

НАУЧНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАФЕДРЫ ГИДРАВЛИКИ

Основные направления научных школ кафедры

На базе кафедры Гидравлики сформировались две научные школы:

Научная школа «ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ»,

возглавляемая академиком РАЕН, профессором, доктором технических наук А.В.Мишуевым

Основатели:	<ul style="list-style-type: none">• Журин Владимир Дмитриевич (1891– 1962),• Киселев Петр Григорьевич (1890 – 1982),• Альтшуль Адольф Давидович (1913 – 1994),• Мальцев Елисей Дмитриевич (1914 – 1976).
Основной состав школы:	Гусак Л.Н., Гусев А.А., Данильченко Н.В., Долгачев Ф.М., Иванов Л.П., Казеннов В.В., Корыванова В.Д., Ляпин В.Ю., Подземельных Н.И., Тарасов В.К., Хуснутдинов Д.З., Шашлов Ю.А., Брянская Ю.В., Шлег А.М.
Основные направления деятельности школы:	<ul style="list-style-type: none">• Развитие теории гидравлических сопротивлений и методов расчета трубопроводов и открытых каналов,• Исследование водосбросных и водобойных сооружений,• Разработка вопросов взаимодействия водных потоков с гидротехническими сооружениями и размываемыми руслами.

Научная школа «РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ, ГИДРОЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА ВОДНЫХ ПОТОКОВ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ», основателем и руководителем которой является профессор, д.т.н. В.С.Боровков.

Основной состав школы:	Адесман А.Б., Волгина Л.В., Колгина Г.К., Красноставска Д., Остякова А.В., Сапухин А.А., Спиридонов В.Н., Фетисов Ю.М., Юрчук М., Жилкин А.П., Байков В.Н.
Основные направления деятельности школы:	<ul style="list-style-type: none">• Развитие теории русловых процессов с учетом факторов урбанизации.• Исследование динамики русловых потоков.• Решение задач улучшения экологии городских водных объектов.• Расчеты пограничных слоев при неравномерном и нестационарном течении.• Исследование гидравлики зарастающих потоков.• Взаимодействие руслового потока с подруловым фильтрационным течением.• Исследование процессов теплообмена.



Новое мощное научное направление получило развитие на кафедре после того, как в 1975 году ее возглавил академик РАЕН, профессор, доктор технических наук, руководитель Службы взрывобезопасности г.Москвы, председатель научно-экспертного совета при Правительстве Москвы по безопасности и защите населения, руководитель НТЦ «Взрывоустойчивость», вице-президент Всемирной АН Комплексной Безопасности Адольф Владимирович Мишуев, руководивший кафедрой с 1989 года. Это направление связано с исследованием нестационарных водных

потоков и газодинамических явлений. Решение многих задач этого класса на основе метода газогидравлической аналогии, существенно развитого академиком А.В. Мишуевым, позволило обогатить гидравлику нестационарных течений достижениями газовой динамики и упрочить многие положения последней фундаментальными гидравлическими экспериментальными данными. Академик, профессор, доктор технических наук А.В. Мишуев известен как видный ученый в области волновой газогидродинамики и нестационарных движений жидкости в открытых руслах. Им выполнены теоретические исследования форм свободной поверхности при частичном разрушении плотины, взаимодействии длинной прерывной волны с зауженным сечением в открытом канале и др.; решены задачи о газодинамике течений, возникающих при горении газоздушных смесей, ускорении турбулентного горения и другие задачи, важные для обеспечения взрывобезопасности зданий и сооружений.

Профессор А.В. Мишуев – создатель научной школы по изучению нестационарных процессов на базе использования метода газогидравлической аналогии, по разработке методов обеспечения взрывобезопасности промышленных и гражданских объектов, снижения возможного ущерба и охране окружающей среды. Под его руководством создана и успешно работает НТЦ "Взрывоустойчивость" (лицензия № 110-99/4669, выданная Госгортехнадзором России 23.07.96 г.), организованы курсы "Взрывобезопасность промышленных и гражданских объектов" для руководителей и специалистов взрывоопасных производств.

Научные труды и разработки школы профессора Мишуева А.В. отличаются практической направленностью. Они используются Главным Управлением по делам ГО и ЧС г.Москвы и Министерством чрезвычайных

ситуаций (МЧС), внедряются в масштабе РФ (Новоуфимский нефтеперерабатывающий завод, Светлогорск, Приозерск, Санкт-Петербург, Архангельск). По результатам этих разработок принято Постановление правительства Москвы № 723 от 29.08.95г., они имеют высокий уровень внедрения на промышленных предприятиях: Московский нефтеперерабатывающий завод, АООТ "Ацетилен", АО "Синтез", АОЗТ "Колоросс", Госпредприятие "Мосгаз", Хладокомбинат №7, ТЭЦ № 7,8,12, Очаковская и Бескудниковская базы сжиженных газов и ряде газораспределительных станций и газораздаточных пунктов, районных тепловых станциях.

Под руководством А.В.Мишуева в областном филиале МГСУ создана уникальная лабораторная установка с открытым каналом длиной 100 м, где под научным руководством профессора д.т.н. Мишуева А. В. многие его ученики (профессор, кандидат технических наук Александр Андреевич Гусев, профессор, доктор технических наук Александр Андреевич Комаров, профессор, кандидат технических наук Юрий Алексеевич Шашлов, доцент, кандидат технических наук Светлана Иосифовна Левина и другие) исследовали нестационарные течения в открытых руслах.

В 1984 г. по инициативе А.В. Мишуева профессором, доктором технических наук Вячеславом Васильевичем Казенновым создана Лаборатория газодинамики горения. В настоящее время это мощный лабораторный комплекс НТЦ «Взрывоустойчивость», позволяющий решать научные и практические задачи. Выполненные в лаборатории теоретические и экспериментальные исследования горения газовоздушных смесей позволили получить формулу, позволяющую определять изменение давления в помещениях при взрыве в них газовых смесей (авторы А.В.Мишуев, А.А.Комаров, В.В.Казеннов):

$$\Delta p(t) = \frac{1}{2\mu^2} \alpha^2 \rho_{1,2} u_n^2 (\varepsilon - 1)^2 \left[\frac{F(t)}{S} \right]^2 \quad (43)$$

где $\Delta p(t)$ - текущее избыточное давление, u_n - нормальная скорость распространения пламени, $\rho_{1,2}$ - это соответственно плотность свежей смеси или продуктов сгорания, ε - степень расширения смеси при сгорании, $F(t)$ - текущая площадь фронта пламени, S - суммарная площадь сбросных отверстий, α - коэффициент интенсификации горения, μ - коэффициент расхода смеси через сбросные отверстия.

Разработанные коллективом численные методы решения поставленных задач позволяет быстро реагировать на чрезвычайные ситуации и обеспечить взрывобезопасность проектируемых зданий.

Профессор кафедры Александр Андреевич Комаров в рамках работы в НТЦ «Взрывоустойчивость» подготовил и успешно защитил докторскую диссертацию, посвященную вопросам формирования взрывных нагрузок, их воздействия на строительные конструкции, прогнозирования последствий аварийных взрывов и методы снижения ущерба от взрывных явлений.

Диссертация кандидата технических наук Александра Андреевича Гусева «Волнообразование при частичном мгновенном разрушении плотины (случай «мокрого» русла в нижнем бьефе гидроузла). В диссертации исследован процесс формирования волны прорыва и течения ее сопровождающего после частичного мгновенного разрушения плотины. Разработана методика расчета аналитическим способом основных характеристик волны прорыва, используя начальные параметры до разрушения гидроузла.

Защиты диссертаций на кафедре за последние 5 лет.

За последние 5 лет на кафедре Гидравлики защищены кандидатские и докторские диссертации, основные достижения которых приводятся ниже.

Профессором доктором технических наук Валерием Юрьевичем Ляпиным, исследовано предложен метод расчета потоков в каналах с различной формой поперечного сечения при изменяющейся шероховатости по смоченному периметру, изучены вопросы устойчивости размываемых русел при неравномерном плавноизменяющемся течении.

Им подготовлена и защищена в 2003 году докторская диссертация, в которой рассмотрен комплекс вопросов по гидравлическому сопротивлению равномерных и неравномерных напорных и открытых потоков, получено выражение для профиля скорости при неравномерном движении:

$$\frac{u}{u_*} = \frac{u_* h}{\nu} \left(1 + \frac{A}{2} \eta - \frac{1+A}{3} \eta^2 \right) \eta \quad (44)$$

где $\eta = \frac{y}{h}$; $A = -\frac{\rho g h \left(i_0 - \frac{dh}{dx} \right)}{\tau_0}$ - параметр неравномерности,

а также формула сопротивления для защемленных потоков

$$\frac{\lambda_3}{\lambda_0} = 1 + 21,2 \frac{dh}{dx} \quad (45)$$

(где λ_0 – коэффициент гидравлического сопротивления эквивалентного равномерного потока) и связь между сопротивлением замедленных и ускоренных потоков:

$$\lambda_3 - \lambda_0 = 7,84 \left| \frac{dh}{dx} \right| \quad (46)$$

Рассмотрена устойчивость к размыву донных грунтов при неравномерном течении, получена формула для неразмывающей скорости:

$$\frac{V_0}{(gd)^{1/2}} = 1,5 \left(\frac{R}{d} \right)^{1/6} \left(1 + \frac{2,5}{\text{Re}_*} \right)^{1/3} \quad (47)$$

где $\text{Re}_* = \frac{u_* d}{\nu}$ - число Рейнольдса, R - гидравлический радиус, d - диаметр частиц грунта.

Им также рассмотрено распределение давления в искривленных потоках, установлена связь между степенью негидростатичности и кривизной линий тока; установлена протяженность начального участка неравномерного течения на входном участке канала:

$$\frac{L}{h_0} = \frac{4,2}{\sqrt{\lambda}} - 7 \quad (48)$$

Последние материалы исследований опубликованы в монографии «Гидравлические сопротивления неравномерных плавноизменяющихся и равномерных потоков в открытых руслах» в 2004 году.

В диссертационной работе кандидата технических наук Брянской Юлии Вадимовны «Совершенствование методов гидравлического расчета характеристик течения и сопротивления в трубах» уточняются положения полуэмпирической теории Прандтля с использованием опытных данных И.И.Никурадзе. Ю.В. Брянской предложены новые зависимости для расчета гидравлического сопротивления и распределения скоростей в трубопроводах, работающих в области гладкого и переходного режима сопротивления, при их использовании точность прогнозирования кавитационной эрозии трубопроводных систем и элементов водосбросных гидротехнических сооружений повышается более чем в три раза.

Предложена физическая модель, учитывающая изменение эффективной шероховатости вследствие нестационарности вязкого подслоя, нарастающего во времени до предельной величины, далее разрушающегося и перемежающегося периодами чисто турбулентного течения, при котором выступы шероховатости взаимодействуют с турбулентным ядром потока. В этих условиях осредненный по времени профиль скорости представляется в виде:

$$\left(\frac{u}{u_*} \right)_{\text{пер}} = \frac{t_g}{T} \left[\frac{1}{\kappa} \ln \frac{u_* k_S}{\nu} - 2,98 + \left(\frac{\Delta u}{u_*} \right)_{\text{зл}} \right] + \left(\frac{u}{u_*} \right)_{\text{шер}} \quad (49),$$

где $T = t_g + t_m$ - продолжительность периода наблюдения, $t_g = t_0$ - время нарастания вязкого подслоя до величины $\delta_{g \max}$, t_m - время существования турбулентного течения в пристеночной зоне после разрушения вязкого

подслоя, $\left(\frac{\Delta u}{u_*}\right)_{2l}$ - добавка к профилю скорости в гладкой трубе, величина которой зависит от соотношения между размером выступов шероховатости k_s и максимальной толщиной вязкого подслоя,

$\left(\frac{u}{u_*}\right)_{шер}$ - профиль скорости в шероховатой трубе.

На основе физической модели перемежающегося течения в непосредственной близости от стенки трубопровода Ю.В. Брянской разработан метод расчета гидравлического сопротивления и распределения скоростей в трубах с зернистой шероховатостью в переходной области сопротивления.

Выражение для коэффициента гидравлического сопротивления в переходной области имеет вид:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_{пер}}} = 2 \lg \frac{r_0}{k_s} + 1,67 + \frac{1}{\sqrt{8}} \frac{t_6}{T} \left[\frac{1}{\kappa} \ln \frac{u_* k_s}{\nu} - 2,98 + \left(\frac{\Delta u}{u_*}\right)_{2l} \right] \quad (50)$$

Эта формула дает приемлемую точность расчетов в диапазоне изменения $\frac{u_* k_s}{\nu} = 5 \div 30$, который перекрывает практически всю область переходного сопротивления. Полученные уточненные зависимости для распределения скорости и гидравлического сопротивления позволяют существенно повысить точность гидравлических расчетов, а также прогнозирование кавитационной эрозии элементов трубопроводных систем.

В комплексе научных исследований, посвященных гидроэкологическим проблемам, следует отметить работу Пака С.П. (2003 г.) по защите систем водоснабжения от засорений моллюском дрейссены, в которой рассмотрено гидродинамическое взаимодействие раковины дрейссены с покоящейся и движущейся жидкостью. Получена формула для коэффициента гидродинамической скорости C_s частиц и раковины дрейссены:

$$C_s = \frac{24}{\text{Re}} f + \frac{1}{2} C_s \left(1 + \sqrt{1 + \frac{100f}{C_{sc} \text{Re}}} \right) \quad (51)$$

где $f = \left(\frac{d_s}{d_0}\right)^2$ - параметр формы частиц,

d_s и d_0 - диаметр шара, эквивалентный частице по поверхности и по объему, C_{sc} - коэффициент сопротивления частиц в автомоделной области.

Вопросы взаимодействия потока и русла на начальной стадии формирования донного рельефа рассмотрены в кандидатской диссертации Остяковой А.В., успешно защищенной в 2005 году. Ею исследованы характеристики сальтационного движения частиц в придонной области потока, установлена вертикальная скорость частиц V_s и высота их скачков h_n :

$$V_s^2 = \frac{3}{4} \frac{K_\lambda u_k^2}{\left(\frac{\rho_m}{\rho} + \alpha_0\right)} \left\{ \frac{K_{nod}}{K_\lambda} \frac{1}{2n+1} \left[\left(\frac{z_k}{d/2}\right)^{2n+1} - 1 \right] - \frac{w^2}{u_k^2} \left(\frac{z_k}{d/2} - 1\right) \right\} \quad (52)$$

где ρ_m – плотность материала частиц,

K_λ – коэффициент гидродинамического сопротивления частицы при равномерном осаждении,

K_{nod} – коэффициент подъемной силы,

u_k – придонная скорость течения над частицей на высоте z_k ,

n – показатель степени в степенном профиле скорости,

α_0 – коэффициент, учитывающий влияние присоединенной массы жидкости, близкий к 0,25.

$$\frac{h_n}{d} = 1 + \frac{1}{\beta_0} \frac{\rho_m - \alpha_0 \rho}{\rho_m - \rho} \ln \left(1 + \beta_0 \frac{(6,75u_*)^2}{w^2} \right) \quad (53)$$

где β_0 – коэффициент, учитывающий влияние нестационарности движения, близкий к 1,8.

На основе обобщения большого массива лабораторных и натуральных данных А.В. Остяковой получены зависимости, характеризующие интенсивность развития донных русловых форм во времени на начальном этапе взаимодействия потока и русла:

- Для высоты S русловых форм:

$$\lg \frac{S}{Hi\lambda} = 1,2 + \frac{1}{3} \lg \frac{Vt}{d} \quad (54),$$

- Для протяженности L по течению:

$$\lg \frac{L}{Hi\lambda} = 2,5 + 0,33 \lg \frac{Vt}{d} \quad (55),$$

где i – уклон русла, H – глубина потока, d – крупность зерен грунта, t – продолжительность взаимодействия потока и русла.

Сопоставление полученных зависимостей позволило установить, что крутизна русловых форм в процессе его развития сохраняется постоянной и близкой к 0,05. для условий формирующегося рельефа получена формула для коэффициента Шези:

$$\frac{C}{\sqrt{g}} = \frac{14,1}{\lg \left(100 \frac{S}{H} \right)} \quad (56)$$

и установлено, что величина эквивалентной шероховатости k_S близка к высоте образующихся элементов донных форм.

Детальные исследования структуры турбулентности открытых бурных потоков в шероховатых каналах выполнены Волгиной Л.В., защитившей

кандидатскую диссертацию в 2005 году. Л.В.Волгина установила присутствие длиннопериодических компонентов в спектре турбулентных пульсаций, возникновение которых связывается с неустойчивостью вторичных течений. Ею выявлен вклад длиннопериодических компонент в энергетический спектр турбулентных пульсаций скорости и турбулентных касательных напряжений.

В 2006 году Ляпин Антон Валерьевич защитил кандидатскую диссертацию по массообменным процессам при плавноизменяющемся движении в открытых руслах. Им установлено, что коэффициент турбулентной диффузии консервативных примесей в замедленных потоках существенно возрастает.

$$\frac{D_{mз}}{D_{mp}} = 1 - 85,2 \frac{dh}{dx} \quad (57)$$

где D_{mp} – коэффициент турбулентной диффузии равномерных потоков. Это определило местоположение целесообразного размещения рассеивающих выпусков в водотоках. С использованием диффузионной модели получено распределение взвесей по глубине потока:

$$\frac{C}{C_0} = \left[\frac{\eta_0}{1-\eta_0} \left(\frac{1-\eta}{\eta} \right) \right]^{\frac{\omega}{\kappa}}, \quad (58)$$

где ω – гидравлическая крупность частиц взвеси,

C_0 – концентрация взвеси при $\eta=0,05$,

$\kappa = \kappa_0 \left(1 + 76,5 \frac{dh}{dx} \right)$ - параметр Кармана при замедленном течении.

Установлено значение критической скорости при неравномерном движении для грунтов, обладающих сцеплением:

$$V_{кр} = \frac{0,035}{\sqrt{\lambda_p \left(1 + 8,7 \frac{dh}{dx} \right)}} \sqrt{\frac{\sigma_c}{\rho}} \quad (59)$$

где λ_p – коэффициент сопротивления равномерного потока,

σ_c – величина сцепления грунта.

Кафедра Гидравлики активно сотрудничает с другими кафедрами и лабораториями МГСУ при выполнении научно-исследовательских работ и подготовке аспирантов. Совместно с кафедрой Использования водной энергии выполнен комплекс исследований по улучшению экологического состояния городских водных объектов, в рамках сотрудничества с кафедрой Водного хозяйства и морских портов выполнена кандидатская диссертационная работа Бондарчуком Максимом Александровичем «Разработка методов защиты прибрежных территорий в устьях рек от нагонных явлений», в которой разработана математическая модель режима уровней в устьевой акватории с

учетом речного стока и ветрового нагона, выполнены физические эксперименты по изучению гидравлических характеристик водопропускных отверстий в нестационарных условиях, предложен метод расчета их пропускной способности.

Научная работа кафедры, новые направления и полученные результаты активно внедряются в новые формы учебного процесса с использованием компьютерных технологий. Многие молодые ученые прошли аспирантскую школу при кафедре, свыше 250 из них защитили кандидатские диссертации. Докторские диссертации защитили на кафедре известные в настоящее время ученые - А.П.Юфин, О.Ф.Васильев, А.К.Ананян, А.Д.Альтшуль, С.Хынку, В.С.Боровков, В.К.Тарасов, А.А.Комаров, В.В.Казеннов, В.Ю.Ляпин.

Членами различных академий являются О.Ф.Васильев (РАН), А.В.Мишуев (РАЕН), В.С.Боровков (РАЕН).