}{\partial r} \Big|_{r=0} = 0, \text{ имеем:}$$

$$V_z = -\frac{1}{m} \cdot \frac{dP}{dz} \cdot \frac{R^2 - r^2}{4} \quad (3)$$

где R - внутренний радиус стенки трубы.

Далее, подставляя (3) в (2) и интегрируя полученное уравнение по r , с учетом граничного условия

$$V_r|_{r=0} = 0, \text{ получим:}$$

$$V_r = \frac{1}{16m} \cdot \frac{d^2 P}{dz^2} \cdot (2R^2 r - r^3) \quad (4)$$

Перейдем теперь к рассмотрению фильтрации жидкости через стенки трубы, изготовленной из фильтровального элемента. В нашем случае закон Дарси и уравнение неразрывности запишутся в виде [5]:

$$W = -\frac{k}{m} \cdot \frac{\partial P}{\partial z}, \quad \frac{\partial r W}{\partial r} = 0, \quad (5)$$

где W - проекция скорости фильтрации в направлении оси r ; k - проницаемость осадка; P - давление в порах фильтра.

Решая совместно уравнения (5), с учетом граничных условий на давление $P|_{r=R} = P_R$,

$$P|_{r=R+d} = P_0, \text{ получим:}$$



$$W = \frac{k}{m} \cdot \frac{P - P_0}{r \cdot \ln\left(1 + \frac{d}{R}\right)} \quad (6)$$

В формуле (6) учтено, что P_R равно давлению жидкости в трубе P .

Так как на границе раздела полость трубы фильтр, соблюдается равенство потоков жидкости

$W|_{r=R} = V|_{r=R}$, на основании (4), (6) получим обыкновенное дифференциальное уравнение:

$$\frac{R^3}{16m} \cdot \frac{d^2 P}{dz^2} = \frac{k}{m} \cdot \frac{1}{R} \cdot \frac{P - P_0}{\ln\left(1 + \frac{d}{R}\right)}, \quad (7)$$

из которого можно определить $P = P(z)$.

Введем безразмерные величины равенствами:

$$\bar{z} = \frac{z}{L} \quad \bar{P} = \frac{P - P_0}{P_0} \quad (8)$$

$$a^2 = \frac{16 \cdot k \cdot L^2}{R^4 \cdot \ln\left(1 + \frac{d}{R}\right)},$$

где L - длина фильтровального элемента в направлении оси z .

Решение дифференциального уравнения (7) с учетом граничных условий $P|_{z=0} = P_1$,

$P|_{z=L} = P_2$ и новых безразмерных величин (8) имеет вид:

$$\bar{P} = \frac{1}{sha} \cdot (\bar{P}_1 \cdot sh \cdot (a \cdot (1 - \bar{z})) + \bar{P}_2 \cdot sha \cdot \bar{z}), \quad (9)$$

где $\bar{P}_1 = (P_1 - P_0) / P_0$;

$\bar{P}_2 = (P_2 - P_0) / P_0$.

Основными характеристиками, представляющими практический интерес, являются следующие объемные расходы жидкости:

Q_1 - через сечение трубы $\bar{z} = 0$, Q_2 через сечение $\bar{z} = 1$; q - через фильтр.

С учетом того, что объемные расходы определяются равенствами:

$$Q_1 = 2p \int_0^R V_z|_{\bar{z}=0} \cdot r dr; \quad Q_2 = 2p \int_0^R V_z|_{\bar{z}=1} \cdot r dr;$$

$$q = 2pR \int_0^L W|_{r=R} \cdot dz$$

учитывая равенства (3), (6), (9), получим:

$$Q_1 = \frac{pR^4 \cdot P_0}{8mL} \cdot a \cdot \frac{\bar{P}_1 \cdot cha - \bar{P}_2}{sha} \quad (10)$$

$$Q_2 = \frac{pR^4 \cdot P_0}{8mL} \cdot a \cdot \frac{\bar{P}_1 - \bar{P}_2 \cdot cha}{sha} \quad (11)$$

$$q = \frac{pR^4 \cdot P_0}{8mL} \cdot a \cdot \frac{(\bar{P}_1 + \bar{P}_2) \cdot (cha - 1)}{sha} \quad (12)$$

Соотношения (10), (11), (12) показывают, что выполняется физически очевидное равенство:

$$Q_1 - Q_2 = q.$$

Для того, чтобы показать, как используются равенства (10), (11), (12) для расчета конкретного трубопровода с фильтровальными элементами, рассмотрим в качестве примера трубопровод, у которого на расстоянии L_1 от насоса встроен фильтр, длиной L , а после фильтра есть участок трубы длиной L_2 , из которого жидкость изливается в очистные сооружения.

Заданными считаются давления на выходе из насоса $P = P_n$ и на выходе из трубопровода $P = P_k$.

На участках трубопровода до фильтра и после фильтра расходы Q_1 и Q_2 рассчитываются по формуле Пуазейля [4]:

$$Q_1 = \frac{pR^4 \cdot P_0}{8mL_1} \cdot (\bar{P}_n - \bar{P}_1); \quad (13)$$

$$Q_2 = \frac{pR^4 \cdot P_0}{8mL_2} \cdot (\bar{P}_2 - \bar{P}_k); \quad (14)$$

где $\bar{P}_n = (P_n - P_0) / P_0$.

$\bar{P}_k = (P_k - P_0) / P_0$.

Сравнивая (13), (14) с (10), (11), находим давления

$$\bar{P}_1 \text{ и } \bar{P}_2: \quad \bar{P}_2 = \frac{a_1 \cdot \bar{P}_n + a_2 \cdot (cha + a_1) \bar{P}_k}{sh^2 a + (a_1 + a_2) \cdot cha + a_1 \cdot a_2} \quad (15)$$

$$\bar{P}_1 = \frac{a_1 \cdot (cha + a_2) \bar{P}_n + a_2 \cdot \bar{P}_k}{sh^2 a + (a_1 + a_2) \cdot cha + a_1 \cdot a_2} \quad (16)$$

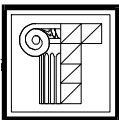


$$\text{где } a_1 = \frac{L}{L_1} \cdot \frac{sha}{a}; \quad a_2 = \frac{L}{L_2} \cdot \frac{sha}{a}.$$

Таким образом, проанализировав полученные равенства (15), (16), на основании формулы (12) получили искомый расход отфильтрованной жидкости q и на основании (14) расход жидкости Q_2 , поступающей в очистные сооружения. Для проверки справедливости формул (12), (15), (16) проводилось сравнение расчетов с экспериментальными данными, полученными при отфильтровании воды через фильтры, изготовленные из металлокерамики ($\kappa = 10^{-13} \text{ м}^2$). Относительная погрешность по q не превышала 9%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веричев Е.К. Многослойная керамика для ультрафильтрации масел // Тр. НИИ Стройкерамика. № 60, 1987. - С. 56-65.
2. Фарсиянц С.Ю., Опалейчук Л.С. Новые виды фильтрующих изделий // Стекло и керамика. № 8, 1989. - С. 17-18.
3. Дубяга В.П., Перепечкин Л.П., Каталевский Е.Е. Полимерные мембраны. - М.: Химия, 1987. - 232 с.
4. Кочин Н.Е., Киббель И.А., Розе Н.В. Теоретическая гидромеханика. Ч. II. - М.: Изд. ф.-м. лит.-ры, 1963. - 727 с.
5. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. - М.: Недра, 1984. - 207 с.



УДК 378.2,378, ББК 74.58

А.Б. Адельшин., Н.А. Муратова, Л.Р. Хисамеева

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБУЧЕНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАЧЕСТВ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 290800 “ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДООТВЕДЕНИЕ”

Цель прогрессивного обучения студентов – углубленное получение знаний, когда в зависимости от уровня специальной подготовки и способностей самого студента он вовлекается в самостоятельную работу, закрепляя пройденный материал и вырабатывая навыки творческого подхода к оценке различных вариантов принятых решений, развивая умение ориентироваться в потоке технической информации.

Основными элементами активных самостоятельных методов и форм активации познавательного процесса студентов по кафедре “Водоснабжение и водоотведение” (ВиВ) являются проектирование, научно-исследовательская и опытно-конструкторская работы (НИОКР) по реальной тематике, в том числе по заявкам производства, выполняемые в процессе курсового и дипломного проектирования.

Тематики дипломных проектов (работ) по НИОКР и проектирование на реальных исходных данных формируются в течение 1-2 лет. По разработанной на кафедре ВиВ методике “Сплошного курсового и дипломного проектирования” НИОКР, работы на реальной основе студенты начинают выполнять с 3 и 4 курсов, логически завершая их защитой дипломного проекта (работы), в том числе внедряя свои разработки в производство.

Темы курсовых и дипломных проектов (работ) по водоснабжению и водоотведению посвящаются решению одной из следующих задач:

- вариантное проектирование – разрабатываются различные варианты с целью нахождения наиболее эффективного в технологическом, техническом, санитарно-гигиеническом и экономическом отношении решения;

- оценка патентоспособности технологии, устройств систем ВиВ, проведение достаточно полного патентно-литературного поиска;

- обследование объектов и разработка проектных, конструктивных, объемно-планировочных решений и мероприятий по повышению эффективности работ систем ВиВ;

- исследование процессов в системах ВиВ, включающее: планирование эксперимента, разработку методологии опытов и опытных лабораторных или полупромышленных установок, в том числе расчет,

проектирование, конструирование, изготовление, монтаж, пуск и наладку; выбор аппаратов и приборов; моделирование опытных процессов и опытных установок очистки вод и систем ВиВ; алгоритмизацию задач на ПЭВМ; обработку результатов экспериментов; проверку и оценку адекватности опытных с теоретическими данными; разработку рекомендаций для расчета, конструирования, проектирования объектов систем ВиВ;

- модернизация, реконструкция существующих и создание новых установок, стендов в лабораториях кафедры ВиВ, а также в целом специализированной учебно-исследовательской лабораторной базы и базы технического обслуживания лабораторий кафедры ВиВ;

- создание и реализация специализированных аудиторий, кабинетов и материализованных средств обучения для учебно-научного процесса по специальности 290800 ВиВ;

- создание и реализация автоматизированных насосных станций ВиВ с регулируемым электроприводом и частотным преобразователем, позволяющими изменять динамические параметры насосной станции при сохранении высокого значения КПД насосных агрегатов;

- создание и реализация автоматизированного контроля и управления работой водоводов и камер переключений для оперативного регулирования на аварийные ситуации при эксплуатации;

- моделирование управления работой установок комплексной лаборатории для разработки и реализации рекомендаций в системах ВиВ.

Курсовой и дипломный проекты (работы) считаются реальными, если:

- предложен предприятием, организацией, НИИ;

- предложен студентом и отражает требования техники, технологии и организации производства, их развития и исследования в конкретном объекте предприятия и подтвержден заявкой (письмом) предприятия;

- соответствует разделам плана госбюджетной или хоздоговорной НИОКР или работы, выполняемой по договорам научно-технического сотрудничества и грантам;

- посвящен разработке и созданию лабораторных



стендов, установок и приборов, используемых в учебно-исследовательском процессе;

- имеются авторские свидетельства, патент, рационализаторские предложения, дипломы, грамоты и премии всероссийских, республиканских, международных выставок, конкурсов на экспонаты, являющиеся предметом разработки проекта (работы);

- имеется запрос предприятия или организации на материалы проекта (работы) для его использования.

Реальный курсовой и дипломный проект считаются внедренными, когда:

- предприятие или организация предоставили справку или акт об использовании разработок проекта (работы) или о принятии разработки к внедрению;

- материалы проекта (работы) опубликованы;

- материалы включены в отчет предприятий организации НИИ;

- поданы рационализаторское предложение или заявка на предполагаемое изобретение;

- разработанные стенд, установка, прибор используются в учебно-исследовательском процессе;

- материалы включены в отчеты по НИОКР и т.д.

Для выполнения реальных курсовых и дипломных проектов (работ) руководитель проекта совместно со студентами получают от заказчика необходимые исходные данные; руководитель составляет задание, согласовывает его с заказчиком и утверждает у заведующего кафедрой.

Если реальное задание дано по технологической части проекта, то остальные разделы (автоматизация, организация строительства, экономика и др.) в случае взаимосвязанности привязываются к этой части [1].

Реальное проектирование с элементами НИОКР обычно выполняется студентами, успешно занимающимися научной работой.

Реальное сплошное курсовое и дипломное проектирование выполняется одним или двумя студентами или творческой группой (3-4 студента) при индивидуальном задании, в пределах тематики НИОКР каждому студенту отдельно. При последнем проект (работа) защищается творческой группой или отдельно каждым членом группы по своим разработкам в пределах тематики.

После защиты реальный проект или реальные наиболее интересные разработки оставляются на кафедре и используются в учебном процессе при альтернативно-вариантом проектировании, а

выполненные - по заявке предприятий передаются заказчику.

В 2004 году кафедра ВиВ осуществила реализацию методики "Сплошного курсового и дипломного проектирования" с реальными элементами, с охватом 89% контингента дипломников дневного и заочного обучения, 48,2 % - с элементами в области научных исследований.

Кроме расчетно-пояснительной записки и чертежей в составе дипломного проекта (работ) на кафедре реализованы следующие формы представления результатов исследований: научный отчет, реферат – аналитический обзор, доклад на научной конференции с публикацией тезисов, статьи в журнале, конструкторская документация, опытный образец разработки, прибор, лабораторная установка, устройство, аппарат, патент, проект [2].

Наиболее значительные и реальные разработки в дипломных проектах (работах) выпуска 2004 года:

- моделирование процессов и разработка установок очистки нефтесодержащих сточных вод на основе использования закрученных потоков (с рекомендаций ГАК по использованию материалов в дальнейшей разработке кандидатской диссертации);

- методика постановки лабораторной работы на намывном фильтре;

- блочная установка очистки нефтесодержащих сточных вод;

- реконструкция сооружений очистки хозяйственно-бытовых сточных вод малых населенных пунктов;

- оптимизация и реконструкция систем сбора и распределения воды р.ц. Верхний Услон в РТ;

- совершенствование водоснабжения г. Казани с использованием подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Министерство образования Российской Федерации. Государственный стандарт высшего профессионального образования. 653500 строительство. М., 2000.
2. Околелов О.П. Современные технологии обучения в вузе: сущность, принципы проектирования, тенденции развития //Высшее образование в России. – М.: 1994, №2. - С.45.



УДК 355.082.4+316.614

О.В. Торкунов

ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ СТУДЕНТОВ В ПЕРИОД ИХ ОБУЧЕНИЯ НА ВОЕННОЙ КАФЕДРЕ КГАСУ

В современном обществе человек все чаще сталкивается с различными проблемами психологического характера. Изменение ритма жизни, дефицит времени, изменение сроков и способов решения задач требуют новых подходов к решению вопросов сохранения психического здоровья человека. Особое значение сохранение психического здоровья приобретает в связи с выполнением человеком важных государственных задач. Одной из таких задач в современном российском обществе была и остается задача защиты Отечества. Федеральное законодательство определяет военную службу в Вооруженных Силах РФ как особый вид федеральной государственной службы. Эта особенность, прежде всего, заключается в том, что профессиональная деятельность военнослужащих состоит в повседневном исполнении обязанностей военной службы, которые могут исполняться в мирное время, в условиях чрезвычайного или военного положения, а также в состоянии войны [5].

В условиях реформирования Вооруженных Сил РФ и перехода на профессиональную армию особую важность приобретает вопрос подготовки мобилизационных ресурсов и, прежде всего, ресурсов офицеров запаса. В постановлении Военного совета Главного командования Сухопутных войск Вооруженных Сил РФ, принятом в сентябре 2004 года, отмечается, что призыв офицеров запаса на военную службу на 24 месяца становится одним из полноправных и постоянных источников комплектования офицерских должностей в Вооруженных Силах. На первый план выдвигается проблема кардинального изменения подходов к подготовке студентов на военных кафедрах. В качестве главной задачи определено доведение уровня подготовки офицеров запаса на военных кафедрах до уровня, обеспечивающего уверенное исполнение должностных обязанностей по предназначению в мирное время. Таким образом, обучение студентов по программам подготовки офицеров запаса приобретает сегодня значительную актуальность [3,4].

В Казанском государственном архитектурно-строительном университете военная кафедра существует с 1968 года. За это время было подготовлено 7344 офицера запаса для артиллерийских частей и подразделений Сухопутных

войск ВС РФ. Из них 483 человека прошли службу по призыву сроком 24 месяца, а 17 человек принимали участие в боевых действиях на Северном Кавказе.

В настоящее время на кафедре проходят подготовку более 350 студентов, которые осваивают 6 военно-учетных специальностей для артиллерии, автомобильных войск и войск гражданской обороны. Необходимо отметить, что обучение на военной кафедре проводится на добровольной основе (по личному желанию студента), и его можно рассматривать в качестве дополнительной образовательной программы для граждан мужского пола, являющихся студентами 3 и 4 курсов.

Расширение спектра задач, решаемых на кафедре, увеличение числа подготавливаемых специальностей требуют применения новых подходов к организации учебного процесса как со стороны руководства кафедры, так и от каждого преподавателя. Как показал проведенный в 2003-2004 годах опрос выпускников военной кафедры, прошедших службу в войсках, 87,7% из них отмечают, что, имея достаточные знания техники и вооружения, они не имели необходимого уровня психологической готовности к выполнению своих служебных обязанностей на должностях офицеров. Поэтому из всего многообразного спектра вопросов подготовки офицеров запаса будет более подробно рассмотрен вопрос их психологической готовности к выполнению обязанностей военной службы.

Анализ публикаций [1,2] по вопросам психологической готовности выпускников военных кафедр (факультетов) к прохождению службы в Вооруженных Силах показал, что их психологическая адаптация к условиям военно-профессиональной среды сегодня практически не рассматривается. Квалификационные требования, предъявляемые к выпускнику военной кафедры, предусматривают наличие у него соответствующей степени годности по состоянию здоровья, обладание им командно-методическими навыками, умение применять изученные образцы техники и вооружения и т.д. Вместе с тем, ни в одном документе, регламентирующем учебный процесс на военной кафедре, не говорится о психологической подготовке будущих офицеров.

Для решения этой задачи необходимо спланировать и проводить психологическое



сопровождение обучаемых в процессе учебы, обратив особое внимание на изучение индивидуальных особенностей студентов, выявление у них устойчивой мотивации и формирование психологической готовности к продолжению военной службы на офицерских должностях. Для этого предлагается программа внедрения психологического сопровождения в учебном процессе военной кафедры КГАСУ, которая состоит из следующих этапов.

Организационный этап. Он предполагает организацию работы на военной кафедре по психологическому сопровождению процесса обучения по соответствующей военно-учетной специальности. Прежде всего, он включает в себя планирование процесса психологического сопровождения, определение должностных лиц из штатного состава военной кафедры, ответственных за данное направление работы, разработку инструментария для проведения тестирования студентов, организацию взаимодействия с соответствующими структурами в составе университета. Планирование психологического сопровождения предполагается проводить на учебный год с учетом двухгодичного обучения на военной кафедре. Должностные лица, ответственные за организацию и проведение этой работы, должны иметь соответствующую профессионально-психологическую подготовку и навыки практической работы с обучаемым контингентом. Также необходимо отметить, что, несмотря на специфику данной работы, ее необходимо проводить в общем контексте воспитательной и патриотической работы, организованной в учебном заведении.

Первый этап. Психологическое сопровождение студентов необходимо начинать при отборе кандидатов для прохождения обучения по программам подготовки офицеров запаса. В настоящее время в соответствии с требованиями руководящих документов отбор заключается в оформлении личного заявления студента на имя ректора вуза и прохождении им медицинской комиссии через закрепленные за военными кафедрами военные комиссариаты. На основании результатов медицинского обследования и заявления студента включают в приказ ректора о начале подготовки на военной кафедре.

Однако именно на этом этапе необходимо проводить индивидуальное изучение студента, выявлять его мотивацию к обучению по программе подготовки офицера запаса, что позволит в дальнейшем строить работу по психологическому сопровождению каждого обучающегося.

Второй этап. Он представляет собой длительный процесс на протяжении всего обучения студента на военной кафедре и должен включать в себя:

- индивидуальные беседы;

- изучение изменений в автобиографических данных;

- изучение успеваемости студента как на военной кафедре, так и по основным дисциплинам, изучаемым в вузе в соответствии с выбранной специальностью;

- психологическое тестирование;

- рассмотрение вопросов психологической готовности в ходе проведения занятий;

- освоение студентами навыков командования подчиненным личным составом и т.д.

Практика показывает, что формирование психологической готовности к продолжению службы на должностях офицеров в войсках зависит от ряда факторов. Во-первых, в значительной степени на эффективность и результативность образовательного процесса оказывает уровень материально-технического обеспечения проводимых занятий. Изучение образцов устаревшей техники, отсутствие современных учебно-тренировочных комплексов значительно снижают мотивацию при освоении определенных военных специальностей. Во-вторых, отрицательную роль играют недостаточная профессиональная и методическая подготовленность преподавательского состава. С другой стороны, сочетание уставной требовательности и специфики преподавания в гражданском вузе оказывает положительное влияние на формирование позитивного отношения к службе в армии.

Сегодня среди преподавателей военной кафедры Казанского ГАСУ 85% офицеров имеют опыт службы на командных должностях в войсках более 10 лет, из них около 70% - свыше 20 лет. В настоящее время на военной кафедре работают 2 офицера, имеющие боевой опыт, полученный при прохождении службы на территории Республики Афганистан, 5 офицеров принимали участие в ликвидации незаконных вооруженных формирований на Северном Кавказе, 4 человека проходили службу в Республике Таджикистан, 1 офицер является участником ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС. В учебном процессе и они, и другие преподаватели кафедры умело сочетают изложение теоретического материала с вопросами практического применения частей и подразделений как в мирное время, так и в условиях боевой обстановки.

На этом этапе психологического сопровождения учебного процесса необходимо отметить роль дисциплинарной практики, применяемой в отношении студентов. Комплексное использование методов поощрения и наложения дисциплинарных взысканий позволяет значительно повысить мотивацию будущих офицеров к выполнению повседневных обязанностей и качественному освоению учебной программы.



Третий этап. Предусматривает психологическое сопровождение в ходе учебного сбора после завершения основного обучения на военной кафедре, который проводится, как правило, в войсковых условиях.

Здесь важную роль играют планирование сбора, подготовка учебно-материальной базы, методическое мастерство преподавателей, профессионально-педагогическая подготовка офицеров войсковых частей, проводящих занятия, организация внутренней службы и бытовых условий и другие аспекты.

Аналитический этап. Предусматривает обобщение и анализ проведенной работы по психологическому сопровождению обучения студентов на военной кафедре за определенный отрезок времени, позволяет выделить положительные стороны и недостатки, определить направления дальнейшего совершенствования психологических аспектов формирования готовности к службе в войсках.

В связи с рассматриваемой темой определенный интерес представляют исследования, проведенные О.Д. Мулявой [2]. Им сделан сравнительный анализ результатов опросов офицеров, желающих продолжать службу, с офицерами, решившими уволиться. Анализ показал, что основные отличия данных категорий офицеров заключаются в разной направленности мотивации, ценностных ориентаций, в уровнях профессиональной подготовленности, дисциплинированности, социальной активности. Те, кто желает продолжать службу, более уверенно выполняют нормативы по специальной подготовке, не испытывают больших проблем в профессиональном становлении, им чаще оказывают помощь сослуживцы, и, что особо примечательно, они в четыре раза выше оценивают

морально-психологическую подготовку, полученную в ходе обучения в вузе. Кроме того, хорошая психологическая подготовка позволила этой категории офицеров запаса уменьшить уровень конфликтности в период прохождения службы как с непосредственным начальством, так и с сослуживцами и подчиненными.

Таким образом, психологическое сопровождение обучения студентов по программам подготовки офицеров запаса позволяет изучить их индивидуальные особенности, повысить мотивационную направленность на качественное овладение определенной военно-учетной специальностью и сформировать психологическую готовность к продолжению военной службы на офицерских должностях в Вооруженных Силах России.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лемешонок А.Ф., Мулява О.Д. Социально-психологические аспекты подготовки офицерских кадров // Прикладная психология. М., 2001. №3. - С.37-43.
2. Мулява О.Д. Из вуза – на офицерскую службу: вопросы социально-профессиональной адаптации // Социологические исследования. 2003, №6. - С.64-69.
3. Положение об обучении граждан РФ по программам подготовки офицеров запаса на военных кафедрах при образовательных учреждениях высшего профессионального образования. Постановление Правительства РФ от 14 ноября 1999 г. № 1255 // Российская газета, 29.11.1999.
4. Постановление Военного совета Главного командования Сухопутных войск РФ // Красная Звезда, 3.10.2004.
5. Федеральный закон “О воинской обязанности и военной службе” // Российская газета, 28.03.1998.



УДК 72.01.: 373.57

М.Ю.Забрускова, Н.Ф.Рябов, С.Ю.Шер, Т.Ф.Мухаметзянов, А.А.Мустафина, Т.В.Смирнова, Д.Р.Галиакберова

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ДОВУЗОВСКОГО АРХИТЕКТУРНО-ХУДОЖЕСТВЕННОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Формирование проектного мышления как стимул для развития личности подростка

Приобщение к архитектурной и дизайнерской деятельности в детстве имеет чрезвычайно большое образовательное и воспитательное значение, способствуя развитию воображения, мышления, формируя отношение к жизни, людям и мировоззрение в целом.

Общими для этих двух профессий являются: во-первых, метод - проектный подход, во-вторых, объект - окружающая человека искусственно созданная среда. Что касается объекта, то особых усилий для привлечения внимания ребенка к такому объекту вроде бы не требуется. Ведь это и есть как раз та часть действительности, с которой он постоянно находится в контакте, начиная от чашки, ложки, игрушек в младенчестве, до разнообразных вещей, техники в школьном возрасте.

Несколько сложнее отношения ребенка с архитектурой, поскольку эта категория "больших вещей" не соприкасается непосредственно с повседневными заботами маленького человека. Она дальше отстоит от области его жизненного опыта. Архитектура организует то пространство, где ребенок обитает, и ее присутствие во многом остается неосознаваемым ребенком - так же, как и воздух, которым он дышит.

Но, являясь неотъемлемым материальным условием нашей жизни, постоянно воспринимаемая на подсознательном уровне архитектура ведет свою великую воспитательную работу, формируя человека. Убогость среды обитания, бедность пространственного опыта детей вызывают большое беспокойство. Необходимо учитывать результаты исследований в области психологии среды, показывающие влияние характера среды на психику и взаимоотношения людей. Эти исследования показали, какое позитивное значение имеет для человека возможность проявить активное отношение, конструктивную позицию по отношению к среде. И в первую очередь, это возможность творческого проявления в организации среды своего обитания. А полученный ребенком в детстве опыт самостоятельности в обустройстве своего "первичного" пространства переносится им впоследствии на иные жизненные реалии и даже на отношения с людьми.

Обучение основам проектного подхода, освоение

профессиональных средств в подростковом возрасте представляет особую ценность с точки зрения развития личности ребенка. Занятия проектированием позволяют вырабатывать определенную организацию мышления, осваивать способы работы с информацией, сложными объектами, развивать видение диалектики формы и содержания, материального и духовного; пробуждать позитивно-созидательное, конструктивное отношение к действительности. Выработка таких качеств происходит в фантазийной работе над предметно-практическими заданиями по композиции, моделированию, эвристике, музыкальной эстетике. Казалось бы, оторванный от действительности процесс развития замысла на самом деле очень важен тем, что дает подростку важный опыт позитивно-созидательной, осмысленной, в полном смысле слова, конструктивной позиции. Этот опыт, возможно, даже не осознаваемый человеком в полной мере, может затем послужить ему образцом для использования в иных ситуациях и областях жизни. Этот опыт в стенах архитектурной школы - существенный вклад в формирование человека с активной и ответственной жизненной позицией.

Проектирование всегда основывается на целостном, многофакторном подходе и при анализе исходной ситуации, и при поиске оптимальных решений. Это всегда умение увидеть объект с разных сторон - как в физическом (в разных проекциях), так и в содержательном, качественном смысле (в разных аспектах, с точки зрения разных заинтересованных сторон). Все это, безусловно, имеет большое значение в психологическом и социальном отношениях, поскольку формирует определенные способы, алгоритмы мышления, которые накладывают отпечаток на весь склад личности человека и проявляются затем в его способах действия не только по отношению к проектируемым объектам, но и по отношению к людям, жизненным ситуациям вообще. Не случайно возник афоризм, что архитектура - это не профессия, а образ жизни.

Влияние метрических закономерностей в архитектуре на подростков

Формирование представления о прекрасном в архитектуре невозможно без учета особенностей зрительного восприятия. Кажется, что может быть проще для человека, чем смотреть и видеть? Человек учится этому с детства. Архитектура (искусственная



среда) для жителя большого города чаще всего является “учебником”, по которому он учится видеть.

По данным МВД, четверо из пяти подростков, состоящих на учете в милиции – дети спальных районов. Близоруких школьников в городах вдвое больше, чем в сельской местности. Новая болезнь, названная синдромом большого города, есть следствие постоянного визуального стресса. Произошедшие в 20 веке перемены в понимании красоты были кардинальны настолько, что новая видимая среда вступила в противоречие с физиологией.

Известно, что человеческий глаз медленные движения в стороны чередует с быстрыми. Этих быстрых движений (саккад) совершается до двух в секунду. В это время глаз ничего не успевает рассмотреть. Видеть и рассматривать – задача медленных движений, нарушение же саккад ведет к расстройствам зрения и психики. Если мы смотрим на большую голую плоскость, на которой глазу не за что “зацепиться”, он судорожно мечется в поисках точки, но не находит ее. Длительное общение с такими плоскостями (гомогенными полями) нарушает ритм саккад. Второй источник нарушения саккад – плоскость, перенасыщенная одинаковыми элементами (агрессивное поле). Здесь глаз опять не может “зацепиться” за точку. Как и гомогенное, агрессивное поле не дает сориентироваться в пространстве – если первое утомляет, второе – перевозбуждает. Жилые панельные коробки спальных районов – это гомогенные плоскости с торца и агрессивные – с длинных сторон.

Причины возникшего противоречия известны. Одна из них – переход на новые абстрактные системы измерения и, как следствие этого, – замена пропорциональных систем монотонными модульными сетками, удобными для оперирования типовыми элементами. Все стандарты длины, площади, веса закреплены в десятичной системе, базирующейся на метре и квадрате. Первым же инструментом человека же было его тело и более всего – рука, давшая наибольшее число единиц измерения (сажень, локоть, пядь, дюйм).

“Презрев” руку, “отравляя” глаз, архитектура разлучает человека с его телом. Входя в ежедневный визуальный контакт с новым учебником жизни, он теряет естественные навыки телесного контакта с миром. Плата за случившиеся нововведения высока – разрушение человека как целостности, а в отношении подрастающего поколения есть риск, что оно не обретает такого качества.

Преподавательский коллектив школы “ДАШКА” пытается формировать у своих учеников представления о подлинной, живой красоте. Однако в самом фактическом расположении школы заложено противоречие.

Многэтажное, монотонное по своему композиционному построению и агрессивное по воздействию здание студенческого городка, в котором расположена школа, не отвечает нормам зрения, а значит, некрасиво и опасно для человека. Каждый раз, приближаясь к школе, ученик “видит” эту некрасоту всем своим телом и неизвестно, что сильнее по силе своего воздействия – это видение или слова учителя, звучащие затем.

Приемлемым решением проблемы может стать использование ее для учебной проработки колористического решения фасада здания и дальнейшей реализации, желательно, с участием самих подростков. Именно цвет может изменить неблагоприятное визуальное поле.

Объемные трансформеры как средство развития пространственного мышления

В курсе обучения старших подростков в школе “ДАШКА” в последние годы практикуется преподавание эвристики как предмета, развивающего творческое мышление через практические задания, активизирующие как логическое, так и пространственное мышление.

Преподаватель эвристики С.Ю.Шер разработал ряд конструкторов и трансформеров, с помощью которых учащиеся могут моделировать различные пространственные структуры. Некоторые из них – это игры-головоломки.

1. Конструктор из пирамидальных элементов (комбинаций тетраэдров и полуоктаэдров, склеенных по граням).
2. Конструктор из цепочек тетраэдров и октаэдров, склеенных по ребрам.
3. Трансформер “Пирамикуб” (куб со вложенным в него тетраэдром), складывающийся в полуоктаэдр из различных цветов, октаэдр и ряд других фигур.
4. Трансформер “Куб-додекаэдр”.
5. Трансформер “Куб-ромбический додекаэдр” (двенадцатигранник с ромбическими гранями).
6. Трансформер “Додекаэдр-ромбический додекаэдр”.
7. Группа трансформеров (“матрешка”) “Додекаэдр-куб-тетраэдр-октаэдр”.

Освоение языка композиционного моделирования

В пропедевтике проектирования курс моделирования, наряду с рисунком, композицией, музыкальной эстетикой является важным предметом, позволяющим учащимся с еще одной стороны “взглянуть” на проектирование. Учащиеся получают возможность мыслить и выражать свои идеи в реальном пространстве, развивая свое объемно-пространственное мышление.

Взаимопонимание между преподавателем и учеником является важным фактором в процессе обучения. Для его достижения в формулировке заданий



и их оценке должны использоваться общие термины, характеризующие различные качества проекта. Эти термины, осваиваясь, составляют “язык” предмета композиционного моделирования. Задача преподавателя, если проводить параллель с обычным языком, не только научить “разговаривать” на этом языке, но и “слагать стихи”, “сочинять”.

Методика обучения строится на принципе дедукции – от общего к частному. В начале курса вводятся такие обозначения основных качеств проектируемой композиции, как: композиционная модель, иерархия композиционного строя. Используются обобщенные названия для элементов, выражающих идею композиции: пятна, линии, точки, оси (направления), ритм, движение. Определяются качества макета, с помощью которого моделируется композиция: компоновка работы, аккуратность и завершенность работы.

Затем добавляются более абстрагированные термины: образ, форма, формообразование, конструкция. Вводятся понятия: цвет, контраст, нюанс. Макет позволяет освоить такие качества, как прочность, относительный масштаб.

На завершающем этапе омысляются такие понятия, как идея, глубина, оригинальность, нестандартность, нешаблонность идеи и, наконец, понятия, приближающие к философским смыслам – умение и творчество.

Ориентация процесса обучения на связь с реальными проектными задачами

Рамки архитектурного образования зачастую ограничивают представлением объекта на бумаге, не давая возможности для реального воплощения и материализации идеи. Учащиеся большую часть времени уделяют формообразованию и графическому изображению объекта проектирования.

Потребность вывести процесс работы даже над детскими замыслами на уровень работы с реальными параметрами заставляет активно искать задания, создающие детям подобную возможность. Основными рассматриваемыми проблемами в этом случае становятся реальные условия функционирования объекта и размещения его в среде, решения вопросов прочности, строительной технологии и прочее, в той мере, в какой это окажется посылно подростку. Все это само по себе начинает играть роль мотивирующего фактора, и подросток начинает не “играть”, а ощущать реальную ответственность за качество решения задачи.

Организация учебного процесса по принципу лаборатории продуктивнее в этом плане, поскольку структура учебной программы открыта для динамических изменений. Такие динамичные изменения, подключенные к учебному процессу, произошли в последнее время в виде активной работы по конкурсным программам как всероссийским, так и городским: проект реконструкции здания

Третьяковской галереи на Крымском валу в Москве, проект Продюсерского центра для детей “Созвездие” и памятник-obelisk ликвидаторам Чернобыльской аварии для Казани. Такие работы сопровождаются выездом на место или ознакомительным путешествием, контактом с реальным “заказчиком”, погружением в его пожелания и видение проекта. Все это не только расширяет возможности для создания интересной работы, но позволяет соприкоснуться с разными областями жизни, с реальными проблемами, реальным социумом, обогатить жизненный опыт подростка.

Метод архитектурного моделирования в курсе объемно-пространственной композиции

Одной из задач пропедевтического образования является формирование целостного представления о профессиональной деятельности. В силу возрастных психологических особенностей подростку сложно осознавать и удерживать “в голове” объективные межпредметные взаимосвязи. Интегрированный курс объемно-пространственной композиции позволяет исправить ситуацию.

Курс объемно-пространственной композиции основан на проблеме создания модели виртуального (возможного, субъективного) пространства. В процессе формирования замысла решение единой задачи раскладывается на более мелкие, которые, в свою очередь, могут состоять из еще более мелких, предметных. Это делает процесс доступным для понимания подростков этого возраста.

Процесс обучения, а точнее, совместного (ученика и преподавателя) творчества происходит на основе применения универсального метода архитектурного проектирования. Основная цель при этом – развитие созидательного потенциала личности подростка через использование свойственной человечеству формы существования – перманентная организация окружающего пространства, материализация субъективных моделей его.

Невообразимо сложный в своих структурно-пространственных взаимосвязях процесс организации пространства предполагает использование определенных элементов (знаний) и способов оперирования ими, т.е. деятельность (умения, навыки). Внешнее по отношению к подростку пространство культуры “поставляет” ему элементы, внутреннее пространство (сознание) помогает все “приводить” в свой, субъективный порядок, т.е. организовывать элементарно-пространственные отношения.

Процесс создания подростком виртуальной модели субъективного пространства можно разделить на составляющие:

1. Формирование профессионального тезауруса – метод визуальной, понятийной, смысловой направленности:

- основан на познавательных способностях



человека;

- цель – направленное формирование необходимых профессионально-значимых связей в сознании подростка;

- происходит через знакомство с архетипами, прасимволами цивилизации;

- как методическое средство используется медиатор – нечто внешнее по отношению к ученику (явление, стиль образ), дающее толчок в поиске идеи пространства, на основе чего “конструируются” сами виртуальные модели и действия с ними.

Это основной способ оказать влияние на становление мировоззрения подростка.

2. Созидательно-творческое моделирование:

- основано на способности человека к деятельности;

- результат – идеальная (не материальная) виртуальная модель субъективного пространства;

- состоит из трех взаимосвязанных процессов: восприятия, творческого переосмысления и отображения.

Это, по сути, воспроизводит естественную для человека форму его существования.

Можно выделить следующие этапы формирования модели субъективного пространства.

1. Формулирование задания (не выдача):

- учебное задание (процесс восприятия внешнего фактора) – творческий процесс осмысления – задание на моделирование (процесс отображения).

2. Создание (в сознании и в представлениях) виртуальной модели субъективного пространства:

- задание на моделирование (результат первого этапа), аналоги – творческий процесс оперирования архетипами – графическое (или иное) отображение в эскизах.

3. Отображение модели идеального пространства:

- графическое (или иное) отображение как восприятие внешнего фактора – творческий процесс оперирования средствами архитектурной композиции – профессиональная графика.

Перечисленные этапы особым образом встроены друг в друга и имеют сложную многомерную структуру. Именно поэтому формирование индивидуального метода моделирования становится совместной творческой деятельностью подростка и преподавателя.

Использование метода архитектурного моделирования в интегрированном курсе объемно-пространственной композиции для подростков 11-14 лет позволяет ученикам данного возраста осознать целостный процесс создания архитектурной модели и уметь выделять и успешно решать более частные задачи формирования пространства для человека.

“Визуализация” экспрессии звукового мира средствами графики и колористики на интегрированных уроках музыкальной эстетики

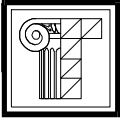
В последние десятилетия настойчиво звучит мысль о необходимости воспитания полихудожественной культуры учащихся и идут активные поиски интеграции в образовании в области искусств. Чрезвычайно важно направление на синэстетичность в методике нашей школы. Это развитие синэстетического восприятия, основанного на ощущении взаимосвязи между видимым и слышимым; звуком и цветом, формой и изображением; между звуковой и визуальной композициями; между ощущаемым с помощью других органов чувств.

Для нас, единственной архитектурной школы, введшей курс музыкальной эстетики, является актуальным поиск наиболее полного сопряжения задач по развитию музыкальной культуры и архитектурного мышления.

Один из таких путей видится в активизации пространственных представлений при восприятии музыки. Тот факт, что восприятие музыки в той или иной мере сопровождается визуальными и пространственными представлениями, вызвал интерес к природе этих представлений, их психологическим истокам, их влиянию на развитие музыкальной культуры, а также к возможному потенциалу для развития пространственного мышления в рамках учебного процесса детской архитектурной школы.

Исследования в этой области позволили выявить и обосновать условия для активизации пространственных представлений как необходимого компонента, сопровождающего музыкальное восприятие, а затем сформулировать задачи для курса музыкальной эстетики.

Интеграция программы музыкальной эстетики с программами композиции и живописи позволяет решать задачи развития как музыкальной культуры, так и визуального мышления. В качестве графических средств, которые могут применяться для визуализации, избираются именно те, которые изучаются и активно используются на занятиях по композиции, рисунку, живописи. Такая интеграция поднимает уровень визуализации пространственных представлений, делает ее продуктивной, повышает степень удовлетворенности учащихся своей работой. Для преподавателей композиции и живописи открывается дополнительная возможность диагностики “остаточных знаний” и степени освоения подаваемого ими материала.



МИРОВОЗЗРЕНИЕ: ПЛЮРАЛИЗМ И ПРОБЛЕМА МОНИЗМА

На исходе эпохи перестройки в еще советском обществе живо обсуждался вопрос: хороши ли наши принципы? По сути дела, речь шла о мировоззренчески-методологических основаниях всей идеологической модели советского строительства. Но произошли “распад СССР”, “крах коммунизма”, и вот уже 15 лет Россия находится в переходном состоянии реформ, которые “не идут”, а если идут, то так, что подавляющая масса российского населения все более оказывается униженной, обкраденной и оскорбленной. Как обстоят дела с нашими сегодняшними российскими принципами, правомерно ли, например, говорить о российском мировоззрении наших дней? Аналогичный вопрос возникает и применительно к земному человечеству, которое в своем цивилизационном развитии реально поставило себя на грань самоистребления. Ф.Ницше как-то заметил: человечество – пустой звук. Есть ли сегодня единое человечество с единым мировоззрением? Мне представляется, что указанные вопросы носят глубоко нетривиальный характер и ответы на них следует искать в русле философско-методологических феноменов плюрализма и монизма, что весьма немаловажно и для вузовского образовательного процесса.

1. Монистически-коммунистическая парадигма.

Россия – единственная страна в мире, которая после октября 1917 года пошла путем утверждения и реализации единого (монистического) и именно – коммунистического мировоззрения, выдвинутого и обоснованного К.Марксом и Ф.Энгельсом.

Содержание человеческого сознания, согласно Марксу, лишь тогда превращается в мировоззрение, когда оно приобретает характер убеждений, окончательной и непоколебимой уверенности в правоте своих идей, “...которые овладевают нашей мыслью, нашими убеждениями, и к которым разум приковывает нашу совесть, – это узы, из которых нельзя вырваться, не разорвав своего сердца”,...[1, с.118]. Маркс, образно говоря, восстал против всей истории человечества, объявив все прежнее сознание иллюзорным и подчеркивая, что мир частной собственности способен порождать только иллюзии, главные из которых – религия и идеализм, общая ненаучность или недостаточная научность в понимании природы и общества. Маркс всегда подчеркивал, что он – ученый и поднимается “по каменистым тропам” науки. Основными критериями научности Маркс фактически провозгласил принципы материализма, диалектики, предметной истинности

знания, общественной (коммунистической) сущности человека. Маркс и Энгельс фактически выдвинули и разрабатывали программу интересубъективного и интернационального научного мировоззрения в форме диалектического материализма, который включает в себя выдвинутые ими философские основания и данные всех положительных наук о природе и об обществе. В противоположность гегелевской объективно-идеалистической “мировой схематике” с идеей первенства в истории германского духа (можно сказать, немецкой идеи), Маркс и Энгельс выдвинули коммунистически-интернациональную идею, общую концепцию монистического мировоззрения, которое включает единое понимание природы, общества и человеческого мышления, раскрывает “эволюцию мира” через законы материалистической диалектики и закономерность, естественно-историческую неизбежность для всего планетарного человечества наступления эпохи коммунизма, с которой только и начнется подлинная история человечества как скачка из царства необходимости в царство свободы.

В.И.Ульянов-Ленин настойчиво подчеркивал, что Маркс достроил материализм “до верху”, построил “законченный материализм”, фактически – законченное мировоззрение как связанное, целостное, общее воззрение на систему мир(природа) – человек, на место человека в мире, на смысл и назначение, ценностные ориентиры человеческой жизнедеятельности [2,с.44].

Подчеркну и то, что именно в России в конце XIX столетия марксистские взгляды были критически самым тщательным образом проанализированы русскими религиозными философами (по “линии Соловьева”), которые признавали “правду социализма” (В.С.Соловьев), но выдвинули концепцию русской идеи как идеи русской нации, которая призвана идти в авангарде прогресса формирования богочеловечества [3].

Однако события в России пошли по иному сценарию – сценарию марксистов – ленинцев – большевиков. Правда, В.И. Ульянов-Ленин, скрываясь в Разливе от сыщиков Временного правительства, писал, что ещё летом 1917 года никто не мог предположить, что именно России выпадет честь – “поднять знамя мировой революции”. И решение о штурме Зимнего дворца ленинская команда приняла в расчёте на мировую революцию. Основанием же всех своих теоретико-практических изысканий Ленин, его ближайшие соратники взяли марксизм с его тремя составными частями – философией, политической экономией,



научным социализмом. Россия, как считал Ленин, “выстрадала марксизм” как единую социалистическую идеологию. Ленин же сформулировал соответствующий принцип партийности: “или буржуазная, или социалистическая идеология – середины нет”.

С развитием СССР стали говорить о научном мировоззрении, которое соподчиняет себе всю духовную культуру. В Программе КПСС было отмечено: при социализме научное мировоззрение, основу которого составляет марксизм – ленинизм как стройная система философских, экономических и социально-политических взглядов, становится основой духовной жизни общества.

Вся система образования, воспитания была чётко запрограммирована в русле “научного марксистско-ленинского мировоззрения” и “построения светлого будущего”. “Моральный кодекс строителя коммунизма” был провозглашён основой воспитания. Все основные мировоззренческие и жизневоззренческие понятия (жизнь, смерть, смысл жизни, совесть, долг, добро, патриотизм и т.д.) интерпретировались на одном “официальном уровне”, в русле коммунистического монистического мировоззрения.

Историческим фактом является и то, что такое мировоззрение имело многих и многих приверженцев, порождало романтизм и героизм, особенно на фронтах гражданской войны, в производственно-экономической сфере, в годы Великой Отечественной войны, в послевоенном восстановлении народного хозяйства, на “стройках коммунизма” и др.

Но “коммунистическая идея” потерпела всё-таки поражение. Человечество не пошло по пути Маркса, произошёл “развал СССР”.

Естественно, возникает множество вопросов: почему, кто виноват, в чём ошиблись? И неизменно, на мой взгляд, возникают и такие вопросы: не является причиной или одной из причин указанного распада именно жёсткая мировоззренческая монистическая модель? Не является ли она сама проявлением “иллюзорного сознания”?

2. Постсоветский плюрализм.

Фактически эти вопросы вообще не рассматривались в российском обществе, вступившем после августа 1991 года на новый “цивилизованный путь развития”. Не было ни внятного “осуждения”, ни совестливого и рационального “покаяния”. Политическая элита России меняла прежде всего политическое и экономическое функционирование общества, отказавшись на деле от коммунистической идеи, утверждая принцип А. Смита о “могучей руке рынка”.

Но вот уже 15 лет мы живем в “новой России”. Что можно сказать о мировоззренческом функционировании российского общества? Каковы наши новые принципы, насколько они хороши?

Факты, а факты, как известно, упрямая вещь, на мой взгляд, свидетельствуют о том, что российское общество вступило в эпоху мировоззренческого плюрализма. Прежде всего государство (“власть”) не заявляет, не предлагает обществу некоей единой “державной” концепции мировоззрения. Функционируют все религиозные конфессии. Религиозная жизнь в России стала настолько свободной, что уже приходится бороться с т.н. религиозным экстремизмом, острейшей для российского общества становится проблема толерантности, религиозной терпимости. Политические деятели, включая и Президента РФ, четко демонстрируют свои религиозные взгляды.

В РФ образовано и образуется множество политических партий, движений, объединений, имеющих свои мировоззренческие приоритеты. Нельзя не заметить роста в обществе различных “фобий” – ксенофобии, русофобии, юдофобии.

И, наверное, не только у меня, но и у многих в связи с отмеченным возникает, особенно на общем “диком-капиталистическом” фоне развития постсоветской России, немало поистине мучительных вопросов: что же дали народу (как говорит Президент В. Путин, “населению”) страны отказ от коммунистической идеи, позиция: назад возврата не будет?, улучшилось ли общее духовно-интеллектуальное состояние общества при столь масштабном мировоззренческом плюрализме?, улучшил ли этот плюрализм нашу нравственность?, каким должен быть в частности вузовский образовательный (учебно-воспитательный) процесс, особенно его воспитательная компонента (духовно-нравственная, гражданская, патриотическая) с учетом феномена мировоззренческого плюрализма? Нужно ли изучать в вузе основное содержание мировых религий?

Но дело не просто в отмеченном плюрализме как таковом. Важно учесть реальную “ситуацию России” наших дней и прежде всего то, что это уже совсем другая страна, по сравнению с началом “эпохи ельцинских реформ”, которые, как провозглашалось, должны были привести общество в “цивилизованный мир”, но, насколько я могу судить, обернулись большой бедой для подавляющего большинства “населения” России. Из почти бесклассового интернационального общества российское общество стало ярко классовым, в котором “класс буржуазии” сформировался совершенно уникальным присвоением общенационального достояния, созданного нелегким, поистине героическим трудом народа и защищенным этим народом величайшим напряжением сил в годы Великой Отечественной войны. Россия уже вышла на второе место в мире по числу миллиардеров. Хотя в Конституции РФ заявлено, что Россия – социальное государство, она фактически стала одной из самых больших проявлений социальной несправедливости, оторванности “власти” от “населения”, фактической



бесконтрольности власти. Самое поразительное – отношение к образованию, к здоровью подрастающего поколения, поколения, на что “не хватает средств”, когда на бюрократический аппарат, который все “думает”, на политические кланы, на разнузданную эстраду, шоу, на многочисленную порнографическую литературу и т.п. тратятся огромные деньги.

По оценкам экономистов, Россия даже больше, чем в советское время, становится “догоняющей страной”, и “шанс занять место в списке стран – лидеров постиндустриального мира нами безвозвратно упущен и вряд ли в XXI веке мы сможем реально претендовать на подобное место” [4, с.275].

Утверждать даже, что “Россия более не имеет перспектив развития, приемлемых с точки зрения её собственного общественного сознания” [5, с.75].

Какое же общественное сознание необходимо иметь сегодня россиянам? Какую идею родить и реализовать, какое мировоззрение обрести в своих умах и сердцах? Может быть, весь опыт советского строительства – это лишь демонстрация исторической нежизнеспособности монистической модели мировоззрения для “всех”? Или же партийно-советская номенклатура, особенно в последние десятилетия своего функционирования, предала государственную идею, стала работать “по чертежам Пентагона”, как утверждается иногда в литературе? Аналогичных вопросов возникает немало. Но, чтобы отвечать на них, следует, очевидно, обратиться и к “мировому опыту”, к “цивилизованному миру”.

3. Глобальный плюрализм.

А здесь факты говорят о том, что все развитые страны, это, конечно, не пристанища для неконтролируемого мировоззренческого плюрализма. Весь “западный мир” ориентируется, в целом, на христианство. Все основополагающие документы ООН опираются на Нагорную проповедь И.Христа. “Южный пояс” максимально ориентируется на ислам, Япония – на синтоизм, Китай – на конфуцианство и т.д.

Но особо обращает на себя внимание то, что, как говорил М.Вебер, боги не могут договориться. Нет необходимости говорить о том, какой драматический и, как правило, кровопролитный характер носит в современном мире религиозное противостояние. Отдельные авторы говорят – грядущей третьей мировой войне как войне прежде всего двух цивилизаций – христианской и исламской [6]. В наши дни ведутся уже весьма оживленные дискуссии по поводу того, не в Евангелии, а Коране имеет место “прямое слово Бога” [7].

Тем не менее в “развивающемся мире” высший мировоззренческий авторитет отводится именно определенным религиям, что находит своё непосредственное (“христианское”) отражение в концепции прав человека, что не исключает толерантности, борьбы на государственном уровне с различными сектами.

Но фактом является и то, что человечество на планете Земля не имеет единой религии. Выдвинутое еще во второй половине XIX века учение Баха-Уллы, которое Л.Н.Толстой охарактеризовал как “прекраснейшую и чистую форму религиозного учения” не получило еще у земного человечества статус “юной религии” [8].

Нельзя не обратить внимания и на то, что и в научном познании, и именно в фундаментальном естествознании, в выработке целостного миропонимания планетарное человечество вот уже 100 с лишним последних лет не может выработать единой научной картины мира, программу которой заявили еще в начале XIX столетия М.Планк и А.Эйнштейн. В научном познании произошла глубинная дифференциация научного знания, так что уже “физик перестал понимать физика”. Программа научной картины мира фокусирует в себе тенденцию интеграции, синтеза, объединения (а не суммирования) знаний о природе на основе минимума фундаментальных представлений (“теоретических оснований”, по Эйнштейну). Но создать такую “теорию всего”, которая бы в единой теоретической модели охватывала Вселенную, включая феномены жизни, человека, культуры, еще никому не удалось и невозможно предсказать – удастся ли это сделать [9, с.248].

Если обратиться к процессу философствования, то здесь можно обнаружить поразительный плюрализм. Стремление создать “вечную философию” (Лейбниц) не устранило “множество философий”, к концу XX столетия тенденция постмодернизма вообще редуцирует философию к литературной эссеистике.

Нельзя упускать из виду и масштабное развитие особенно в последние десятилетия т.н. девиантного паранаучного (или “ненаучного”) знания, которое не отвечает общепринятым критериям научности, но претендует на роль универсального религиозно-философско-точного подлинного нравственного знания, мобилизующего человечество на высшее совершенствование.

Следует указать и на исследования “святая-святых” – человеческой психики, человеческого сознания в современной психологии. Здесь тоже обнаруживается как тенденция индивидуализации, вплоть до концепций “непреодолимого одиночества” и тенденция трансперсональности, обоснования т.н. холотропной модели сознания, когда поле человеческого сознания считается бесконечным [10, с.355], когда считается что все отдельные сознания “причастны” единому полю сознания, но отгорожены от него некими “заглушками”, которые люди могут преодолеть, меняя состояние своего сознания.

Я не касаюсь того плюрализма мнений и концепций, которые имеют место в политологии, социологии, экономике.

И если Эйнштейн считал, что модель единой



упорядоченной Вселенной будет порождать у людей “чувство дома”, “умиротворение”, то т.н. синергетическая модель мира порождает чувство “игры”, неопределенности, опасности, “слабой надежды”. Развиваются концепции и о “конце науки” как исчерпавшей свой креативно-творческий потенциал [11].

Все более актуальной становится проблема возможной “переделки человека” методами генной инженерии (т.н. репродуктивные технологии), что ставит на повестку дня вопрос уже о “постчеловеческом будущем” [12].

Но в целом приходится констатировать: человечество сегодня не имеет ни единого мировоззрения, ни единого научного миропонимания, ни единого плана своего стратегического развития.

Конечно, такая ситуация выглядит удручающей. Но это реальная ситуация, которая порождает разные стратегии познания и поведения, по сути дела – разные веры и надежды.

4. Идея глобального монизма.

Очевидно, люди никогда не достигнут состояния всезнания, законченного мировоззрения, всегда будут оставаться многие “общие вопросы”, на которые теоретическое мышление не будет в состоянии ответить.

Разумеется, при этом останется феномен веры, а веры были и останутся в обозримом будущем разными. Беру на себя смелость утверждать, что это различие имеет место не потому, что Бог открылся по-разному людям, а потому, в конечном счете, что люди и конкретно-исторические условия возникновения религий, философских систем – разные. Это означает, что ни одну форму мировоззрения принципиально нельзя абсолютизировать, нельзя вести “войну мировоззрений”, нельзя одним мировоззрением просто “изгнать” другое.

Рискуя вызвать резкие возражения, подчеркну, что у меня тоже есть вера, но вера в единство мира, единство жизни, единство человечества.

Именно такой мировоззренческой концепции, на мой взгляд, человечество сегодня не имеет, и отсутствие такого мировоззрения является одной из главных причин движения к самоуничтожению. Таким образом, напрашивается вывод, что только плюрализма мировоззрений явно недостаточно. Для самосохранения человечества необходим все-таки мировоззренческий самоспасательный монизм, глобальный (планетарный), пронизанный одной планетарно-человеческой идеей. Разумеется, речь идет не о некоей маниловщине. Такое мировоззрение должно включать в себя концепции: коэволюции (совместное развитие природы и общества), ноосферы (регулируемой человеком сферы деятельности,

которая не только охраняет биосферу, но уже должна восстанавливать ее), регулирования рождаемости, общего ресурсопотребления, общего толкования здоровья, общей гуманистической этики [13].

По сути дела, такая мировоззренческая концепция должна, как мне представляется, разрабатываться под эгидой ООН. Ничто не мешает разрабатывать ее в России. Во всяком случае, кафедры философии, преподаватели должны, очевидно, брать на себя ответственность и осуществлять изучение дисциплины “философия” с конкретной реализацией идеи глобального монизма. Эта идея, как мне представляется, должна быть и методологической основой изучения всех гуманитарных дисциплин, раскрытия мировоззренческих аспектов других дисциплин в вузовском образовательном процессе.

Хотелось бы подчеркнуть, что в отмеченном плане российская культура обладает огромным потенциалом, который необходимо возродить.

И такие актуальные в наши дни проблемы, как гуманизация и гуманитаризация высшего профессионального образования, можно реализовать полноценно лишь в русле глобального монизма. Замечу также, что поспешное вступление России в известный Болонский процесс, что неизбежно потребует свертывания преподавания гуманитарных наук, включая философию, по-видимому, не лучшим образом скажется именно на мировоззренческой подготовке, которая раскрывает необходимость как диалога отдельных мировоззренческих концепций, так и их синтеза, интеграции в глобально-монистическую мировоззренческую модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т.1.
2. Ленин В.И. Полн.собр.соч. т.23.
3. Соловьев В.С. Лекции о богочеловечестве. С.-Петербург, 1994.
4. Иноземцев В.Л. Современное постиндустриальное общество: природа, противоречия, перспективы. М., 2000.
5. Делягин М.Г. Идеология возрождения. Как мы уйдем из нищеты и маразма. М., 2000.
6. С. Хаттингтон. Столкновение цивилизации.//Полис, 1994, №1.
7. Морис Бюкай. Библия, Коран и наука. Киев, 2001.
8. Новые духовные ценности. Учение бахаи. М., 1992.
9. Брайн Грин. Элегантная Вселенная. М., 2005.
10. Станислав Гроф. Психология будущего. М., 2001.
11. Хорган Д. Конец науки. М., 2003.
12. Френсис Фукуяма. Наше постчеловеческое будущее. М., 2004.
13. Э. Фромм. Человек для себя. Иметь или быть? Минск, 1997.



УДК 721.011:1

С.В. Прохоров, Г.С. Прохоров-Малысов

ФИЛОСОФСКОЕ ОСМЫСЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ФЕНОМЕНОВ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Философия зародилась как свободное критическое мышление. Она продолжает оставаться наукой наук, но не такой, какой была в период доренессансной науки, когда включала в себя все области рационального знания, а такой, какой стала в отношениях с конкретными современными науками. Сейчас философия отвечает на любой вопрос взаимодействия конкретных наук, когда любое научное знание поднимается над сферой компетенции этих наук [1].

Философия, по нашему мнению, есть бесконечный процесс осмысления человеком своего бытия. В практической деятельности людей особое место занимает гегелевский анализ различных феноменов, в частности, их триадизация, т.е. логическая цепь, состоящая из тезиса, антитезиса и синтеза [2].

Одним из возможных видов приложения философской логики является сфера строительного проектирования, в которой, во-первых, используются исходные данные – проектная документация, во-вторых, нормативно-справочные источники, в-третьих, проектные материалы, разработанные для аналогичных объектов. Возведению строительных объектов предшествует их проектирование, т.е. моделирование в виде двухмерного изображения на бумажном носителе с приложением инженерных и экономических расчетов, а также вербальных, табулированных и прочих вспомогательных материалов.

Строительство – это вызов стихиям. Строительная конструкция – это определенным образом организованный строительный материал. Конструкция – это нескончаемый конфликт искусственного объекта с окружающей средой [5], противостояние внешним силовым и несиловым факторам [4]. К первым относятся гравитация и техногенные проявления, ко вторым – климатические воздействия: сезонные и суточные колебания температуры, а также гео- и гидрологические процессы в верхних слоях земной коры, т.е. грунте, являющемся основанием под фундаменты.

После производственно-технологической сферы работа в проектных организациях различных уровней поглощает порядка тридцати процентов численности инженерно-строительного корпуса.

В проекте деле есть немало проблем, требующих философского осмысления с целью: 1) ретроспективного анализа, 2) корректировки терминологии, 3) прогнозирования инновационной эволюции.

Обратимся к традиции некоторых строительных феноменов. В эпоху древних деспотий (Египет, Месопотамия, Мексика и др.) строительство общественных зданий и сооружений велось преимущественно из крупных каменных элементов (мегаблоков) с привлечением десятков и сотен тысяч рабов. В эпоху феодальной раздробленности, например, Западной Европы строительные кадры были весьма немногочисленны, а масштабы строительства весьма скромны. Применялся, в основном, наемный труд, система принуждения почти отсутствовала, а на стройках использовались мелкоштучные изделия [3]. Однако с началом становления индустриальной эпохи (конец XIX – начало XX веков) возобновилось крупноэлементное строительство, но уже на машинной основе. По убеждению Н. Бердяева [1], произошло освобождение человека “от чудовищной эксплуатации” благодаря технике. В феномене от “крупного” к “мелкому” и снова к “крупному”, но уже с использованием грузоподъемного оборудования реализовалась гегелевская триада.

Возьмем эволюцию расчета железобетонных конструкций: от допускаемых напряжений (по Навье) с отдельным набором коэффициентов запаса прочности (по Кёнену и по Консидеру) – к разрушающим нагрузкам (точнее усилиям) по А. Лолейту, и далее – к предельным состояниям (по А. Гвоздеву) с тройной дифференциацией коэффициентов запаса прочности бетона и арматуры [5]. Триада: от двойного нормирования коэффициентов запаса отдельно для бетона и арматуры – к единому коэффициенту для двухкомпонентного материала – железобетона и далее – к трем системам коэффициентов запаса, учитывающим как характер нагружения конструкции, так и механические характеристики бетона и арматуры.

Несколько слов о философии неизвестного до XX века материала – железобетона. О нем восторженно отзывался 50 лет назад известный итальянский инженер – архитектор П.Л. Нерви: “железобетон – наилучший из материалов, изобретенных человеком, освоение его – это апофеоз инженерного дерзания. Железобетон – живое существо, способное принимать любые формы, отвечать любым требованиям, приспосабливаться к любым нагрузкам” [4]. Особенно интересен для философа предварительно напряженный железобетон. В нем подвергается начальному обжатия растянутая (от эксплуатационной нагрузки) зона сечения. Величина силы обжатия выражается произведением



предварительного напряжения арматуры и площади ее сечения. При повышении начального напряжения уменьшается ее расход. Создается “псевдо-эффект” перехода энергии в массу вещества.

Теперь опишем гносео-онтологическую модель фундамента – важнейшего элемента здания или сооружения. Его проектирование требует, с одной стороны, обеспечения равномерной и допустимой по величине деформации грунтового основания, с другой стороны, неразрушения “тела” фундамента.

Фундамент является “посредником” между искусственным объектом – колонной или стеной и естественной средой – деформируемым полупространством. Силовой “поток”, собранный наземными конструкциями, передается на подошву фундамента и далее – на грунт. Этот феномен можно интерпретировать как своеобразную контактную задачу, в которой фигурирует (кроме механических факторов) еще фактор времени. Фундамент можно трактовать как своего рода “экстуарий” (расширенное устье реки). Такой “живой образ” позволяет студентам более наглядно представить себе работу фундамента и более внимательно относиться к его расчету.

Сопоставление двух стилей мышления: научно-технического и образного можно рассматривать как дидактико-ораторский прием лектора.

Проектирование строительных конструкций как целенаправленный процесс решения многофакторной и многокритериальной задачи является, по существу, комплексным процессом оптимизации некоторой обобщенной функции, определяемой весьма широким спектром управляемых и заданных (неуправляемых) параметров, а они, в свою очередь, учитывают разнообразные условия изготовления, транспортирования, монтажа и будущей эксплуатации конструкций. Варьирование управляемых параметров с их последующей дискретизацией осложняется множеством нормативных требований (ограничений).

Математическая модель этой большой и сложной системы может иметь немало модификаций и требовать серьезного сравнительного анализа. В приложении к железобетону эти обстоятельства еще

более осложняются, поскольку он, в отличие от монокомпонентных конструкционных материалов (металл, дерево, камень), представляет собой весьма сложную композиционную систему, в которой искусственно объединены строительные материалы, обладающие различными физико-механическими свойствами и выполняющие различные функции в процессе взаимодействия с внешними факторами [7].

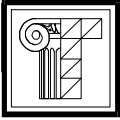
Мышление современного инженера существенно усложнилось и включило в себя смежные типы познания: философско-логическое, эстетическое, экологическое и этическое. Однако в данной статье мы затронули только первый аспект.

На наш взгляд, изучение философии воспитывает у будущих специалистов “раскованность” мышления, умение подвергать критическому анализу, казалось бы, известные истины [6].

Из сказанного следует вывод: практика строительного проектирования изобилует феноменами, которые целесообразно осмысливать с целью выработки у проектантов, тем более молодых, умения использовать ретроспективную информацию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курашов В.И. Теоретическая и прагматическая философия в кратчайшем изложении. Изд.2-е. Казань: Изд-во Казанского университета, 2004. – 120с.
2. Гриненко Г.В. История философии: Учебник. – М.: Юрайт-Издат, 2004. – 688с.
3. Кудрявцев П.С., Конфедератов Н.Я. История физики и техники. – М.: Просвещение, 1965. – 571с.
4. Осканович Л.В. Невидимый конфликт./Пер. с болг.- М.:Стройиздат, 1981. – 191с.
5. Зворыкин Д.Н. Развитие строительной науки в СССР- М.: Стройиздат, 1981. – 203с.
6. Голубинцев В.О. Философия для технических вузов: Учебник – М.: 2001. – 425с.
7. Прохоров С.В. Оптимизация проектирования железобетонных конструкций: Учебное пособие. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1995.– 82 с.



ОБРАТНАЯ КРАЕВАЯ ЗАДАЧА АЭРОГИДРОДИНАМИКИ В ВИДОИЗМЕНЕННОЙ ПОСТАНОВКЕ

Крыловой профиль L_z , расположенный в плоскости $z=x+iy$, обтекается установившимся безвихревым потоком идеальной несжимаемой жидкости (рис. 1а). Пусть $w = j + iy = w(z)$ – комплексный потенциал потока, $v_\infty \exp(ib_\infty)$ – скорость потока на бесконечности. Здесь $\ln w'(z) = \ln v - ib$, где $v = |w'(z)|$ – модуль скорости, b – угол наклона к оси Ox вектора скорости в точке $z = x + iy$.

На участке АКВ контура профиля L_z задано распределение величины скорости $v = v(j)$ как функции потенциала скорости j , $0 \leq j \leq j_B$, j_B – заданное число. Здесь для простоты считаем $v = v(j)$ заданной на участке, соединяющем точки А и В разветвления и схода потока.

На участке АМВ контура профиля задан угол наклона к оси Ox вектора скорости как функция потенциала $j : b = b(j)$, $0 \leq j \leq j_H$, j_H – заданное число. Требуется найти форму контура профиля L_z и скорость набегающего потока на бесконечности.

Обозначим через s дуговую абсциссу точки профиля, отсчитываемую от точки разветвления потока А в направлении, при котором область течения остается справа. Тогда при $0 \leq j \leq j_B$, $0 \leq s \leq s_B$

на АКВ имеем $\frac{dj}{ds} = v(j)$, $\frac{dj}{v(j)} = ds$,

$$s = \int_0^j \frac{dj}{v(j)}, \quad (1)$$

$$s_B = \int_0^{j_B} \frac{dj}{v(j)}. \text{ Функция } v(j) \text{ достаточно явно}$$

характеризует распределение скорости на участке АКВ профиля L_z , т.к. между s и j имеется простая зависимость (1). Пусть $j = j_0(s)$ – функция, обратная

к функции (1). Тогда $v = v[j_0(s)]$ – есть зависимость скорости v от дуговой абсциссы точки профиля.

Обозначая через l периметр контура профиля L_z , получим

$$j_H = \int_{s_B}^l v(s) ds, \quad j = j(s) = j_H - \int_{s_B}^s v(s) ds, \quad s_B \leq s \leq l, \quad \text{на ВМА,}$$

где: $v = v(s)$ – неизвестное пока распределение скорости на ВМА, l – неизвестная пока величина.

Будем считать $j_B > j_H$.

Функция $w = w(z)$ отображает конформно область D_z на область D_w в плоскости комплексного переменного $w = j + iy$ (рис. 1б). Область D_z в плоскости комплексного переменного $V = r e^{ig}$ ($|V| = r$), т.е. $|z| > 1$ (рис. 1в), на область D_w отображается функцией [1] (с. 98), [2]

$$w = w(z) = -U_0 \left(z + \frac{1}{z} \right) + \frac{j_B - j_H}{2\pi i} \ln z + C,$$

где

$$C = \frac{1}{2} \left(j_B - \frac{j_B - j_H}{2} \right) 2U_0 \sin g_A + \frac{j_B - j_H}{2p} = 0,$$

$$\operatorname{ctg} g_A = -g_A - p \left(\frac{j_B}{j_B - j_H} - \frac{1}{2} \right)$$

Обозначим $g_B = p - g_A$,

$$j_1(g) = \frac{j_B - j_H}{2p} \left(\frac{\cos g}{\sin g_A} + g \right) + \frac{1}{4} (j_B + j_H), \quad g_B - 2p < g < g_B.$$

Будем считать, что $-\frac{p}{2} < g_A < \frac{p}{2}$, $g_A \neq 0$.

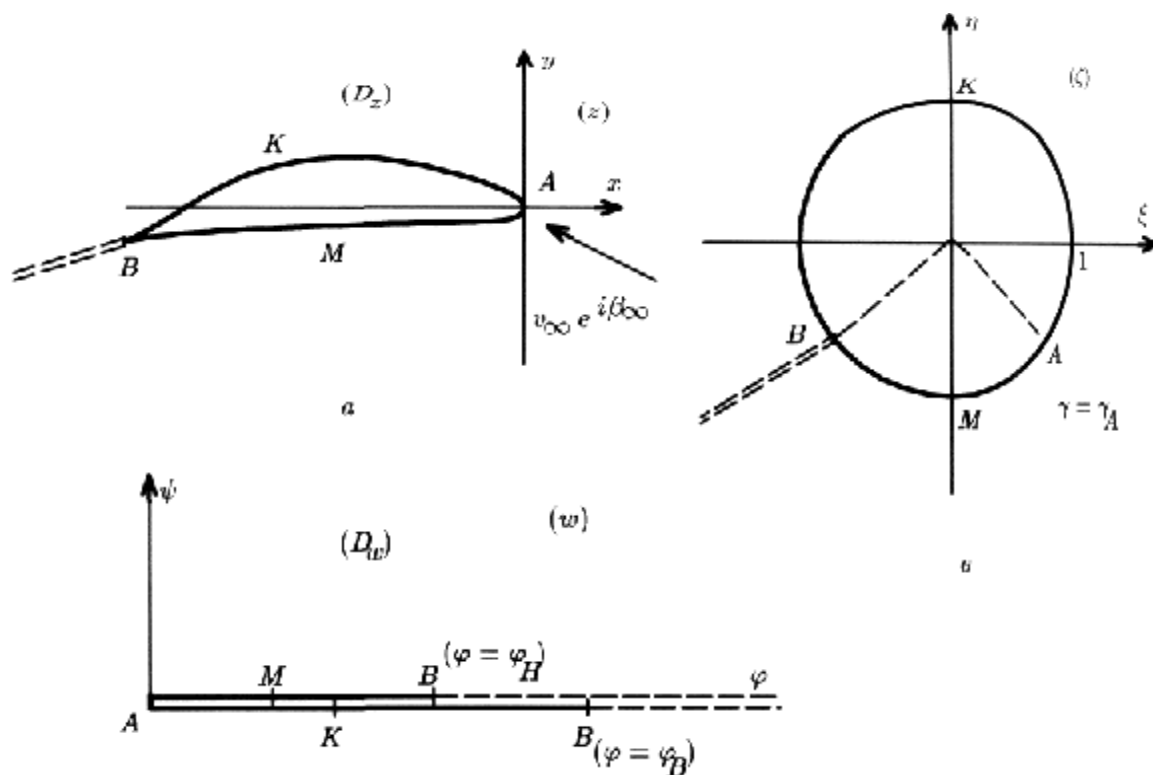


Рис.1

При $j = j_1(g)$, $g_A \leq g \leq g_B$ из формулы (1)

получим $s(g) = \int_0^g \frac{j'_1(g) dg}{v[j_1(g)]}$. Производная этой функции, с учетом предыдущих формул, будет равна

$$s'(g) = \frac{j_B - j_H}{2p} \left(-\frac{\sin g}{\sin g_A} + 1 \right) / v[j_1(g)], \quad g_A \leq g \leq g_B. \quad (2)$$

Зависимость $s = s(g)$ для интервала $(g_B - 2p, g_A)$ будет определена ниже, ее производная выражается формулой, аналогичной предыдущей:

$$s'_g = \frac{j_B - j_H}{2p} \left(-\frac{\sin g}{\sin g_A} + 1 \right) / v[s(g)], \quad g_B - 2p < g < g_A. \quad (3)$$

Пусть $z = z(z)$ – функция, отображающая конформно область $|z| > 1$ на область D_z и определяемая из соотношений $w = w(z)$, $w = w(z)$.

Таким образом, на участке АКВ окружности $z = \exp(ig)$ известны значения

$$\operatorname{Re} \ln w'_z[z(\exp(ig))] = \ln v[j_1(g)],$$

$$g_A < g < g_B,$$

на участке ВМА – значения

$$\operatorname{Im} \ln w'_z[z(\exp(ig))] = -b[j_1(g)],$$

$$g_B - 2p < g < g_A,$$

т.е. приходим к смешанной краевой задаче для аналитической в области D_z функции $\ln w'_z[z(z)]$.

Из формулы, дающей решение этой задачи, получим

$$\begin{aligned} & R(g_0) \frac{1}{2p} \left(\int_{g_B-2p}^{g_A} b[j_1(g)] + \right. \\ & \left. + \int_{g_A}^{g_B} \ln v[j_1(g)] \right) \frac{1}{R(g)} \cdot \frac{dg}{\sin \frac{g-g_0}{2}} = \\ & = \begin{cases} \ln v[s(g_0)], & g_B - 2p < g_0 < g_A, \\ -b[s(g_0)], & g_A < g_0 < g_B, \end{cases} \quad (4) \end{aligned}$$



$$\text{где } R(g) = \left| \sin \frac{g - g_A}{2} \right|^{\frac{1}{2}} \left| \sin \frac{g - g_B}{2} \right|^{\frac{1}{2}}.$$

В интервале $g_B - 2p < g_0 < g_A$ по этой формуле найдем функцию $v[s(g_0)] = v_1(g)$, затем, учитывая (3), определим

$$s(g) = s_B + \int_{g_B - 2p}^g \frac{j_B - j_H}{2p} \left(\frac{\sin g}{\sin g_A} - 1 \right) \frac{dg}{v_1(g)}, \quad (5)$$

$$g_B - 2p < g < g_A,$$

и найдем $v(s) = v_1[g(s)]$, где $g(s)$ функция, обратная к (5), также определим $l = s(g_A)$.

Комплексные координаты точек искомого контура профиля L_z определяются формулами:

$$z(\exp(ig_0)) = - \int_{g_A}^{g_0} \exp[ib(j_1(g))] s'_g dg, \quad (на ВМА),$$

$$g_B - 2p < g_0 < g_A$$

$$z(\exp(ig_0)) = \int_{g_A}^{g_0} \exp[ib(s(g))] s'_g dg, \quad (на АКВ),$$

$$g_A < g_0 < g_B$$

Контур профиля L_z будет замкнутым, если

$$z(\exp(ig)) \Big|_{g=g_B} = z(\exp(ig)) \Big|_{g=g_B - 2p}, \quad \text{т.е.}$$

$$\int_{g_A}^{g_B} \exp[ib(s(g))] s'_g dg - \int_{g_B - 2p}^{g_A} \exp[ib(j_1(g))] s'_g dg = 0.$$

Последнее условие замкнутости контура равносильно следующему [1]:

$$\int_{g_B - 2p}^{g_B} \exp(ig) \ln s'_g dg = 0, \quad (6)$$

т.к. при этом в области $|z| > 1$ однозначна функция

$$z(z) = \int_{\exp(ig_A)}^z \exp[\ln z'(z)] dz, \quad \text{в которой}$$

$$\ln z'(z) = - \frac{1}{2p} \int_{g_B - 2p}^{g_B} \ln s'_g \frac{\exp(ig) + z}{\exp(ig) - z} dg,$$

поскольку вычет функции $\exp[\ln z'(z)]$ в точке $z = \infty$ равен нулю.

В формулу (3) подставим выражение для $v[s(g)]$, $g_B - 2p < g < g_A$, определяемое формулой (4). Полученное выражение и (2) подставим в формулу (6), тогда при $j_B > j_H$ ($g_A < 0$) условие (6) замкнутости L_z примет вид

$$\int_{g_B - 2p}^{g_A} e^{ig} \ln \left(\frac{\sin g}{\sin g_A} - 1 \right) dg +$$

$$+ \int_{g_A}^{g_B} e^{ig} \ln \left(1 - \frac{\sin g}{\sin g_A} \right) dg - \int_{g_A}^{g_B} e^{ig} \ln v[s(g)] dg -$$

$$- \int_{g_B - 2p}^{g_A} e^{ig_0} \left[R(g_0) \frac{1}{2p} \left(\int_{g_B - 2p}^{g_A} b[j_1(g)] + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \int_{g_A}^{g_B} \ln v[j_1(g)] \right) \frac{1}{R(g)} \cdot \frac{dg}{\sin \frac{g - g_0}{2}} \right] dg_0 = 0. \quad (7)$$

Скорость $v_\infty e^{ib_\infty}$ набегающего потока в плоскости z определяется по формулам:

$$\ln v_\infty = \frac{1}{2p} \int_{g_B - 2p}^{g_A} \ln v_1(g) dg + \frac{1}{2p} \int_{g_A}^{g_B} \ln v[j_1(g)] dg,$$

$$b_\infty = \frac{1}{2p} \int_{g_B - 2p}^{g_A} b[j_1(g)] dg + \frac{1}{2p} \int_{g_A}^{g_B} b[s(g)] dg.$$

Чтобы добиться выполнения условий (7), на участке ВМА будем считать $b(j)$ заданной в виде

$$b(j) = p_1 b_1(j) + p_2 b_2(j) + p, \quad 0 \leq j \leq j_H, \quad (8)$$

где j_H - заданное число, $b_1(j), b_2(j)$ - заданные функции, удовлетворяющие условию Гёльдера.

Постоянные p_1 и p_2 подберем так, чтобы выполнялись условия (7).

Рассмотрен пример, когда функция $b(j)$ на нижней поверхности задана формулой (8). Программа составлена на алгоритмическом языке FORTRAN PowerStation с использованием стандартных подпрограмм вычисления определенных интегралов и интегралов с особенностями DQDAGS, DQDAWS, DQDAWC. При этом было задано



$b_1(j) = j_H / 2 - j$, $b_2(j) = (j_H / 2 - j)^2$ при $0 \leq j \leq j_H$. Скорость $v(j)$ на верхней поверхности была задана в виде:

$$v(j) = v(0) + \frac{j}{j_m} (m - v(0)), \quad 0 \leq j \leq j_m;$$

$$v(j) = m, \quad j_m \leq j \leq j_m^*;$$

$$v(j) = m + \frac{n - m}{j_n - j_m^*} (j - j_m^*), \quad j_m^* \leq j \leq j_n;$$

$$v(j) = n + \frac{v(j_B) - n}{j_B - j_n^*} (j - j_n^*), \quad j_n^* \leq j \leq j_B.$$

Было задано $j_B = 28.0$, $j_H = 20.0$, $v(0) = 0.9$, $v(j_B) = 0.8$, $m = 1.1$, $n = 1.0$, $j_n = j_B / 2 + 0.1$, $j_n^* = j_B - 0.2$. В результате расчетов получено $g_A = -0.1069$, $p_1 = 0.3213$, $p_2 = -0.0489$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тумашев Г.Г., Нужин М.Т. Обратные краевые задачи и их приложения. - Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1965. - 333 с.
2. Елизаров А.М., Ильинский Н.Б., Поташев А.В. Обратные краевые задачи аэрогидродинамики. - М.: Физматлит, 1994. - 436 с.



УДК 536.253

В.Н. Посохин, А.М. Зиганшин

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНВЕКТИВНЫХ ТЕЧЕНИЙ НАД ПРОТЯЖЕННЫМИ ТЕПЛОИСТОЧНИКАМИ

Решение многих проблем отопительно-вентиляционной техники (защита остекленных поверхностей от ниспадающих конвективных токов, аэрация, местные отсосы и др.) связано с необходимостью анализа струйных течений над теплоисточниками (далее источниками). Закономерности конвективных струй зависят от геометрии источников и областей, в которых реализуются течения, а также от значения критерия

$$\text{Рэля} \quad Ra = \frac{g b l^3 \Delta T_{\pi}}{n a},$$

где: g - ускорение свободного падения;

b - коэффициент температурного расширения;

l - характерный размер источника;

n, a - кинематическая вязкость и температуропроводность воздуха;

$\Delta T = T_{\pi} - T_{\infty}$ - разность температур на поверхности источника и окружающего воздуха.

В свободной струе над источником, расположенным заподлицо с ограничивающей горизонтальной поверхностью, течение считают развитым турбулентным при $Ra > 2 \cdot 10^7$ [1]. Для других условий формирования и распространения критическое значение Ra может быть иным.

Несмотря на большое количество теоретических и экспериментальных работ (с подробной библиографией можно ознакомиться в книгах [2], [3]), вопрос о закономерностях развития конвективных струй нельзя считать исчерпанным. Многие теоретические исследования построены на упрощенных физических моделях, эксперименты зачастую ненадежны.

В этой связи представляется целесообразным провести численное исследование течения. Исходная система уравнений плоского турбулентного движения (см. например, [2]), дополненная уравнениями переноса конвективного и лучистого тепла, замыкалась с помощью $k - \varepsilon$ модели турбулентности (k - кинетическая энергия турбулентных пульсаций; ε - диссипация турбулентной энергии). Для решения использовался метод конечных объемов, реализованный в известном пакете программ FLUENT 6.1 [4].

Удельная мощность источника Q принята равной 200 Вт/м, ширина $-2B = 0,2$ м. Конвективная мощность источника

находилась по распределению температуры на его поверхности $Q_k = a_k \Delta T_{\pi} 2B = 92,8$ Вт/м.

Коэффициент теплоотдачи a_k вычислялся из критериальной зависимости $Nu = 0,135 Ra^{1/3}$,

где $Nu = \frac{a_k B}{l}$ - критерий Нуссельта;

l - коэффициент теплопроводности воздуха.

Критерии Ra , вычисленные по максимальному и среднему значениям температуры T_{π} , равны, соответственно, $Ra_{max} = 6,5 \cdot 10^7$, $Ra_{cp} = 5,72 \cdot 10^7$.

Расчетная область ограничивалась квадратом со стороной H (высота) = $2A$ (ширина) = 20 м. Поскольку неясно, как задавать условия на верхней и боковой границах области для свободной струи, полагалось, что эти границы непроницаемы, то есть рассчитывалась стесненная струя. Так как значения параметров продольного и поперечного стеснения весьма невелики $B/H = 0,005$, $B/A = 0,01$, то следует ожидать, что на значительном протяжении струя ведет себя практически как свободная.

Использовались следующие физические предположения и граничные условия:

- плотность воздуха в зависимости от температуры изменяется по уравнению состояния идеального газа;
- нормальные производные скорости и кинетической энергии турбулентности на всех границах равны нулю;
- температура на всех границах, кроме участка, где расположен источник, равна 293К;
- плотность теплового потока в пределах источника постоянна;
- на верхней и боковых границах задано условие полного поглощения теплового излучения;
- генерация и диссипация кинетической энергии турбулентности в ячейках сетки, примыкающих к стенкам, равны;

- турбулентное число Прандтля $Pr_T = \frac{n_T}{a_T}$ принято равным 0,85 [4].

На рис. 1 приведены рассчитанные изолинии и распределения основных характеристик потока: осредненной продольной скорости, температуры, кинетической энергии турбулентности, турбулентной

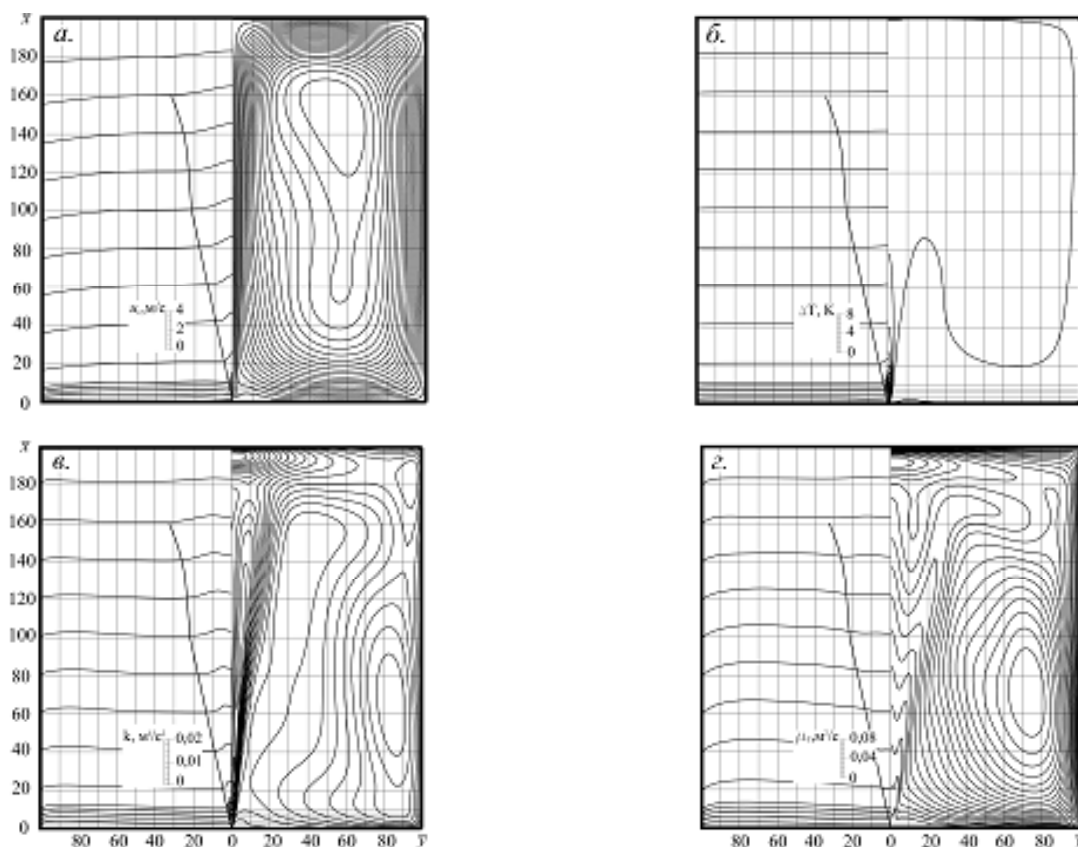


Рис.1

вязкости $m_T = r c_m k^2 / e$ (r - плотность воздуха;

c_m - константа, принятая равной 0,09 [4]).

Рассматриваемое течение существенно отличается от свободной конвективной струи. В последней четко выделяются турбулентная зона (собственно струя) и зона безвихревого (потенциального) течения вне струи.

Из рис. 1 в, г видно, что исследуемое течение турбулентно во всем объеме. Уместно говорить только о зоне с повышенной степенью турбулентности, для которой нельзя провести четкую границу. Если принять в качестве границы изолинию, на которой $k = 0,2k_x$, то зона повышенной турбулентности, с которой в дальнейшем мы и будем отождествлять струю, вначале имеет угол расширения $\alpha \approx 24^\circ$, то есть такой же, как у струи свободной (k_x - значение k на оси струи). Вне струи значения k весьма малы. Они увеличиваются только в области обратных циркуляционных токов.

Иначе распределяется турбулентная вязкость, которая примерно постоянна по ширине струи и возрастает по длине. Вне струи турбулентная вязкость заметно больше. Указанный факт свидетельствует о том, что диссипация турбулентной энергии велика в струе и незначительна вне ее. Из этого следует, что в струе преобладают мелкомасштабные вихри, а вне ее - крупномасштабные.

Начиная с расстояния $x/B \gg 100$ ($x/A \gg 0,1$) границы становятся криволинейными, струя расширяется уже не так интенсивно. На высоте $x/B \gg 120$ ($x/A \gg 1,2$) начинается разворот струи, с последующим образованием симметричных циркуляционных колец.

Границы струи непосредственно над теплоисточником (обычно эту область называют участком формирования) показаны на рис. 2. Сжатое сечение струи находится на высоте $x_c/B \gg 0,45$ ($x_c/A \gg 0,045$), полюс струи расположен на расстоянии $x_n/B \gg 1$ ($x_n/A \gg 0,01$) ниже теплоисточника.

Результаты расчета безразмерной осевой скорости

$$\bar{u}_x = u_x / \sqrt[3]{\frac{g Q_k}{c_p r_\infty T_\infty}} \quad \text{представлены на рис.3,}$$

где c_p и r_∞ - теплоемкость и плотность окружающего струю воздуха). Там же нанесена кривая, построенная по формуле И.А. Шепелева [5], наилучшим образом описывающая изменение осевой скорости в свободной струе.

$$\bar{u}_x = \sqrt[6]{\frac{1 + \text{Pr}_T}{6 \text{Pr}_T}} \left[\frac{x}{B} \text{erf} \left(\sqrt{\frac{3}{2}} \frac{B}{cx} \right) \right]^{1/3}, \quad (1)$$

где c - экспериментальная константа, рекомендуемое значение которой 0,082.

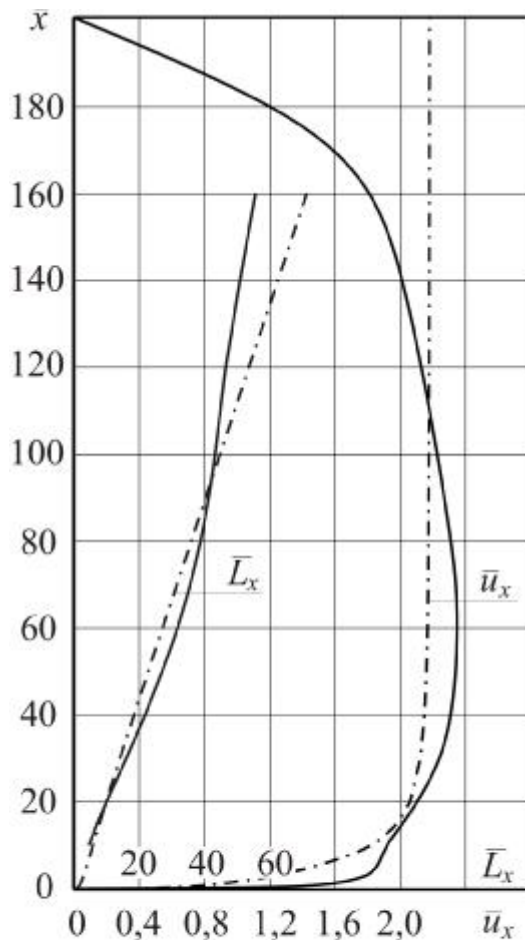
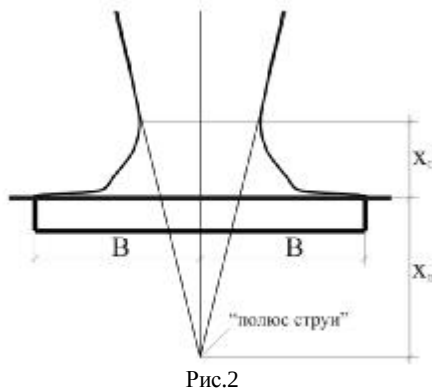


Рис.3 Изменение относительной скорости и расхода по длине струи:
— численное моделирование;
--- расчет по формулам (1,2).

Условно можно разделить струю на три участка. Вблизи от источника $x/B=8$ ($x/A=0,08$) скорость возрастает быстро. Особенно интенсивно она увеличивается на расстояниях $x/B \leq 3$ ($x/A \leq 0,03$). При $x/B \gg 8$ ($x/A \gg 0,08$) на кривой заметны флуктуации, что может свидетельствовать о некоторой неустойчивости течения. Интервал $0 < x/B \leq 8$ ($0 < x/A \leq 0,08$), вероятно, можно отождествить с участком формирования [1].

Затем следует основной участок, где скорость продолжает монотонно возрастать до максимума при $x/B \gg 50$ ($x/A \gg 0,5$) и далее уменьшается.

Интервал $8 < x/B \leq 120$ ($0,08 < x/A \leq 1,2$) можно условно считать основным участком струи. Именно здесь формула И.А. Шепелева наилучшим образом совпадает с результатами численного моделирования. Однако необходимо отметить и существенное отличие. Из теории свободной конвективной струи следует, что осевая скорость в основном участке струи постоянна, в нашем случае это не так.

После $x/B > 120$ ($x/A > 1,2$) осевая скорость заметно падает. Уменьшение скорости становится особенно интенсивным при $x/B > 150$ ($x/A > 1,5$). Интервал $x/B > 120$ ($x/A > 1,2$) уместно называть участком распада струи.

Также на рис.3 приведены результаты расчета относительных расходов в сечениях струи

$$\bar{L}_x = L_x / \sqrt[3]{\frac{gQ_k}{c_p r_\infty T_\infty}} B, \quad \text{сопоставленные с}$$

вычислениями по модифицированной формуле И.А. Шепелева [5].

$$\bar{L}_x = \sqrt[6]{\frac{8(1+Pr_T)}{3Pr_T}} \left(\frac{x}{B}\right)^{\frac{1}{3}} \int_0^\infty \left[\operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{3}{2}} \frac{y+B}{cx}\right) - \operatorname{erf}\left(\sqrt{\frac{3}{2}} \frac{y-B}{cx}\right) \right]^{1/3} \frac{dy}{B}. \quad (2)$$

Здесь также можно отметить удовлетворительную сходимость результатов расчета в интервале значений $0 < x/B \leq 100$ ($0 < x/A \leq 1$).

Формулы для расчета параметров стесненной струи можно представить в виде:

$$u_x^{cm} / u_x^{cv} = f_1(x/A), \quad (3)$$

$$L_x^{cm} / L_x^{cv} = f_2(x/A). \quad (4)$$

Индексы "cv" и "cm" означают, соответственно, "свободный" и "стесненный". Значения параметров в свободной струе вычисляются по уравнениям (1), (2).

Графики функций $f_1(x/A)$, $f_2(x/A)$ представлены на рис. 4.

В интервале значений $0 < x/A < 2$ расчетные кривые с приемлемой точностью аппроксимируются соотношениями:

$$u_x^{cm} / u_x^{cv} = 0,783 + 1,392 \cdot (x/A) - 2,406(x/A)^2 + 1,781(x/A)^3 - 0,512(x/A)^4, \quad (5)$$



$$\begin{aligned} L_x^{cm} / L_x^{ce} = & 0,468 + 3,829(x/A) - \\ & - 6,572(x/A)^2 + 4,138(x/A)^3 \\ & - 0,907(x/A)^4 \end{aligned} \quad (6)$$

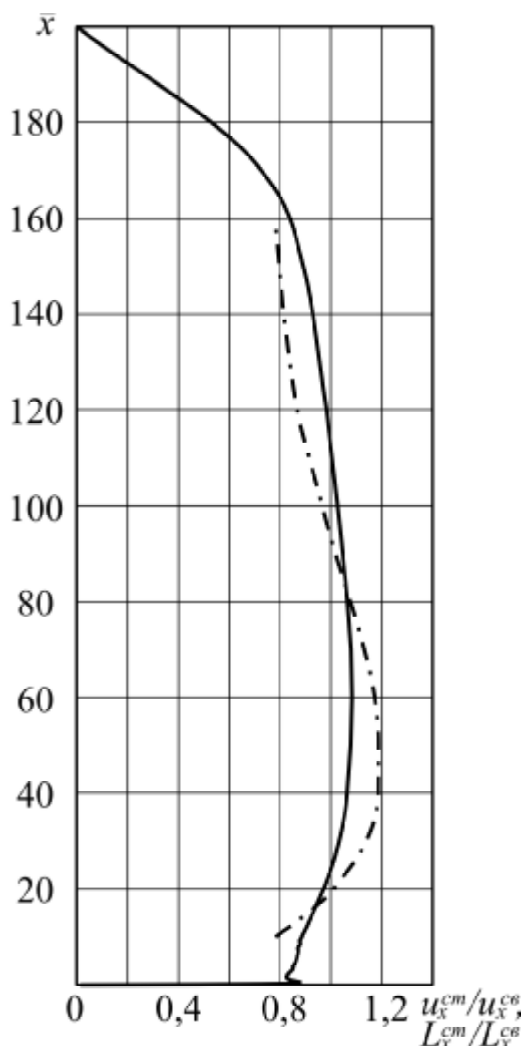


Рис.4 Графики функций:

$$\begin{aligned} \text{—} & f_1(x/A); \\ \text{- - -} & f_2(x/A). \end{aligned}$$

Результаты расчета безразмерной осевой избыточной температуры $\Delta \bar{T}_x = \Delta T_x \cdot B / \sqrt[3]{\frac{T_\infty Q_k^2}{c_p^2 r_\infty^2 g}}$ сопоставлены с вычислениями по модифицированной формуле И.А. Шепелева [5] для безразмерной осевой избыточной температуры в свободной струе, возникающей над источником конечной ширины (рис.5).

$$\Delta \bar{T}_x = \sqrt[6]{\frac{\text{Pr}_T}{1 + \text{Pr}_T}} \cdot \frac{B^{1/3}}{2 \cdot x^{1/3}}.$$

$$\frac{\text{erf}\left(\frac{\sqrt{1 + \text{Pr}_T} \cdot B}{\sqrt{2} \cdot c} \cdot \frac{1}{x}\right)}{\left\{\text{erf}\left(\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2} \cdot c} \cdot \frac{B}{x}\right)\right\}^{1/3}} + 0,1; \quad (7)$$

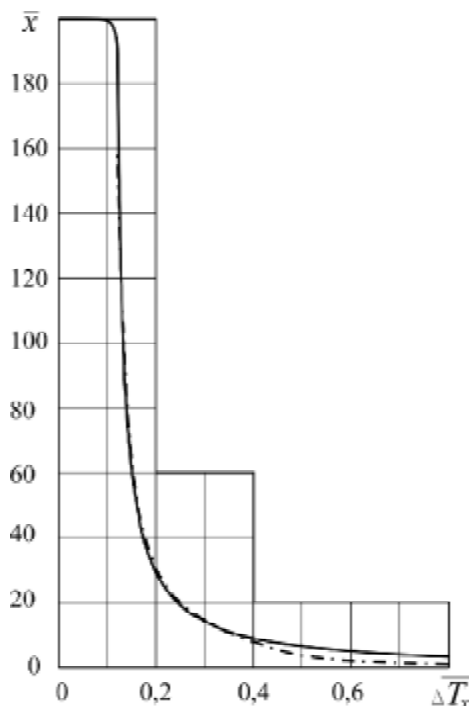


Рис.5 Изменение осевой избыточной температуры по длине струи:

— численное моделирование;
- - - расчет по формуле (7).

Изменение безразмерной осевой избыточной температуры $\Delta T_x^{cm} / \Delta T_x^{ce}$ в интервале $0 < x/B < 15$ удовлетворительно аппроксимируется формулой (8):

$$\Delta T_x^{cm} / \Delta T_x^{ce} = -0,5 \cdot \ln(x/A) + 0,075. \quad (8)$$

Для значений $x/B > 15$ $\Delta T_x^{cm} / \Delta T_x^{ce} \approx 1$.

Профили продольных скоростей и избыточных температур в сечениях струи имеют форму, близкую к экспоненциальной. Однако подобие профилей, как это имеет место в свободной струе, не соблюдается (рис.6). Особенно это выражено в профилях избыточной температуры. Можно говорить о подобии лишь в узкой приосевой области и в ограниченном интервале длин.

В завершение отметим, что эта статья должна рассматриваться только как начало систематического численного моделирования тепловой конвекции. Необходимо изучить влияние на течение других параметров стеснения - B/A , H/A .

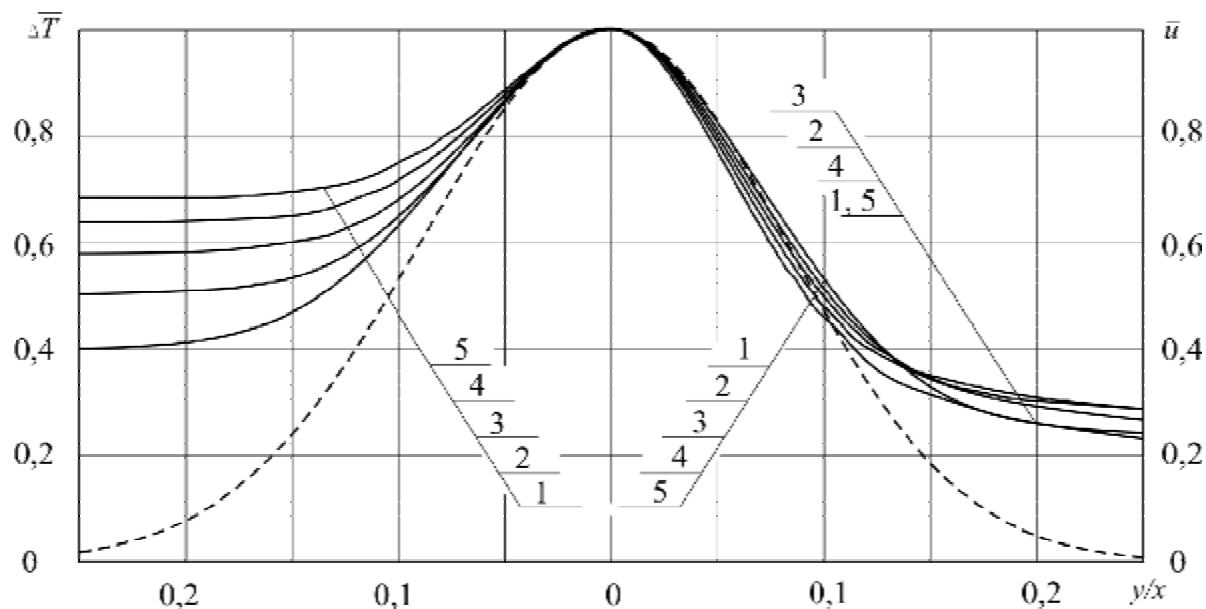
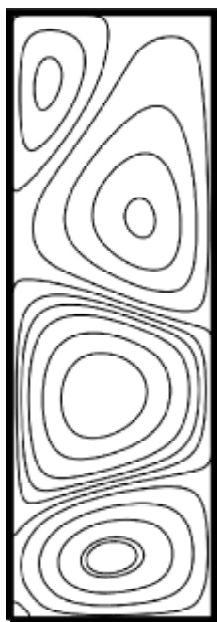


Рис.6 Профили относительной продольной скорости и избыточной температуры:

— Fluent; ---- профиль в свободной струе;

(1- $x/B=20$; 2- $x/B=30$; 3- $x/B=40$; 4- $x/B=50$; 5- $x/B=60$)

а.



б.

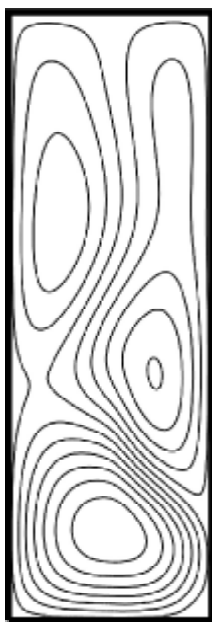


Рис.7 Линии тока течений: а. - $H=3,6$ м; $A=1,2$ м; $2B=0,1$ м;
б. - $H=6$ м; $A=2$ м; $2B=0,1$ м;

На рис. 7 показаны картины течений, которые реализуются при больших значениях параметров H/A . В этих случаях в замкнутых объемах нет выраженного струйного течения. Мы имеем ряд циркуляционных колец, форма и размеры которых определяются значениями параметров стеснения. Изучение таких течений так же, как и конвекции в частично открытых объемах, представляет собой весьма актуальную задачу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батурин В.В., Эльтерман В.М. Аэрация промышленных зданий. М.: Госстройиздат, 1963. - 320 с.
2. Мартыненко О.Г., Коровкин В.Н., Соковишин Ю.А. Теория плавучих струй и следов. Минск: Навука і тэхніка, 1991. - 448 с.
3. Джалурия И. Естественная конвекция. Пер. с англ. М.: Мир. - 400 с.
4. Fluent 6.0 manual //Help for Fluent 6.1 package.
5. Шепелев И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. -М.: Стройиздат, 1978. - 144 с.



УДК 66.01.011:66.01.052:62.503.56:519.863.517.9:518.12

Ф.Г. Ахмадиев

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И РЕШЕНИЕ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ИХ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Успех в разработке и внедрении в промышленную практику принципиально новых технологических процессов, новых высокоэффективных аппаратов, интенсификация работы существующих, создание новых материалов с заданными свойствами и т.д. возможны только при наличии современных точных и надежных методов расчета технологических процессов.

Большинство технологических процессов осуществляются в гетерогенных средах. Это такие процессы, как течение многофазных сред в рабочих элементах и узлах машин и аппаратов, смешение сыпучих материалов с различными жидкостями, диспергирование, коалесценция и дробление, измельчение, тепломассообменные процессы в многофазных средах, разделение гетерогенных сред по различным признакам, гетерофазные химические реакции; процессы нефтедобычи, нефтеподготовки и переработки и т.п. Они являются одними из широко распространенных и составляют основу многих технологических процессов.

Существенной особенностью технологических процессов в гетерогенных средах является то, что они имеют двойственную детерминированно-стохастическую природу, сложное реологическое состояние, они осложнены эффектами межфазного взаимодействия, полидисперсностью, дроблением и коалесценцией фаз, нелинейными явлениями и т.д. Поэтому при построении современных методов расчета технологических процессов должны быть привлечены методы механики гетерогенных сред, фундаментальные законы статистической физики и термодинамики необратимых процессов, современные математические методы (теория перколяций и фракталов и т.д.). При этом согласно принципам системного анализа процессы построения методов расчета, принятия решения, оптимального проектирования должны носить многоэтапный характер. Сначала используются упрощенные модели (быстрые алгоритмы) и в дальнейшем применяются поверочные расчеты на основе полной модели, а также, при необходимости, буферные расчеты.

В соответствии с этими положениями, в данной статье приводятся результаты анализов следующих проблем, которые выполнены на кафедре прикладной математики КГАСУ.

1. ТЕРМОГИДРОМЕХАНИКА МНОГОФАЗНЫХ И РЕОЛОГИЧЕСКИ СЛОЖНЫХ СРЕД И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ

Процессы в многофазных средах описываются системой дифференциальных уравнений сохранения термогидромеханики многофазных сред с соответствующими замыкающими соотношениями [1]. Нами предложена единая методика упрощения и решения уравнений механики многофазных сред для различных классов течений. Были рассмотрены их приложения к важнейшим процессам химической технологии, оптимальное аппаратное оформление. При этом были проанализированы:

1.1. Различные течения гетерогенных сред в областях сложной геометрии, которые являются рабочими элементами, узлами машин и аппаратов [2,3].

1.2. Тепломассообмен при двухфазных пленочных течениях по обогреваемым поверхностям [4,5].

1.3. Центробежные диспергаторы (механические и на воздушной подушке).

1.4. Центробежные смесители для получения высоконаполненных смесей (до 50÷80%) тонкодисперсных материалов на основе полимерных жидкостей [6].

1.5. Тепломассообменные аппараты с регулируемым временем пребывания материалов; переработка тяжелых пиролизных смол отходов производства этилена из углеродного сырья (Э-100-200), вихревые контактные устройства [7,8,9,10].

1.6. Центробежные сепараторы, центробежные сгустители [11].

1.7. Классификаторы зернистых материалов по различным признакам, в частности, по удельному весу и по размерам [12,13,14].

1.8. Барабанные вакуум-фильтры, фильтрующие и осадительные центрифуги; пленочные и трубчатые фильтровальные аппараты; фильтрование проницаемыми (пористыми) поверхностями [3,15,16,17,18,22-24].

1.9. Проблемы нефтеподготовки (эмульгирование, разделение эмульсий, утилизация водной эмульсии нефти, с использованием центрифуги, фильтрования через пористые материалы) и повышения эффективности нефтедобычи [17].

1.10. Процессы загрязнения подземных вод (экологические проблемы).



В этой области имеются проблемы замыкания уравнений сохранения для реологически сложных сред, турбулентных течений, а также построения эффективных расчетных схем.

II. ПРОЦЕССЫ ПЕРЕРАБОТКИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕПЛОМАССООБМЕНА В ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМАХ ПРИ НАЛИЧИИ ФЛУКТУАЦИЙ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Рассмотрены процессы моделирования, оптимальной организации соответствующих процессов и аппаратного оформления и практического использования результатов исследования; в частности, на основе теории марковских процессов:

2.1. Процессы смешения при различных режимах их организации; смесительные комплексы: дозатор-смеситель; усреднение свойств больших партий зернистых материалов; смеситель на магнитной подушке [19].

2.2. Измельчение сыпучих материалов.

2.3. Процессы эмульгирования: способ получения тонкодисперсных эмульсий раствора полимера (с размерами в диапазоне $5 \div 50$ мкм; $d_{cp} \approx 27$ мкм), получение стержневых и формовочных смесей (стержневая смесь СС-5: песок + крепитель 4ГУ В + концентрат сульфитно-спиртовой барды (КБЖ) + асбестовая крошка + вода) [20].

2.4. Тепломассообмен в различных двухфазных системах с учетом флуктуаций физико-химических параметров: например, сушка гранулированных полимерных материалов (95% материалов удовлетворяет технологическим требованиям) [21], растворение.

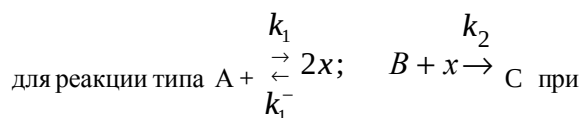
2.5. Создание новых материалов [33,34].

III. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ САМООРГАНИЗАЦИИ ДИССИПАТИВНЫХ СТРУКТУР, РАЗЛИЧНЫХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ (ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ХАОС) ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССАМ

Подобные исследования очень важны для химических систем с каталитическими механизмами, для гетерофазных реакций, кристаллизации и процессов в псевдооживленных системах; при переходе к турбулентным режимам, при получении многофункциональных материалов (материаловедение).

3.1. Химические реакции при флуктуации констант скорости реакции и концентраций (шумы). При этом по кинетическим уравнениям химических реакций можно при определенных условиях построить

уравнение Колмогорова-Фоккера-Планка (К-Ф-П). Например,



условии, что концентрации веществ А и В поддерживаются постоянными, а вещество С непрерывно выводится из системы, концентрация вещества X подчиняется уравнению

$$\frac{dx}{dt} = k_1 Ax - k_1^- x^2 - k_2 Bx \quad (3.1)$$

Тогда уравнение (К-Ф-П) имеет вид:

$$\frac{\partial P(x,t)}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x} \left[(k_1 Ax - k_1^- x^2 - k_2 Bx) P(x,t) \right] + \frac{1}{2} S \frac{\partial^2 P(x,t)}{\partial x^2} \quad (3.2)$$

В этой области реакции типа Белоусова-Жаботинского являются наиболее изученными из колебательных химических реакций.

3.2. Кристаллизация малорастворимых веществ (МРВ): выявлены условия проведения процессов кристаллизации МРВ, приводящие к потере устойчивости режима и возникновению диссипативных структур в виде автоколебаний концентрации, скорости роста кристаллов и образования колец Лизегагга.

По уравнениям изменения концентрации раствора и за счет образования ультрамикрорекристаллов при различных способах создания пресыщения можно, переходя к дискретным аналогам, в частном случае, получить $x_{j+1} = mx_j(1 - x_j)$ - уравнение типа Фейгенбаума,

где $x_j = A\Delta C_j + D$, Δt - время образования ультрамикрорекристалла. При определенных значениях параметра m наступает полный хаос (пульсационные режимы).

Физические причины возникновения флуктуации скорости роста кристаллов: дискретность процесса кристаллизации в виде дискретного времени образования ультрамикрорекристаллов, скорость создания пересыщения и существование обратных связей в механике образования МРВ.

3.3. Автоколебательные режимы химических реакций (исследование неустойчивых предельных циклов с фазовой траекторией, соответствующей странному аттрактору).



IV. НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ХИМИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Разрабатывается компьютерная технология оптимального проектирования химико-технологических систем [29-31], схема которой может быть представлена в следующем виде:

Интеллектуальный интерфейс + база знаний + решатель + ППП . (4.1)

Математическая модель проектирования как отдельного процесса (аппарата), так и технологической схемы в целом является общей и, как правило, представляет собой задачу многокритериальной оптимизации с заданным набором целевых функций $\bar{F}(\bar{z})$, определяющих требования проектировщика к создаваемому объекту, и вектором ограничений двух типов: а) ограничений типа равенств $\bar{y}(\bar{z}) = 0$, соответствующих полной математической модели проектируемого объекта; б) ограничений типа неравенств $\bar{z}_{\min} \leq \bar{z} \leq \bar{z}_{\max}$, соответствующих физической осуществимости объекта и техническому заданию на объект проектирования.

Математически задача оптимального проектирования может быть представлена в виде:

найти $\max(\min) \bar{F}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{T}, \bar{K}, \bar{H}, \bar{M})$,
при условиях (4.2)

$$\begin{cases} \bar{y}(\bar{z}) = \bar{y}(\bar{x}, \bar{y}, \bar{T}, \bar{K}, \bar{H}, \bar{M}) = 0 \\ \bar{z}_{\min} \leq \bar{z} \leq \bar{z}_{\max} \end{cases} \quad (4.3)$$

Здесь $\bar{F} = \bar{F}(f_1, f_2, \dots, f_n)$ - набор целевых функций; $\bar{y} = \bar{y}(y_1, y_2, \dots, y_k)$ - вектор-функция функционального оператора объекта, т.е. система уравнений его математической модели; $\bar{z}$ - вектор варьируемых переменных, ограниченных сверху и снизу. Исходя из условий физической, технологической и конструктивной осуществимости технической системы и технического задания; $\bar{x}, \bar{y}$ - вектора входных и выходных потоков; $\bar{T}$ - вектор оператора технического воздействия на обрабатываемую среду; $\bar{K}$ - вектор конструктивных особенностей объекта; $\bar{H}$ - вектор ограничений на конструкцию; $\bar{M}$ - вектор требований технического задания.

Важнейшей составной частью математической модели (4.2) (4.3) является модель проектируемого объекта $\bar{y}(\bar{z}) = 0$. Построение этой модели

$\bar{y}(\bar{z}) = 0$ является самым важным и сложным моментом при решении задачи (4.2)-(4.3), следовательно, и для реализации схемы оптимального проектирования технологических процессов (4.1). Для построения модели (4.2) - (4.3), следовательно, математической модели $\bar{y}(\bar{z}) = 0$, привлекаются современные методы механики сплошных сред, математики, фундаментальные законы статистической физики и термодинамики необратимых процессов, современные средства вычислительной техники и программного обеспечения.

4.1. Примеры:

а) Оптимизация процесса разделения зернистых материалов по размерам на многокаскадных классификаторах.

б) Оптимизация работы барабанного вакуум-фильтра со сходящей рабочей лентой.

4.2. Антикоррозионная защита различных конструкций и разработка САПР противокоррозионной защиты [32,35].

4.3. Создание базы данных по экологическому контролю химических, нефтехимических промышленных предприятий и прогнозированию экологической ситуации.

4.4. Разработка пакета прикладных программ и программных комплексов.

Разработаны ППП и программные комплексы (методы и программное обеспечение) для однокритериальной и многокритериальной оптимизации и оптимального аппаратного оформления соответствующих процессов, аппаратов и управления ими.

В частности, эффективные методы: "у" - преобразования, статические и динамические задачи многокритериальной оптимизации и управления.

V. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ, ИНТЕГРАЛЬНЫХ И ИНТЕГРО- ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

При математическом моделировании технологических процессов и аппаратов возникают задачи решения систем дифференциальных и интегральных уравнений. В связи с этим на кафедре ПМ кроме решения краевых задач математических моделей вышеперечисленных процессов проводятся исследования по следующим направлениям:

5.1. Решение краевых задач для уравнений смешанного типа [25,26].

5.2. Исследование сходимости устойчивости метода осциллирующих функций для интегральных и интегрально-дифференциальных уравнений [27, 28].



ЛИТЕРАТУРА

1. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред - М.: Наука, 1987, т.1. - 464 с.
2. Ахмадиев Ф.Г., Дорохов И.Н., Кафаров В.В. Новые методы расчета конкретных гидромеханических процессов химической технологии с использованием уравнений механики гетерогенных сред // Доклад АН СССР, М., 1984, т.274, №4.
3. Ахмадиев Ф.Г., Ибяттов Р.И.. Гидродинамика пленки жидкости на поверхности движущегося пористого тела // ТОХТ, т. XXXII, №2, 1998.
4. Ахмадиев Ф.Г., Гильфанов Р.М.. Расчет конвекции при пленочном течении двухфазной эмульсии по обогреваемым поверхностям // Межвуз. сб.: Теплообмен в хим. технологии, Казань: КХТИ, 1989.
5. Ахмадиев Ф.Г., Ибяттов Р.И., Фазылзянов Р.Р.. Неизотермические течения гетерогенных сред по поверхностям вращающегося пронизаемого ротора // Труды IV Минского международного форума Теплообмен МФ-2000, т.11, Минск, 2000. - С.24-27.
6. Александровский А.А., Ахмадиев Ф.Г., Ибяттов Р.И.. Расчет тонкослойного течения двухфазных сред по поверхности центробежных смесителей с учетом реологических факторов // Инженерно-физический журнал, 1984, т.47, №6.
7. Шамсутдинов А.М., Зиннатов В.Г., Ахмадиев Ф.Г. и др. Выбор оптимальной геометрии вихревых устройств для газожидкостных теплообменных процессов // Изв. вузов: Серия химия и химическая технология, т.34. - Иваново, 1991.
8. Шамсутдинов А.М., Зиннатов В.Г., Ахмадиев Ф.Г. и др. Массоотдача в жидкой фазе в вихревых устройствах // Известия вузов: Серия химия и химическая технология. т.34. - Иваново, 1991.
9. Ахмадиев Ф.Г., Гильфанов Р.М.. Математическое моделирование процесса сложного теплообмена в слоевом реакторе // Сборник докладов 3-го Минского между. Форума по теплообмену, т.11. - Минск, 1996.
10. Ахмадиев Ф.Г., Холпанов Л.П., Гильфанов Р.М. Численное моделирование нелинейного теплообмена при пленочном течении // II Междун. научн. конф. Математические методы в химии и технологиях, т.1. - Владимир, 1998.
11. Ахмадиев Ф.Г., Дорохов И.Н., Кафаров В.В., Пушкин А.А., Перов А.В. Новый метод расчета центробежных аппаратов // Докл. АН СССР, М., 1984, т. CCLXXIV, N5.
12. Ахмадиев Ф.Г., Журавлева Г.П. Моделирование процесса разделения семян хлопчатника по удельному весу в аппаратах с псевдооживленным слоем // Ташкент, Докл. АН УзССР, 1984, №7.
13. Ахмадиев Ф.Г., Киямов Х.Г., Гиззятов Р.Ф. Математическое моделирование процессов классификации зернистых материалов на многоярусных ситовых классификаторах // Химическое и нефтяное машиностроение, №2, М., 1992.
14. Ахмадиев Ф.Г., Гиззятов Р.Ф. Modelling of grainy materials division processes on multilayer classifiers // XII Международный конгресс по химической технологии, CHISA-96, Прага, 1996.
15. Ахмадиев Ф.Г., Ибяттов Р.И. Гидродинамика пленки жидкости на поверхности движущегося пористого тела // ТОХТ, т. XXXII, №1, М., 1998.
16. Ахмадиев Ф.Г., Ибяттов Р.И. Расчет фильтрационного разделения суспензий на пронизаемой поверхности произвольной формы // Сборник научных трудов междунар. конф. Теория и практика фильтрования. - Иваново, 1998.
17. Ахмадиев Ф.Г., Ибяттов Р.И., Киямов Х.Г. Математическое моделирование процесса разделения суспензии в барабанном вакуум-фильтре со сходящей рабочей лентой // ТОХТ, т. XXXII, №2, М., 1998.
18. Ахмадиев Ф.Г., Александровский А.А., Островская Э.Н. Исследование кинетики процесса эмульгирования // Журнал прикладной химии. М., 1984, т.57, №1.
19. Ахмадиев Ф.Г., Александровский А.А.. Моделирование и реализация способов приготовления смесей // Журнал всеобщей хим. общества им. Д.И. Менделеева, М., 1988, №4.
20. Ахмадиев Ф.Г., Александровский А.А., Островская Э.Н.. Исследование кинетики процесса эмульгирования // Журнал прикладной химии. М., 1984, т.57, №1.
21. Ахмадиев Ф.Г., Александровский А.А., Дорохов И.Н. О моделировании процесса массообмена с учетом флуктуаций физико-хим. параметров // Инж.-физ. журнал, т. XLIII: М., 1982, №2.
22. Холпанов Л.П., Ибяттов Р.И., Ахмадиев Ф.Г., Фазылзянов Р.Р. Математическое моделирование гидродинамики на пронизаемых поверхностях // ТОХТ. 2003, т.37, №3. - С.227-237.
23. Ибяттов Р.И., Холпанов Л.П., Ахмадиев Ф.Г., Фазылзянов Р.Р. Математическое моделирование течений гетерогенных сред по вращающимся пронизаемым поверхностям // ТОХТ. М., 2003, т.37, №5. - С.479-492.
24. Ибяттов Р.И., Холпанов Л.П., Ахмадиев Ф. Г., Фазылзянов Р.Р. Расчет течения гетерогенных сред неньютоновского поведения по пронизаемым поверхностям // Инженерно-физический журнал. М., 2003, т.76, №6. - С. 80-87.
25. Хайруллин Р.С. О задаче Трикоми для уравнения второго рода в случае первой четверти // Сб. трудов математического центра им. Н.И.Лобачевского, т.25, №8. Казань, 2004.
26. Аглямзянова Г.Н., Хайруллин Р.С. Задача Трикоми в классе функций, неограниченных на характеристике // Известия вузов. Математика. Казань, 2004.
27. Ермолаева Л.Б. Решение интегральных уравнений методом подобластей // Известия вузов. Математика.



- №9, Казань, 2002.
28. Ермолаева Л.Б. Решение периодических краевых задач методом подобластей //Известия ВУЗов. Математика, №8. Казань, 2004.
29. Ахмадиев Ф.Г., Габбасов Ф.Г., Ибятв Р.И., Гильфанов Р.М., Киямов Х.Г., Гиззятов Р.Ф., Зиннатов В.Г., Шафигуллина С.К. Информационные технологии оптимального проектирования химико-технологических процессов. Этап 2001 г. Разработка базы математических моделей процессов переработки гетерогенных сред и алгоритмов решения полученных задач. Конкурс проектов 2001 г., отчеты АН РТ. Казань, 2003.
30. Ахмадиев Ф.Г., Ибятв Р.И., Габбасов Ф.Г., Гиззятов Р.Ф., Гильфанов Р.М., Киямов Х.Г. Новые информационные технологии оптимального проектирования процессов и аппаратов химической промышленности Фонд НИОКР РТ. Фундаментальные науки. Конкурс проектов 1997г. Отчеты. Научное издание. Казань: ФизтехПресс, 2002. - С.4.
31. Ахмадиев Ф.Г., Ибятв Р.И., Габбасов Ф.Г., Гиззятов Р.Ф., Гильфанов Р.М., Зиннатов В.Г., Киямов Х.Г. Информационные технологии оптимального проектирования технологических процессов нефтехимии Фонд НИОКР РТ. Фундаментальные науки. Курсы проектов 98/99. Отчеты, ч.2. Научное издание. - Казань: ФизтехПресс, 2002. - С. 4.
32. Якупов Н.М., Гатауллин И.Н., Хисматуллин Р.Н. Обследование, анализ и прогнозирование долговечности строительных конструкций и рекомендации по их восстановлению. Методическое руководство. Казань: ИММ РАН, 1996. -208 с.
33. Porfiryeva R.T., Akhmetov T.G., Akhmadiev F.G., Gabbasov F.G. и др. Aggressive Environment Resistant Sulfur Containing Construction Material. Third European Congress of Chemical Engineering ECCE-3, Chemie Ingenieur Technik, g. Weinheim, №6, 2001, 1 с.
34. Porfiryeva R.T., Gerasimov V.V., Gabbasov F.G., Akhmadiev F.G. Surface modification of silicacontaining materials. 15 th International Congress of Chemical and Engineering. CHISA. Чехия. Прага. Полный текст в CD CHISA-2002.
35. Ахмадиев Ф.Г., Гатауллин И.Н., Киямов Х.Г., Якупов Н.М. Прогнозирование напряженно-деформированного состояния градирни // Известия КГАСУ, №1. Казань, 2003.

УДК 532.5

Д.В. Маклаков, Р.Р. Шарипов

ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ НАД ВПАДИНОЙ

Рассматривается стационарное потенциальное течение слоя идеальной несжимаемой жидкости над горизонтальным дном, имеющим впадину $ABCD$ (рис.1). Вводится декартова система координат (x,y) , ее начало лежит в середине отрезка AD . Задаются H - глубина невозмущенного уровня свободной поверхности слева на бесконечности, V_0 - скорость набегающего потока, α и β - углы наклона левой и правой стенки впадины к оси Ox , соответственно, g - ускорение силы тяжести, h и l - глубина и ширина впадины соответственно. Сила тяжести действует в направлении обратном направлению оси Oy . Рассматриваются сверхкритические режимы течения, когда число Фруда $Fr = \frac{V_0}{\sqrt{gH}} > 1$ и волны на свободной поверхности справа на бесконечности отсутствуют.

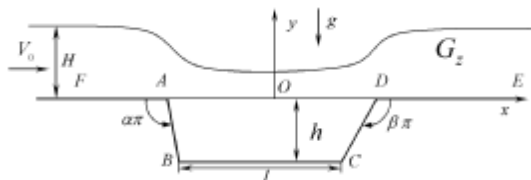


Рис. 1. Физическая область течения

Отобразим область течения в физической плоскости G_z , $z = x + iy$ на полосу $G_t = \{0 < h < p/2\}$ в плоскости комплексного переменного $t = x + ih$. Соответствие точек выберем так, чтобы бесконечно удаленные F и E перешли в бесконечно удаленные, а угловые точки A, B, C, D перешли соответственно в точки $t = -a$, $t = -c$, $t = c$, $t = a$, причем точки B и C симметричны относительно начала координат (рис.2).

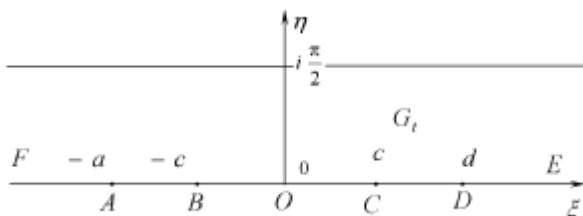


Рис. 2. Параметрическая область течения

Введем аналитическую функцию

$$c(t) = \ln \left(\frac{p}{2H} \frac{dz}{dt} \right) = m + it.$$

Если функция $c(t)$ найдена, то искомое конформное отображение $z(t)$ определяется интегралом $z(t) = H \frac{2}{p} \int_0^t e^{c(t)} dt$.

Для $c(t)$ ставится краевая задача, которая затем сводится к нелинейному интегральному уравнению

$$\text{относительно функции } l(x) = \frac{dm(x + ip/2)}{dx} -$$

производной по x реальной части функции C на верхней границе полосы:

$$l(x) = \frac{2}{pFr^2} \exp(3S[l](x)) \sin(TS[l](x) + f(x, a, c, d)), \quad (1)$$

где $S[l](x) = \int_{-\infty}^x l(s) ds$, $TS[l](x)$ – суперпозиция операторов T и S , $f(x, a, c, d)$ заданная функция своих аргументов.

Для определения параметров a, c, d имеем систему условий:

$$\frac{l}{H} = \frac{2}{p} \int_{-c}^c \exp(T_0 S[l](x) + f_0(x, a, c, d)) dx, \quad (2)$$

$$\frac{h}{H} = \frac{2}{p} \sin(ap) \int_{-a}^c \exp(T_0 S[l](x) + f_0(x, a, c, d)) dx, \quad (3)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty} l(x) dx = 0. \quad (4)$$



Здесь $f_0(x, a, c, d)$ также является заданной функцией своих аргументов.

Уравнение (1) вытекает из условия постоянства давления на свободной поверхности и уравнения Бернулли. Соотношения (2) и (3) следуют из условий задания длины и глубины впадины. Соотношение (4) означает, что уровни дна слева и справа на бесконечности совпадают.

После дискретизации система (1)-(4) решалась методом Ньютона. Дискретизация проводилась способом, предложенным в [1].

На рисунках 3 и 4 показаны зависимость между числом Фруда и отношением V_C/V_0 , где V_C скорость на оси симметрии свободной поверхности. Размеры впадины следующие: $l/H = 7$, $h/H = 0.05$. Точками на рисунках 3 и 4 отмечены числа Фруда, для которых построены формы свободных границ на рис. 3.1, 3.2 и 4.1-4.6. Видно, что для зависимости на рис. 3 формы свободной поверхности повторяют форму впадины. Эта ветка решений ответвляется от равномерного потока.

Кроме того, существуют решения, для которых свободная поверхность имеет форму уединенной волны с несколькими горбами и впадинами. Этим решениям отвечает зависимость изображенная на рис. 4.

Из графиков на рисунках 3 и 4 следует, что решение данной задачи неединственное, например, существует диапазон $1.2 \leq Fr \leq 1.24$, где задача имеет 4 решения. Одно решение не имеет горбов на свободной поверхности (график на рис. 3), еще одно имеет два горба и два решения имеют по три горба. Пунктирной линией показана максимально возможная высота свободной поверхности $y_{\max}/H = 1 + Fr^2/2$.

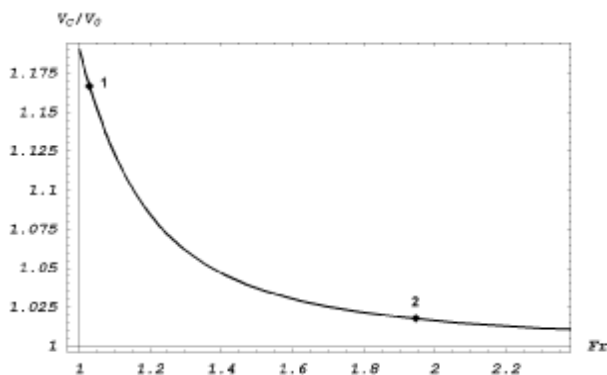


Рис. 3. Зависимость V_C/V_0 от числа Фруда

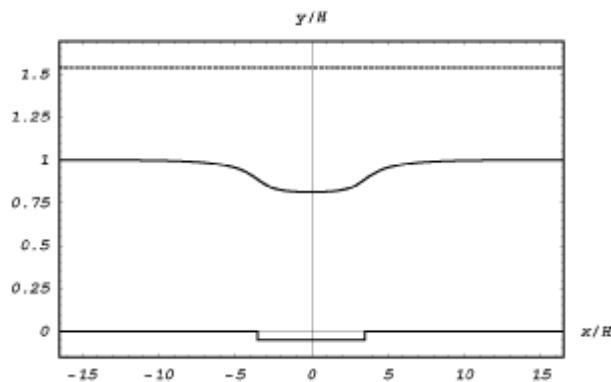


Рис. 3.1

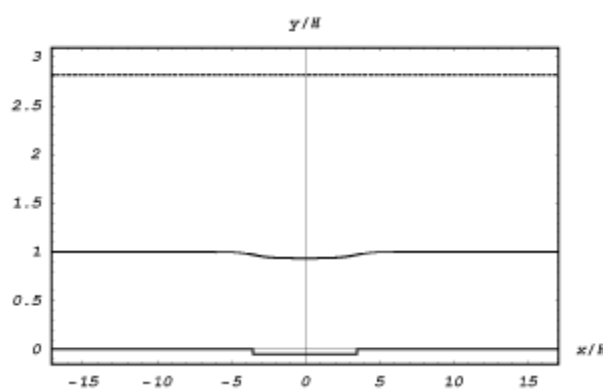


Рис. 3.2

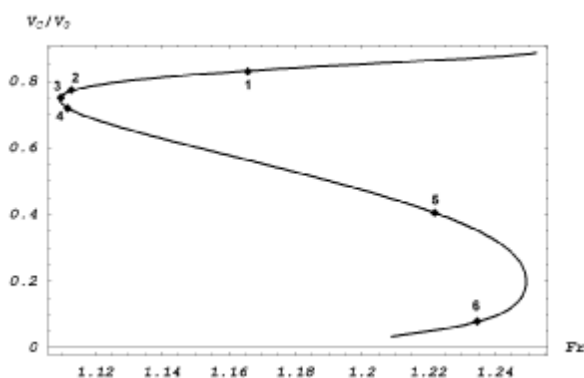


Рис. 4

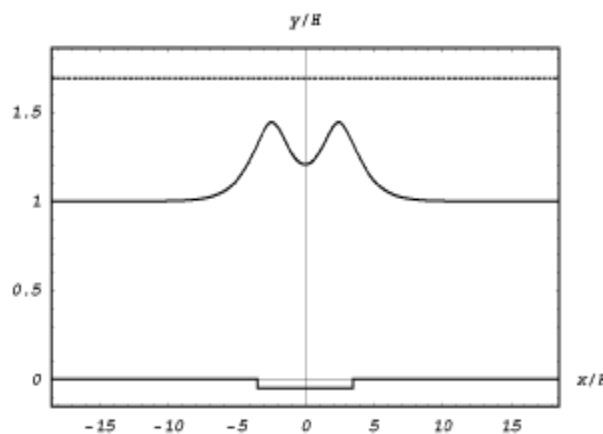


Рис. 4.1

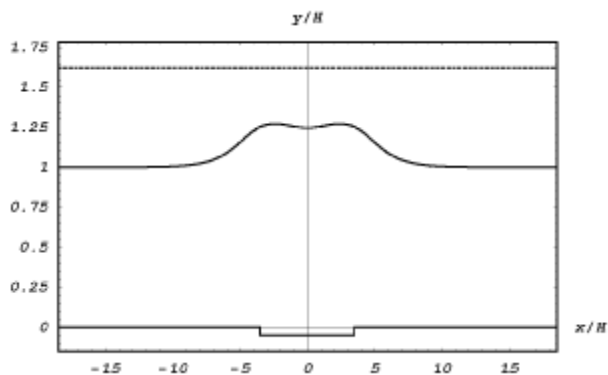


Рис. 4.2

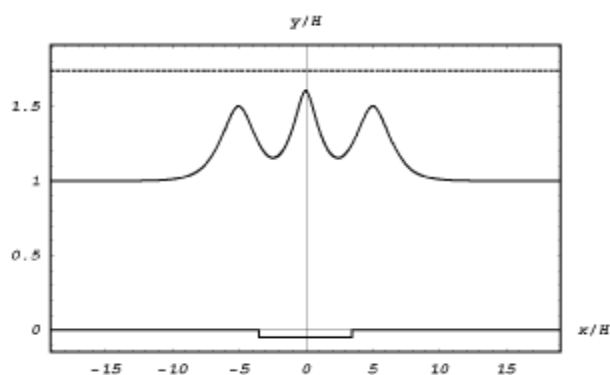


Рис. 4.5

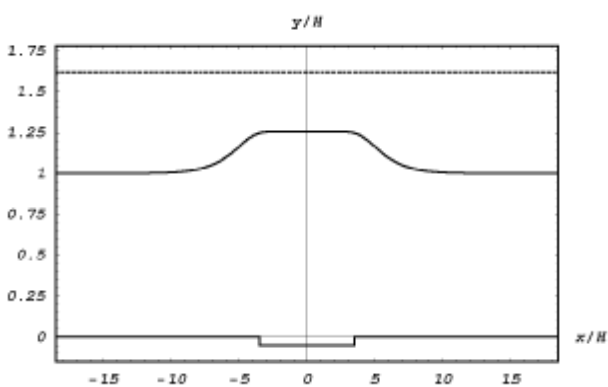


Рис. 4.3

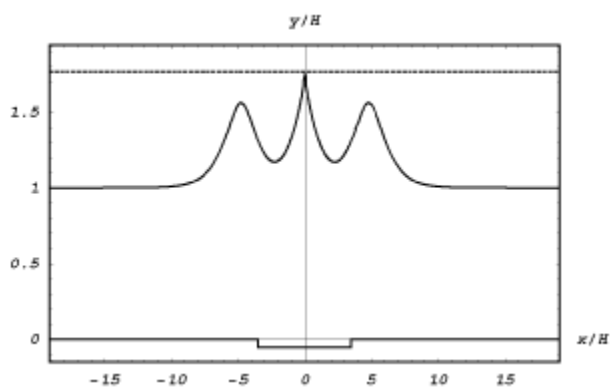


Рис. 4.6

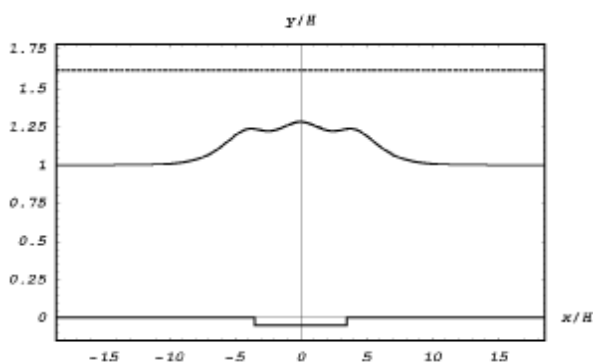


Рис. 4.4

Работа получила финансовую поддержку РФФИ (проект № 05-01-00794).

ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев О.М., Котляр Л.М. Нелинейные задачи теории струйных течений тяжелой жидкости. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1978. – 156 с.
2. Маклаков Д.В. Нелинейные задачи гидродинамики с неизвестными границами. М.: Янус-К, 1997. – 280 с.



УДК 535.33

В.Л. Фурер, Т.А. Пантелеева

АНАЛИЗ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СПЕКТРОВ ЭЛЕМЕНТООРГАНИЧЕСКИХ ДЕНДРИМЕРОВ

Одноцентровые дендримеры (ОД), представляющие собой новый тип высокомолекулярных соединений, являются предметом исследований супрамолекулярной химии и перспективными материалами [1,2].

В настоящей работе поставлена задача – изучить инфракрасные спектры в двух сериях фосфорорганических ОД и на примере двенадцати поколений одной из серий проследить связь особенностей структуры этого типа высокомолекулярных соединений и их колебательных спектров. Это особенно привлекательно, поскольку благодаря однородности по молекулярной массе и постепенному наращиванию числа поколений можно наблюдать трансформацию спектральной картины от обычной органической молекулы-ядра через ряд олигомеров к монодисперсным макромолекулам, имеющим массу порядка нескольких миллионов атомных единиц.

В отличие от макромолекул линейного полимера молекула ОД имеет преимущественно трехмерное строение, исходя из одного центра-ядра с n -кратным наращиванием числа повторяющихся звеньев и концевых групп, определяемым номером поколения G_n . Другой важной отличительной особенностью молекул ОД i -го поколения является их однородность по молекулярной массе (монодисперсность). Фактически при синтезе ОД образуются соединения, молекулярная масса, число повторяющихся и концевых звеньев которых строго определены.

ИК и КР спектры двенадцати поколений двух серий фосфорсодержащих ОД интерпретированы на основе расчета частот нормальных колебаний и интенсивностей полос в ИК спектре. Характерной чертой изученных колебательных спектров поколений разветвленных молекул ОД является то, что они подобны друг другу. Полуширины и интенсивности полос меняются для первых четырех поколений, а затем становятся идентичными в соответствии с закономерностями строения этих ОД.

Рассмотрены различные подходы к анализу нормальных колебаний ОД: расчет спектров первых поколений, суммирование теоретических спектров молекулярных фрагментов, применение теории линейных полимеров.

Структурные особенности поколений двух серий ОД следующие: трифункциональное ядро $S=P(-O-)_3$, бифункциональное повторяющееся звено $-O-C_6H_4-$

$CH=N-N(CH_3)-P(S)<$, в серии поколений G'_i концевыми группами являлись 4-оксибензальдегидные фрагменты $-O-C_6H_4-CHO$, а в серии поколений G_i концевыми группами служили атомы хлора. Изученные ОД являются аморфными соединениями за исключением поколений G'_0 и G'_1 , которые имеют кристаллическую структуру.

ИК спектры в области $3500-150\text{ см}^{-1}$ записывались на Фурье-спектрометре IFS-113v фирмы Bruker с разрешением 4 см^{-1} . Спектры КР в области $3500-10\text{ см}^{-1}$ возбуждались линией 1064 нм Nd YAG лазера мощностью 300 мВт и регистрировались Фурье-спектрометром FRA106/S фирмы Bruker с разрешением 4 см^{-1} .

Как известно, анализ колебаний линейных макромолекул показывает, что взаимодействия повторяющихся звеньев дают достаточно малый вклад в матрицу силовых постоянных и основные черты их ИК спектра могут быть поняты на основе динамики одного звена [3]. Расчет частот и интенсивностей полос в ИК спектре фрагмента (I)



включающего повторяющееся звено ОД и три метильные группы, “присоединенные” к атомам кислорода, неплохо воспроизводит экспериментальные ИК спектры ОД, но в теоретическом спектре содержатся полосы “лишних” метильных групп. Затем мы рассчитали ИК спектр фрагмента (II), моделирующего альдегидную концевую группу фосфорсодержащего ОД.



Для сопоставления нами был выбран ИК спектр пятого поколения G_5 ОД, который содержит 93 повторяющихся звена и 96 альдегидных концевых групп. Поскольку G_5 включает фрагменты I и II примерно в равной пропорции, его экспериментальный ИК спектр может быть смоделирован путем простого суммирования спектров, рассчитанных для этих фрагментов (рис. 1).

ОД третьего поколения G_3 содержит 21 повторяющееся звено и 24 концевые группы $P-Cl$, поэтому для воспроизведения его экспериментального ИК спектра рассчитана суммарная кривая поглощения фрагмента I и фрагмента III:

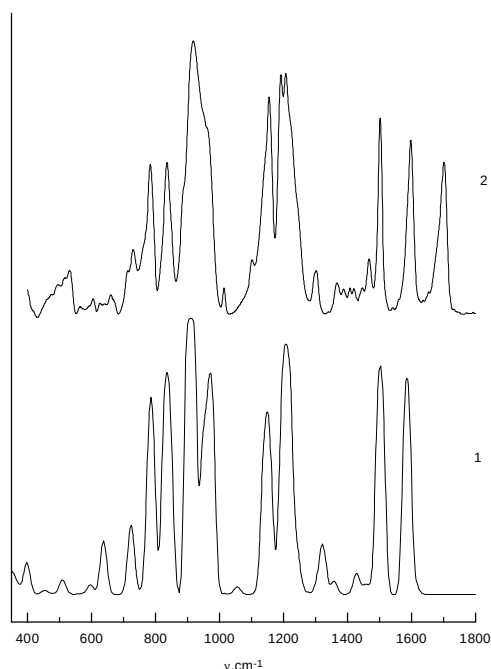


Рис. 1. Сумма теоретических кривых поглощения фрагментов I и II (1) и экспериментальный ИК спектр поколения G_5 (2)



Замена альдегидных концевых групп на P-Cl связи приводит к заметным изменениям в колебательных спектрах. Различия относительных интенсивностей полос 1502 и 1602 см^{-1} в ИК спектрах ОД с альдегидной и P-Cl концевыми группами характеризуют изменение электронных свойств заместителей ароматического кольца.

Специфика строения ОД такова, что можно легко рассчитать относительное содержание повторяющихся звеньев и концевых групп в ОД разных поколений. Это позволяет моделировать соотношение интенсивностей полос ИК спектров ОД с помощью суммирования спектров фрагментов. Достоинство подобного метода состоит в его сравнительной простоте, а недостатком является присутствие в теоретическом спектре полос “лишних” метильных групп.

Более строгим представляется анализ нормальных колебаний не фрагментов, а молекул первых поколений ОД. В рамках такого подхода мы рассчитали ИК спектр молекулы G_0 $\text{S=P-(O-C}_6\text{H}_4\text{-CHO)}_3$, которая включает ядро и три 4-оксибензальдегидные группы. После этого выполнен анализ нормальных колебаний ОД первого поколения G_1 , содержащего ядро, три повторяющихся звена и шесть концевых групп P-Cl. Геометрические параметры молекулы G_1 определены методом рентгенографии. Теоретическая кривая поглощения

для молекулы G_1 хорошо согласуется с ее экспериментальным ИК спектром, поэтому полученные силовые и электрооптические параметры можно использовать для расчета более сложных ОД.

Очевидно, что традиционная схема анализа нормальных колебаний может быть применима лишь для ОД первых поколений. Точное решение колебательной задачи для ОД старших поколений получить не удастся из-за очень высоких порядков матриц кинематических коэффициентов и силовых постоянных и необходимо использовать приближенные методы.

В настоящей работе предлагается один из возможных приближенных методов решения задачи о частотах и интенсивностях ИК спектров ОД на основе теории Л.А. Грибова. При переходе от ОД к линейной периодической цепи сделано два приближения: рассмотрены колебания лишь одного из трех дендронов, исходящих из ядра, а бифункциональное повторяющееся звено заменено монофункциональным.

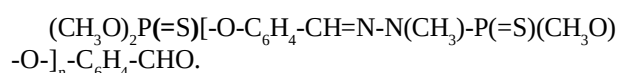
Сначала была изучена модель, которая включает периодическую часть, содержащую n звеньев:



Для этой модели рассчитаны дисперсионные кривые фосфорсодержащих дендримеров в координатах S, n (где S индекс числа нормальных полуволн, которые укладываются в периодической части цепи, и n частота колебаний).

Дисперсионные кривые для большинства колебаний ОД в области выше 700 см^{-1} прямые линии параллельные оси ординат. Поэтому взаимодействие повторяющихся звеньев мало и ИК спектр слабо зависит от числа звеньев n в цепи и номера поколения ОД. Изменение соотношения основных структурных элементов исследуемых ОД существенно затрагивает лишь первые четыре поколения. Следовательно, можно полагать, что основные различия в ИК спектрах будут наблюдаться для первых поколений ОД, где наиболее ощутима разница в соотношениях числа концевых групп, повторяющихся звеньев и ядра; вклад последнего резко убывает с ростом номера поколения. Подобная слабая зависимость частот колебаний от числа звеньев в цепи характерна для линейных полимеров, содержащих большое число атомов в повторяющемся звене, и в отсутствии сопряжения. Основные колебания атомов ОД локализованы в пределах одного повторяющегося звена, а взаимодействия соседних звеньев достаточно малы.

Затем были рассчитаны кривые поглощения для вышеупомянутой цепи с n повторяющимися звеньями, к которой были добавлены группа $\text{S=P(OCH}_3\text{)}_2$ (“ядро”) к левой стороне цепи и концевые альдегидная $-\text{C}_6\text{H}_4\text{-CHO}$ или PCl_2 группы к правой стороне цепи





Экспериментальные ИК спектры ОД $G_1 - G_{11}$ сравниваются с рассчитанными кривыми для цепей с $n = 1-11$ соответственно. Результаты вычислений дают возможность выделить полосы концевой альдегидной группы и ядра. В расчетном и экспериментальном ИК спектре G_2 и G_{10} эти полосы имеют различную интенсивность. Число повторяющихся звеньев и концевых групп в дендримерах заметно отличается от соответствующих величин в расчетных модельных цепях. Поэтому интенсивность концевых групп в экспериментальном спектре плохо воспроизводится нашим расчетом линейной цепи. Наблюдаются только малые изменения интенсивностей полос, отнесенных к колебаниям периодической части цепи, как в экспериментальных ИК спектрах при переходе от G_1 к G_{11} , так и в теоретических спектрах при переходе цепи с $n = 1$ к цепи с $n = 11$. ИК спектр периодической части ОД воспроизводится нашим расчетом достаточно хорошо. Таким образом, использование теории линейных периодических цепей позволяет качественно объяснить характер изменения колебательных спектров для разных поколений ОД. Для воспроизведения интенсивностей полос необходимо модифицировать существующую теорию так, чтобы сделать ее применимой для анализа колебаний ОД.

Рассчитаны теплоемкости для двух серий поколений G_1 и G_1 элементоорганических ОД. Теплоемкость примерно удваивается при переходе к следующему поколению ОД. По аналогии с линейными полимерами, мы посчитали теплоемкость, приходящуюся на одно повторяющееся звено. Как и следовало ожидать, она быстро достигает насыщения и не зависит от номера поколения.

Изучение ИК спектров и спектров КР в сочетании с расчетом нормальных колебаний дает информацию о структуре фосфорсодержащих ОД двенадцати поколений с концевыми альдегидными и PCl_2 группами. Анализ интенсивности полос в колебательном спектре отражает высокую степень однородности макромолекул ОД.

ЛИТЕРАТУРА

1. G.R. Newkome, C.N. Moorefield and F. Vogtle, Dendritic molecules. VCH: Deerfield Beach, FL, 1996.
2. J.P. Majoral, A.M. Caminade and V. Maraval// Chem. Commun., 2002. P. 2929.
3. Л.А. Грибов, В.А. Дементьев. Методы и алгоритмы вычислений в теории колебательных спектров молекул. М.: Наука, Москва, 1981.



УДК 537.525

Р.К. Сафиуллин, Ш.Ф. Арасланов, Ф.Ш. Муллануров

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ДИФФУЗИИ И ДРЕЙФОВОЙ СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОНОВ В РАБОЧИХ СМЕСЯХ CO₂- И СО-ЛАЗЕРОВ

Энергетическое распределение свободных электронов является одной из важных характеристик низкотемпературной плазмы газового разряда. В неравновесных тлеющих разрядах функция распределения электронов по энергии (ФРЭЭ) сильно отличается от максвелловской. Экспериментальное определение ФРЭЭ зондовым или СВЧ-методами сопряжено со значительными трудностями. Чаще всего энергетическое распределение электронов рассчитывается путем решения кинетического уравнения Больцмана [1,2]. В данной работе произведен расчет ФРЭЭ и ряда коэффициентов переноса для лазерных смесей газоразрядных CO₂-и СО-лазеров.

Уравнение Больцмана для электронов записывается в виде [3]:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{3}(E/N)^2 \frac{d}{du} \left[\frac{u df/du}{\sum_k x_k Q_k^{el}(u)} \right] + \\ & + (kT/e) \frac{d}{du} \left\{ 2u \frac{df}{du} \sum_k x_k [u Q_k^{el}(u) \frac{m}{M_k} + 3B_k Q_k^{rot}(u)] \right\} + \\ & + \frac{d}{du} \left\{ 2uf(u) \sum_k x_k [u Q_k^{el}(u) \frac{m}{M_k} + 3B_k Q_k^{rot}(u)] \right\} + \\ & + \sum_{kms} x_k x_{km} [(u+u_s) f(u+u_s) Q_s^{in}(u+u_s) - uf(u) Q_s^{in}(u)] + \\ & + \sum_{kms} x_k x_{ks} (g_{km}/g_{ks}) [uf(u-u_s) Q_s^{in}(u) - \\ & - (u+u_s) f(u) Q_s^{in}(u+u_s)] = 0. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь $f(u)$ - ФРЭЭ, $\xi_k = N_k/N$, $N = e N_e$, $\xi_{km} = N_{km}/N$; N_{km} - число молекул k -го сорта на m -м уровне внутренней энергии, N полное число атомов и молекул в единице объема; B_k , $Q_k^{el}(u)$, $Q_k^{rot}(u)$ - постоянная вращения, транспортное сечение упругого рассеяния электронов на k -й молекуле и сечение возбуждения вращательных степеней свободы k -й молекулы, соответственно;

e - абсолютная величина заряда электрона; T - температура газа; u_s - энергия, теряемая электроном при столкновении с молекулой k -го сорта, при котором молекула переходит с m -го на s -й уровень внутренней энергии; g_{km} , g_{ks} - статистический вес уровней m и s , соответственно. Последние два члена в уравнении (1) описывают неупругие и сверхупругие столкновения электронов с молекулами.

На функцию $f(u)$ накладывается граничное условие $f(0) = 0$ и обычное условие нормировки:

$$\int_0^\infty u^{1/2} f(u) du = 1. \quad (2)$$

Методика вычисления ФРЭЭ изложена в работе [3]. После нахождения нормализованной ФРЭЭ определяются следующие интегральные характеристики плазмы: дрейфовая скорость электронов V_{dp} в электрическом поле, средняя энергия электронов $\bar{\epsilon}$, константы скоростей различных кинетических процессов. Они вычисляются по известным формулам:

$$V_{dp} = -\frac{E}{3N} (2e/m)^{1/2} \int_0^\infty u \frac{df}{du} \left[\sum_k x_k Q_k^{el}(u) \right]^{-1} du, \quad (3)$$

$$\bar{\epsilon} = e \bar{u} = e \int_0^\infty u^{3/2} f(u) du, \quad (4)$$

$$\frac{D}{m} = \frac{E}{3N V_{dp}} (2e/m)^{1/2} \int_0^\infty u f(u) \left[\sum_k x_k Q_k^{el}(u) \right]^{-1} du \quad (5)$$

Ниже приведены рассчитанные зависимости дрейфовой скорости электронов V_{dp} , их средней энергии $\bar{\epsilon}$ и коэффициентов диффузии электронов D в зависимости от параметра E/N - приведенной напряженности электрического поля для лазерных смесей CO₂/N₂/He = 1/3/ n ($n = 0; 5; 10; 15; 20$) и CO/N₂/He = 1/6/ n ($n = 0; 5; 10; 15; 20$). Как известно, коэффициент диффузии D обратно пропорционален суммарной концентрации атомов и молекул N . На графиках приведены значения D , соответствующие концентрации $N = 10^{18}$ см⁻³.

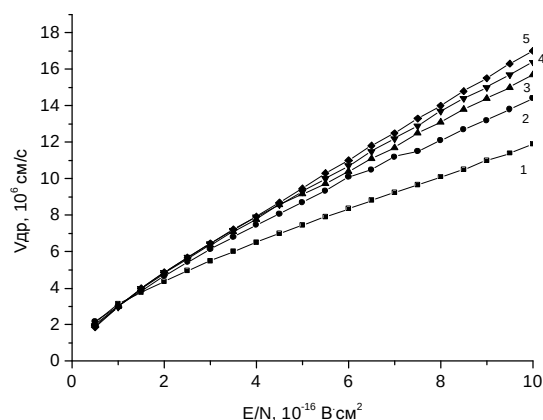


Рис.1. Дрейфовая скорость электронов в смесях $\text{CO}_2/\text{N}_2/\text{He} = 1/3/n$ (кривые 1-5 соответствуют значениям $n = 0, 5, 10, 15$ и 20 , соответственно).

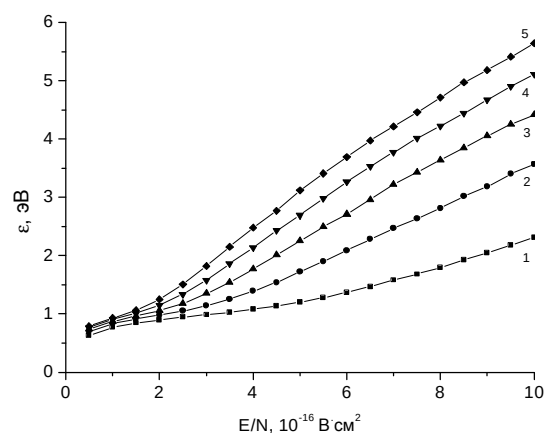


Рис.4. Средняя энергия электронов в смесях $\text{CO}/\text{N}_2/\text{He} = 1/6/n$ (кривые 1-5 соответствуют значениям $n = 0, 5, 10, 15$ и 20 , соответственно).

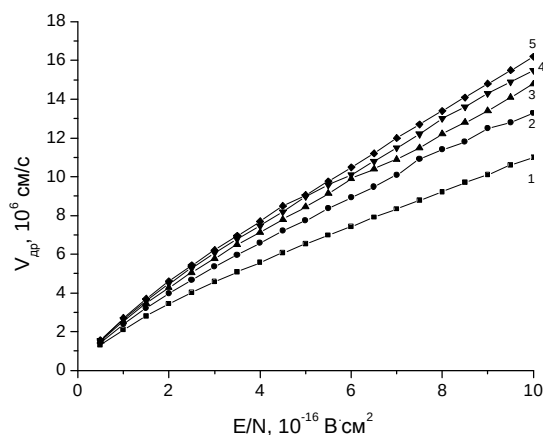


Рис.2. Дрейфовая скорость электронов в смесях $\text{CO}/\text{N}_2/\text{He} = 1/6/n$ (кривые 1-5 соответствуют значениям $n = 0, 5, 10, 15$ и 20 , соответственно).

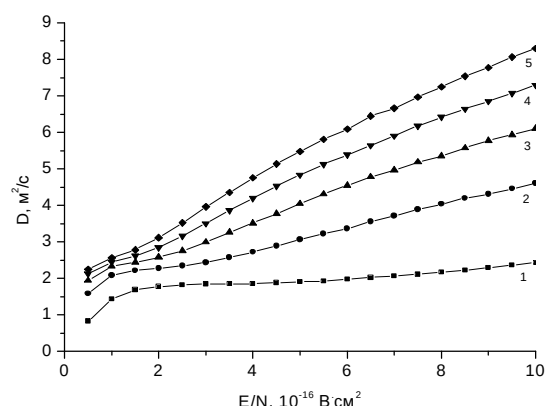


Рис.5. Коэффициент диффузии электронов в смесях $\text{CO}_2/\text{N}_2/\text{He} = 1/3/n$ (кривые 1-5 соответствуют значениям $n = 0, 5, 10, 15$ и 20 , соответственно).

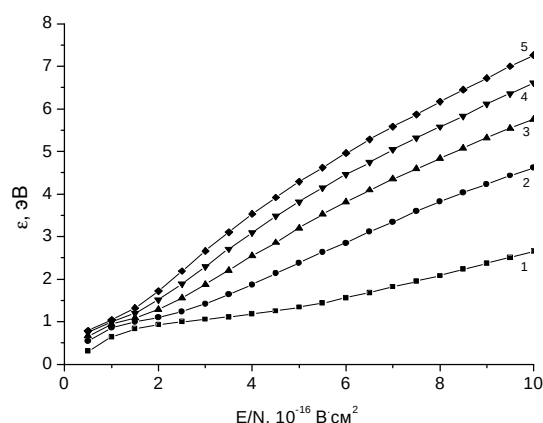


Рис.3. Средняя энергия электронов в смесях $\text{CO}_2/\text{N}_2/\text{He} = 1/3/n$ (кривые 1-5 соответствуют значениям $n = 0, 5, 10, 15$ и 20 , соответственно).

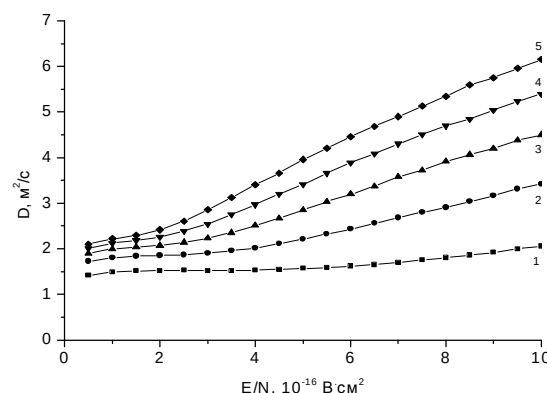


Рис. 6. Коэффициент диффузии электронов в смесях $\text{CO}/\text{N}_2/\text{He} = 1/6/n$. (кривые 1-5 соответствуют значениям $n = 0, 5, 10, 15$ и 20 , соответственно).

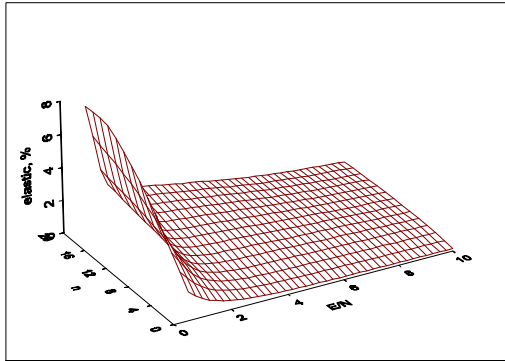


Рис. 7. Энерговклад в поступательно-вращательные степени свободы атомов и молекул.
Смесь $\text{CO}_2/\text{N}_2/\text{He} = 1/3/n$ (E/N в 10^{-16} В см^2)

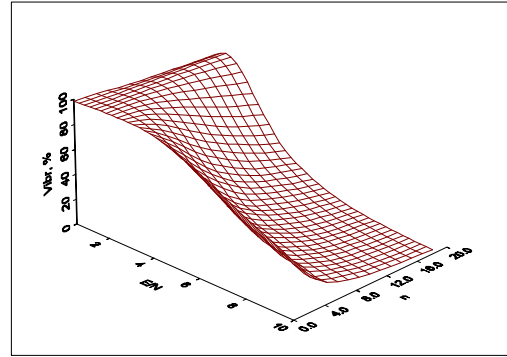


Рис. 8. Энерговклад в колебательные степени свободы молекул.
Смесь $\text{CO}_2/\text{N}_2/\text{He} = 1/3/n$ (E/N в 10^{-16} В см^2)

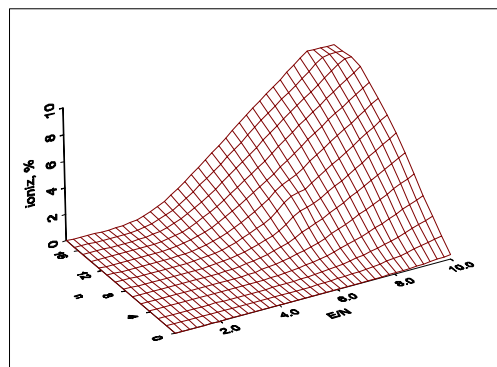


Рис. 9. Энерговклад в ионизацию атомов и молекул.
Смесь $\text{CO}_2/\text{N}_2/\text{He} = 1/3/n$ (E/N в 10^{-16} В см^2)

Как видно из приведенных графиков, увеличение содержания гелия в лазерных смесях CO_2 - и CO -лазеров приводит к заметному увеличению дрейфовой скорости, средней энергии и коэффициентов диффузии свободных электронов. Это обусловлено уменьшением энергетических потерь свободных электронов на возбуждение вращательных и, главным образом, колебательных степеней свободы молекул CO_2 и N_2 по мере увеличения процентного содержания гелия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Смит К., Томсон Р. Численное моделирование газовых лазеров. М.: Мир, 1981. - 516 с.
2. Гордиец Б.Ф., Осипов А.И., Шелепин Л.А. Кинетические процессы в газах и молекулярные лазеры. М.: Наука, 1980. - 512 с.
3. Арасланов Ш.Ф., Сафиуллин Р.К. Проблемы энергетики // Известия вузов, 1999, № 7-8. - С. 61-68.